



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**EFEK *DYNAMIC MIXER* TERHADAP DISTRIBUSI AMONIA
PADA SISTEM NH_3 -SCR *CATALYTIC FILTER* MENGGUNAKAN
DIA-SCHUMALITH *FILTER* UNTUK APLIKASI MESIN
OTOMOTIF DENGAN SIMULASI NUMERIK**

TUGAS AKHIR

TRIADI YUDANTORO

L2E 006 087

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN**


**SEMARANG
SEPTEMBER 2011**

TUGAS SARJANA

- Diberikan kepada : Nama : Triadi Yudantoro
NIM : L2E006087
- Dosen Pembimbing : Dr. Syaiful, ST, MT
- Jangka Waktu : Dua belas (12) bulan.
- Judul : Efek *Dynamic Mixer* Terhadap Distribusi Amonia Pada Sistem NH_3 -SCR *Catalytic Filter* Menggunakan DIA-Schumalith *Filter* Untuk Aplikasi Mesin Otomotif Dengan Simulasi Numerik.
- Isi Tugas : Simulasi numerik aliran pada sistem NH_3 -SCR *catalytic filter* yang menggunakan DIA-Schumalith *filter* dengan *software Computational Fluid Dynamic* sehingga didapatkan nilai *flow mixing index ratio* antara gas buang dengan amonia dan nilai *pressure drop* pada DIA-Schumalith *filter*.

Semarang, September 2011

Dosen pembimbing



Dr. Syaiful, ST, MT


NIP. 197403081999031005

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi/Tesis/Desertasi ini adalah hasil karya saya sendiri,
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
Telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Triadi Yudantoro

NIM : L2E006087

Tanda Tangan : 

Tanggal : September 2011


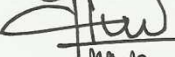


HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Triadi Yudiantoro
NIM : L2E006087
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Efek *Dynamic Mixer* Terhadap Distribusi Amonia Pada Sistem *NH₃-SCR Catalytic Filter* Menggunakan *DIA-Schumalith Filter* Untuk Aplikasi Mesin Otomotif Dengan Simulasi Numerik.

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

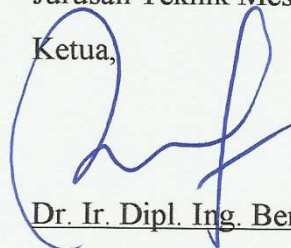
TIM PENGUJI

Pembimbing	: Dr. Syaiful, ST, MT	()
Penguji	: Muchammad, ST, MT	()
Penguji	: Dr. Sri Nugroho, ST, MT	()
Penguji	: Dr. Susilo Adi Widyanto, ST, MT	()

Semarang, September 2011

Jurusan Teknik Mesin

Ketua,



Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar 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 : TRIADI YUDANTORO
NIM : L2E006087
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN
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:

Efek *Dynamic Mixer* Terhadap Distribusi Amonia Pada Sistem NH_3 -SCR *Catalytic Filter* Menggunakan DIA-Schumalith *Filter* Untuk Aplikasi Mesin Otomotif Dengan 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 beserta Dr. Syaiful, ST, MT selaku pembimbing tugas akhir saya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : September 2011

Yang menyatakan



Triadi Yudantoro
NIM: L2E006087

ABSTRAK

Tingginya harga bahan bakar minyak dunia memacu industri otomotif untuk menghasilkan produk-produk kendaraan transportasi dengan konsumsi bahan bakar yang efisien. Selain itu, kendaraan yang diciptakan juga harus memiliki kadar emisi gas buang yang rendah karena berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Oksida nitrogen (NO_x) merupakan salah satu komponen dari gas buang mesin diesel yang dibatasi kadar emisinya. Teknologi pada mesin diesel yang mampu mengurangi emisi NO_x yaitu *NH₃-Selective Catalytic Reduction* (NH_3 -SCR). Namun demikian, dalam menerapkan teknologi tersebut pada bidang otomotif memiliki tantangan berupa batasan ruang dan adanya *pressure drop* yang dihasilkan.

Penelitian tentang karakteristik aliran di dalam NH_3 -SCR diutamakan pada keseragaman aliran antara gas buang dan amonia serta nilai rugi tekan yang dihasilkan oleh DIA-Schumalith *filter* yang digunakan dalam desain alat tersebut. Penelitian dilakukan dengan membandingkan desain alat yang menggunakan *dynamic mixer* dan yang tidak menggunakannya dengan variasi kecepatan aliran. Metode penelitian yang dipakai melalui *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan kriteria aliran menggunakan model energi, model *viscous standard k- ϵ* dan model *species transport*.

Dalam penelitian ini, keseragaman aliran diukur melalui perhitungan *mixing index ratio* antara gas buang dengan amonia. Hasil perhitungan *mixing index ratio* menunjukkan bahwa pada desain alat yang menggunakan *dynamic mixer* memiliki keseragaman aliran yang lebih baik. Nilai *pressure drop* diukur pada bagian sebelum dan sesudah melewati DIA-Schumalith *filter*. Dari penelitian diperoleh nilai *pressure drop* yang berbanding lurus dengan kecepatan aliran gas buang. Semakin tinggi kecepatan aliran gas buang maka nilai *pressure drop* semakin besar.

Kata kunci: *NH₃-Selective Catalytic Reduction* (NH_3 -SCR), *Computational Fluid Dynamics* (CFD), *mixing index ratio*, *pressure drop*, DIA-Schumalith *filter*

ABSTRACT

The high cost of gasoline triggered automotive industries to produce vehicles with a good efficiency on gasoline consumption. Besides, the vehicles must be have a lower emission due to hazardous for human health and environment. The nitrogen okside, NO_x was a component of diesel exhaust that have emission restriction. The technology on diesel engine that can reduce NO_x emissions is *NH₃-Selective Catalytic Reduction* (NH_3 -SCR). However, on applying this technology on automotive field carries technical challenges on space requirement and a value of pressure drop be produced.

The experiment to determine flow characteristics in NH_3 -SCR system was focused on generating an uniform flow between exhaust gas and ammonia besides the pressure drop caused by DIA-Schumalith filter that used on this device. The experiment was held to compare both of design with and without dynamic mixer using the variation of flow velocity. The experiment method uses Computational Fluid Dynamics (CFD) with flow criteria involving energy, standard k - ϵ and species transport model.

For this experiment, the flow uniformity discribed within the calculation of mixing index ratio between exhaust gas and ammonia. The mixing index ratio showed a better uniformity on the design that using dynamic mixer. The value of pressure drop was measured on the flow passing the DIA-Schumalith filter. The pressure drop is proportional to exhaust velocity based on this experiment. The higher exhaust gas flow velocity gives an increasing pressure drop.

Keywords: NH_3 -Selective Catalytic Reduction (NH_3 -SCR), Computational Fluid Dynamics (CFD), mixing index ratio, pressure drop, DIA-Schumalith filter

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto:

“Victory Loves Preparation”

“Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya, Ayahanda Sudarno (Alm) dan Ibunda Kustini.”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang atas berkah dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini yang dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Pendidikan Tingkat Sarjana Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Dalam kesempatan ini, saya ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya dan rasa hormat saya kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dorongan selama penyusunan Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Bapak Dr. Syaiful, ST, MT selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan kepada saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Armansyah, Robi, Iseu, Qadri, mas Suparno, Agung dan teman-teman seangkatan 2006 serta semua pihak yang telah membantu atas terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Dengan penuh kerendahan hati, saya menyadari kekurangan dan keterbatasan kemampuan saya dalam pengerjaan dan penyusun Tugas Akhir ini sehingga Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, karena itu saya sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak demi kemajuan saya untuk masa depan yang lebih baik.

Semarang, September 2011

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TUGAS SARJANA	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
NOMENKLATUR	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Alasan Pemilihan Judul	2
1.3 Tujuan Penulisan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metode Penulisan	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Teori Mesin Diesel	5
2.2 Komponen Gas Buang Mesin Diesel	7
2.3 Sistem <i>NH₃-Selective Catalytic Converter</i>	8
2.4 Klasifikasi Aliran	11
2.4.1 Aliran <i>Inviscid</i> dan <i>Viscous</i>	14
2.4.2 Aliran Laminar dan Turbulen	15
2.4.3 Aliran Kompresibel dan Inkompresibel	17
2.4.4 Aliran Internal dan Eksternal	18
2.5 Sifat-Sifat Fluida	19

2.5.1	Densitas	19
2.5.2	Berat Jenis	19
2.5.3	<i>Specific Gravity</i>	20
2.5.4	Tekanan	20
2.5.5	Viskositas	20
2.6	Teori Dasar Aliran Fluida	21
2.6.1	Konservasi Massa	21
2.6.2	Persamaan Momentum Linier	24
2.6.3	Persamaan Energi	26
2.6.4	Persamaan <i>Species Transport</i>	29
2.7	Aliran Berkembang Penuh (<i>Fully Developed Flow</i>)	29
2.7.1	<i>Entrance Region</i>	30
2.7.2	Tegangan Geser Turbulen (<i>Turbulent Shear Stress</i>)	31
2.7.3	Intensitas Turbulensi	34
2.8	<i>Computational Fluid Dynamics</i>	34
2.9	Pemodelan Aliran Pada Program CFD	38
2.9.1	<i>Solver</i> Pada Program CFD	38
2.9.2	Diskretisasi	40
2.9.3	<i>First-Order Upwind</i>	42
2.9.4	Bentuk Linier Persamaan Diskret	42
2.9.5	Memodelkan Aliran Dengan <i>Rotating Reference Frame</i>	42
2.9.6	Model Turbulen <i>Standard k - ε</i>	44
2.9.7	Jenis <i>Grid</i>	46
2.9.8	Adapsi <i>Grid</i>	47
2.9.8.1	<i>Hanging Node Adaption</i>	47
2.9.8.2	<i>Boundary Adaption</i>	49
2.9.8.3	Adapsi y^+ dan y^*	49
BAB III	SIMULASI NUMERIK	51
3.1	Desain Aliran	51
3.2	Diagram Alir Pemodelan Aliran	52
3.3	Tahapan Simulasi Numerik	54

3.3.1 Pembuatan Geometri Aliran	54
3.3.2 Penggenerasian <i>Mesh</i>	55
3.3.3 Proses Numerik	57
3.3.4 Pemeriksaan Hasil Simulasi Aliran	64
3.4 Validasi	65
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	71
4.1 <i>Plot</i> Kontur Kecepatan Pada Tiap Variasi GHSV	72
4.2 <i>Plot</i> Vektor Kecepatan Pada Tiap Variasi GHSV	77
4.3 <i>Plot</i> Kontur Fraksi Massa Amonia Pada Tiap Variasi GHSV	82
4.4 <i>Plot</i> Kontur Intensitas Turbulensi Aliran Pada Tiap Variasi GHSV	87
4.5 Grafik <i>Mixing Index</i> Amonia Dengan Gas Buang Pada Tiap Variasi GHSV	92
4.6 Grafik Perbandingan <i>Mixing Index</i> Amonia Dengan Gas Buang Variasi <i>Dynamic Mixer</i>	95
4.7 Grafik <i>Pressure Drop</i> Pada Variasi GHSV	98
BAB V PENUTUP	100
5.1 Kesimpulan	100
5.2 Saran	100
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus kerja mesin diesel 4 langkah	5
Gambar 2.2 Skema NH ₃ -SCR	9
Gambar 2.3 Zat padat dan fluida dipengaruhi gaya geser konstan	12
Gambar 2.4 Klasifikasi aliran fluida	14
Gambar 2.5 Aliran udara inkompresibel di sekitar bola	14
Gambar 2.6 Skema <i>boundary layer</i>	15
Gambar 2.7 Aliran laminar dan turbulen dalam pipa	16
Gambar 2.8 Aliran di dalam pipa	18
Gambar 2.9 Aliran di sekitar bola	19
Gambar 2.10 Sistem dan kontrol volume pada tiga waktu berbeda	23
Gambar 2.11 Gaya-gaya dari luar yang beraksi pada sistem dan kontrol volume saat bersamaan	25
Gambar 2.12 Daerah masuk, aliran berkembang dan aliran berkembang penuh dalam pipa	30
Gambar 2.13 Pergerakan acak molekul fluida pada daerah yang dipengaruhi tegangan geser laminar	31
Gambar 2.14 Aliran turbulen dalam bentuk yang acak, <i>three-dimensional eddy</i>	31
Gambar 2.15 Struktur aliran turbulen di dalam pipa	32
Gambar 2.16 Prosedur metode <i>segregated</i>	38
Gambar 2.17 Prosedur metode <i>coupled</i>	39
Gambar 2.18 <i>Stationary and rotating coordinate system</i>	43
Gambar 2.19 Jenis-jenis grid	46
Gambar 2.20 Contoh salah satu <i>hanging node</i>	47
Gambar 2.21 <i>Hanging Node Adaption</i> untuk tipe sel 2D	48
Gambar 2.22 <i>Hanging Node Adaption</i> untuk tipe sel 3D	48
Gambar 2.23 Hasil adaptasi menggunakan y^+	50
Gambar 3.1 Desain aliran pada sistem NH ₃ -SCR	51
Gambar 3.2 Diagram alir pemodelan aliran	53
Gambar 3.3 Geometri aliran secara keseluruhan	54

Gambar 3.4 Hasil proses <i>meshing</i>	55
Gambar 3.5 Pendefinisian bidang batas	56
Gambar 3.6 Pengecekan <i>mesh</i>	57
Gambar 3.7 Pengecekan faktor <i>skewness</i>	58
Gambar 3.8 Pengaturan satuan	58
Gambar 3.9 Pemilihan model <i>viscous</i>	59
Gambar 3.10 Pemilihan model <i>species transport</i>	59
Gambar 3.11 <i>Input</i> kalor spesifik fluida <i>hot air</i> dalam fungsi polinomial	60
Gambar 3.12 <i>Input</i> konduktifitas termal fluida <i>hot air</i> dalam fungsi polinomial	60
Gambar 3.13 <i>Input</i> viskositas fluida <i>hot air</i> dalam fungsi polinomial	60
Gambar 3.14 <i>Input</i> pada zona sel <i>dynamic mixer</i>	61
Gambar 3.15 <i>Input</i> pada bidang batas <i>velocity inlet</i>	62
Gambar 3.16 <i>Input</i> pada bidang batas <i>pressure outlet</i>	62
Gambar 3.17 <i>Input</i> pada bidang batas <i>mass flow inlet</i>	63
Gambar 3.18 Kondisi batas pada <i>wall</i> bagian <i>dynamic mixer</i>	64
Gambar 3.19 <i>Pathlines</i> yang menunjukkan aliran berputar	65
Gambar 3.20 <i>Friction coefficient</i> pada GHSV 10000	66
Gambar 3.21 <i>Friction coefficient</i> pada GHSV 20000	67
Gambar 3.22 <i>Friction coefficient</i> pada GHSV 30000	68
Gambar 3.23 <i>Friction coefficient</i> pada GHSV 40000	69
Gambar 3.24 Grafik hubungan bilangan Reynolds dengan <i>friction factor</i>	70
Gambar 4.1 <i>Plot</i> kontur kecepatan tanpa <i>dynamic mixer</i> pada GHSV 10000	72
Gambar 4.2 <i>Plot</i> kontur kecepatan dengan <i>dynamic mixer</i> rpm pada GHSV 10000	72
Gambar 4.3 <i>Plot</i> kontur kecepatan tanpa <i>dynamic mixer</i> pada GHSV 20000	73
Gambar 4.4 <i>Plot</i> kontur kecepatan dengan <i>dynamic mixer</i> pada GHSV 20000	73
Gambar 4.5 <i>Plot</i> kontur kecepatan tanpa <i>dynamic mixer</i> pada GHSV 30000	74
Gambar 4.6 <i>Plot</i> kontur kecepatan dengan <i>dynamic mixer</i> pada GHSV 30000	74
Gambar 4.7 <i>Plot</i> kontur kecepatan tanpa <i>dynamic mixer</i> pada GHSV 40000	75
Gambar 4.8 <i>Plot</i> kontur kecepatan dengan <i>dynamic mixer</i> pada GHSV 40000	75
Gambar 4.9 <i>Plot</i> vektor kecepatan pada GHSV 10000	77
Gambar 4.10 <i>Plot</i> vektor kecepatan pada GHSV 20000	78

Gambar 4.11 <i>Plot</i> vektor kecepatan pada GHSV 30000	79
Gambar 4.12 <i>Plot</i> vektor kecepatan pada GHSV 40000	80
Gambar 4.13 <i>Plot</i> kontur fraksi massa amonia pada GHSV 10000	82
Gambar 4.14 <i>Plot</i> kontur fraksi massa amonia pada GHSV 20000	83
Gambar 4.15 <i>Plot</i> kontur fraksi massa amonia pada GHSV 30000	84
Gambar 4.16 <i>Plot</i> kontur fraksi massa amonia pada GHSV 40000	85
Gambar 4.17 <i>Plot</i> kontur intensitas turbulensi tanpa <i>dynamic mixer</i> pada GHSV 10000	87
Gambar 4.18 <i>Plot</i> kontur intensitas turbulensi dengan <i>dynamic mixer</i> pada GHSV 10000	87
Gambar 4.19 <i>Plot</i> kontur intensitas turbulensi tanpa <i>dynamic mixer</i> pada GHSV 20000	88
Gambar 4.20 <i>Plot</i> kontur intensitas turbulensi dengan <i>dynamic mixer</i> pada GHSV 20000	88
Gambar 4.21 <i>Plot</i> kontur intensitas turbulensi tanpa <i>dynamic mixer</i> pada GHSV 30000	89
Gambar 4.22 <i>Plot</i> kontur intensitas turbulensi dengan <i>dynamic mixer</i> pada GHSV 30000	89
Gambar 4.23 <i>Plot</i> kontur intensitas turbulensi tanpa <i>dynamic mixer</i> pada GHSV 40000	90
Gambar 4.24 <i>Plot</i> kontur intensitas turbulensi dengan <i>dynamic mixer</i> pada GHSV 40000	90
Gambar 4.25 Grafik <i>mixing index</i> amonia dengan gas buang pada GHSV 10000	92
Gambar 4.26 Grafik <i>mixing index</i> amonia dengan gas buang pada GHSV 20000	92
Gambar 4.27 Grafik <i>mixing index</i> amonia dengan gas buang pada GHSV 30000	93
Gambar 4.28 Grafik <i>mixing index</i> amonia dengan gas buang pada GHSV 40000	93
Gambar 4.29 Grafik perbandingan <i>mixing index</i> amonia dengan gas buang variasi <i>dynamic mixer</i> pada GHSV 10000	95
Gambar 4.30 Grafik perbandingan <i>mixing index</i> amonia dengan gas buang variasi <i>dynamic mixer</i> pada GHSV 20000	95
Gambar 4.31 Grafik perbandingan <i>mixing index</i> amonia dengan gas buang	

variasi <i>dynamic mixer</i> pada GHSV 30000	96
Gambar 4.32 Grafik perbandingan <i>mixing index</i> amonia dengan gas buang	
variasi <i>dynamic mixer</i> pada GHSV 40000	96
Gambar 4.33 Grafik <i>pressure drop</i> pada variasi GHSV	98

NOMENKLATUR

- Γ = *Flow mixing index*
- γ = Berat jenis (N/m³)
- μ = Viskositas dinamik (N.s/m²)
- ρ = Densitas (kg/m³)
- τ = Tegangan geser fluida (Pa)
- τ_w = Tegangan geser dinding (Pa)
- A = Luas permukaan (m²)
- C = Konsentrasi (1/m³)
- D = Diameter aliran (m)
- F = Gaya (N)
- g = Percepatan gravitasi (m/s²)
- I = Intensitas turbulensi (%)
- le = *entrance length* (m)
- m = Massa (kg)
- M = Bilangan Mach
- p = Tekanan (Pa)
- R = Jari-jari aliran (m)
- Re = Bilangan Reynolds
- U = Kecepatan maksimum (m/s)
- u^* = *friction velocity* (m/s)
- \bar{u} = Kecepatan rata-rata aliran (m/s)
- V = Volume (m³)
- v = Kecepatan (m/s)