



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**MODEL TURBULEN PADA ALIRAN CAMPURAN UDARA DAN
HOT EGR MESIN DIESEL DENGAN MENGGUNAKAN
SIMULASI NUMERIK**

TUGAS AKHIR

**HENDRA RAHADIAN SAMANTHA
L2E 005 452**

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN**

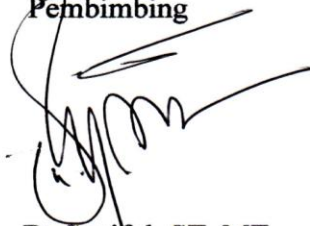
**SEMARANG
MARET 2011**

TUGAS AKHIR

- Diberikan Kepada : Nama : Hendra Rahadian Samantha
NIM : L2E 006 081
- Dosen Pembimbing : Dr. Syaiful, ST, MT
- Jangka Waktu : 4 Bulan (empat bulan)
- Judul : Model Turbulen Pada Aliran Campuran Udara dan
Hot EGR Mesin Diesel Dengan Menggunakan
Simulasi Numerik
- Isi Tugas : 1. Untuk mengetahui informasi mengenai temperatur
campuran udara dan EGR pada mesin diesel
melalui simulasi numerik.
2. Untuk mengetahui model turbulen yang sesuai
pada aliran campuran udara dan EGR.

Semarang, Maret 2011

Pembimbing

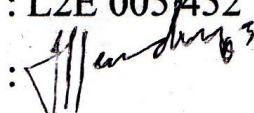


Dr. Syaiful, ST, MT

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 : Hendra Rahadian S
NIM : L2E 005452
Tanda Tangan : 
Tanggal : 22 Maret 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Hendra Rahadian Samantha
NIM : L2E 005 452
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Model Turbulen Pada Aliran Campuran Udara dan *Hot* EGR
Mesin Diesel 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

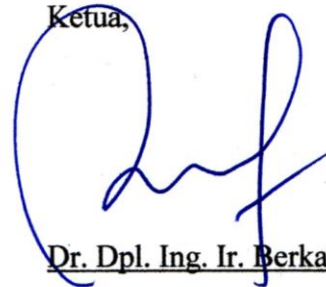
Pembimbing : Dr. Syaiful, ST, MT
Penguji : Dr. Rusnaldy, ST, MT
Penguji : Ir. Bambang Yuniyanto, MSc
Penguji : Ir. Sumar Hadi Suryo

()
()
()
()

Semarang, 22 Maret 2011

Jurusan Teknik Mesin

Ketua,



Dr. Dpl. Ing. Ir. 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 : Hendra Rahadian Samantha
NIM : L2E 005 452
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 dan Dr. Syaiful, ST, MT selaku pembimbing Tugas Akhir yang berjudul :

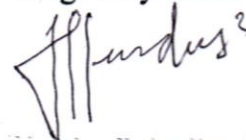
MODEL TURBULEN PADA ALIRAN CAMPURAN UDARA DAN *HOT* EGR MESIN DIESEL DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI NUMERIK

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 memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya dan Dr. Syaiful, ST, MT selaku pembimbing Tugas Akhir sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal: 27 Maret 2011

Yang menyatakan



(Hendra Rahadian Samantha)
NIM. L2E 005 452

Skripsi Ini Kupersembahkan Untuk :

Alm. Ibu, Ayah , kakak dan adikku tercinta serta sahabat -sahabatku yang senantiasa mencurahkan kasih sayang, dukungan, bimbingan, dan doa yang tulus dalam setiap langkahku. Terimakasihku sebagai tanda bakti kepadamu.

Motto :

“...Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan pada diri mereka sendiri...”

(Q.S Ar Ra'd ayat 11)

“...Sebab sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan...”

(Q.S AL Insyirah ayat 5-6)

ABSTRACT

Exhaust gas recirculation (EGR) is a method in which the exhaust gases of combustion inserted back into the engine cylinder. Numerical simulations are used to identify the characteristics of air and EGR mixtures the intake manifold EGR in diesel engines that can not be seen directly through the experiment without the use of sophisticated tools such as thermal cameras. Information obtained from numerical simulations are used to identify the temperature of the air mixture and EGR. In addition, the results of this simulation can be used as a reference for thermocouple placement is used as a means of monitoring temperature of the mixture. Working fluid used in this modeling is hot air and cold air. Velocity and temperature of incoming fluid at the entrance of the intake manifold and EGR pipe was varied in the range of openings, load and round. Turbulence modeling is used $k-\varepsilon$ model, $k-\omega$ model and Reynolds Stress Model. The result showed that the RSM model in modeling turbulent air mixing with EGR gives the best accuracy results than the $k-\varepsilon$ turbulence model and $k-\omega$. Largest percentage error is shown at 100% load variation where the average error obtained from RSM turbulent model of about 0586%, followed by $k-\varepsilon$ and then 0846% 0955% $k-\omega$. While the smallest percentage of error is shown in load of 25% where the average error obtained from RSM turbulent model around 0291%, followed by $k-\varepsilon$ 0:34% and then the $k-\omega$ 0389% but the RSM model has a higher time consuming compared with the model Another turbulent followed by $k-\omega$ and $k-\varepsilon$ with time consuming an average of 559 iterations each for the RSM model, 418 iterations for $k-\omega$ model and 288 iterations for $k-\varepsilon$ model. It can be concluded that the prediction of turbulence in the flow of air mixing with EGR by Reynolds Stress Model is closer to the experimental results than the $k-\varepsilon$ model and $k-\omega$ model but the model of Reynolds Stress Model has a higher time consuming than the $k-\varepsilon$ model and $k-\omega$.

Keywords: EGR, Model Turbulence, Reynolds Stress Model, the $k-\varepsilon$ Model and $k-\omega$ Model.

ABSTRAK

Resirkulasi gas buang (EGR) adalah suatu metode dimana gas buang hasil pembakaran dimasukkan kembali ke silinder mesin. Simulasi numerik digunakan untuk mengetahui karakteristik pencampuran udara dengan EGR didalam *manifold intake* EGR pada mesin diesel yang tidak bisa dilihat langsung melalui eksperimen tanpa menggunakan alat-alat yang canggih seperti kamera *thermal*. Informasi yang diperoleh dari simulasi numerik tersebut digunakan untuk mengidentifikasi temperatur campuran udara dan EGR. Selain itu hasil simulasi ini dapat digunakan sebagai acuan penempatan *thermocouple* yang digunakan sebagai alat monitoring temperatur campuran. Fluida kerja yang digunakan dalam pemodelan ini adalah udara panas dan udara dingin. Kecepatan dan temperatur fluida masuk pada sisi masuk pipa EGR dan *manifold intake* divariasikan pada berbagai bukaan, beban dan putaran. Pemodelan turbulensi yang digunakan adalah $k-\varepsilon$ model, $k-\omega$ model dan *Reynolds Stress Model*. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa model turbulen RSM pada pemodelan pencampuran udara dengan EGR memberikan hasil ketelitian yang terbaik dibandingkan model turbulen $k-\varepsilon$ dan $k-\omega$. Prosentase error terbesar ditunjukkan pada variasi beban 100 % dimana rata-rata error yang diperoleh dari model turbulen RSM sekitar 0.586%, diikuti $k-\varepsilon$ 0.846% dan kemudian $k-\omega$ 0.955%. Sedangkan prosentase error terkecil ditunjukkan pada beban 25% dimana rata-rata error yang diperoleh dari model turbulen RSM sekitar 0.291%, diikuti $k-\varepsilon$ 0.34% dan kemudian $k-\omega$ 0.389% akan tetapi model *RSM* mempunyai *time consuming* yang lebih tinggi dibandingkan dengan model turbulen yang lain disusul $k-\omega$ kemudian $k-\varepsilon$ dengan rata-rata *time consuming* masing-masing 559 iterasi untuk model RSM, 418 iterasi untuk model $k-\omega$ dan 288 iterasi untuk model $k-\varepsilon$. Dapat disimpulkan bahwa prediksi turbulensi aliran pada pencampuran udara dengan EGR oleh *Reynolds Stress Model* lebih mendekati hasil eksperimen dibandingkan $k-\varepsilon$ model dan $k-\omega$ model akan tetapi model *Reynolds Stress Model* mempunyai *time consuming* yang lebih tinggi dibanding $k-\varepsilon$ model dan $k-\omega$.

Kata Kunci: EGR, Model Turbulensi, *Reynolds Stress Model*, $k-\varepsilon$ model dan $k-\omega$ model.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan judul *“MODEL TURBULEN PADA ALIRAN CAMPURAN UDARA DAN HOT EGR MESIN DIESEL DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI NUMERIK”*. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi pada program strata satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih atas bimbingan, bantuan, serta dukungan kepada :

1. Dr. Syaiful, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing.
2. Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT, selaku Koordinator Tugas Akhir.
3. Dr.Ir.Dipl.Ing. Berkah Fajar T K, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro yang telah memberikan pengetahuan dan ilmu yang bermanfaat selama penulis menjalani studi di Fakultas Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang.
4. Seluruh staff karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro yang telah memberikan pelayanan yang baik kepada mahasiswa.
5. Pak Broto, selaku teknisi Laboratorium Thermofluid Teknik Mesin Undip dan rekan-rekan Asisten Thermofluid Triyono A, Vincent F, dan Brian Tyastomo.
6. Mendiang ibuku Sri Hartati dan Ayahku Syamsidi Mahmud Yaman, kakakku Donna Primasari Samantha dan adik-adikku M. Rudi Prasetya Samantha dan Sheilla Permatasari Samantha yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan, dan semangat yang tiada henti-hentinya.
7. Bundaku Ferry Wahyu Widayati atas motivasi, saran, doa, kesabaran, dan perhatian yang telah diberikan selama ini.
8. Sahabat-sahabat terbaikku Nanang Setiawan, Haji Ahmad Suswiyanto, Andika Bima Seto, Ahmad Maftukhin atas motivasi, dukungan, dan perhatiannya selama ini.

9. Rekan-rekan kelompok Tugas Sarjana *Exhaust Gas Recirculation* Bpk. Eka, Bpk. Rentas, Juntak, arif “gepenk”, danie, wijang, iska”atenk”, kang adi, dan handy yang banyak sekali membantu dalam tugas akhir ini baik tenaga, pikiran, materil maupun moril..
10. Teman-teman seperjuangan selama berada di Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro khususnya angkatan 2005, yang telah bersama-sama selama ini.

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menyadari banyak kekurangan. Oleh karena itu segala kritik yang bersifat membangun akan diterima dengan senang hati untuk kemajuan bersama. Akhir kata penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat kepada siapa saja yang membutuhkan data maupun referensi yang ada dalam laporan ini.

Terima kasih.

Semarang, Maret 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
ABSTRACT.....	viii
ABSTRAKSI	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
NOMENKLATUR.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Metode Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Klasifikasi Aliran	5
2.1.1 Aliran <i>Inviscid</i> dan <i>Viscos</i>	6
2.1.2 Aliran Laminar dan Turbulen	7
2.1.3 Aliran Kompresibel Dan Inkompresibel	7
2.1.4 Aliran Internal dan Eksternal	8
2.2 Persamaan Dasar Aliran Fluida	9
2.2.1 Persamaan Kekekalan Massa	9

2.2.2	Persamaan Kekekalan Momentum	12
2.2.3	Persamaan Energi.....	15
2.2.4	Persamaan Navier-Stokes untuk Sebuah Fluida Newtonian....	21
2.2.5	Bentuk Turunan dan Integral Persamaan-persamaan umum Transport	23
2.3	Bilangan Reynolds	24
2.4	Aliran <i>Developing</i> dan <i>Fully Develop</i>	25
2.4.1	Profil Kecepatan Turbulen dalam <i>Fully Developed Pipe Flow</i>	27
2.5	Aliran Fluida melalui belokan/ <i>bend</i>	28
2.6	Intensitas Turbulensi	30
2.7	Model Turbulen (<i>Turbulence Modeling</i>)	30
2.7.1	Model <i>k-epsilon</i> (<i>k-ε</i>) <i>Standart</i>	33
2.7.2	Model <i>k-omega</i> (<i>k-ω</i>) <i>Standart</i>	35
2.7.3	Model <i>Reynolds Stress</i> (RSM).....	36
2.8	Teori Dasar Metode Volume Hingga.....	37
2.9	Skema Numerik	41
2.9.1	Metode Solusi <i>Pressure Based</i>	42
2.9.2	Metode Solusi <i>Density Based</i>	43
2.10	Diskretisasi.....	44
2.10.1	<i>First-order Upwind</i>	46
2.10.2	<i>Second-order Upwind</i>	46
2.10.3	<i>Power-law</i>	47
2.10.4	Bentuk Linear Persamaan Diskret.....	48
2.10.5	<i>Under-relaxation Factor</i>	49
2.11	Diskretisasi <i>Pressure Based</i>	49
2.11.1	Diskretisasi Persamaan Momentum.....	50
2.11.2	Skema Interpolasi Tekanan.....	50
2.11.2.1	<i>Standart</i>	50
2.11.2.2	<i>Linear</i>	50
2.11.2.3	<i>Second-order</i>	50
2.11.2.4	<i>Body-force weighted</i>	51

2.11.3	Diskretisasi Persamaan Kontinuitas.....	51
2.11.4	<i>Pressure-Velocity Coupling</i>	52
2.11.2.1	SIMPLE	52
2.11.2.2	SIMPLEC.....	54
2.11.2.3	PISO	54
2.12	Diskretisasi Waktu (<i>Temporal Discretization</i>)	57
2.12.1	Integrasi Waktu Implisit	58
2.12.2	Integrasi Waktu Explicit	59
2.13	Adaptasi Grid.....	59
2.13.1	Proses Adaptasi.....	59
2.13.2	Adaptasi Y^+ dan Y^*	61
2.14	Jenis Grid	62
2.15	Kualitas Mesh	62
2.15.1	Kerapatan Nodal	63
2.15.2	Kehalusan (<i>smoothness</i>).....	63
2.15.3	Bentuk sel.....	64
2.16	<i>Exhaust Gas Recirculating (EGR)</i>	64
BAB III	METODELOGI PENELITIAN	66
3.1	Model Benda	66
3.2	Langkah Pengerjaan	67
3.3	Simulasi Numerik	68
3.3.1	Pembentukan Model dan Kondisi Batas	68
3.3.2	Penggenerasian Mesh.....	70
3.3.3	Solver dan Model Turbulen	71
3.3.4	Pendefinisian Material	71
3.3.5	Pendefinisian Kondisi Batas	71
3.3.6	Proses Iterasi	72
3.3.7	Diskritisasi dan Adaptasi	72

BAB V ANALISA HASIL SIMULASI	69
4.1 Profil Kecepatan Aliran Turbulen pada Pemodelan Campuran Udara dengan EGR	73
4.2 Kountur Kecepatan pada Pemodelan Campuran Udara dengan EGR ..	76
4.3 Kountur Temperatur pada Pemodelan Campuran Udara dengan EGR	81
4.4 Model Turbulen pada Pemodelan Campuran Udara dengan EGR	86
 BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	 95
5.1 Kesimpulan	95
5.2 Saran	95
 DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persamaan Pembangun Aliran Fluida Newtonian Kompresibel.....	23
--	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Respon terhadap gaya	5
Gambar 2.2	Klasifikasi aliran fluida.....	6
Gambar 2.3	Berbagai daerah aliran lapisan batas diatas plat rata.....	6
Gambar 2.4	Variasi kecepatan terhadap waktu.....	7
Gambar 2.5	Aliran didalam Pipa	8
Gambar 2.6	Massa mengalir kedalam dan keluar elemen fluida.....	10
Gambar 2.7	Komponen tegangan pada tiga bidang elemen fluida	13
Gambar 2.8	Komponen tegangan dalam arah x	14
Gambar 2.9	Komponen vektor <i>flux</i> panas.....	18
Gambar 2.10	<i>Developing Flow</i>	25
Gambar 2.11	Tipe Profil Kecepatan Aliran Laminar dan Aliran Turbulen.....	27
Gambar 2.12	Profil kecepatan turbulen untuk aliran berkembang penuh dalam <i>smooth pipe</i>	28
Gambar 2.13	Profil kecepatan aliran melalui belokan/ <i>bend</i>	29
Gambar 2.14	Efek <i>swirl</i> yang dihasilkan karena aliran melalui <i>elbow</i> dengan bidang yang berbeda	30
Gambar 2.15	Lukisan Leonardo Da Vinci yang menggambarkan aliran turbulen	31
Gambar 2.16	(a) Pembagian <i>control volume</i> 1 dimensi	38
	(b) Panjang <i>control volume</i>	38
Gambar 2.17	Grid 2 Dimensi.....	40
Gambar 2.18	Grid 3 Dimensi.....	41
Gambar 2.19	Skema metode solusi <i>Pressure Based</i>	43
Gambar 2.20	Skema metode solusi <i>Density Based</i>	44
Gambar 2.21	Volume kendali yang digunakan untuk mengilustrasikan diskretisasi persamaan transpor skalar.....	45
Gambar 2.22	Variasi variabel Φ antara $x = 0$ and $x = L$	48
Gambar 2.23	Contoh <i>Hanging Node</i>	60
Gambar 2.24	Hasil <i>Conformal Refinement</i>	60

Gambar 2.25	<i>Conformal Coarsening</i> Dengan Menghilangkan Titik Dan Menyegitigakan Kembali.....	61
Gambar 2.26	Hasil Meshing Menggunakan Adapsi y^+	61
Gambar 2.29	Tipe Sel 2D	62
Gambar 2.30	Tipe Sel 3D	62
Gambar 3.1	Gambar Spesifikasi <i>Manifold Intake</i> EGR.....	66
Gambar 3.2	Diagram alir pemodelan CFD	67
Gambar 3.3	<i>Manifold Intake</i> EGR.....	68
Gambar 3.4	Gambar Geometri 3D <i>Manifold Intake</i> EGR.....	68
Gambar 3.5	Daerah asal (<i>domain</i>) untuk model <i>intake manifold</i>	69
Gambar 3.6	<i>Grid</i> terstruktur pada domain.....	70
Gambar 4.1	Contoh profil kecepatan (m/s) pemodelan campuran udara dengan EGR pada posisi panjang <i>entrance</i> sisi masuk pipa EGR pada bukaan katub beban 25% bukaan katub EGR 25% putaran 1300 rpm	74
Gambar 4.2	Contoh profil kecepatan (m/s) pemodelan campuran udara dengan EGR pada posisi panjang <i>entrance</i> sisi masuk <i>intake manifold</i> pada bukaan katub beban 25% bukaan katub EGR 25% putaran 1300 rpm	75
Gambar 4.3	Contoh profil kecepatan (m/s) pemodelan campuran udara dengan EGR pada sisi keluar <i>intake manifold</i> EGR pada bukaan katub beban 25% bukaan katub EGR 25% putaran 1300 rpm.....	75
Gambar 4.4	Contoh kontur kecepatan (m/s) pemodelan pencampuran udara dengan EGR pada bukaan katub beban 50% bukaan katub EGR 75% putaran 2100 rpm.....	76
Gambar 4.5	Contoh gambar kontur kecepatan pemodelan pencampuran udara dengan EGR pada bukaan katub beban 25% bukaan katub EGR 25% putaran 2100 rpm menggunakan model turbulen RSM pada posisi perpotongan bidang $z=0$	77
Gambar 4.6	Contoh gambar kontur kecepatan pemodelan pencampuran udara dengan EGR pada bukaan katub beban 25% bukaan katub EGR 25% putaran 2100 rpm menggunakan model turbulen $k-\varepsilon$ pada posisi perpotongan bidang $z=0$	77

Gambar 4.7	Contoh gambar kontur kecepatan pemodelan pencampuran udara dengan EGR pada bukaan katub beban 25% bukaan katub EGR 25% putaran 2100 rpm menggunakan model turbulen $k-\omega$ pada posisi perpotongan bidang $z=0$	78
Gambar 4.8	Contoh gambar kontur kecepatan pemodelan pencampuran udara dengan EGR pada bukaan katub beban 25% bukaan katub EGR 25% putaran 2100 rpm menggunakan model turbulen RSM pada posisi perpotongan bidang $z=19,85$	78
Gambar 4.9	Contoh gambar kontur kecepatan pemodelan pencampuran udara dengan EGR pada bukaan katub beban 25% bukaan katub EGR 25% putaran 2100 rpm menggunakan model turbulen $k-\varepsilon$ pada posisi perpotongan bidang $z=19,85$	79
Gambar 4.10	Contoh gambar kontur kecepatan pemodelan pencampuran udara dengan EGR pada bukaan katub beban 25% bukaan katub EGR 25% putaran 2100 rpm menggunakan model turbulen $k-\omega$ pada posisi perpotongan bidang $z=19,85$	79
Gambar 4.11	Contoh kontur temperatur (K) pemodelan pencampuran udara dengan EGR pada bukaan katub beban 50% bukaan katub EGR 75% putaran 2100 rpm..	81
Gambar 4.12	Contoh gambar kontur temperatur pemodelan pencampuran udara dengan EGR pada bukaan katub beban 25% bukaan katub EGR 25% putaran 2100 rpm menggunakan model turbulen RSM pada posisi perpotongan bidang $z=0$	82
Gambar 4.13	Contoh gambar kontur temperatur pemodelan pencampuran udara dengan EGR pada bukaan katub beban 25% bukaan katub EGR 25% putaran 2100 rpm menggunakan model turbulen $k-\varepsilon$ pada posisi perpotongan bidang $z=0$	82
Gambar 4.14	Contoh gambar kontur temperatur pemodelan pencampuran udara dengan EGR pada bukaan katub beban 25% bukaan katub EGR 25% putaran 2100 rpm menggunakan model turbulen $k-\omega$ pada posisi perpotongan bidang $z=0$	83

Gambar 4.15	Contoh gambar kontur temperatur pemodelan pencampuran udara dengan EGR pada bukaan katub beban 25% bukaan katub EGR 25% putaran 2100 rpm menggunakan model turbulen RSM pada posisi perpotongan bidang $z=19,85$	83
Gambar 4.16	Contoh gambar kontur temperatur pemodelan pencampuran udara dengan EGR pada bukaan katub beban 25% bukaan katub EGR 25% putaran 2100 rpm menggunakan model turbulen $k-\varepsilon$ pada posisi perpotongan bidang $z=19,85$	84
Gambar 4.17	Contoh gambar kontur temperatur pemodelan pencampuran udara dengan EGR pada bukaan katub beban 25% bukaan katub EGR 25% putaran 2100 rpm menggunakan model turbulen $k-\omega$ pada posisi perpotongan bidang $z=19,85$	84
Gambar 4.18	Grafik perbandingan simulasi menggunakan model turbulen $k-\varepsilon$, $k-\omega$, dan RSM dengan eksperimen terhadap hubungan temperatur campuran udara EGR (K) dengan putaran mesin (rpm) pada bukaan katub beban 25 % bukaan katub EGR 25%	86
Gambar 4.19	Grafik perbandingan simulasi menggunakan model turbulen $k-\varepsilon$, $k-\omega$, dan RSM dengan eksperimen terhadap hubungan temperatur campuran udara EGR (K) dengan putaran mesin (rpm) pada bukaan katub beban 0% bukaan katub EGR 25%	87
Gambar 4.20	Grafik perbandingan simulasi menggunakan model turbulen $k-\varepsilon$, $k-\omega$, dan RSM dengan eksperimen terhadap hubungan temperatur campuran udara EGR (K) dengan putaran mesin (rpm) pada bukaan katub beban 0% bukaan katub EGR 50%	87
Gambar 4.21	Grafik perbandingan simulasi menggunakan model turbulen $k-\varepsilon$, $k-\omega$, dan RSM dengan eksperimen terhadap hubungan temperatur campuran udara EGR (K) dengan putaran mesin (rpm) pada bukaan katub beban 0 % bukaan katub EGR 75%	88
Gambar 4.22	Grafik perbandingan simulasi menggunakan model turbulen $k-\varepsilon$, $k-\omega$, dan RSM dengan eksperimen terhadap hubungan temperatur	

	campuran udara EGR (K) dengan putaran mesin (rpm) pada bukaan katub beban 0% bukaan katub EGR 100%	88
Gambar 4.23	Grafik perbandingan simulasi menggunakan model turbulen $k-\varepsilon$, $k-\omega$, dan RSM dengan eksperimen terhadap hubungan temperatur campuran udara EGR (K) dengan putaran mesin (rpm) pada bukaan katub beban 25% bukaan katub EGR 25%	89
Gambar 4.24	Grafik perbandingan simulasi menggunakan model turbulen $k-\varepsilon$, $k-\omega$, dan RSM dengan eksperimen terhadap hubungan temperatur campuran udara EGR (K) dengan putaran mesin (rpm) pada bukaan katub beban 25% bukaan katub EGR 50%	89
Gambar 4.25	Grafik perbandingan simulasi menggunakan model turbulen $k-\varepsilon$, $k-\omega$, dan RSM dengan eksperimen terhadap hubungan temperatur campuran udara EGR (K) dengan putaran mesin (rpm) pada bukaan katub beban 25% bukaan katub EGR 75%	90
Gambar 4.26	Grafik perbandingan simulasi menggunakan model turbulen $k-\varepsilon$, $k-\omega$, dan RSM dengan eksperimen terhadap hubungan temperatur campuran udara EGR (K) dengan putaran mesin (rpm) pada bukaan katub beban 25% bukaan katub EGR 100%	90
Gambar 4.27	Grafik perbandingan simulasi menggunakan model turbulen $k-\varepsilon$, $k-\omega$, dan RSM dengan eksperimen terhadap hubungan temperatur campuran udara EGR (K) dengan putaran mesin (rpm) pada bukaan katub beban 100% bukaan katub EGR 25%	91
Gambar 4.28	Grafik perbandingan simulasi menggunakan model turbulen $k-\varepsilon$, $k-\omega$, dan RSM dengan eksperimen terhadap hubungan temperatur campuran udara EGR (K) dengan putaran mesin (rpm) pada bukaan katub beban 100% bukaan katub EGR 50%	91
Gambar 4.29	Grafik perbandingan simulasi menggunakan model turbulen $k-\varepsilon$, $k-\omega$, dan RSM dengan eksperimen terhadap hubungan temperatur campuran udara EGR (K) dengan putaran mesin (rpm) pada bukaan katub beban 100% bukaan katub EGR 75%	92

Gambar 4.30 Grafik perbandingan simulasi menggunakan model turbulen $k-\varepsilon$, $k-\omega$, dan RSM dengan eksperimen terhadap hubungan temperatur campuran udara EGR (K) dengan putaran mesin (rpm) pada bukaan katub beban 100% bukaan katub EGR 100%	92
Gambar 4.31 Diagram <i>prosentase</i> error rata-rata hasil simulasi menggunakan model turbulen pada pemodelan pencampuran udara dengan EGR pada berbagai variasi pembeban.....	93
Gambar 4.32 Diagram <i>Time Consuming</i> Simulasi pemodelan pencampuran udara dengan EGR menggunakan model turbulen pada pada berbagai variasi pembeban	94

NOMENKLATUR

A	Luasan aliran	m^2
D	Diameter pipa	m
D_H	Diameter Hidrolik pipa	m
D_{orf}	Diameter <i>Oriface</i>	m
E	Energi dalam per satuan massa	Nm/kg
\bar{F}	Total gaya yang diberikan oleh fluida untuk melawan gesekan	N
g	Percepatan yang disebabkan gravitasi	m/s^2
L	Panjang pipa	m
n	Indeks Blassius	—
Q	Laju volumetrik aliran	m^3/s
T	Temperatur	K
u	Kecepatan	m/s
\bar{u}	Kecepatan rata – rata untuk aliran homogen	m/s
u'	Kecepatan Fluktuasi	m/s
\dot{m}_{udara}	Laju aliran aliran massa udara	kg/s
\dot{m}_{EGR}	Laju aliran aliran massa EGR	kg/s

μ	viskositas	Ns/m^2
ν	Viskositas kinematis	m^2/s
ρ	Densitas	kg/m^3
τ_w	Tegangan geser dinding	N/m^2
Φ	Fungsi disipasi	J/kg
Re	Bilangan Reynolds	-
u	Vektor kecepatan arah sumbu x	m/s
v	Vektor kecepatan arah sumbu y	m/s
w	Vektor kecepatan arah sumbu z	m/s
x,y,z	Sumbu koordinat kartesius	-