



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**EFEK *DYNAMIC TWISTED MIXER* TERHADAP DISTRIBUSI
AMONIA PADA SISTEM NH_3 – *SCR CATALYTIC FILTER*
MENGUNAKAN FILTER *DIA – SCHUMALITH* UNTUK APLIKASI
MESIN DIESEL *AUTOMOTIVE* DENGAN SIMULASI NUMERIK**

TUGAS AKHIR

**ARMANSYAH
L2E006020**

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG
JUNI 2011**



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**EFEK *DYNAMIC TWISTED MIXER* TERHADAP DISTRIBUSI
AMONIA PADA SISTEM NH_3 – *SCR CATALYTIC FILTER*
MENGUNAKAN FILTER *DIA – SCHUMALITH* UNTUK
APLIKASI MESIN DIESEL *AUTOMOTIVE* DENGAN
SIMULASI NUMERIK**

TUGAS AKHIR

ARMANSYAH

L2E006020

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG
JUNI 2011**

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada :

Nama : Armansyah

N I M : L2E006020

Dosen Pembimbing : Dr. Syaiful, ST, MT

Jangka waktu : 6 (enam) bulan

Judul : **Efek *Dynamic Twisted Mixer* Terhadap Distribusi Amonia Pada Sistem NH_3 -SCR Catalytic Filter Menggunakan Filter *Dia-Schumalith* untuk Aplikasi Mesin Diesel Automotive Dengan Simulasi Numerik**

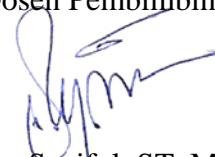
Isi tugas :

1. Memodelkan sistem NH_3 -SCR Catalytic Filter menggunakan ANSYS FLUENT 12.
2. Pengaruh penambahan perangkat *twisted mixer* didalam saluran gas buang terhadap distribusi amonia.
3. Pengaruh *straight mixer* dengan *twisted mixer* dalam upaya peningkatan indeks pencampuran.
4. Memplot kontur fraksi massa amonia, kecepatan, intensitas turbulen, dan tekanan statik.
5. Memplot grafik penurunan tekanan pada filter *Dia-Schumalith*.

Semarang, 1 Juli 2011

Menyetujui,

Dosen Pembimbing



Dr. Syaiful, ST, MT

NIP: 197403081999031005

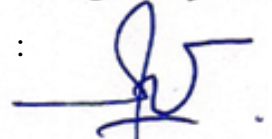
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Armansyah

NIM : L2E006020

Tanda Tangan :



Tanggal : 1 Juli 2011


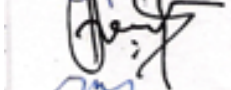

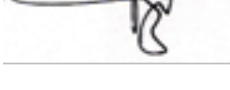
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Armansyah
NIM : L2E006020
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Efek *Dynamic Twisted Mixer* Terhadap Distribusi Amonia pada Sistem *NH₃-SCR Catalytic Filter* Menggunakan Filter *Dia-Schumalith* untuk Aplikasi Mesin Diesel *Automotive* 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 | : Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT | () |
| Penguji | : Dr. Rusnaldy, ST, MT | () |
| Penguji | : Dr. Achmad Widodo, ST, MT | () |

Semarang, 1 Juli 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 dibawah ini :

Nama : ARMANSYAH
NIM : L2E006020
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Jenis Karya : SKRIPSI

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

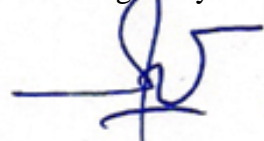
Efek *Dynamic Twisted Mixer* Terhadap Distribusi Amonia pada Sistem NH_3 -SCR Catalytic Filter Menggunakan Filter *Dia-Schumalith* untuk Aplikasi Mesin Diesel Automotive dengan Simulasi Numerik

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneklusif 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 : 1 Juli 2011

Yang menyatakan



Armansyah

NIM: L2E006020

ABSTRAK

Pemanasan global saat ini sudah semakin mengganggu kehidupan manusia, salah satu penyebab dari pemanasan global ini adalah pencemaran udara yang diakibatkan oleh gas buang kendaraan. Salah satu usaha untuk mengurangi polusi udara yang disebabkan oleh kendaraan khususnya yang bermesin diesel, diperlukan adanya sebuah alat untuk mengkonversikan polusi tersebut menjadi unsur yang ramah lingkungan. Alat tersebut adalah *Selective Catalytic Reduction* (SCR), yaitu merupakan suatu alat yang mengubah nitrogen oksida (NO_x) dengan bantuan dari katalis, sehingga menjadi nitrogen diatomik (N_2) dan uap air (H_2O). Bahan pereaksi (*reagent*) yang biasa digunakan dalam sistem SCR adalah amonia (NH_3), *reagent* ini akan ditambahkan ke aliran gas buang kemudian diserap ke sebuah filter. Untuk lebih mempercepat proses pencampuran *reagent* dengan gas buang maka ditambahkan sebuah perangkat *twisted mixer* pada saluran gas buang (knalpot). Simulasi pencampuran spesies dilakukan untuk mengetahui besarnya indeks pencampuran dan karakteristik aliran yang terjadi akibat penambahan perangkat *twisted mixer* pada sistem SCR.

Dari hasil simulasi diperoleh kontur distribusi amonia berdasarkan fraksi massa amonia kemudian dilakukan perhitungan nilai indeks pencampuran pada sistem SCR tersebut. Dengan penambahan perangkat *twisted mixer* menghasilkan indeks pencampuran yang lebih tinggi pada jarak yang relatif pendek. Pada GHSV 10000 indeks pencampuran mencapai 0,900 pada sistem dengan perangkat *twisted mixer* dan 0,822 pada sistem tanpa *twisted mixer*. Kenaikan indeks pencampuran pada daerah lokasi *twisted mixer* mencapai 137,2% dari perangkat tanpa *twisted mixer*.

Dengan penambahan *straight delta wings mixer* sebagai upaya untuk meningkatkan indeks pencampuran, aliran turbulen yang dihasilkan sangat berguna untuk peningkatan indeks pencampuran pada jarak yang relatif dekat. Selain aliran turbulen, aliran berputar juga merupakan kontributor yang utama dalam peningkatan indeks pencampuran dan berguna untuk peningkatan indeks pencampuran pada jarak yang lebih jauh.

Porous media yang digunakan dalam sistem SCR yang dibahas pada studi kasus Tugas Akhir ini adalah *Dia-Schumalith*. Elemen penyaring pada *Dia-Schumalith* ini sudah teruji sebagai penyaring partikel dari pembuangan gas dengan temperatur tinggi.

Kata kunci: Pemodelan CFD, *Selective Catalytic Reduction*, *Dia-Schumalith filter*, *aftertreatment system*.

ABSTRACT

Nowadays global warming is increasingly interfere with human life, one of the causes of global warming is air pollution caused by exhaust gas from the vehicle. An effort to reduce air pollution caused by diesel engine needed a tool to convert pollutants into green elements. The tool is Selective Catalytic Reduction (SCR), which is a tool that can converts nitrogen oxides (NO_x) with catalyst equipment to become diatomic nitrogen (N_2) and water vapor (H_2O). The reagents which is used in SCR systems is ammonia (NH_3), this reagent is added to the exhaust gas stream. To speed up the process of mixing the reagent as a species injection with the exhaust gas then applied a twisted mixer device in the exhaust gas flow. Simulation of species mixing is to determine the mixing index and flow characteristics that occur due to the twisted mixer device in the SCR system.

From the simulation, the result is a contour of ammonia mass fraction, and then calculating the value of mixing index in the SCR system. With the twisted mixer equipment, higher mixing index can be achieved in a relatively short distance. At GHSV 10000 mixing index reached 0.900 in the SCR system with twisted mixer and 0.822 in the SCR system without twisted mixer. The increase of the mixing index in the region where twisted mixer has applied can be reached 137.2% of the SCR system without twisted mixer.

By applying a straight delta wings mixer the improvement of flow mixing can be achieved. The turbulent flow generated by straight delta wings is proved to be very useful for significant mixing enhancement within a short distance. Beside turbulent flow, swirling flow is another major contributor for higher flow mixing index and useful for mixing enhancement through longer distance.

Porous medium used in this project is Dia-Schumalith filter. The element filters of Dia-Schumalith has been tested as a filter particles from the exhaust gas with high temperature.

Keywords: *CFD Modeling, Selective Catalytic Reduction, Dia-Schumalith filter, aftertreatment system.*

HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

Modal yang diperlukan untuk memulai suatu kemajuan adalah kemauan, keberanian, dan pengetahuan. Sedangkan kekuatan untuk mempertahankannya adalah kejujuran, inovasi, dan kesabaran.

PERSEMBAHAN

Ku Persembahkan Tugas Sarjana ini kepada :
Ayahanda Ir. H. BUCHARI ALI, MSc dan Ibunda Hj. ROSMADAH
Adinda RIZKY JANUARSYAH

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan mendapatkan banyak ilmu pengetahuan dan pengalaman, serta pada akhirnya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang merupakan tahap akhir dari proses untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan orang-orang yang dengan segenap hati memberikan bantuan, bimbingan dan dukungan, baik moral maupun material. Oleh karenanya, pada kesempatan ini penulis menghaturkan ucapan terima kasih kepada:

1. Dr. Syaiful, ST, MT selaku dosen pembimbing, yang telah begitu banyak memberikan bimbingan, pengarahan dan pengetahuan tentang banyak hal kepada penulis, terutama dalam pengerjaan dan penyelesaian Tugas Sarjana ini.
2. Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT selaku koordinator Tugas Sarjana Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
3. Kedua Orang Tua penulis yang tiada henti memberikan semangat, kasih sayang dan do'a restu untuk keberhasilan Ananda.
4. Adinda Rizky Januarsyah atas canda-tawanya serta dorongan semangat.
5. Rekan-rekan Asisten Lab. Proses Produksi (Ghozi Asadasia, Dimas Primasatya ST, Dwi Budi Suyanto, Arif Sudarsono, Wiko Sudiarso) atas diskusinya selama ini serta seluruh rekan-rekan Teknik Mesin 2006.
6. Serta semua pihak yang telah membantu penulis dengan tulus yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi orang yang membacanya dan kelak di kemudian hari ada generasi penerus yang mampu menyempurnakan kekurangan dalam Tugas Akhir ini.

Semarang, 1 Juli 2011

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN TUGAS SARJANA | ii |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS | iii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI | v |
| ABSTRAK | vi |
| ABSTRACT | vii |
| HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN | viii |
| KATA PENGANTAR | ix |
| DAFTAR ISI | x |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| NOMENKLATUR | xvii |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Alasan Pemilihan Judul | 3 |
| 1.3 Tujuan Penulisan | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah | 4 |
| 1.5 Metode Penulisan | 4 |
| 1.6 Sistematika Penulisan..... | 5 |
| | |
| BAB II DASAR TEORI | 6 |
| 2.1 Mesin Pembakaran Dalam (<i>Internal Combustion Engine</i>)..... | 6 |
| 2.1.1 Mesin Diesel | 7 |
| 2.1.2 Prinsip Kerja | 8 |
| 2.1.3 Emisi dan Polusi Udara..... | 9 |
| 2.1.4 Standar Emisi Eropa..... | 10 |
| 2.2 <i>Selective Catalytic Reduction (SCR)</i> | 13 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.2.1 | <i>Catalytic Converter</i> | 14 |
| 2.2.2 | Metode Kimiawi..... | 16 |
| 2.3 | <i>Dia-Schumalith Filter</i> | 16 |
| 2.4 | Definisi Fluida | 17 |
| 2.4.1 | Klasifikasi Aliran Fluida | 18 |
| 2.4.1.1 | Aliran Viskos dan Non-viskos (<i>Viscous and Inviscid Flow</i>)..... | 18 |
| 2.4.1.2 | Aliran Laminer dan Turbulen (<i>Laminar and Turbulent Flow</i>)..... | 19 |
| 2.4.1.3 | Aliran Mampu-mampat dan Tak Mampu-mampat (<i>Compressible and Incompressible Flow</i>)..... | 20 |
| 2.4.1.4 | Aliran Dalam dan Aliran Luar (<i>Internal and External Flow</i>)..... | 21 |
| 2.4.2 | Aliran Dalam Pipa..... | 23 |
| 2.4.3 | Viskositas | 25 |
| 2.5 | Persamaan Pembangun untuk Aliran Fluida | 26 |
| 2.5.1 | Kekekalan Massa | 26 |
| 2.5.2 | Hukum Kedua Newton..... | 29 |
| 2.5.3 | Hukum Kekekalan Energi..... | 32 |
| 2.5.4 | Model Aliran Turbulen, <i>Standard k-ε</i> | 33 |
| 2.6 | <i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i> | 35 |
| 2.6.1 | Metode Numerik pada ANSYS FLUENT | 36 |
| 2.6.1.1 | <i>Solver Segregated</i> | 37 |
| 2.6.1.2 | <i>Solver Coupled</i> | 38 |
| 2.6.2 | Solusi Kontrol | 40 |
| 2.6.2.1 | <i>Simple dan Simplec</i> | 40 |
| 2.6.3 | Bentuk <i>Grid</i> | 40 |
| 2.6.4 | <i>Mesh</i> | 42 |
| 2.6.4.1 | Kerapatan Nodal..... | 42 |
| 2.6.4.2 | Kehalusan (<i>Smoothness</i>) | 43 |
| 2.6.4.3 | Bentuk <i>Cell</i> | 43 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 2.6.5 | Adaptasi <i>Grid</i> | 43 |
| 2.6.5.1 | Proses Adaptasi..... | 44 |
| 2.6.6 | Intensitas Turbulen (<i>Turbulence Intensity</i>)..... | 44 |
| 2.6.7 | <i>Gas Hourly Space Velocity</i> (GHSV)..... | 45 |
| 2.6.8 | <i>Species Transport</i> | 45 |
| 2.6.9 | <i>Porous Media</i> | 45 |
| 2.7 | Indeks Pencampuran (<i>Mixing Index</i>)..... | 47 |
| BAB III SIMULASI DAN METODE KOMPUTASI..... | | 48 |
| 3.1 | Langkah Pengerjaan | 48 |
| 3.2 | Simulasi Aliran Pada Sistem <i>Selective Catalytic Reduction</i> | 50 |
| 3.2.1 | Deskripsi Masalah..... | 50 |
| 3.2.2 | Penggenerasian <i>Mesh</i> | 51 |
| 3.2.3 | Simulasi ANSYS FLUENT | 52 |
| 3.2.3.1 | <i>Solver</i> dan Model Turbulensi | 54 |
| 3.2.3.2 | Pendefinisian Model Fisik..... | 54 |
| 3.2.3.3 | Pendefinisian Kondisi Batas..... | 56 |
| 3.2.3.4 | Proses Simulasi..... | 62 |
| 3.2.4 | Verifikasi Hasil Simulasi | 62 |
| BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN..... | | 64 |
| 4.1 | Hasil Simulasi..... | 64 |
| 4.1.1 | Indeks Pencampuran (<i>Mixing Index</i>) | 64 |
| 4.1.1.1 | Visualisasi Kontur Kecepatan..... | 65 |
| 4.1.1.2 | Visualisasi Kontur Intensitas Turbulen..... | 71 |
| 4.1.1.3 | Visualisasi Distribusi Fraksi Massa Amonia | 75 |
| 4.1.1.4 | Visualisasi Kontur Tekanan | 89 |
| 4.1.2 | <i>Pressure Drop</i> | 91 |

| | |
|---|--------|
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 93 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 93 |
| 5.2 Saran | 93 |
| DAFTAR PUSTAKA | 94 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------------|--|----|
| Tabel 2.1 | Standar Emisi Eropa untuk Kategori Mobil Penumpang (g/km) | 11 |
| Tabel 2.2 | Standar Emisi Eropa untuk Kategori Kendaraan Komersial Ringan \leq 1305 kg (g/km) | 11 |
| Tabel 2.3 | Standar Emisi Eropa untuk Kategori Kendaraan Komersial Ringan 1305 kg – 1760 kg (g/km) | 12 |
| Tabel 2.4 | Standar Emisi Eropa untuk Kategori Kendaraan Komersial Ringan \geq 1760 kg dan Maksimal 3500 kg (g/km)..... | 12 |
| Tabel 2.5 | Berbagai Variasi Solusi Kontrol pada ANSYS FLUENT 12..... | 40 |
| Tabel 3.1 | Ukuran <i>Grid</i> Berdasarkan Jumlah Sel, Sisi, dan Nodal | 53 |
| Tabel 3.2 | Model Solusi yang Digunakan Dalam Simulasi..... | 53 |
| Tabel 3.3 | Koefisien Polynomial untuk Fluida <i>Hot Air</i> | 55 |
| Tabel 3.4 | Koefisien Polynomial untuk Fluida Amonia | 55 |
| Tabel 3.5 | Variasi Laju Aliran Massa Amonia | 59 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------------|--|----|
| Gambar 2.1 | <i>Turbocharger</i> | 8 |
| Gambar 2.2 | Sistem kerja mesin diesel empat langkah (<i>four-stroke engine</i>)..... | 8 |
| Gambar 2.3 | Standar emisi NO _x dan PM untuk kendaraan bermesin diesel..... | 13 |
| Gambar 2.4 | Aplikasi sistem <i>selective catalytic reduction</i> pada automobil..... | 14 |
| Gambar 2.5 | <i>Catalytic converter</i> pada automobil | 16 |
| Gambar 2.6 | <i>Dia-schumalith</i> | 17 |
| Gambar 2.7 | Efek dari (a) benda padat (<i>solid</i>) dan (b) fluida, jika diberikan gaya geser yang konstan..... | 18 |
| Gambar 2.8 | Klasifikasi aliran fluida | 18 |
| Gambar 2.9 | Ketergantungan kecepatan fluida terhadap waktu | 20 |
| Gambar 2.10 | Aliran luar (<i>external flow</i>) dan (b) aliran dalam (<i>internal flow</i>).... | 22 |
| Gambar 2.11 | Daerah masuk aliran sedang berkembang dan aliran berkembang penuh didalam sistem pipa | 24 |
| Gambar 2.12 | Profil kecepatan aliran dalam pipa (a) laminar berkembang penuh (b) turbulen berkembang penuh..... | 25 |
| Gambar 2.13 | Deformasi elemen fluida | 25 |
| Gambar 2.14 | Aliran massa masuk dan keluar dari elemen fluida | 27 |
| Gambar 2.15 | Gaya-gaya pada permukaan elemen fluida..... | 30 |
| Gambar 2.16 | Skema metode <i>solver segregated</i> | 38 |
| Gambar 2.17 | Skema metode <i>solver coupled</i> | 39 |
| Gambar 2.18 | Tipe <i>cell</i> 2D | 41 |
| Gambar 2.19 | Tipe <i>cell</i> 3D | 41 |
| Gambar 2.20 | <i>Grid</i> 3D: <i>tetrahedral</i> tak terstruktur dan <i>polyhedral</i> | 41 |
| Gambar 2.21 | <i>Grid</i> 2D: <i>quadrilateral</i> terstruktur dan <i>triangular</i> tak terstruktur... | 42 |
| Gambar 3.1 | Diagram alir langkah simulasi..... | 48 |
| Gambar 3.2 | (a) Geometri sistem NH ₃ -SCR, (b) gambar interior SCR..... | 51 |
| Gambar 3.3 | (a) <i>Grid</i> model pada domain komputasi, (b) <i>volume mesh</i> jenis <i>tetrahedral</i> dan <i>hexahedral</i> | 52 |
| Gambar 3.4 | Jendela pendefinisian material..... | 56 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| Gambar 3.5 | Jendela pendefinisian zona sel <i>moving reference frame</i> | 57 |
| Gambar 3.6 | Jendela pendefinisian zona sel <i>porous zone</i> | 57 |
| Gambar 3.7 | Kondisi batas untuk domain komputasi sistem NH ₃ -SCR..... | 58 |
| Gambar 3.8 | Jendela pendefinisian kondisi batas <i>velocity inlet</i> | 59 |
| Gambar 3.9 | Jendela pendefinisian kondisi batas <i>mass flow rate</i> | 60 |
| Gambar 3.10 | Jendela pendefinisian kondisi batas <i>pressure outlet</i> | 60 |
| Gambar 3.11 | Jendela pendefinisian kondisi batas <i>wall (moving wall)</i> | 61 |
| Gambar 3.12 | Jendela pendefinisian kondisi batas <i>wall (stationary wall)</i> | 61 |
| Gambar 3.13 | Iterasi telah mencapai kriteria konvergensi | 62 |
| Gambar 3.14 | Profil kecepatan pada aliran berkembang penuh (a) laminer, (b) turbulen | 62 |
| Gambar 4.1 | Kontur kecepatan..... | 65 |
| Gambar 4.2 | Kontur intensitas turbulen | 71 |
| Gambar 4.3 | Kontur distribusi massa amonia | 76 |
| Gambar 4.4 | Perbandingan indeks pencampuran untuk kasus tanpa <i>twisted mixer</i> dan dengan <i>twisted mixer</i> pada kondisi GHSV 10000 | 82 |
| Gambar 4.5 | Perbandingan indeks pencampuran untuk kasus tanpa <i>twisted mixer</i> dan dengan <i>twisted mixer</i> pada kondisi GHSV 20000 | 82 |
| Gambar 4.6 | Perbandingan indeks pencampuran untuk kasus tanpa <i>twisted mixer</i> dan dengan <i>twisted mixer</i> pada kondisi GHSV 30000 | 83 |
| Gambar 4.7 | Perbandingan indeks pencampuran untuk kasus tanpa <i>twisted mixer</i> dan dengan <i>twisted mixer</i> pada kondisi GHSV 40000 | 83 |
| Gambar 4.8 | Perbandingan indeks pencampuran untuk kasus sistem dengan <i>straight</i> dan <i>twisted mixer</i> pada kondisi GHSV 10000 | 85 |
| Gambar 4.9 | Perbandingan indeks pencampuran untuk kasus sistem dengan <i>straight</i> dan <i>twisted mixer</i> pada kondisi GHSV 20000 | 85 |
| Gambar 4.10 | Perbandingan indeks pencampuran untuk kasus sistem dengan <i>straight</i> dan <i>twisted mixer</i> pada kondisi GHSV 30000 | 86 |
| Gambar 4.11 | Perbandingan indeks pencampuran untuk kasus sistem dengan <i>straight</i> dan <i>twisted mixer</i> pada kondisi GHSV 40000 | 86 |
| Gambar 4.12 | Kontur tekanan | 89 |
| Gambar 4.13 | <i>Pressure drop</i> pada media berpori..... | 91 |

NOMENKLATUR

| Simbol | Arti | Satuan |
|---------------|---|------------|
| a | Percepatan | $[m/s^2]$ |
| A | Luas permukaan | $[m^2]$ |
| C | Konsentrasi fraksi massa amonia | |
| c | Kecepatan suara | $[m/s]$ |
| D | Diameter | $[m]$ |
| D_p | Diameter partikel | $[m]$ |
| F | Gaya | $[N]$ |
| f_x | Gaya body tiap unit massa pada arah x | $[N/kg]$ |
| GHSV | <i>Gas Hourly Space Velocity</i> | $[1/h]$ |
| g | Percepatan gravitasi bumi | $[m/s^2]$ |
| L | Panjang media berpori | $[m]$ |
| l_e | Panjang daerah masuk | $[m]$ |
| m | Massa | $[kg]$ |
| Ma | Bilangan Mach | |
| p | Tekanan | $[Pa]$ |
| Re | Bilangan Reynold | |
| T | Temperatur | $[K]$ |
| u, v, w | Kecepatan pada arah $x, y,$ dan z | |
| v | Kecepatan aliran | $[m/s]$ |
| v_∞ | Kecepatan pada permukaan media berpori | $[m/s]$ |
| ∇ | Divergensi | |
| \vec{V} | Vektor kecepatan arah $x, y,$ dan z | |
| V | Volume | $[m^3]$ |
| τ | Tegangan geser | $[N/m^2]$ |
| μ | Viskositas fluida | $[kg/m.s]$ |
| ε | Fraksi kekosongan/porositas | |
| Γ | Indeks pencampuran | |