



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**SIMULASI NUMERIK PENGARUH *STATIC MIXER* TERHADAP DISTRIBUSI
AMONIA DALAM SISTEM *NH₃-SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION*
MENGUNAKAN FILTER *DIA-SCHUMALITH* UNTUK APLIKASI
MESIN DIESEL OTOMOTIF**

TUGAS AKHIR

ARIFFAKHRUDIN AL QADRI

L2E 606 016

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

SEMARANG

SEPTEMBER 2011

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada : Nama : Ariffakhrudin Al Qadri

Nim : L2E 606 016

Dosen Pembimbing : Dr. Syaiful, ST, MT

Co. Pembimbing : -

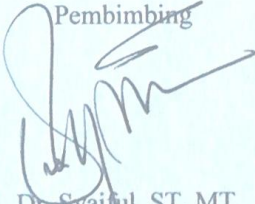
Jangka Waktu :

Judul : **SIMULASI NUMERIK PENGARUH *STATIC MIXER* TERHADAP DISTRIBUSI AMONIS DALAM SISTEM *NH₃-SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION* MENGGUNAKAN FILTER *DIA-SCUMALITH* UNTUK APLIKASI MESIN DIESEL OTOMOTIF**

Isi Tugas :

1. Mengetahui pengaruh penggunaan *static mixer* dalam distribusi amonia pada *NH₃-Selective Catalytic Reduction* menggunakan filter *Dia-Schumalith*.
2. Mengetahui besarnya pressure drop filter *Dia-Schumalith*.


Semarang, September 2011

Pembimbing

Dr. Syaiful, ST. MT

NIP. 197403081999031005

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi/Tesis/Disertasi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**





NAMA : Ariffakhrudin Al Qadri
NIM : L2E 606 016
Tanda Tangan : 
Tanggal : September 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
NAMA : Ariffakhrudin Al Qadri
NIM : L2E 606 016
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Simulasi Numerik Pengaruh *Static Mixer* Terhadap Distribusi Amonia Dalam Sistem *NH₃-Selective Catalytic Reduction* Menggunakan Filter *Dia-Schumalith* Untuk Aplikasi Mesin Diesel Otomotif

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.

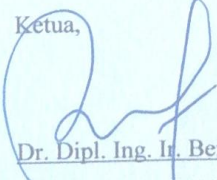
TIM PENGUJI

Pembimbing	: Dr. Syaiful, ST. MT	()
Penguji	: Dr. Ir. Eflita Yohana, MT	()
Penguji	: Khoiri Rozi, ST. MT	()
Penguji	: Dr. Sulardjaka, ST. MT	()

Semarang, September 2011

Jurusan Teknik Mesin

Ketua,


Dr. Dipl. Ing. Ii. Berkah Fadjar TK

NIP. 195907221987031003

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Ariffakhrudin Al Qadri
NIM : L2E 606 016
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Universitas Diponegoro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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 Pengaruh *Static Mixer* Terhadap Distribusi Amonia Dalam Sistem *NH₃-Selective Catalytic Reduction* Menggunakan Filter *Dia-Schumalith* Untuk Aplikasi Mesin Diesel Otomotif

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 memublikasikan 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 : September 2011

Yang menyatakan



(Ariffakhrudin Al Qadri)
L2E 606 016

MOTTO

“HIDUP ADALAH SUATU PERJUANGAN YANG
DILAKUKAN DENGAN PENUH KEIKHLASAN DENGAN
MENGHARAP RIDHO DAN KARUNIA SANG ILLAHI
RABBI“

“BERANILAH UNTUK BERMIMPI BESAR KARENA ITU
ADALAH SEBUAH DOA“

PERSEMBAHAN

**“KUPERSEMBAHKAN PENELITIAN INI UNTUK
KEDUA ORANG TUA ABAH DAN UMI SERTA
KEDUA ADIKKU YANG SAYA CINTAI KARENA
ALLAH DAN SELURUH UMAT MANUSIA SEBAGAI
KHALIFAH DI MUKA BUMI”**

ABSTRAK

Adanya distribusi amonia akan mengurangi efek gas Nitrogen oksida (NO_x) yang dihasilkan dari pembakaran mesin diesel. Untuk mempresentasikan distribusi amonia tersebut dilakukan dengan pemodelan sistem NH₃-SCR dengan CFD-3D. Dalam pemodelan sistem NH₃-SCR membandingkan efek penggunaan *static mixer* untuk mengetahui distribusi amonia yang terjadi dan besarnya *pressure drop* yang terjadi pada *catalys Dia-schumalith filter*. Fluida kerja udara panas dengan temperatur 450 K dan gas amonia dengan temperatur 300 K. Kecepatan fluida masuk pada sisi inlet pipa SCR dan injeksi amonia divariasikan pada berbagai GHSV. Pemodelan yang digunakan adalah $k-\varepsilon$ model, aliran *incompressible flow* dan dengan material properties polynomial berdasar fungsi temperatur. Dengan variasi GHSV 10000, 20000, 30000, dan 40000. Dari pemodelan tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa dengan adanya penggunaan *static mixer* berpengaruh terhadap persentase kenaikan *mixing index* yang terjadi dan semakin besar GHSV *pressure drop* pada *dia-schumalith* semakin besar.

Kata Kunci: NH₃-SCR, *static mixer*, GHSV, *mixing indeks* dan *pressure drop*.

ABSTRAC

The distribution of ammonia gas will reduce the effect of nitrogen oxides (NO_x) resulting from the combustion of diesel engines. To present the distribution by modeling the ammonia NH₃-SCR system with 3D-CFD. In the NH₃-SCR system modeling to compare the effects of the use of static mixers to know the distribution and magnitude of ammonia occurring pressure drop that occurs in catalys Dia-schumalith filter. Working fluid temperature of hot air with 450 K and ammonia gas with a temperature 300 K. Fluid velocity at the inlet pipe into the SCR and ammonia injection be varied at different GHSV. Modeling that is used is k-ε model, incompressible flow and with material properties based polynomial function of temperature. With variations GHSV 10000, 20000, 30000, and 40000. Of modeling can be concluded that with the use of static mixers mixing effect on the percentage increase that occurred index and the greater of GHSV, pressure drop on the Dia-scumalith filter increases.

Key word: NH₃-SCR, static mixer, GHSV, mixing indeks dan pressure drop.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat, taufik, hidayah dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya. Tugas Akhir yang berjudul **“Simulasi Numerik Pengaruh *Static Mixer* Terhadap Distribusi Amonia Dalam Sistem *NH₃-Selective Catalytic Reduction* Menggunakan Filter *Dia-Schumalith* Untuk Aplikasi Mesin Diesel Otomotif”** 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 seperjuangan dalam Tugas Sarjana Armansyah, Triadi Yudantoro, Roby Sugiyana, Iseu Andriani, I Made Dewa Agung, Suparno“*thanks for all* atas bantuan dan kerjasamanya selama ini, *good luck for you guys*”

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 PUBLIKASI.....	v
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK.....	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
NOMENKLATUR.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. LatarBelakang.....	1
1.2. Alasan Pemilihan Judul.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Metode Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	6
2.1. Mesin Diesel.....	6
2.2. Emisi dan PolusiUdara.....	9
2.3. Standar Emisi Eropa.....	11
2.4. <i>Selective Catalytic Converter (SCR)</i>	13
2.5. <i>Dia-scumalith Filter</i>	16
2.6. Definisi Fluida.....	17
2.6.1. Klasifikasi Aliran Fluida.....	18

2.6.1.1.	Aliran Viskos dan Non-viskos (<i>Viscous and Inviscid Flow</i>).....	18
2.6.1.2.	Aliran Laminer dan Turbulen (<i>Laminar and Turbulent Flow</i>).....	19
2.6.1.3.	Aliran Mampu-mampat dan Tak Mampu-mampat (<i>Compressible and Incompressible Flow</i>).....	20
2.6.1.4.	Aliran Dalam dan Luar (<i>Internal and Eksternal Flow</i>).....	21
2.6.2.	Aliran di Dalam Pipa	22
2.6.3.	Viskositas.....	24
2.7.	Persamaan Pembangunan untuk Aliran Fluida	26
2.7.1.	Persamaan Kontinuitas	26
2.7.2.	Persamaan Momentum	28
2.7.3.	Hukum Kekekalan Energi.....	32
2.7.4.	Model Aliran Turbulen, <i>Standard k-ε</i>	33
2.8.	<i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i>	34
2.8.1.	Metode Numerik pada CFD.....	35
2.8.1.1.	<i>Solver Segregated</i>	36
2.8.1.2.	<i>Solver Coupled</i>	38
2.8.2.	Solusi Kontrol.....	39
2.8.3.	Bentuk <i>Grid</i>	40
2.8.4.	<i>Mesh</i>	42
2.8.4.1.	Kerapatan Nodal.....	42
2.8.4.2.	Kehalusan (<i>Smoothness</i>)	42
2.8.4.3.	Bentuk <i>Cell</i>	42
2.8.5.	Adaptasi <i>Grid</i>	43
2.8.5.1.	Proses Adaptasi	43
2.8.6.	Intensitas Turbulen (<i>Turbulent Intensity</i>)	44
2.8.7.	<i>Gas Hourly Space Velocity (GHSV)</i>	44
2.8.8.	<i>Species Transport</i>	44
2.8.9.	<i>Porous Media</i>	45
2.9.	Indeks Pencampuran (<i>Mixing Index</i>).....	46

BAB III SIMULASI DAN METODE KOMPUTASI	48
3.1. Langkah Pengerjaan	48
3.2. Diagram Alir Pemodelan Aliran.....	49
3.3. Simulasi Aliran pada Sistem <i>Selective Catalytic Reduction</i>	51
3.3.1. Deskripsi Masalah	51
3.3.2. Penggenarasian <i>Mesh</i>	52
3.3.3. Simulasi CFD	54
3.3.3.1. Solver dan Material	55
3.3.3.2. Pendefinisian Kondisi Batas	58
3.3.3.3. Proses Simulasi	62
3.3.4. Verifikasi Hasil Simulasi.....	62
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	68
4.1 Hasil Simulasi.....	68
4.1.1 Indeks Pencampuran (<i>Mixing Index</i>)	68
4.1.1.1. Visualisasi Kontur Kecepatan	69
4.1.1.2. Visualisasi Vektor Kecepatan	74
4.1.1.3. Visualisasi Kontur Intensitas Turbulen.....	78
4.1.1.4. Visualisasi Kontur Distribusi Fraksi Massa Ammonia	83
4.1.1.5. Grafik <i>Mixing Index</i>	85
4.1.1.6. Grafik Perbandingan <i>Mixing Index</i>	88
4.1.2 <i>Pressure Drop</i>	93
4.1.2.1. Visualisasi Kontur Tekanan.....	93
4.1.2.2. Grafik <i>Pressure Drop</i>	95
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	97
5.1 Kesimpulan.....	97
5.2 Saran	97
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem kerja mesin diesel empat langkah (<i>four-stroke engine</i>).....	8
Gambar 2.2 Hasil dari emisi dan polusi udara kendaraan.....	9
Gambar 2.3 Kontribusi kendaraan terhadap permasalahan polusi udara.....	11
Gambar 2.4 Standar emisi NO _x dan PM untuk kendaraan bermesin diesel.....	13
Gambar 2.5 Skema aplikasi sistem <i>selective catalytic reduction</i> pada <i>automotive</i>	14
Gambar 2.6 <i>catalytic converter</i> dengan <i>spheres</i> atau <i>pellets</i>	15
Gambar 2.7 <i>catalytic converter</i> dengan <i>ceramic monolithic</i>	15
Gambar 2.8 <i>Three- Way Catalytic Converter Automotive</i>	16
Gambar 2.9 <i>Dia-schumalith</i>	17
Gambar 2.10 Efek dari (a) benda padat (<i>solid</i>) dan (b) fluida, jika diberikan gaya geser yang konstan.....	18
Gambar 2.11 Klasifikasi aliran fluida	18
Gambar 2.12 Tiga kondisi pada aliran viscous; (a) aliran laminar (b) aliran transisi dan (c) aliran turbulen.....	19
Gambar 2.13 (a) Aliran luar (<i>external flow</i>) dan (b) aliran dalam (<i>internal flow</i>)	22
Gambar 2.14 Daerah masuk aliran sedang berkembang dan aliran berkembang penuh didalam system pipa	23
Gambar 2.15 Profil kecepatan aliran dalam pipa (a) laminar berkembang penuh (b) turbulen berkembang penuh	24
Gambar 2.16 Deformasi elemen fluida	25
Gambar 2.17 Aliran massa masuk dan keluar dari elemen fluida.....	26
Gambar 2.18 Gaya-gaya pada permukaan elemen fluida	30
Gambar 2.19 Skema metode <i>solver segregated</i>	37
Gambar 2.20 Skema metode <i>solver coupled</i>	39
Gambar 2.21 Tipe <i>cell</i> 2D.....	41
Gambar 2.22 Tipe <i>cell</i> 3D.....	41
Gambar 2.23 <i>Grid</i> 3D: <i>tetrahedral</i> tak terstruktur dan <i>polyhedral</i>	41

Gambar 2.24 <i>Grid</i> 2D: <i>quadrilateral</i> terstruktur dan <i>triangular</i> tak terstruktur	41
Gambar 3.1 Diagram Alir Pemodelan Aliran	50
Gambar 3.2 Model geometri 3D SCR.....	52
Gambar 3.3 <i>Meshing</i>	53
Gambar 3.4 Pemberian kondisi-kondisi batas.....	53
Gambar 3.5 Jendela pendefinisian material	57
Gambar 3.6 Jendela pendefinisian zona sel <i>porous zone</i>	58
Gambar 3.7 Kondisi batas untuk domain komputasi sistem NH ₃ -SCR.....	59
Gambar 3.8 Jendela pendefinisian kondisi batas <i>velocity inlet</i>	59
Gambar 3.9 Jendela pendefinisian kondisi batas <i>pressure outlet</i>	60
Gambar 3.10 Jendela pendefinisian kondisi batas <i>mass flow rate</i>	61
Gambar 3.11 Iterasi telah mencapai kriteria konvergensi 1e-04.....	62
Gambar 3.12 Grafik <i>skin friction coefficient</i> GHSV 10000.....	63
Gambar 3.13 Grafik <i>skin friction coefficient</i> GHSV 20000.....	64
Gambar 3.14 Grafik <i>skin friction coefficient</i> GHSV 30000.....	65
Gambar 3.15 Grafik <i>skin friction coefficient</i> GHSV 40000.....	66
Gambar 3.16 Grafik <i>friction factor vs Reynolds number</i>	67
Gambar 4.1 Visualisasi Kontur Kecepatan	71
Gambar 4.2 Visualisasi Vektor kecepatan	77
Gambar 4.3 Visualisasi Kontur Intensitas Turbulensi	82
Gambar 4.4 Visualisasi Didtribusi Fraksi Massa Ammonia.....	84
Gambar 4.5 Grafik <i>Mixing index</i> Ammonia dengan Gas Buang	87
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan <i>Mixing Index</i> Ammonia Dengan Gas Buang Variasi Tanpa <i>Mixer</i> , <i>Static Mixer</i> , <i>Straight Mixer</i> dan <i>Twisted Mixer</i>	90
Gambar 4.7 Visualisasi Kontur Tekanan	94
Gambar 4.8 Grafik <i>Pressure Drop</i>	95

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standart Emisi Eropa dan Standart Emisi California	12
Tabel 2.2 Berbagai Variasi Solusi Kontrol pada Program CFD	40
Tabel 3.1 Ukuran <i>grid</i> berdasarkan jumlahsel, sisi, dan nodal	54
Tabel 3.2 Koefisien polynomial untuk fluida <i>hot air</i>	56
Tabel 3.3 Koefisien polynomial untuk fluida ammonia.....	57
Tabel 3.4 Variasi laju aliran massa ammonia.....	61

NOMEN KLATUR

A	Luasan	m^2
C	Konsentrasi fraksi massa	—
C_0	Konsentrasi fraksi massa rata-rata	—
E	Energi dalam per satuan massa	Nm/kg
F	Gaya	N
I	Intensitas turbulen	%
L	Panjang pipa	m
Q	Laju aliran	m^3/h
Γ	Indeks pencampuran	—
\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
$\frac{du}{dy}$	Gradien kecepatan	m/s