

**SKRIPSI**

**SIMULASI ALIRAN FLUIDA DENGAN VARIASI  
PENEMPATAN INJEKTOR PADA *INTAKE MANIFOLD*  
MESIN 2 LANGKAH MENGGUNAKAN CFD**

**AZIES SAPUTRA  
5315083445**



Skripsi Ini Ditulis Sebagai Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Pendidikan  
Di Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta

**PROGRAM STUDI S1  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA  
2014**

## ABSTRAK

Azies Saputra, Simulasi Aliran Fluida Dengan Variasi Penempatan Injektor Pada Intake Manifold Mesin 2 Langkah Menggunakan CFD. Jakarta: Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta, Juni 2014.

Penelitian ini dengan tujuan simulasi aliran fluida dengan variasi penempatan injektor pada *intake manifold* motor 2 langkah menggunakan *Computational Fluids Dynamic (CFD)*. Injektor akan ditempatkan pada *intek manifold* mesin 2 langkah 132 cc, dengan melihat fenomena aliran campuran bahan bakar dan udara yang terjadi pada *intake manifold*, tekanan statis dan kecepatan aliran campuran bahan bakar dan udara saat melewati *intake manifold*. Penempatan injektor yang akan diamati yaitu tegak lurus dan miring dengan membentuk sudut yang melebar terhadap *intake manifold*.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan berbantuan *software CFD Fluent 6.2.16.*, *software Solid Work*, dan Gemit. Penempatan injektor yang diteliti sebanyak 3 model dengan perbedaan sudut yang dibentuk terhadap intake manifold. Model-1 ditempatkan membentuk sudut  $60^{\circ}$ , model-2 ditempatkan membentuk sudut  $90^{\circ}$ , dan Model-3 ditempatkan membentuk sudut  $120^{\circ}$ .

Hasil yang didapatkan adalah penempatan injektor model-1 menghasilkan yang paling optimal dari model-2 dan model-3. Pada model-1 terbentuk tekanan statis dan kecepatan yang lebih optimal dari model lainnya, selain itu pancaran yang terjadi terlihat makin lama makin mengecil/meruncing ini menunjukkan terjadinya penetrasi bahan bakar terhadap udara pada model-1 lebih baik.

Kata kunci: Aliran Fluida, Injektor, CFD

### LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul : Simulasi Aliran Fluida dengan Variasi Penempatan Injektor Pada  
*Intake Manifold* Mesin 2 Langkah Menggunakan CFD  
 Nama : Azies Saputra  
 No. Reg. : 5315083445  
 Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh :

#### Dosen Pembimbing

Nama/Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Dosen Pembimbing I <b><u>Drs. H. Supria Wiganda, M.Pd.</u></b> NIP. 195106041984031001	(.....)	(.....)
Dosen Pembimbing II <b><u>H. Wardoyo, ST.,MT.</u></b> NIP.197908182008011008	(.....)	(.....)

#### Dosen Penguji

Ketua Sidang <b><u>Dr. Agus Dudung, M.Pd,</u></b> NIP.196508171991021001	(.....)	(.....)
Sekretaris Sidang <b><u>Dyah Arum Wulandari, ST.,MT.</u></b> NIP.197708012008012006	(.....)	(.....)
Dosen Ahli <b><u>Drs. H. Syamsuir, MT.</u></b> NIP.196705151993041001	(.....)	(.....)

#### Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin  
Universitas Negeri Jakarta

**Dr. Eng. Agung Premono, M.T**  
NIP. 197705012001121002

Tanggal Sidang : 15 Juli 2014

## **LEMBAR PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis skripsi saya ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akedemik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri dengan arahan dari dosen pembimbing
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sabagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh, karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta,

Yang membuat pernyataan

Azies Saputra

5315083445

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat karunia dan hidayah-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Posisi Injektor Pada *Intake Manifold* Mesin 2 Langkah dengan Simulasi Aliran Fluida menggunakan CFD” yang merupakan persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Pendidikan Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

Skripsi ini tidaklah dapat terwujud dengan baik tanpa adanya bimbingan, dorongan, saran-saran dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu saya ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada

1. Bapak. Dr. Eng. Agung Premono, M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.
2. Bapak Ahmad Kholil, S.T., M.T, selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin.
3. Bapak Drs. Supria Wiganda, M.Pd. selaku dosen pembimbing I.
4. Bapak. H. Wardoyo, S.T., M.T, selaku dosen pembimbing II.
5. Ibu Siska Titik Dwiyanti, S.Si, M.T, selaku pembimbing akademik.
6. Kedua Orangtua saya yang telah mendidik, merawat dan juga mendukung baik doa, materi dan moral.

Akhir kata, saya berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi yang membacanya.

Penulis

Azies Saputra  
5315083445

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>ABSTRAK</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI</b> .....	iv
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	5
C. Batasan Masalah .....	5
D. Rumusan Masalah .....	6
E. Manfaat Penelitian .....	6
<b>BAB II KAJIAN TEORI</b> .....	8
A. Fluida .....	8
1. Hakikat Fluida .....	8
2. Klasifikasi Aliran Fluida .....	10
3. Tipe Aliran .....	11
B. Hakikat Motor Bensin 2 Langkah .....	12
1. Proses Kerja Motor Bensin 2 Langkah .....	13
2. Dasar Teori Motor Bensin .....	15
3. Sistem Bahan Bakar Elektronik .....	20
a. Komponen-Komponen Dasar EFI .....	21
b. Jenis Sistem EFI .....	23
c. Bagaimana EFI Bekerja .....	25
d. Injektor .....	28
e. <i>Intake Manifold</i> .....	30

C. Metode Element Hingga .....	30
1. Langkah Penerapan Metode Element Hingga .....	31
2. Contoh Aplikasi Metode Elment Hingga .....	35
D. <i>Computational Fluid Dynamic</i> .....	36
1. Pengertian CFD .....	36
2. Sistem Kerja CFD .....	37
3. Gambit .....	38
4. Fluent .....	41
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.</b> .....	45
A. Tujuan Penelitian .....	45
B. Tempat dan Waktu .....	45
C. Uraian Prosedur Penelitian .....	45
D. Flow Chart Penelitian .....	48
1. Pemodelan Gambit .....	49
2. Peyederhanaan Model Dan Kesimetrisan Model .....	49
3. Gambit .....	50
4. Meshing Geometri .....	51
5. Simulasi Fluent .....	55
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	67
A. Hasil Simulasi .....	67
B. Pembahasan Hasil Simulasi.....	70
1. Distribusi Tekanan .....	70
2. Distribusi Kecepatan Aliran dan Arah Aliran .....	73
3. Distribusi Fraksi Massa .....	76
4. <i>Path Line</i> .....	78
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.</b> .....	80
A. KESIMPULAN .....	80
B. SARAN .....	81
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	82

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tipe Aliran Fluida.....	11
Gambar 2.2 Injektor.....	30
Gambar 2.3 Perbedaan Element Antara Perbedaan Hingga dengan Element Hingga .....	32
Gambar 2.4 Element Yang Digunakan Pada 3 Dimensi.....	33
Gambar 2.5 Standar Element 2 Dimensi Yang Sering Dipakai.....	36
Gambar 2.6 Graphis Tampilan Awal Gambit.....	38
Gambar 27 <i>Meshing</i> Dengan Element <i>Tri Type Pave</i> .....	40
Gambar 2.8 <i>Meshing</i> Dengan Element <i>Quad/Tri Type Wedge Primitive</i> .....	40
Gambar 2.9 <i>Meshing</i> Dengan Element <i>Quad/Tri Type Submap</i> . .....	40
Gambar 2.10 <i>Meshing</i> Dengan Element <i>Quad/Tri Type Map</i> .....	41
Gambar 3.1 <i>Flow chart</i> .....	48
Gambar 3.2 Geometri Model .....	49
Gambar 3.3 Memulai Gambit .....	50
Gambar 3.4 Tampilan Geometri Pada Gambit.....	51
Gambar 3.5 <i>Mesh</i> Garis .....	52
Gambar 3.6 <i>Mesh</i> Bidang .....	53
Gambar 3.7 <i>Mesh</i> Volume .....	53
Gambar 3.8 Kodisi Batas .....	54
Gambar 3.9 Menjalankan Fluent .....	56
Gambar 3.10 <i>Check Grid</i> .....	57
Gambar 3.11 <i>Scale Grid</i> .....	57
Gambar 3.12 <i>Smooth/Swap Grid</i> .....	58
Gambar 3.13 <i>Solver</i> .....	58
Gambar 3.14 <i>Viscos Model</i> .....	59
Gambar 3.15 <i>Energy Model</i> .....	59
Gambar 3.16 Material .....	60
Gambar 3.17 <i>Species Model</i> .....	60
Gambar 3.18 Kodisi Udara Masuk.....	62



Gambar 3.19 Kondisi Bensin Masuk .....	63
Gambar 3.20 Kondisi Hasil.....	63
Gambar 3.21 Fluida.....	64
Gambar 3.22 <i>Solution Control</i> .....	64
Gambar 3.23 <i>Solution Initialization</i> .....	65
Gambar 3.24 Residual dan Statistik .....	65
Gambar 3.25 <i>Iteration</i> .....	66
Gambar 3.26 Menampilkan Hasil .....	66
Gambar 4.1 Grafik hasil iterasi, (a) Model 1, (b) Model 2, (c) Model 3 .....	68
Gambar 4.2 Kontur Tekanan Statis. (a) Model-1, (b) Model-2, dan (c) Model-3 .....	70
Gambar.4.3. Model-1. (a) Kontur Kecepatan, dan (b) Vektor Kecepatan .....	73
Gambar.4.4. Model-2. (a) Kontur Kecepatan, dan (b) Vektor Kecepatan .....	74
Gambar.4.5. Model-3. (a) Kontur Kecepatan, dan (b) Vektor Kecepatan .....	75
Gambar.4.6. Fraksi Massa. (a) Model-1,(b) Model-2 dan (c) Model-3 .....	77
Gambar.4.7. Parth lines. (a) Model-1, (b) Model-2, dan (c) Model-3.....	78

**DAFTAR TABEL**

Tabel 3.1 Langkah Simulasi CFD <i>Fluent</i> .....	55
Tabel 4.1 Hasil Simulasi Tekanan Statis dan Kecepatan .....	69

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Fluida dapat dikatakan suatu zat yang terus menerus berubah bentuk apabila mengalami tegangan geser, betapapun kecilnya tegangan geser itu. Fluida sering kita gunakan dalam kehidupan sehari-hari seperti udara dan zat cair. Udara menjadi kebutuhan pokok makhluk hidup yang sangat penting untuk mempertahankan hidup. Sedangkan zat cair seperti air mineral, bensin dan lain sebagainya menjadi penunjang untuk kelangsungan hidup.

Pada dunia otomotif baik kendaraan roda 2 maupun roda 4 sangat membutuhkan fluida. Contoh fluida tersebut seperti udara ideal, bensin, oli, minyak rem, dan air radiator. Fluida tersebut memiliki fungsi yang sangat penting untuk setiap kendaraan agar dapat dioperasikan dengan baik. Udara ideal dan bensin menjadi kebutuhan pokok agar kendaraan dapat digunakan.

Motor 2 langkah yaitu motor yang memerlukan 2 kali langkah torak (satu kali putaran poros engkol) untuk menghasilkan satu kali usaha.<sup>1</sup> Jika ditinjau dari prestasi kerja motor 2 langkah ada beberapa kelemahan, diantaranya tidak efisien atau boros konsumsi bahan bakar sehingga tidak ramah lingkungan. Ditinjau dari segi penggunaan motor 2 langkah lebih mudah dalam hal perawatannya. Mulai perlahan keberadaan motor 2 langkah mulai ditinggalkan karena adanya kelemahan pada sistem operasi kerjanya.

---

<sup>1</sup> Daryanto, *Prinsip Dasar Mesin Otomotif* (Bandung, 2011), hal. 12

Berkembangnya industri otomotif, mulai muncul teknologi-teknologi baru yang diterapkan pada kendaraan. Pada sistem bahan bakar alat pencampur bahan bakar bensin dan udara umumnya menggunakan karburator mulai perlahan diganti dengan sistem injeksi. Kebanyakan motor 2 langkah saat ini masih menggunakan sistem karburator. Pada sistem karburator pencampuran antara bahan bakar dengan udara untuk mendapatkan pengkabutan yang ideal masih belum sempurna. Perbandingan yang ideal antara pencampuran bahan bakar dengan udara adalah 1:14,8 yaitu 1 bagian bahan bakar dan 14,8 bagian udara.<sup>2</sup> Dengan adanya teknologi sistem injeksi yang dikenal dengan sistem *EFI (Electronic Fuel Injection)* menjadi solusi agar pada sistem bahan bakar mendapatkan perbandingan yang lebih tepat.

Sistem injeksi merupakan teknologi di mesin pembakaran dalam pencampuran bahan bakar dengan udara sebelum dibakar dengan pengontrolan akurat sesuai kebutuhan dengan bantuan elektronik. Pada sistem injeksi terdiri dari beberapa komponen sebagai pendukung jalannya pencampuran bahan bakar dengan udara menuju ruang bakar. Injektor adalah salah satu komponen pada sistem injeksi yang berfungsi untuk menyemprotkan bahan bakar ke ruang bakar. Di samping itu, injektor harus dapat mengabutkan bahan bakar sesuai dengan derajat pengabutan yang diminta, serta mendistribusikan bahan bakar untuk memperoleh pembakaran yang sempurna dalam waktu yang direncanakan.

---

<sup>2</sup> BPM. Arends, H. Berenschot, *Motor Bensin* (Jakarta, 1980), hal. 111

Pada sistem injeksi posisi injektor ada dua yaitu injektor terdapat pada lubang pemasukan (*intek manifold*) dan injektor berada langsung di bagian atas ruang bakar. Fungsi utama *intake manifold* adalah sebagai pendistribusi campuran udara-bahan bakar menuju *intake port engine* dan diteruskan ke ruang bakar, serta sebagai tempat untuk berlangsungnya proses pencampuran bahan bakar dengan udara. Pendistribusian dan kualitas campuran sangat menentukan proses pembakaran yang terjadi di ruang bakar dan akan berpengaruh terhadap unjuk kerja *engine* tersebut. Desain *manifold* akan berpengaruh terhadap proses pendistribusian campuran, oleh karena itu perlu diketahui fenomena aliran yang melewati *intake manifold* guna mendapatkan *design intake manifold* dengan hasil maksimal.

Simulasi aliran pada *intake port IC-engine* pernah dilakukan oleh G. Rhottenkobler, K. Dullenkopf dan S.Witting (1998) dimana dengan kenaikan kecepatan aliran udara, aliran bahan bakar semakin berbelok ke bagian dinding bawah dari *intake manifold*. Simulasi aliran pada *intake manifold* model *elbow* pernah dilakukan oleh Bambang Sugiarto dimana dengan *design intake manifold* dengan bantuan simulasi CFD, menghasilkan efisiensi volumetris yang cukup baik, khususnya pada kecepatan rendah. Pada mesin 4 langkah satu silinder ini terjadi fluktuasi tekanan masuk yang besar terutama pada kecepatan putaran mesin yang tinggi yang mengakibatkan keterlambatan respon alat.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Bambang Sugiarto "Sistem Injeksi Bahan Bakar Sepeda Motor Satu Silinder Empat Langkah", Jurnal Makara Teknologi No.3 tahun 2004, hal. 82

Dalam melakukan analisis aliran fluida banyak metode atau pendekatan yang dapat digunakan sebagai cara pemecahan masalah. Metode eksperimental dengan menggunakan *wind tunnel* dapat digunakan sebagai alat analisis dan memberikan hasil pengukuran yang cukup baik. Namun demikian metode ini membutuhkan waktu yang cukup lama dalam penelitiannya dan cukup menghabiskan biaya yang tidak kecil.

Analisis suatu aliran fluida dapat menggunakan metode *Computational Fluids Dynamic (CFD)* menawarkan alternatif analisa dengan pendekatan numerik. Dengan *Computational Fluids Dynamic (CFD)* aliran-aliran yang sulit disimulasikan pada *wind tunnel* dapat dilakukan, dan menghabiskan waktu dan biaya yang relatif lebih rendah daripada pengujian eksperimental. Dalam merancang suatu produk, *Computational Fluids Dynamic (CFD)* memberikan fleksibilitas karena model pengujian dapat dirubah dengan hanya merubah gambar *CAD (Computer Aided Design)* dan segera dapat disimulasikan ulang.<sup>4</sup>

Berdasarkan uraian data penulis ingin melakukan penelitian dengan judul “Simulasi Aliran Fluida Dengan Variasi Penempatan Injektor Pada *Intake Manifold* Motor 2 Langkah dengan Menggunakan *Computational Fluids Dynamic (CFD)*”. Injektor akan ditempatkan pada lubang pemasukan (*intake manifold*) mesin 2 langkah 132 cc, dengan mengetahui fenomena perilaku aliran campuran bahan bakar dan udara yang terjadi di *intake*

---

<sup>4</sup> Sony Irawan Kartika, “Perancangan dan Analisa Geometri Bodi Kendaraan Surya Lomba Berbasis Airfoil NACA 66 Berbantuan Computational Fluid Dynamics” (Tesis Program Pasca Sarjana Bidang Ilmu Teknik Universitas Indonesia, 2005), hal. 12

*manifold*, tekanan statis dan kecepatan campuran bahan bakar dan udara saat melewati *intake manifold*. Penempatan injektor yang diamati tegak lurus, dan miring dengan membentuk sudut yang melebar terhadap *intake manifold*.

## **B. Identifikasi Masalah.**

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dipaparkan di atas maka terdapat beberapa masalah yang dapat diidentifikasi :

1. Apakah pengaruh penambahan injektor pada motor 2 langkah?
2. Apakah pengaruh penempatan injektor terhadap motor 2 langkah?
3. Bagaimanakah simulasi aliran fluida pada *intake manifold* motor 2 langkah?
4. Bagaimanakah pengaruh kecepatan aliran campuran fluida pada *intake manifold*?
5. Bagaimanakah simulasi aliran fluida pada *intake manifold* menggunakan *Computational Fluids Dynamic (CFD)*?
6. Apakah variasi penempatan injektor pada *intake manifold* motor 2 langkah mempengaruhi fenomena campuran aliran fluida?

## **C. Batasan Masalah**

Mengingat masalah pada skripsi ini begitu luas maka penulis mencoba membatasi masalah, yaitu:

1. Menempatkan injektor tegak lurus dan miring membentuk sudut yang melebar terhadap *intake manifold*.

2. Hanya mempelajari fenomena aliran campuran yang terjadi pada *intake manifold*.
3. Tidak mempelajari perpindahan panas dan mekanika fluida secara terperinci terhadap aliran yang terjadi.
4. Asumsi yang diambil: aliran *steady*, dan aliran *incompressible*.

#### **D. Rumusan Masalah**

Berdasarkan pada identifikasi masalah dan batasan masalah maka penulis merumuskan masalah yaitu: “Bagaimanakah simulasi aliran fluida dengan variasi penempatan injektor pada intake manifold mesin 2 langkah menggunakan *Computational Fluids Dynamic (CFD)*?”

#### **E. Manfaat Penelitian**

Dengan adanya penelitian ini maka diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Mengetahui penempatan injektor yang optimal pada *intake manifold* mesin 2 langkah beserta fenomena aliran campuran bahan bakar dan udara yang terjadi.
2. Mengetahui dan memperjelas prinsip kerja sistem injeksi pada motor 2 langkah.
3. Sebagai acuan bagi kalangan peneliti di bidang mekanika fluida untuk sepeda motor
4. Dapat memberikan solusi untuk mencegah pemborosan konsumsi bahan bakar pada motor 2 langkah.



5. Bagi dunia pendidikan dengan metode simulasi menjadikan pertimbangan dalam proses pembelajaran agar dapat tercapainya tujuan suatu pembelajaran.
6. Bagi dunia pendidikan dapat menambah bekal ilmu yang bermanfaat terutama untuk Universitas Negeri Jakarta.

## BAB II

### KAJIAN TEORI

#### A. Fluida

##### 1. Hakikat Fluida

Fluida adalah suatu zat yang terus menerus berubah bentuk apabila mengalami tegangan geser, betapapun kecilnya tegangan geser tersebut. Semakin besar laju perubahan fluida, makin besar pula tegangan geser untuk fluida tersebut.<sup>5</sup> Bila kita mencoba mengubah bentuk suatu massa fluida, maka di dalam fluida tersebut akan terbentuk lapisan-lapisan di mana lapisan yang satu akan mengalir di atas lapisan yang lain, sehingga tercapai bentuk baru. Selama perubahan bentuk tersebut, terdapat tegangan geser (*shear stress*), yang besarnya bergantung pada viskositas fluida dan laju alir fluida relatif terhadap arah tertentu. Beberapa sifat fluida yang merupakan element penting yang mempengaruhi tegangan geser ialah:

##### a. Kerapatan

Kerapatan (*density*) suatu fluida didefinisikan sebagai ukuran untuk konsentrasi zat tersebut dan dinyatakan dalam massa persatuan volume. Sifat ini ditentukan dengan cara menghitung rasio massa zat

---

<sup>5</sup> Victor L. Streeter, *Mekanika Fluida: Edisi Delapan Jilid 1*. (Jakarta : Erlangga, 1993) hal. 3

yang terkandung dalam suatu bagian tertentu terhadap volume tersebut.<sup>6</sup>

Volume jenis adalah volume yang ditempati oleh sebuah satuan massa zat.

$$v = \frac{1}{\rho} \quad (2.1)^7$$

Berat jenis adalah gaya gravitasi terhadap massa yang terkandung dalam sebuah satuan volume zat. Berat jenis dipengaruhi oleh harga percepatan gravitasi. Seperti di daerah pegunungan mempunyai nilai gravitasi yang lebih besar dari pada di daerah perkotaan, hal ini disebabkan oleh pengaruh kerapatan fluida.

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (2.2)^8$$

b. *Viskositas*

*Viskositas* fluida merupakan sifat fluida yang menyatakan ukuran ketahanan sebuah fluida terhadap deformasi atau perubahan bentuk. *Viskositas* suatu fluida bertambah dengan naiknya temperatur, karena makin besarnya aktivitas molekular ketika temperatur meningkat. *Viskositas* adalah sifat fluida yang mendasari diberikannya tahanan terhadap tegangan geser oleh fluida tersebut.

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \quad (2.3)^9$$

---

<sup>6</sup> *Ibid.*, hal. 13

<sup>7</sup> *Ibid.*

<sup>8</sup> *Ibid.*

<sup>9</sup> *Ibid.*, hal. 9

### c. Kompreibilitas

Berbagai jenis fluida dapat mengalami perubahan bentuk akibat gesekan *viscous* atau kompresi oleh suatu tekanan dari luar yang bekerja terhadap suatu volume fluida.

Kompreibilitas suatu zat dapat didefinisikan menurut bulk modulus elastisitas rata ialah:

$$K = \frac{P_2 - P_1}{(v_2 - v_1)/v_1} = \frac{-\Delta P}{\Delta v/v} \quad (2.4)^{10}$$

Dimana: K = Kompreibilitas; P = Tekanan; V = Volume

Aliran dianggap tak dapat mampat (*incompressible*) bila perubahan kerapatan fluida dapat diabaikan. Aliran fluida dengan kecepatan di atas sekitar 60-90 m/s harus dianggap aliran dapat mampat. Fluida dianggap tidak dapat mampat adalah fluida yang kerapatannya tidak tergantung pada tekanan.<sup>11</sup>

## 2. Klasifikasi Aliran Fluida

Jenis aliran suatu fluida banyak dikategorikan seperti *steady* atau *unsteady*, seragam atau tidak seragam, *laminar* atau *turbulen*, dan aliran mampu mampat atau tak mampat. Namun secara umum jenis aliran dapat dibedakan sebagai berikut:

- a. *Steady* : Suatu aliran dimana kecepatannya tidak terpengaruh oleh perubahan waktu, sehingga kecepatannya konstan pada setiap titik.

---

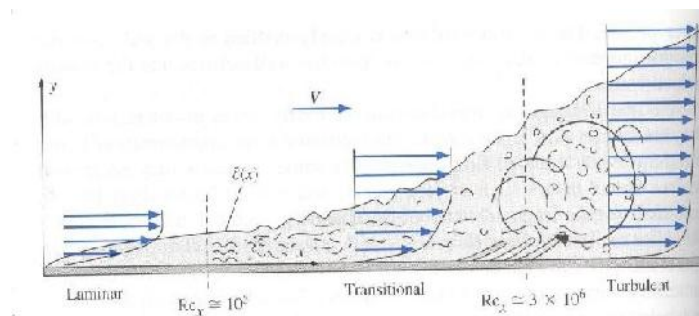
<sup>10</sup> *Ibid.*, hal. 8

<sup>11</sup> *Ibid.*, hal. 47

- b. *Unsteady* : Suatu aliran dimana terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu.

### 3. Tipe Aliran

- a. Aliran *Laminar* : Aliran fluida bergerak dengan kecepatan yang sama dan dengan lintasan partikel yang tidak memotong atau menyilang, dapat dikatakan bahwa aliran laminar ditandai dengan keteraturan aliran fluida.
- b. Aliran *Transisi* : Batas perubahan antara aliran laminar menuju ke aliran turbulen.
- c. Aliran *Turbulen* : Gerakan fluida tidak lagi tenang melainkan menjadi bergolak. Pada aliran turbulen partikel fluida tidak membuat fluktuasi tertentu dan tidak memperlihatkan pola gerakan yang dapat diamati.



Gambar 2.1 Tipe aliran fluida.<sup>12</sup>

Untuk menganalisa kedua tipe aliran ini diberikan parameter tak berdimensi yang dikenal dengan nama bilangan Reynold:

<sup>12</sup> Yunus A.Cengel, *Fluid Mechanics* (New York:Mc Graw Hill, 2006) hal. 541.

$$Re = \frac{(\rho \cdot v \cdot d)}{\mu} = \frac{v \cdot L}{\nu} = \frac{\text{Gaya Inersia}}{\text{Gaya Viskos}} \quad (2.5)^{13}$$

Dimana : Re = Bilangan Reynold      v = kecepatan aliran (m/s)

$\rho$  = massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)      d = diameter (m)

$\mu$  = viskositas dinamis (N.s/m<sup>2</sup>)

Transisi dari aliran laminar dan aliran turbulen karena bilangan Reynolds tertentu aliran laminar menjadi tidak stabil. Transisi tergantung pada gangguan-gangguan yang dapat berasal dari luar atau karena kekasaran permukaan, transisi tersebut dapat terjadi dalam selang bilangan Reynolds dan telah diketahui bahwa aliran laminar pada kondisi dimana bilangan Reynolds lebih kecil dari 100.000 dan turbulen jika bilangan Reynolds lebih besar 3.000.000. Jika bilangan Reynolds berada diantara 100.000 dan 3.000.000 adalah merupakan daerah transisi.<sup>14</sup>

## B. Hakikat Motor Bensin 2 Langkah

Motor bensin merupakan mesin pembangkit tenaga yang mengubah bahan bakar bensin menjadi tenaga panas dan akhirnya menjadi tenaga mekanik.<sup>15</sup> Menurut Daryanto “motor bensin adalah pesawat penggerak mula yang mengubah tenaga kimia bahan bakar menjadi tenaga panas dengan jalan pembakaran, panas tersebut selanjutnya dirubah menjadi

<sup>13</sup> E. John Finnemore and Joseph B Franzini. *Fluid Mechanics With Engineering Applications* (Newyork: McGrawHill, 2002) hal. 279

<sup>14</sup> Yunus A. Cengel *Loc.it*

<sup>15</sup> Wahyu Hidayat, *Motor Bensin Modern* (Jakarta: Rineka Cipta, 2012), hal. 1

tenaga mekanik”.<sup>16</sup> Jadi motor bensin adalah mesin yang bekerja memanfaatkan energi dari hasil gas panas hasil proses pembakaran, dimana proses pembakaran berlangsung di dalam silinder mesin itu sendiri sehingga gas pembakaran sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja menjadi tenaga atau energi panas.

Motor bensin 2 langkah adalah motor bensin yang memerlukan 2 kali langkah torak (satu putaran poros engkol) untuk menghasilkan satu kali usaha/kerja.<sup>17</sup> Amin nugroho menyatakan, “motor bensin 2 langkah adalah jenis motor pembakaran dalam yang setiap 2 langkah torak atau satu putaran poros engkol terjadi satu kali pembakaran bahan bakar atau menghasilkan satu kali langkah usaha”.<sup>18</sup>

### **1. Proses Kerja Motor Bensin 2 Langkah**

Motor bensin 2 langkah pada prinsipnya bekerja dengan 2 langkah piston atau 1 putaran poros engkol. Dalam satu siklus kerja mesin 2 langkah hanya terdiri dari 1 kali gerakan naik dan 1 gerakan turun dari piston saja, berbeda dengan mesin 4 langkah yang dalam satu siklus kerja mesin harus terdiri dari 2 gerak naik dan 2 gerak turun. Dalam satu siklusnya terjadi proses yang berlangsung secara berulang-ulang yang dikenal dengan langkah isap, langkah kompresi, langkah usaha, dan

---

<sup>16</sup> Daryanto, *Prinsip Dasar Mesin Otomotif* (Bandung: Alfabeta, 2011), hal. 3

<sup>17</sup> *Ibid.*, hal. 12

<sup>18</sup> Amien Nugroho, *Ensiklopedia Otomotif* (Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2005), hal. 186

langkah buang. Pada motor bensin 2 langkah keempat proses kerjanya beberapa ada yang berlangsung secara bersamaan.

a. Langkah Isap dan Langkah Kompresi

Setengah putaran pertama atau  $180^0$ , piston bergerak dari titik mati bawah ke titik mati atas. Pada bagian bawah piston terjadi langkah isap, selama langkah piston menuju titik mati atas, ruang engkol akan membesar menjadikan ruang tersebut hampa atau vakum. Dengan perbedaan tekanan ini, maka udara luar dapat mengalir dan bercampur dengan bahan bakar di alat pencampur bahan bakar yang selanjutnya masuk ke ruang engkol.

Pada bagian atas piston terjadi langkah kompresi, ketika piston bergerak menuju titik mati atas. Bila saluran bilas dan saluran buang tertutup, maka proses langkah kompresi mulai. Dengan gerakan piston terus keatas mendesak gas baru yang sudah masuk sebelumnya, membuat suhu dan tekanan meningkat. Beberapa derajat sebelum piston mencapai titik mati atas, busi akan meletikkan bunga api dan mulai membakar campuran gas tadi.

b. Langkah Usaha dan Langkah Buang

Setelah putaran kedua atau  $360^0$ , piston bergerak dari titik mati atas menuju titik mati bawah. Pada bagian atas piston terjadi langkah usaha. Pembakaran yang mengakibatkan ledakan yang menghasilkan tenaga, dan mendesak piston menuju titik mati bawah. Beberapa



derajat setelah piston bergerak ke titik mati bawah lubang buang terbuka oleh kepala piston, gas-gas bekas keluar melalui saluran buang. Langkah ini disebut langkah buang.

Pada bagian bawah piston, beberapa derajat selanjutnya setelah saluran buang dibuka, maka saluran bilas mulai terbuka oleh tepi piston. Gas baru yang berada dibawah piston terdesak dan mengalir melalui saluran bilas menuju puncak ruang bakar sambil membantu mendorong gas bakar keluar. Proses ini disebut pembilasan.

## **2. Dasar Teori Motor Bensin**

Sumber tenaga mesin hanyalah mengubah bahan bakar menjadi energi gerak berputar, yang diukur dengan *horse power*. Campuran bahan bakar yang dikabutkan dengan udara melalui alat pencampur bahan bakar mengalir deras ke dalam silinder. Campuran ini akan diledakkan di dalam silinder, menciptakan pengembangan panas yang akan menghasilkan tekanan. Piston terdorong turun dalam silinder hingga mampu memutar poros engkol. Bahan bakar sebuah sumber energi kimia. Seberapa banyak bensin yang mampu dibakar secara efektif di dalam mesin sangat berhubungan dengan hasil *out put* tenaganya. Jika campuran udara dengan bahan bakar terlalu basah, mesin tidak akan bekerja normal akibatnya mesin akan menghasilkan tenaga yang kecil. Cara terbaik membuat campuran udara dengan bahan bakar ideal yaitu 1:15 sampai 1:13. Semakin besar kapasitas alat penyampur sebagai

jantung dalam mesin untuk mengisap udara dan bahan bakar ke dalam ruang silinder, maka mesin dengan kapasitas besar akan menghasilkan tenaga lebih besar.

Kemampuan mesin adalah prestasi suatu mesin yang erat hubungannya dengan daya mesin yang dihasilkan.<sup>19</sup> Ada 3 faktor yang menentukan besarnya tenaga pada sebuah mesin<sup>20</sup>:

- 1) Efisiensi mesin, yaitu seberapa dorongan pada piston yang dihasilkan oleh gaya putaran roda penerus.
- 2) Efisiensi thermal, yaitu seberapa banyak bahan bakar yang harus dibakar/dipanaskan dalam silinder untuk mendorong piston turun menuju titik mati bawah secara efisien.
- 3) Efisiensi volumetrik yaitu membuat saluran/ukuran yang tepat untuk memompa gas secara optimal.

#### a. Volume Silinder

Volume silinder ialah besarnya volume langkah ditambah volume ruang bakar.<sup>21</sup> Volume langkah dihitung dari volume di atas piston saat posisi piston di titik mati bawah sampai garis titik mati atas. Sedangkan volume ruang bakar dihitung volume di atas piston saat posisi piston berada di titik mati atas, juga disebut volume sisa.

---

<sup>19</sup> Wahyu Hidayat *Op. Cit.*, hal. 22

<sup>20</sup> *Ibid.*, hal, 23

<sup>21</sup> *Ibid.*, hal. 23

Besarnya volume langkah adalah luas lingkaran dikalikan panjang piston.

$$V_L = \pi/4 \cdot D^2 \cdot L \quad (2.6)^{22}$$

$$V_t = V_L + V_s \quad (2.7)^{23}$$

b. Perbandingan Kompresi

Perbandingan kompresi ialah perbandingan antara volume silinder dan volume ruang bakar atau ruang kompresi.

$$r = \frac{V_L + V_s}{V_s} = \frac{V_t}{V_s} = \frac{V_L}{V_s} + 1 \quad (2.8)^{24}$$

r = perbandingan kompresi

Jika perbandingan kompresi dari suatu motor bakar piston tinggi, hal ini akan berpengaruh terhadap tekanan hasil dari proses pembakaran didalam silinder. Oleh karena itu, untuk menaikkan efisiensi kerja motor dapat dilakukan dengan cara menaikkan perbandingan kompresinya. Batas perbandingan kompresi untuk motor bensin lebih rendah dari pada motor disel. Maka besarnya perbandingan kompresi motor bensin harus dibatasi tidak boleh terlalu tinggi, karena dapat mengakibatkan terjadinya detonasi. Perbandingan kompresi motor bensin hanya berkisar antara 6:1 sampai 12:1. Sedangkan untuk motor disel perbandingan kompresi lebih tinggi antara 13:1 sampai 24:1.

---

<sup>22</sup> *Ibid*

<sup>23</sup> *Ibid*

<sup>24</sup> *Ibid.*, hal. 25

c. Efisiensi Volumetrik Silinder

Secara teoritis jumlah campuran bensin dan udara yang masuk kedalam silinder sama dengan volume langkahnya. Akan tetapi kenyataannya tidak sama karena dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain tekanan udara, temperatur, panjang saluran, bentuk saluran, dan sisa gas pembakaran di dalam silinder pada proses yang mendahului. Efisiensi volumetric ( $\eta_{vol}$ ) dapat dinyatakan:

$$\eta_{vol} = \frac{V_i}{V_L} \times 100\% \quad (2.9)^{25}$$

$V_i$  = Volume campuran bensin dan udara (cc)

$V_L$  = Volume langkah piston (cc)

Semakin banyak muatan baru yang masuk ke dalam silinder, semakin besar tenaga yang dihasilkan mesin atau tekanan tinggi dari pembakaran. Pada kenyataannya efisiensi volumetrik suatu motor tidak akan mencapai 100%, hanya berkisar antara 60% - 85%. Untuk meningkatkan efisiensi tersebut dapat dilakukan dengan cara membantu pemasukan muatan baru ke dalam silinder dengan tekanan lebih.

d. Efisiensi Pemasukan Udara dan Bahan Bakar

Efisiensi pemasukan udara dan bahan bakar erat hubungannya dengan efisiensi volumetrik. Tekanan masuk campuran bahan bakar dan udara ( $P$ ) akan diubah menjadi tekanan atmosfer ( $P_0$ ) dan

---

<sup>25</sup> *Ibid.*, hal. 26

temperatur (T) diubah menjadi temperatur standar 15 °C ( $T_0$ ).  
Dinyatakan bahwa efisiensi pemasukan udara dan bahan bakar ialah, perbandingan antara volume campuran bahan bakar dan udara pada tekanan dan temperatur sekelilingnya, dengan persamaan:

$$\eta_{ch} = \frac{V_{iC}}{V_L} \times 100\% \quad (2.10)^{26}$$

$$V_{iO} = \frac{P \cdot V_i}{T} \times \frac{T_0}{P_0} \quad (2.11)^{27}$$

Keterangan,  $V_{iO}$  = jumlah muatan yang masuk ke silinder (CC)

$P_0$  = Tekanan standar (1 atmosfer)

$T_0$  = Temperatur standar 15 °C

#### e. Daya Kerja Motor

Tekanan gas yang diambil dari harga, maksimal dan minimal adalah tekanan rata-rata. Gaya yang mendorong piston adalah besarnya tekanan rata-rata dikalikan dengan luas penampang piston, yang dinyatakan<sup>28</sup>:

$$F = A Pr \quad (2.12)^{29}$$

Keterangan :  $F$  = gaya yang mendorong piston (kg)

$A$  = luas penampang piston (cm<sup>2</sup>)

$Pr$  = tekanan rata-rata (kg/cm<sup>2</sup>)

---

<sup>26</sup> *Ibid.*, hal. 27

<sup>27</sup> *Ibid.*,

<sup>28</sup> *Ibid.*, hal. 33

<sup>29</sup> *Ibid.*,

Usaha kerja yang terjadi pada piston yang bergerak dari TMA sampai TMB, dinyatakan:

$$W = F \cdot L \quad (2.13)^{30}$$

Keterangan:  $W$  = usaha kerja piston (kg/cm)

$F$  = gaya yang mendorong piston (kg)

$L$  = panjang langkah piston (cm)

Sedangkan tenaga yang dihasilkan oleh suatu motor adalah usaha kerja per waktu, dinyatakan:

$$E = W/t \quad (2.14)^{31}$$

$$E = W/550 \text{ HP.} \quad (2.15)^{32}$$

Jika  $a$  adalah banyaknya pembakaran tiap putaran, maka daya indikator dapat dihitung dengan persamaan:

$$N_i = a (A Pr L N z) / 100.75.60 \quad (2.16)^{33}$$

Keterangan :  $a = \frac{1}{2}$  untuk motor empat langkah tunggal

$a = 1$  untuk motor empat langkah ganda

$a = 1$  untuk motor dua langkah tunggal

$N_i$  = daya indikator (DK)

$N$  = putaran motor per menit

$z$  = jumlah silinder

---

<sup>30</sup> *Ibid.,*

<sup>31</sup> *Ibid.,*

<sup>32</sup> *Ibid.,*

<sup>33</sup> *Ibid.,*

Jika daya indikator dikurangi dengan kerugian faktor gesekan akan menghasilkan daya efektif motor ( $N_e$ ). Besar kecilnya kerugian pengaruh faktor gesekan akan mempengaruhi efisiensi, dinyatakan:

$$N_e = N_i \cdot \eta_m \quad (2.17)^{34}$$

### 3. Sistem Bahan Bakar Elektronik

EFI adalah sebuah kata singkatan dari *Electronic Fuel Injection*. Adapun pengertian dari EFI adalah sebuah sistem penyemprotan bahan bakar yang dalam kerjanya dikontrol secara elektronik agar didapatkan nilai campuran udara dan bahan bakar selalu sesuai dengan kebutuhan motor bakar, sehingga didapatkan daya motor yang optimal dengan pemakaian bahan bakar yang minimal serta mempunyai gas buang yang ramah lingkungan.<sup>35</sup> Dalam kehidupan sehari-hari nama EFI telah dipakai oleh merk Toyota, sedangkan merk lain mempunyai nama-nama yang berbeda, akan tetapi prinsip dari semua sistem tersebut adalah sama.

Sistem EFI menentukan jumlah bahan bakar yang optimal (tepat) disesuaikan dengan jumlah dan temperatur udara yang masuk, kecepatan mesin, temperatur air pendingin, posisi katup *throttle* pengembunan oxygen di dalam *exhaust pipe*, dan kondisi penting lainnya. ECU EFI mengatur jumlah bahan bakar untuk dikirim ke mesin pada saat penginjeksian dengan perbandingan udara dan bahan bakar yang optimal berdasarkan kepada karakteristik kerja mesin. Sistem EFI menjamin

---

<sup>34</sup> *Ibid.*,

<sup>35</sup> *Ibid*, hal. 122

perbandingan udara dan bahan bakar yang ideal dan efisiensi bahan bakar yang tinggi pada setiap saat.

**a. Komponen-Komponen Dasar EFI**

Setiap jenis atau model sepeda motor mempunyai desain masing-masing namun secara garis besar terdapat komponen-komponen berikut:

1) *ECU – Electrical Control Unit*

Pusat pengolah data kondisi penggunaan mesin, mendapat masukan/*input* dari sensor-sensor mengolahnya kemudian memberi keluaran/*output* untuk saat dan jumlah injeksi, saat pengapian.

2) *Fuel Pump*

Menghasilkan tekanan BBM yang siap diinjeksikan.

3) *Pressure Regulator*

Mengatur kondisi tekanan BBM selalu tetap (55~60psi).

4) *Temperature Sensor*

Memberi masukan ke ECU kondisi suhu mesin, kondisi mesin dingin membutuhkan BBM lebih banyak.

5) *Inlet Air Temperature Sensor*

Memberi masukan ke ECU kondisi suhu udara yang akan masuk ke mesin, udara dingin O<sub>2</sub> lebih padat, membutuhkan BBM lebih banyak.



6) *Inlet Air Pressure Sensor*

Memberi masukan ke ECU kondisi tekanan udara yang akan masuk ke mesin, udara bertekanan (pada tipe sepeda motor ini hulu saluran masuk ada diantara dua lampu depan) O<sub>2</sub> lebih padat, membutuhkan BBM lebih banyak. *Atmospheric Pressure Sensor* memberi masukan ke ECU kondisi tekanan udara lingkungan sekitar sepeda motor, pada dataran rendah (pantai) O<sub>2</sub> lebih padat, membutuhkan BBM lebih banyak.

7) *Crankshaft Sensor*

Memberi masukan ke ECU posisi dan kecepatan putaran mesin, putaran tinggi membutuhkan buka injektor yang lebih cepat.

8) *Camshaft Sensor*

Memberi masukan ke ECU posisi langkah mesin, hanya langkah hisap yang membutuhkan buka injektor.

9) *Throttle Sensor*

Memberi masukan ke ECU posisi dan besarnya bukaan aliran udara, bukaan besar membutuhkan buka injektor yang lebih lama.

10) *Fuel Injector / Injector*

Gerbang akhir dari BBM yang bertekanan, fungsi utama menyemprotkan BBM ke dalam mesin, membuka dan menutup berdasarkan perintah dari ECU.

### 11) *Speed Sensor*

Memberi masukan ke ECU kondisi kecepatan sepedamotor, memainkan gas di lampu merah dibanding kecepatan 90km/jam, buka injektor berbeda.

### 12) *Vehicle-down Sensor*

Memberi masukan ke ECU kondisi sepeda motor, jika motor terjatuh dengan kondisi mesin hidup maka ECU akan menghentikan kerja *fuel pump*, *ignition*, injektor, untuk keamanan dan keselamatan.

## **b. Jenis Sistem EFI**

Jenis sistem EFI pada sistem pemasukan bahan bakar ke dalam silinder mesin ada 3 jenis antara lain:

### 1) Sistem injeksi K-Jetronik

Pada sistem K-Jetronik, huruf “K” berarti kontinyu, bahwa konsumsi bahan bakar pada mesin ini disemprotkan secara terus-menerus atau kontinyu. Meteran jumlah udara, di dalam sebuah corong berbentuk kerucut, terdapat plat pendorong yang dipasang pada tuas yang menggantung bebas. Berat plat itu dikompensasikan oleh sebuah beban kontra, sehingga ketidakrataan jalan tidak dapat mempengaruhinya. Makin banyak udara yang mengalir melalui kerucut, maka plat penekan makin melayang lebih tinggi. Jumlah udara tergantung dari kedudukan katup yang berada antara motor dan meteran udara. Hubungan antara langkah plat terhadap jumlah

udara ialah benar-benar *linier* (berbanding lurus). Injektor biasanya dipasang sedekat mungkin dengan katup-katup masuk, setelah distel pada tekanan lubang 330 kPa. Pengabut akan menyemprotkan bahan bakar tanpa henti dan dirancang sedemikian rupa, sehingga jumlah arus kecil pun tetap aktif mengabutkan bensin dengan baik.

## 2) Sistem injeksi L-Jetronik

Pada sistem L-Jetronik, penyemprotan dilakukan dengan sebagian udara, di bawah tekanan rendah sejumlah bahan bakar masuk ke dalam saluran dekat katup. Banyaknya bahan bakar ditentukan oleh lamanya membuka dari pengabut. Pengabut bekerja dengan tinggi angkat yang konstan, tekanan bensin pada saat pengabutan berlangsung pada tekanan konstan. Dalam L-EFI, *airflow* meter langsung mengukur jumlah udara yang masuk ke *intake manifold* dan bisa mengukur jumlah udara dengan akurat serta dapat mengontrol penginjeksian bahan bakar lebih tepat dibandingkan dengan sistem D-EFI.

## 3) Sistem D-EFI (*Manifold Control Type*)

D-EFI, mengukur tekanan dalam *intake manifold* dan menghitung jumlah udara yang masuk. Tetapi tekanan udara dan jumlah udara tidak dalam konversi yang tepat sehingga masih belum akurat dibandingkan dengan system L-EFI.

**c. Bagaimana EFI Bekerja :**

Efi bekerja dengan beberapa prinsip utama, sistem *electronic fuel injections* dibagi menjadi tiga macam sistem utama:

1) Sistem Saluran Bahan Bakar

- a) Sistem saluran bahan bakar, terdiri dari tangki bahan bakar, pompa bahan bakar, pipa saluran bahan bakar, *pressure regulator*, dan pipa (selang) balik.
- b) Bahan bakar menuju ke injektor ditekan menggunakan pompa bahan bakar. Pompa bahan bakar diletakkan dekat dengan tangki bahan bakar, sedangkan kotoran-kotoran yang ada pada bahan bakar disaring dengan menggunakan filter yang sangat presisi, hal ini dimaksudkan agar tidak menyumbat injektor.
- c) Tekanan bahan bakar, diusahakan selalu konstan, untuk melakukan ini digunakan alat *pressure regulator*, jika tekanan berlebih akan berbalik menuju tangki lagi lewat selang balik.

Adapun fungsi masing-masing komponen pada sistem bahan bakar tersebut adalah sebagai berikut:

- (1) *Fuel suction filter*; menyaring kotoran agar tidak terisap pompa bahan bakar.
- (2) *Fuel pump module*; memompa dan mengalirkan bahan bakar dari tangki bahan bakar ke injektor. Penyaluran bahan bakarnya harus lebih banyak dibandingkan dengan kebutuhan mesin supaya

tekanan dalam sistem bahan bakar bisa dipertahankan setiap waktu walaupun kondisi mesin berubah-ubah.

(3) *Fuel pressure regulator*; mengatur tekanan bahan bakar di dalam sistem aliran bahan bakar agar tetap/konstan.

(4) *Fuel feed hose*; selang untuk mengalirkan bahan bakar dari tangki menuju injektor. Selang dirancang harus tahan tekanan bahan bakar akibat dipompa dengan tekanan minimal sebesar tekanan yang dihasilkan oleh pompa.

(5) *Fuel Injector*; menyembrotkan bahan bakar ke saluran masuk (*intake manifold*) sebelum, biasanya sebelum katup masuk, namun ada juga yang ke *throttle body*. Volume penyemprotan disesuaikan oleh waktu pembukaan nozel/injektor. Lama dan banyaknya penyemprotan diatur oleh ECM (*Electronic/Engine Control Module*) atau ECU (*Electronic Control Unit*). Terjadinya penyemprotan pada injektor adalah pada saat ECU memberikan tegangan listrik ke *solenoid coil* injektor. Dengan pemberian tegangan listrik tersebut *solenoid coil* akan menjadi magnet sehingga mampu menarik *plunyer* dan mengangkat *needle valve* (katup jarum) dari dudukannya, sehingga saluran bahan bakar yang sudah bertekanan akan memancar keluar dari injektor.

## 2) Sistem Udara Masuk

- a) Sistem udara masuk terdiri dari saringan udara, pengukur aliran udara, katup *throttle*, *chamber* udara masuk, *intake manifold* runner, dan katup masuk.
- b) Ketika katup *throttle* dibuka, udara mengalir melalui saringan udara, udara masuk tergantung dari besarnya bukaan masuk *throtlle*, semakin besar bukaan, aliran udara semakin besar.
- c) Pada mesin tertentu mempunyai dua metode untuk menghitung volume udara masuk, yaitu L tipe EFI dimana tipe ini akan menghitung langsung volume udara masuk, kedua D EFI dimana penghitungannya menggunakan tekanan di *intake manifold*.

## 3) Sistem kontrol elektronik

- a) Sistem kontrol elektronik terdiri dari beberapa sistem kontrol, yaitu ECU (*electronic control unit*), Injektor dan kelistrikan yang terkait.
- b) Fungsi dari ECU sendiri untuk menentukan berapa jumlah bahan bakar yang akan disemprotkan mengacu dari penghitungan sensor-sensor yang berada pada mesin.
- c) ECU menghidupkan setiap injektor bergantung pada pulsa yang dikirim dari sensor *crankshaft*.

#### d. Injektor

Injektor adalah peranti penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang bakar pada mesin.<sup>36</sup> Di samping itu, injektor harus dapat mengabutkan bahan bakar sesuai dengan derajat pengabutan yang diminta, serta mendistribusikan bahan bakar untuk memperoleh pembakaran yang sempurna dalam waktu yang direncanakan. Tekanan udara di dalam silinder ketika bahan bakar disemprotkan sudah sangat tinggi (sekitar 35-50 atmosfer) sehingga tekanan penyemprotan bahan bakar juga harus tinggi.<sup>37</sup> Tekanan yang lebih tinggi diperlukan untuk memperoleh derajat pengkabutan yang sesuai dengan kecepatan bahan bakar keluar dari penyemprotan. Semakin besar kecepatan penyemprotan semakin tinggi derajat pengabutannya. Kecepatan penyemprotan yang diperlukan sekitar 40 cm/detik dengan tekanan penyemprotan  $70 \text{ N/mm}^2 - 100 \text{ N/mm}^2$ .<sup>38</sup>

Ada beberapa macam model injektor antara lain:

- 1) Model lubang tunggal
- 2) Model lubang banyak
- 3) Model *pintle*/pentil
- 4) Model *throttle*/katup/klep

---

<sup>36</sup> *Ibid.*, hal. 135

<sup>37</sup> *Ibid.*,

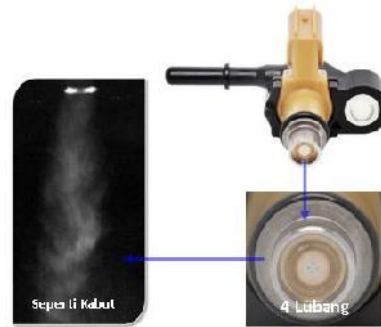
<sup>38</sup> *Ibid.*,

Dilihat dari cara kerjanya, injektor dibedakan menjadi 2 macam, yaitu injektor hidrolik dan injektor mekanik. Cara kerja pada injektor hidrolik yaitu, bahan bakar masuk ke saluran bahan bakar pada badan injektor, selanjutnya bahan bakar tersebut masuk ke ruang pengabut. Katup jarum pengabut terangkat oleh tekanan bahan bakar yang tinggi. Katup jarum tersebut ditahan oleh pegas. Jika tekanan bahan bakar melebihi kekuatan tekanan pegas, maka bahan bakar akan tersemprot keluar dalam bentuk kabut melalui lubang pengabut. Setelah tekanan bahan bakar berkurang, katup jarum tertekan pegas sehingga katup jarum menutup lubang pengabutan. Kelebihan bahan bakar akan mengalir melalui batang penekan masuk ke ruang pegas, dan keluar melalui saluran pembuangan limbah. Baut pengukur tekanan berfungsi untuk mengatur besarnya tekanan jarum katup agar dapat menutup lubang pengabutan.

Pada injektor mekanik digunakan pada sistem akumulator. Bahan bakar dari akumulator yang bertekanan tinggi disalurkan ke injektor melalui saluran masuk kemudian melalui saluran dalam injektor dan di sekeliling katup jarum injektor. Jika *rocker arm* (lengan penumbuk) ditekan ke bawah, maka *rocker arm* akan menekan *rocker lever* sehingga katup jarum terangkat ke atas, akibatnya bahan bakar yang ada pada ruangan injektor tersemprot ke ruang bakar. Jika



*rocker arm* bergerak ke atas, katup jarum bergerak turun menutup lubang penyemprotan sehingga bahan bakar tidak disemprotkan lagi.



Gambar 2.2 Injektor

**e. *Intake Manifold***

*Intake manifold* atau saluran pemasukan adalah komponen yang berfungsi menyalurkan dan membagi campuran gas yang datang masuk ke dalam silinder-silinder. *Intake manifold* terbuat dari besi tuang atau aluminium. *Intake manifold* biasanya ditempatkan di atas saluran buang agar gas-gas yang masih panas dapat memberikan pemanasan pada campuran gas yang ada di dalam *intake manifold*. *Intake manifold* dipasang pada sisi kepala silinder dengan gasket.

**C. Metode Element Hingga**

Metode element hingga adalah metode numerik untuk mendapatkan solusi persamaan diferensial, baik persamaan diferensial biasa maupun persamaan *diferensial parsial*. Persamaan *diferensial* sangatlah penting untuk para insiyur sebagai model permasalahan *engineering* untuk memahami dan menerapkan metode element hingga.

Metode element hingga pada awalnya dikembangkan untuk memecahkan problem pada benda padat tetapi kini metode element hingga sudah merambah ke semua problem *engineering* seperti mekanika fluida, perpindahan panas, getaran mekanis, dll

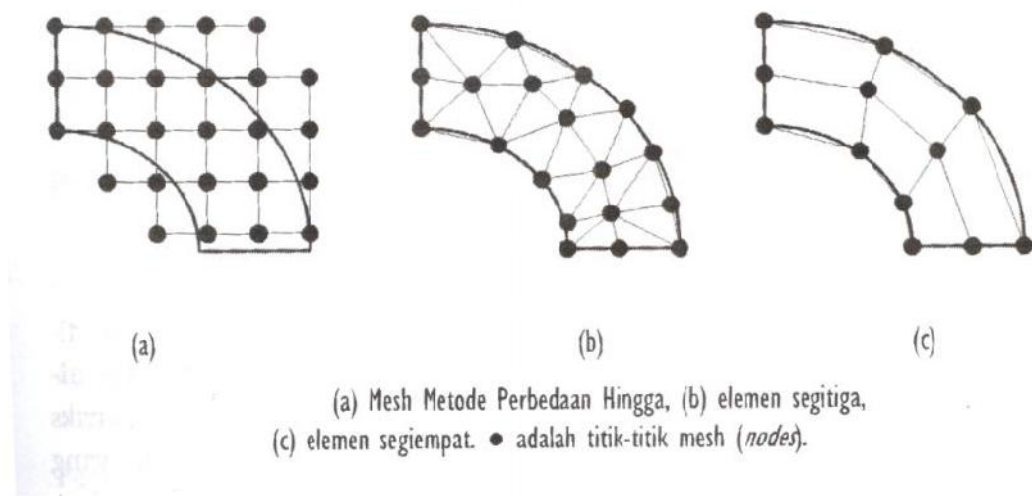
Proses inti metode element hingga adalah membagi problem yang kompleks menjadi bagian-bagian kecil atau element-element, dimana solusi yang lebih sederhana dapat dengan mudah diperoleh. Solusi dari setiap element jika digabungkan akan menjadi solusi problem secara keseluruhan.

### **1. Langkah Penerapan Metode Element Hingga**

Prinsip metode element hingga adalah membagi domain permasalahan, menjadi sub domain atau element yang lebih kecil. Dengan menghitung solusi pada element-element dan selanjutnya menggabungkan keseluruhan solusi elemental, solusi total dari permasalahan dapat diperoleh.<sup>39</sup> Disamping metode element hingga, metode numerik lain yang umum digunakan adalah metode perbedaan hingga. Perbedaan utama dari kedua metode ini terletak pada solusi yang diperoleh dan juga bentuk dari domain. Metode perbedaaan hingga sulit digunakan pada domain dengan bentuk geometri yang kompleks. Hal ini dapat dilihat pada gambar yang berupa sebuah seperempat profil *annulus*.

---

<sup>39</sup> Prabuono Buyung K, *Teori dan Aplikasi Metode Element Hingga* (Yogyakarta :Andi, 2012) hal.2



Gambar 2.3 Perbedaan element antara perbedaan hingga dengan element hingga<sup>40</sup>

Pada gambar tersebut jelas terlihat bahwa dengan menggunakan metode perbedaan hingga. Titik *mesh* tidak dengan tepat berada pada batas *annulus*. Hal ini akan mengurangi akurasi hasil dari metode perbedaan hingga. Hal ini tidak menjadi masalah jika Metode element hingga digunakan karena titik-titik *mesh* dapat diletakan pada batas domain. Dengan metode element hingga, solusi yang diperoleh adalah fungsi interpolasi setiap element, Setelah fungsi interpolasi setiap element dihitung, solusi secara keseluruhan dapat diperoleh. Fungsi-fungsi setiap element ditentukan oleh nilai pada titik-titik *mesh*.

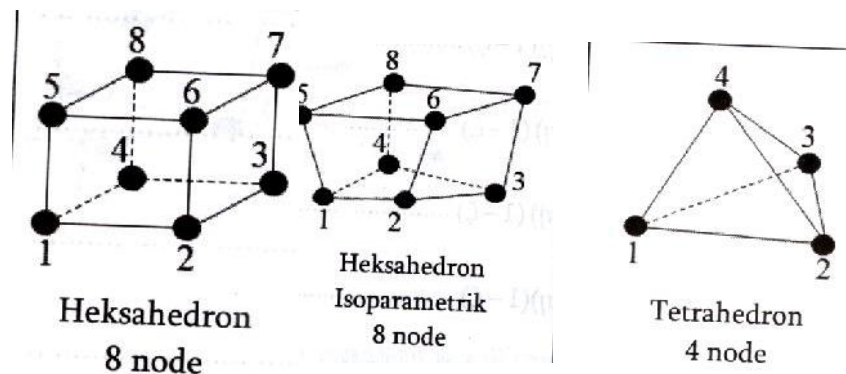
Pada prinsipnya penerapan metode element hingga terdiri dari langkah-langkah berikut:

<sup>40</sup> *Ibid.*, hal. 3

a. Diskretisasi domain

Pada tahap ini dimana tahap untuk penentuan jenis element yang digunakan. Untuk problem 2 dimensi, element 2 dimensi yang umum digunakan adalah element *triangular* (tiga sisi) atau *quadrilateral* (empat sisi). Element-element ini biasa berupa element linear ataupun non-linear. Untuk problem 3 dimensi, element 3 dimensi yang umum digunakan adalah element *tetrahedral* (empat muka) dan *heksahedral* (enam muka).

Keunggulan metode elemen hingga dibandingkan metode perbedaan element-element yang digunakan dapat mempunyai perbedaan ukuran, element-element kecil dapat digunakan pada daerah dengan nilai gradiasi yang besar.



Gambar 2.4 Element Yang Digunakan Pada 3 Dimensi.<sup>41</sup>

b. Penentuan bentuk fungsi aproksimasi

Pada tahap ini bentuk dari fungsi interpolasi ditentukan.

<sup>41</sup> *Ibid.*, hal. 103

Fungsi yang umum digunakan adalah fungsi *polynomial*. Tingkat dari *polynomial* ini ditentukan oleh jumlah node pada setiap element dan syarat kontinuita yang diperlukan pada batas element. Untuk element segitiga dengan tiga titik nodal. Fungsi interpolasinya adalah fungsi linear atau *polynomial* tingkat 1. Dengan enam titik nodal, fungsi interpolasi yang digunakan adalah fungsi *polynomial* tingkat 2 atau kuadratik.

c. Penghitungan properti element

Fungsi interpolasi yang telah ditentukan pada tahap 2 kemudian disubstitusikan kembali pada persamaan-persamaan diferensial dan diproses guna mendapatkan sistem persamaan linear atau sistem matriks yang merupakan properti element terkait.

d. Pembentukan sistem persamaan linear

Matriks-matriks element yang terbentuk kemudian digabung menjadi matriks global. Ukuran matriks element adalah jumlah node per element dikalikan dengan jumlah *degree of freedom* (dof) setiap node. Jadi untuk element segitiga dengan 3 node dan 1 (dof), ukuran dari matriks elementnya adalah 3x3. Seandainya setiap node mempunyai 2 dof maka ukuran matriks elementnya adalah 6x6.

e. Pemecahan sistem persamaan linear

Sistem global yang terbentuk pada tahap 4 dapat berupa sistem persamaan linear atau sistem persamaan *non-linear*. Jika sistem yang terbentuk berupa sistem persamaan linear teknik-teknik umum untuk

memecahkan sistem dapat digunakan.

f. *Post process* hasil

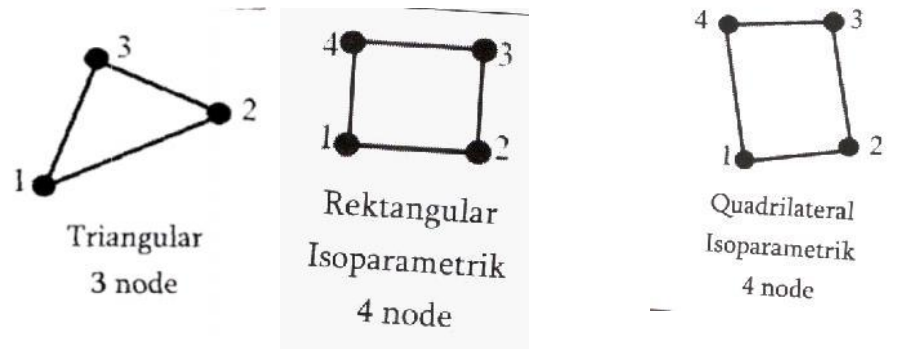
Setelah solusi diperoleh pada tahap-5, hasil dapat ditampilkan berupa grafik *contour* atau *plot*. Jika ada parameter lain yang bergantung pada hasil maka parameter ini dihitung setelah hasil diperoleh.

## 2. Contoh Aplikasi Metode Element Hingga

Berbagai macam permasalahan telah dianalisis menggunakan metode element hingga, aplikasi metode element hingga dapat digolongkan menurut tiga kategori, yaitu:

- a. Jenis permasalahan yang dikenal sebagai problem *equilibrium* atau problem *steady state*. Contoh-contoh *equilibrium* pada problem mekanika benda pejal adalah perhitungan tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*). Pada problem perpindahan panas konduksi, penghitungan distribusi suhu, pada problem mekanika fluida, tekanan, kecepatan dan suhu fluida dapat dihitung dengan metode elemen hingga.
- b. Jenis problem yang kedua adalah problem *eigenvalue*, dimana frekuensi natural dan mode dari getaran dari suatu struktur perlu dihitung. Bagi para *engineer* yang merancang struktur atau komponen dimana terdapat beban dinamik, frekuensi natural dan mode vibrasi merupakan parameter-parameter yang perlu di pertimbangkan pada tahap perancangan.
- c. Jenis problem yang ketiga adalah problem yang bergantung

dengan waktu atau transient problem. Untuk mengetahui progresi kenaikan atau penurunan suhu dalam waktu tertentu.



Gambar 2.5 Standar Element 2 Dimensi Yang Sering Dipakai.<sup>42</sup>

#### D. *Computational Fluid Dynamic*

Metode *Computational Fluid Dynamic* merupakan metode *third approach* dalam menentukan dinamika fluida yang terjadi. CFD menggunakan tiga buah prinsip fisika dasar yaitu *mass conservation*, *newton's second law*, dan *energy conservation*. Berdasarkan fungsinya perkembangan teknologi CFD dapat dibagi menjadi dua macam yaitu CFD sebagai *research tool* dan CFD sebagai *design tool*.

##### 1. Pengertian CFD

*Computational fluid dynamics* (CFD) adalah salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa masalah yang terjadi pada aliran fluida. Dalam CFD penggunaan komputer sangat vital karena harus melakukan jutaan perhitungan untuk mensimulasikan

<sup>42</sup> *Ibid.*, hal. 87

interaksi fluida dan gas yang digunakan pada bidang *engineering*.<sup>43</sup>

Ketika kita menggunakan CFD dengan dukungan perangkat keras yang canggih sekalipun maka yang didapatkan hanya berupa pendekatan. Inilah salah satu aspek yang terus dibenahi dalam pengembangan metode CFD. Secara ringkas CFD adalah memprediksi secara kuantitatif apa yang akan terjadi ketika terjadi aliran fluida dan seringkali terjadi kombinasi dengan hal-hal berikut:

- a. Aliran perpindahan kalor
- b. Perubahan fase benda, seperti : peleburan, pembekuan, pendidihan
- c. Reaksi kimia, seperti : pembakaran,
- d. Pergerakan komponen mekanik, seperti : pergerakan piston, kipas
- e. Tegangan dan perpindahan yang terjadi di dalam struktur benda *solid* atau yang terjadi di sekitarnya.

Kegunaan CFD adalah untuk mengetahui bagaimana fluida mengalir dan memperkirakan apa yang akan terjadi pada benda yang mengalami kontak dengan fluida. CFD juga dapat digunakan untuk mensimulasikan keadaan aliran fluida secara spesifik pada sebuah benda seperti simulasi aliran fluida pada sebuah *airfoil*.

## 2. Sistem Kerja CFD

CFD menggunakan komputer untuk menyelesaikan persamaan matematik sesuai bidang sains yang diinginkan. Komponen dari CFD

---

<sup>43</sup> Firman Tuakia, *Dasar-Dasar penggunaan CFD Fluent*, (Bandung: Informatika, 2008), hal.2



adalah:

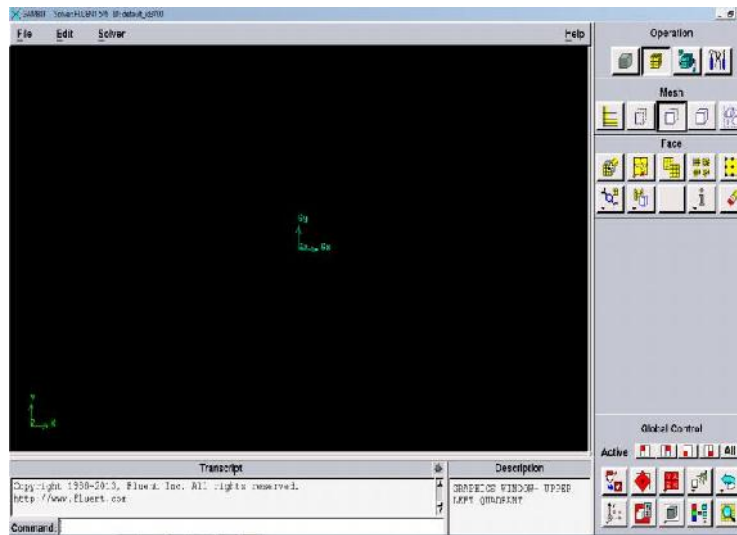
- a. Manusia sebagai pengguna untuk menganalisa masalah yang ada.
- b. Pengetahuan sains yang dijabarkan secara matematik.
- c. *Software* yang sudah terkandung algoritma untuk menyelesaikan permasalahan tentang aliran fluida.
- d. Perangkat keras komputer untuk melakukan perhitungan yang berdasarkan algoritma *software* yang digunakan, dan
- e. Manusia sebagai pengontrol dari proses yang dijalankan oleh *software* dan memberikan tanggapan dari hasil perhitungan yang dilakukan.

### 3. Gambit

Gambit merupakan singkatan dari *Geometry And Meshing Building Intelligent Toolkit*. Gambit diproduksi oleh Fluent.Inc yang merupakan salah satu produsen perangkat lunak analisis komputasi fluida dinamik yang menguasai 60% pangsa pasar dunia untuk perangkat lunak jenis CFD ini. *Software* gambit merupakan salah satu *preprocessor* yang didesain untuk membantu membuat model dan melakukan *meshing* pada suatu model untuk dianalisis CFD.<sup>44</sup>

---

<sup>44</sup> Firman Tuakia, *op.cit.*, hal 9



Gambar 2.6 Gambit Tampilan Awal Gambit

Karena menggunakan *graphical user interface* (GUI) saat penerimaan input, Gambit memudahkan penggunaannya dalam pembuatan model dan proses *meshing*. Gambit dapat membaca berbagai macam aplikasi pemodelan dan mengimpor dari berbagai format, seperti *IGES*, *ACIS*, *STEP* *Parasolid* dll, sehingga pemodelan yang akan dilakukan lebih fleksibel (dapat dilakukan pemodelan dengan menggunakan *software* lain).

*Meshing* merupakan sebuah istilah untuk proses pembagian obyek menjadi bagian-bagian kecil. Ukuran *mesh* yang terdapat pada suatu obyek akan mempengaruhi ketelitian analisis CFD yang akan dilakukan. Semakin kecil ukuran *mesh* pada suatu obyek, maka hasil yang didapatkan akan semakin teliti, tetapi membutuhkan daya komputasi dan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan obyek yang memiliki ukuran *mesh* yang lebih besar.<sup>45</sup> Oleh karena itu, besar ukuran *mesh* harus diatur sedemikian rupa agar diperoleh hasil yang teliti dan diusahakan daya komputasi yang dibutuhkan tidak terlalu besar. Dalam

<sup>45</sup> *Ibid.*, hal.61

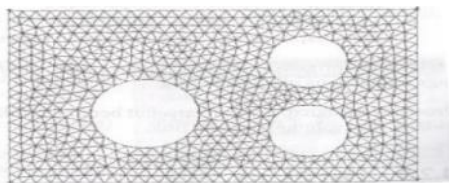
melakukan *meshing* ada dua metode yang dapat dilakukan, Dua metode tersebut adalah :

- a. *Metode Bottom-up*: *mesh* dibuat dari bentuk yang paling rendah, yaitu garis (*edge*), kemudian bidang (*face*), dan terakhir Volume.
- b. *Metode Top-down* : *mesh* dibuat langsung pada bentuk yang paling tinggi, yaitu bidang atau volume.

Pada metode *top-down* ukuran *mesh* pada obyek tersebut seragam, baik volume, bidang atau garis mempunyai ukuran *mesh* yang sama, sehingga tidak cocok digunakan untuk kasus yang mempunyai obyek dengan bentuk yang rumit dan memerlukan ukuran *mesh* yang berbeda-beda pada tiap bagian.<sup>46</sup>

#### a. Jenis-Jenis *Meshing*

1. *Meshing* dengan element *tri type pave*



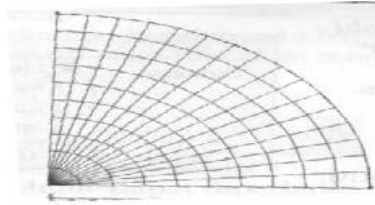
Gambar2.7 *Meshing* Dengan Element *Tri Type Pave*.<sup>47</sup>

2. *Meshing* dengan element *quad/tri type wedge primitive*

---

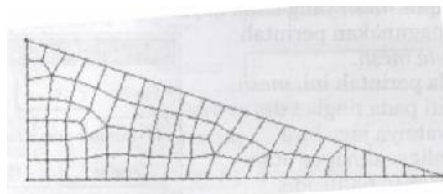
<sup>46</sup> *Ibid.*, hal.62

<sup>47</sup> *Ibid.*, hal.69



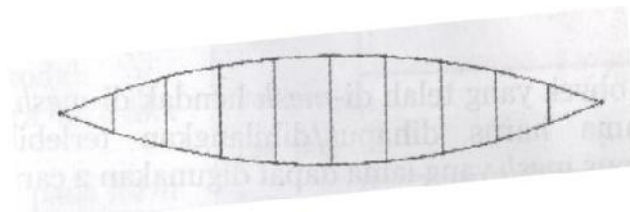
Gambar 2.8 Meshing Dengan Element Quad/Tri Type Wedge Primitive.<sup>48</sup>

### 3. Meshing dengan element quad/tri type submap



Gambar 2.9 Meshing Dengan Element Quad/Tri Type Submap.<sup>49</sup>

### 4. Meshing dengan element quad/tri type map



Gambar 2.10 Meshing Dengan Element Quad/Tri Type Map.<sup>50</sup>

## 4. Fluent

Fluent adalah salah satu jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga. Fluent menyediakan fleksibilitas *mesh* yang lengkap, sehingga dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan *mesh (grid)* yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah. Fluent ditulis dalam bahasa C, sehingga memiliki struktur data yang efisien dan lebih fleksibel. Semua fungsi yang dibutuhkan untuk menghitung suatu solusi

<sup>48</sup> Firman Tuakia, *loc.it.*

<sup>49</sup> Firman Tuakia, *loc.it.*

<sup>50</sup> *Ibid.*, hal.70

dan menampilkan hasilnya data diakses pada fluent melalui menu yang interaktif.<sup>51</sup>

a. **Kelebihan Fluent**

- 1) Fluent mudah digunakan
- 2) Model yang *Fleksible* (tersedia berbagai pilihan *solver*)
- 3) *Visualisasi* yang mudah untuk dimengerti.

b. **Merencanakan Analisis CFD**

Dalam melakukan penyelesaian suatu kasus dari sebuah pemodelan dengan menggunakan fluent, ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu:

- 1) Menentukan tujuan pemodelan
  - a) Parameter yang diinginkan dari model CFD, seperti parameter untuk nilai *coeffisien drag* yang ingin dicapai, atau parameter untuk nilai suatu kecepatan yang ingin dicapai
  - b) Derajat akurasi yang diinginkan dapat dicapai dengan mengecek kualitas *mesh* yang telah dilakukan, karena proses *meshing* menentukan tingkat keakuratan parameter yang ingin dicapai
- 2) Pemilihan model komputasional
  - a) Pemodelan suatu komputasional dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti pemodelan hanya dengan model 2 dimensi saja atau dengan model 3 dimensi, atau juga

---

<sup>51</sup> *ibid.*, hal.133

model 3 dimensi dengan menggunakan bidang simetri pada salah satu bidangnya yang mempunyai bentuk sama.

- b) Kondisi batas yang diinginkan, dalam penentuan kondisi batas yang diinginkan dapat disesuaikan dengan tujuan dari parameter yang ingin dicapai, seperti penentuan kondisi input dengan menggunakan *velocity input*, atau kondisi *input* dengan menggunakan *pressure input*.
  - c) Element *mesh* yang paling cocok, penggunaan element mesh dilakukan sesuai dengan bentuk geometri dari pemodelan, jika bentuk pemodelan tidak kompleks dan cenderung berbentuk kubus maka element *mesh* yang cocok digunakan ialah element *mesh* dengan tipe segi empat, tetapi untuk bentuk geometri yang kompleks dengan bentuk-bentuk *annulus* maka element *mesh* yang cocok ialah element mesh dengan menggunakan element mesh tipe segitiga, karena element *mesh* ini dapat menjangkau bentuk-bentuk yang lebih kompleks
- 3) Pemilihan model fisik
- a) Pemilihan aliran pada kasus bisa berupa aliran *inviscid*, *laminar* atau *turbulen* sesuai dengan pemodelan kasus yang diinginkan.
  - b) Penentuan aliran bisa berupa *steady* atau *unsteady*. Jika aliran tersebut konstan tidak dipengaruhi oleh waktu maka

aliran tersebut merupakan aliran *steady*, jika sebaliknya aliran tersebut dipengaruhi oleh waktu maka aliran tersebut merupakan *unsteady*.

c) Penentuan fluida yang digunakan ialah fluida *compressible* atau fluida *incompressible*.

4) Penentuan prosedur

a) Pada beberapa kasus pemodelan komputasional, pemodelan dapat diselesaikan dengan menggunakan formula *solver* dan parameter solusi standar tanpa merubah nilai-nilai tertentu sesuai parameter yang diinginkan, tetapi untuk kasus yang lain formula *solver* dan parameter solusi bisa diubah sesuai dengan tujuan dari pemodelan.

b) Perangkat komputer yang akan digunakan harus mampu untuk menghitung kasus yang diinginkan, karena jika perangkat komputer tidak mampu menghitung kasus tersebut, penyelesaian kasus tidak dapat dilakukan dan menyebabkan blank pada perangkat komputer, hal ini sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan oleh software terkait, dalam hal ini, 1 MB memori/RAM komputer setara untuk analisis 100 elemen *mesh*.<sup>52</sup>

---

<sup>52</sup> *Ibid.*, hal.138

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **A. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk simulasi aliran fluida dengan variasi penempatan injektor pada *intake manifold* motor 2 langkah menggunakan *Computational Fluids Dynamic (CFD)*.

*Injektor* akan ditempatkan pada *intake manifold* mesin 2 langkah 132 cc, dengan ingin mengetahui fenomena perilaku aliran campuran bahan bakar dan udara yang terjadi pada *intake manifold*, tekanan statis dan kecepatan aliran campuran bahan bakar dan udara saat melewati *intake manifold*. Penempatan *injektor* yang akan diamati yaitu tegak lurus, dan miring dengan membentuk sudut yang melebar terhadap *intake manifold*.

#### **B. Tempat dan Waktu Penelitian**

Karena penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat keras berupa komputer dan bantuan *software* CFD, penelitian dilaksanakan pada lab perancangan jurusan teknik mesin dan waktu penelitian ini dimulai pada bulan September tahun 2013 sampai bulan Juni tahun 2014.

#### **C. Uraian Prosedur Penelitian**

Untuk melakukan penelitian ini, penulis mencoba menguraikan langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan.

1. Penentuan kondisi

Penentuan kondisi aliran pada *intake manifold* dilakukan sebagai dasar untuk melakukan simulasi aliran pada *software* CFD.



Pengolahan dan pengambilan data dimulai pada saat kondisi mesin dalam keadaan steady Injektor. Kondisi tekanan pada *intake manifold* di asumsikan dalam keadaan vacuum antara -100 kpa – 0 kpa. Selain itu posisi injektor ditempatkan pada kondisi tegak lurus dan miring dengan membentuk sudut yang melebar terhadap *intake manifold*, sudut yang dibentuk yaitu  $60^0$ ,  $90^0$ , dan  $120^0$ . Injektor menyemprotkan bahan bakar dengan tekanan 324 kpa.

2. Pembuatan geometri injektor dan *intake manifold* dengan menggunakan CAD

Setelah menentukan kondisi, maka hal yang harus dilakukan ialah membuat geometri injektor dan *intake manifold* dengan bantuan CAD. Mesin yang menjadi acuan ialah sepeda motor dengan kapasitas 132 cc.

3. Variasi injektor pada *intake manifold*

Setelah membuat geometri *injektor* dan *intek manifold*, maka dilakukan desain posisi injektor dengan variasi sudut yang telah ditentukan yang berjumlah 3 buah posisi injektor sebagai perbandingan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan bentuk dan dimensi posisi injektor yang maksimal.

4. Analisis hasil komputasi dengan beberapa variasi yang telah dibuat

Setelah menentukan dan mendesain injektor dan *intake manifold* maka dapat dilakukan analisa dan simulasi aliran fluida dengan menggunakan metode komputasi berbantuan *software* CFD.

## 5. Analisis hasil komputasi

Setelah dilakukan percobaan dengan menggunakan metode komputasi maka hasil dari percobaan tersebut dapat dianalisis. Jika belum mendapatkan data yang maksimal. Maka perbaikan dilakukan dengan melakukan variasi dan modifikasi tertentu terhadap bentuk-bentuk dari geometri.

## 6. Alat bantu yang digunakan

Alat bantu yang digunakan dalam penelitian ini ialah berupa perangkat keras dan perangkat lunak, adapun perangkat keras dan lunak yang dipakai ialah :

### a) Perangkat komputer dengan spesifikasi

- Ram 4 GB
- VGA Ati Radeon 2 GB
- Hardisk 500 GB
- Windows 7

### b) Injektor dengan diameter lubang keluaran 0.1 mm terdiri dari 4 lubang.

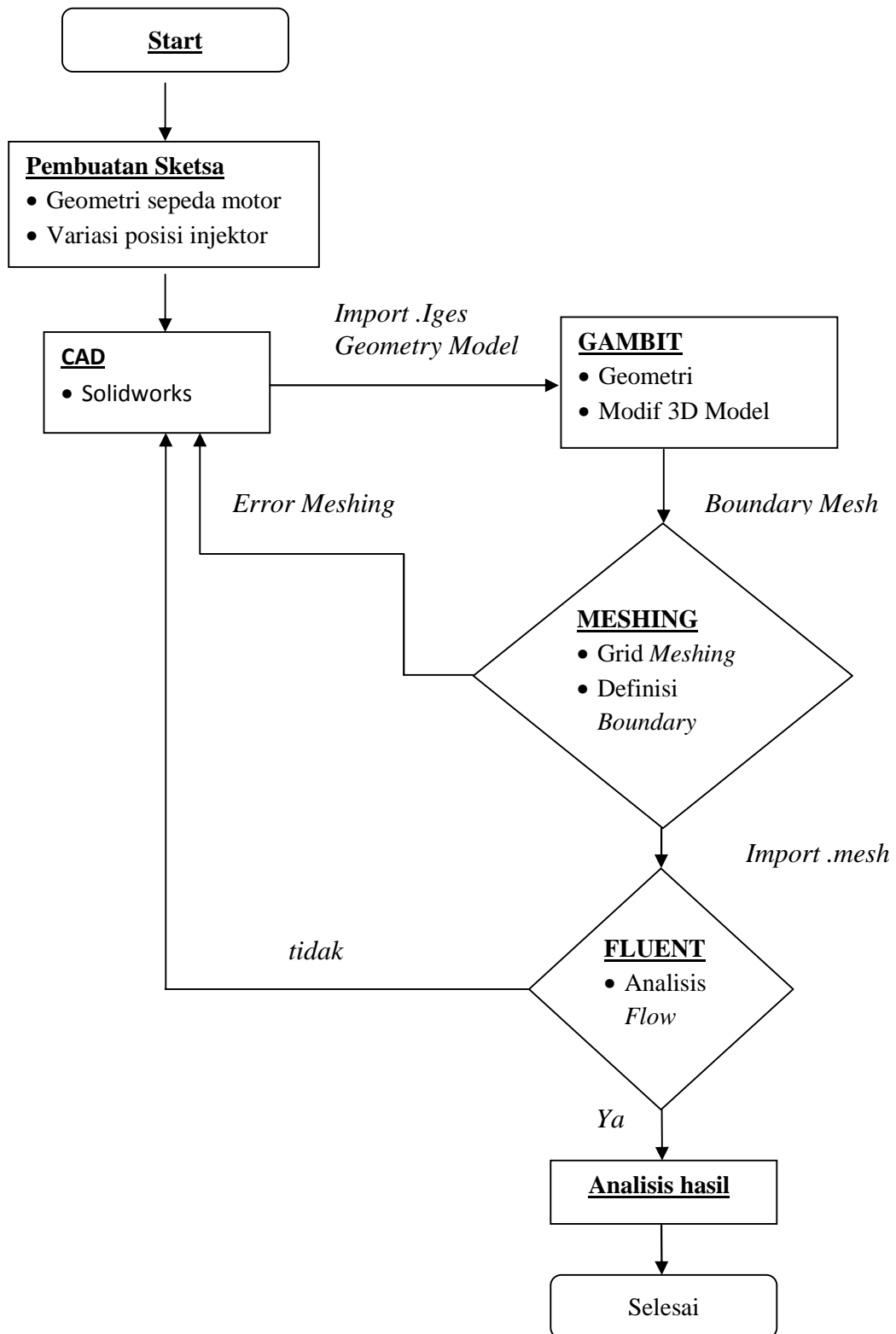
### c) *Intake manifold* motor 132 cc.

### d) *Software Solidwork* 2010

### e) *Software Gambit V* 2.2.30

### f) *Software Fluent V* 6.2.16

#### D. Flow Chart Peneliti

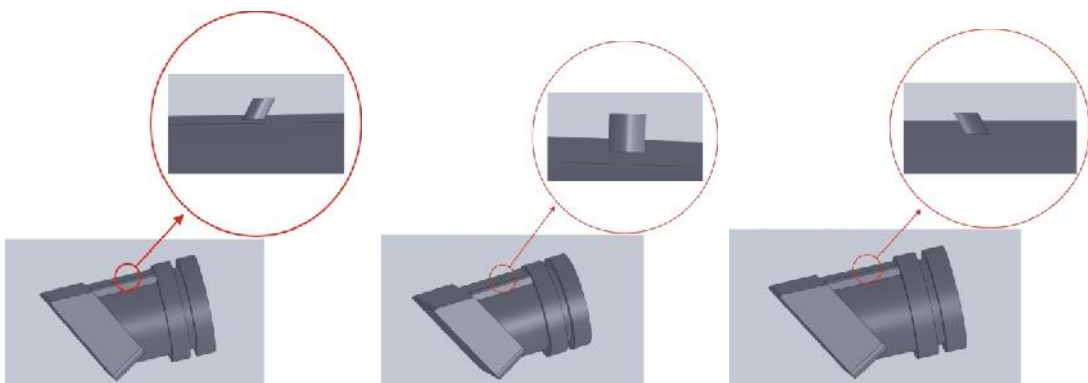


Gambar 3.1 Flow chart

## 1. Pemodelan Geometri

Pemodelan geometri dari injektor dan *intake manifold* pada penelitian ini dengan bantuan komputasi menggunakan *software solidwork*. Pemodelan yang dilakukan dengan data referensi dari sketsa yang telah dibuat adapun parameter yang menjadi dasar pembuatan model sebagai berikut:

- Dimensi yang digunakan dalam pemodelan mengacu pada bentuk *intake manifold* dan penempatan posisi sesuai dengan sketsa yang telah di buat.
- Profil injektor, mengikuti profil yang telah disketsakan.
- Variasi injektor pada *intake manifold* berjumlah 3 buah geometri
- Variasi posisi injektor pada *intake manifold* difokuskan dengan sudut yang tegak lurus dan miring dengan membentuk sudut yang melebar, yaitu sudut  $60^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ , dan  $120^{\circ}$ .



Gambar 3.2 Geometri Model

## 2. Penyederhanaan Model dan Kesimetrisan Model

Model yang telah dibuat kemudian dilakukan penyederhanaan, yaitu dengan menghilangkan bagian yang punya pengaruh kecil, tetapi tetap mempertahankan bagian utama dari model geometri. Lalu geometri model

yang telah dibuat di potong menjadi dua sesuai dengan titik tengah dari geometri. Hal ini dilakukan karena bentuk bagian kanan dan kiri dari geometri mempunyai bentuk yang sama sehingga hal ini dilakukan untuk mempermudah dalam melihat *countour* dari hasil pengujian.

### 3. Gambit

Untuk pembuatan *mesh* model pada gambit, input geometri model dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu membuat profil geometri di gambit dan *import file* dari model yang sudah dibuat dari *software* lain. Pada geometri ini, pembuatan model dilakukan dengan menggunakan bantuan *software solidworks*. Model tersebut di *save* ke bentuk *file* yang dapat dibaca di gambit ialah *file IGES .iges.* dan *file ACIS.sat.*

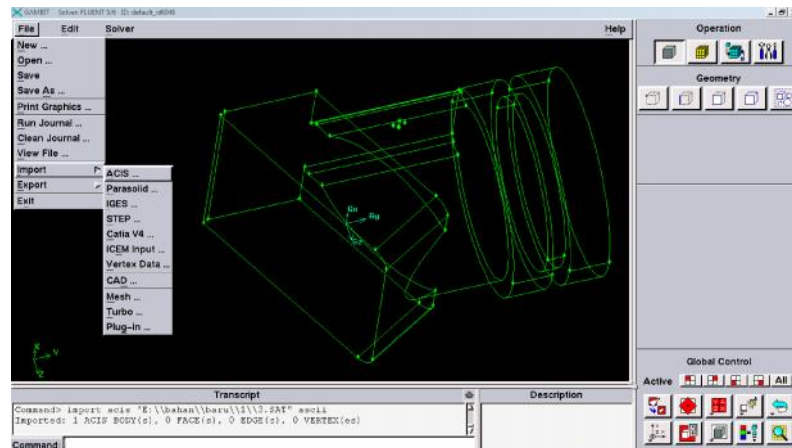
Setelah membuat geometri pada *solidworks* proses berikutnya yaitu *import file* geometri kedalam gambit. Langkah pertama yang dilakukan yaitu jalankan gambit dengan mengklik 2 kali pada dekstop *software* gambit kemudian *run*.



Gambar 3.3 Memulai Gambit

Setelah muncul toolbar gambit pilih icon file klik 1 kali pilih *import* kemudian pilih *acis*. Karena geometri *file* yang dibuat dalam bentuk *file acis.sat*. selanjutnya klik *acis browser* pilih *file* model.sat kemudian *accept*

sperti yang ditunjukkan pada gambar. Setelah geometri dapat dibuka pada gambit selanjutnya akan membuat meshing geometri pada gambit.



Gambar 3.4 Tampilan Geometri Pada Gambit

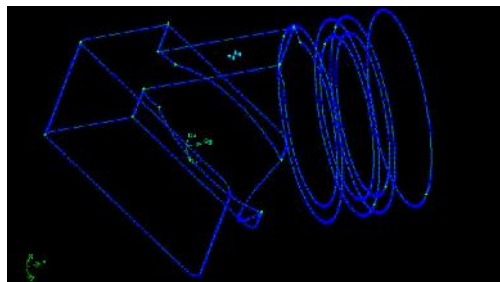
#### 4. Meshing Geometri

*Meshing* atau pembagian obyek menjadi bagian-bagian kecil pada gambit merupakan proses sebelum melakukan analisa pada fluent. Ukuran *mesh* yang terdapat pada suatu obyek akan mempengaruhi ketelitian analisis CFD yang akan dilakukan. Semakin kecil ukuran *mesh* pada suatu obyek, maka hasil yang didapat akan semakin teliti, tetapi membutuhkan daya komputasi dan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan obyek yang memiliki ukuran mesh lebih besar. Oleh karena itu, besar ukuran *mesh* harus diatur sedemikian rupa agar diperoleh hasil yang teliti dan diusahakan daya komputasi yang dibutuhkan tidak terlalu besar.

Konsep pembuatan *mesh* pada gambit ada dua macam yaitu metode *bottom-up* dan metode *top-down*. Konsep yang digunakan dalam pembuatan *meshing* geometri ini adalah metode *bottom-up* dimulai dari pembuatan *mesh* garis, *mesh* bidang dan *mesh* volume.

a. *Mesh* Garis

Distribusi *mesh* pada garis dikontrol melalui parameter *spacing* dan *grading* yang terdapat pada menu *mesh edges*. Pada *mesh* garis geometri besar *spacing* yang digunakan ada dua yaitu pada lubang injektor menggunakan 0.25 *spacing* dan pada *intake manifold* menggunakan 1 *spacing*. Untuk *grading* menggunakan angka *default* yang otomatis nilai *ratio* disesuaikan dengan model geometrinya. Warna biru menandakan geometri sudah di *mesh* garis.

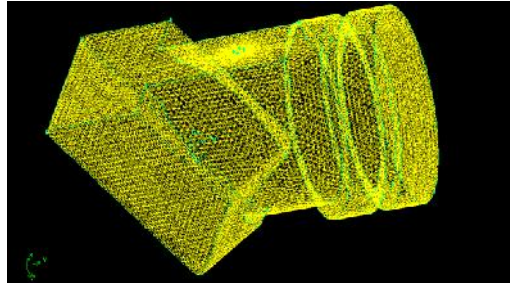


Gambar 3.5 *Mesh* Garis

b. *Mesh* Bidang

Pada pembuatan *mesh* bidang ada beberapa elemen pemodelan *mesh* bidang yang dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan geometrinya. Elemen tersebut diantaranya elemen persegi panjang (*quad*), segitiga (*tri*), dan kombinasi elemen persegi panjang dan segitiga (*quad/tri*). Pemodelan *mesh* bidang yang digunakan yaitu elemen *mesh* segitiga (*tri*) dengan tipe *pave*. Sama seperti pada *mesh* garis nilai *spacing* sangat berpengaruh pada pemodelan *mesh*. Nilai *spacing* yang digunakan yaitu sesuai *default* secara otomatis mengisi

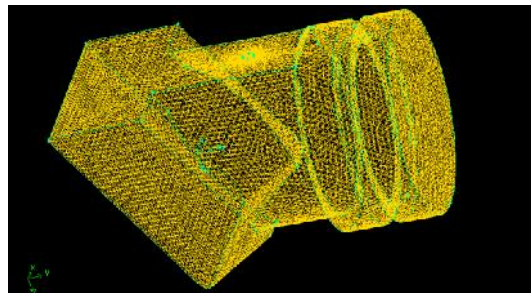
yaitu 1 *spacing*. Warna kuning muda menunjukkan geometri sudah di *mesh* bidang.



Gambar 3.6 *Mesh* Bidang

c. *Mesh* Volume

*Mesh* volume memiliki beberapa jenis elemen *mesh* volume elemen *heksahedral* (*hex*), elemen *mesh* *heksagonal* (*hex/wedge*) dan *tetrahedral/hybrid*. *Mesh* volume yang digunakan yaitu elemen *mesh* *tetrahedral/hybrid* tipe *tgrid*, tipe ini tanpa harus dipisah menjadi beberapa volume tertentu. Kualitas *mesh* *tetrahedral* sangat tergantung pada kualitas *mesh* segitiga pada bidang yang membentuk volume. Seperti pada *mesh* garis dan *mesh* bidang, nilai *spacing* sangat mempengaruhi hasil dari *mesh* volume. Nilai *spacing* yang digunakan pada *mesh* volume yaitu sesuai nilai *default* yaitu 1 *spacing*. Warna hasil dari *mesh* volume adalah kuning tua.

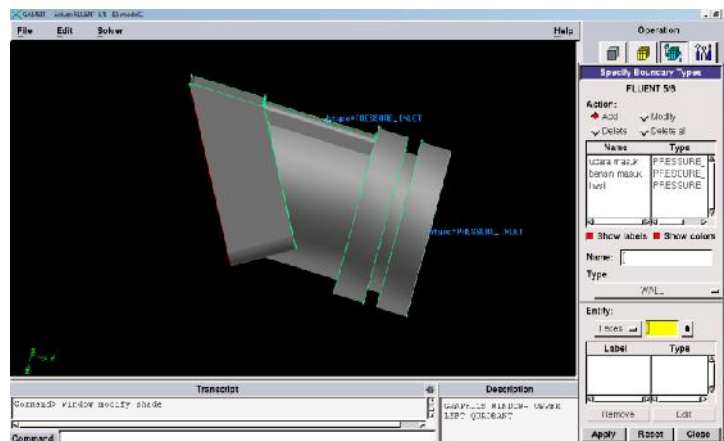


Gambar 3.7 *Mesh* Volume



Pada *software* gambit dapat melakukan pengecekan kualitas *mesh* sesuai yang di inginkan dengan melakukan *smooth mesh*. Proses tersebut berupa penyederhanaan ukuran *meshing* terutama pada bagian geometri yang berupa sambungan *part*, ujung-ujung batas geometri dan bagian yang memiliki perbandingan permukaan yang lebih kecil. Hal ini perlu dilakukan untuk meningkatkan tercapainya hasil *konvergensi* pada saat iterasi di Fluent

Penentuan kondisi-kondisi batas dari *meshing* dapat dilakukan bila semua *mesh* (*meshing face* dan *meshing volume*) sudah dikerjakan. Penentuan kondisi batas ini meliputi penentuan lokasi *input* dan *output fluida* serta penentuan parameter dari sebuah *boundary*. Pada *software* gambit, pendefinisian kondisi batas hanya terbatas pada lokasi dan jenis kondisi batas. Sedangkan pemberian nilai parameter dilakukan di *software* Fluent. Setelah melakukan kondisi batas maka *file* tersebut dapat di *ekspor* ke tipe *file .mesh*.



Gambar 3.8 Kondisi Batas

## 5. Simulasi *fluent*

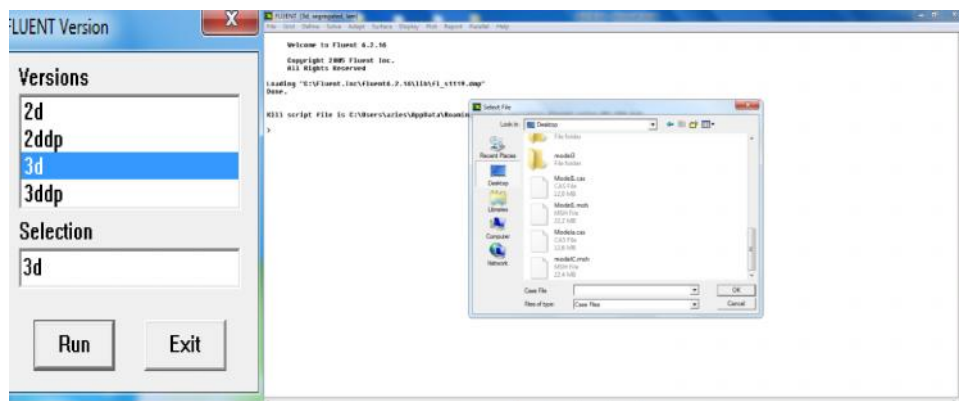
Pada tahap CFD *Fluent*, proses simulasi permasalahan, mendefinisikan karakteristik fluida, menentukan nilai parameter kondisi batas, nilai konvergensi dan iterasi. Input data dan karakteristik fluida yang dipilih akan disimulasikan dan diproses dengan menggunakan fungsi-fungsi persamaan yang sudah ada pada *software* CFD *Fluent*. Adapun keakuratan dari proses iterasi CFD *Fluent* dipengaruhi oleh kondisi kualitas mesh yang telah dibuat di gambit.

Tabel 3.1 Langkah Simulasi CFD *Fluent*

No.	Proses Pengerjaan	CFD <i>Fluent</i>
1	Jalankan <i>Fluent</i>	Pilih <i>solver</i> 3d – run
2	<i>Import mesh</i>	<i>File – ride – case</i>
3	<i>Check Grid</i>	<i>Check</i>
		<i>scale</i>
		<i>Smooth / swap grid</i>
4	Pemilihan <i>Solver</i>	<i>Define - Model - Solver</i>
5	Pemilihan model viscous	<i>Define - Model - Viscous</i>
6	Mengaktifkan persamaan <i>energy</i>	<i>Define - Model - Energy</i>
7	Pemilihan material	<i>Define - Materials</i>
8	Pemilihan kondisi operasi	<i>Define - Operating Conditions</i>
9	Input data kondisi batas	<i>Define - Boundary Conditions</i>
10	Kontrol solusi konvergensi	<i>Solve - Controls - Solutions</i>
11	Pemilihan tebakan awal Solusi	<i>Solve - Initialize - Initialize - Input form</i>
12	Tingkat solusi konvergensi	<i>Solve - Monitors - Residual</i>
13	Iterasi	<i>Solve - Iterate</i>
14	Menyimpan <i>file</i>	<i>File – write – case &amp; data</i>
15	Menampilkan hasil	Kontur, vector, pathline dan particle track

a. Menjalankan *Fluent*

Setelah membuat *meshing* pada gambit dan disimpan dalam format *file.msh*. selanjutnya memulai proses simulasi dengan menggunakan program fluent. Jalankan program fluent dengan memilih solver 3D karena geometri yang digunakan dalam bentuk 3D. Setelah masuk fluent, buka *file* dengan format *.msh* dengan cara klik file, kemudian *read*, pilih *case*, cari nama *file* yang sudah disimpan sebelumnya dalam program gambit.

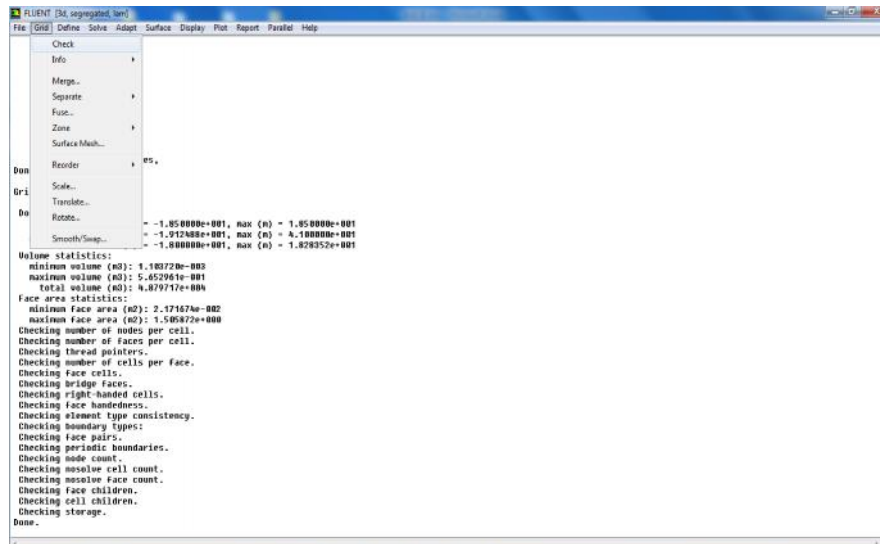


Gambar 3.9 Menjalankan Fluent

b. Menu *Grid*

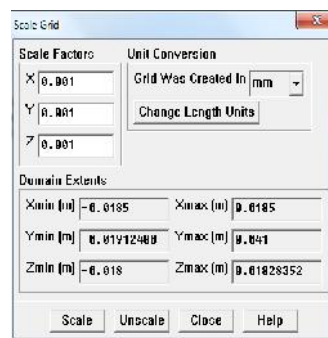
Setelah *file* berhasil dibuka pada fluent dilakukan pengecekan *file* terlebih dahulu. Pengecekan *file* ini bertujuan untuk mengecek *mesh* yang telah dibuat pada gambit apakah ada kesalahan atau tidak, terkadang ketika proses *meshing* di gambit berhasil ketika melakukan pengecekan pada fluent terjadi kesalahan (*error*). Hal ini mengakibatkan proses pada fluent tidak dapat dilanjutkan ketahap selanjutnya. Ketikan pada proses pengecekan mengalami kesalahan maka perlu dilakukan ulang kembali pembuatan *mesh* pada gambit sampai tidak terjadi

kesalahan (*error*) pada proses pengecekan fluent. Proses pengecekan dilakukan melalui menu *grid* dengan klik *grid* kemudian *check*.



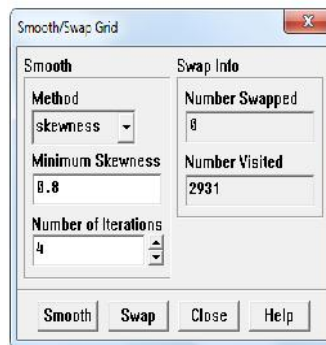
Gambar 3.10 Check Grid

Selanjutnya, skalakan model dimana prosesnya melalui menu *grid*. Perintah yang dilakukan yaitu klik *grid* kemudian *scale*. Pada gambit geometri dibuat dalam skala mm, maka skalakan ukurannya ke ukuran mm. Pada *unit conversion* bagian *grid was created m*, isikan dengan mm. Kemudian klik *scale*, dan *close*.



Gambar 3.11 Scale Grid

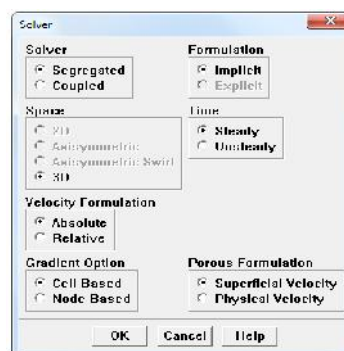
Selanjutnya memperhalus pada bagian *grid* apabila masih kasar. Perintah yang dilakukan yaitu klik *grid* pilih *smooth/swap*. Klik *smooth*, kemudian klik *swap* lagi bergantian sampai number *swap* bernilai 0. Kemudian klik close.



Gambar 3.12 Smooth/Swap Grid

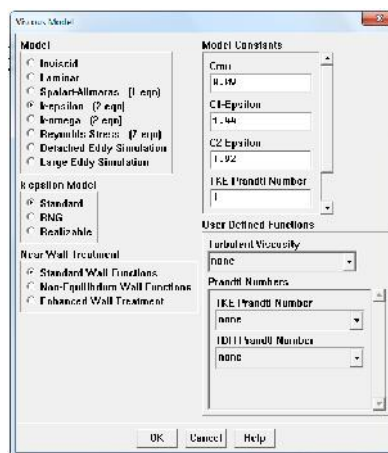
c. Menentukan Pemodelan Pada *Define*

Pemodelan pada *define* terbagi dari beberapa bagian diantaranya penentuan model, material, *operating conditions*, dan *boundary conditions*. Penentuan model yang paling pertama yaitu memilih *formulasi solver*. *Formulasi solver* yang digunakan adalah jenis *segregated* dengan menggunakan parameter *default* dari fluent. . Untuk menjalankan menu ini, klik *define models solver ok*.



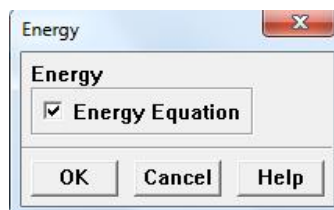
Gambar 3.13 Solver

Selanjutnya yaitu menentukan model viskos yang digunakan. Aliran yang terjadi dalam kasus ini yaitu turbulen. Maka, model yang dipakai disini adalah viskos *k-omega* sebagai model viskosnya. Untuk menjalankan menu ini, klik *define models viscous k-omega ok*. Bagian lainnya diisi sesuai dengan nilai *default* fluent sehingga tidak perlu diubah.



Gambar 3.14 *Viscos Model*

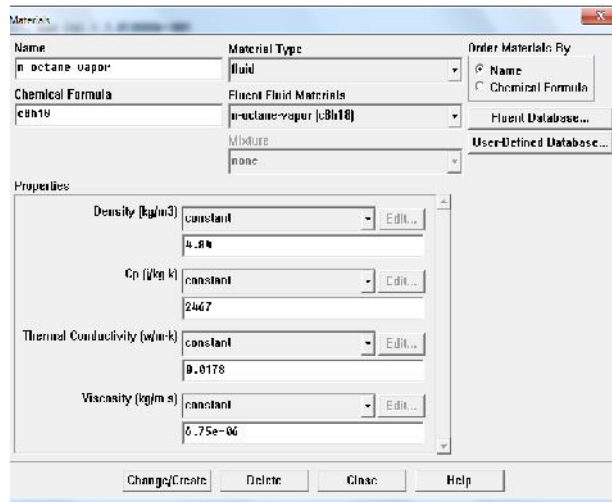
Selanjutnya mengaktifkan persamaan energi. Untuk menjalankan menu ini, klik *define models energy energy equation ok*.



Gambar 3.15 *Energy Model*

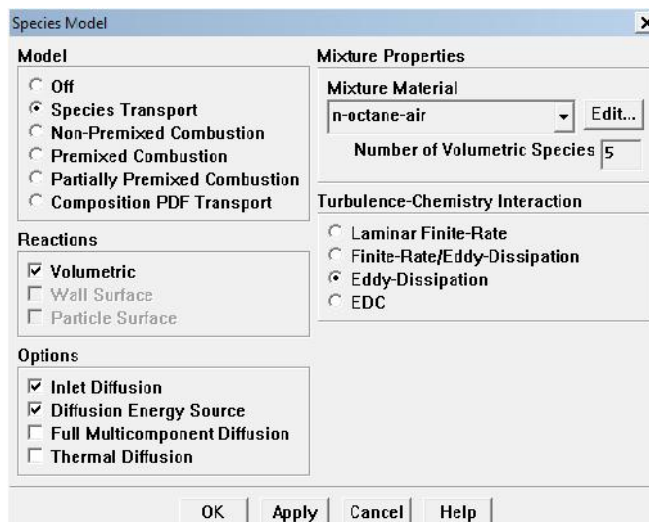
Langkah yang penting dalam pemodelan adalah sifat fisik material. Sifat material didefinisikan di panel material dengan perintah *define material*. Sifat material yang digunakan diambil dari fluent *database materials* yaitu n-octane-vapor. Kita akan memakai nilai

default dari fluent, sehingga pada bagian properties nilai *density* dan *viscosity* tidak perlu diubah.



Gambar 3.16 Material

Untuk memodelkan pencampuran *fluent* dilakukan dengan langkah memilih *species* model yang diinginkan. *species* model pemodelan yang dilakukan yaitu *species* model *species transport* apply ok. Pada *mixture* material menggunakan n-octane-air.



Gambar 3.17 Species Model

Penentuan kondisi batas melibatkan beberapa hal diantaranya yang pertama mengidentifikasi lokasi kondisi batas, misalnya sisi masuk, sisi keluar, dinding, dan lain sebagainya. Kedua yaitu memasukkan informasi/data pada batas yang telah ditentukan. Kondisi batas yang digunakan pada saat masuk adalah *pressure inlet* dan keluarnya adalah *pressure outlet*.

Pada kondisi masuk udara yang masuk diasumsikan dalam keadaan vakum dengan tekanan sebesar -100 kPa - 0 kPa. Bahan bakar yang masuk mendapatkan tekanan sebesar 324 kPa. Penentuan kondisi batas dilakukan dengan memilih menu *define boundary conditions*.

Pada kondisi udara masuk *pressure inlet* menggunakan tekanan gauge total 0 kPa, dan parameter lainnya menggunakan nilai *default* dari fluent. *Direction specification method* menggunakan *normal to boundary*. Sedangkan *turbulence specification method* menggunakan *intensity and hydraulic diameter*, dengan *turbulence intensity* 10% dan *hydraulic diameter* 36 mm. Untuk udara masuk species mass fractions O<sub>2</sub> sebesar 0.2.



Pressure Inlet

Zone Name  
udara\_masuk

Gauge Total Pressure (pascal) 0 constant

Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal) 0 constant

Total Temperature (k) 300 constant

Direction Specification Method Normal to Boundary

Turbulence Specification Method Intensity and Hydraulic Diameter

Turbulence Intensity (%) 10

Hydraulic Diameter (m) 0.36

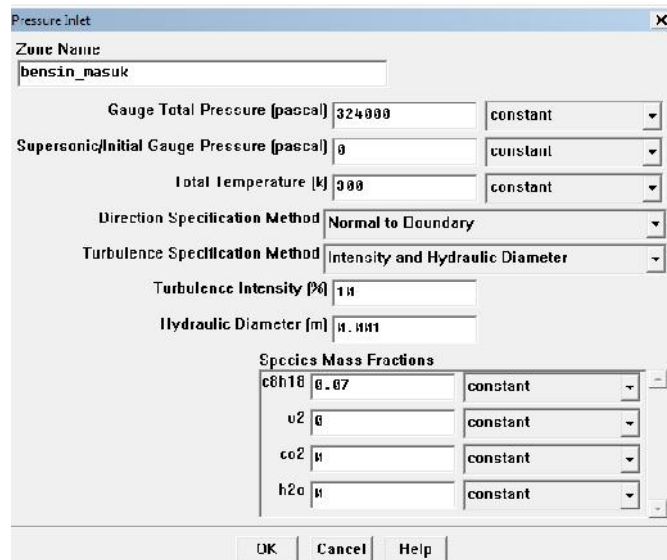
Species Mass Fractions

c8h18	0	constant
o2	0.2	constant
co2	0	constant
h2o	0	constant

OK Cancel Help

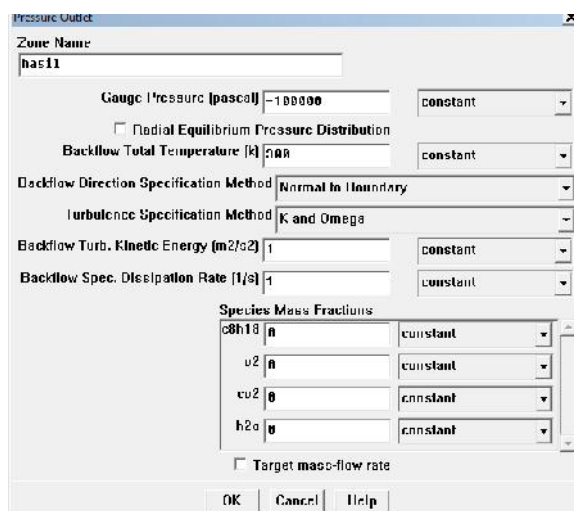
Gambar 3.18 Kondisi Udara Masuk

Pada kondisi bensin masuk *pressure inlet* menggunakan tekanan gauge total 324 kPa dan parameter lainnya menggunakan nilai *default* dari *fluent*. Karena satuan tekan pada *fluent* menggunakan pascal maka tekanan *gauge* total menjadi 324000 pascal. *Direction specification method* menggunakan *normal to boundary*. Sedangkan *turbulence specification method* menggunakan *intensity and hydraulic diameter*, dengan *turbulence intensity* 10% dan *hidraulic diameter* 36 mm. Untuk bahan bakar *species mass fractions*  $C_8H_{18}$  sebesar 0.07.



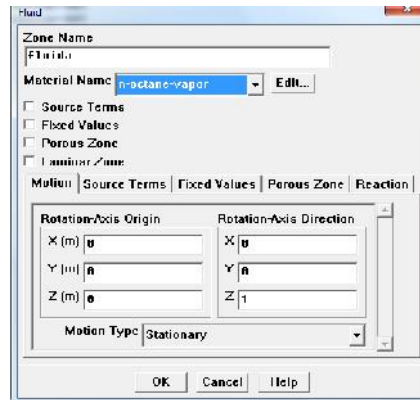
Gambar 3.19 Kondisi Bensin Masuk

Pada kondisi hasil *pressure outlet* menggunakan tekanan gauge total -100 kPa dan parameter lainnya menggunakan nilai *default* dari fluent. Karna satuan tekan pada fluent menggunakan pascal maka tekanan gauge total menjadi -100000 pascal. *Direction specification method* menggunakan *normal to boundary*. Sedangkan *turbulence specification method* menggunakan *K and omega*.



Gambar 3.20 Kondisi Hasil

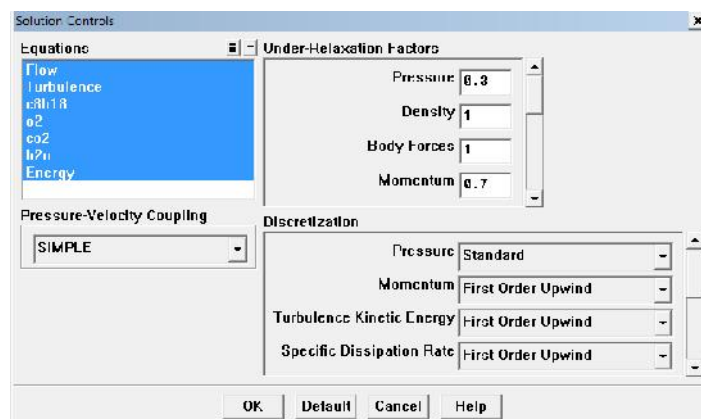
Pada kondisi fluida ganti material yang digunakan menjadi n-octane-vepor dan parameter lainnya menggunakan nilai *default* dari fluent.



Gambar 3.21 Fluida

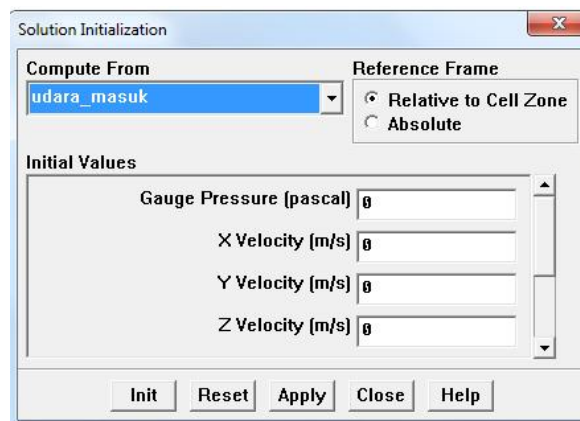
#### d. Penentuan Pemodelan Pada *Solve*

Penentuan pemodelan pada *solve* yang pertama yaitu parameter kontrol solusi. Parameter kontrol solusi (*solution control*) dapat diakses melalui perintah *solve controls solution*. Pada *solution control*, terdapat 2 parameter yang harus ditentukan, yaitu faktor *under-relaxation* dan diskritisasi (*discretization*). Parameter kontrol solusi yang digunakan adalah nilai *default* yang ada pada fluent.



Gambar 3.22 *Solution Control*

Proses iterasi memerlukan inisialisasi (tebakan awal) sebelum memulai perhitungan. Proses inisialisasi dapat diakses dengan perintah *solve initialize initialize*. Pada panel inisialisasi hanya menentukan tebakan awal tersebut dihitung dari kondisi batas yang mana (*compute from*). Setelah itu klik tombol *init* kemudian *close*. Pada proses inisialisasi *compute from* yang digunakan pada kondisi udara masuk.



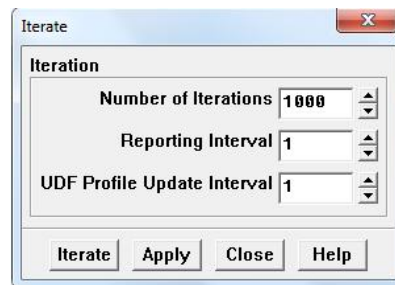
Gambar 3.23 *Solution Initialization*

Sebelum melakukan perhitungan menentukan kriteria konvergensi kasus yang akan dihitung. Perintah yang dilakukan yaitu *solve monitors residual* dan beri tanda ceklis pada print dan plot. Selain itu jalankan perintah *solve monitors statistik* dan beri tanda ceklis pada print dan plot.



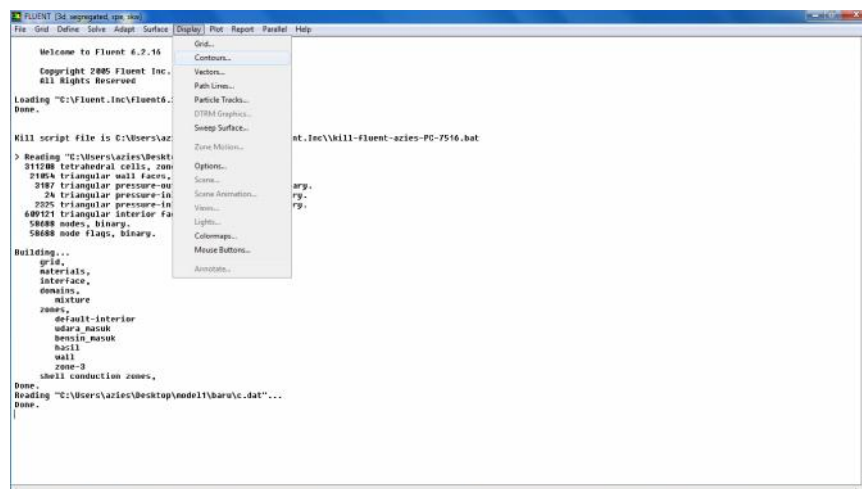
Gambar 3.24 Residual dan Statistik

Selanjutnya memulai iteration dengan perintah *solve iteration*. Pada number of *iterations* masukkan angka 1000. Kemudian klik *iterate* untuk memulai proses iterasi. Proses iterasi akan berhenti bila sudah konvergen.



Gambar 3.25 *Iteration*

Setelah iterasi mencapai konvergen hasil dari iterasi dapat ditampilkan dalam bentuk *contour*, *vector*, dan *pathline*. Untuk menampilkan bentuk *contour* dapat dilakukan dengan cara klik *display contour*. Untuk menampilkan bentuk *vector* dapat dilakukan dengan cara klik *display vector*. Sedangkan untuk menampilkan bentuk *pathline* dapat dilakukan dengan cara klik *display pathline*.



Gambar 3.26 Menampilkan Hasil

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

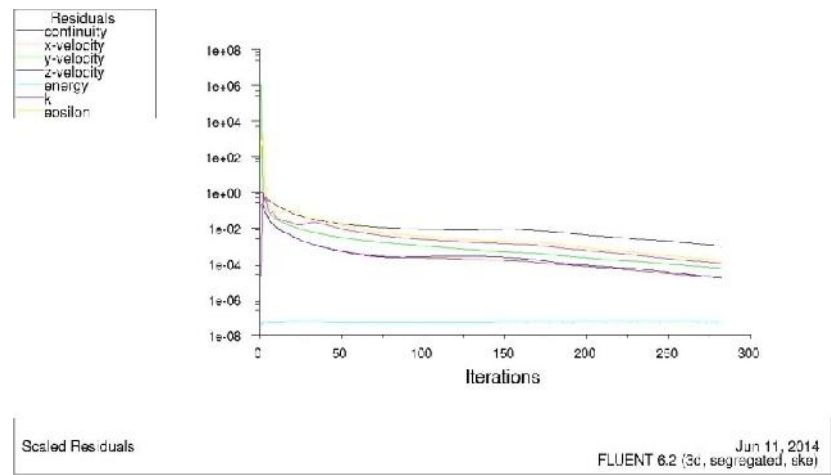
#### A. Hasil Simulasi

Hasil simulasi yang akan dipaparkan terdiri dari 3 pemodelan, yaitu:

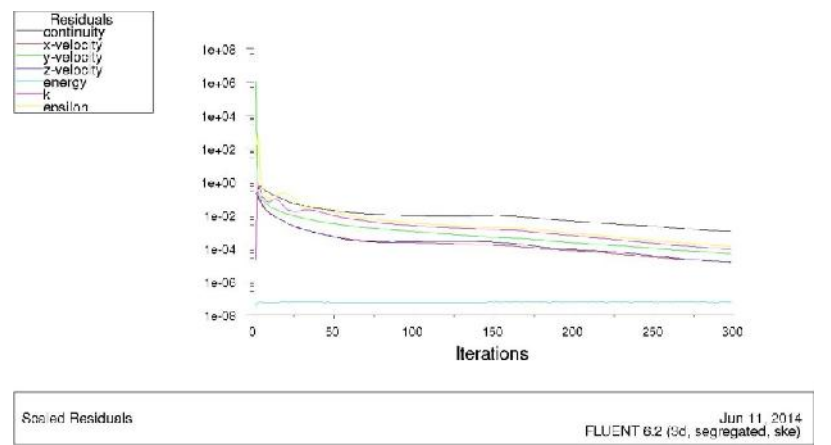
1. Model 1, dimana dikondisikan posisi injektor membentuk sudut  $60^{\circ}$  terhadap *intake manifold*.
2. Model 2, dimana dikondisikan posisi injektor membentuk sudut  $90^{\circ}$  tegak lurus terhadap *intake manifold*.
3. Model 3, dimana dikondisikan posisi injektor membentuk sudut  $120^{\circ}$  terhadap *intake manifold*.

Hasil simulasi dengan *fluent* dapat diamati setelah data iterasi mencapai kondisi konvergen. Iterasi merupakan perhitungan terhadap persamaan yang dilakukan oleh *software* CFD untuk menggambarkan kondisi yang ditentukan. Kondisi konvergen ialah ketika tidak terdapat lagi perubahan terhadap hasil penyelesaian. Biasanya kondisi konvergen terjadi ketika setiap perhitungan telah mencapai kriteria konvergen yaitu 0.001.

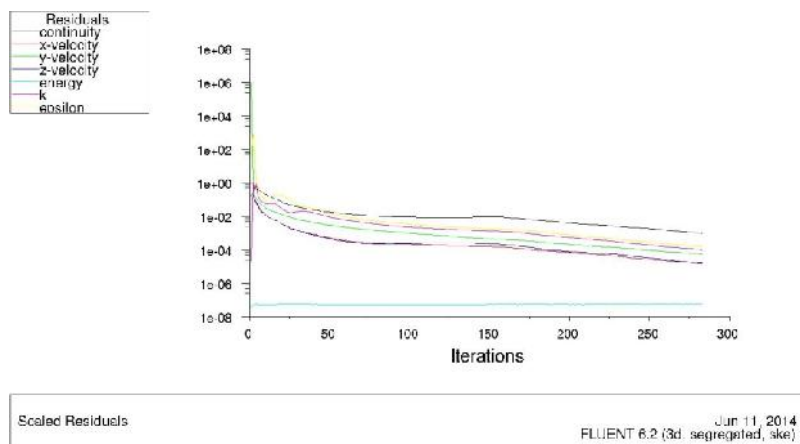
Dari ke-3 pemodelan yang telah dibuat hasil simulasi mencapai keadaan konvergen setelah 250-300 iterasi, iterasi diperlihatkan dalam grafik residual. Untuk melihat proses dari iterasi yang terjadi sampai konvergen dengan cara klik Plot Residual Plot.



(a)



(b)



(c)

Gambar. 4.1 Grafik hasil iterasi, (a) Model-1, (b) Model-2, (c) Model-3

Analisis akan dilakukan melalui pengamatan visual hasil perhitungan yang dilakukan oleh fluent melalui potongan gambar 2D dari simulasi. Potongan yang digunakan yaitu potongan melintang, agar dapat mempermudah untuk mengamati pencampuran fluida didalam *intake manifold*.

Banyak hal yang mempengaruhi bentuk pencampuran bahan bakar dengan udara di dalam *intake manifold*, diantaranya adalah distribusi tekanan, kecepatan aliran, dan arah aliran yang terjadi didalam *intake manifold*. Untuk melihat fenomena pencampuran yang terjadi dalam simulasi dengan dikondisikan posisi injektor yang diamati, penulis berfokus pada daerah sekitar lubang penginjeksian bahan bakar terkait untuk melihat awal pencampuran yang terjadi. Dari hasil perhitungan menggunakan simulasi fluent didapatkan nilai kecepatan minimal dan maksimal pencampuran yang terjadi pada *intake manifold*. Selain itu dari hasil perhitungan menggunakan simulasi fluent juga didapatkan nilai tekanan statis minimal dan maksimal pencampuran yang terjadi pada *intek manifold*.

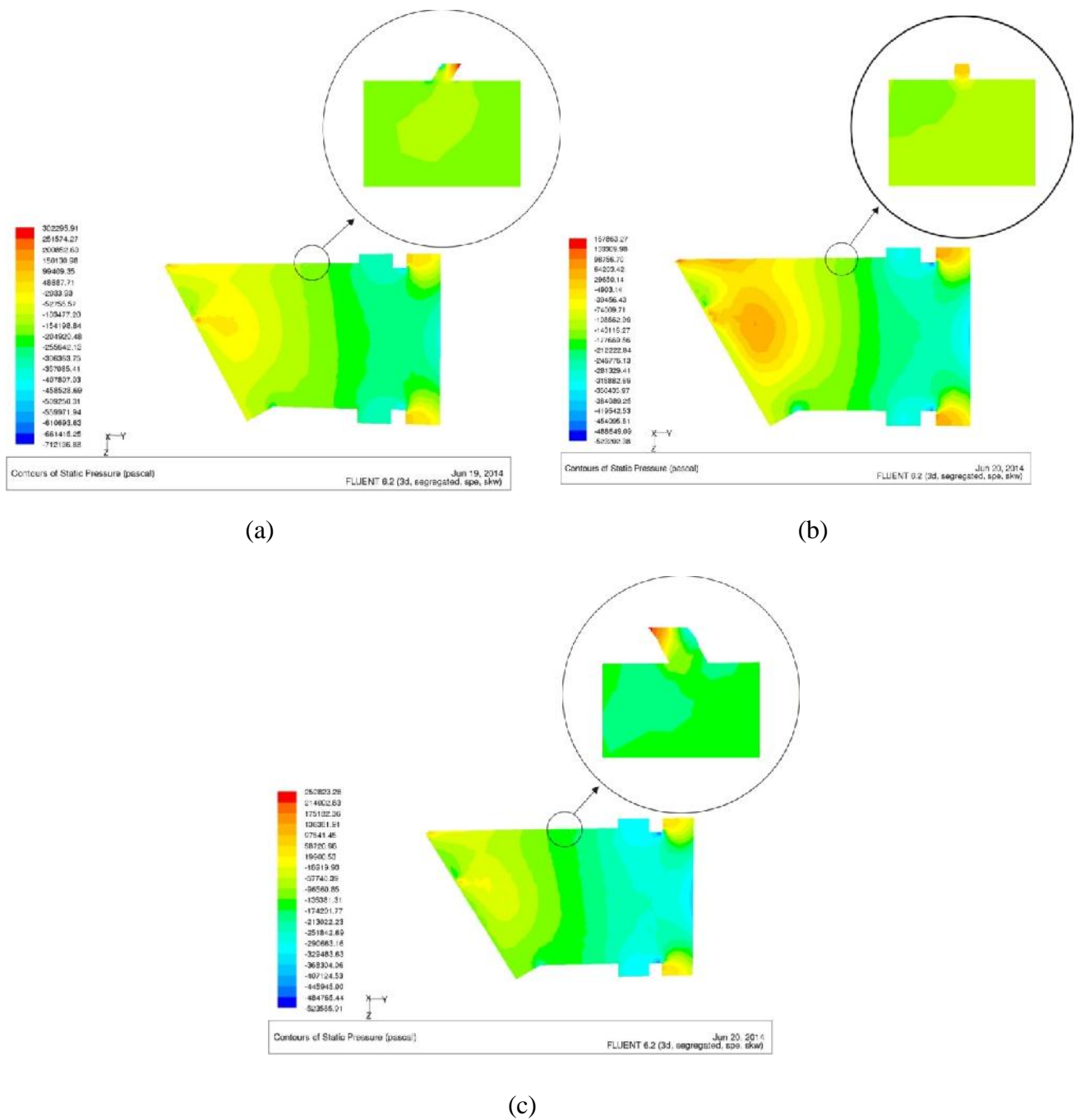
Tabel 4.1 Hasil Simulasi Tekanan Statis dan Kecepatan

Model	Tekanan Statis (Pascal)	Kecepatan (m/s)
Model 1	-610.693,63 s/d 302.295,91	63,13 s/d 1173,57
Model 2	-212.222,84 s/d 98.756,70	55,65 s/d 945,26
Model 3	-329.483,63 s/d 252.823,28	53,06 s/d 946,09



## B. Pembahasan Hasil Simulasi

### 1. Distribusi Tekanan



Gambar.4.2 Kontur Tekanan Statis. (a) Model-1, (b) Model-2, dan (c) Model-3.

Distribusi tekanan yang memperlihatkan proses pencampuran terdapat pada potongan melintang pada gambar 4.2. kontur tekanan statis. Hal ini disebabkan pada posisi potongan tersebut lebih jelas untuk diamati fenomena pencampuran antara bahan bakar dan udara. Distribusi tekanan yang diamati yaitu tekanan statis. Pada potongan diatas dapat dilihat bahwa dari 3 pemodelan yang dibuat memiliki variasi perbedaan tekanan statis yang berbeda. Terlihat dari indikator warna pada potongan melintang bidang pada gambar 4.2.

Pada model-1 hasil simulasi fenomena yang terjadi pada daerah sekitar lubang penginjeksian bahan bakar, terlihat bahwa tekanan ketika awal memasuki lubang mengalami penurunan tekanan dan berangsur cenderung tidak mengalami perubahan tekanan yang berarti. Tekanan tinggi terlihat dengan indikator warna merah pada ujung lubang masuk bahan bakar. Tekanan mulai mengalami penurunan sesat pada daerah sekitar lubang penginjeksian bahan bakar ditandai dengan indikator berwarna hijau, dan mengalami kenaikan kembali mendekati nilai tertinggi dengan indikator berwarna kuning. Nilai tekanan statis yang terjadi diarea sekitar lubang penginjeksian bahan bakar yaitu -610.693,63 pascal s/d 302.295,91 pascal.

Pada model 2 hasil simulasi fenomena yang terjadi pada daerah sekitar lubang penginjeksian bahan bakar, terlihat bahwa tekanan ketika awal memasuki lubang mengalami penurunan tekanan dan berangsur cenderung mengalami perubahan tekanan secara berkala. Pada lubang inlet penginjeksian bahan bakar tekanan tinggi mendekati maksimal masuk

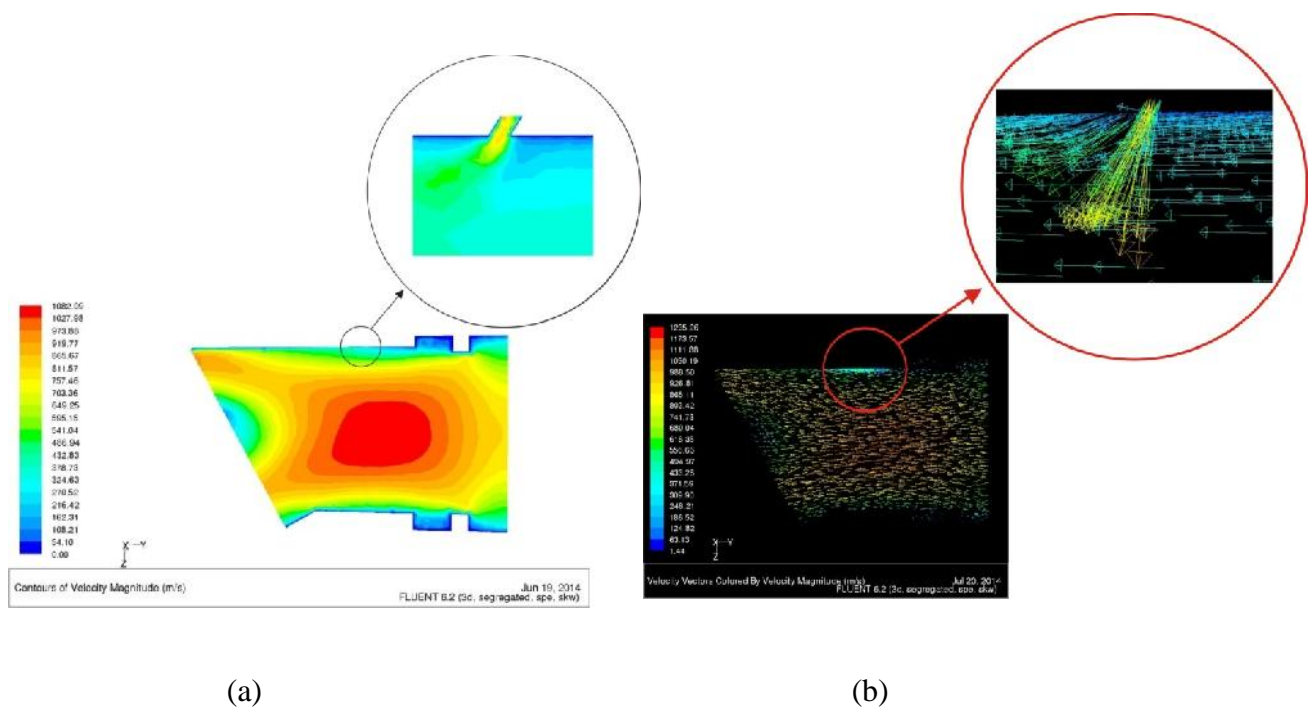
ditandai dengan indikator berwarna merah muda. Kemudian berangsur mengalami penurunan tekanan yang disebabkan terjadinya percepatan aliran yang diakibatkan penyempitan luasan aliran, hal ini sesuai dengan hukum kontinuitas aliran fluida. Penurunan tekanan yang terjadi ditunjukkan dengan indikator berwarna hijau muda. Nilai tekanan statis yang terjadi diarea sekitar lubang penginjeksian bahan bakar yaitu -212.222,84 pascal s/d 98.756,70 pascal.

Pada model 3 hasil simulasi fenomena yang terjadi pada daerah sekitar lubang penginjeksian bahan bakar, terlihat bahwa tekanan ketika awal memasuki lubang mengalami penurunan tekanan dan berangsur cenderung mengalami perubahan tekanan secara berkala. Tekanan tinggi terlihat dengan indikator warna merah pada ujung lubang masuk bahan bakar. Tekanan mulai mengalami penurunan sesat pada daerah sekitar lubang penginjeksian bahan bakar ditandai dengan indikator berwarna hijau. Nilai tekanan statis yang terjadi diarea sekitar lubang penginjeksian bahan bakar yaitu -329.483,63 pascal s/d 252.823,28 pascal.

Adanya perubahan tekanan yang terjadi disebabkan pada daerah dekat dinding terjadinya tumbukan, hal ini disebabkan terjadinya stagnasi aliran yang besar akibat tumbukan aliran tersebut. Sesuai dengan prinsip bernoulli yang menyatakan bahwa dimana kecepatan aliran fluida rendah, maka tekanan fluida tersebut menjadi rendah. Demikian juga sebaliknya, semakin bertambahnya kecepatan fluida masuk, maka nilai tekanan akan naik.

## 2. Distribusi Kecepatan Aliran dan Arah Aliran

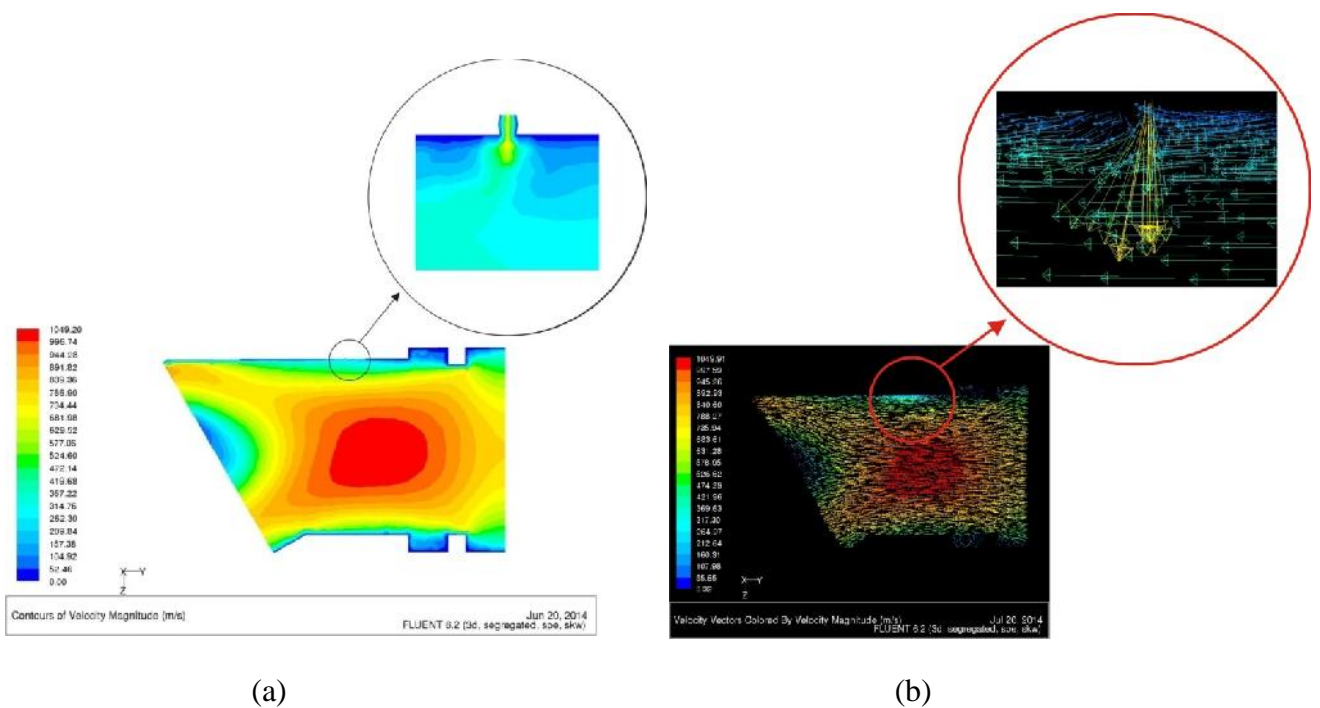
Vektor kecepatan diamati untuk dapat menjelaskan arah aliran pencampuran bahan bakar dan udara yang terjadi didalam *intake manifold*. Karena adanya tekanan vakum pada ruang bakar maka terjadi aliran bahan bakar dan udara yang bercampur melalui *intake manifold* menuju ruang bakar. Udara masuk dari sisi kanan dan bahan bakar diinjeksikan melalui lubang injektor, dapat terlihat pada gambar vektor kecepatan. Warna di dalam bidang aliran menunjukkan kecepatan aliran fluida yang terjadi.



Gambar.4.3. Model-1. (a) Kontur Kecepatan, dan (b) Vektor Kecepatan

Pada gambar model-1 hasil simulasi kontur kecepatan terlihat bahwa fenomena yang terjadi pada daerah sekitar lubang penginjeksian bahan bakar adanya perubahan kecepatan. Perubahan yang terjadi dinyatakan dengan adanya perbedaan indikator warna didaerah sekitar lubang penginjeksian

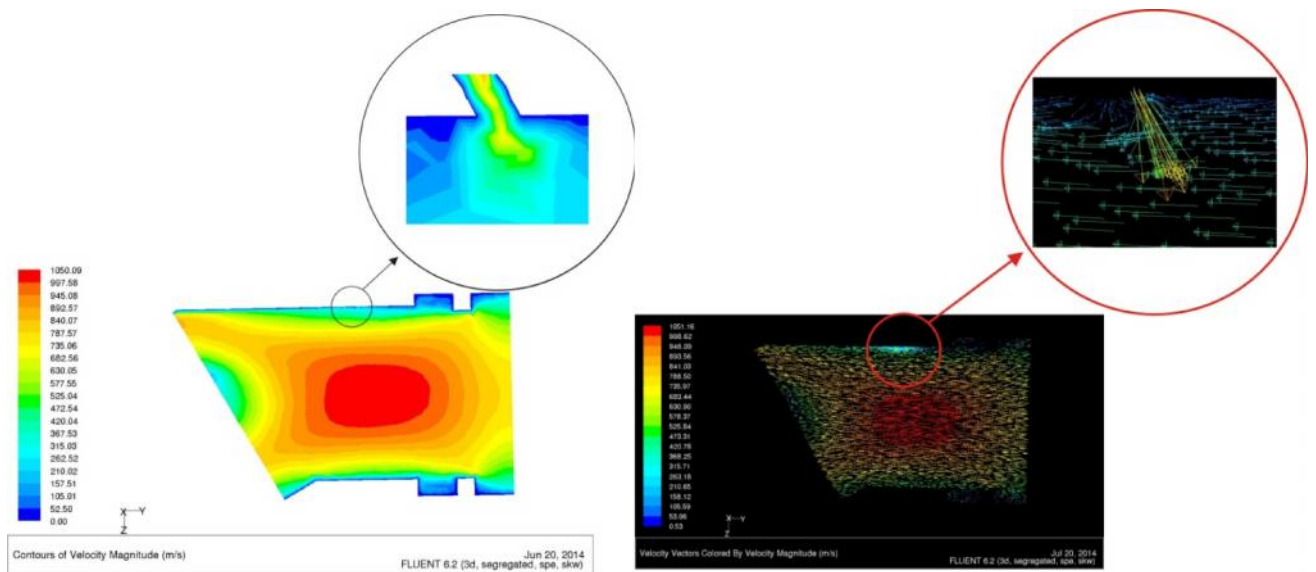
bahan bakar. Kecepatan rendah ditandai dengan indikator warna biru terlihat di area sekitar dinding-dinding lubang penginjeksian bahan bakar dan *intake manifold*. Distribusi kecepatan sesaat di area lubang penginjeksian bahan bakar hampir mendekati kecepatan maksimal ditandai dengan terlihatnya indikator berwarna kuning. Nilai kecepatan yang terjadi di area lubang penginjeksian bahan bakar yaitu 63,13 m/s s/d 1173,57 m/s.



Gambar.4.4. Model-2. (a) Kontur Kecepatan, dan (b) Vektor Kecepatan

Pada model-2 kontur kecepatan terlihat fenomena yang terjadi pada daerah sekitar lubang penginjeksian bahan bakar adanya perubahan kecepatan. Masih terlihat indikator berwarna biru yang menyatakan distribusi kecepatan terendah, terjadi di area sekitar dinding-dinding baik pada lubang penginjeksian dan *intake manifold*. Pada daerah lubang inlet kecepatan mengalami peningkatan mendekati kecepatan maksimal. Sesaat di area lubang penginjeksian bahan bakar distribusi kecepatan hampir mendekati nilai

tertinggi dan mengalami penurunan kecepatan ketika memasuki *intake manifold*. Distribusi kecepatan tertinggi yang ditunjukkan dengan indikator berwarna merah terlihat pada *intake manifold*. Nilai kecepatan yang terjadi diarea lubang penginjeksian bahan bakar yaitu 55,65 m/s s/d 945,26 m/s.

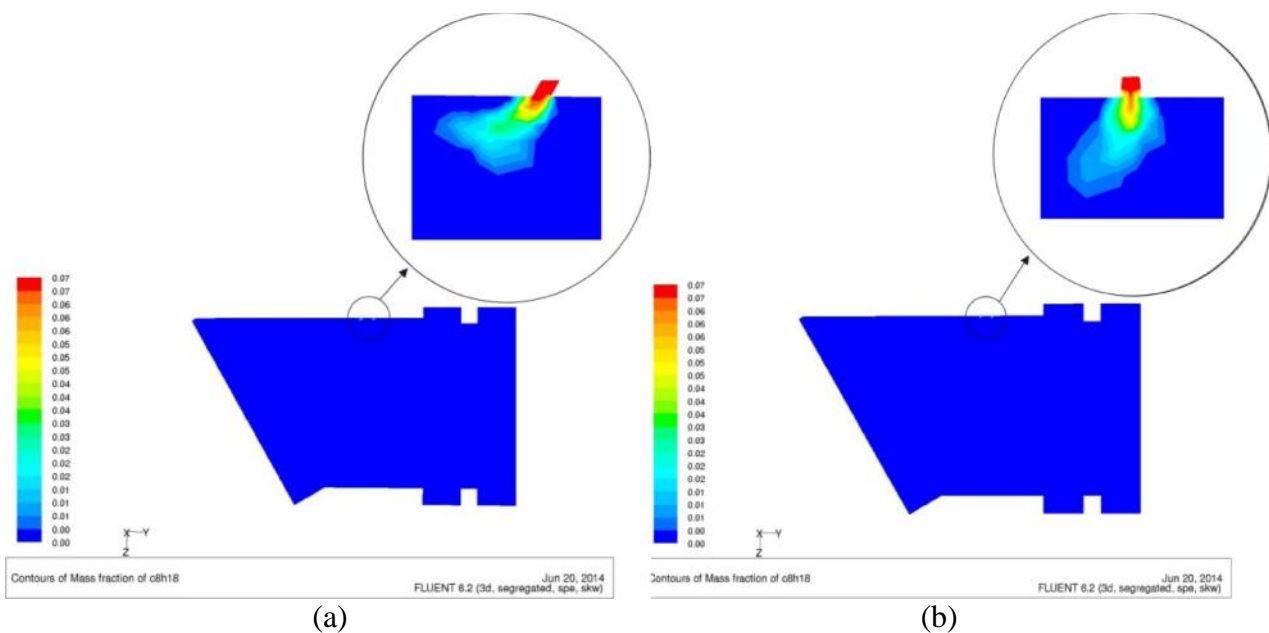


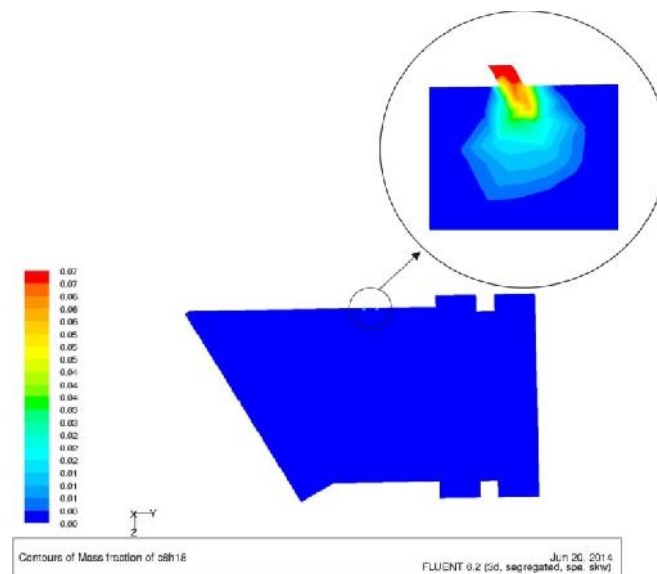
(a) (b)  
Gambar.4.5. Model-3. (a) Kontur Kecepatan, dan (b) Vektor Kecepatan

Pada model 3 kontur kecepatan terlihat fenomena yang terjadi pada daerah sekitar lubang penginjeksian bahan bakar adanya perubahan kecepatan. Masih terlihat indikator berwarna biru yang menyatakan distribusi kecepatan terendah, terjadi di area sekitar dinding-dinding baik pada lubang penginjeksian dan *intake manifold*. Sesaat terjadi distribusi kecepatan mendekati nilai tertinggi terlihat indikator berwarna kuning dan berangsur mengalami penurunan ditandai dengan indikator berwarna biru. Nilai kecepatan yang terjadi diarea lubang penginjeksian bahan bakar yaitu 53,06 m/s s/d 946,09 m/s.

### 3. Distribusi Fraksi Massa

Untuk melihat terjadinya proses pencampuran dapat diamati yang terjadi pada hasil fraksi massa. Fraksi massa ini berdasarkan asumsi bahwa volume yang masuk kedalam intake manifold merupakan rasio perbandingan jumlah komposisi  $C_8H_{18}$  dan  $O_2$ . Besar fraksi massa bahan bakar sebelum terjadinya proses pencampuran adalah 0.07, sedangkan fraksi massa untuk udara adalah 0.2. Analisa pencampuran dapat dilakukan terhadap  $C_8H_{18}$  maupun  $O_2$  karena akan menghasilkan hasil yang similar. Analisa akan dilakukan pada kondisi fraksi massa  $C_8H_{18}$ , maka warna merah pada gambar memperlihatkan kondisi dimana seluruh volume terdiri dari  $C_8H_{18}$  dan warna biru tua memperlihatkan tidak ada  $C_8H_{18}$  dalam volume tersebut atau  $O_2$  yang ada.





(c)  
Gambar.4.6. Fraksi Massa. (a) Model-1,(b) Model-2 dan (c) Model-3

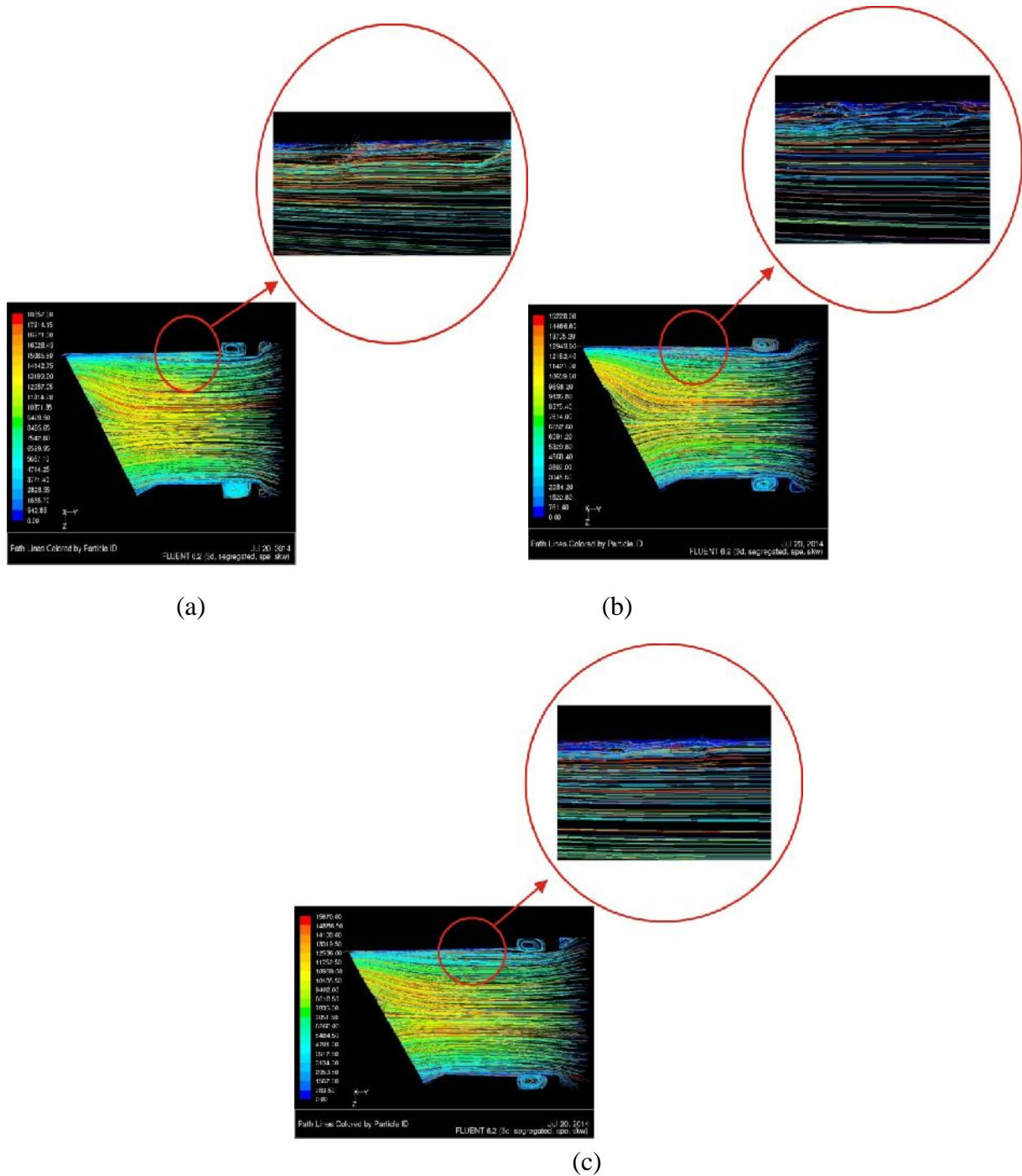
Pada gambar 4.6 dapat dilihat awal terjadinya pencampuran yang terjadi pada saat bahan bakar diinjeksikan menuju *intake manifold* melalui lubang penginjeksian bahan bakar. Bentuk pancaran yang keluar dari lubang terlihat membentuk variasi. Variasi terjadi akibat proses difusi dimana bahan bakar bertekanan tinggi yang diinjeksikan ketika memasuki area intake manifold mengalami tumbukan dengan udara yang mengakibatkan terjadinya pencampuran bahan bakar.

Pada pemodelan gambar 4.6 terlihat model-1 dapat dikatakan memiliki posisi injektor yang lebih optimal dari posisi injektor model-2 dan model-3. Terlihat pancaran yang terbentuk pada model-1 lebih baik dari model-2 dan model-3. Pembentukan pola pancaran ini berada pada bagian tengah/pusat penampang yang makin lama makin mengecil/meruncing. Pergerakan ini disebabkan oleh gradien konsentrasi bahan bakar dimana konsentrasi bahan bakar lebih tinggi dan berjalan menuju konsentrasi yang



lebih rendah. Sebagaimana teori pembakaran semakin panjang pancaran menunjukkan penetrasi bahan bakar terhadap udara semakin tinggi dan energi kinetik molekulnya juga semakin besar.

#### 4. *Path Lines*



Gambar.4.7. *Path lines*. (a) Model-1, (b) Model-2, dan (c) Model-3.

Untuk menganalisa rekam jejak aliran fluida pada setiap pemodelan maka dapat dilihat pada *path line*. Path line berfungsi untuk melihat lintasan aliran fluida yang terjadi. Pada gambar 4.7 *path line* terlihat lintasan aliran yang terjadi pada setiap model. Pada area dinding terjadi stagnasi yang membentuk olakan, hal ini terjadi karena adanya tumbukan antara *particle* fluida dengan dinding.

Seperti yang telah dibahas sebelumnya terjadinya awal proses pencampuran pada setiap model diasumsikan pada area sekitar lubang penginjeksian bahan bakar. Pada setiap model terlihat ketika bahan bakar diinjeksikan *particle* bahan bakar yang masuk bertumbukan dengan udara sehingga terjadinya proses pencampuran secara difusi. Difusi akan terus terjadi hingga seluruh *particle* tersebar luas secara merata atau mencapai keadaan kesetimbangan dimana perpindahan molekul tetap terjadi walaupun tidak ada perbedaan konsentrasi.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian penentuan posisi injektor terhadap intake manifold motor 2 langkah dengan simulasi menggunakan CFD yang telah dilakukan maka didapat saran dan kesimpulannya sebagai berikut :

#### A. Kesimpulan

Dari simulasi yang telah dilakukan maka didapat kesimpulan, sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisis kontur tekanan, kontur kecepatan, fraksi massa, dan *path line*, menunjukkan bahwa model-1 mempunyai posisi injektor lebih optimal dari pada model-2 dan model-3. Pada model-1 terbentuk tekanan statis dan kecepatan yang lebih optimal dari model lainnya, selain itu pancaran yang terjadi terlihat makin lama makin mengecil/meruncing ini menunjukkan terjadinya penetrasi bahan bakar terhadap udara pada model-1 lebih optimal.
2. Pada model-1 diarea sekitar lubang penginjeksian bahan bakar dihasilkan nilai tekanan statis sebesar -212.222,84 pascal s/d 98.756,70 pascal. Sedangkan nilai kecepatan yang didapat sebesar 63,13 m/s s/d 1173,57 m/s.
3. Pada model-2 diarea sekitar lubang penginjeksian bahan bakar dihasilkan nilai tekanan statis sebesar -610.693,63 pascal s/d 302.295,91 pascaal. Sedangkan nilai kecepatan yang didapat sebesar 55,65 m/s s/d 945,26 m/s.

4. Pada model-3 diarea sekitar lubang penginjeksian bahan bakar dihasilkan nilai tekanan statis sebesar -329.483,63 pascal s/d 252.823,28 pascal. Sedangkan nilai kecepatan yang didapat sebesar 53,06 m/s s/d 946,09 m/s.

## **B. Saran**

Setelah melakukan penelitian posisi injektor pada *intake manifold* maka untuk kebaikan penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan simulasi aliran fluida, maka peneliti memberikan saran sebagai berikut:

1. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya percobaan dilakukan tidak hanya melalui metode *Computational* saja tetapi sebagai acuannya maka penelitian juga dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen.
2. Sebaiknya pemodelan yang dilakukan dicoba pada bentuk sudut posisi injektor yang lain.
3. Sebaiknya parameter yang diteliti ditambahkan bisa dilihat dari seberapa besar homogenisasi yang terjadi, perpindahan panas, reaksi kimia, dan mekanika fluida secara terperinci terhadap aliran yang terjadi.

## DAFTAR PUSTAKA

- A.Cengel, Yunus. *Fluid Mechanics*. New York: Mc Graw Hill, 2006.
- Arends BPM, Berenschot H. *Motor Bensin*. Jakarta: Erlangga, 1980.
- Boentarto. *Teknik Dasar-Dasar Otomotif*. Solo: CV. Aneka, 2006.
- Buyung K, Prabuono. *Teori dan Aplikasi Metode Element Hingga*. Yogyakarta : Andi. 2012.
- Daryanto. *Prinsip Dasar Mesin Otomotif*. Bandung: Alfabeta, 2011.
- Finnemore, E John and Franzini, Joseph B. *Fluid Mechanics With Engineering Applications*. Newyork: McGrawHill, 2002.
- Hidayat Wahyu. *Motor Bensin Modern*. Jakarta: Rineka Cipta, 2012.
- Nugroho Amien. *Ensiklopedi Otomotif*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2005.
- Sugiarto, Bambang. *Sistem Injeksi Bahan Bakar Sepeda Motor Satu Silinder Empat Langkah*. Jurnal Makara Teknologi No.3. 2004.
- Streeter, Victor L. *Mekanika Fluida: Edisi Delapan Jilid 1*. Jakarta : Erlangga, 1993.
- Tuakia, Firman. *Dasar-Dasar CFD Menggunakan Fluent*. Bandung: Informatika Bandung. 2008.
- Kartika, Irawan Sony. *Perancangan dan Analisa Geometri Bodi Kendaraan Surya Lomba Berbasis Airfoil NACA 66 Berbantuan Computational Fluid Dynamics*. Tesis Program Pasca Sarjana Bidang Ilmu Teknik Universitas Indonesia. 2005.
- White M Frank. *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga, 1986.