



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**EFEK LOKASI INJEKTOR TERHADAP DISTRIBUSI
MASSA AMONIA DI DALAM SISTEM NH_3 -SCR
CATALYTIC FILTER DENGAN MIXER STATIK
UNTUK APLIKASI MESIN DIESEL TRUK DENGAN
MENGUNAKAN SIMULASI NUMERIK**

TUGAS AKHIR

**ROBI SUGIYANA
L2E 006 077**

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG
SEPTEMBER 2011**

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada : Nama : Robi Sugiyana

NIM : L2E 006 077

Dosen Pembimbing : Dr. Syaiful, ST, MT.

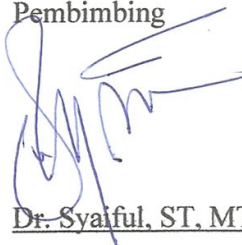
Jangka Waktu : 1,5 (satu setengah) tahun

Judul : EFEK LOKASI INJEKTOR TERHADAP
DISTRIBUSI MASSA AMONIA DI DALAM
SISTEM NH_3 -SCR *CATALYTIC FILTER* DENGAN
MIXER STATIK UNTUK APLIKASI MESIN
DIESEL TRUK DENGAN MENGGUNAKAN
SIMULASI NUMERIK

Isi Tugas : Mengetahui pengaruh lokasi injeksi ammonia dengan
penggunaan mixer statik terhadap distribusi massa
amonia serta mengetahui besarnya *pressure drop* pada
SCR.

Semarang, 26 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 yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA	:	Robi Sugiyana
NIM	:	L2E 006 077
Tanda Tangan	:	
Tanggal	:	September 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Robi Sugiyana

NIM : L2E 006 077

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

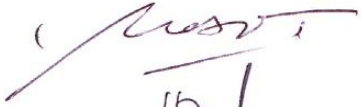
Judul Skripsi : Efek Lokasi Injektor Terhadap Distribusi Massa Amonia Di Dalam Sistem NH_3 -SCR *Catalytic Filter* Dengan Mixer Statik Untuk Aplikasi Mesin Diesel Truk Dengan Menggunakan Simulasi Numerik

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 I : Dr. Syaiful, ST, MT ()

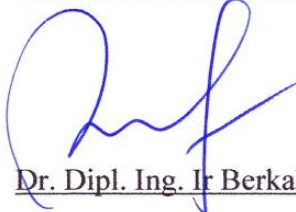
Penguji : Dr. Ir. Ap. Bayuseno, MSc ()

Penguji : Dr. Ir. Nazaruddin Sinaga, MS ()

Penguji : Ir. Bambang Yunianto, MSc ()

Semarang, September 2011

Ketua Jurusan Teknik Mesin,



Dr. Dipl. Ing. Ir Berkah Fadjar TK.

NIP. 1959072219870310003

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Robi Sugiyana
NIM : L2E 006 077
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 :

“EFEK LOKASI INJEKTOR TERHADAP DISTRIBUSI MASSA AMONIA DI DALAM SISTEM NH₃-SCR CATALYTIC FILTER DENGAN MIXER STATIK UNTUK APLIKASI MESIN DIESEL TRUK DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI NUMERIK”

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 : 26 September 2011

Yang menyatakan



(ROBI SUGIYANA)
NIM. L2E 006 077

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto :

“Hal-Hal Yang Saya Lakukan Di Hidup Ini, Untuk Mencari
Ridho Allah SWT Semata.”

Persembahan :

“Saya Persembahkan Tugas Akhir Ini Kepada Orang Tua (Momo
Sukarma Dan Een Suwarni), Kakak-Kakakku, Teman-Temanku
Dan Seluruh Umat Manusia Seluruhnya.”

ABSTRAK

Kendaraan mesin diesel menghasilkan emisi berupa NO_x yang membahayakan manusia. Telah banyak dilakukan penelitian-penelitian untuk mengurangi emisi gas buang dari kendaraan mesin diesel. Penelitian-penelitian tersebut yang menggunakan sistem *Selective Catalytic Reduction* (SCR) untuk mengurangi emisi gas buang.

Pada analisa ini, menggunakan *software* CFD untuk menentukan indeks pencampuran emisi gas buang dengan injeksi ammonia berdasarkan efek dari lokasi injektor dengan bantuan *static mixer*. Simulasi CFD dilakukan pada aliran turbulen dengan model *k- ϵ standard* untuk aliran viskos. Pada solver digunakan *1st order upwind* dan *SIMPLE* agar cepat mencapai konvergen.

Indeks pencampuran antara ammonia dengan emisi gas buang berdasarkan GHSV dengan efek lokasi injektor yang berbeda dengan penggunaan *static mixer* semakin naik jika GHSV semakin naik dan lokasi injektor semakin jauh dari SCR. Pada penggunaan *static mixer* juga menghasilkan kenaikan indeks pencampuran dibandingkan tanpa *static mixer*.

Kata kunci: *Selective Catalytic Reduction* (SCR), *static mixer*, indeks pencampuran, GHSV, ammonia

ABSTRACT

Vehicle diesel engines that produce NO_x emissions are harmful for human being. There have been many studies done to reduce exhaust emissions from diesel engine vehicles. These researches use Selective Catalytic Reduction system (SCR) to reduce exhaust emissions.

In this analysis, using CFD software to determine the mixing index of the exhaust emissions with ammonia injection based on the effect of injector location with the aid of static mixers. CFD simulations carried out on a turbulent flow with k- ϵ model standards for viscous flow. In the solver used 1st order upwind and SIMPLE for quickly reach the convergent.

Mixing index between the ammonia with the exhaust emissions based on GHSV with the effects of different injector locations by using static mixers getting up if GHSV getting up and injector locations more distant from the SCR. In the use of static mixers also produce mixing index increase compared with no static mixer.

Key words: Selective Catalytic Reduction (SCR), static mixers, mixing index, GHSV, ammonia

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat, taufik, hidayah dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya. Tugas Akhir yang berjudul **“Efek Lokasi Injektor Terhadap Distribusi Massa Amonia Di Dalam Sistem NH_3 -SCR *Catalytic Filter* Dengan Mixer Statik Untuk Aplikasi Mesin Diesel Truk Dengan Menggunakan Simulasi Numerik”** ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Pendidikan Tingkat Sarjana Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Dalam kesempatan ini penyusun ingin menyampaikan rasa hormat dan terimakasih setulus-tulusnya kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dorongan kepada penyusun selama penyusunan Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Dr. Syaiful, ST, MT selaku Pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan-pengarahan dan masukan-masukan kepada penyusun untuk menyusun Tugas Akhir ini.
2. Teman-teman satu kelompok yang telah bekerja sama dalam menyusun Tugas Akhir ini.
3. Kedua orang tua saya Ayah dan Ibu serta seluruh saudaraku tersayang yang telah mencurahkan cinta, kasih sayang, dorongan dan doa yang tidak pernah putus sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini.

Dengan penuh kerendahan hati, penyusun menyadari akan kekurangan dan keterbatasan pengetahuan yang penyusun miliki, untuk itu penyusun mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semakin menambah kecintaan dan rasa penghargaan kita terhadap Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

Semarang, September 2011

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN TUGAS SARJANA	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
HALAMAN ABSTRAK	vii
HALAMAN <i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
NOMENKLATUR	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Metode Penelitian	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	6
2.1. Mesin Diesel	6
2.2. Emisi dan Polusi Udara	7
2.3. Standar Emisi Negara Eropa.....	8
2.4. <i>Selective Catalytic Converter</i>	10
2.5. Fluida.....	13
2.5.1. Klasifikasi Aliran Fluida.....	14

2.5.1.1.	Aliran Viskos dan Non-viskos (<i>Viscous and Inviscid Flow</i>)	14
2.5.1.2.	Aliran Laminer dan Turbulen (<i>Laminar and Turbulent Flow</i>)	15
2.5.1.3.	Aliran Mampu-mampat dan Tak Mampu-mampat (<i>Compressible and Incompressible Flow</i>)	16
2.5.1.4.	Aliran Dalam dan Luar (<i>Internal and Eksternal Flow</i>)	17
2.5.2.	Aliran di Dalam Pipa	18
2.5.3.	Viskositas	20
2.6.	Persamaan Pembangun untuk Aliran Fluida	21
2.6.1.	Persamaan Kontinuitas.....	21
2.6.2.	Persamaan Momentum.....	24
2.6.3.	Hokum Kekekalan Energi	26
2.6.4.	Model Aliran Turbulen, <i>Standard k-ϵ</i>	28
2.7.	<i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i>	29
2.7.1.	Metode Numerik pada CFD	30
2.7.1.1.	<i>Solver Segregated</i>	31
2.7.1.2.	<i>Solver Coupled</i>	32
2.7.2.	Solusi Kontrol.....	34
2.7.3.	Bentuk <i>Grid</i>	35
2.7.4.	<i>Mesh</i>	37
2.7.4.1.	Kerapatan Nodal.....	37
2.7.4.2.	Kehalusan (<i>Smoothness</i>).....	37
2.7.4.3.	Bentuk <i>Cell</i>	37
2.7.5.	Adapsi <i>Grid</i>	38
2.7.5.1.	Proses Adapsi.....	38
2.7.6.	Intensitas Turbulen (<i>Turbulent Intensity</i>)	39
2.7.7.	<i>Gas Hourly Space Velocity (GHSV)</i>	39
2.7.8.	<i>Species Transport</i>	39
2.7.9.	<i>Porous Media</i>	40
2.8.	Indeks Pencampuran (<i>Mixing Index</i>)	41

BAB III	SIMULASI DAN METODE KOMPUTASI.....	43
3.1.	Proses Simulasi	43
3.2.	Simulasi Aliran pada Sistem <i>Exhaust Gas</i> dengan <i>Selective Catalytic Reduction</i>	45
3.2.1.	Pemodelan Masalah	45
3.2.2.	<i>Meshing</i>	47
3.2.3.	Simulasi <i>software</i> CFD	48
3.2.3.1.	Solver dan Material	49
3.2.3.2.	Kondisi Batas	51
3.2.3.3.	Proses Simulasi	54
3.2.4.	Verifikasi Hasil Simulasi	55
BAB IV	ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	60
4.1	Hasil Simulasi	60
4.1.1	Indeks Pencampuran (<i>Mixing Index</i>).....	60
4.1.1.1.	Visualisasi Kontur Kecepatan dan Vektor Kecepatan	60
4.1.1.2.	Visualisasi Kontur Intensitas Turbulen.....	66
4.1.1.3.	Visualisasi Kontur Distribusi Fraksi Massa Amonia	69
4.1.2	<i>Pressure Drop</i>	78
4.1.2.1.	Visualisasi Kontur Tekanan	78
4.1.2.2.	Grafik <i>Pressure Drop</i>	80
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	81
5.1	Kesimpulan.....	81
5.2	Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA.....		82
LAMPIRAN.....		83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>Selective Catalytic Reduction System</i>	2
Gambar 2.1 Mesin Diesel.....	6
Gambar 2.2 Tabel Standar Euro untuk kendaraan.....	9
Gambar 2.3 Emisi standar NO _x dan PM untuk mobil diesel.....	9
Gambar 2.4 Jenis converter (a) <i>bead-pellet catalytic reactors</i> dan (b) <i>catalytic monoliths</i>	10
Gambar 2.5 <i>Catalytic Converter Ceramic Pellet</i>	11
Gambar 2.6 <i>Catalytic Converter Ceramic Honeycomb</i>	12
Gambar 2.7 <i>Catalytic Converter Metallic Honeycomb</i>	12
Gambar 2.8 Aplikasi Konverter Katalitik.....	13
Gambar 2.9 Efek dari (a) benda padat (<i>solid</i>) dan (b) fluida, jika diberikan gaya geser yang konstan	14
Gambar 2.10 Klasifikasi Fluida	14
Gambar 2.11 Aliran (a) Laminar, (b) Transisi dan (b) Turbulen.....	15
Gambar 2.10 (a) Aliran luar (<i>external flow</i>) dan (b) aliran dalam (<i>internal flow</i>)	18
Gambar 2.11 Daerah masuk aliran sedang berkembang dan aliran berkembang penuh didalam system pipa	19
Gambar 2.12 Profil kecepatan aliran dalam pipa (a) laminar berkembang penuh (b) turbulen berkembang penuh	20
Gambar 2.13 Deformasi elemen fluida	20
Gambar 2.14 Aliran massa masuk dan keluar dari elemen fluida	22
Gambar 2.15 Gaya-gaya pada permukaan elemen fluida.....	25
Gambar 2.16 Skema metode <i>solver segregated</i>	32
Gambar 2.17 Skema metode <i>solver coupled</i>	33
Gambar 2.18 Tipe <i>cell</i> 2D	36
Gambar 2.19 Tipe <i>cell</i> 3D	36
Gambar 2.20 <i>Grid</i> 3D: <i>tetrahedral</i> tak terstruktur dan <i>polyhedral</i>	36

Gambar 2.21 <i>Grid 2D: quadrilateral</i> terstruktur dan <i>triangular</i> tak terstruktur	36
Gambar 3.1 Diagram alir langkah simulasi	43
Gambar 3.2 Geometri sistem NH ₃ -SCR	46
Gambar 3.3 <i>Meshing</i>	47
Gambar 3.4 Jendela Pendefinisian Material	50
Gambar 3.5 Jendela pendefinisian zona sel <i>porous zone</i>	50
Gambar 3.6 Jendela pendefinisian kondisi batas <i>velocity inlet</i>	51
Gambar 3.7 Jendela pendefinisian kondisi batas <i>pressure outlet</i>	51
Gambar 3.8 Jendela pendefinisian kondisi batas wall (<i>stationary wall</i>).....	52
Gambar 3.9 Jendela pendefinisian kondisi batas <i>mass flow rate</i>	53
Gambar 3.10 Iterasi telah mencapai kriteria konvergensi 1e-04	53
Gambar 3.11 <i>skin friction coefficient</i> 10000 GHSV	55
Gambar 3.12 <i>skin friction coefficient</i> 10000 GHSV	56
Gambar 3.13 <i>skin friction coefficient</i> 10000 GHSV	57
Gambar 3.14 <i>skin friction coefficient</i> 10000 GHSV	58
Gambar 3.15 Grafik <i>friction factor vs. Reynolds number</i>	59
Gambar 4.1 Kontur dan Vektor Kecepatan	65
Gambar 4.2 Kontur Intensitas Turbulen.....	68
Gambar 4.3 Kontur distribusi massa ammonia.....	71
Gambar 4.4 Perbandingan indeks pencampuran dengan lokasi injektor untuk kasus tanpa <i>static mixer</i> dan dengan <i>static mixer</i> pada kondisi GHSV 10000	72
Gambar 4.5 Perbandingan indeks pencampuran dengan lokasi injektor untuk kasus tanpa <i>static mixer</i> dan dengan <i>static mixer</i> pada kondisi GHSV 20000	72
Gambar 4.6 Perbandingan indeks pencampuran dengan lokasi injektor untuk kasus tanpa <i>static mixer</i> dan dengan <i>static mixer</i> pada kondisi GHSV 30000	73

Gambar 4.7 Perbandingan indeks pencampuran dengan lokasi injektor untuk kasus tanpa <i>static mixer</i> dan dengan <i>static mixer</i> pada kondisi GHSV 40000	73
Gambar 4.8 Perbandingan indeks pencampuran untuk kasus tanpa <i>static mixer</i> , dengan <i>static mixer</i> , dan dengan <i>dynamic mixer</i> pada kondisi GHSV 10000	75
Gambar 4.9 Perbandingan indeks pencampuran untuk kasus tanpa <i>static mixer</i> , dengan <i>static mixer</i> , dan dengan <i>dynamic mixer</i> pada kondisi GHSV 20000	75
Gambar 4.10 Perbandingan indeks pencampuran untuk kasus tanpa <i>static mixer</i> , dengan <i>static mixer</i> , dan dengan <i>dynamic mixer</i> pada kondisi GHSV 30000	78
Gambar 4.11 Perbandingan indeks pencampuran untuk kasus tanpa <i>static mixer</i> , dengan <i>static mixer</i> , dan dengan <i>dynamic mixer</i> pada kondisi GHSV 40000	78
Gambar 4.12 Kontur tekanan	79
Gambar 4.13 Perbandingan <i>Pressure Drop</i> GHSV 10000, 20000, 30000, dan 40000	79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Berbagai Variasi Solusi Kontrol pada CFD	34
Tabel 3.1 Ukuran <i>grid</i> berdasarkan jumlah sel, sisi, dan nodal.....	47
Tabel 3.2 Koefisien polynomial untuk fluida <i>hot air</i>	49
Tabel 3.3 Koefisien polynomial untuk fluida ammonia.....	49
Tabel 3.4 Variasi laju aliran massa ammonia.....	52

NOMEN KLATUR

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
ν	viskositas kinematis	m^2/s
V	volume	m^3
μ	viskositas dinamik	Ns/m^2
ρ	Densitas	kg/m^3
τ_w	Tegangan geser dinding	N/m^2
Γ	Indeks pencampuran	—