

## BAB 2 DASAR TEORI

### 2.1 MOTOR OTTO

Motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) adalah mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversikan energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi mekanis dan prosesnya terjadi di dalam suatu ruang bakar yang tertutup. Energi kimia dalam bahan bakar terlebih dahulu diubah menjadi energi termal melalui proses pembakaran. Energi termal yang diproduksi akan menaikkan tekanan yang kemudian menggerakkan mekanisme pada mesin seperti torak, batang torak, dan poros engkol.

Berdasarkan metode penyalaan campuran bahan bakar—udara, motor pembakaran dalam dapat diklasifikasikan menjadi *spark ignition engine* dan *compression ignition engine*. Dalam melakukan proses pembakaran tersebut, bagian-bagian motor yang telah disebutkan di atas akan melakukan gerakan berulang yang dinamakan siklus. Setiap siklus yang terjadi dalam mesin terdiri dari beberapa urutan langkah kerja.

Berdasarkan siklus langkah kerjanya, motor pembakaran dalam dapat diklasifikasikan menjadi motor 2 langkah dan motor 4 langkah. Berdasarkan pembatasan masalah, peralatan uji yang digunakan adalah motor *Otto* berbahan bakar bensin (*spark ignition engine*) dengan sistem 4 langkah. Motor *Otto* merupakan motor pembakaran dalam karena motor *Otto* melakukan proses pembakaran gas dan udara di dalam silinder untuk melakukan kerja mekanis.

Motor *Otto* dengan sistem *Spark Ignition* menggunakan bantuan bunga api untuk menyalakan atau membakar campuran bahan bakar—udara. Bunga api yang digunakan berasal dari busi. Busi akan menyala saat campuran bahan bakar—udara mencapai rasio kompresi, temperatur, dan tekanan tertentu sehingga akan terjadi reaksi pembakaran yang menghasilkan tenaga untuk mendorong torak bergerak bolak-balik. Siklus langkah kerja yang terjadi pada mesin jenis ini dinamakan siklus *Otto* dengan mempergunakan bahan bakar bensin.

### Siklus Kerja Motor Otto

Komponen-komponen utama dari sebuah motor *Otto* adalah:

1. Katup Masuk (*intake valve*)

Katup masuk adalah katup yang berfungsi untuk mengontrol pemasukan campuran udara-bahan bakar ke dalam silinder mesin dan mencegah terjadinya aliran balik ke dalam saluran masuk campuran udara-bahan bakar (*intake manifold*).

2. Katup Buang (*exhaust valve*)

Katup buang adalah katup yang mengontrol pengeluaran hasil pembakaran dari silinder mesin untuk dibuang keluar dan menjaga agar arah aliran yang mengalir hanya satu arah.

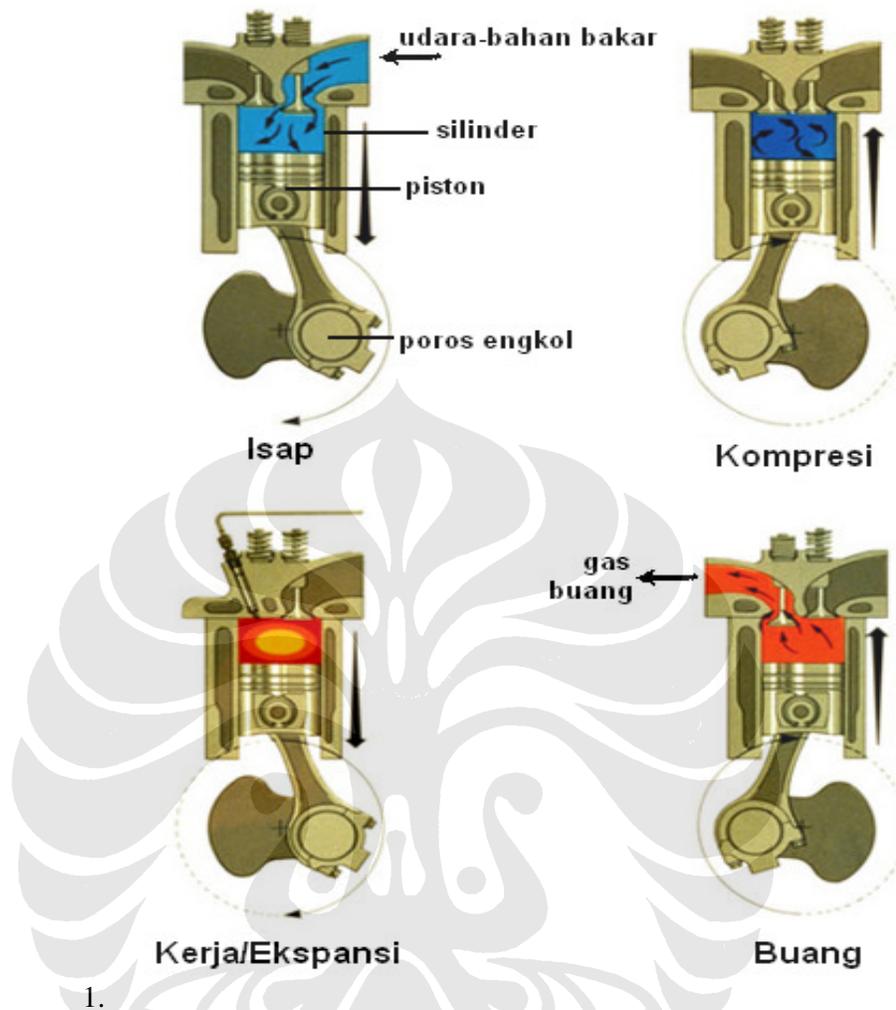
3. Torak

Torak adalah komponen berbentuk silinder yang bergerak naik turun di dalam silinder, dan berfungsi untuk mengubah tekanan di dalam ruang bakar menjadi gerak rotasi poros engkol.

4. Busi

Busi adalah komponen listrik yang digunakan untuk memicu pembakaran campuran udara-bahan bakar dengan menciptakan percikan listrik bertegangan tinggi pada celah elektroda.

Pada mesin 4 langkah, torak bergerak bolak-balik dalam silinder dari Titik Mati Bawah (TMA) menuju Titik Mati Bawah (TMB) sebanyak 4 kali atau 2 putaran engkol untuk memenuhi 1 siklus kerja. Jarak yang ditempuh torak selama gerakan bolak-balik disebut dengan *stroke* atau langkah torak. Langkah-langkah yang terdapat pada motor bensin 4 langkah adalah langkah isap, kompresi, kerja, dan buang.

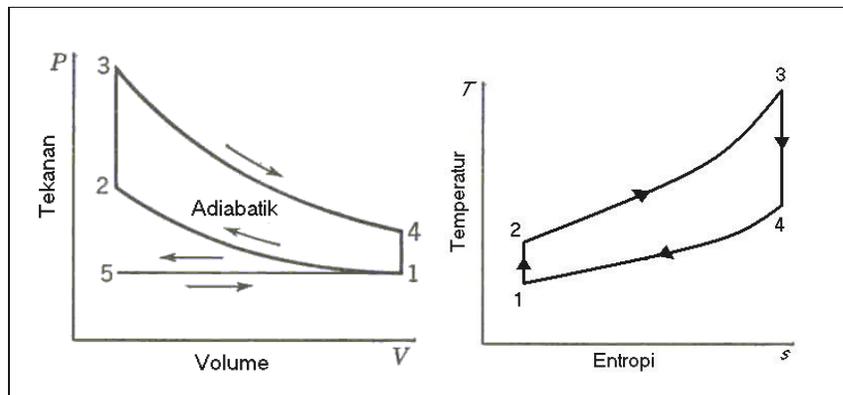


1.

**Gambar 2.1.** Proses kerja motor Otto empat langkah  
 Sumber : <http://www.bankspower.com>

Pada motor *Otto* 4 langkah ini, gas pembakaran hanya mendorong torak pada langkah ekspansi saja. Oleh karena itu, untuk memungkinkan gerak torak pada tiga langkah lainnya maka sebagian energi pembakaran selama langkah ekspansi diubah dan disimpan dalam bentuk energi kinetis roda gila (*flywheel*).

Siklus kerja motor *Otto* dapat digambarkan pada diagram indikator, yaitu diagram P-V (tekanan-volume) dan diagram T-S (tekanan-entropi). Diagram indikator ini berguna untuk melakukan analisis terhadap karakteristik internal motor *Otto*.



**Gambar 2.2.** Diagram P-V dan T-S ideal motor Otto empat langkah

Langkah-langkah pada mesin *Otto* 4 langkah dapat dilihat pada gambar 2.1. Langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Langkah Isap (*intake*)

Selama langkah isap torak bergerak dari TMA menuju TMB, katup masuk terbuka dan katup buang tertutup. Gerakan torak memperbesar volume ruang bakar dan menciptakan ruang hampa (*vacuum*) dalam ruang bakar. Akibatnya campuran udara dan bahan bakar terisap masuk ke dalam ruang bakar melalui katup masuk. Langkah isap berakhir ketika torak telah mencapai TMB.

2. Langkah kompresi (*compression*)

Selama langkah kompresi katup isap tertutup dan torak bergerak kembali ke TMA dengan katup buang masih dalam keadaan tertutup. Gerakan torak tersebut mengakibatkan campuran udara dan bahan bakar yang ada di dalam ruang bakar tertekan akibat volume ruang bakar yang diperkecil, sehingga tekanan dan temperatur di dalam silinder meningkat.

3. Pembakaran (*combustion*)

Pada akhir langkah kompresi, busi pijar menyala sehingga campuran udara-bahan bakar yang telah memiliki tekanan dan temperatur tinggi terbakar. Pembakaran yang terjadi mengubah komposisi campuran udara-bahan bakar menjadi produk pembakaran dan menaikkan temperatur dan tekanan dalam ruang bakar secara drastis.

4. Langkah kerja/ekspansi (*expansion/power*)

Tekanan tinggi hasil dari proses pembakaran campuran udara-bahan bakar mengakibatkan torak terdorong menjauhi TMA. Dorongan ini merupakan kerja keluaran dari siklus mesin *Otto*. Dengan Bergeraknya torak menuju TMB, volume silinder meningkat sehingga temperatur dan tekanan dalam ruang bakar turun.

5. Langkah buang (*exhaust*)

Katup buang terbuka ketika torak telah mencapai TMB. Torak terus bergerak kembali menuju TMA sehingga gas hasil pembakaran tertekan keluar dari ruang bakar melalui katup buang.

Berdasarkan gambar 2.2. perhitungan-perhitungan yang berhubungan dengan siklus ini adalah sebagai berikut :

Proses 1-2 kerja kompresi isentropik :

$$q_{1-2} = 0 \text{ dan } w_{1-2} = c_v (T_1 - T_2) \dots \dots \dots (2.1)$$

Proses 2-3 pemasukan kalor pada volume konstan

$$\begin{aligned} w_{2-3} &= 0 \\ Q_{2-3} &= Q_{in} = m_f Q_{Hv} \eta_c \text{ atau} \\ &= m_m c_v (T_3 - T_2) = (m_a + m_f) c_v (T_3 - T_2) \dots \dots \dots (2.2) \\ q_{2-3} &= c_v (T_3 - T_2) \end{aligned}$$

Proses 3-4 kerja ekspansi isentropik yang dihasilkan

$$\begin{aligned} q_{3-4} &= 0 \\ w_{3-4} &= c_v (T_3 - T_4) \dots \dots \dots (2.3) \end{aligned}$$

Proses 4-1 pengeluaran gas buang pada volume konstan

$$\begin{aligned} w_{4-1} &= 0 \\ q_{4-1} &= q_{out} = c_v (T_4 - T_1) \dots \dots \dots (2.4) \end{aligned}$$

Dari perhitungan didapat

$$W_{net} = W_{3-4} + W_{1-2} = Q_{in} - Q_{out} \dots \dots \dots (2.5)$$

besarnya efisiensi termal :

$$\eta_{th} = W_{net} / Q_{in} = 1 - (Q_{out} / Q_{in}) \dots \dots \dots (2.6)$$

Nilai efisiensi diatas hanya merupakan nilai *indicated* dari nilai perhitungan termodinamikanya.

## 2.2 PARAMETER PRESTASI MESIN

Karakteristik unjuk kerja suatu motor bakar torak dinyatakan dalam beberapa parameter diantaranya adalah konsumsi bahan bakar, konsumsi bahan bakar spesifik, perbandingan bahan bakar—udara, daya keluaran. Berikut ditampilkan rumus-rumus dari beberapa parameter yang digunakan dalam menentukan unjuk kerja motor bakar torak:

### Konsumsi Bahan Bakar / Fuel Consumption (FC)

$$BFC = \frac{V_f}{t} \cdot \frac{3600}{1000} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

$BFC$  = konsumsi bahan bakar (L/jam)

$V_f$  = konsumsi bahan bakar selama  $t$  detik (mL)

$t$  = interval waktu pengukuran konsumsi bahan bakar (detik)

### Laju Aliran massa Bahan Bakar ( $\overset{o}{m}_f$ )

$$\overset{o}{m}_f = \frac{BFC \cdot \rho_f}{3600 \cdot 1000} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

$\overset{o}{m}_f$  = laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

$BFC$  = konsumsi bahan bakar (L/jam)

$\rho_f$  = massa jenis bahan bakar (kg/m<sup>3</sup>)

### Laju aliran massa Udara ( $\overset{o}{m}_a$ )

$$\overset{o}{m}_a = \frac{AFR \cdot BFC \cdot \rho_f}{3600 \cdot 1000} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

$AFR$  = rasio massa udara—bahan bakar (kg udara / kg bahan bakar)

$\dot{m}_a$  = laju aliran massa udara (kg/s)

$BFC$  = konsumsi bahan bakar (L/jam)

$\rho_f$  = massa jenis bahan bakar (kg/m<sup>3</sup>), dalam hal ini adalah bensin = 754,2 kg/m<sup>3</sup>

### **Torsi (T)**

$$T = F \cdot r \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

$T$  = torsi keluaran mesin ( $FtLbs$ )

$F$  = pembebanan mesin ( $Lbs$ )

$r$  = panjang lengan torsi ( $Ft$ )

### **Daya Keluaran / Brake Horse Power (BHP)**

Satuan daya keluaran yang digunakan dalam perhitungan bukan merupakan satuan *British unit* karena hasil yang didapatkan pada pengukuran dengan menggunakan dynamometer menggunakan pengukuran *British unit*.

$$BHP = \frac{Torsi(ft / lbs) \cdot rpm}{5252} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

$BHP$  = daya keluaran mesin (hp)

$T$  = torsi keluaran mesin ( $FtLbs$ )

$rpm$  = putaran mesin / N

### **Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (BSFC)**

$$BSFC = \frac{BFC}{BHP} \cdot \rho_f \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

$BSFC$  = konsumsi bahan bakar spesifik (gr/hp.h)

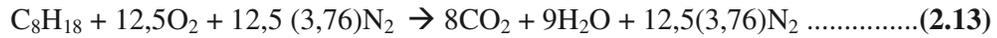
$BFC$  = konsumsi bahan bakar (l/h)

$BHP$  = daya keluaran mesin (hp)

$\rho_f$  = massa jenis bahan bakar (kg/m<sup>3</sup>)

### 2.3 PEMBAKARAN DAN EMISI PADA MOTOR OTTO

Bahan bakar yang digunakan pada Motor Pembakaran Dalam – jenis *Otto* biasanya sejenis Hidro Karbon (HC). Dengan menganggap bahwa bahan bakar yang digunakan adalah *isooctane* maka reaksi pembakaran yang terjadi sebagai berikut :



Nilai 3,76 di dapat dari perbandingan %vol N<sub>2</sub> dengan %vol O<sub>2</sub> pada udara bebas yaitu 79% / 21% = 3,76 dengan menganggap gas lainnya seperti argon, CO<sub>2</sub> dan lainnya sangat kecil.

Reaksi pembakaran tersebut terjadi di dalam ruang bakar pada tekanan dan suhu yang tinggi. Motor Bakar Dalam yang baik mempunyai komposisi gas buang berupa CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> seperti reaksi diatas,namun adakalanya terjadi pembakaran yang kurang sempurna sehingga akan menghasilkan emisi gas berupa CO, HC, Gas tersebut juga bersifat beracun. Agar dapat terjadi pembakaran yang sempurna diperlukan perbandingan yang tepat antara massa bahan-bakar / massa udara (AFR). Jika reaksi tersebut diatas terjadi sempurna maka perbandingannya :

Massa bahan bakar (m<sub>f</sub>) adalah 1 kmol (114 kg/kmol) = 114 kg

Massa udara (m<sub>a</sub>) adalah 12,5 ( 4,76) kmol (29 kg/kmol) = 1725,5 kg , sehingga AFR untuk reaksi tersebut

$$\text{AFR} = m_a / m_f = 1725,5 / 114 = 15,13 \dots\dots\dots(2.14)$$

Nilai perbandingan inilah yang nantinya dipakai pada lembar data untuk nilai AFR stoikiometrinya.

### 2.4 TERBENTUKNYA POLUTAN PADA ALIRAN GAS BUANG

Bahan pencemar (polutan) yang berasal dari kendaraan bermotor di bedakan menjadi polutan primer atau sekunder. Polutan primer seperti karbon monoksida (CO), sulfur oksida (SO<sub>x</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) dan hidrokarbon (HC) langsung dibuangkan ke udara bebas dan mempertahankan bentuknya seperti pada saat pembuangan. Polutan sekunder seperti ozon (O<sub>3</sub>) dan peroksiasetil nitrat (PAN) adalah polutan yang terbentuk di atmosfer melalui reaksi fotokimia, hidrolisis atau oksidasi.

#### 2.4.1 Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida selalu terdapat didalam gas buang pada saat proses penguraian dan hanya ada pada knalpot kendaraan. CO merupakan produk dari pembakaran yang tidak tuntas yang disebabkan karena tidak seimbangnya jumlah udara pada rasio udara-bahan bakar (AFR) atau waktu penyelesaian pembakaran yang tidak tepat. Pada campuran kaya, konsentrasi CO akan meningkat dikarenakan pembakaran yang tidak sempurna untuk menghasilkan CO<sub>2</sub>. Pada beberapa hasil, konsentrasi CO yang terukur lebih besar dari konsentrasi kesetimbangan. Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi pembentukan yang tidak sempurna pada langkah ekspansi.

Untuk menurunkan emisi CO dapat dilakukan dengan menjalankan mesin dengan campuran kurus yang menyebabkan hilangnya tenaga atau dengan cara menambahkan alat pada knalpot untuk mengoksidasi CO yang dihasilkan mesin. Secara teoritis, kadar CO pada gas buang dapat dihilangkan dengan menggunakan AFR lebih besar dari 16:1. Namun pada kenyataannya kadar CO akan selalu terdapat pada gas buang walaupun pada campuran yang kurus sekalipun.

Persentase CO pada gas buang meningkat pada saat *idle* dan menurun seiring dengan bertambahnya kecepatan dan pada saat kecepatan konstan. Pada saat perlambatan dimana terjadi penutupan *throttle* yang menyebabkan berkurangnya suplai oksigen ke mesin akan mengakibatkan tingginya kadar CO yang dihasilkan.

#### 2.4.2 Hidrokarbon (HC)

Emisi hidrokarbon yang tidak terbakar merupakan hal berkaitan langsung dengan pembakaran yang tidak sempurna. Bentuk emisi hidrokarbon dipengaruhi oleh banyak variable disain dan operasi. Salah satunya dapat disebabkan karena penyalaan yang tidak stabil (*misfire*). Oksidasi dari hidrokarbon merupakan proses rantai dengan hasil lanjutan berupa aldehid. Beberapa jenis aldehid bersifat stabil dan keluar bersama gas buang. Sumber utama dari pembentukan hidrokarbon adalah *wall quenching* yang diamati pada saat api menjalar kearah dinding, terdapat lapisan tipis yang tidak terjadi reaksi kimia kecuali terjadinya pemecahan bahan bakar. Lapisan tipis ini mengandung hidrokarbon yang tidak terbakar atau disebut juga *quench distance*.

Besarnya *quench distance* ini bervariasi antara 0,008 sampai 0,038 cm yang dipengaruhi oleh temperature campuran, tekanan, AFR, temperature permukaan dinding dan endapan pembakaran. Besarnya konsentrasi hidrokarbon didalam gas buang sama dengan besar konsentrasi CO, yaitu tinggi pada saat campuran kaya dan berkurang pada titik temperatur tertinggi.

### 2.4.3 Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>)

Bahan pencemar (polutan) yang berasal dari kendaraan bermotor di bedakan menjadi polutan primer atau sekunder. Polutan primer seperti sulfur oksida (SO<sub>x</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) dan hidrokarbon (HC) langsung dibuang ke udara bebas dan mempertahankan bentuknya seperti pada saat pembuangan. Polutan sekunder seperti ozon (O<sub>3</sub>) dan peroksi asetil nitrat (PAN) adalah polutan yang terbentuk di atmosfer melalui reaksi fotokimia, hidrolisis atau oksidasi.

Komponen utama dari NO<sub>x</sub> adalah nitrogen oksida (NO) yang dapat dikonversikan lagi menjadi nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) dan nitrogen tetraoksida (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). Oksida-oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>) biasanya dihasilkan dari proses pembakaran pada suhu tinggi dari bahan bakar gas, minyak atau batu bara. Suhu yang tinggi pada ruang bakar akan menyebabkan sebagian N<sub>2</sub> bereaksi dengan O<sub>2</sub>. Jika terdapat N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> pada temperatur lebih dari 1800 °C, akan terjadi reaksi pembentukan gas NO sebagai berikut:



Di udara, NO mudah berubah menjadi NO<sub>2</sub>. Komposisi NO<sub>x</sub> di dalam gas buang terdiri dari 95 % NO, 3—4 % NO<sub>2</sub>, dan sisanya adalah N<sub>2</sub>O serta N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Tidak seperti gas polutan lainnya yang mempunyai daya destruktif yang tinggi terhadap kesehatan manusia, NO merupakan gas inert dan ‘hanya’ bersifat racun. Sama halnya dengan CO, NO mempunyai afinitas yang tinggi terhadap oksigen dibandingkan dengan hemoglobin dalam darah. Dengan demikian pemaparan terhadap NO dapat mengurangi kemampuan darah membawa oksigen sehingga tubuh kekurangan oksigen dan mengganggu fungsi metabolisme. Namun NO<sub>2</sub> dapat menimbulkan iritasi terhadap paru-paru.

### 2.4.4 Udara Berlebih (Excess Air)

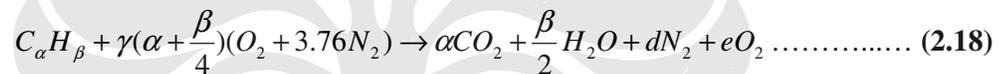
Perhitungan-perhitungan pembakaran harus terkait dengan persyaratan perlengkapan pembakaran aktual di mana perlengkapan tersebut masih laik pakai.

Nilai udara stoikiometri mendefinisikan suatu proses pembakaran dengan efisiensi 100%, sehingga tidak ada lagi udara yang terbuang. Pada kenyataannya, untuk mencapai pembakaran sempurna, harus disediakan sejumlah udara yang lebih besar daripada kebutuhan stoikiometri. Hal ini dikarenakan sulitnya mendapatkan pencampuran yang memuaskan antara bahan bakar dengan udara pada proses pembakaran aktual. Udara perlu diberikan dalam jumlah berlebih untuk memastikan terbakarnya seluruh bahan bakar yang ada secara sempurna.

$$\% \text{ udara teoritis} = \left( \frac{m_{ua}}{m_{us}} \right) 100 = \left( \frac{N_{ua}}{N_{us}} \right) 100 \dots\dots\dots (2.16)$$

$$\% \text{ udara lebih} = \% \text{ udara teoritis} - 100 \dots\dots\dots (2.17)$$

dengan udara berlebih, pembakaran terjadi pada kondisi bahan bakar yang “kurus” (*lean*). Sehingga udara berlebih (*excess air*) yang belum tereaksi muncul pada produk pembakaran.



Untuk pembakaran bahan bakar yang berwujud gas, total kebutuhan udara yang diperlukan cukup 5% di atas kebutuhan stoikiometri. Sehingga nilai  $\gamma$  adalah  $(100 + 5) \% = 1,05$

## 2.5 KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR CAIR LPG

*Liquefied Petroleum Gas* atau LPG merupakan campuran dari berbagai hidrokarbon yang dikenal sebagai butana, propana, isobutana atau campuran antara butana dengan propana, sebagai hasil sampingan minyak mentah, berbentuk gas. Dengan menambah tekanan atau menurunkan suhunya membuat menjadi cairan. Sifat-sifat umum LPG adalah sebagai berikut:

- Massa jenis LPG lebih besar dari massa jenis udara:
  - Massa jenis butana dua kali lebih besar dari massa jenis udara.
  - Massa jenis propana satu setengah kali lebih besar dari massa jenis udara.
- LPG tidak mempunyai sifat pelumasan terhadap metal.
- LPG merupakan *solvent* yang baik terhadap karet sehingga kemasan atau tabung yang digunakan harus diperhatikan.

- LPG tidak memiliki warna, baik dalam bentuk cairan maupun dalam bentuk gas.
- LPG tidak memiliki bau. Umumnya LPG komersial ditambahkan zat yang berbau (*odor*) untuk alasan keselamatan. Zat berbau yang biasa digunakan adalah *Ethyl Mercaptane*, yang memiliki bau menyengat seperti petai.
- LPG tidak mengandung racun.
- Bila menguap di udara bebas, LPG akan membentuk lapisan karena kondensasi sehingga terdapat aliran gas.

Selain digunakan sebagai bahan bakar, gas LPG digunakan pula sebagai bahan penekan. LPG banyak digunakan untuk hasil produksi yang berjenis *spray* seperti *deodorant*, minyak wangi *spray*, cat semprot, dan kosmetik yang digunakan dalam bentuk *spray*.

Zat berbau yang dicampurkan dengan LPG membantu agar kebocoran gas dapat diketahui. Bau yang dihasilkan sangat menusuk hidung sehingga kebocoran gas dapat ditanggulangi secepatnya.

Dalam proses pembakaran, LPG tidak menghasilkan sisa pembakaran sehingga kebersihan lingkungan sekitar dapat terjamin.

### 2.5.1 Butana

Butana, yang sering juga disebut sebagai n-butana, adalah alkana yang memiliki empat atom Karbon ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ ). Butana sangat mudah terbakar, tidak berwarna dan mudah untuk dicairkan (*liquified gases*). Pada pembakaran dengan jumlah oksigen yang banyak, butana akan berubah menjadi karbon dioksida dan uap air. Persamaan reaksi pembakaran butana adalah:

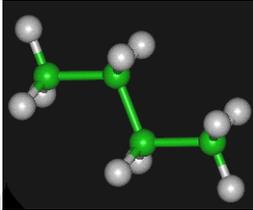


Jika kadar oksigen yang tersedia terbatas, karbon monoksida kemungkinan akan terbentuk.

Gas butana biasanya dijual dalam bentuk LPG, dimana gas butana dicampur dengan propana dan gas-gas hidrokarbon lain. Gas butana biasa digunakan untuk keperluan rumah tangga dan perkemahan. Butana juga biasa digunakan sebagai *feedstock* untuk produksi kimia dasar dalam *steam cracking*,

sebagai bahan bakar pada korek api dan sebagai propelan pada alat penyemprot. Karakteristik butana antara lain sebagai berikut:

**Tabel 2.1.**Sifat Butana

<b>Butana (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)</b>	
	
<b>Sifat</b>	
<i>Specific Gravity</i> (15°C)	0.582 ( <i>liquid</i> ), 2.01 ( <i>gas</i> )
<i>Solubility in water</i>	6.1 mg/100 ml (20 °C)
<i>Melting point</i>	-138.3 °C (134.9 K)
<i>Boiling point</i>	-0.5 °C (272.7 K)
<i>Flash point</i>	-60 °C
<i>Autoignition temperature</i>	287 °C
<i>Explosive limits</i>	1.8–8.4%
<i>Calorific value :</i>	
(MJ/m <sup>3</sup> ) <i>dry</i>	112.9
(Btu/ft <sup>3</sup> ) <i>dry</i>	3 030
(MJ/kg)	45.8
(Btu/lb)	19 700
<i>Mole weight</i>	58.12 kg/kmol

Sumber : [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

### 2.5.2 Propana

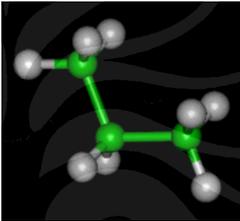
Propana adalah alkana yang memiliki tiga atom Karbon (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) dan merupakan gas yang tidak berwarna. Propana diperoleh dari proses pemisahan gas tersebut dengan produk petroleum yang lain selama proses pengolahan minyak atau gas bumi. Propana secara umum digunakan sebagai sumber panas pada mesin, alat panggang dan perumahan. Propana dijual dalam bentuk LPG sebagai bahan bakar, yang merupakan campuran propana dengan propilen, butana, dan butilen dalam jumlah yang lebih kecil dan ditambahkan pembau. Reaksi

pembakaran propana dengan udara akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dengan persamaan reaksi:



Karena massa jenisnya lebih besar daripada udara, propana akan jatuh dan berada di atas permukaan lantai jika dilepaskan ke udara bebas. Propana cair akan berubah menjadi uap pada tekanan atmosfer dan berwarna putih karena mengembun. Propana memiliki karakteristik sebagai berikut:

**Tabel 2.2** Sifat Propana

<b>Propana (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)</b>	
	
<b>Sifat</b>	
<i>Specific Gravity (15°C)</i>	0.54 ( <i>liquid</i> ), 1.5 ( <i>gas</i> )
<i>Melting point</i>	-187.6 °C (85.5 K)
<i>Boiling point</i>	-42.09 °C (231.1 K)
<i>Solubility in water</i>	0.1 g/cm <sup>3</sup> (37.8°C)
<i>Flash point</i>	-104 °C
<i>Autoignition temperature</i>	432 °C
<i>Explosive limits</i>	2.1–9.5%
<i>Calorific value :</i>	
(MJ/m <sup>3</sup> ) <i>dry</i>	86.1
(Btu/ft <sup>3</sup> ) <i>dry</i>	2 310
(MJ/kg)	46.3
(Btu/lb)	19 900
<i>Mole weight</i>	44.10 kg/kmol

Sumber : [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

## 2.6 PENGARUH ALIRAN LPG SEBAGAI PENAMBAH TENAGA

Gas LPG yang telah dicampurkan dengan udara akan mempermudah proses pembakaran di dalam ruang bakar. Campuran udara dan gas LPG akan bercampur dengan bensin di karburator yang kemudian dibakar di ruang bakar. Campuran udara, gas LPG, dan bensin akan lebih mudah terbakar daripada campuran yang hanya terdiri atas udara dan bensin. Hal ini disebabkan karena gas LPG yang tercampur dengan udara akan lebih dulu terbakar dibandingkan dengan bahan bakar cair yang belum sepenuhnya menguap. Pembakaran LPG yang lebih awal akan membantu terjadinya pembakaran bahan bakar minyak (bensin) yang sempurna.

Reaksi pembakaran yang sangat cepat akan mengakibatkan terjadi gangguan dalam sistem pembakaran, seperti terjadi *autoignition*, besarnya kadar bahan bakar yang tidak terbakar. Hal ini disebabkan oleh :

- Angka *Oktan* yang terlalu rendah
- Penyetelan sudut pengapian yang tidak tepat
- Busi terlalu panas
- Pendinginan terlalu miskin
- *Reignition* terhadap hasil pembakaran sebelumnya
- Kurangnya oksigen ( udara )

Oleh karena itu untuk pembakaran yang baik diperlukan keadaan:

- Jumlah campuran udara dan bensin yang tepat
- Temperatur pembakaran yang sesuai
- Waktu pembakaran yang cukup

### 2.6.1 Perbandingan udara bahan bakar ( A/F ) atau AFR

Perbandingan antara massa campuran udara dan LPG serta bahan bakar , sangat berpengaruh pada kualitas pembakaran. Setiap bahan bakar memiliki standart tersendiri, berapa rasio perbandingan udara dan bahan bakar yang minimum, sehingga reaksi pembakaran dapat berlangsung secara sempurna. Rasio standart bahan bakar disebut AFR teoritis.

$$( A/F )_{\text{teoritis}} = m \text{ udara} / m \text{ bahan bakar} \dots \dots \dots (2.21)$$

Pada pembakaran reaksi aktual, sulit untuk mencapai  $(A/F)_{\text{teoritis}}$ , tergantung dari setting mesin dan pengendara kendaraan bermotor dalam memacu kendaraannya.

## 2.7 MIXER

*Venturi mixer* ialah suatu konstruksi pencampuran sederhana, yaitu sebuah venturi yang diletakkan sebelum karburator. Mixer ini digunakan untuk mencampurkan gas dengan udara sebelum dicampur dengan bensin. Bentuk venturi akan mempengaruhi kualitas pencampuran dan jenis aliran yang dihasilkan, sehingga akan berpengaruh terhadap proses pembakaran nantinya.

Dalam perancangan mixer yang perlu diperhatikan ialah:

1. Mixer dapat menghasilkan campuran yang homogen sehingga siap untuk dibakar dalam ruang bakar mesin.
2. Mixer mudah dipasang pada mesin konvensional serta pemeliharaan mudah serta murah.
3. *Dual Fuel* tidak akan mengganggu kerja karburator utama.
4. Mixer dapat menghasilkan campuran dengan perbandingan yang tepat agar dapat menghasilkan unjuk kerja yang optimum pada berbagai kondisi

Terdapat dua jenis mixer dalam penelitian ini, yaitu:

### 1. Jet Fuel (Model Lama)

Model ini merupakan mixer sederhana. Pada mixer ini udara mengalir melalui saluran udara yang berbentuk venturi, tekanan udara turun sehingga terjadi kevakuman, bersamaan dengan itu gas disemburkan melalui jet fuel/nozzle. Kelamahan pada sistem ini yaitu aliran udara tertahan oleh jet fuel sehingga udara tidak mengalir sempurna dan campuran yang dihasilkan kurang homogen.

### 2. Mixer Ring

Pada mixer jenis ini gas masuk melalui lubang-lubang di sekeliling saluran udara. Keuntungan dengan menggunakan mixer jenis ini ialah aliran udara tidak terganggu oleh nozzle, dan juga lubang-lubang di sekeliling saluran udara memungkinkan tumbukan antara molekul gas dengan udara lebih banyak terjadi sehingga kemungkinan campuran yang dihasilkan untuk mencapai keadaan homogen lebih besar. Kekurangannya antara lain

terdapat kemungkinan aliran tidak merata karena tekanan dan kecepatan yang mengalir ke dalam lubang mixer mengalami losses pada daerah terjauh dari inlet gas masuk.

*Venturi mixer* memanfaatkan efek venturi, yaitu fenomena terjadinya kevakuman pada venturi. Fenomena ini terjadi ketika udara mengalir melalui pembatas (constriction), dan pada saat itu (vakum) gas akan mengalir ke dalam saluran udara.

Persamaan kontinuitas menyatakan bahwa rasio aliran (flow rate) pada sisi kiri suatu saluran fluida harus sama dengan rasio aliran pada sisi kanan saluran tersebut.

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \dots\dots\dots(2.22)$$

Persamaan Bernoulli menunjukkan bahwa perubahan kecepatan aliran berpengaruh pada besar kecilnya tekanan pada aliran tersebut.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gZ_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gZ_2 \dots\dots\dots(2.23)$$

$$P_2 = \left\{ \frac{\rho}{2} (V_1^2 - V_2^2) \right\} + \{ g (Z_1 - Z_2) \} + P_1 \dots\dots\dots(2.24)$$

dimana

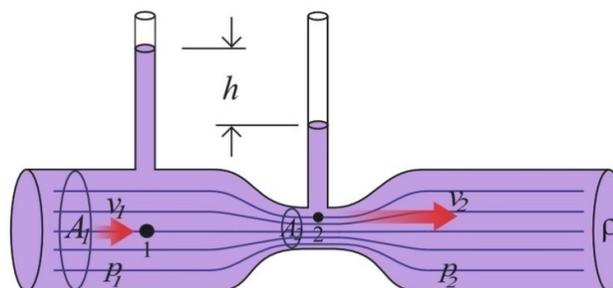
v = kecepatan fluida sepanjang aliran

g = percepatan gravitasi

h = tinggi fluida

p = tekanan sepanjang aliran

$\rho$  = massa jenis fluida



**Gambar 2.3.** Venturi

Persamaan di atas menyatakan bahwa semakin cepat suatu fluida bergerak, semakin kecil tekanannya. Fluida yang mengalir melalui saluran pipa akan mengalami kenaikan kecepatan ketika melewati pipa yang diameternya mengecil sesuai dengan persamaan kontinuitas. Fluida yang mengalir dalam hal ini adalah udara. Ketika kecepatan udara yang melewati pipa bertambah besar, tekanannya berkurang sehingga membuat terjadinya tekanan rendah atau kevakuman pada venturi sesuai dengan hukum kekekalan energi. Kevakuman ini membuat fluida yang lain dapat mengalir mengisi ruang vakum melalui saluran yang ada. Fluida kedua yang digunakan dalam penelitian ini adalah LPG.

## 2.8 TEORI PENCAMPURAN

### 2.8.1 Pencampuran Gas

Banyak aplikasi termodinamika melibatkan pencampuran pada beberapa zat murni. Udara merupakan campuran antara berbagai macam gas. Bahan bakar ditambahkan ke dalam udara pada proses pembakaran yang berakibat pada terjadinya beberapa gas baru seperti karbon dioksida, uap air dan nitrogen oksida. Jika sifat-sifat termodinamika dari zat-zat murni yang digunakan sebagai komponen pencampuran diketahui, haruslah dikembangkan suatu aturan yang dapat menentukan sifat-sifat campuran yang terjadi dan berkaitan dengan komposisi campuran dan sifat-sifat dari masing-masing komponen.

Campuran yang digunakan terdiri atas  $\alpha = 1, \dots, v$  zat-zat murni yang berbeda, dalam hal ini merupakan komponen-komponen. Massa setiap komponen, yang secara umum dapat diidentifikasi dengan huruf Yunani,  $\alpha$ , diberikan dengan  $m_\alpha$ . Jika berat molekul dilambangkan dengan  $M_\alpha$  dan jumlah seluruh molekul zat adalah  $N_\alpha$ , dapat ditulis:

$$m_\alpha = N_\alpha M_\alpha \mu_H \dots\dots\dots (2.25)$$

dengan  $\mu_H$  adalah massa dari satu atom hidrogen:

$$\mu_H = 1,67 \cdot 10^{-27} \dots\dots\dots (2.26)$$

Total massa dari campuran diberikan oleh persamaan:

$$m_{mix} = \sum_{\alpha=1}^v m_\alpha = \sum_{\alpha=1}^v (N_\alpha M_\alpha \mu_H) \dots\dots\dots (2.27)$$

dan, jika tidak terjadi reaksi kimia, jumlah total molekul dalam campuran dapat dihitung dengan persamaan:

$$N_{mix} = \sum_{\alpha=1}^v N_{\alpha} \quad \dots\dots\dots (2.28)$$

Seringkali kita ingin mendefinisikan berat molekul rata-rata,  $M_{mix}$ , dari suatu campuran. Dengan persamaan (2.23) kita dapat mendefinisikan:

$$m_{mix} = N_{mix} M_{mix} \mu_H \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

Dengan mengombinasikan persamaan (2.27) dan (2.23), diperoleh persamaan:

$$N_{mix} = \frac{m_{mix}}{M_{mix} \mu_H} = \sum_{\alpha=1}^v N_{\alpha} = \sum_{\alpha=1}^v \frac{m_{\alpha}}{M_{\alpha} \mu_H} \quad \dots\dots\dots (2.30)$$

Dengan demikian:

$$M_{mix} = \frac{1}{\sum_{\alpha=1}^v \left( \frac{m_{\alpha}}{m_{mix}} \frac{1}{M_{\alpha}} \right)} \quad \dots\dots\dots (2.31)$$

Rasio massa suatu komponen,  $m_{\alpha}$ , terhadap massa campuran,  $m_{mix}$ , disebut fraksi atau konsentrasi massa,  $c_{mix}$  :

$$c_{\alpha} = \frac{m_{\alpha}}{m_{mix}} \quad \dots\dots\dots (2.32)$$

dan dapat ditulis dengan cara alternatif untuk memperoleh berat molekul rata-rata campuran:

$$M_{mix} = \frac{1}{\sum_{\alpha=1}^v \left( \frac{c_{\alpha}}{M_{\alpha}} \right)} \quad \dots\dots\dots (2.33)$$

Kuantitas yang seringkali dihitung dalam teori pencampuran termasuk:

- jumlah mol komponen  $\alpha$  :

$$v_{\alpha} = \frac{N_{\alpha}}{N_{Avo}} \quad \dots\dots\dots (2.34)$$

dengan  $N_{avo}$  adalah bilangan Avogadro yang merupakan suatu konstanta dan merepresentasikan jumlah molekul/atom yang diperlukan untuk mengetahui satu mol substansi:

$$N_{avo} = 6,023 \cdot 10^{23} \quad \dots\dots\dots (2.35)$$

- fraksi mol  $y_\alpha$  :

$$y_\alpha = \frac{v_\alpha}{v_{mix}} \equiv \frac{N_\alpha}{N_{mix}}, \text{ dimana } v_{mix} = \frac{N_{mix}}{N_{Avo}} \dots\dots\dots (2.36)$$

- densitas massa parsial dan volume spesifik komponen  $\alpha$  :

$$\rho_\alpha = \frac{m_\alpha}{V_{mix}}, v_\alpha = \frac{1}{\rho_\alpha} = \frac{V_{mix}}{m_\alpha} \dots\dots\dots (2.37)$$

dengan  $V_{mix}$  menyatakan volume yang ditempati campuran zat-zat, dan

- densitas jumlah partikel komponen  $\alpha$  :

$$n_\alpha = \frac{N_\alpha}{V_{mix}} \dots\dots\dots (2.38)$$

Kuantitas-kuantitas di atas menyatakan identitas-identitas tertentu. Sebagai contoh, jumlah dari semua fraksi massa dan semua fraksi mol sama dengan satu:

$$\sum_{\alpha=1}^v c_\alpha = \sum_{\alpha=1}^v \frac{m_\alpha}{m_{mix}} = \frac{1}{m_{mix}} \sum_{\alpha=1}^v m_\alpha = \frac{m_{mix}}{m_{mix}} = 1, \dots\dots\dots (2.39)$$

$$\sum_{\alpha=1}^v y_\alpha = \sum_{\alpha=1}^v \frac{v_\alpha}{v_{mix}} = \frac{1}{v_{mix}} \sum_{\alpha=1}^v v_\alpha = \frac{1}{\frac{N_{mix}}{N_{Avo}}} \sum_{\alpha=1}^v \frac{N_\alpha}{N_{Avo}} = \dots\dots\dots (2.40)$$

$$\frac{1}{N_{mix}} \sum_{\alpha=1}^v N_\alpha = \frac{N_{mix}}{N_{mix}} = 1$$

Densitas jumlah partikel dan densitas massa komponen  $\alpha$  dihubungkan dengan cara sebagai berikut:

$$\rho_\alpha = \frac{m_\alpha}{m_{mix}} = \frac{M_\alpha N_\alpha \mu_H}{V_{mix}} = M_\alpha \mu_H \frac{N_\alpha}{V_{mix}} = M_\alpha \mu_H n_\alpha \dots\dots\dots (2.41)$$

Densitas massa campuran diberikan oleh jumlah densitas massa parsial:

$$\rho_{mix} = \frac{m_{mix}}{V_{mix}} = \frac{1}{V_{mix}} \sum_{\alpha=1}^v m_\alpha = \sum_{\alpha=1}^v \frac{m_\alpha}{V_{mix}} = \sum_{\alpha=1}^v \rho_\alpha \dots\dots\dots (2.42)$$

Perlu diketahui bahwa persamaan ini merupakan jenis aturan yang ingin ditemukan. Densitas massa campuran diikuti dengan penambahan sederhana dari densitas massa parsial dari unsur-unsur pokok atau, dengan kata lain, suatu sifat campuran dengan mudah ditentukan oleh sifat-sifat zat-zat murni, yang dapat diketahui.

Selain itu, konservasi massa juga memperbolehkan ditemukannya persamaan alternatif berikut untuk menghitung berat molekul rata-rata,  $M_{mix}$  :

$$m_{mix} = \sum_{\alpha=1}^v m_{\alpha} \Leftrightarrow M_{mix} \mu_H N_{mix} = \sum_{\alpha=1}^v (M_{\alpha} \mu_H N_{\alpha}) \dots\dots\dots (2.43)$$

$$M_{mix} = \sum_{\alpha=1}^v \left( M_{\alpha} \frac{N_{\alpha}}{N_{mix}} \right) = \sum_{\alpha=1}^v (M_{\alpha} y_{\alpha})$$

### 2.8.2 Hukum Dalton untuk Pencampuran Gas Ideal: Penambahan Tekanan Parsial

Suatu gas ideal terdiri atas molekul-molekul dengan energi potensial rata-rata di antaranya besarnya jauh lebih kecil daripada energi kinetik rata-ratanya. Dengan kata lain, jarak antara molekul-molekul pada gas ideal secara komparatif besar dan molekul-molekul tersebut merasakan kehadiran satu sama lain hanya pada waktu singkat ketika terjadi tubrukan. Kita mengetahui bahwa pada gas ideal, yang diidentifikasi dengan indeks  $\alpha$ , tekanannya,  $p_{\alpha}$ , temperatur,  $T$ , dan densitas,  $\rho_{\alpha}$ , berhubungan satu sama lain sesuai dengan persamaan keadaan termal, hukum gas ideal.

$$p_{\alpha} = \rho_{\alpha} \frac{R}{M_{\alpha}} T, \dots\dots\dots (2.44)$$

$R$  melambangkan konstanta ideal gas dan  $M_{\alpha}$  merupakan berat molekul gas. Sekarang persamaan (2.35) dan (2.39) dapat digunakan untuk densitas partikel dan persamaan dapat ditulis kembali seperti persamaan berikut:

$$p_{\alpha} = \rho_{\alpha} \frac{R}{M_{\alpha}} T = M_{\alpha} \mu_H n_{\alpha} \frac{R}{M_{\alpha}} T = n_{\alpha} k T, k = \mu_H R = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} \quad (2.45)$$

Jika gas ideal ini terdistribusi secara homogen di dalam volume  $V_{mix}$ , persamaan tersebut secara alternatif dapat ditulis sebagai berikut:

$$p_{\alpha} = \frac{N_{\alpha}}{V_{mix}} k T \dots\dots\dots (2.46)$$

dimana  $k$  merupakan *konstanta Boltzmann*. Konstanta tersebut dapat dilihat sebagai “konstanta gas atomik” per atom hidrogen dan untuk memperoleh nilai numeriknya dibutuhkan pengetahuan tentang massa dari satu atom tersebut. Sekarang ini nilai numerik untuk massa satu atom hidrogen dapat dengan mudah

diperoleh pada buku-buku fisika. Faktanya, Albert Einstein sendiri yang pada pertama kali di tahun 1905 menentukan nilai  $k$  secara numerik dalam tesis *Ph.D*-nya pada pergerakan Brownian.

Dengan mengacu pada situasi persamaan (2.42), beberapa gas ideal, yang masing-masing berada dalam volume yang sama ( $V_{\text{mix}}$ ), dikombinasikan untuk membentuk sebuah campuran (tak bereaksi). Dapat diasumsikan bahwa pencampuran tidak mempengaruhi waktu interaksi dan waktu tubrukan antara atom-atom, yaitu bahwa kehadiran atom-atom/molekul-molekul lain yang serupa atau yang tidak serupa tidak terasa sama sekali. Secara atomistik, tekanan merupakan perubahan momentum atom-atom yang memantul pada sebuah dinding dan tidaklah mengejutkan untuk menyatakan bahwa tekanan parsial,  $p_{\alpha}$ , dari setiap komponen gas ideal,  $\alpha$ , dapat dengan mudah ditambahkan untuk menghasilkan tekanan total campuran tersebut,  $p_{\text{mix}}$ , yang sekali lagi dapat dianggap sebagai gas ideal:

$$p_{\text{mix}} = \sum_{\alpha=1}^v p_{\alpha}, \dots\dots\dots (2.47)$$

$$p_{\alpha} = \rho_{\alpha} \frac{R}{M_{\alpha}} T = \frac{m_{\alpha}}{V_{\text{mix}}} \frac{R}{M_{\alpha}} T = n_{\alpha} kT = \frac{N_{\alpha}}{V_{\text{mix}}} kT, \dots\dots\dots (2.48)$$

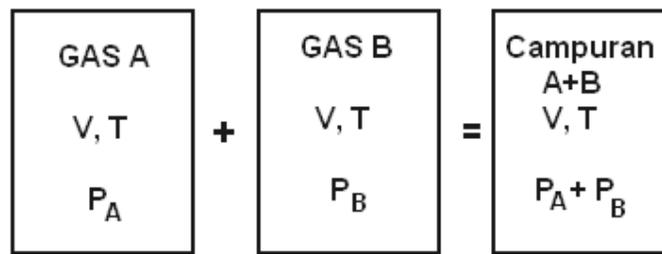
$$p_{\text{mix}} = \rho_{\text{mix}} \frac{R}{M_{\text{mix}}} T = \frac{m_{\text{mix}}}{V_{\text{mix}}} \frac{R}{M_{\text{mix}}} T = n_{\text{mix}} kT = \frac{N_{\text{mix}}}{V_{\text{mix}}} kT \dots\dots\dots (2.49)$$

Dua persamaan terakhir menunjukkan beberapa kemungkinan penulisan persamaan gas ideal yang akan lebih atau kurang berguna tergantung pada permasalahan. Persamaan tersebut konsisten dalam arti jika kita menjumlahkan persamaan (2.46) dengan mempertimbangkan semua komponen, dapat diperoleh persamaan berikut:

$$\sum_{\alpha=1}^v p_{\alpha} = \frac{kT}{V_{\text{mix}}} \sum_{\alpha=1}^v N_{\alpha} = \frac{kT}{V_{\text{mix}}} N_{\text{mix}} \dots\dots\dots (2.50)$$

Orang yang pertama menyatakan "hukum" ini secara jelas adalah ahli kimia Inggris John Dalton yang berpendapat demikian:

*Tekanan pada campuran gas ideal sama dengan penjumlahan setiap tekanan gas ideal dan akan menekan keberadaannya sendiri pada temperatur dan volume campuran.*



Gambar 2.4. Hukum Dalton

Batas-batas pada validasi hukum Dalton akan terjadi khususnya jika gas-gas tersebut bertambah tebal dan gaya-gaya intermolekul menjadi lebih signifikan.

## 2.9 DINAMOMETER DYNODINAMICS

Alat dinamometer yang digunakan bertipe *Lowboy chassis AWD (All Wheel Drive)*, dengan kemampuan di masing-masing *roller* sebesar 600 hp (450 kW). Alat dinamometer ini dapat digunakan oleh kendaraan beroda empat maupun kendaraan beroda dua (sepeda motor) dan bersifat *real time*.

Data yang didapatkan saat *Snap shot* : Tampilan layar *snap shot* merekam informasi pada setiap saat operator menekan tombol yang ada pada *remote* modul. *Autograph snap shot* secara otomatis mengambil data *snap shot* sesuai dengan yang ditentukan antara kecepatan atau RPM selama grafik terbentuk. Ketika tombol *snap shot* sistem akan merekam secara real time nilai yang dipilih oleh operator. Data yang dihasilkan akan disimpan pada file pengambilan data dalam format teks ASCII namun dapat pula dengan program yang lainnya. Data bisa dimasukkan ke dalam *spreadsheet*, *database*, atau program *word processor* yang diinginkan.

### 2.9.1 Perhitungan Yang Berhubungan Dengan Inersia Chassis Dinamometer

$$\text{Linear Inertia (kg)} = \frac{\text{Tractive Effort (N)} \times 3.6}{\text{Ramp Rate (km/h)}} \dots\dots\dots (2.51)$$

$$\text{Linear Inertia (kg)} = \frac{\text{Power (kW)} \times 12960}{\text{Speed (km/h)} \times \text{Ramp Rate (km/h)}} \dots\dots\dots (2.52)$$

$$\text{Tractive Effort (N)} = \frac{\text{Linear Inertia (kg)} \times \text{Ramp Rate (km/h)}}{3.6} \dots (2.53)$$

$$\text{Power (kW)} = \frac{\text{Linear Inertia (kg)} \times \text{Ramp Rate (km/h)}}{12960} \dots (2.54)$$

Perlu diketahui bahwa *Chassis Dynamometer* bukan merupakan suatu alat yang dapat melakukan segala dan bukan merupakan akhir dari segala penyetelan (*tuning*). Alat dinamometer efektif jika sang operator handal dalam mengoperasikannya, seperti halnya perlengkapan lainnya.

## 2.9.2 PENGUKURAN TENAGA MESIN

Pada faktanya tidak ada cara yang secara langsung dapat mengukur tenaga mesin, segala macam dinamometer mengukur torsi dan daya keluaran melakukan perhitungan dengan rumus BHP. Persamaan ini merupakan persamaan dasar yang mendasari segala jenis mesin, modifikasi, dan penyetelan (*tuning*). Dua metode utama yang digunakan dalam industri mesin adalah : (1) Pengukuran pada *crankshaft* dari mesin, atau (2) *Roller road dynamometer* (pengukuran pada roda).

Berikut ini kita bahas mengenai perbedaan dari kedua metode tersebut :

### (1) Dinamometer mesin

Apabila kita hanya ingin mengetahui power dari mesin maka kita menggunakan dinamometer khusus untuk mesin. Ini menyerupai pada manufaktur *output shaft* dari mesin kendaraan. Mesin diletakkan pada dudukannya kemudian dihubungkan pada dynamometer, biasanya menggunakan *Propeler Shaft* (as kopel) yang dihubungkan pada bagian belakang dari poros engkol (atau pada roda gila). Gambaran dari *power* yang diukur dengan cara ini umumnya disebut sebagai "*flywheel power*". Alat Dinamometer memerlukan pengereman (rem) dimana digunakan untuk mengetahui torsi (atau beban) dari mesin tersebut. Pada saat mesin ditahan pada kecepatan tetap dengan beban yang diberikan oleh dinamometer kemudian torsi yang telah diberikan oleh dinamometer harus dengan tepat menyamakan dengan torsi yang dihasilkan oleh mesin.

Sebagai contoh, apabila kita ingin mengetahui torsi mesin pada saat *wide open throttle* (WOT) di rpm 4000. *Throttle* secara perlahan-lahan akan membuka dan pada saat yang bersamaan beban yang diberikan oleh dinamometer juga bertambah – kemungkinan dengan memainkan besaran dari beban yang diberikan kita mencapai keadaan dimana skep karburator dibuka penuh dan rpm tetap pada 4000. Torsi yang diberikan dicatat kemudian pengoperasian diulang pada interval lain seperti rpm 5000. Dengan meneruskan proses ini kita akan mendapatkan grafik torsi dari keseluruhan putaran mesin. Tentu saja kita juga bisa melakukan pengukuran dengan bukaan skep karburator yang tidak *full* bila diinginkan. Alat dinamometer yang modern dikontrol oleh sistem komputer dan bisa menghasilkan kurva tenaga dan torsi dengan cepat dan seorang operatornya pun tidak perlu bersusah payah untuk mengatur *throttle* dan kontrol beban secara manual. Hal itu bisa diprogram untuk mengukur di setiap kelipatan rpm, sebagai contoh pada setiap penambahan 250 atau 500 rpm.

## (2) *Rolling Road Dynamometer*

Biasa disebut dengan *chassis* dinamometer, digunakan untuk mengukur tenaga yang dihasilkan pada roda kendaraan. Alat ini diciptakan agar kita tidak perlu bersusah payah untuk melepaskan mesin dari kendaraannya hanya untuk tujuan melakukan tuning modifikasi yang telah ada. Bagaimanapun juga, hal ini berarti gambaran power yang terbentuk akan lebih rendah dibandingkan dengan *flywheel power* karena adanya *frictional losses* pada transmisi dan ban. Selanjutnya kita terangkan cara kerja rolling road dynamometer. Kendaraan dinaikkan keatas *chassis dyno* dan letakkan roda tepat diatas roller kemudian di ikat menggunakan strap. Torsi diukur pada kecepatan yang berbeda akan tetapi tepat sama seperti pada mesin dinamometer kecuali torsi pada roller lebih baik daripada torsi pada *flywheel*. Beban pengereman dihasilkan oleh salah satu roller dengan menggunakan hidrolik (*water brake*) atau dengan sistem elektrik sama pada *engine dyno* yang mengaplikasikan torsi pada *crankshaft* dari mesin. Perhitungan umum yang sama,  $BHP = \text{Torsi (ft/lbs)} \times \text{rpm} / 5252$ , bisa digunakan untuk menghitung bhp pada roller dengan mengetahui torsi dan rpm pada roller (bukan rpm pada mesin). Tapi bila rpm

mesin diukur secara serentak atau berbarengan maka kita juga dapat mengetahui bhp di roller pada rpm mesin utama.

Masalah besar yang kita hadapi pada dinamometer tipe seperti ini adalah bila terjadinya slip pada ban. Kita ketahui bahwa permukaan dari roller adalah besi yang memiliki grip halus, dimana lama kelamaan akan menjadi licin. Kita bisa bayangkan perbedaan grip yang dihasilkan antara besi dibandingkan dengan permukaan aspal. Efek dari slipnya ban ini cukup kompleks sehingga grafik yang dihasilkan akan terlihat tidak bagus, namun hal ini bisa diminimalisir dengan menggunakan ban yang memiliki tapak permukaan yang lebar dan dengan tekanan ban yang tepat.

### 2.9.3 Cara Kerja Inersia pada Dinamometer Jenis Rolling Road

Sebagian besar jenis *dyno rolling road* yang sering dipakai untuk menentukan kekuatan bentuk di US adalah dynamometer inersia. *Inersia dyno* tidak secara langsung mengukur gaya pada perputaran roller dyno ke dalam penentuan kekuatan bentuknya. Dari beberapa sistem tersebut untuk melakukan perhitungan gaya (*force*) dalam perputaran digunakan rumus :

$$F = m \cdot a \dots\dots\dots (2.55)$$

dimana F merupakan gaya (N), m adalah massa (kg), dan a adalah percepatan ( $m/s^2$ )

Massa dan sistem inertia dari perputaran dyno telah kita ketahui sebelumnya. Dimana untuk menghitung kekuatan yang digunakan, dyno inersia mengukur kecepatan dari perputaran berdasarkan pengukuran peningkatan dalam aliran dan *voltage* yang dihasilkan ketika *dyno eddy* mengalir secara *retarders* di pakai sebagai generator pembangkit dari pada power yang diserap (dipakai sebagai penahan beban dynamometer ketika melakukan penyetelan mesin).

Gaya pada roller dimana massa roller dikalikan oleh percepatan ditentukan oleh *voltage output*. Gaya ini dikalikan oleh radius dari

perputaran itu sendiri untuk memberikan torsi pada roda, persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$T = F \cdot r \dots\dots\dots (2.56)$$

Dimana  $T$  = torsi;

$F$  = gaya : dan

$r$  = radius atau jarak yang diaplikasikan.

Power ditentukan dengan rumus

$$\text{BHP} = \text{Torsi (ft/lbs)} \times \text{rpm} / 5252 \dots\dots\dots (2.57)$$

Rumus ini kemudian digunakan untuk mengukur power pada roda. Apabila point-point power yang terjadi pada mesin ini digunakan sebagai acuan, maka gambaran power ini bisa dijadikan plot kurva power. Untuk menggambarkan power yang terjadi pada *flywheel*, penurunan coast prosedur dipakai untuk mengukur deselerasi pada roller, dan memakai gambaran ini sebagai kecepatan negative dan rumus  $F = ma$  kembali digunakan untuk mengetahui power yang hilang melalui transmisi.

Masalah besar yang dihadapi adalah ketika perubahan terjadi pada setiap sistem yang mengalami perputaran. Dalam hal ini termasuk didalamnya seperti kopling, *flywheel*, atau roda. Bagian-bagian tersebut tidak mempengaruhi power pada mesin, akan tetapi bagaimanapun juga hal tersebut akan merubah atau mempengaruhi hasil pengukuran *output power* dalam *inersia dyno*. Ini merupakan alasan lain mengapa angka yang dihasilkan oleh dinamometer tidak dapat menjamin kekakuratannya lebih dari 5%.

## 2.10 SIMULASI PENCAMPURAN GAS

Hasil simulasi dengan menggunakan software Fluent ver 6.3 dengan penggunaan mesh sebesar 3 dan berjenis tetrahedral/hybrid, pada area yang dikontrol oleh suatu garis residual hasil perhitungan. Garis itu terbentuk secara proporsional ,maka akan dapat diketahui dan terlihat karakteristik dari hasil pencampuran LPG dan udara pada *mixer*. Parameter yang akan diamati ialah :

- Vektor kecepatan

- Densitas
- Tekanan Statis
- Turbulensi
- Fraksi massa spesies ( butana dan oksigen )

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. Pada fluent 6.3, kondisi konvergen terjadi ketika setiap perhitungan telah mencapai kriteria konvergen yaitu 0.001.

Analisis akan dilakukan melalui pengamatan visual hasil perhitungan yang dilakukan oleh software melalui potongan gambar 2D dari simulasi yaitu :

a. Potongan 2D Memanjang

Digunakan untuk mengamati aliran sepanjang venturi dari inlet hingga outlet

b. Potongan 2D Melintang

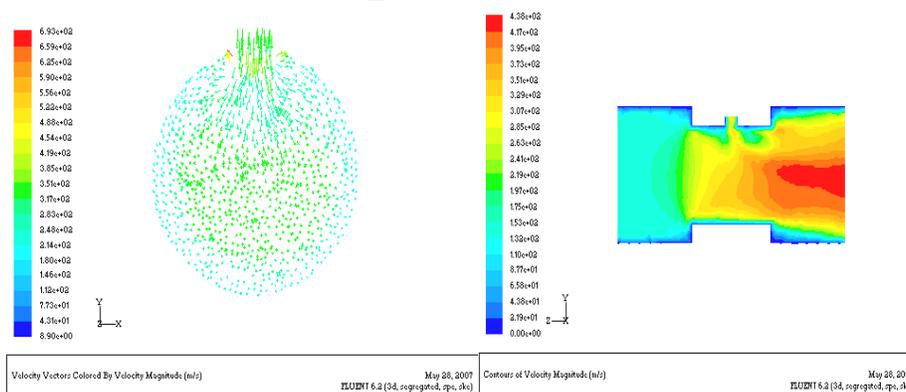
Digunakan untuk mengamati aliran didalam venturi dalam bidang lingkaran pada bagian pencampuran

c. Potongan 2D Melintang bagian daerah dekat outlet

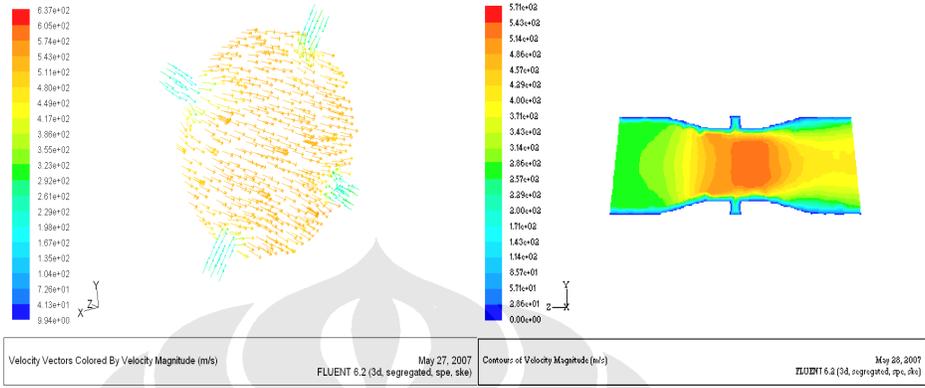
Digunakan untuk mengamati pencampuran species pada bagian outlet ( hanya digunakan pada analisis species )

### 2.10.1 Analisis *mixer* percobaan sebelumnya

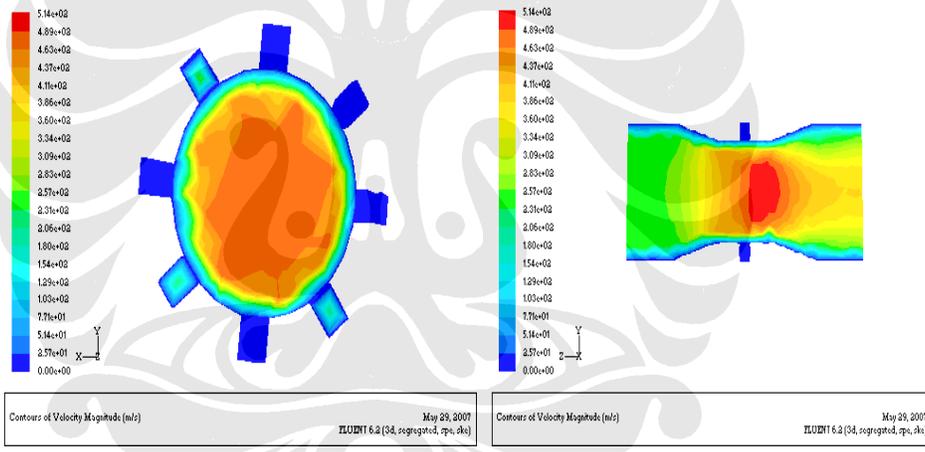
*Mixer Lama*



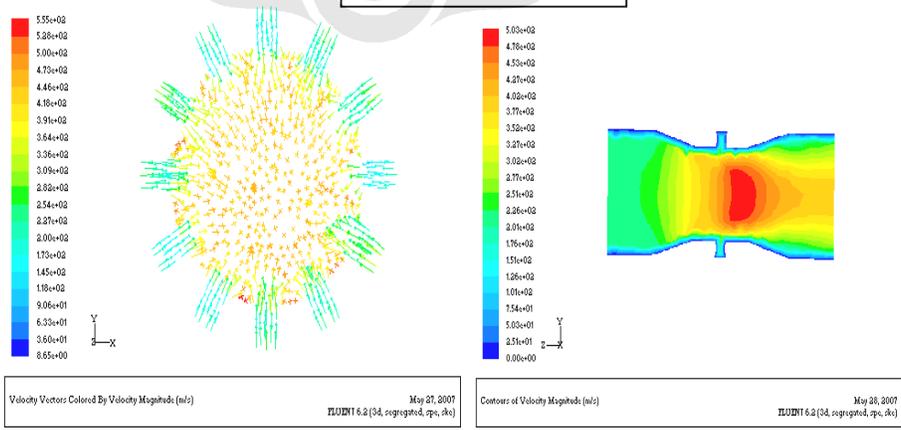
Venturi mixer 4



Venturi mixer 8



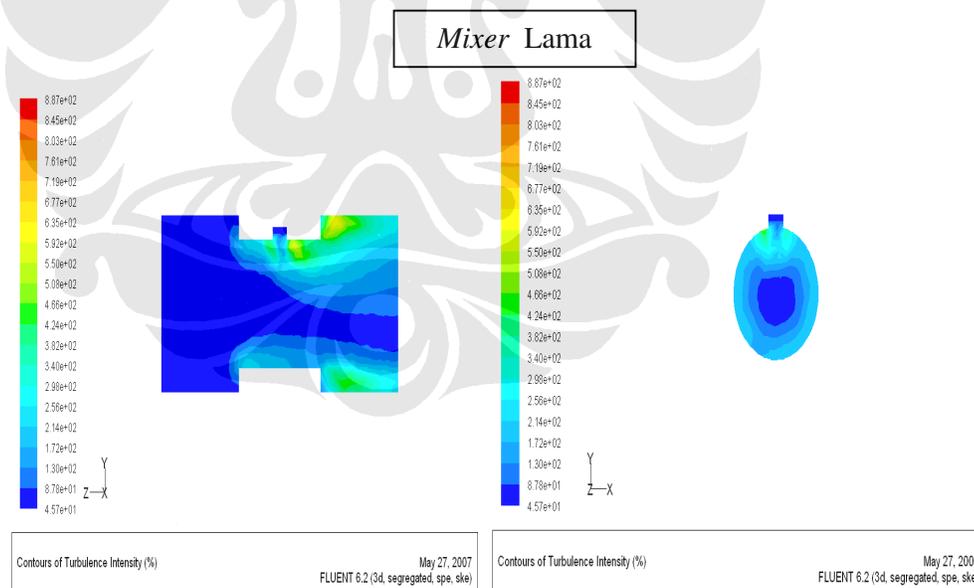
Venturi mixer 12



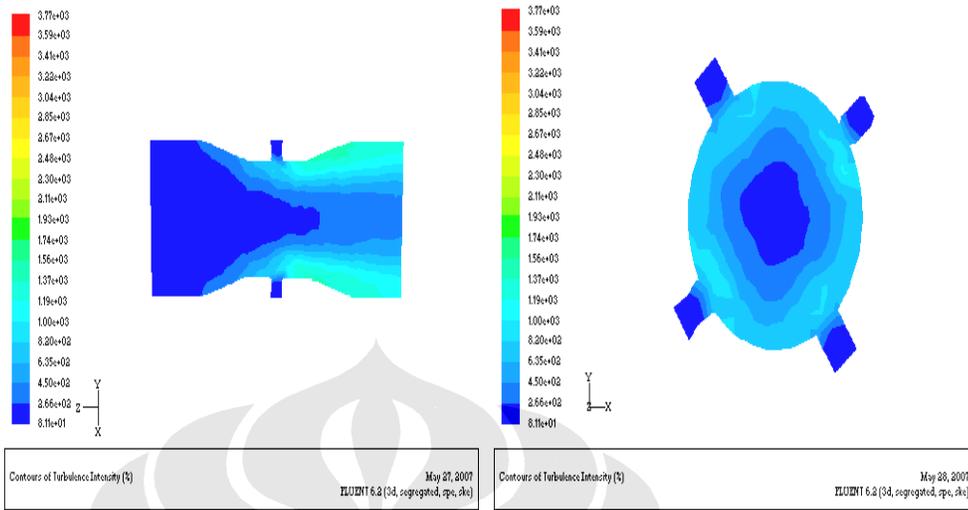
Gambar 2.5 Kontur kecepatan pada simulasi CFD

Pada *mixer* lama vektor kecepatan tidak menunjukkan hasil yang merata, kecepatan tertinggi terjadi ketika aliran mendekati outlet. Oleh karena itu desain *mixer* lama perlu penambahan pada panjangnya agar dapat terjadi pencampuran yang lebih baik. Vektor kecepatan pada *venturi mixer* memperlihatkan hasil yang lebih merata kecepatan tertinggi pada venturi terjadi di daerah volume terkecil dimanana LPG akan terhisap oleh kecepatan aliran udara yang melewati venturi. Desain baru ini, *venturi mixer* 8 dan 4 lubang terlihat memiliki karakteristik yang hampir sama, sedangkan fluida yang melewati *venturi mixer* 12 hampir memiliki karakteristik campuran yang baik karena sebelum sampai outlet LPG dan udara telah mengalami pencampuran. *Venturi mixer* 12 lubang memperlihatkan hasil yang lebih merata mulai LPG tercampur dengan udara hingga outlet *mixer* yang kemudian ialah karburator sepeda motor.

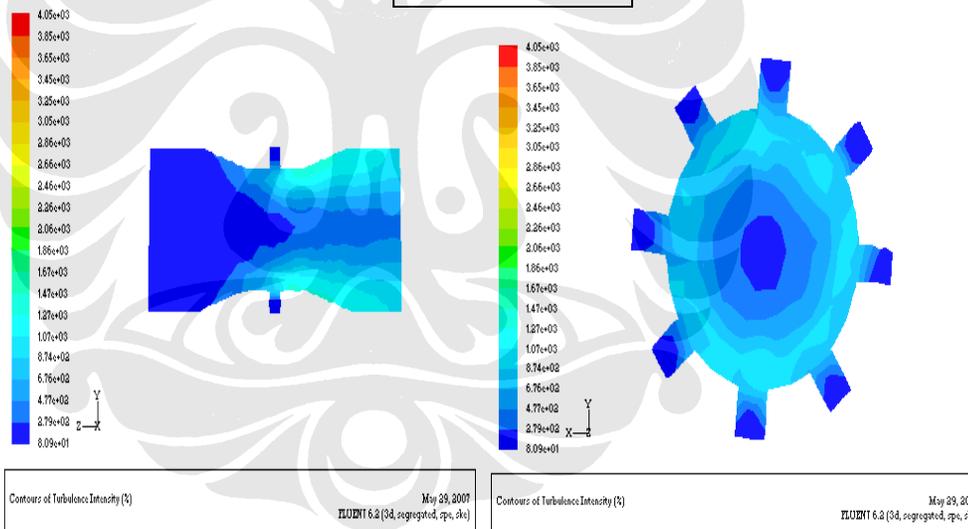
### Analisis kontur turbulensi



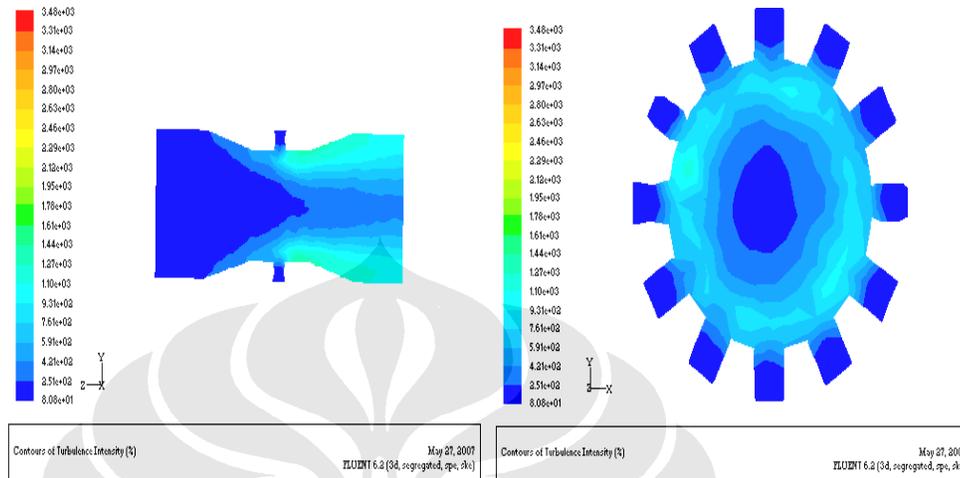
Venturi mixer 4



Venturi mixer 8



### Venturi *mixer* 12

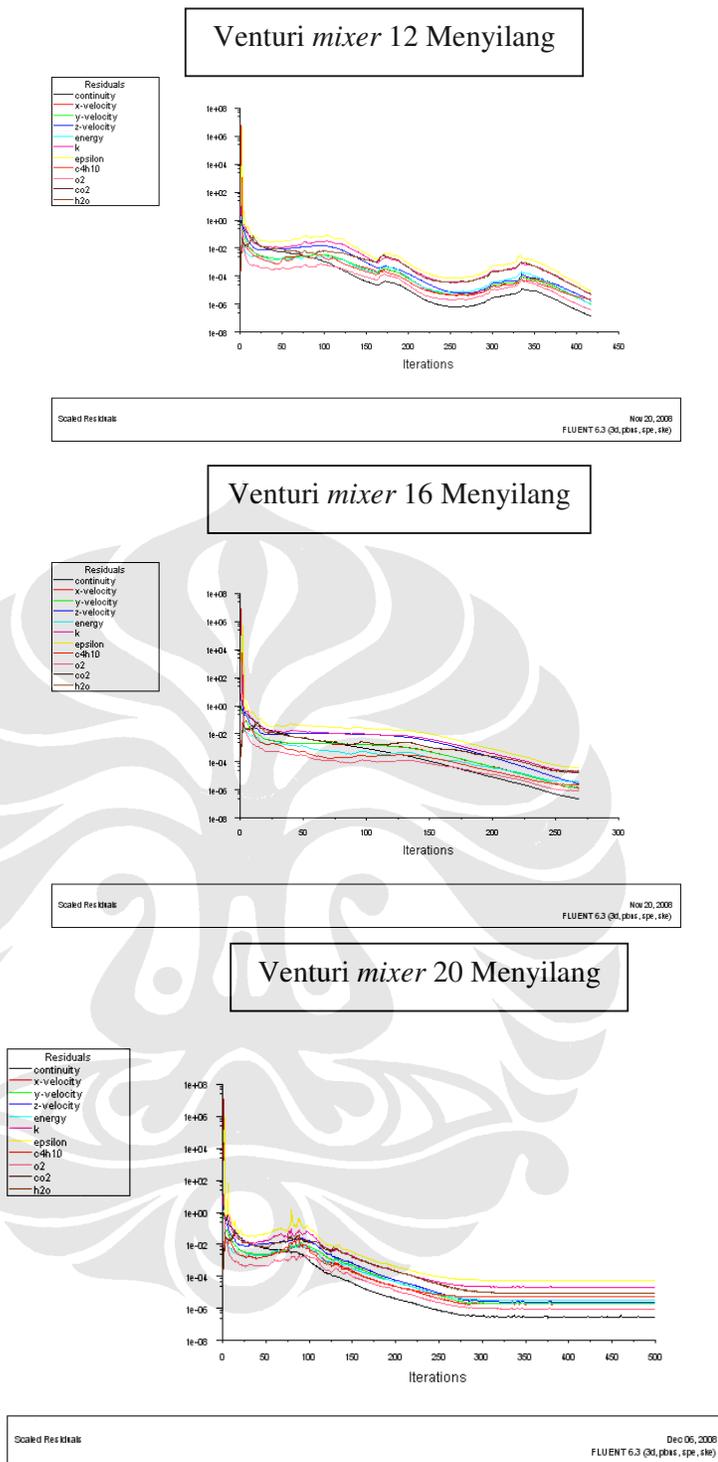


**Gambar 2.6** Kontur turbulensi pada simulasi CFD

Pada setiap *mixer* terjadi turbulensi dibelakang lubang bahan bakar gas, tetapi untuk *venturi mixer* memiliki kontur yang lebih lembut dibandingkan *mixer* lama. Hal ini dapat terjadi karena kecepatan bahan bakar masuk lebih besar dibandingkan kecepatan LPG masuk melalui lubang *mixer*. Turbulensi berguna untuk mempercepat terjadinya pemerataan pencampuran, tetapi dapat pula menyebabkan kehilangan energy melalui olakan yang terjadi menyebabkan campuran tidak masuk ke dalam karburator melainkan tertahan di daerah lengkungan tajam, hal itu terjadi pada *mixer* lama.

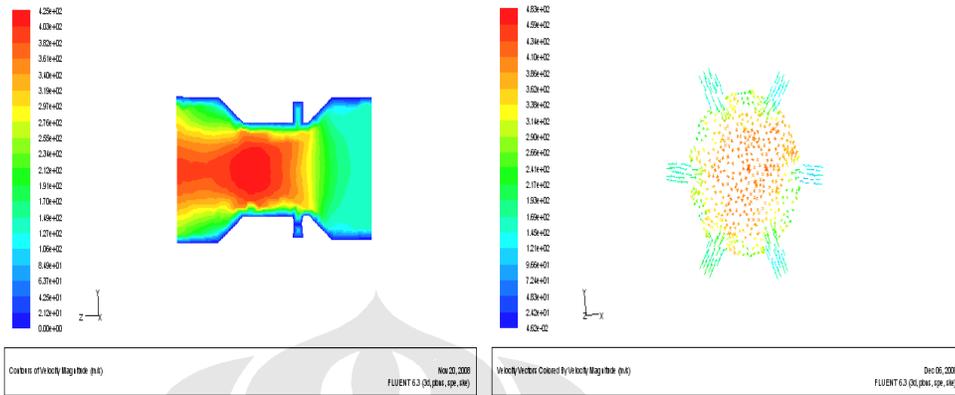
#### 2.10.2 Analisis *venturi mixer* baru

Hasil simulasi setelah semuanya mencapai keadaan konvergen setelah 500 iterasi, diperlihatkan dalam grafik residual berikut :

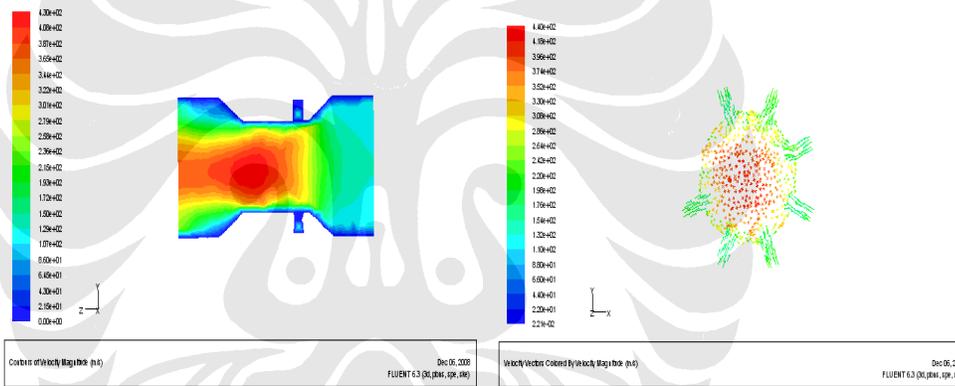


Analisis vektor kecepatan :

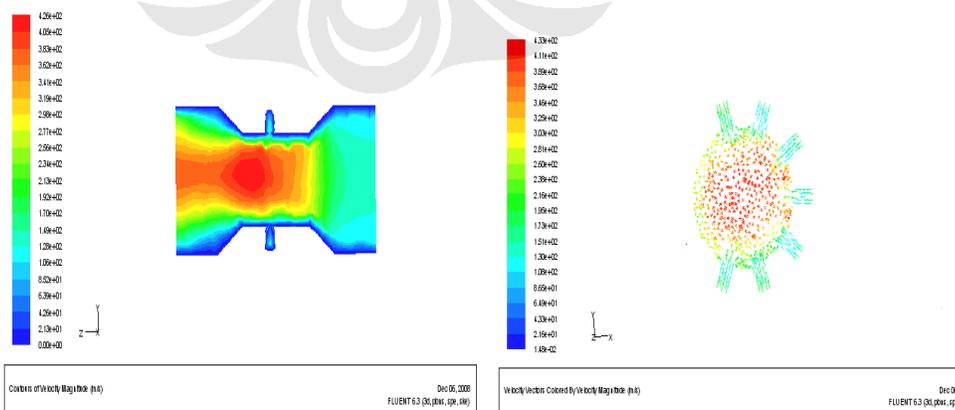
Venturi *mixer* 12 Menyilang



Venturi *mixer* 16 Menyilang



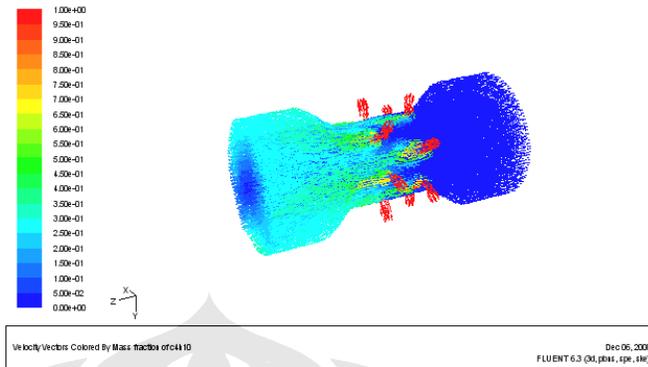
Venturi *mixer* 20 Menyilang



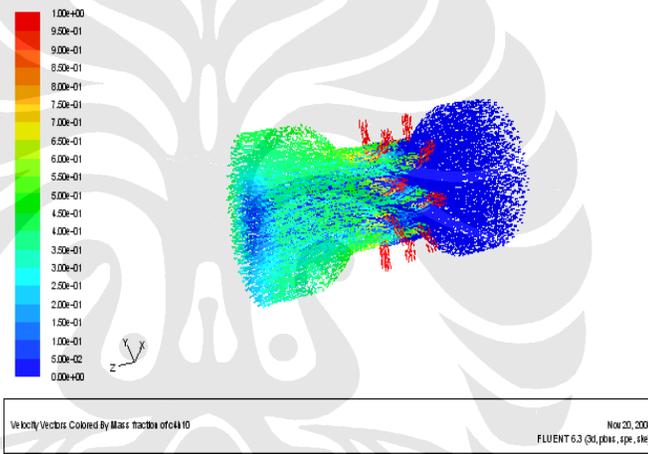
Gambar 2.8 Kontur kecepatan pada simulasi CFD

Penyebaran spesies :

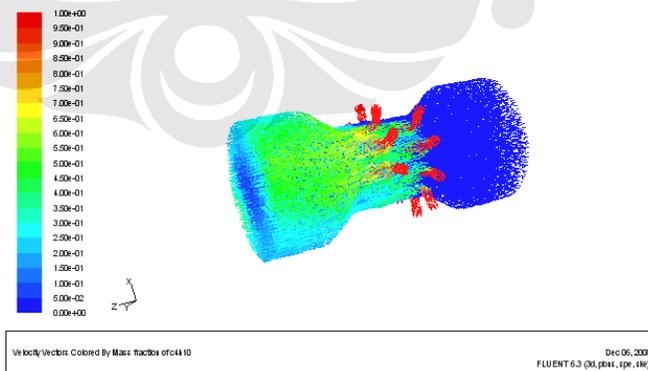
### MIXER 12 LUBANG



### MIXER 16 LUBANG



### MIXER 20 LUBANG



**Gambar 2.9** Penyebaran spesies pada simulasi CFD

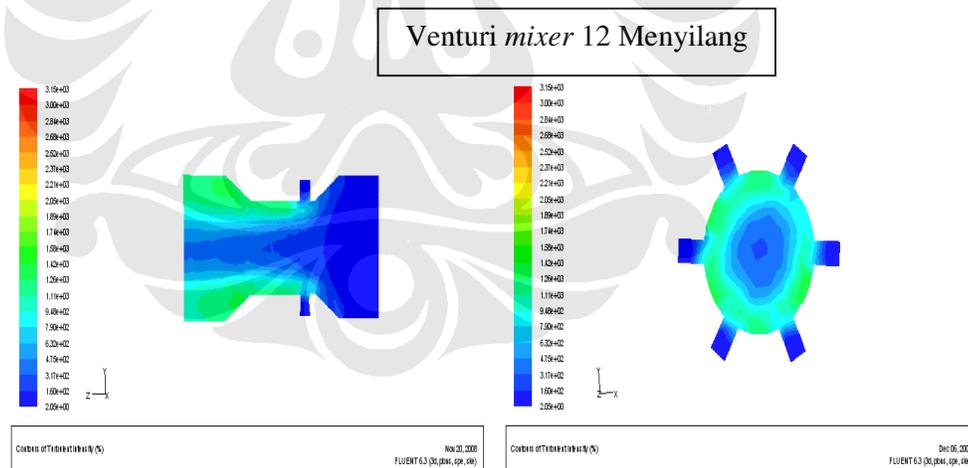
Pada *venturi mixer* model lama, kontur dan vektor kecepatan tidak menunjukkan hasil yang merata. Kecepatan tertinggi hanya terjadi ketika aliran mendekati outlet. Kontur kecepatan pada *venturi mixer* baru dengan 12, 16 dan 20 lubang

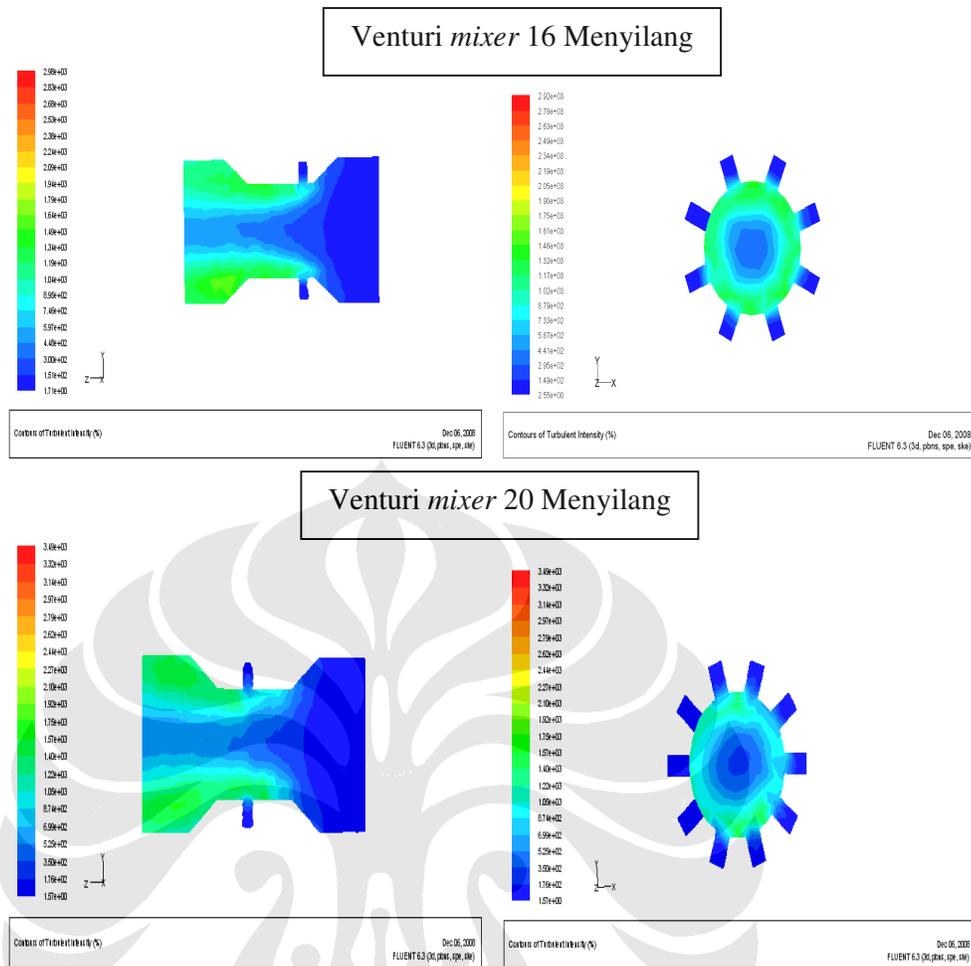
memperlihatkan karakteristik yang hampir serupa. Kecepatan meningkat mulai dari wilayah pemasukan LPG di bagian tengah *venturi mixer* yang berdiameter lebih kecil menuju outlet dari *venturi mixer*. Terlihat dari distribusi warna merah yang menunjukkan nilai maksimum kecepatan aliran.

Distribusi kecepatan pada ketiga mixer baru terlihat lebih teratur dan merata. Pada *display* pola dari Vektor kecepatan aliran, beberapa lubang pada *venturi mixer 20* mengalami hambatan pada saat proses pemasukan LPG. Hal ini kemungkinan disebabkan kurangnya tekanan akibat jumlah lubang yang terlalu banyak. Untuk lubang 16 terdapat hanya satu buah lubang yang aliran masuk LPG sedikit tersendat. Dan pada *venturi mixer 12* lubang tidak ditemukan hambatan pada kecepatan masuk LPG.

Dari hasil simulasi dengan program fluent 6.3 diatas, Pencampuran species LPG pada *venturi mixer* lubang 12 dan 16 menyilang terlihat cukup baik dan merata. Sedangkan pada *venturi mixer 20* lubang meskipun terdapat bagian yang jumlah species LPG lebih banyak dari bagian lain, penyebaran species pada aliran terlihat masih cukup luas.

Analisis kontur turbulen :





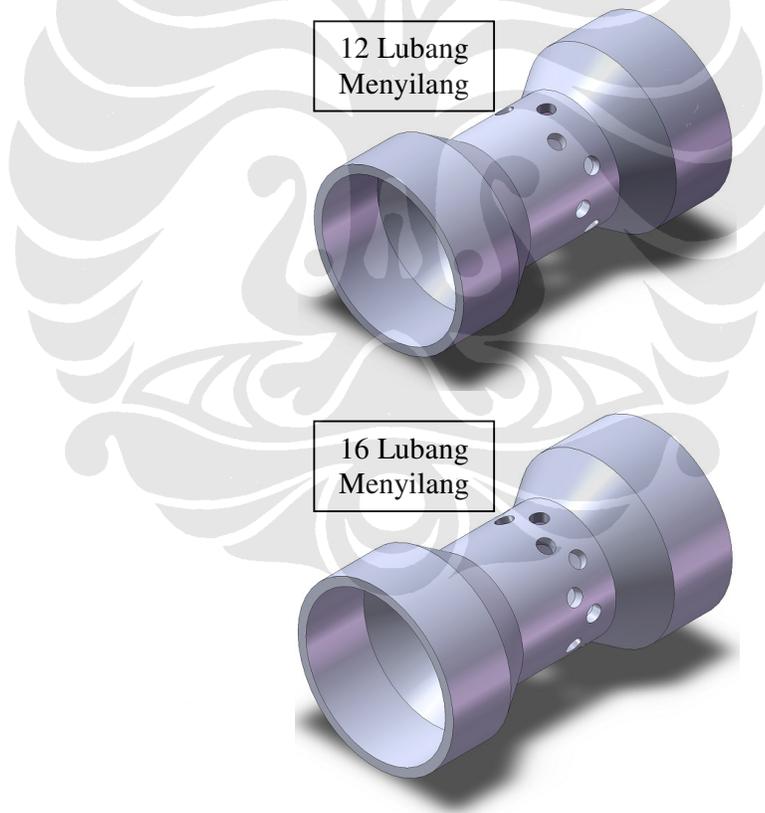
**Gambar 2.10** Kontur turbulensi pada simulasi CFD *venturi mixer* baru

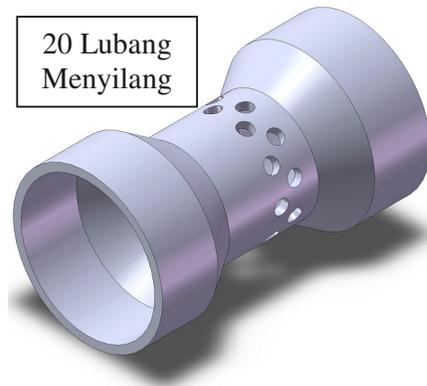
Pada tampilan grafik dari kontur dari *turbulence intensity* diatas, terlihat adanya kenaikan turbulensi pada ketiga *venturi mixer* dibandingkan dengan mixer-mixer yang memiliki lubang lebih sedikit pada skripsi terdahulu. Hal ini sesuai dengan tujuan penulis yaitu menaikkan sedikit nilai turbulensi dengan memposisikan lubang-lubang *venturi mixer* secara silang. Selain itu dengan bertambahnya jumlah lubang diharapkan laju aliran dan jumlah LPG yang memasuki mixer semakin meningkat sehingga pencampuran antara udara dengan lpg semakin cepat dan maksimal. Dengan posisi lubang masuk LPG yang menyilang, akan terjadi pertemuan dua aliran yang searah namun berbeda kecepatan. Sehingga turbulensi akan lebih meningkat bila dibandingkan posisi lubang sejajar. Turbulensi berguna untuk mempercepat terjadinya pemerataan pencampuran, tetapi dapat pula menyebabkan kehilangan energi akibat aliran

yang bertumbukan sehingga menyebabkan campuran tidak masuk ke dalam karburator melainkan tertahan didalam *venturi mixer*.

Pada *venturi mixer* 12 lubang terjadi turbulensi pada daerah tepi pipa berdiameter kecil menuju arah keluar *mixture* yang diameter pipanya lebih besar. Begitu pula pada mixer 16 dan 20 lubang. Pola turbulensi hampir serupa namun dengan intensitas sedikit lebih tinggi terlihat dari gradasi warna yang dihasilkan. Meskipun pada ketiga mixer terjadi kenaikan turbulensi, Nilai intensitas turbulensinya masih dalam level menengah terlihat dari gradasi warna biru muda menuju hijau muda. Dengan demikian diharapkan tidak terjadi gangguan pada aliran fluida dalam *venturi mixer* yang dapat mempengaruhi prestasi dari mesin.

### 2.11 Gambar hasil desain *venturi mixer* berdasarkan CFD

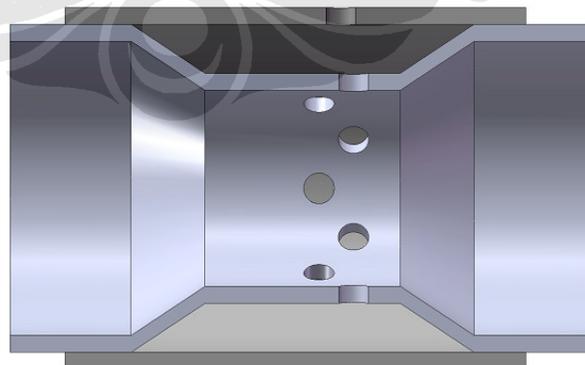


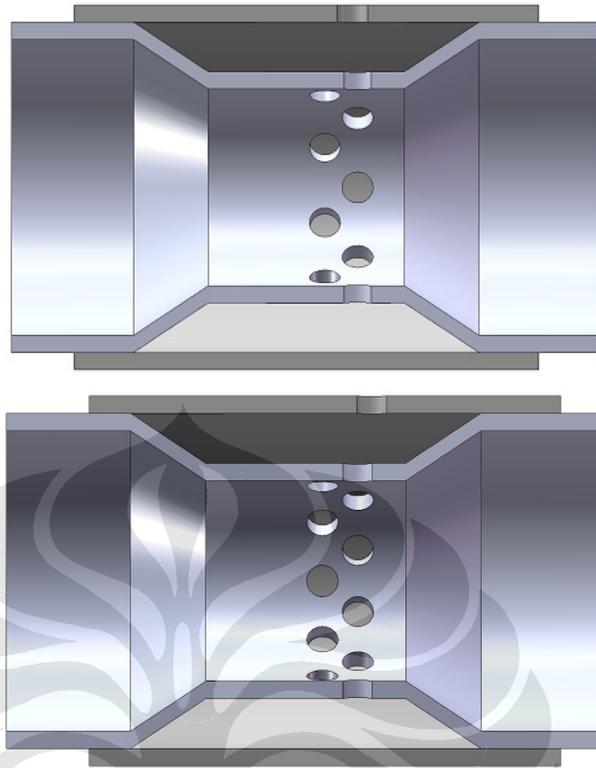


**Gambar 2.11** *Venturi mixer* 12, 16, dan 20 Menyilang



**Gambar 2.12** *Venturi mixer* dengan penutup





**Gambar 2.13** Potongan *venturi mixer* dengan penutup