



**KARAKTERISTIK PEMBAKARAN PADA *SUDDEN  
EXPANSION MESO COMBUSTOR* DENGAN VARIASI  
DIAMETER INLET**

**SKRIPSI**

Oleh

**Rachell Nurman Zulkarnain  
NIM 121910101052**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**



**KARAKTERISTIK PEMBAKARAN PADA *SUDDEN  
EXPANSION MESO COMBUSTOR* DENGAN VARIASI  
DIAMETER INLET**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

oleh

**Rachell Nurman Zulkarnain**  
**NIM 121910101052**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia yang tidak pernah henti dapat penulis rasakan setiap detik dalam hidup ini.
2. Bapak saya Nurwahid yang telah berjuang mendidik saya, Ibu saya Temmy Paduli (Almh), dan Ibu Tri Haryani tercinta yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang dan pengorbanan yang tiada batas hingga saat ini serta doa yang tiada hentinya beliau haturkan dengan penuh keikhlasan;
3. Kakak pertama saya Mariskha Nurcyliya, S. P dan Kakak kedua saya Michell Rinda Nursandy, S. E yang selalu setia menyemangati serta memberikan motivasi.
4. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa memberikan ilmunya. Semoga ilmu yang Bapak/Ibu berikan bermanfaat dan barokah untuk saya kedepannya dan untuk pribadi masing-masing serta menjadi amalan baik untuk Bapak/Ibu kelak.
5. Dosen pembimbing saya Bpk. Boy Arief Fachri, S.T., M.T., Ph. D. dan Bpk. Sumarji, S.T., M.T. sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Ir. Digdo Listyadi, M.Sc. dan Ir. F. X. Kristianta, S.T, M. Eng. selaku dosen penguji yang tak lelah memberikan kritik dan saran sehingga penelitian dan penulisan ini menjadi lebih baik.
7. Bpk. Andi Sanata, S.T., M.T. yang banyak membantu dalam pengerjaan skripsi ini sekaligus sebagai pembimbing latar skripsi saya.
8. Satu tim skripsi Meso Combustion (Ahmad ifan, Ivan Bagus, Fauzan dan Yahya) yang telah banyak membantu dan memberi masukan tentang penulisan dan penyusunan skripsi ini.

## MOTTO

*"Tan Hana Wighna Tan Sirna"*

(Kopaska)

*"The Only Easy Day Was Yesterday"*

(US Navy Seals)



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rachell Nurman Zulkarnain

NIM : 121910101052

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “KARAKTERISTIK PEMBAKARAN PADA SUDDEN EXPANSION MESO COMBUSTOR DENGAN VARIASI DIAMETER INLET” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember 6 Januari 2017

Yang menyatakan,

(RachellNurman Zulkarnain)

NIM 121910101052

**SKRIPSI**

**KARAKTERISTIK PEMBAKARAN PADA SUDDEN EXPANSION MESO  
COMBUSTOR DENGAN VARIASI DIAMETER INLET**

Oleh  
**Rachell Nurman Zulkarnain**  
**NIM 121910101052**

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Boy Arief Fachri, S.T., M.T., Ph. D.

Dosen Pembimbing Anggota : Sumarji, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “*KARAKTERISTIK PEMBAKARAN PADA SUDDN EXPANSION MESO COMBUSTOR DENGAN VARIASI DIAMETER INLET*” telah diuji dan disahkan pada tanggal :

Hari, Tanggal : Rabu, 6 Januari 2017

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji,

Ketua (DPU),

Sekretaris (DPA),

Boy Arief Fachri, S.T., M.T., Ph. D  
NIP 197409011999031002

Sumarji, S.T., M.T.  
NIP 1968020219970121001

Penguji I,

Penguji II,

Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.  
NIP 19680617 199501 1 001

Ir. F. X. Kristianta M. Eng  
NIP 196501202001121001

Mengesahkan,  
Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.  
NIP 19661215 199503 2 001

### **PRAKATA**

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “ANALISA VARIASI AFR TERHADAP PERILAKU ION DAN LAJU RAMBAT API BIOGAS LIMBAH RUMAH TANGGA”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

9. Bapak saya Nurwahid yang telah berjuang mendidik saya, Ibu saya Temmy Paduli (Almh), dan Ibu Tri Haryani tercinta yang senantiasa memberikan

semangat, dorongan, kasih sayang dan pengorbanan yang tiada batas hingga saat ini serta doa yang tiada hentinya beliau haturkan dengan penuh keikhlasan;

10. Kakak pertama saya Mariskha Nurcyliya, S. P dan Kakak kedua saya Michell Rinda Nursandy, S. E yang selalu setia menyemangati serta memberikan motivasi.
11. Kekasih saya Wardatul Insyiroh yang selalu ada untuk memberi dukungan semangat dan motivasi.
12. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa memberikan ilmunya. Semoga ilmu yang Bapak/Ibu berikan bermanfaat dan barokah untuk saya kedepannya dan untuk pribadi masing-masing serta menjadi amalan baik untuk Bapak/Ibu kelak.
13. Dosen pembimbing saya Bpk. Boy Arief Fachri, S.T., M.T., Ph. D. dan Bpk. Sumarji, S.T., M.T. sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
14. Ir. Digdo Listyadi, M.Sc. dan Ir. F. X. Kristianta, S.T, M. Eng. selaku dosen penguji yang tak lelah memberikan kritik dan saran sehingga penelitian dan penulisan ini menjadi lebih baik.
15. Bpk. Andi Sanata, S.T., M.T. yang banyak membantu dalam pengerjaan skripsi ini sekaligus sebagai pembimbing latar skripsi saya.
16. Satu tim skripsi Meso Combustion (Ahmad ifan, Ivan Bagus, Fauzan dan Yahya) yang telah banyak membantu dan memberi masukan tentang penulisan dan penyusunan skripsi ini.
17. Teman teman semeja kopi (Acang, Hanif, Yayan, I Made Aditya, Zaed, Amius, Akbar, Joshua) yang tiada henti mendukung setiap kegiatan penulis.
18. Seduluran Teknik serta adik-adik angkatan yang dirasa membantu dalam proses kuliah dan kehidupan.
19. Keluarga besar kost Moersid 17 terimakasih atas kebersamaan dalam menuntut ilmu di kota perantauan ini.
20. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.



Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 6 Januari 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>MOTTO</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>PEMBIMBING</b> .....	v
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1

<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	2
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	2
<b>1.4 Tujuan dan Manfaat</b> .....	3
1.4.1 Tujuan .....	3
1.4.2 Manfaat .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
<b>2.1 Micro Power Generator (MPG)</b> .....	4
2.1.1 Klasifikasi <i>Micro Power Generator</i> (MPG) .....	5
<b>2.2 Combustor (Meso-scale Combustor)</b> .....	7
<b>2.3 Sudden Expansion</b> .....	7
<b>2.4 Pembakaran</b> .....	8
2.4.1 Reaksi Kimia Dalam Pembakaran .....	9
2.4.2 <i>Air Fuel Ratio</i> (AFR) .....	10
2.4.3 <i>Equivalence Ratio</i> ( $\Phi$ ) .....	11
2.4.4 <i>Flammability Limit</i> .....	12
<b>2.5 Liquefied Petroleum Gas (LPG)</b> .....	13
<b>2.6 Penelitian Sebelumnya</b> .....	14
<b>2.7 Hipotesa</b> .....	16
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	17
<b>3.1 Metode Penelitian</b> .....	17
<b>3.2 Waktu Penelitian dan Tempat Penelitian</b> .....	17
<b>3.3 Variabel Penelitian</b> .....	17
<b>3.4 Alat dan Bahan</b> .....	18
3.4.1 Alat .....	18
3.4.2 Bahan .....	19
<b>3.5 Skema Penelitian</b> .....	19
<b>3.6 Prosedur Penelitian</b> .....	19
<b>3.7 Diagram Alir</b> .....	21
<b>3.8 Jadwal Kegiatan Penelitian</b> .....	22
<b>BAB 4. PEMBAHASAN</b> .....	23

<b>4.1 Data Hasil Penelitian</b> .....	23
<b>4.2 Pengolahan Data Hasil <i>Flammability Limit</i></b> .....	24
4.2.1 Perhitungan Rasio Ekuivalen ( $\Phi$ ) .....	24
4.2.2 Perhitungan Kecepatan Reaktan ( $V_{tot}$ ) .....	25
<b>4.3 Analisa <i>Flammability Limit</i></b> .....	23
4.3.1 Analisa <i>Flammability Limit</i> Hasil Penelitian .....	25
4.3.2 Analisa <i>Flammability Limit</i> Hasil Penelitian Sebelumnya.....	25
<b>4.4 Pengambilan Data Visualisasi dan Temperatur Nyala Api</b> .....	23
<b>4.5 Visualisasi Nyala Api</b> .....	23
<b>4.6 Temperatur Nyala Api</b> .....	23
<b>4.7 Perbandingan Penelitian Sebelumnya</b> .....	23
<b>4.6 Temperatur Nyala Api</b> .....	23
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	39
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	39
<b>5.2 Saran</b> .....	40
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	
<b>LAMPIRAN</b> .....	

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 <i>Thermoelectric Micro Power Generator</i> (Fernandes, 2002) ..	5
Gambar 2.2 <i>Micro Gas Turbine Generator</i> (Fernandes, 2002).....	6
Gambar 2.3 <i>Micro-Thermophotovoltaic Power Generator</i> (Yang, 2004).	6
Gambar 2.4 <i>Backward facing step/ Sudden expansion</i> (Li, et, al, 2005)....	8
Gambar 2.5 Diagram temperatur pada <i>mes-scale combustor</i> , (a) $d=2$ mm, (b) $d=6$ mm (Li, et, al. 2005) .....	15
Gambar 3.1 Variasi Diameter Inlet Combustor 1.8 mm .....	17
Gambar 3.2 Variasi Diameter Inlet Combustor 2.6 mm .....	17
Gambar 3.3 Variasi Diameter Inlet Combustor 3.5 mm .....	18
Gambar 3.4 Alat.....	18
Gambar 3.5 Skema Alat Uji .....	19
Gambar 4.1 Grafik <i>Flammability Limit</i> pada <i>meso-scale combustor</i> dengan <i>sudden expansion</i> dengan $D_1/D_2$ (a) 50%, (b) 75%, (c) 100% .	30
Gambar 4.2 Grafik <i>flammability limit</i> pada <i>meso-scale combustor</i> dengan <i>Backward Facingstep</i> dengan $D_1/D_2$ (A) 3.5/4.7, (B) 2.6/3.5 (Sari, 2015) .....	32
Gambar 4.3 Visualisasi bentuk nyala api pada <i>meso-scale combustor</i> dengan backward facing step, $D_1/D_2 = 3.5/4.7$ pada nilai rasio ekuivalen 1,3 dengan kecepatan reaktan 30 cm/s, 25 cm/s dan 20 cm/s (Sari, 2015) .....	36

Gambar 4.4 Visualisasi bentuk nyala api pada meso-scale combustor dengan backward facing step,  $D1/D2 = 2.6/3.5$  pada nilai rasio ekuivalen 1,3 dengan kecepatan reaktan 25 cm/s, 21 cm/s dan 20 cm/s (Sari, 2015) ..... 36

**DAFTAR TABEL**

Tabel 3.1 Jadwal kegiatan penelitian ..... 22

Tabel 4.1 Data hasil debit bahan bakar dan udara variasi diameter ..... 22

Tabel 4.2 Hasil pengolahan *flammability limit* untuk bahan bakar konstan ..... 28

Tabel 4.3 Hasil pengolahan *flammability limit* untuk bahan bakar konstan ..... 29

Tabel 4.4 Hasil pengolahan *flammability limit* untuk bahan bakar konstan ..... 29

Tabel 4.5 Titik pengambilan data visualisasi nyala api dan temperatur nyala api ..... 34

Tabel 4.6 titik pengambilan visualisasi nyala api dan temperatur nyala api ..... 35

Tabel 4.7 Visualisasi nyala api..... 35

Tabel 4.8 Temperatur nyala api ..... 37

Tabel 4.9 Perbandingan hasil penelitian ..... 38

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu implikasi kemajuan akan teknologi adalah meningkatnya penggunaan kendaraan bermotor. Sebagai contoh dalam laju pertumbuhan kendaraan bermotor di Jakarta saja pada tahun 2012 tercatat 13,5 juta kendaraan, 10,8 jutanya adalah sepeda motor dan sisanya mobil. Jumlah ini meningkat cukup drastis di tahun 2013 yang mana tercatat kenaikan sebanyak 9,1%. Meningkatnya jumlah kendaraan, juga mengakibatkan bertambahnya tingkat polusi udara (BPS, 2015).

Ide penggunaan mobil listrik menjadi salah satu wacana yang dapat mengurangi tingkat polusi udara. Mobil listrik merupakan mobil yang digerakkan dengan motor listrik, menggunakan energi listrik yang disimpan dalam baterai atau tempat penyimpanan lainnya. Penggunaan baterai (Li-ion) pada mobil listrik saat ini masih dinilai kurang maksimal. Oleh karena itu dikembangkannya sebuah penelitian tentang pengembangan energi berbasis skala kecil yang disebut dengan *micro power generator (MPG)*. MPG ini menggunakan bahan bakar hidrokarbon (HC) memiliki densitas energi dan efisiensi jauh lebih besar dibandingkan dengan baterai (Li-ion) apabila dilakukan pada skala mikro. Hal ini kelak dapat menggantikan penggunaan baterai (Li-ion) pada mobil listrik. *MPG* sendiri terdiri dari dua komponen utama, meliputi *micro* atau *meso-scale combustor* dan modul pengkonversi energi panas menjadi energi listrik. Besar perbandingannya yaitu 40-45 MJ/kg untuk hidrokarbon dan 1,2MJ/kg untuk baterai (Li-ion) (Fernandez-Pello, 2002).

*Meso-scale combustor* berfungsi mengubah energi kimia menjadi energi panas merupakan bagian terpenting dari MPG. Pada pembakaran *meso-scale combustor* harus dijaga kestabilannya. Untuk menjaga kestabilannya sangatlah tidak mudah karena terbatasnya waktu pembakaran yang terjadi dalam ruang bakar (*fuel residence time*) serta tingginya laju kehilangan kalor (*heat loss*) yang menyebabkan padamnya api dalam *combustor*. Maka dari itu upaya untuk mencapai kestabilan api dan pembakaran, yaitu dengan meningkatkan waktu pembakaran dalam ruang bakar (*fuel residence time*), kecepatan reaksi dan menekan laju kehilangan kalor (*heat loss*).

Salah satu cara untuk meningkatkan waktu pembakaran, kecepatan reaksi dan menekan laju kehilangan kalor, Yang, *et al* (2002) mengamati pengaruh rasio diameter inlet dan outlet pada *combustor*. Yang *et al* (2002) menyebutkan bahwa semakin besar rasio diameter maka proses pencampuran semakin meningkat. Sari (2015) menyatakan bahwa semakin besar diameter outlet maka *flammability limit* semakin meningkat, dan *heat loss* semakin turun.

Sementara itu pengaruh diameter inlet belum diketahui pengaruhnya terhadap efektivitas pembakaran. Oleh karena itu penelitian ini yang berjudul karakteristik pembakaran pada *sudden expansion meso combustor* dengan variasi diameter inlet perlu dilakukan, sehingga dapat mengetahui diameter inlet yang optimal untuk *meso-scale combustor*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh diameter inlet terhadap efektivitas pembakaran, yang diamati berupa *flammability limit*, visualisasi nyala api, dan temperatur nyala api.

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini:

1. Bahan bakar yang digunakan adalah *liquified petroleum gas* (LPG) dengan asumsi terdiri dari 50% propana dan 50% butana.
2. Udara pembakaran (*oxidizer*) yaitu udara atmosfer yang diasumsikan 79% N<sub>2</sub> dan 21% O<sub>2</sub>.
3. Sifat *physical* dan *chemical* pipa terhadap bahan selama proses

## 1.4 Tujuan dan Manfaat

### 1.4.1 Tujuan

Tujuan yang dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh diameter *combustor* terhadap *flammability limit*, visulisasi nyala api, dan temperatur nyala api pada *meso-combustion*.

### 1.4.2 Manfaat

Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh manfaat sebagai berikut:

1. Mampu menganalisa tentang karakteristik dari pembakaran *meso-combustion* pada *flammability limit*, visulisasi nyala api, dan temperatur nyala api.
2. Mampu mengembangkan penelitian mengenai dengan *meso-scale combustion* yang lebih baik.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Micro Power Generator* (MPG)

Perkembangan teknologi yang pesattelah memaksa riset dalam segala bidang ilmu dan teknologi untuk terus berinovasi. Tak terkecuali kebutuhan akan teknologi pembangkit daya yang berukuran kecil (micro-power generator) dalam bidang pembangkitan energi listrik yang dikemas menjadi sebuah power-cell/ baterai. Setiap perangkat portabel modern tidak akan lepas dari kebutuhan akan sumber daya yang satu ini. Itulah sebabnya perlu dipikirkan pengembangan teknologi micro-power generator yang memiliki densitas energi tinggi, memiliki waktu operasi relatif panjang dengan waktu isi ulang energi yang lebih pendek dan juga ramah lingkungan. Micro-power generator ini dimasa yang akan datang diharapkan mampu menjadi baterai baru yang mampu mengatasi permasalahan yang ada pada baterai generasi sekarang ini (Wirahadi, 2013)

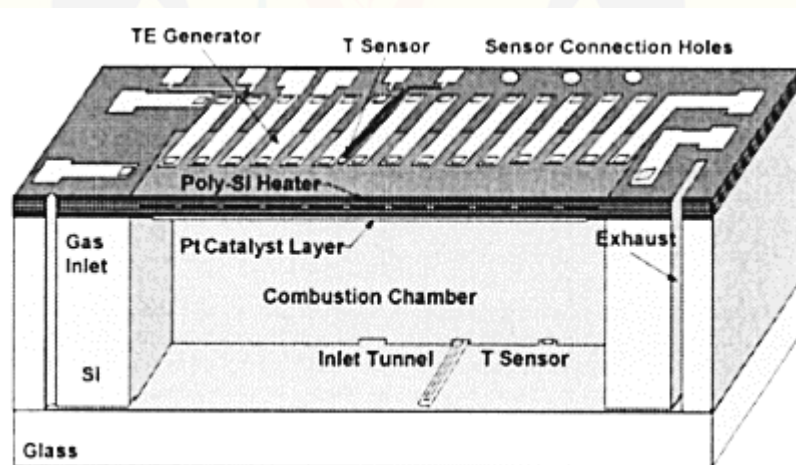
Micro-power generator adalah suatu alat untuk membangkitkan energi dalam skala pembangkit yang sangat kecil (Raditya, tanpa tahun). Sedangkan menurut (Sari, 2015) micro power generator adalah sumber energi berskala mikro yang memanfaatkan prinsip pembakaran dalam pembangkitan energinya. Micro power generator sendiri pada dasarnya terbagi menjadi dua jenis, diantaranya adalah micro power generator yang menggunakan siklus daya konvensional dan micro power generator dengan menggunakan modul pengkonversi energi termal menjadi energi listrik (termo photovoltaic atau termoelectric). Perbedaan kedua micro power generator ini terletak dari prinsip kerja pembangkitan energi.

#### 2.1.1 Klasifikasi *Micro Power Generator* (MPG)

Berdasarkan dari prinsip kerja *micro power generator* Fernandes (2002), mengklasifikasikan tipe-tipe *combustor* menjadi dua jenis, yaitu *Thermoelectric Micro Power Generator*(TE) dan *micro gas turbine generator*. Sedangkan Yang (2005), menambahkan tipe *micro power generator* yang menggunakan perubahan aliran *photon* menjadi energi listrik atau biasa disebut dengan *micro-thermophotovoltaic power generator* (TPV).

a. *Thermoelectric Micro Power Generator*

*Thermoelectric Micro Power Generator* merupakan salah satu tipe pembangkit energi berskala mikro yang memanfaatkan sistem pembakaran beberapa bahan katalis sebagai sumber energinya diantaranya terbuat dari bahan keramik alumina dan platinum. Proses pembakaran tersebut akan menyebabkan terjadinya reaksi kimia pada bahan-bahan katalis tersebut sehingga menghasilkan energi yang nantinya akan dimanfaatkan sebagai energi listrik (Fernandes, 2002).

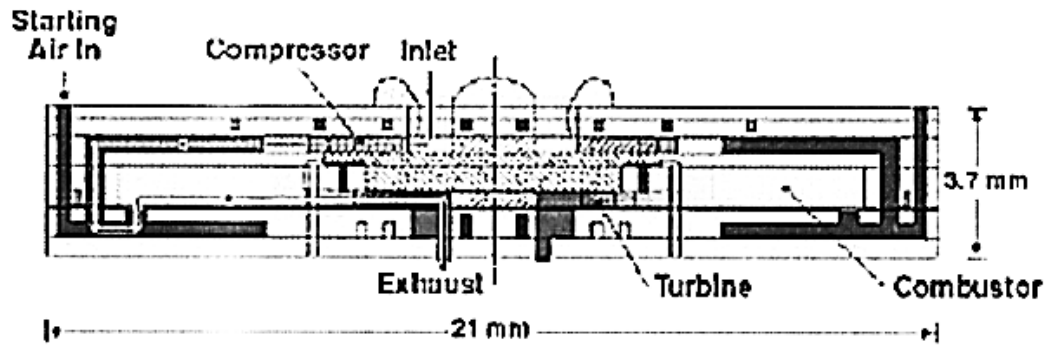


Gambar 2.1 *Thermoelectric Micro Power Generator*  
(Sumber : Fernandes 2002)

b. *Micro Gas Turbine Generator*

Energi listrik pada *micro power generator* jenis ini memanfaatkan gerak putar turbin yang terhubung langsung pada *micro generator*. Sumber energi

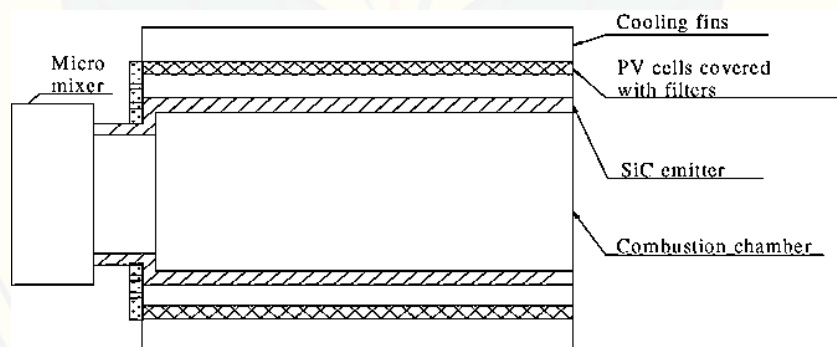
penggeraknya berasal dari pembakaran campuran bahan bakar dan udara pada *combustor* (Fernandes, 2002).



Gambar 2.2 *Micro Gas Turbine Generator*  
(Sumber : Fernandes 2002)

### c. *Micro-Thermophotovoltaic Power Generator*

*Micro-Thermophotovoltaic Power Generator* ini memanfaatkan pergerakan *photon-photon* pada konverter energi (*emitter*) dari panas hasil pembakaran campuran bahan bakar dan udara pada *combustor* sehingga menjadi energi listrik (Yang, 2005).



Gambar 2.3 *Micro-Thermophotovoltaic Power Generator*  
(Sumber : Yang 2004)

## 2.2 *Combustor ( Meso-scale Combustor)*

*Microcombustor* terbagi menjadi beragam macam jenis dan ukuran yang ada. Akan tetapi secara umum *micro combustor* diklasifikasikan secara sederhana menjadi dua yaitu *micro-scale combustor* dan *meso-scale combustor*.

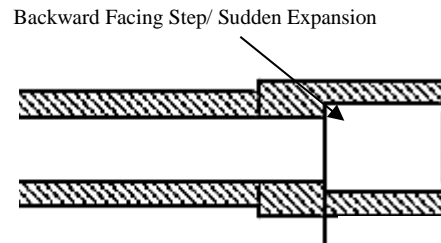
Pengklasifikasian tersebut berdasarkan besarnya celah pada ruang bakar. Untuk *micro-scale combustor* celah ruang bakar memiliki ukuran kurang dari 1 mm. sedangkan untuk *meso-scale combustor* memiliki ukuran lebih dari 1 mm, namun karakteristik pembakaran masih menyerupai *micro combustion* (Maruta, 2011).

Meso-scale combustor merupakan ruang bakar yang mempunyai ukuran yang sangat kecil bila dibandingkan dengan ruang bakar pada umumnya seperti yang kita ketahui selama ini seperti ruang bakar motor bensin maupun motor diesel. Meso-scale combustor mempunyai ukuran yang sedikit lebih besar micro-combustor. Dimana salah satu batasan ukuran micro combustor adalah skala panjangnya lebih kecil dari quenching distance bahan bakar digunakan. Quenching distance merupakan jarak minimum dimana masih bisa terjadi flame propagation. Sumber energi dari micro-power generator adalah energi termal dari micro- dan meso-scale combustor yang nantinya dikonversi menjadi energi listrik (Wirahadi, 2013).

### **2.3 Sudden Expansion**

Permasalahan utama dalam *meso-scale combustor* adalah mendapatkan keseimbangan antara kestabilan api pembakaran dan memaksimalkan *output* panas. Pada *meso-scale combustor* memiliki perbandingan luas permukaan terhadap *volume* yang tinggi sehingga akan meningkatkan *heat losses*, yang mana hal ini dapat menyebabkan pembakaran yang tidak stabil dan dapat memadamkan api. *Residence time* pada *combustor* juga rendah yang menyebabkan kesulitan dalam keberlanjutan pembakaran. Pada penelitian Yang, *et, al* pada tahun 2002 menyatakan bahwa *backward facing step/ sudden expansion* pada *combustor* mampu mensirkulasikan pencampuran reaktan pada pembakaran di area dekat dinding *combustor*, sehingga meningkatkan proses pencampuran pembakaran di sekitar tepi tabung *combustor*, serta membuat pembakaran lebih komplit dan stabil. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa *meso-scale combustor* dengan *backward facing step* sangat efektif untuk aplikasi konversi energy secara

langsung dimana temperature panas dinding tersebut yang diperlukan sebagai sumber panas, seperti pada aplikasi *Thermoelectric Power Generator* (Sari, 2015).



Gambar 2.4 *Backward facing step/ Sudden expansion*  
Sumber : (Li, et, al 2005)

## 2.4 Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi kimia yang sangat rumit dan cepat antara udara dan bahan bakar disertai dengan produksi panas, atau panas dan cahaya. Pembakaran sempurna terjadi hanya jika ada pasokan oksigen dan bahan bakar yang cukup. (UNEP, 2006)

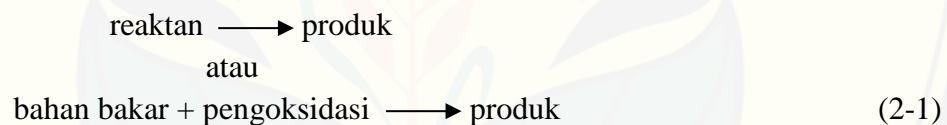
Ketika terjadi pembakaran kimia, ikatan-ikatan di dalam molekul-molekul dari reaktan-reaktan menjadi terputus dan atom-atom dan elektron-elektron tersusun ulang menjadi produk-produk. Di dalam reaksi pembakaran, elemen-elemen bahan bakar yang mudah terbakar mengalami proses oksidasi yang cepat sehingga menghasilkan pelepasan energi bersamaan dengan terbentuknya produk hasil pembakaran. Tiga elemen kimia utama yang mudah terbakar di dalam bahan bakar yang paling umum ditemukan adalah karbon, hidrogen, dan sulfur. Sulfur biasanya merupakan kontributor yang relatif tidak penting dalam pelepasan energi, tapi dapat menjadi signifikan karena permasalahan dengan polusi dan korosi yang disebabkan. (Moran dan Saphiro, 2004:328-329).

Pembakaran dituntaskan ketika semua karbon yang terkandung di dalam bahan bakar telah habis terbakar menjadi karbon dioksida, semua hidrogen telah habis terbakar menjadi air, dan semua sulfur telah habis terbakar menjadi sulfur dioksida, dan semua elemen-elemen yang mudah terbakar lainnya telah teroksidasi. Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi, pembakaran dikatakan tidak tuntas. (Moran dan Saphiro, 2004:328-329).

Oksigen (O<sub>2</sub>) merupakan salah satu elemen bumi paling umum yang jumlahnya mencapai 20.9% dari udara. Bahan bakar gas akan terbakar pada keadaan normal jika terdapat udara yang cukup. Hampir 79% udara (tanpa adanya oksigen) merupakan nitrogen, dan sisanya merupakan elemen lainnya. Nitrogen dianggap sebagai pengencer yang menurunkan suhu yang harus ada untuk mencapai oksigen yang dibutuhkan untuk pembakaran. Nitrogen mengurangi efisiensi pembakaran dengan cara menyerap panas dari pembakaran bahan bakar dan mengencerkan gas buang. Nitrogen ini juga dapat bergabung dengan oksigen (terutama pada suhu nyala yang tinggi) untuk menghasilkan oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>), yang merupakan pencemar beracun. (UNEP, 2006)

## 2.4.1 Reaksi Kimia Dalam Pembakaran

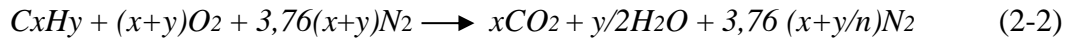
Untuk reaksi-reaksi pembakaran antara udara dan bahan bakar dapat dinyatakan dalam persamaan kimia (2-1) berikut :



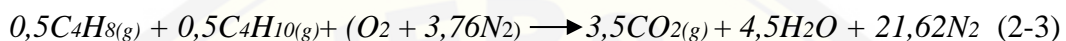
Ketika menangani reaksi kimia, perlu diingat bahwa terjadi konservasi massa, sehingga massa dari produk berjumlah sama dengan massa dari reaktan. Massa total dari setiap elemen kimia harus sama pada kedua sisi dari persamaan, elemen-elemen tersebut terkandung di dalam senyawa kimia yang berbeda di dalam reaktan dan produk. Akan tetapi, jumlah mol dari produk dapat berbeda dengan jumlah mol reaktan. (Moran dan Saphiro, 2004:329)

Dengan mengetahui nilai kandungan beberapa gas pada udara kering yang telah disebutkan sebelumnya, dapat dikatakan bahwa kandungan gas terbesar adalah Nitrogen (N<sub>2</sub>) dengan nilai sebesar 79% dan kandungan terbesar kedua yaitu Oksigen (O<sub>2</sub>) dengan nilai sebesar 21% dengan asumsi bahwa gas yang lain diabaikan karena presentase kandungan yang terlalu kecil. Dengan demikian setiap penggunaan 1 mol (O<sub>2</sub>) yang terkandung di udara pada suatu reaksi pembakaran, secara otomatis akan mencakup  $\left(\frac{79}{21}\right) = 3,76$  mol (N<sub>2</sub>). Maka reaksi

stoikiometrik pembakaran untuk hidrokarbon  $C_xH_y$  dapat di tulis dengan persamaan (2-2):



Setelah mengetahui persamaan reaksi untuk pembakaran stoikiometrik, maka reaksi pembakaran untuk LPG yang terdiri dari 50% propana dan 50% butana, dinyatakan dalam persamaan (2-3):



## 2.4.2 Air Fuel Ratio (AFR)

Dua parameter yang sering digunakan untuk memberikan kuantifikasi jumlah bahan bakar dan udara di dalam proses pembakaran tertentu adalah rasio udara-bahan bakar dan kebalikannya rasio bahan bakar-udara. Rasio udara-bahan bakar singkatnya adalah rasio jumlah udara di dalam sebuah reaksi terhadap jumlah bahan bakar. Rasio ini dapat dituliskan dengan basis molar (mol udara dibagi dengan mol bahan bakar) atau dengan basis massa (massa udara dibagi dengan massa bahan bakar). (Moran dan Saphiro, 2004:330)

Sedangkan persamaan yang digunakan untuk menyatakan nilai rasio udara-bahan bakar adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{\text{massa udara}}{\text{massa bahan bakar}} &= \frac{\text{mol udara} \times M_{\text{udara}}}{\text{mol bahan bakar} \times M_{\text{bahan bakar}}} \\ &= \frac{\text{mol udara}}{\text{mol bahan bakar}} \left( \frac{M_{\text{udara}}}{M_{\text{bahan bakar}}} \right) \end{aligned}$$

atau

$$AF = \overline{AF} \left( \frac{M_{\text{udara}}}{M_{\text{bahan bakar}}} \right) \quad (2-4)$$

Dimana  $\overline{AF}$  adalah rasio udara-bahan bakar dengan basis molar dan  $AF$  adalah rasio udara-bahan bakar dengan basis massa.

### 2.4.3 Equivalence Ratio ( $\Phi$ )

*Equivalence ratio* merupakan nilai perbandingan antara rasio campuran bahan bakar dan udara stoikiometrik terhadap rasio campuran udara dan bahan bakar aktual.

$$\Phi = \frac{AF_{stoic}}{AF_{actual}} \quad (2-5)$$

dimana :

$\Phi$  = *Equivalence Ratio*

$AF_{stoic}$  = rasio udara dan bahan bakar dengan kondisi stoikiometrik

$AF_{aktual}$  = rasio udara dan bahan bakar dengan kondisi aktual

Menurut nilai rasio ekuivalen, jenis campuran udara dan bahan bakar dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu

- $\Phi > 1$  Terdapat kelebihan bahan bakar dan campurannya disebut sebagai campuran kaya bahan bakar (*fuel-rich mixture*)
- $\Phi < 1$  disebut sebagai campuran miskin bahan bakar (*fuel-lean mixture*)
- $\Phi = 1$  adalah campuran stoikiometrik

### 2.4.4 Flammability Limit

Dalam proses pembakaran terdapat kisaran pencampuran bahan bakar dan oksidator yang menyebabkan terjadinya nyala api. Kisaran (*flammability limit*) dibatasi oleh batas bawah mampu nyala dan batas atas mampu nyala atau sering lebih dikenal sebagai *lower flammability limit* (LFL) dan *upper flammability limit* (UFL). *Lower flammability limit* (LFL) adalah konsentrasi gas terendah dimana kandungan bahan bakar tidak akan cukup untuk mendukung proses pembakaran. Sedangkan *upper flammability limit* (UFL) adalah konsentrasi gas tertinggi dimana kandungan oksigen tidak akan cukup untuk mendukung proses pembakaran. Antara dua batas LFL dan UFL merupakan kondisi rentang mudah



terbakar pada suatu gas, dimana gas dan udara dalam komposisi yang tepat untuk dibakar saat dinyalakan (Sari, 2015).

Api akan stabil bila konsentrasi campuran bahan bakar dengan oksidator berada pada komposisi yang tepat, hal ini terjadi bila kecepatan reaktan ( $V_u$ ) sama dengan kecepatan rambat api ( $S_L$ ) ( $V_u = S_L$ ). *flashback* terjadi ketika kecepatan pembakaran lebih besar daripada kecepatan campuran udara-bahan bakar, sehingga nyala api masuk ke saluran campuran reaktan menuju tabung bahan bakar (sumber bahan bakar), sedangkan *Lift-off* adalah kondisi dimana nyala api tidak menyentuh permukaan mulut tabung pembakar, tetapi stabil pada jarak dari ujung tabung pembakar. Pada kecepatan reaktan rendah, posisi api akan mendekati mulut tabung pembakaran dan menyentuhnya. Namun jika kecepatan reaktan ditingkatkan, maka posisi hulu api sudah tidak lagi menempel melainkan menjauh dari mulut *combustor*. Untuk mendapatkan *combustor* dengan densitas tinggi harus bisa mendapatkan kecepatan pembakaran yang lebih tinggi sehingga api tetap stabil pada kecepatan reaktan yang tinggi dan memperluas daerah reaksi dalam *combustor* (Sari, 2015).

## 2.5 *Liquified Petroleum Gas (LPG)*

*Liquified Petroleum Gas (LPG)* terdiri dari campuran utama propana dan butana dengan sedikit persentase hidrokarbon tidak jenuh (*propilen* dan *butilene*) dan beberapa fraksi  $C_2$  yang lebih ringan dan  $C_5$  yang lebih berat. Senyawa yang terdapat dalam LPG adalah propana ( $C_3H_8$ ), *propilen* ( $C_3H_6$ ), normal dan iso-butan ( $C_4H_{10}$ ) dan *butilen* ( $C_4H_8$ ). Menurut Harun (2010), berdasarkan spesifikasi LPG yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi No. 26525.K/10/DJM.T/2009 komposisi produk LPG minimal mengandung campuran propane dan butane sebesar 97% dan maksimum 2% merupakan campuran petana dan hidrokarbon yang lebih berat. Batasan komposisi butana dan propane dalam spesifikasi tersebut dibatasi dengan parameter maksimum tekanan uap yang

ditentukan sebesar 145 psi. Komposisi campuran LPG Pertamina mengandung 50% propane dan 50% butane dan telah sesuai dengan ketentuan tersebut baik dari aspek komposisi maupun tekanan uapnya yang telah diperhitungkan sesuai dengan kalori/daya bakar yang diperlukan.

LPG merupakan campuran dari hidrokarbon tersebut yang berbentuk gas pada tekanan atmosfer, namun dapat diembunkan menjadi bentuk cair pada suhu normal, dengan tekanan yang cukup besar. Walaupun digunakan sebagai gas, namun untuk kenyamanan dan kemudahannya, disimpan dan ditransport dalam bentuk cair dengan tekanan tertentu. LPG cair, jika menguap membentuk gas dengan volume sekitar 250 kali.

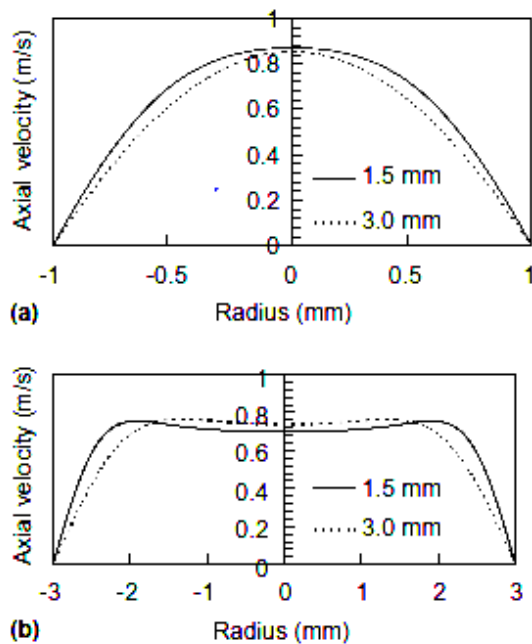
Uap LPG lebih berat dari udara, karena butana beratnya sekitar dua kali berat udara dan propane sekitar satu setengah kali berat udara. Sehingga, uap dapat mengalir didekat permukaan tanah dan turun hingga ke tingkat yang paling rendah dari lingkungan dan dapat terbakar pada jarak tertentu dari sumber kebocoran. Pada udara yang tenang, uap akan tersebar secara perlahan. Lolosnya gas cair walaupun dalam jumlah sedikit, dapat meningkatkan campuran perbandingan volume uap/udara sehingga dapat menyebabkan bahaya. Untuk membantu pendeteksian kebocoran ke atmosfer, LPG biasanya ditambah bahan yang berbau. Harus tersedia ventilasi yang memadai didekat permukaan tanah pada tempat penyimpanan LPG. Karena alasan di atas, sebaiknya tidak menyimpan tabung LPG di gudang bawah tanah atau lantai bawah tanah yang tidak memiliki ventilasi udara.

Berdasarkan spesifikasi Elpiji yang dikeluarkan Direktorat Jendral Minyak & Gas Bumi No. 26525.K/10/DJM.T/2009, komposisi produk Elpiji minimal mengandung campuran Propane (C3) & Butane (C4) sebesar 97 persen dan maximum 2 persen merupakan campuran Pentane (C5) dan hidrokarbon yang lebih berat. Batasan komposisi Propane (C3) dan Butane (C4) dalam spesifikasi tersebut dibatasi dengan parameter maximum tekanan uap yang ditentukan (145 psi). Komposisi campuran Elpiji Pertamina yang mengandung 50 persen Propane dan 50 persen Butane telah sesuai dengan ketentuan tersebut baik dari aspek

komposisi maupun tekanan uapnya yang telah diperhitungkan sesuai kalori/daya bakar yang diperlukan untuk kebutuhan memasak/rumah tangga. Komposisi tersebut telah digunakan sejak awal program konversi dan tidak mengalami perubahan dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku yang ada. Dari sisi keselamatan, komposisi tersebut merupakan komposisi yang optimum, karena komposisi campuran tersebut dijaga pada level tekanan 120 psi atau 8 bar atau 8 kali tekanan udara luar. Tekanan ini sepertiga dari tekanan kerja yang dirancang untuk *valve* tabung Elpiji 12 kg maupun 3 kg, sebesar 24 bar. Selain itu komposisi tersebut juga telah mempertimbangkan keamanan dan kemampuan aksesoris sesuai SNI, Pertamina (2010).

## 2.6 Penelitian Sebelumnya

Li, *et al*, (2005) dalam penelitiannya yang melakukan penelitian tentang pengaruh variasi diameter *combustor* yang berbentuk silindris terhadap temperatur. Dalam penelitiannya didapatkan bahwa semakin kecil ukuran dari diameter *combustor* maka temperature yang dihasilkan semakin rendah sebagaimana ditampilkan pada diagram temperature-radius yang juga semakin menurun. Hal ini disebabkan dari keterbatasannya waktu nyala api yang kurang memadai yang terkait dengan peningkatan perbandingan luas permukaan terhadap *volume* dan kehilangan panas yang lebih tinggi.



Gambar 2.5 Diagram temperature pada *meso-scale combustor*, (a)  $d=2$  mm, (b)  $d=6$  mm  
 Sumber : (Li, et, al. 2005)

Yang, et, al, (2002) sebelumnya juga melakukan penelitian yang difokuskan pada *meso-scale combustor* model silinder dengan *beckward facing step/ sudden expansion* terhadap kestabilan api. Dalam penelitian ini didapat bahwa pembakaran stabil terjadi pada sebuah *combustor* dengan *sudden expansion*, untuk meningkatkan proses pencampuran bahan bakar dan udara, serta untuk memperpanjang waktu tinggal; reaktan dalam daerah reaksi pembakaran. *Backward facing step* merupakan pembesaran diameter *combustor*  $D_1/ D_2$  dengan  $D_1 < D_2$  dan terletak pada sisi upstream (ujung *combustor*). Model ini sangat efektif dalam meningkatkan laju aliran dan rasio  $H_2/$  udara dan mengontrol api serta mampu mensirkulasikan pencampuran reaktan pada pembakaran.

## 2.7 Hipotesa

Pembakaran pada *sudden expansion meso-scale combustor* dengan variasi diameter inlet, semakin besar diameter inlet *meso-scale combustor* maka daerah *flammability limit* yang terbentuk semakin luas, visualisasi nyala api semakin biru terang, dan temperatur nyala api semakin tinggi.



### **BAB 3. METODOLOGI**

#### **Metode Penelitian**

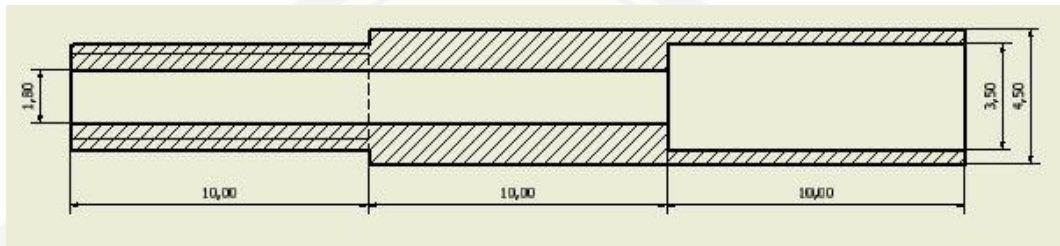
Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode eksperimental, yaitu metode yang dilakukan dengan mengamati pengaruh variasi diameter inlet saluran *sudden expansion* terhadap *flammability limit*, visulisasi nyala api, dan temperatur nyala api.

#### **Waktu Penelitian dan Tempat Penelitian**

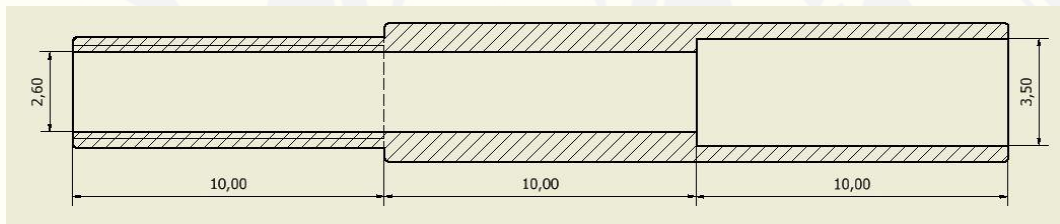
Waktu pelaksanaan penelitian ini adalah pada bulan Maret sampai dengan bulan Juni 2016. Sedangkan penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mesin-mesin Fluida Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

### Variabel Penelitian

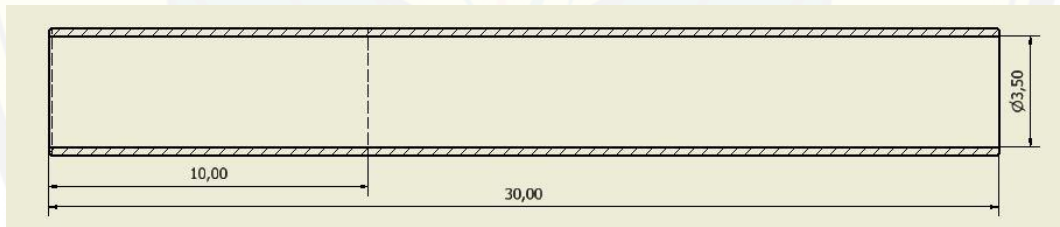
Variabel yang diamati dalam penelitian ini adalah diameter inlet. Diameter *combustor* divariasikan pada diameter masukan sedangkan diameter keluaran dibuat tetap yaitu dengan diameter keluaran 3,5 mm dan variasi diameter masukan berturut-turut 50%, 75%, dan 100% atau 1,8 mm, 2,6 mm, dan 3,5 mm seperti tampak pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.1 Variasi diameter *inlet combustor* 1,8 mm



Gambar 3.2 Variasi diameter *inlet combustor* 2,6 mm



Gambar 3.3 Variasi diameter *inlet combustor* 3,5 mm

### Alat dan Bahan

Alat

Peralatan yang digunakan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.4 Alat

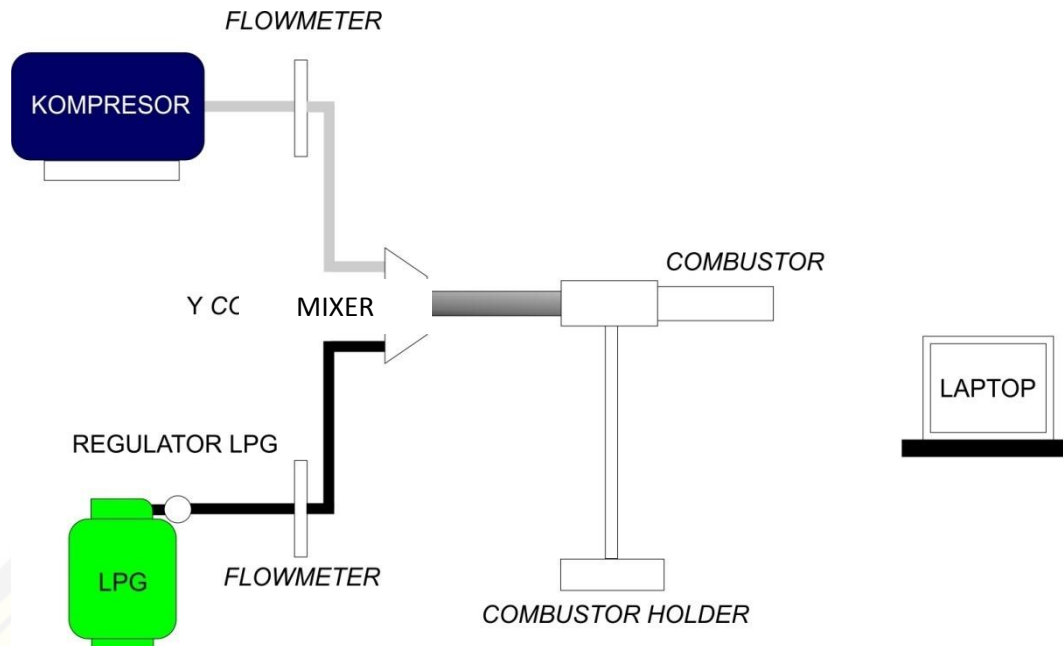
Keterangan :

1. *Meso-scale combustor*
2. *Combustor holder*
3. *Flowmeter* bahan bakar dan udara
4. *Mixer*
5. Kompresor listrik
6. Regulator
7. *Pisco tube*

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Liquified Petroleum gas* (LPG) 50% propanadan 50 butana.

**Skema Penelitian**



Gambar 3.5 Skema Alat Uji

### 3.6 Prosedur Penelitian

Pengambilan data dalam penelitian nyala api pada *meso-scale combustor* harus melakukan beberapa tahapan secara berurutan, adapun tahapan – tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

Mempersiapkan *meso-scale combustor*, memasangkannya pada *combustor holder*.

Memasang alat – alat penelitian sesuai dengan skema pada Gambar 3.5, selang saluran bahan bakar, saluran udara, dan saluran campuran bahan bakar dan udara harus terpasang dengan baik tanpa terjadi kebocoran.

Melakukan *setting* pada *flowmeter* udara dengan jalan membuka bukaan *flowmeter* secara penuh, lalu membuka tuas *output* kompresor sampai bola penunjuk debit udara pada *flowmeter* berada di skala paling atas.

Melakukan *setting* pada *flowmeter* bahan bakar dengan jalan membuka bukaan pada *flowmeter* secara penuh, lalu buka *regulator* LPG secara perlahan sampai bola penunjuk debit bahan bakar pada *flowmeter* berada pada posisi skala paling atas.



Memulai reaksi pembakaran pada *meso-scale combustor* dengan jalan memberikan pemantik api dengan menggunakan korek api pada mulut *output combustor* disertai dengan mengatur rasio campuran bahan bakar dan udara menggunakan *flowmeter* hingga mencapai kondisi stoikiometri.

Mengatur perbandingan debit bahan bakar dan udara yang dilakukan dengan jalan menjaga debit bahan bakar agar tetap konstan, kemudian debit udara divariasikan.

Mencari nilai debit udara maksimal dengan jalan meningkatkan nilai debit udara sampai nyala api menjadi stabil sebelum kemudian api padam karena pembakaran terlalu miskin.

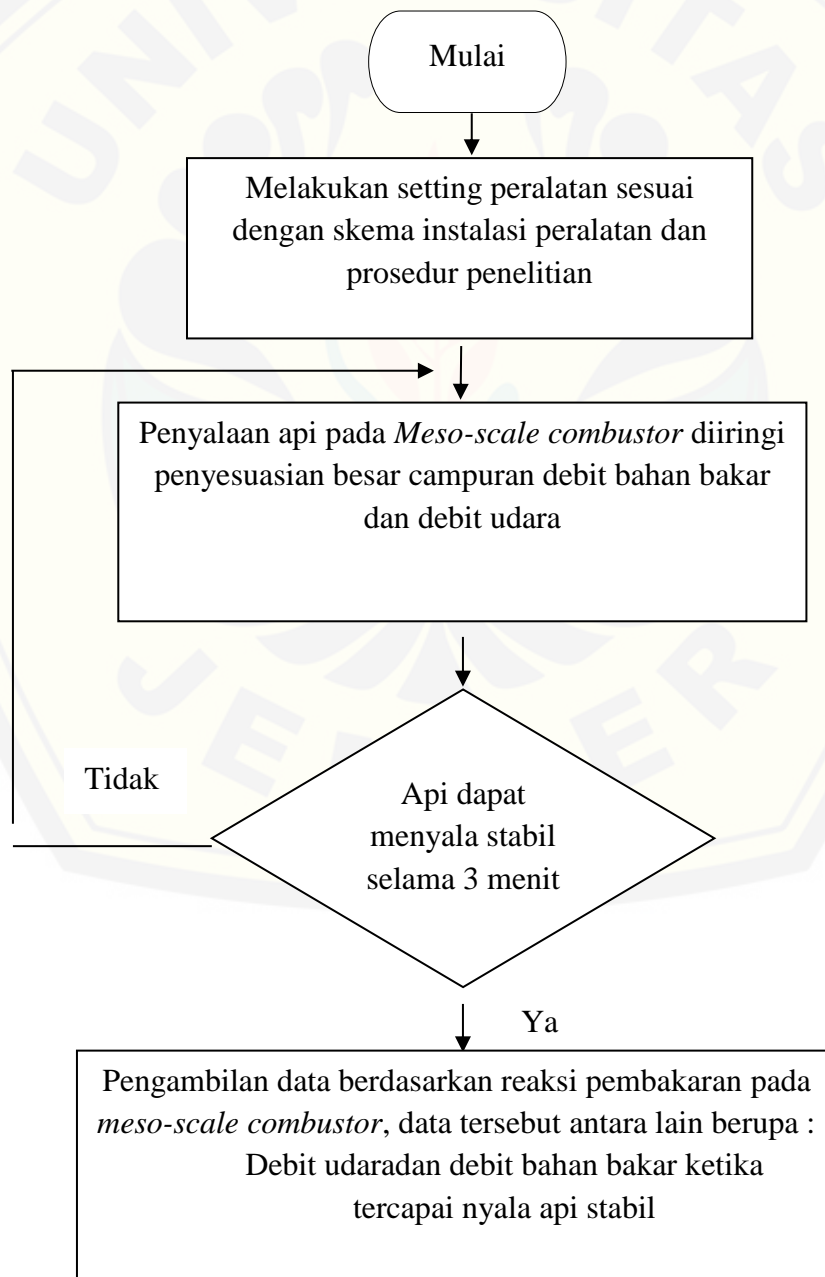
Mencari nilai debit udara minimal dengan jalan mengurangi nilai debit udara sebanyak – banyaknya sampai nyala api stabil sebelum kemudian api padam karena pembakaran terlalu kaya.

Melakukan pengamatan kestabilan nyala api selama 3 menit disaat nyala api dalam keadaan reaksi pembakaran kaya dan reaksi pembakaran miskin.

Mencatat nilai debit udara dan debit bahan bakar ketika api mampu menyala secara stabil selama 3 menit.

Mengambil dan mengumpulkan data dilakukan sebanyak tiga kali untuk kemudian diambil rata- rata. Pengambilan data dilakukan dengan prosedur yang sama pada masing – masing variasi diameter inlet saluran *sudden expansion*.

Diagram Alir



Bahan bakar	LPG ( <i>Liquified Petroleum Gas</i> )	LPG ( <i>Liquified Petroleum Gas</i> )
Range of Flammability limit	1.8/3.5 ( $\phi = 1.09 : 1.25$ , $v = 18.86 \text{ cm/s} : 21.21 \text{ cm/s}$ ), 2.6/3.5 ( $\phi = 1.04 : 1.35$ , $v = 17.51 \text{ cm/s} : 25.43 \text{ cm/s}$ ), 3.5/3.5 ( $\phi = 0.89 : 1.25$ , $v = 23.33 \text{ cm/s} : 33.68 \text{ cm/s}$ )	3.5/4.7 ( $\phi = 0.94 : 1.52$ , $v = 14.95 \text{ cm/s} : 31.47 \text{ cm/s}$ ), 2.6/3.5 ( $\phi = 1.22 : 1.46$ , $v = 23.43 \text{ cm/s} : 29.96 \text{ cm/s}$ )
Visualisasi nyala api	Semakin besar diameter inlet <i>combustor</i> dengan <i>sudden expansion</i> , nyala api semakin mendekati step dan tampak semakin lebar serta warna nyala api yang biru terang	Semakin besar diameter out dengan rasio ekuivalen dan kecepatan yang sama, nyala api akan tampak semakin lebar dan biru terang.
Temperatur nyala api	Temperatur terbaik pada rasio diameter 75% (2.6 mm/ 3.5 mm) dengan nilai 895°C	Temperatur terbaik pada rasio diameter 75% (3.5 mm/ 4.7 mm) dengan nilai 1367.16°C

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Panelitian karakteristik pembakaran pada *sudden expansion meso combustor* dengan variasi diameter inlet dengan bahan bakar LPG dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil analisa *flammability limit* pada rasio diameter inlet *combustor* menunjukkan daerah *flammability limit* terluas terdapat pada rasio

diameter inlet *combustor* 75% dimana api dapat menyala dalam rentang rasio ekuivalen ( $\phi$ ) = 1.04 - 1.35 dan nilai kecepatan reaktan ( $v$ ) = 17.51cm/s – 25.43 cm/s. untuk rasio diameter inlet *combustor* 50% api dapat menyala dalam rentang rasio ekuivalen ( $\phi$ ) = 1.09 - 1.25 dan nilai kecepatan reaktan ( $v$ ) = 18.96cm/s – 21.21 cm/s. dan untuk rasio diameter inlet *combustor* 100% api dapat menyala dalam rentang rasio ekuivalen ( $\phi$ ) = 0.89 - 1.25 dan nilai kecepatan reaktan ( $v$ ) = 23.33cm/s – 33.68 cm/s. sehingga dapat dikatakan *combustor* rasio 75% memiliki batas nyala api terluas dan stabilitas nyala api baik.

2. Visualisi nyala api yang terbaik di tunjukkan oleh *combustor* dengan rasio diameter 75% yang memiliki posisi api yang cenderung mendekati step atau *sudden expansion*, karena fungsi *sudden expansion* sendiri sebagai *flame holder*. Diikuti oleh *combustor* dengan rasio diameter 50% karena *sudden expansion* yang terlalu besar mengakibatkan api cenderung terdorong keluar menjauhi *sudden expansion*. *Combustor* rasio diameter 100%, api cenderung berada di luar *combustor* dikarenakan tidak memiliki *sudden expansion*.
3. *Combustor* rasio diameter 100% memiliki temperatur nyala api tertinggi sebesar 1009°C, *combustor* rasio diameter 75% temperatur nyala api 895°C dan *Combustor* rasio diameter 50% memiliki temperatur nyala api paling rendah yaitu pada 807°C. hal ini disebabkan oleh jumlah reaktan yang masuk lebih banyak untuk *combustor* yang memiliki saluran lebih besar.

## 5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Pengembangan penelitian tentang *meso-scale combustion* selanjutnya, dapat meneliti berbagai jenis bahan bakar yang lebih kompleks dan mudah di dapat.

2. Penelitian ini hanya sebatas pustaka dan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya. Untuk peneliti selanjutnya sebaiknya lebih ditingkatkan lagi sehingga terciptanya suatu mekanisme pembangkit skala *micro/meso* yang nyata.



**DAFTAR PUSTAKA**

Badan Pusat Statistik Provinsi DKI Jakarta, 2015. *Statistik Transportasi DKI Jakarta*. Katalog BPS : 8301007.31. <http://jakarta.bps.go.id>.

Fernandez, A. C. dan Pello. 2002. *Micropower Generation Using Combustion Issues And Approaches*. Department of Mechanical Engineering University of California. Berkeley. USA. 29 (2002) 883-899.

- Maruta, K. 2011. Technology development and fundamental research. Tohoku University. Japan. 37(2011) 669-715.
- Mikami, Maeda, Matsui, Seo, dan Yuliati. 2012. Combustion of Gaseous and Liquid Fuels in Meso-Scale Tubes with Wire Mesh. Department of Mechanical Engineering. Yamaguchi University. Japan. Department of Mechanical Engineering, Brawijaya University. Indonesia. 34 (2013) 3387– 3394.
- Moran, M. J. dan Shapiro, H. N. 2004. *Termodinamika Teknik*. Edisi Ke-4. Jakarta: Erlangga.
- Pertamina. 2010. *Komposisi Elpiji Sesuai Spesifikasi & Standar Keselamatan*. <http://www.bumn.go.id/pertamina/berita/471/komposisi.elpiji.sesuai.spesifikasi.standar.keselamatan/>.
- Raditya, Tanpa tahun. *Pengaruh Jarak Antar Wire Mesh Terhadap Karakteristik Pembakaran Pada Meso-scale Combustor*, Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya. Malang.
- Sari, S. 2015. *Pengaruh Diameter Combustor Terhadap Karakteristik Pembakaran pada Meso-scale Combustor dengan Backward Facing Step*. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya. Malang.
- UNEP. 2006. *Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia*. [www.energyefficiencyasia.org](http://www.energyefficiencyasia.org).
- Yang, W. M., Chou, S. K., Shu, C., Li, Z. W., dan Xue, H. 2002. Combustion in Micro-Cylindrical Combustors With and Without a Backward Facing Step. Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore. Singapore. Department of Mechanical Engineering, California State Polytechnic University. USA. 22 (2002) 1777–1787.
- Yang, W. M., Chou, S. K., Shu, C., Xue, H. Li, Z. W., Li, D.T., Pan, J.F., “*Microscale Combustion Research for Application to Micro Thermophotovoltaic Sistem*”, J. Energi Conversion and Management, 44 (2003) p. 2625-2634
- Yang Wenming, Chou Siawkiang, Shu Chang, Xue Hong, Li Zhiwang 2004 “*Effect of wall thickness of micro-combustor on the performance of micro-thermophotovoltaic power generators*”, MSTI, Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore, Singapore 119260,

Singapore, Department of Mechanical Engineering, California State Polytechnic University, 3801 West Temple Avenue, Pomona, CA 91768, USA. 119 (2005) 441–445

Z.W. Li, S.K Chou, C. Shu, H. Xue, W.M. Yang 2004 “*Characteristics of premixed flame in microcombustors with different diameters*”, Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore, 10 Kent Ridge Crescent, Singapore 119260, Singapore, Department of Mechanical Engineering, California State Polytechnic University, 3801 West Temple Avenue, Pomona, CA 91768, USA. 25 (2005) 271–281

Wardana, I. N. G. 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. PT. Danar Wijaya. Malang: Brawijaya University Press.

1. Diketahui dari data tabel 4.1 baris nomor 1 rasio diameter 50%

- Perhitungan rasio ekuivalen

$$AFR_{stoic} = 27,37$$

$$Q_{f \text{ constant}} = 4.25 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amin} = 105.17 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amax} = 107.16 \text{ ml/min}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{4.25 \text{ ml/min} \times 27.37}{105.17 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{lower} = 1.10$$

$$\Phi_{upper} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{upper} = \frac{4.25 \text{ ml/min} \times 27.37}{107.16 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{upper} = 1.08$$

- Kecepatan reaktan minimum

$$V_{total} (min) = \frac{Q_a (min) + Q_f}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (min) = \frac{105.17 \text{ ml/min} + 4.25 \text{ ml/min}}{\frac{3.14 \times (1.75^2)}{100} \text{ cm}^2}$$

$$V_{total} (min) = 18.96 \text{ cm/s}$$

- Kecepatan reaktan maksimum

$$V_{total} (max) = \frac{Q_a (max) + Q_f}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (max) = \frac{107.16 \text{ ml/min} + 4.25 \text{ ml/min}}{\frac{3.14 \times (1.75^2)}{100} \text{ cm}^2}$$

$$V_{total} (max) = 19.31 \text{ cm/s}$$

2. Diketahui dari data tabel 4.1 baris nomor 2 rasio diameter 50%

- Perhitungan rasio ekuivalen

$$AFR_{stoic} = 27,37$$

$$Q_{f \text{ constant}} = 4.54 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amin} = 107.16 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amax} = 110.15 \text{ ml/min}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{4.54 \text{ ml/min} \times 27.37}{107.16 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{lower} = 1.13$$

$$\Phi_{upper} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{upper} = \frac{4.54 \text{ ml/min} \times 27.37}{110.15 \text{ ml/min}}$$



$$\Phi_{upper} = 1.16$$

- Kecepatan reaktan minimum

$$V_{total} (min) = \frac{Q_a (min) + Q_f}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (min) = \frac{107.16 \text{ ml/min} + 4.54 \text{ ml/min}}{\frac{3.14 \times (1.75^2)}{100} \text{ cm}^2}$$

$$V_{total} (min) = 19.36 \text{ cm/s}$$

- Kecepatan reaktan maksimum

$$V_{total} (max) = \frac{Q_a (max) + Q_f}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (max) = \frac{110.15 \text{ ml/min} + 4.54 \text{ ml/min}}{\frac{3.14 \times (1.75^2)}{100} \text{ cm}^2}$$

$$V_{total} (max) = 19.88 \text{ cm/s}$$

3. Diketahui dari data tabel 4.1 baris nomor 2 rasio diameter 50%

- Perhitungan rasio ekuivalen

$$AFR_{stoic} = 27,37$$

$$Q_{f \text{ constant}} = 5.25 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amin} = 115.14 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amax} = 117.13 \text{ ml/min}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{5.25 \text{ ml/min} \times 27.37}{115.14 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{lower} = 1.23$$

$$\Phi_{upper} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{upper} = \frac{5.25 \text{ ml/min} \times 27.37}{117.13 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{upper} = 1.25$$

- Kecepatan reaktan minimum

$$V_{total} (min) = \frac{Q_a (min) + Q_f}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (min) = \frac{115.14 \text{ ml/min} + 5.25 \text{ ml/min}}{\frac{3.14 \times (1.75^2)}{100} \text{ cm}^2}$$

$$V_{total} (min) = 20.28 \text{ cm/s}$$

- Kecepatan reaktan maksimum

$$V_{total} (max) = \frac{Q_a (max) + Q_f}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (max) = \frac{115.14 \text{ ml/min} + 5.25 \text{ ml/min}}{\frac{3.14 \times (1.75^2)}{100} \text{ cm}^2}$$

$$V_{total} (max) = 21.21 \text{ cm/s}$$

4. Diketahui dari data tabel 4.1 baris nomor 2 rasio diameter 50%

- Perhitungan rasio ekuivalen

$$AFR_{stoic} = 27,37$$

$$Q_{f \text{ constant}} = 3.82 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amin} = 97.20 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amax} = 100.19 \text{ ml/min}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{3.82 \text{ ml/min} \times 27.37}{97.20 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{lower} = 1.04$$

$$\Phi_{upper} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{upper} = \frac{3.82 \text{ ml/min} \times 27.37}{100.19 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{upper} = 1.08$$

- Kecepatan reaktan minimum

$$V_{total} (min) = \frac{Q_a (min) + Q_f}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (min) = \frac{97.20 \text{ ml/min} + 3.82 \text{ ml/min}}{\frac{3.14 \times (1.75 \text{ cm})^2}{100}}$$

$$V_{total} (min) = 17.51 \text{ cm/s}$$

- Kecepatan reaktan maksimum

$$V_{total} (max) = \frac{Q_a (max) + Q_f}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (max) = \frac{97.20 \text{ ml/min} + 3.82 \text{ ml/min}}{\frac{3.14 \times (1.75 \text{ cm})^2}{100}}$$

$$V_{total} (max) = 18.03 \text{ cm/s}$$

5. Diketahui dari data tabel 4.1 baris nomor 2 rasio diameter 50%

- Perhitungan rasio ekuivalen

$$AFR_{stoic} = 27.37$$

$$Q_{f \text{ constant}} = 4.54 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amin} = 100.19 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amax} = 112.15 \text{ ml/min}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{4.54 \text{ ml/min} \times 27.37}{100.19 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{lower} = 1.11$$

$$\Phi_{upper} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{upper} = \frac{4.54 \text{ ml/min} \times 27.37}{112.15 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{upper} = 1.24$$

- Kecepatan reaktan minimum

$$V_{total} (min) = \frac{Q_a (min) + Q_f}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (min) = \frac{100.19 \text{ ml/min} + 4.54 \text{ ml/min}}{\frac{3.14 \times (1.75^2)}{100} \text{ cm}^2}$$

$$V_{total} (min) = 18.15 \text{ cm/s}$$

- Kecepatan reaktan maksimum

$$V_{total} (max) = \frac{Q_a (max) + Q_f}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (max) = \frac{112.15 \text{ ml/min} + 4.54 \text{ ml/min}}{\frac{3.14 \times (1.75^2)}{100} \text{ cm}^2}$$

$$V_{total} (max) = 20.22 \text{ cm/s}$$

6. Diketahui dari data tabel 4.1 baris nomor 2 rasio diameter 50%

- Perhitungan rasio ekuivalen

$$AFR_{stoic} = 27.37$$

$$Q_{f \text{ constant}} = 5.25 \text{ ml/min}$$

$$Q_{a \text{ min}} = 107.16 \text{ ml/min}$$

$$Q_{a \text{ max}} = 125.11 \text{ ml/min}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{5.25 \text{ ml/min} \times 27.37}{107.16 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{lower} = 1.15$$

$$\Phi_{upper} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{upper} = \frac{5.25 \text{ ml/min} \times 27.37}{125.11 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{upper} = 1.34$$

- Kecepatan reaktan minimum

$$V_{total} (min) = \frac{Q_a (min) + Q_f}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (min) = \frac{107.16 \text{ ml/min} + 5.25 \text{ ml/min}}{\frac{3.14 \times (1.75^2)}{100} \text{ cm}^2}$$

$$V_{total} (min) = 19.48 \text{ cm/s}$$

- Kecepatan reaktan maksimum

$$V_{total} (max) = \frac{Q_a (max) + Q_f}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (max) = \frac{125.11 \text{ ml/min} + 5.25 \text{ ml/min}}{\frac{3.14 \times (1.75^2)}{100} \text{ cm}^2}$$

$$V_{total} (max) = 22.59 \text{ cm/s}$$

7. Diketahui dari data tabel 4.1 baris nomor 2 rasio diameter 50%

- Perhitungan rasio ekuivalen

$$AFR_{stoic} = 27.37$$

$$Q_{f \text{ constant}} = 5.96 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amin} = 117.13 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amax} = 135.07 \text{ ml/min}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{5.96 \text{ ml/min} \times 27.37}{117.13 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{lower} = 1.21$$

$$\Phi_{upper} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{upper} = \frac{5.96 \text{ ml/min} \times 27.37}{135.07 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{upper} = 1.39$$

- Kecepatan reaktan minimum

$$V_{total} (min) = \frac{Q_a (min) + Q_f}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (min) = \frac{117.13 \text{ ml/min} + 5.96 \text{ ml/min}}{\frac{3.14 \times (1.75^2)}{100} \text{ cm}^2}$$

$$V_{total} (min) = 21.33 \text{ cm/s}$$

- Kecepatan reaktan maksimum

$$V_{total} (max) = \frac{Q_a (max) + Q_f}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (max) = \frac{135.07 \text{ ml/min} + 5.96 \text{ ml/min}}{\frac{3.14 \times (1.75^2)}{100} \text{ cm}^2}$$

$$V_{total} (max) = 24.44 \text{ cm/s}$$

8. Diketahui dari data tabel 4.1 baris nomor 2 rasio diameter 50%

- Perhitungan rasio ekuivalen

$$AFR_{stoic} = 27.37$$

$$Q_{f \text{ constant}} = 6.68 \text{ ml/min}$$

$$Q_{a \text{ min}} = 135.07 \text{ ml/min}$$

$$Q_{a \text{ max}} = 140.06 \text{ ml/min}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{6.68 \text{ ml/min} \times 27.37}{135.07 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{lower} = 1.31$$

$$\Phi_{upper} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{upper} = \frac{6.68 \text{ ml/min} \times 27.37}{140.06 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{upper} = 1.35$$

- Kecepatan reaktan minimum

$$V_{total} (min) = \frac{Q_a (min) + Q_f}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (min) = \frac{135.07 \text{ ml/min} + 6.68 \text{ ml/min}}{\frac{3.14 \times (1.75^2)}{100} \text{ cm}^2}$$

$$V_{total} (min) = 24.57 \text{ cm/s}$$

- Kecepatan reaktan maksimum

$$V_{total} (max) = \frac{Q_a (max) + Q_f}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (max) = \frac{140.06 \text{ ml/min} + 6.68 \text{ ml/min}}{\frac{3.14 \times (1.75^2)}{100} \text{ cm}^2}$$

$$V_{total} (max) = 25.43 \text{ cm/s}$$

9. Diketahui dari data tabel 4.1 baris nomor 2 rasio diameter 50%

- Perhitungan rasio ekuivalen

$$AFR_{stoic} = 27,37$$

$$Q_{f \text{ constant}} = 4.54 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amin} = 130.09 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amax} = 140.06 \text{ ml/min}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{4.54 \text{ ml/min} \times 27.37}{130.09 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{lower} = 0.89$$

$$\Phi_{upper} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{upper} = \frac{4.54 \text{ ml/min} \times 27.37}{140.06 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{upper} = 0.95$$

- Kecepatan reaktan minimum

$$V_{total} (min) = \frac{\frac{Q_a (min) + Q_f}{60 \text{ s}}}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (min) = \frac{\frac{130.09 \text{ ml/min} + 4.54 \text{ ml/min}}{60 \text{ s}}}{\frac{3.14 \times (1.75 \text{ cm})^2}{100}}$$

$$V_{total} (min) = 23.33 \text{ cm/s}$$

- Kecepatan reaktan maksimum

$$V_{total} (max) = \frac{\frac{Q_a (max) + Q_f}{60 \text{ s}}}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (max) = \frac{\frac{140.06 \frac{\text{ml}}{\text{min}} + 4.54 \text{ ml/min}}{60 \text{ s}}}{\frac{3.14 \times (1.75 \text{ cm})^2}{100}}$$

$$V_{total} (max) = 25.06 \text{ cm/s}$$

10. Diketahui dari data tabel 4.1 baris nomor 2 rasio diameter 50%

- Perhitungan rasio ekuivalen

$$AFR_{stoic} = 27.37$$

$$Q_{f \text{ constant}} = 5.25 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amin} = 137.07 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amax} = 159.99 \text{ ml/min}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{5.25 \text{ ml/min} \times 27.37}{137.07 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{lower} = 0.90$$

$$\Phi_{upper} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{upper} = \frac{5.25 \text{ ml/min} \times 27.37}{159.99 \text{ ml/min}}$$



$$\Phi_{upper} = 1.05$$

- Kecepatan reaktan minimum

$$V_{total} (min) = \frac{\frac{Q_a (min) + Q_f}{60 \text{ s}}}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (min) = \frac{\frac{137.07 \text{ ml/min} + 5.25 \text{ ml/min}}{60 \text{ s}}}{\frac{3.14 \times (1.75 \text{ cm})^2}{100}}$$

$$V_{total} (min) = 24.67 \text{ cm/s}$$

- Kecepatan reaktan maksimum

$$V_{total} (max) = \frac{\frac{Q_a (max) + Q_f}{60 \text{ s}}}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (max) = \frac{\frac{159.99 \frac{\text{ml}}{\text{min}} + 5.25 \text{ ml/min}}{60 \text{ s}}}{\frac{3.14 \times (1.75 \text{ cm})^2}{100}}$$

$$V_{total} (max) = 28.64 \text{ cm/s}$$

11. Diketahui dari data tabel 4.1 baris nomor 2 rasio diameter 50%

- Perhitungan rasio ekuivalen

$$AFR_{stoic} = 27.37$$

$$Q_{f \text{ constant}} = 5.96 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amin} = 142.05 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amax} = 176.94 \text{ ml/min}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{5.96 \text{ ml/min} \times 27.37}{142.05 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{lower} = 0.92$$

$$\Phi_{upper} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{upper} = \frac{5.96 \text{ ml/min} \times 27.37}{176.94 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{upper} = 1.15$$

- Kecepatan reaktan minimum

$$V_{total} (min) = \frac{\frac{Q_a (min) + Q_f}{60 \text{ s}}}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (min) = \frac{\frac{142.05 \text{ ml/min} + 5.96 \text{ ml/min}}{60 \text{ s}}}{\frac{3.14 \times (1.75 \text{ cm})^2}{100}}$$

$$V_{total} (min) = 25.65 \text{ cm/s}$$

- Kecepatan reaktan maksimum

$$V_{total} (max) = \frac{\frac{Q_a (max) + Q_f}{60 \text{ s}}}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (max) = \frac{\frac{176.94 \frac{\text{ml}}{\text{min}} + 5.96 \text{ ml/min}}{60 \text{ s}}}{\frac{3.14 \times (1.75 \text{ cm})^2}{100}}$$

$$V_{total} (max) = 31.70 \text{ cm/s}$$

12. Diketahui dari data tabel 4.1 baris nomor 2 rasio diameter 50%

- Perhitungan rasio ekuivalen

$$AFR_{stoic} = 27.37$$

$$Q_{f \text{ constant}} = 6.68 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amin} = 150.03 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amax} = 184.91 \text{ ml/min}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{6.68 \text{ ml/min} \times 27.37}{150.03 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{lower} = 0.99$$

$$\Phi_{upper} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{upper} = \frac{6.68 \text{ ml/min} \times 27.37}{184.91 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{upper} = 1.22$$

- Kecepatan reaktan minimum

$$V_{total} (min) = \frac{\frac{Q_a (min) + Q_f}{60 \text{ s}}}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (min) = \frac{\frac{150.03 \text{ ml/min} + 6.68 \text{ ml/min}}{60 \text{ s}}}{\frac{3.14 \times (1.75 \text{ cm})^2}{100}}$$

$$V_{total} (min) = 27.16 \text{ cm/s}$$

- Kecepatan reaktan maksimum

$$V_{total} (max) = \frac{\frac{Q_a (max) + Q_f}{60 \text{ s}}}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (max) = \frac{\frac{184.91 \frac{\text{ml}}{\text{min}} + 6.68 \text{ ml/min}}{60 \text{ s}}}{\frac{3.14 \times (1.75 \text{ cm})^2}{100}}$$

$$V_{total} (max) = 33.21 \text{ cm/s}$$

13. Diketahui dari data tabel 4.1 baris nomor 2 rasio diameter 50%

- Perhitungan rasio ekuivalen

$$AFR_{stoic} = 27.37$$

$$Q_{f \text{ constant}} = 7.39 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amin} = 161.99 \text{ ml/min}$$

$$Q_{amax} = 168.91 \text{ ml/min}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{lower} = \frac{7.39 \text{ ml/min} \times 27.37}{161.99 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{lower} = 1.08$$

$$\Phi_{upper} = \frac{Q_{bb \text{ act}} \times AFR_{stoic}}{Q_{udara \text{ act}}}$$

$$\Phi_{upper} = \frac{7.39 \text{ ml/min} \times 27.37}{168.91 \text{ ml/min}}$$

$$\Phi_{upper} = 1.25$$

- Kecepatan reaktan minimum

$$V_{total} (min) = \frac{Q_a (min) + Q_f}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (min) = \frac{161.99 \text{ ml/min} + 7.39 \text{ ml/min}}{\frac{3.14 \times (1.75^2)}{100} \text{ cm}^2}$$

$$V_{total} (min) = 29.36 \text{ cm/s}$$

- Kecepatan reaktan maksimum

$$V_{total} (max) = \frac{Q_a (max) + Q_f}{\frac{3.14 \times r^2}{100}}$$

$$V_{total} (max) = \frac{168.91 \frac{\text{ml}}{\text{min}} + 7.39 \text{ ml/min}}{\frac{3.14 \times (1.75^2)}{100} \text{ cm}^2}$$

$$V_{total} (max) = 33.68 \text{ cm/s}$$

Lampiran 1 Data Persentase Gas Propana Dan Butana Dalam *Liquified Petroleum Gas* (LPG)

DEPARTEMEN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL REPUBLIK INDONESIA  
 BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL  
 PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MINYAK DAN GAS BUMI

KELompok Teknologi Analisis Gas  
 JL. CILEDUG RAYA CIFULUR KEBAYORAN LAMA JAKARTA SELATAN 12230 INDONESIA  
 PO BOX 1688, JAKARTA 10018, INDONESIA PHONE: 7398276 (direct line), 7394422 EXT. 1679, 1660, 1663, FAX: 021-7246150

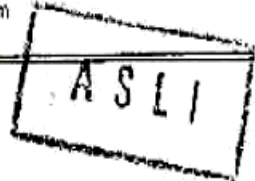
PT. PERTAMINA LUBRICANTS



LABORATORIUM PRODUCTION UNIT GRESIK

Jalan Harun Tohir Desa Pulau Pancikan Gresik - 61113

Phone 031-3293892, Fax. 031-3294965, Email : labplm@pertamina.com



**CERTIFICATE OF ANALYSIS**

Type of Sample	: LPG MIX	COA No	: 0193/PL2703/COA-G/2014
Customer	: LPG & Gas Products Region V	Date of COA	: 04.02.2014
Ex. Storage Location	: Tanki Timbun III A (MT/LPG C NAVIGATOR GLOBAL)	Sample Drawned by	: -
Sample No.	: -	Sample Drawned	: -
Sample Delivery No	: 08/T15451/TD-B/02/2014	Received Date	: 03.02.2014
Sample Delivery Date	: 29.01.2014	Type Test	: -

NO	TEST	UNIT	METHOD	LIMIT	RESULT
1	Specific Gravity at 60 / 60 °F	-	ASTM D 1657	Reported	-
2	Vapor Pressure at 100 °F	psig	ASTM D 1267	Max. 145	106
3	Copper Corrosion 1 hr / 100 °F	-	ASTM D 1838	ASTM No. 1	ASTM No. 1
4	Composition :		ASTM D 2163 Gas Chromatography		
	C2	% Vol		Max. 0.8	0,11
	C3			-	49,57
	C4			-	50,11
	C5	% Vol		Max. 2.0	0,21
5.	Molekul Weight ( in Liquid )	-	-	-	50,17

Note : This report relates only to the sample tested and does not guarantee the bulk of material to be of equality.

\*) Sesuai dengan Spesifikasi Dirjen Migas No. 22394.K/10/DJM.T/2009, terggal 11 Nopember 2009

Distribusi :

To : LPG & Gas Products Region V

Cc : File

Surabaya, 04 April 2013  
Junior Analyst (C) Lab. Prod. Unit Gresik

M. BORO TP.

## LEMIGAS

LABORATORIUM KELOMPOK TEKNOLOGI ANALISIS GAS

JALAN CILEDUG RAYA KAVELING 109 - CIPULIR - KEBAYORAN LAMA - JAKARTA SELATAN 12230  
TELEPON: 62-21-7364422 ext. 1658, 1660, 1661 FAKSIMILE: 62-21-7346150

---

Jakarta, 23 Desember 2014

Yang terhormat,

HSE Manager  
PT. Optima Sinergi Comvestama  
Gandaria 8 Office Building  
Lantai 18 Blok G - H

Telepon 021 - 2930 3800/ 3734  
Fax 021 - 2930 3736  
Hp. 0812 9096 733

Up. Bapak Herclif Sayan

Sehubungan dengan service order Saudara Nomor 022-SO-100-JKT-XII-2014 tanggal 22 Desember 2014 hal analisis gas LPG, bersama ini kami sampaikan Laporan Hasil Uji Nomor 274/9.2/LHU/XII/2014 mengenai analisis komposisi gas LPG dimaksud yang sampelnya kami terima pada tanggal 22 Desember 2014.

Terkait dengan hal tersebut, terlampir kami sampaikan pula Lembaran Pengukuran Kepuasan Pelanggan untuk diisi dan dikembalikan ke PPPTMGB "LEMIGAS" pada kesempatan pertama.

Atas perhatian dan kerja sama Saudara, kami ucapkan terima kasih.

Kepala Kelompok Teknologi Analisis Gas,



Dra. Yayun Andriani, M.Si

PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MINYAK DAN GAS BUMI "LEMIGAS"

## LEMIGAS LABORATORIUM PPPTMGB "LEMIGAS"

JL. CILEDUG RAYA CIPULUR-KEBAYORAN LAMA JAKARTA SELATAN 12230 INDONESIA  
P.O. BOX 5280/LK1, JAKARTA TIMUR, INDONESIA PHONE: 7394322 (dialok Dulu), 7394322 ext. 5401, 5402, 5403 TELEKS: 47148, 47171 FAX: 621-7248198

### LAPORAN HASIL UJI LABORATORIUM REPORT OF LABORATORY TEST RESULT

No. Arsip/Archive Number : 2479.20072014 Satuan Kerja : IP3 Teknologi Gas  
Nomor PK/Work Order Number : 022-SO-100-JKT-XII-2014 Kelompok/Group : BLM 9.2

DISAPKAN UNTUK PELANGGAN/PREPARED FOR CUSTOMER

Nama/Name : Bapak Herclif Sayan – HSE Manager  
Alamat/Address : PT. Optima Sinergi Comvestama  
Gandaria 8 Office Building Lantai 16 Blok G - H  
Nomor Telepon/Phone No(s) : 021 – 2930 3800/ 3734  
Nomor Facsimile/Fax. No(s) : 021 – 2930 3738  
Nomor Surat Permintaan/No. of service/Work Order Letter : 022-SO-100-JKT-XII-2014  
Tanggal Permintaan/Date of Order : 22 Desember 2014

#### IDENTIFIKASI LAPORAN HASIL UJI/REPORT IDENTIFICATION

Lokasi Pengujian/Place Of Testing : Laboratorium Teknologi Analisis Gas  
Nomor Laporan (LHU)/Report Number : 274/9.2/LHU/XII/2014  
Disiapkan oleh/Prepared by : Dwi Novrianti, SE  
Disahkan oleh/Authorized by : Dra. Yayun Andriani, M.Si  
Tanggal Penerbitan/Date of issued : 23 Desember 2014

#### DATA PERCONTOHAN/SAMPLE DATA

Nomor/Number : 448/9.2/C/XII/2014  
Jenis/Type : LPG  
Identifikasi/Identification :  
Jumlah/Quantity (volume) : Satu  
Tanggal Sampling/Sampling Date : 20 Desember 2014  
PPC/Sampler : Pihak PT. Optima Sinergi Comvestama  
Metode Sampling/Sampling Method :  
Tanggal Diterima/Received Date : 22 Desember 2014  
Tanggal Analisa/Date of Analysis : 23 Desember 2014  
Jenis Pengujian/Test Type : Terlampir  
Metode Uji Test Method : Terlampir

#### LAPORAN HASIL UJI selengkapnya disajikan pada halaman berikut:

The detailed report of the laboratory testing result is presented on the following pages  
Lampiran. 2 (dua) Lembar Hasil Uji

Disahkan Oleh/Authorized by  
Ketua Kelompok Teknologi Analisis Gas / Head of Analytical Gas Technology Group

(Dra. Yayun Andriani, M.Si)  
Tanggal/Date 23 Desember 2014

Sebelum menerima data laporan, dan informasi lainnya yang dilakukan pada analisis laboratorium akan dianggap kerahasiaannya. Menganggap sebagai atau keseluruhan laporan hanya bisa dibagikan dengan izin tertulis dan persetujuan.  
All reports, data, reports, and other information conducted in the laboratory analysis shall be treated as confidential. Copy of part or none of the report Hasil pengujian hanya berlaku untuk percobaan yang diterima, dan bukan untuk kepentingan iklan maupun promosi.  
This Result valid only for sample received, and not for promotion or solicitation

No Form	F 10 DRK 65-A
No Revisi	01
Halaman	1 dari 1

## Dokumentasi Tim Riset di Laboratorium Mesin – Mesin Fluida Universitas Brawijaya Malang







