



**PENGARUH VARIASI DIAMETER OUTPUT MESO-SCALE  
COMBUSTOR DENGAN SUDDEN EXPANSION TERHADAP  
HEAT LOSSES PADA PEMBAKARAN GAS LPG**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
Untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)  
Dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Iskandar Akbar  
NIM. 131910101059**

**PROGRAM STUDI STRATA - 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**

## PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan rasa syukur kehadirat Allah SWT, skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Orang tua, saudara-saudari kandung, serta keluarga besar saya yang sangat saya cintai.
2. Guru TK, SD, SMP, dan SMA saya.
3. Dosen dan Staf almamater tercinta jurusan teknik mesin fakultas teknik universitas negeri jember.
4. Teman-teman TK, SD, SMP, SMA, kuliah, teman-teman kontrakan, teman-teman nongkrong, dan teman-teman lainnya.
5. Dan semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan baik dalam penelitian dan pengerjaan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu.

Sekali lagi saya ucapkan banyak terimakasih yang telah diberikan kepada saya, semoga mendapatkan balasan yang jauh lebih baik dari Allah SWT.

**MOTO**

“Pertarungan adalah milik orang-orang yang gigih. Jangan biarkan teman-teman ataupun keadaan mengalahkan anda”

(William V. Crouch)<sup>\*)</sup>

“Gantungkan cita-citamu setinggi langit! Bermimpilah setinggi langit. Jika engkau jatuh, engkau akan jatuh diantara bintang-bintang”

(Ir.Soekarno)<sup>\*\*)</sup>

---

<sup>\*)</sup> William V. Crouch dalam Imelda Saputra, 2011. *30 Renungan Tentang Dunia Kerja*. Jakarta: PT BIP.

<sup>\*\*)</sup> Ir.Soekarno dalam Ginandjar Kartasasmita, 1981. *30 Tahun Indonesia Merdeka 1945-1949 (Jilid 1)*, Jakarta: PT Tira Pustaka.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Iskandar Akbar

Nim : 131910101059

Menyatakan dengan sesungguhnya, bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Diameter Output Meso-Scale Combustor dengan Sudden Expansion terhadap Heat Losses pada Pembakaran Gas LPG” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang saya sudah cantumkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang di junjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, dalam keadaan sadar, tanpa tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik apabila ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 18 september 2019

Yang menyatakan,

(Iskandar Akbar)

NIM 131910101059

**SKRIPSI**

**PENGARUH VARIASI DIAMETER OUTPUT MESO-SCALE  
COMBUSTOR DENGAN SUDDEN EXPANSION TERHADAP  
HEAT LOSSES PADA PEMBAKARAN GAS LPG**

Oleh

Iskandar Akbar  
NIM. 131910101059

**PEMBIMBING**

Dosen Pembimbing Utama : Ahmad Adib Rosyadi S.T., M.T.  
Dosen Pembimbing Anggota : Hari Arbiantara Basuki S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Diameter Output Meso-Scale Combustor dengan Sudden Expansion terhadap Heat Losses pada Pembakaran Gas LPG” telah diuji dan di sahkan pada:

Hari, tanggal : Rabu, 18 September 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Negeri Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Ahmad Adib Rosyadi S.T., M.T.

Hari Arbiantara Basuki S.T., M.T.

NIP. 198501172012121001

NIP. 196709241994121001

Anggota I,

Anggota II,

Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.

NIP. 197111141999031002

NIP. 197002281997021001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM.

NIP. 196612151995032001

**RINGKASAN**

**Pengaruh Variasi Diameter Output Meso-Scale Combustor dengan Sudden Expansion Terhadap Heat Losses pada Pembakaran Gas LPG**, Iskandar Akbar, 131910101059; 2019: 129 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Jember.

Perkembangan teknologi yang pesat telah 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. *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).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi diameter *output* saluran *sudden expansion* terhadap *heat losses* pembakaran pada *meso-scale combustor*, yang diperoleh dari temperatur nyala api dan temperatur dinding *combustor*. Pada *combustor* yang digunakan terdiri dari dua bagian, yaitu sisi *input* (memiliki ukuran 4,5 mm) sebagai tempat bercampurnya bahan bakar dan udara (*inlet*) dan sisi *output* sebagai saluran *sudden expansion* sekaligus sebagai ruang

bakar dari *combustor* (*outlet*) yang divariasikan yaitu 5 mm, 5,5 mm dan 6 mm. Material *combustor* terbuat dari bahan tembaga, selanjutnya dilakukan pengujian pada masing-masing *combustor* dengan mengatur perbandingan debit bahan bakar dan udara. Variasi diameter *output meso-scale combustor* dengan *sudden expansion* diharapkan dapat menunjukkan energi pembakaran, efisiensi hasil pembakaran serta *heat losses* hasil pembakaran, sehingga dapat diketahui dari ketiga jenis *combustor* tersebut yang memiliki tingkat *heat losses* paling rendah dan konsumsi bahan bakar yang paling efisien.

Dari pengujian, pembahasan dan analisis yang telah dilakukan menghasilkan kesimpulan bahwa kestabilan pembakaran pada *combustor* yaitu dengan *backward facing step (sudden expansion)* dapat meningkatkan proses pencampuran udara dan bahan bakar dan memperlama *residence time*. Hasil dari analisis energi *output* pembakaran gas LPG pada *meso-scale combustor* untuk ukuran *combustor* 5 mm menunjukkan nilai efisiensi pembakaran yang tinggi yaitu 98,97% serta rendahnya tingkat kehilangan panas (*heat losses*) yaitu sebesar  $1,0904262108812 \times 10^{-6}$  W. Kesimpulan tersebut membuktikan bahwa *combustor* dengan *backward facing step (sudden expansion)* memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap temperatur pembakaran, efisiensi pembakaran serta *heat losses* pada *combustor*.



## SUMMARY

**Influence Variation of Output Diameter Meso-Scale Combustor with Sudden Expansion of Heat Losses on LPG Gas Combustion**, Iskandar Akbar, 131910101059; 2019:129 pages; Department of Mechanical Engineering Faculty of the State University of Jember.

Rapid technological developments have been forcing research in all fields of science and technology to continuously innovate. No, except for the need for a *micro-power generator* in the field of electrical energy generation is packaged into a *power-cell/baterai*. The *meso-scale combustor* is a burning chamber that has a very small size when compared to the common fuel space as we know it during this time such as gasoline and *diesel* motors. *Meso-scale combustor* has a slightly larger size *micro-combustor*. Where one limitation of the *micro combustor* size is the length of the scale is smaller than the *quenching fuel distance* used. *Quenching distance* is a minimum distance that can still occur *flame propagation*. The energy source of *micro-power generators* is the thermal energy of *micro* and *meso-scale combustor* which is later converted into electrical energy (Wirahadi, 2013).

The purpose of this research is to determine the influence of the diameter variation of the *output* of *sudden expansion* of the combustion *heat losses* on *meso-scale combustor*, obtained from the temperature flame and wall temperature combustor. In *Combustor* is used consist of two parts, namely the *input* side (has a size of 4.5 mm) as a place to mix the fuel and air (*inlet*) and the *output* side as a *sudden expansion channel* as well as the burning room of *combustor* (*outlet*) is varied by 5 mm, 5.5 mm and 6 mm. Material *combustor* made of copper material, then carried out testing in each Combustor by regulating the fuel and air discharge

comparisons. The variation in the diameter of the *combustor meso-scale output* with *sudden expansion* is expected to demonstrate combustion energy, combustion efficiency and combustion heat losses, so that it can be known from all three types *the combustor* has the lowest level of *heat losses* and the most efficient fuel consumption.

From testing, the discussion and analysis that has been done resulted in the conclusion that the combustion stability in the *combustor* is that with *backward facing step (sudden expansion)* can increase the process of mixing air and fuel and extended the *residence time*. Results of the *output energy ANALYSIS* of LPG gas combustion on *meso-scale combustor* for a size *combustor* 5 mm showed a high combustion efficiency value of 98.97% and low levels of heat loss (*Heat losses*) are  $1,0904262108812 \times 10^{-6}$  W. The conclusion proves that *combustor* with *backward facing step (sudden expansion)* has considerable influence on combustion temperature, combustion efficiency and *heat losses* on *combustor*.

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Diameter *Output Meso-Scale Combustor* dengan *Sudden Expansion* terhadap *Heat Losses* pada Pembakaran Gas LPG”. Skripsi ini disusun demi memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis secara pribadi menyampaikan terimakasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia serta hidayah-Nya dan semoga sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW.
2. Kedua orang tua saya serta saudara-saudari kandung saya serta keluarga besar yang tidak pernah lelah memberikan semangat, doa, dukungan moril dan materil serta kasih sayang yang teramat besar kepada saya.
3. Bapak Andi Sanata, S.T., M.T. selaku pembimbing latar skripsi saya
4. Dosen pembimbing saya, yaitu bapak Ahmad Adib Rosyadi S.T., M.T. dan bapak Hari Arbiantara Basuki S.T., M.T. yang telah banyak memberikan bimbingan sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Dosen penguji saya, yaitu bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. dan bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T. yang tidak pernah lelah memberikan kritik dan saran sehingga penelitian dan penulisan skripsi ini menjadi lebih baik.
6. Seluruh dosen dan staf pengajar jurusan teknik mesin universitas jember yang telah banyak memberikan pengalaman ilmunya kepada saya.

7. Tim skripsi meso combustion (Rahmad Dwi, Eranio, Danang Muharyanto) yang banyak memberikan bantuan dan masukan dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini.
8. Teman-teman teknik mesin umumnya dan teman-teman teknik mesin angkatan 2013 khususnya, saya mengucapkan banyak terimakasih yang telah banyak memberikan semangat serta doanya.
9. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan baik dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu-satu.

Sekali lagi penulis ucapkan banyak terimakasih yang telah diberikan kepada penulis, semoga mendapatkan balasan yang jauh lebih baik dari Allah SWT. \

Dengan segala kerendahan hati, penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, khususnya civitas akademisi di lingkungan Universitas Negeri Jember tercinta.

Jember, 18 september 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	ii
HALAMAN MOTTO .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN .....	v
HALAMAN PENGESAHAN .....	vi
HALAMAN RINGKASAN .....	vii
PRAKATA .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
DAFTAR SIMBOL.....	xx
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b>	
<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 Penelitian</b> .....	3
1.4.1 Tujuan .....	3
1.4.2 Manfaat .....	3
<b>1.5 Sistematika Pembahasan</b> .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
<b>2.1 Penelitian Sebelumnya</b> .....	4
<b>2.2 Meso Scale-Combustor dengan Sudden Expansion</b> .....	4
<b>2.3 Proses Pembakaran</b> .....	7

2.3.1 Klasifikasi Proses Pembakaran Berdasarkan Cara Pencampuran Reaktan dan Pengoksidasi.....	9
2.3.2 Klasifikasi Pembakaran Berdasarkan Sifat Reaksi Kimia	9
2.3.3 Reaksi Kimia Dalam Pembakaran .....	10
<b>2.4 Bahan Bakar Gas</b> .....	11
2.4.1 Gas Propana .....	12
2.4.2 Gas Butana.....	12
2.4.3 Gas LPG ( <i>Liquified Petroleum Gas</i> ).....	13
<b>2.5 Rasio Udara-Bahan Bakar (<i>Air-Fuel Ratio/AFR</i>)</b> .....	14
<b>2.6 <i>Equivalence Ratio</i> (<math>\Phi</math>)</b> .....	15
<b>2.7 <i>Flammability Limit</i></b> .....	16
<b>2.8 Mekanika Fluida</b> .....	17
2.8.1 Fluida Statis dan Fluida Dinamis.....	18
2.8.2 Sifat Dasar Fluida.....	18
<b>2.9 Aliran Fluida</b> .....	20
2.9.1 Klasifikasi Aliran .....	20
2.9.2 Kecepatan dan Kapasitas Aliran Fluida .....	20
2.9.3 Aliran Laminar dan Aliran Turbulen .....	22
<b>2.10 Perpindahan Kalor</b> .....	24
2.10.1 Perpindahan Kalor Konduksi .....	25
2.10.2 Perpindahan Kalor Konveksi.....	26
<b>2.11 Hipotesa</b> .....	28

### **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

<b>3.1 Metode Penelitian</b> .....	29
<b>3.2 Waktu dan Tempat Penelitian</b> .....	29
<b>3.3 Variabel Penelitian</b> .....	29
3.3.1 Variabel Bebas .....	29
3.3.2 Variabel Terikat .....	29

<b>3.4</b>	<b>Alat dan Bahan .....</b>	29
	3.4.1 Alat.....	29
	3.4.2 Bahan .....	35
<b>3.5</b>	<b>Skema Penelitian.....</b>	36
<b>3.6</b>	<b>Prosedur Penelitian.....</b>	36
<b>3.7</b>	<b>Diagram Alir Penelitian.....</b>	38
<b>3.8</b>	<b>Penyajian dan Pengolahan Data Penelitian.....</b>	39
	3.8.1 Kalibrasi <i>Flowmeter</i> .....	39
	3.8.2 Penyajian Data Penelitian Pada <i>Meso-Scale Combustor</i> ...	39
	3.8.3 Pengolahan Data Penelitian .....	40
<b>3.9</b>	<b>Jadwal Kegiatan Penelitian .....</b>	42
<b>BAB 4. PEMBAHASAN</b>		
<b>4.1</b>	<b>Data Hasil Penelitian.....</b>	44
<b>4.2</b>	<b>Pengolahan Data .....</b>	46
	4.2.1 Perhitungan Beban Hambatan <i>Thermal</i> pada <i>Combustor</i> .....	46
	4.2.2 Perhitungan Energi Input Pembakaran.....	47
	4.2.3 Perhitungan Energi <i>Output</i> Pembakaran .....	47
	4.2.4 Perhitungan Energi <i>Output</i> Pada Dinding Luar <i>Combustor</i> .....	47
	4.2.5 Perhitungan Energi <i>Output</i> Total Pembakaran pada <i>Combustor</i> .....	48
	4.2.6 Perhitungan Efisiensi Pembakaran .....	49
	4.2.7 Perhitungan <i>Heat Losses</i> Total Pada <i>Combustor</i> .....	49
<b>4.3</b>	<b>Pembahasan Analisis <i>Heat Losses</i> pada <i>Meso-Scale</i> <i>Combustor</i> .....</b>	50
<b>BAB 5. PENUTUP</b>		
<b>5.1</b>	<b>Kesimpulan .....</b>	51
<b>5.2</b>	<b>Saran.....</b>	51

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>52</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>55</b>





**DAFTAR TABEL**

	Halaman
Tabel 3.1 Penyajian data hasil pengujian pada <i>combustor</i> dengan Variasi diameter outlet <i>combustor</i> 5 mm.....	36
Tabel 3.2 Penyajian data hasil pengujian pada <i>combustor</i> dengan variasi diameter outlet <i>combustor</i> 5,5 mm.....	37
Tabel 3.3 Penyajian data hasil pengujian pada <i>combustor</i> dengan variasi diameter outlet <i>combustor</i> 6 mm.....	37
Tabel 3.4 Jadwal kegiatan penelitian.....	39

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Diagram temperatur pada <i>meso-scale combustor</i> , (a) $d=2$ mm, (b) $d=6$ mm .....	4
Gambar 2.2 <i>Micro Gas Turbine Generator</i> .....	6
Gambar 2.3 <i>Sketch Of a Micro Cylindrical TPV Power Generator</i> .....	6
Gambar 2.4 <i>Backward facing step/ Sudden expansion</i> .....	8
Gambar 2.5 Kecepatan Aliran Melalui Saluran Tertutup .....	22
Gambar 2.6 Kecepatan Melalui Saluran Terbuka.....	22
Gambar 2.7 Aliran laminar (atas) dan aliran turbulen (bawah) .....	24
Gambar 2.8 Percobaan Reynold tentang Aliran laminar (a) dan aliran turbulen (b).....	25
Gambar 2.9 Konduktivitas termal pada dinding datar.....	27
Gambar 3.1 Dimensi Combustor Skala Meso: (a) 5 mm; (b) 5,5 mm; (c) 6 mm ...	27
Gambar 3.2 <i>Flowmeter Bahan Bakar dan Udara</i> .....	28
Gambar 3.3 <i>Mixer</i> .....	29
Gambar 3.4 Kompresor listrik.....	29
Gambar 3.5 <i>Regulator</i> .....	30
Gambar 3.6 <i>Pisco Tube</i> .....	30
Gambar 3.7 Jangka Sorong .....	31
Gambar 3.8 Thermocouple .....	31
Gambar 3.9 Kamera DSLR.....	32
Gambar 3.10 Gas LPG.....	32
Gambar 3.11 Skema Penelitian .....	33
Gambar 3.12 Diagram Alir Penelitian .....	35
Gambar 3.13 Grafik <i>Heat Losses</i> .....	36

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Perhitungan Data Penelitian .....	55
B. Data Penelitian.....	77
C. Spesifikasi <i>Data Logger</i> .....	119
D. Spesifikasi <i>Thermocouple</i> .....	120
E. <i>Flowmeter</i> Udara .....	121
F. <i>Flowmeter</i> Bahan Bakar (LPG) .....	123
G. Dokumentasi.....	125
H. Dimensi Meso Scale Combustor .....	129

## DAFTAR SIMBOL

### A

**Luas Area Benda** adalah luasan sebagai media pada area atau material tertentu

### AFR

**Rasio Udara dan Bahan Bakar** merupakan rasio perbandingan antara massa atau mol udara dan bahan bakar yang terjadi dalam suatu reaksi baik pada kondisi stoikiometri atau aktual.

### *h*

**Koefisien Perpindahan Panas** merupakan koefisien proporsionalitas antara fluks panas dan perbedaan temperatur yang menjadi penggerak utama perpindahan panas.

### *r*

**Jari-jari** merupakan jari – jari dalam *combustor*.

### $T_w$

**Temperatur Dinding** merupakan suhu pada dinding *combustor* pada saat proses pembakaran.

### $T_\infty$

**Temperatur Ambien** merupakan suhu lingkungan pada saat proses pembakaran.

### $Q_a$

**Debit Udara** merupakan jumlah udara yang terkandung pada proses pembakaran.

$Q_f$

**Debit Bahan Bakar** merupakan jumlah bahan bakar yang terkandung pada proses pembakaran.

$Q_{\text{loss}}$

**Heat Losses** merupakan kehilangan panas total pada *combustor*.

$V$

**Kecepatan** merupakan Kecepatan maksimal/minimum reaktan di dalam *combustor*.

$\rho_f(\text{vapor})$

**Densitas Bahan Bakar** merupakan perbandingan massa bahan bakar terhadap volume bahan bakar pada suhu acuan 15°C.

$\epsilon$

**Emisivitas** merupakan rasio energi yang diradiasikan oleh material tertentu dengan energi yang diradiasikan benda hitam (*black body*) pada temperatur yang sama.

$\dot{m}_f$

**Massa Alir Bahan Bakar** merupakan massa suatu substansi yang mengalir per satuan waktu.

$\sigma_b$

**Ketetapan *Stephan-Boltzmann*** merupakan konstanta fisika yang menghubungkan energi pada tingkatan partikel dengan temperatur teramati pada tingkatan mikroskopik.

## Φ

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



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan energi listrik micro berbasis *micro-combustion* pada saat ini sangat pesat, *micro power generator* (MPG) adalah salah satu aplikasi sumber penghasil energi yang digunakan pada peralatan listrik *portable*. Hidrokarbon dijadikan bahan bakar karena densitas energi jauh lebih tinggi daripada densitas energi pada baterai. Dengan perbandingan ~40-45 MJ/kg untuk hidrokarbon dan ~1,2 MJ/kg untuk baterai (Li-ion) ( Fernandez dan Pello, 2002).

*Meso-scale combustor* merupakan alat atau komponen yang berfungsi untuk mengubah energi kimia menjadi energi *thermal*. Pada *meso-scale combustor* diharapkan pembakarannya stabil, tetapi yang menjadi kendala yaitu terbatasnya waktu pembakaran dalam ruang bakar (*fuel residence time*) dan tingginya kehilangan kalor (*heat losses*) yang mengakibatkan api dalam *combustor* mudah padam.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mikami *et al.*, (2012), diamati pengaruh variasi ukuran diameter *combustor* yang berbentuk silinder terhadap kestabilan nyala api dan kecepatan pembakaran (*flame propagation*). Hasil penelitian ini didapatkan bahwa semakin kecil ukuran diameter *combustor* maka daerah stabilitas nyala api yang digambarkan pada diagram kecepatan~equivalen ratio juga semakin sempit, penyebabnya yaitu kehilangan panas (*heat losses*) yang lebih tinggi dan keterbatasan waktu nyala api yang kurang memadai, hal ini terkait dengan peningkatan perbandingan luas permukaan terhadap volume.

Hasil penelitian Khandelwal *et al.*, (2013) melakukan studi yang menunjukkan bahwa api stabil dapat dicapai dengan peningkatan *flammability limit* di multi-step *micro combustor* berdasarkan pada rentang rasio campuran dan kondisi aliran *inlet*. *Rearward step* memainkan fungsi yang signifikan dalam menstabilkan api di skala

menit combustor tersebut dengan mengubah medan aliran dengan bantuan ekspansi yang cepat. Hal ini diamati dalam penelitian bahwa jumlah step dalam saluran *micro combustor* meningkat, flammability limit di saluran *micro combustor* meningkat secara signifikan. Api stabil di hilir dari zona resirkulasi dan mengalir resirkulasi membantu dalam meningkatkan nilai *flammability limit*. Peningkatan panjang step pertama dan kedua membantu dalam meningkatkan nilai bawah dan atas batas stabilitas nyala api, hal ini menyebabkan meningkatnya *flammability limit*. Pada step ketiga pengaruh *flammability limit* meningkat terjadi pada aliran yang tinggi. Pengaruh kenaikan panjang step ketiga relatif tidak signifikan untuk batas stabilitas nyala api yang lebih rendah.

Melihat penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Khandelwal *et al.*, (2013) dan Mikami *et al.*, (2013). Pada penelitian ini akan dilakukan pengamatan terhadap *heat losses* hasil pembakaran pada *combustor* yang terbuang ke lingkungan.

Sementara itu, pengaruh diameter *output* belum diketahui pengaruhnya terhadap efektivitas pembakaran. Oleh karena itu, penelitian ini yang berjudul pengaruh variasi diameter *output* saluran *sudden expansion* terhadap *heat losses* pembakaran pada *meso-scale combustor*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Ditinjau dari latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimanakah pengaruh variasi diameter *output meso-scale combustor* dengan *sudden expansion* terhadap *heat losses* yang terbuang ke lingkungan.

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini:



1. Udara pembakaran (*oxidizer*) yaitu udara atmosfer yang diasumsikan 79% N<sub>2</sub> dan 21% O<sub>2</sub>.
2. Proses pembakaran berlangsung secara *steady*.
3. Sifat *physical* dan *chemical* pipa terhadap bahan selama terjadinya proses pembakaran.

#### 1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

##### 1.4.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi diameter *output* saluran *sudden expansion* terhadap *heat losses* pembakaran pada *meso-scale combustor*.

##### 1.4.2 Manfaat

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

1. Mampu menganalisa pengaruh variasi diameter *output* saluran *sudden expansion* terhadap *heat losses* pembakaran pada *meso-scale combustor*.
2. Memberikan kontribusi dan referensi baru dalam pengembangan *combustor* skala *meso*.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Mikami *et al.*, (2012) dalam penelitiannya tentang pengaruh diameter combustor yang divariasikan dengan bentuk silinder terhadap kestabilan api dan kecepatan pembakaran menyatakan bahwa semakin kecil ukuran dari combustor, maka kestabilan api juga semakin kecil. Keadaan ini karena laju kehilangan panasnya (*heat loss*) lebih tinggi sedangkan waktu nyala api yang sangat singkat akibat dari peningkatan volume dengan bertambahnya pebandingan luas permukaan.

Khandelwal *et al.*, (2013) melakukan studi yang menunjukkan bahwa api stabil dapat dicapai dengan peningkatan *flammability limit* di multi-step *micro combustor* berdasarkan pada rentang rasio campuran dan kondisi aliran *inlet*. *Rearward step* memainkan fungsi yang signifikan dalam menstabilkan api di skala menit combustor tersebut dengan mengubah medan aliran dengan bantuan ekspansi yang cepat. Hal ini diamati dalam penelitian bahwa jumlah step dalam saluran *micro combustor* meningkat, *flammability limit* di saluran *micro combustor* meningkat secara signifikan. Api stabil di hilir dari zona resirkulasi dan mengalir resirkulasi membantu dalam meningkatkan nilai *flammability limit*. Peningkatan panjang step pertama dan kedua membantu dalam meningkatkan nilai bawah dan atas batas stabilitas nyala api, hal ini menyebabkan meningkatnya *flammability limit*. Pada step ketiga pengaruh *flammability limit* meningkat terjadi pada aliran yang tinggi. Pengaruh kenaikan panjang step ketiga relatif tidak signifikan untuk batas stabilitas nyala api yang lebih rendah.

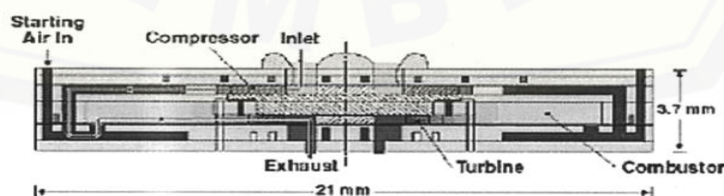
### 2.2 Meso Scale-Combustor dengan Sudden Expansion

Perkembangan teknologi yang pesat telah 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 *portable* 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 *et al.*, 2013).

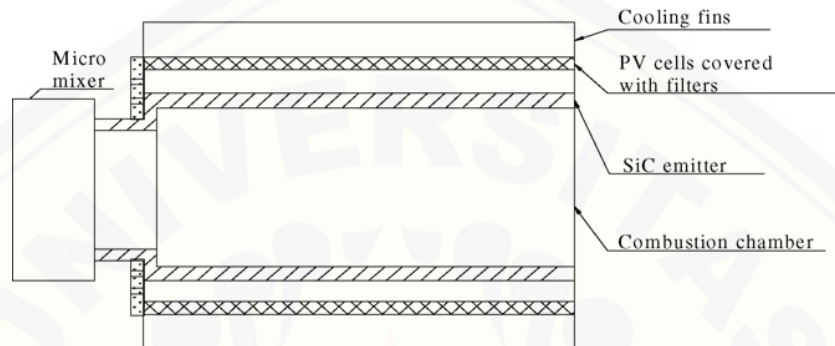
*Micro-power generator* adalah suatu alat untuk membangkitkan energi dalam skala pembangkit yang sangat kecil (Raditya *et al.*, 2013). Sedangkan menurut Sari dan Sullistiyah (2015) *micro-power generator* adalah sumber energi berskala mikro yang memanfaatkan prinsip pembakaran dalam pembangkitan energinya. *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 (*thermophotovoltaic* atau *thermoelectric*). Perbedaan kedua *micro-power generator* ini terletak dari prinsip kerja pembangkitan energi.

Untuk *micro-power generator* yang menggunakan siklus daya konvensional prinsip kerjanya hampir sama dengan prinsip kerja turbin gas yaitu dengan memanfaatkan pembakaran untuk memutar turbin yang berskala mikro.



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

Sedangkan *micro-power generator* berbasis *thermophotovoltaic* (TPV) untuk prinsip kerjanya hampir sama dengan prinsip kerja *thermoelectric* pada umumnya. Bedanya, sumber energi termal pada *micro-power generator* jenis ini bukan berasal dari sinar matahari melainkan dari proses pembakaran berskala *mikro*.



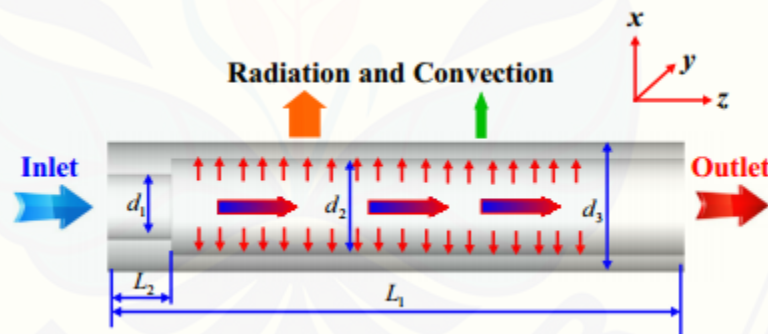
Gambar 2.3 *Sketch Of a Micro Cylindrical TPV Power Generator*  
(Sumber : Chou *et al.*, 2011)

*Micro combustor* 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 *et al.*, 2013).

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. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa *meso-scale combustor* dengan *backward facing step* sangat efektif untuk aplikasi konversi energi secara langsung dimana temperatur panas dinding tersebut yang diperlukan sebagai sumber panas, seperti pada aplikasi *Thermoelectric Power Generator* (Sari dan Sullistiyah, 2015).



Gambar 2.4 *Backward facing step/Sudden expansion*  
(Sumber : Jiaqiang *et al.*, 2016)

### 2.3 Proses Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara pengoksidasi (udara atau oksigen) dan bahan bakar, disertai timbulnya cahaya dan menghasilkan kalor atau panas. Syarat terjadinya pembakaran adalah ada bahan bakar, pengoksidasi, dan energi aktivasi masing-masing elemen terdapat dalam jumlah tertentu yang memungkinkan

terjadinya 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 dalam molekul-molekul dari reaktan-reaktan menjadi terputus dan atom-atom dan elektron-elektron tersusun ulang menjadi produk-produk. Pada 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).

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).

Oksigen ( $O_2$ ) 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 ( $\text{NO}_x$ ), yang merupakan pencemar beracun (UNEP, 2006).

### 2.3.1 Klasifikasi Proses Pembakaran Berdasarkan Cara Pencampuran Reaktan dan Pengoksidasi

#### a. Pembakaran *Premixed*

Pembakaran *premixed* memiliki ciri-ciri mengalami proses pembakaran, bahan bakar dan zat pengoksidasi bercampur secara sempurna antara satu sama lain terlebih dahulu sebelum dialirkan ke dalam ruang bakar (*combustor*) untuk mengalami proses pembakaran (Rohadi dan Ahmad, 2016).

#### b. Pembakaran Difusi

Bahan bakar pada pembakaran jenis difusi akan tercampur dengan udara di dalam ruang bakar, seperti proses pembakaran pada mesin diesel dimana bahan bakar diinjeksikan dalam ruang bakar agar tercampur dengan udara bertekanan tinggi dan terjadi proses pembakaran.

Pembakaran secara difusi memiliki visualisasi nyala api yang didominasi warna kuning, sedangkan pembakaran secara *premixed* memiliki visualisasi nyala api berwarna biru yaitu memiliki suhu tinggi. Warna dalam hal ini menunjukkan tingkat panas dari hasil pembakaran. Kelemahan dari pembakaran *premixed* adalah terjadinya *flash back*, yaitu api akan merambat ke dalam ruang pencampuran mekanik yang menyebabkan kebakaran. Apabila terjadi kebakaran pada api tipe ini, maka api lebih susah untuk dipadamkan (Siamullah *et al.*, 2013).

### 2.3.2 Klasifikasi Pembakaran Berdasarkan Sifat Reaksi Kimia

#### a. Pembakaran Sempurna

Pembakaran ini merupakan jenis pembakaran sempurna, dimana reaktan secara keseluruhan terbakar dengan oksigen dan menghasilkan energi panas, karbondioksida dan uap air saja. Pada umumnya pembakaran sempurna tidak mungkin terjadi dalam kehidupan nyata (Rohadi dan Ahmad, 2016).

#### b. Pembakaran Tidak Sempurna

Proses pembakaran yang berlangsung secara tidak sempurna dapat disebabkan karena jumlah oksigen tidak mencukupi untuk membakar bahan bakar sehingga dihasilkan zat sisa pembakaran berupa karbon monoksida dan jelaga yang merupakan zat bahaya bagi kesehatan manusia. Oleh karena itu, zat sisa berupa karbon monoksida harus dihindari, hal ini dapat ditempuh dengan melakukan optimasi pada proses pembakaran (Rohadi dan Ahmad, 2016).

#### 2.3.3 Reaksi Kimia Dalam Pembakaran

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



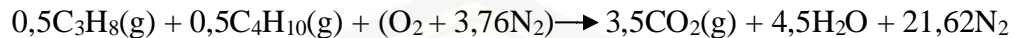
Ketika menangani reaksi kimia, perlu diingat bahwa terjadi konservasi massa, sehingga massa dari produk berjumlah sama dengan massa dari reaktan. Massa total dari setiap elemen kimia harus sama pada kedua sisi dari persamaan, elemen-elemen tersebut terkandung di dalam senyawa kimia yang berbeda di dalam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

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<sub>x</sub>H<sub>y</sub> dapat di tulis dengan persamaan berikut:





Setelah mengetahui persamaan reaksi untuk pembakaran stoikiometrik, maka reaksi pembakaran untuk LPG yang terdiri dari 50% propana dan 50% butana, dinyatakan dalam persamaan berikut:



## 2.4 Bahan Bakar Gas

Bahan bakar merupakan sumber energi pada proses pembakaran. Berdasarkan wujudnya, bahan bakar terdiri dari gas, cair dan padat, dan berdasarkan proses pembentukannya, bahan bakar terbentuk secara alami dan buatan (Taufiq, 2008).

Bahan bakar alami adalah bahan bakar yang telah tersedia di alam dan tanpa ada campur tangan manusia dalam meningkatkan nilai kalor dari bahan bakar tersebut. Sedangkan bahan bakar buatan adalah bahan bakar yang telah melalui beberapa proses kimia maupun fisika untuk menambah nilai kalornya (Taufiq, 2008).

Gas alam atau sering juga disebut gas bumi merupakan bahan bakar yang sangat sederhana. Sekitar 90% dari gas alam adalah metana ( $CH_4$ ), yang hanya satu atom karbon dengan empat atom hidrogen melekat, dengan sisanya terdiri dari etana ( $C_2H_6$ ), propana ( $C_3H_8$ ), butana ( $C_4H_{10}$ ) dan komponen-komponen lain serta komponen pengotor seperti air,  $H_2S$ ,  $CO_2$  dan lain-lain dengan jenis dan jumlahnya yang bervariasi sesuai dengan sumber gas alam (Chandra dan Budiman, 2006).

Penggunaan utama gas alam adalah sebagai bahan bakar seperti bahan bakar pembangkit listrik dan bahan baku industri. Salah satu dasar nilai jual gas alam adalah *heating value* yang disyaratkan harus memenuhi spesifikasi standart, yaitu sekitar 950 sampai dengan 1.200 BTU/scf. (Wardana, 2008).

Menurut Wardana (2008), *gross heating value* dari beberapa komponen hidrokarbon yang merupakan komponen utama gas alam dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 *Gross heating value* dari beberapa hidrokarbon (Wardana, 2008)

No.	Komponen	Heating Value (BTU/scf)
1.	Metana	1,010

2.	Etana	1,770
3.	Propana	2,516
4.	n-Butana	3,262

Dari tabel 2.1 tersebut dapat dilihat bahwa *gross heating value* yang berada dalam rentang spesifikasi gas alam adalah metana dan sebagian etana. Kandungan propana dan butana mempunyai *gross heating value* lebih besar dari rentang spesifikasi gas alam yang sudah ditetapkan (Wardana, 2008).

#### 2.4.1 Gas Propana

Propana merupakan hidrokarbon alkana berkarbon tiga. Wujud umumnya adalah gas, akan tetapi dapat dikompres menjadi bentuk cair untuk kemudahan penyimpanan dan transportasi. Propana merupakan turunan dari minyak jenis lain melalui proses distalasi minyak mentah ataupun dari gas alam (Taufiq, 2008).

Adapun reaksi pembakaran gas propana, dalam reaksi pembakaran sempurna adalah sebagai berikut :



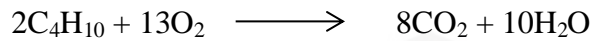
Propana + Oksigen  $\longrightarrow$  Karbondioksida + Uap air + Panas

Propana memiliki densitas lebih besar daripada udara. Pada kondisi standar dan bebas, propana akan jatuh akibat gravitasi karena massa jenisnya. Propana cair akan berubah menjadi uap pada tekanan atmosfer dan berwujud putih akibat pengembunan dari udara (Taufiq, 2008).

#### 2.4.2 Gas Butana

Butana adalah gas mudah terbakar yang layak dapat dicairkan. Gas ini tidak berwarna dan tidak berbau. Karakteristik terakhir menciptakan beberapa masalah, karena mudah terbakar dan tidak dapat terdeteksi dalam hal kebocoran. Oleh karena itu, butana dalam bentuk cair yang dicampur dengan *odourants*. Menghirup langsung dari butana dapat menyebabkan sesak napas jika konsentrasi melebihi ambang batas keselamatan (Kurniawan dan Tjahjadi, 2016).

Reaksi pembakaran butana, dalam reaksi pembakaran sempurna adalah sebagai berikut :



Butana + Oksigen  $\longrightarrow$  Karbondioksida + Uap Air + Panas

#### 2.4.3 Gas LPG (*Liquified Petroleum Gas*)

Dalam kondisi atmosfer, LPG akan berbentuk gas. Volume LPG dalam bentuk cair lebih kecil dibandingkan dalam bentuk gas untuk berat yang sama. Karena itu, LPG dipasarkan dalam bentuk cair dalam tabung-tabung logam. Untuk memungkinkan terjadinya ekspansi panas (*thermal expansion*) dari cairan yang dikandungnya, tabung LPG tidak diisi secara penuh, hanya sekitar 80-85% dari kapasitasnya. Rasio antara volume gas bila menguap dengan gas dalam keadaan cair bervariasi tergantung komposisi, tekanan dan temperatur, tetapi biasanya sekitar 250:1 (Kurniawan dan Tjahjadi, 2016).

Gas LPG terdiri dari destilasi ringan dari minyak bumi, terutama propana dan butana. Oleh karena berat molekular serta kerapatan lebih tinggi pada gas ini, ia mempunyai nilai pembakaran volumetrik yang lebih tinggi dari gas alam lain. Bahan bakar gas ini diangkut dan disimpan dengan tekanan yang berkisar antara 4 hingga 20 bar, tergantung tekanan atmosfer (Yunus, 2010).

Gas LPG terdiri dari distilasi ringan dari minyak bumi, terutama propana dan butana. Oleh karena berat molekular serta kerapatan lebih tinggi pada gas ini, ia mempunyai nilai pembakaran volumetrik yang lebih tinggi dari gas alam lain. Bahan bakar gas ini diangkut dan disimpan dengan tekanan yang berkisar antara 4 hingga 20 bar, tergantung tekanan atmosfer (Condro dan Setiyo, 2012).

*Liquified Petroleum Gas* (LPG) terdiri dari campuran utama propana dan butana dengan sedikit persentase hidrokarbon tidak jenuh (*propilen* dan *butilene*) dan beberapa fraksi C<sub>2</sub> yang lebih ringan dan C<sub>5</sub> yang lebih berat. Senyawa yang terdapat dalam LPG adalah propana (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), propilen (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>), butana (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) dan butilen (C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>). Menurut Fadhlulloh (2015), 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 propana dan butana sebesar 97% dan maksimum 2% merupakan campuran petana dan hidrokarbon yang lebih berat. Campuran inilah yang dimanfaatkan dalam penelitian ini sebagai sumber karbon nanopartikel yang disintesis melalui metode pembakaran.

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 (Celanovic *et al.*, 2011).

Uap LPG lebih berat dari udara, karena butana beratnya sekitar dua kali berat udara dan propana 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 diatas, sebaiknya tidak menyimpan tabung LPG di gudang bawah tanah atau lantai bawah tanah yang tidak memiliki ventilasi udara (Celanovic *et al.*, 2011).

### **2.5 Rasio Udara-Bahan Bakar (*Air-Fuel Ratio/AFR*)**

*Air Fuel Ratio* (AFR) adalah rasio perbandingan antara massa atau mol udara dan bahan bakar yang terjadi dalam suatu reaksi. Dua parameter yang sering digunakan untuk memberikan kuantifikasi jumlah bahan bakar dan udara di dalam proses pembakaran tertentu adalah rasio udara-bahan bakar dan sebaliknya rasio bahan bakar-udara. Rasio udara-bahan bakar 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).

Menurut Mahandari dan Kartika (2010), secara simbolis AFR dapat dihitung melalui persamaan 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,

$$AFR = \frac{m_a}{m_f} = \frac{M_a N_a}{M_f N_f}$$

Keterangan :

AFR = Rasio udara dan bahan bakar dalam kondisi stoikiometrik

$m_a$  = Laju massa udara (kg/detik)

$m_f$  = Laju massa bahan bakar (kg/detik)

$M_a$  = Massa molar udara (g/mol)

$N_a$  = Jumlah mol udara (mol)

$M_f$  = Massa molar bahan bakar (g/mol)

$N_f$  = Jumlah mol bahan bakar (mol).

Jika nilai AFR aktual lebih besar dari nilai AFR stoikiometrik, maka terdapat udara yang jumlahnya lebih banyak daripada yang dibutuhkan sistem dalam proses pembakaran dan dikatakan miskin bahan bakar dan jika nilai aktual lebih kecil dari AFR stoikiometrik maka tidak cukup terdapat udara pada sistem dan dikatakan kaya bahan bakar (Taufiq, 2008).

## 2.6 Equivalence Ratio ( $\Phi$ )

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

$$\Phi = \frac{AF_{\text{stoic}}}{AF_{\text{actual}}}$$

Keterangan :

$\Phi$  = *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 :

- a.  $\Phi > 1$ , terdapat kelebihan bahan bakar dan campurannya disebut sebagai campuran kaya bahan bakar (*fuel-rich mixture*)
- b.  $\Phi < 1$ , disebut sebagai campuran miskin bahan bakar (*fuel-lean mixture*)
- c.  $\Phi = 1$ , adalah campuran stoikiometrik.

Menurut Farizkaraza *et al.*, (2014), perbedaan warna api bisa dipengaruhi karena adanya perbedaan perbandingan campuran udara dan bahan bakar. Hal ini dapat diketahui dengan membandingkan *equivalent ratio* udara-bahan bakar ( $\Phi$ ), dimana jika  $\Phi < 1$  maka akan terbentuk api campuran miskin, ketika  $\Phi = 1$  terbentuk api stokiometri dan saat  $\Phi > 1$  akan terbentuk api campuran kaya. Jika dilihat pada pengaruh campuran bahan bakar udara pada pengujian di *bunsen burner* maka akan terlihat api campuran miskin berwarna merah dan berjelaga. Sedangkan pada api campuran kaya, terbentuk api berwarna biru atau lebih terang. Api yang berwarna lebih terang memiliki temperatur lebih tinggi.

### **2.7 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 tentang mudah terbakar pada suatu gas, dimana gas dan udara dalam komposisi yang tepat untuk dibakar saat dinyalakan (Sari dan Sullistiyah, 2015).

Api akan stabil apabila konsentrasi campuran bahan bakar dengan oksidator berada pada komposisi yang tepat. Hal ini terjadi pada saat kecepatan reaktan ( $V_u$ ) sama dengan kecepatan rambat nyala api ( $S_L$ ) ( $V_u=S_L$ ). *Flashback* terjadi ketika kecepatan pembakaran lebih besar daripada kecepatan campuran udara dan 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 saat kecepatan reaktan rendah, posisi api akan mendekati mulut tabung pembakaran dan menyentuhnya. Namun apabila 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 nyala api tetap stabil pada kecepatan reaktan yang tinggi dan memperluas daerah reaksi dalam *combustor* (Sari dan Sullistiyah, 2015).

## 2.8 Mekanika Fluida

Mekanika fluida adalah cabang ilmu pengetahuan yang mengkaji tentang perilaku dari zat cair dan gas dalam keadaan diam ataupun bergerak. Pada mekanika fluida, dipelajari perilaku fluida dalam keadaan diam (statistika fluida), dimana tidak adanya tegangan geser yang bekerja pada partikel fluida tersebut dan fluida dalam keadaan bergerak (Munson *et al.*, 2004).

Zat yang tersebar di alam dibedakan menjadi dalam tiga fase, yaitu fase padat, fase cair dan fase gas. Karena fase cair dan gas memiliki karakter tidak mempertahankan suatu bentuk yang tetap, maka keduanya memiliki kemampuan untuk mengalir. Dengan demikian, keduanya disebut dengan fluida. Fluida adalah zat-zat yang mampu mengalir dan menyesuaikan diri dengan bentuk tempatnya. Salah

satu ciri fluida adalah jarak molekulnya tidak tetap, hal ini disebabkan oleh lemahnya ikatan antara molekul penyusunnya (Munson *et al.*, 2004).

### 2.8.1 Fluida Statis dan Fluida Dinamis

#### a. Fluida Statis

Fluida statis adalah fluida yang tidak bergerak atau dalam keadaan diam, misalnya air dalam gelas. Dalam fluida statis kita mempelajari hukum-hukum dasar antara lain mengenai tekanan hidrostatis, hukum Archimedes, tegangan permukaan dan kapilaritas (Rosyid dan Fachani, 2014).

#### b. Fluida Dinamis

Fluida dinamis atau dinamika fluida adalah sub-disiplin dari mekanika yang mempelajari tentang pergerakan dari fluida, terutama pada fluida cair dan gas. Penyelesaian dari masalah dinamika fluida biasanya melibatkan perhitungan dari sifat fluida seperti kecepatan, kepadatan, tekanan dan suhu sebagai fungsi ruang dan waktu. Disiplin ini memiliki beberapa sub-disiplin termasuk aerodinamika (penelitian gas) dan hidrodinamika (penelitian cairan). Dinamika fluida memiliki aplikasi yang luas, contohnya adalah pada saat dinamika fluida digunakan dalam menghitung gaya, hambatan dan momen pada pesawat terbang, *mass flow rate* dari *petroleum* dalam jalur pipa, perkiraan pola cuaca dan bahkan digunakan pada teknik lalu lintas, dimana lalu lintas diperlakukan sebagai fluida yang berkelanjutan (Rosyid dan Fachani, 2014).

### 2.8.2 Sifat Dasar Fluida

Fluida merupakan suatu zat yang dalam keadaan setimbang tak dapat menahan gaya atau tegangan geser (*shear force*). Definisi lain dari fluida adalah zat yang dapat mengalir, yang mempunyai partikel yang mudah bergerak dan berubah bentuk tanpa pemisahan massa. Ketahanan fluida terhadap bentuk sangat kecil sehingga fluida dapat dengan mudah mengikuti bentuk ruang (Rosyid dan Fachani, 2014).

Berdasarkan wujudnya, fluida dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:



- a. Fluida gas, merupakan fluida dengan partikel yang renggang dimana gaya tarik antara molekul sejenis relatif lemah dan sangat ringan sehingga dapat melayang dengan bebas serta volumenya tidak menentu.
- b. Fluida cair, merupakan fluida dengan partikel yang rapat dimana gaya tarik antara molekul sejenisnya sangat kuat dan mempunyai permukaan bebas serta cenderung untuk mempertahankan volumenya.

Untuk memahami hal-hal yang berkaitan dengan aliran fluida, maka terlebih dahulu harus mengetahui beberapa sifat dasar fluida. Sifat-sifat dasar fluida tersebut diantaranya adalah berat jenis, kerapatan, tekanan, temperatur dan kekentalan (Rosyid dan Fachani, 2014).

Berat jenis (*specific weight*) dari suatu fluida dilambangkan dengan  $\gamma$  (*gamma*) dan didefinisikan sebagai berat tiap satuan volume.

Kerapatan suatu fluida didefinisikan sebagai massa tiap satuan volume pada suatu temperatur dan tekanan tertentu. Kerapatan dinyatakan dengan  $\rho$  (huruf kecil Yunani yang dibaca "rho"). Kerapatan fluida bervariasi tergantung jenis fluidanya. Untuk fluida gas, perubahan temperatur dan tekanan sangat mempengaruhi kerapatan gas. Untuk fluida cairan, pengaruh keduanya adalah kecil. Jika kerapatan fluida tidak terpengaruh oleh perubahan temperatur maupun tekanan dinamakan fluida *incompressible* atau fluida tak mampu mampat (Rosyid dan Fachani, 2014).

Tekanan didefinisikan sebagai besarnya gaya ( $F$ ) pada tiap satuan luas bidang yang dikenainya ( $A$ ). Apabila suatu zat (padat, cair dan gas) menerima gaya yang bekerja secara tegak lurus terhadap luas permukaan zat tersebut. Satuan Internasional (SI) untuk tekanan adalah Pa (*Pascal*), yang merupakan turunan dari satuan Newton/m<sup>2</sup>. Dalam dunia teknik memang lebih banyak digunakan satuan tekanan lain seperti psi (*pound per square inch*), bar, atm, kgf/m<sup>2</sup> atau dalam ketinggian kolom zat cair seperti cmHg (Rosyid dan Fachani, 2014).

Kekentalan (viskositas) diartikan sebagai tahanan internal terhadap aliran dan beberapa ahli juga mendefinisikan sebagai gesekan dari fluida. Kekentalan adalah

nilai yang diukur dari tahanan fluida yang berubah bentuk karena tegangan geser (*shear stress*) maupun tegangan tarik (*tensile stress*). Dalam kehidupan sehari-hari dapat kita jumpai pada fluida seperti air, *jelly*, madu dan susu. Sebagai contoh, air memiliki tegangan geser yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan madu. Karena tegangan air lebih kecil, maka tetesan air lebih mudah jatuh dibandingkan dengan tetesan madu. Sehingga dapat diambil suatu kesimpulan bahwa viskositas air lebih kecil apabila dibandingkan dengan madu karena tegangan geser internal madu lebih besar daripada air yang membuat madu lebih sulit untuk jatuh apabila diteteskan jika dibandingkan dengan air (Rosyid dan Fachani, 2014).

## 2.9 Aliran Fluida

Fluida adalah zat yang bisa mengalir, mempunyai partikel yang mudah bergerak dan berubah bentuk. Hal ini dikarenakan fluida memiliki tahanan yang sangat kecil sehingga dapat dengan mudah mengikuti bentuk ruangan atau tempat yang membatasinya. Fluida dibedakan menjadi zat cair dan zat gas. Sifat dari zat cair dan gas adalah tidak mengadakan reaksi terhadap gaya geser dan tidak melawan perubahan bentuk (Munson *et al.*, 2004).

### 2.9.1 Klasifikasi Aliran

Secara garis besar, jenis aliran fluida dapat dibedakan atau dikelompokkan sebagai berikut:

a. Aliran Tunak (*Steady*)

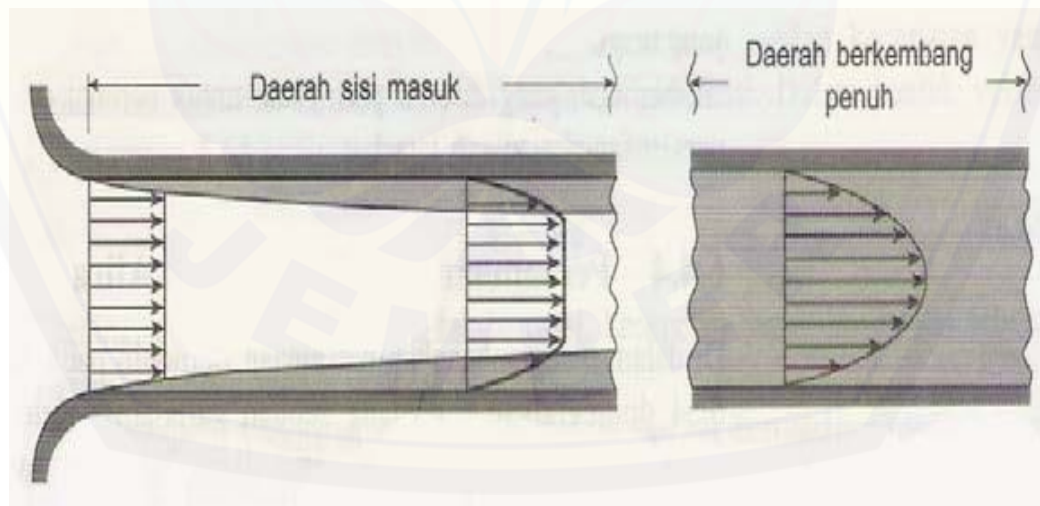
Adalah suatu aliran dimana kecepatannya tidak terpengaruh oleh perubahan waktu, sehingga kecepatannya konstan pada setiap titik (tidak mempunyai percepatan).

b. Aliran Tidak Tunak (*Unsteady*)

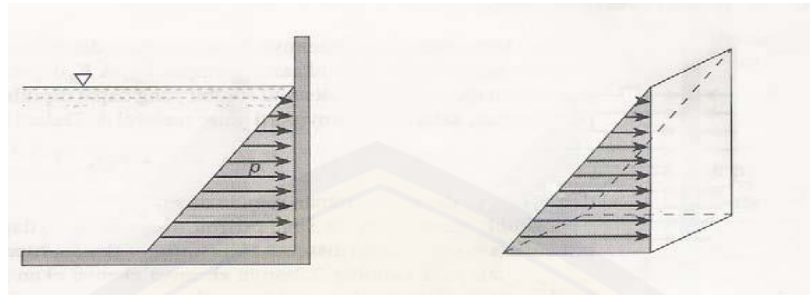
Adalah suatu aliran yang didalamnya terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu.

### 2.9.2 Kecepatan dan Kapasitas Aliran Fluida

Setiap fluida yang mengalir dalam sebuah pipa harus memasuki pipa pada suatu lokasi. Daerah aliran di dekat lokasi fluida memasuki pipa tersebut sebagai daerah masuk (*entrance region*). Penentuan kecepatan di sejumlah titik pada suatu penampang memungkinkan untuk membantu dalam menentukan besarnya kapasitas aliran sehingga pengukuran kecepatan merupakan fase yang sangat penting dalam menganalisa suatu aliran fluida. Kecepatan dapat diperoleh dengan melakukan pengukuran terhadap waktu yang dibutuhkan suatu partikel yang dikenali untuk bergerak sepanjang jarak yang telah ditentukan (Munson, 2004). Besarnya kecepatan aliran fluida pada suatu pipa mendekati nol pada dinding pipa dan mencapai maksimum pada tengah-tengah pipa. Kecepatan biasanya sudah cukup untuk menempatkan kekeliruan yang tidak serius dalam masalah aliran fluida sehingga penggunaan kecepatan sesungguhnya adalah pada penampang aliran. Bentuk kecepatan yang digunakan pada aliran fluida umumnya menunjukkan kecepatan yang sebenarnya jika tidak ada keterangan lain yang disebutkan (Munson *et al.*, 2004).



Gambar 2.5 Kecepatan Aliran Melalui Saluran Tertutup (Munson *et al.*, 2004)



Gambar 2.6 Kecepatan Melalui Saluran Terbuka (Munson *et al.*, 2004)

Besarnya kecepatan akan mempengaruhi besarnya fluida yang mengalir dalam suatu pipa. Jumlah dari aliran fluida mungkin dinyatakan sebagai volume, berat atau massa fluida dengan masing-masing laju aliran ditunjukkan sebagai laju aliran volume ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), laju aliran berat ( $\text{kg}/\text{s}$ ) dan laju aliran massa ( $\text{kg}/\text{s}$ ) (Munson *et al.*, 2004). Prinsip kerja setiap pengukuran aliran tersebut didasari oleh prinsip fisika yang sama yakni bahwa peningkatan kecepatan menyebabkan penurunan tekanan (Munson *et al.*, 2004).

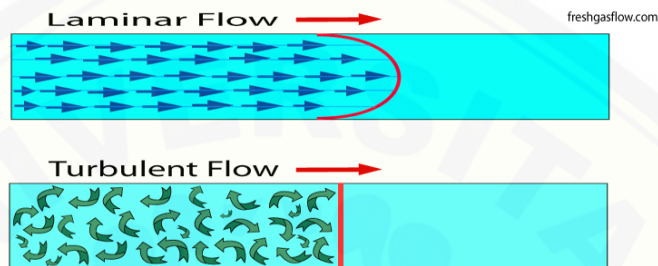
### 2.9.3 Aliran Laminar dan Aliran Turbulen

Aliran fluida dapat dibedakan menjadi dua tipe yaitu aliran laminar dan aliran turbulen. Aliran dikatakan laminar jika partikel-partikel fluida yang bergerak teratur mengikuti lintasan yang sejajar pipa dan bergerak dengan kecepatan sama. Aliran ini terjadi apabila kecepatan kecil dan kekentalan besar. Aliran disebut turbulen jika tiap partikel fluida bergerak mengikuti lintasan sembarang di sepanjang pipa dan hanya gerakan rata-rata saja yang mengikuti sumbu pipa. Aliran ini terjadi apabila kecepatan besar dan kekentalan zat cair kecil (Sularso dan Tahara, 1983).

Pengaruh kekentalan sangat besar sehingga dapat meredam gangguan yang dapat menyebabkan aliran menjadi turbulen. Dengan berkurangnya kekentalan dan bertambahnya kecepatan aliran maka daya redam terhadap gangguan akan berkurang, yang sampai pada batas tertentu akan menyebabkan terjadinya perubahan aliran dari laminar menjadi turbulen (Sularso dan Tahara, 1983).

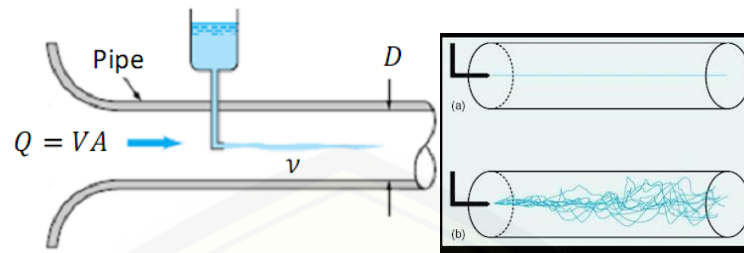
Fluida laminar disebut juga dengan fluida viskos atau fluida garis alir (*streamline*). Kata laminar berasal dari bahasa latin lamina, yang berarti lapisan atau

plat tipis. Sehingga, aliran laminar berarti aliran yang berlapis-lapis. Lapisan-lapisan fluida akan saling bertindihan satu sama lain tanpa bersilangan. Jika gerakan partikel fluida tidak lagi sejajar, mulai saling bersilangan satu sama lain sehingga terbentuk pusaran di dalam fluida, aliran yang seperti ini disebut dengan aliran turbulen (Munson *et al.*, 2004).



Gambar 2.7 Aliran laminar (atas) dan aliran turbulen (bawah) (Munson *et al.*, 2004)

Karakteristik struktur aliran internal (dalam pipa) sangat tergantung dari kecepatan rata-rata aliran dalam pipa, densitas, viskositas dan diameter pipa. Aliran fluida (cairan atau gas) dalam pipa mungkin merupakan aliran laminar atau turbulen. Perbedaan antara aliran laminar dan turbulen secara eksperimen pertama kali dipaparkan oleh Osborne Reynolds pada tahun 1883. Eksperimen itu dijalankan dengan menyuntikkan cairan berwarna ke dalam aliran air yang mengalir di dalam tabung kaca. Jika fluida bergerak dengan kecepatan cukup rendah, cairan berwarna akan mengalir di dalam sistem membentuk garis lurus tidak bercampur dengan aliran air. Pada kondisi seperti ini, fluida masih mengalir secara laminar. Jadi pada prinsipnya, jika fluida mengalir cukup rendah seperti kondisi eksperimen ini, maka terdapat garis alir. Bila kecepatan fluida ditingkatkan, maka akan dicapai suatu kecepatan kritis. Fluida mencapai kecepatan kritis dapat ditandai dengan terbentuknya gelombang cairan warna. Artinya garis alir tidak lagi lurus, tetapi mulai bergelombang dan kemudian garis alir menghilang, karena cairan berwarna mulai menyebar secara seragam ke seluruh arah fluida air (Munson *et al.*, 2004).



Gambar 2.8 Percobaan Reynold tentang Aliran laminar (a) dan aliran turbulen (b) (Munson *et al.*, 2004)

Perilaku ketika fluida mulai bergerak secara acak (tak menentu) dalam bentuk arus-silang dan pusaran, menunjukkan bahwa aliran air tidak lagi laminar. Pada kondisi seperti ini garis alir fluida tidak lagi lurus dan sejajar (Munson *et al.*, 2004).

Dari hasil eksperimen diperoleh bahwa koefisien gesekan untuk pipa silindris merupakan fungsi dari bilangan *Reynolds* ( $Re$ ). Dalam menganalisa aliran di dalam saluran tertutup, sangatlah penting untuk mengetahui tipe aliran yang mengalir dalam pipa tersebut. Selanjutnya, untuk aliran laminar dan turbulen, terdapat rumus yang berbeda. Sebagai patokan menentukan aliran laminar atau turbulen, dipakai bilangan *Reynolds* (Sularso dan Tahara, 1983).

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Keterangan :

- Re = Bilangan *Reynolds*
- D = Diameter dalam pipa (m)
- V = Kecepatan rata rata aliran fluida di dalam pipa (m/s)
- $\nu$  = Viskositas kinematik zat cair ( $m^2/s$ )

Pada  $Re < 2300$  aliran bersifat laminar,  $Re > 4000$  aliran bersifat turbulen,  $Re = 2300 - 4000$  terdapat daerah transisi (dimana aliran dapat bersifat laminar atau turbulen tergantung pada kondisi pipa dan aliran).

### 2.10 Perpindahan Kalor

Kalor merupakan salah satu bentuk dari energi. Apabila suatu zat menerima atau melepaskan kalor, maka ada dua kemungkinan yang terjadi. Kemungkinan

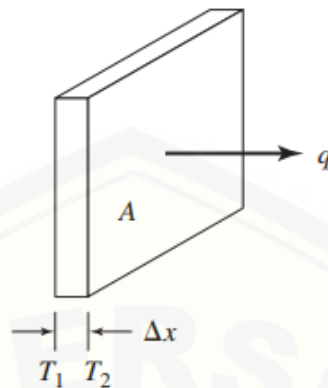
tersebut adalah terjadinya perubahan temperatur dari zat tersebut dan terjadinya perubahan fase zat. Perubahan temperatur mengakibatkan terjadinya suatu fenomena yang disebut dengan perpindahan kalor (Holman, 1997).

Perpindahan kalor (*heat transfer*) adalah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material. Pada termodinamika telah kita ketahui bahwa energi yang pindah itu dinamakan kalor (*heat*). Ilmu perpindahan kalor tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari suatu benda ke benda lain, tetapi juga dapat meramalkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Kenyataan disini yang menjadi sasaran analisis ialah masalah laju perpindahan, inilah yang membedakan ilmu perpindahan kalor dengan ilmu termodinamika (Holman, 1997).

Secara alamiah, perpindahan kalor terjadi akibat adanya perbedaan temperatur, dimana kalor berpindah dari zat dengan temperatur tinggi ke arah zat dengan temperatur yang lebih rendah. Perpindahan kalor akan terus berlangsung hingga kedua zat tersebut mencapai kesetimbangan temperatur, baik melalui perpindahan kalor konduksi, konveksi maupun radiasi (Moran dan Shapiro, 2004).

#### 2.10.1 Perpindahan Kalor Konduksi

Perpindahan kalor konduksi adalah perpindahan energi kalor melalui sebuah proses medium stasioner, seperti tembaga, air atau udara. Di dalam benda-benda padat, maka perpindahan energi timbul karena atom-atom pada temperatur yang lebih tinggi bergetar dengan lebih cepat, sehingga atom-atom tersebut dapat memindahkan energi kepada atom-atom yang lebih lambat yang berada di dekatnya dengan kerja mikroskopik, yakni kalor. Di dalam logam-logam, elektron-elektron bebas juga membuat kontribusi kepada proses hantaran kalor. Di dalam sebuah cairan atau gas, molekul-molekul juga mudah bergerak, dan energi juga dihantarkan oleh tumbukan-tumbukan molekul (Holman, 1997).



Gambar 2.9 Konduktivitas termal pada dinding datar (Holman, 1997)

Menurut Holman (1997), perpindahan kalor konduksi satu dimensi melalui padatan diatur oleh hukum *Fourier*, yang dalam bentuk satu dimensi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Q = -K.A. \frac{dT}{dx}$$

Keterangan :

Q = Laju perpindahan kalor (W)

K = Konduktivitas *thermal* (W/m. °C)

A = Luas area benda (m<sup>2</sup>)

$\frac{dT}{dx}$  = Gradien suhu dalam arah perpindahan panas (°C/m)

Dalam persamaan di atas, tanda minus diselipkan agar memenuhi hukum kedua termodinamika, yaitu bahwa kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala suhu (Holman, 1997).

### 2.10.2 Perpindahan Kalor Konveksi

Apabila suatu fluida melewati sebuah permukaan padat panas, maka energi dipindahkan kepada fluida dari dinding oleh hantaran panas. Energi ini kemudian diangkut atau dikonveksikan (*convected*), ke hilir oleh fluida dan difusikan melalui fluida oleh hantaran di dalam fluida tersebut. Jenis proses perpindahan energi ini



dinamakan perpindahan panas konveksi (*convection heat transfer*) (Stoecker dan Jones, 1982).

Menurut Stoecker dan Jones (1982), jika proses aliran fluida tersebut diinduksikan oleh sebuah pompa atau sistem pengedar (*circulating system*) yang lain, maka digunakan istilah konveksi yang dipaksakan (*forced convection*). Bertentangan dengan itu, jika aliran fluida timbul karena gaya apung fluida yang disebabkan oleh pemanasan, maka proses tersebut dinamakan konveksi bebas (*free convection*) atau konveksi alami (*natural convection*). Persamaan dasar untuk menghitung laju perpindahan panas konveksi yaitu:

$$Q = h.A.\Delta T$$

Keterangan :

Q = Laju perpindahan panas (W)

H = Koefisien perpindahan panas konveksi ( $\text{W}/\text{m}^2.\text{C}$ )

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )

a. Konveksi Alami (*Natural Convection*)

Konveksi alami atau konveksi bebas terjadi karena proses pemanasan, fluida berubah densitasnya (kerapatannya) dan bergerak naik. Radiator panas yang digunakan untuk memanaskan ruang merupakan suatu contoh piranti praktis yang memindahkan kalor dengan konveksi bebas. Gerakan fluida dalam konveksi bebas, baik fluida itu gas maupun zat cair terjadi karena gaya apung (*buoyancy force*) yang dialaminya apabila densitas fluida di dekat permukaan perpindahan kalor berkurang sebagai akibat proses pemanasan (Djafar *et al.*, 2010).

Gaya apung tidak akan terjadi apabila fluida tidak mengalami sesuatu gaya dari luar seperti gravitasi (gaya berat), walaupun gravitasi bukanlah satu-satunya medan gaya luar yang dapat menghasilkan arus konveksi bebas. Fluida yang terdapat pada mesin rotasi mengalami medan gaya sentrifugal, dan karena itu mengalami arus konveksi bebas bila salah satu atau beberapa permukaannya yang dalam kontak dengan fluida itu dipanaskan (Holman, 1997).

b. Konveksi Paksa (*Force Convection*)

Konveksi paksa adalah perpindahan panas yang alirannya tersebut berasal dari luar, seperti dari *blower* atau kran dan pompa. Konveksi paksa dalam pipa merupakan persoalan perpindahan konveksi untuk aliran dalam atau yang disebut dengan *internal flow*. Adapun aliran yang terjadi dalam pipa adalah fluida yang dibatasi oleh suatu permukaan. Sehingga lapisan batas tidak dapat berkembang secara bebas seperti halnya pada aliran luar (Djafar *et al.*, 2010).

### 2.11 Hipotesa

Hipotesa dalam penelitian ini adalah apabila rasio perbandingan antara diameter masukan (*inlet*) terhadap diameter keluaran (*outlet*) semakin tinggi, maka aliran balik pada area *sudden expansion* akan semakin besar yang dapat meningkatkan proses pencampuran udara dan bahan bakar serta memperlama *residence time* dalam *combustor*. Hal tersebut dapat menjaga kestabilan nyala api serta memperkecil kehilangan panas (*heat losses*) pada *combustor* yang terkait dengan perbandingan luas permukaan terhadap volume.

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode eksperimental, yaitu metode yang dilakukan dengan mengamati pengaruh variasi diameter *output meso-scale combustor* dengan *sudden expansion* terhadap *heat losses*.

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini adalah pada bulan Januari sampai dengan bulan Juni 2019. Sedangkan penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Jember.

### 3.3 Variabel Penelitian

#### 3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi faktor-faktor yang diukur oleh peneliti untuk menentukan hubungan antara fenomena yang diamati, adapun variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. *Combustor* skala *meso* yang terdiri dari *inlet* ( $d_1$ ) yang memiliki ukuran diameter dalam 4,5 mm dan *outlet* ( $d_2$ ) yang divariasikan pada ukuran diameter dalam 5 mm, 5,5 mm dan 6 mm.
- b. Data yang ditampilkan berupa tabel.
- c. Material *combustor* terbuat dari bahan tembaga (Cu).

#### 3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini meliputi karakteristik pembakaran temperatur dinding *combustor*, temperatur nyala api, efisiensi dan *heat losses* hasil dari pembakaran pada *meso-scale combustor*.

### 3.4 Alat dan Bahan

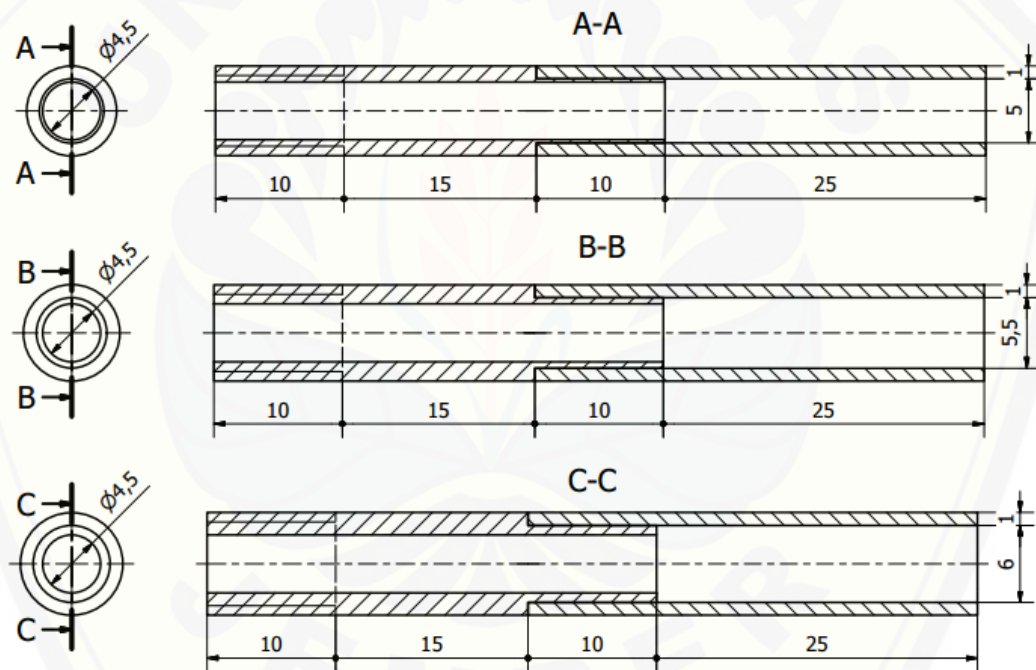
#### 3.4.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

### 1. *Meso-scale combustor*

Proses pembakaran gas LPG terjadi di dalam *combustor* yang dibuat dengan menggunakan bahan tembaga (Cu). *Combustor* yang digunakan ini terdiri dari dua bagian, yaitu sisi *input* sebagai tempat bercampurnya bahan bakar dan udara (*inlet*) dan sisi *output* sebagai saluran *sudden expansion* sekaligus sebagai ruang bakar dari *combustor* (*outlet*).

Ukuran dari *combustor* yang digunakan pada penelitian ini memiliki ukuran diameter dalam *inlet* 4,5 mm dan ukuran diameter dalam *outlet* divariasikan pada 5 mm, 5,5 mm dan 6 mm. Dimensi dari masing-masing *combustor* ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Dimensi *Meso-Scale Combustor*: 5 mm; 5,5 mm; 6 mm.

### 2. *Combustor holder*

*Combustor holder* berfungsi sebagai tempat duduk dari *combustor* dan juga untuk memudahkan penyambungan antara komponen *mixer* bahan bakar dan udara terhadap *combustor*.

### 3. *Flowmeter* bahan bakar dan udara

*Flowmeter* merupakan alat yang berfungsi untuk mengukur dan mengatur debit udara dari kompresor dan debit bahan bakar yang akan disalurkan menuju *combustor*. *Flowmeter* ditunjukkan pada gambar 3.2, dimana *flowmeter* sebelah kiri dengan ukuran lebih kecil adalah *flowmeter* untuk mengukur debit bahan bakar. Sedangkan *flowmeter* sebelah kanan digunakan untuk mengukur dan mengatur debit udara dari kompresor.



Gambar 3.2 *Flowmeter* Bahan Bakar dan Udara  
(Sumber: Dokumentasi pribadi)

Spesifikasi *flowmeter* :

#### a) *Flowmeter* udara

- Merek : Kofloc
- Seri : RK-1250
- Jenis : *Flowmeter* udara
- Tekanan Kerja : 0,1 MPa
- Aliran Maks. : 500 ml/min
- Aliran Min. : 50 ml/min
- Skala Terkecil : 5 ml/min

#### b) *Flowmeter* bahan bakar

- Merek : Kofloc
- Seri : RK-1250
- Jenis : *Flowmeter* propana dan butana
- Tekanan Kerja : 0,1 MPa
- Aliran Maks. : 20 ml/min

- Aliran Min. : 2 ml/min
- Skala Terkecil : 0,5 ml/min

#### 4. *Mixer*

*Mixer* digunakan untuk mencampur bahan bakar dan udara sebelum terjadi reaksi pembakaran agar terjadi campuran yang homogen sehingga dapat menunjang terjadinya proses pembakaran yang sempurna. Seperti yang terlihat pada Gambar 3.3, komponen *mixer* memiliki dua input dimana satu *input* untuk saluran bahan bakar dan satu *input* untuk saluran udara.



Gambar 3.3 *Mixer*

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

#### 5. Kompresor listrik

Udara yang disuplai untuk reaksi pembakaran pada *combustor* berasal dari kompresor, penggunaan kompresor ditujukan untuk memudahkan memberikan tekanan pada udara dan variasi aliran udara. Kompresor secara fisik sama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Kompresor Listrik

(Sumber: Muhyiddin, 2016)

Spesifikasi kompresor:

- Merek : Wipro
- Nomor Seri : 121105802

- Daya : 1 HP
- Tegangan : 220 V
- Berat Bersih : 22 Kg
- Tekanan Keluaran : 0,8 MPa
- Kapasitas Tangki : 24 Liter

#### 6. Regulator

*Regulator* berfungsi untuk mengalirkan bahan bakar gas LPG dari tabung gas menuju *flowmeter*. *Regulator* LPG dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Regulator*

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

#### 7. Pisco tube

*Pisco tube* merupakan selang kecil sebagai saluran tempat bahan bakar dan udara mengalir. Udara dari kompresor dan gas LPG dari tabung gas disalurkan ke *flowmeter* dan *mixer* menggunakan saluran selang ini. *Pisco tube* ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Pisco tube*

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

#### 8. Jangka sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur jarak nyala api yang terbentuk terhadap mulut *combustor* tembaga. Pengukuran ditujukan untuk membandingkan

posisi nyala api saat merubah besar debit bahan bakar dan debit udara. Jangka sorong yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Jangka Sorong  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

#### 9. *Thermocouple*

*Thermocouple* digunakan untuk mengetahui temperatur hasil pembakaran pada *combustor*. Pengukuran temperatur dilakukan dengan jalan memasukkan sensor kawat *thermocouple* ke dalam ruang bakar *combustor* sampai menyentuh nyala api.



Gambar 3.8 *Thermocouple*  
( Sumber : OMEGA, 2017 )

#### 10. Data logger

Data logger digunakan untuk pengambilan data temperatur nyala api dan temperatur dinding *combustor* selama pengujian berlangsung. Selanjutnya data tersebut diubah menjadi format file .xls oleh data logger.





Gambar 3.9 Data logger  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

#### 3.4.2 Bahan

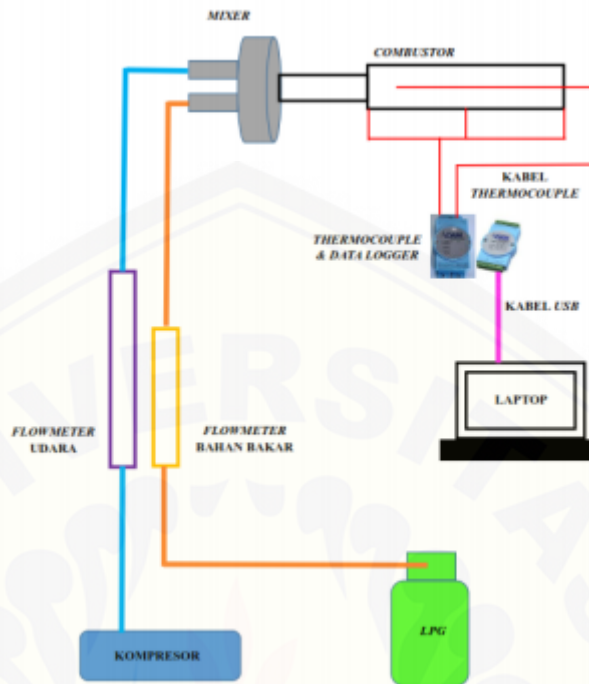
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Liquid Petroleum Gas* (LPG) dengan asumsi 50% propana dan 50% butana.



Gambar 3.10 Gas LPG

( Sumber : Andromeda, 2016 )

### 3.5 Skema Penelitian



Gambar 3.11 Skema Penelitian

### 3.6 Prosedur Penelitian

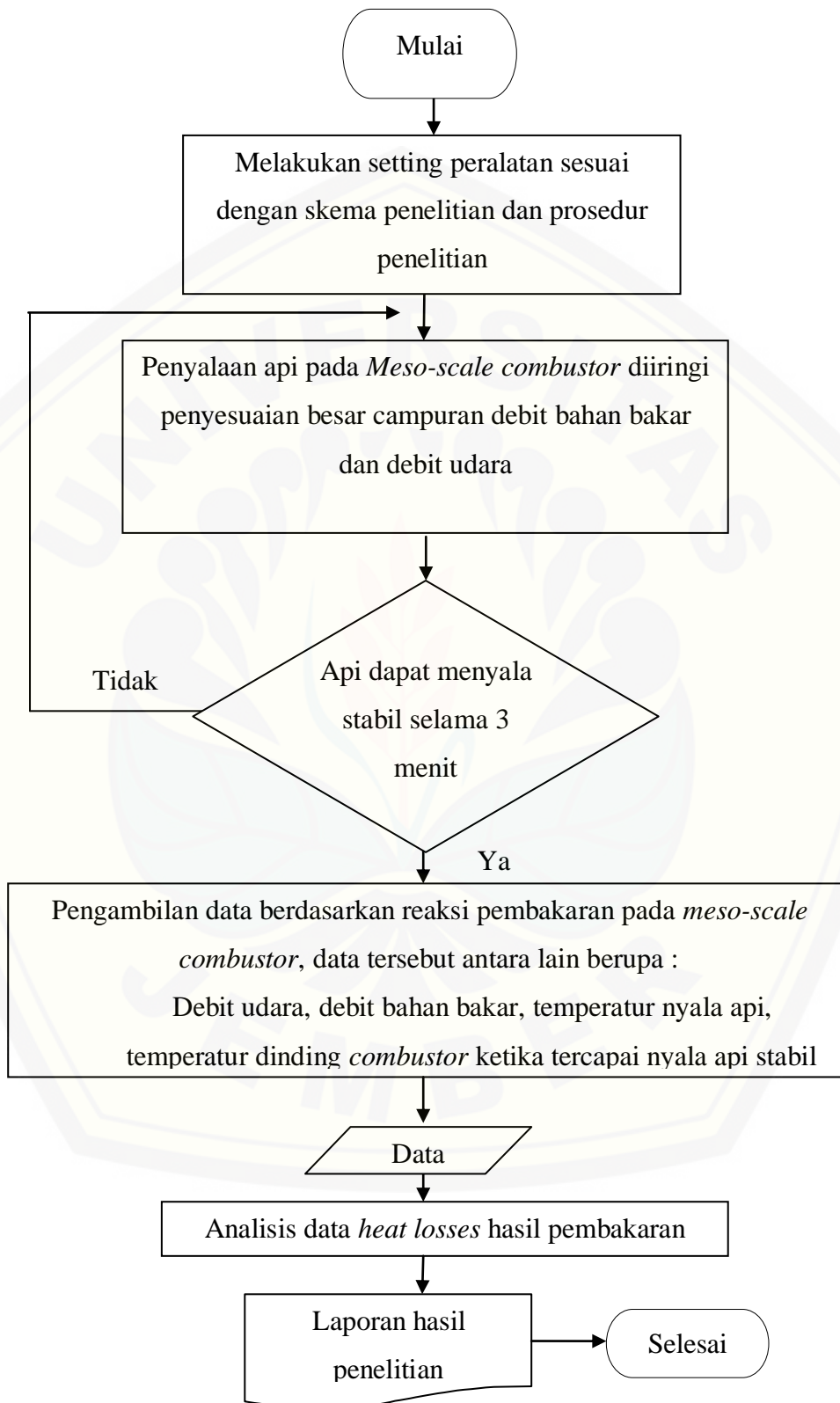
Pengambilan data dalam penelitian nyala api pada *meso-scale combustor* harus melakukan beberapa tahapan secara berurutan, adapun tahapan–tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan *meso-scale combustor*, memasangkannya pada *combustor holder*.
2. Memasang alat–alat penelitian sesuai dengan skema pada Gambar 3.11, selang saluran bahan bakar, saluran udara, dan saluran campuran bahan bakar dan udara harus terpasang dengan baik tanpa terjadi kebocoran.
3. 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.
4. 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.

5. 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.
6. Mengatur perbandingan debit bahan bakar dan udara yang dilakukan dengan jalan menjaga debit bahan bakar agar tetap konstan, kemudian debit udara divariasikan.
7. Mencari nilai debit udara maksimal dengan jalan meningkatkan nilai debit udara sampai nyala api menjadi stabil sebelum kemudian api padam karena pembakaran terlalu miskin.
8. 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.
9. Melakukan pengamatan kestabilan nyala api selama 3 menit disaat nyala api dalam keadaan reaksi pembakaran kaya dan reaksi pembakaran miskin.
10. Mencatat nilai debit udara dan debit bahan bakar ketika api mampu menyala secara stabil selama 3 menit.
11. 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 *outlet* saluran *sudden expansion*.

## 3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.12 Diagram Alir Penelitian

### 3.8 Penyajian dan Pengolahan Data Penelitian

#### 3.8.1 Kalibrasi *Flowmeter*

Dalam penelitian ini diperlukan kalibrasi dari *flowmeter* terlebih dahulu dikarenakan *flowmeter* yang digunakan yaitu *flowmeter* gas butana, sedangkan bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini adalah gas LPG. Hasil data kalibrasi *flowmeter* disajikan dalam bentuk tabel seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kalibrasi *Flowmeter*

Bahan Bakar	Pengulangan			Rata-rata
	I	II	III	
2				
2.5				
3				
3.5				
4				
4.5				
5				
5.5				
6				
6.5				
7				
7.5				
8				
8.5				
9				
9.5				
10				

#### 3.8.2 Penyajian Data Penelitian Pada *Meso-Scale Combustor*

Data yang diperoleh dari hasil penelitian diolah menggunakan *software microsoft excel* untuk memudahkan pencarian nilai variabel terikat. Hasil pengolahan data disajikan dalam bentuk tabel seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.2, 3.3 dan 3.4.

Tabel 3.2 Penyajian data hasil pengujian pada *combustor* dengan variasi diameter *outlet combustor* 5 mm

Diameter Outlet Combustor (mm)	AFR (ml/min)			Percobaan 1		
	Udara	Bahan Bakar	Temperatur <sup>φ</sup> Api (°C)	Temperatur Dinding Dinding A	Temperatur Dinding Dinding B	Temperatur Dinding Outlet Combustor (° Dinding C
5						
5,5	300	16,5				
6						

Tabel 3.3 Penyajian data hasil pengujian pada *combustor* dengan variasi diameter *outlet combustor* 5,5 mm

Diameter Outlet Combustor (mm)	AFR (ml/min)			Percobaan 2		
	Udara	Bahan Bakar	Temperatur <sup>φ</sup> Api (°C)	Temperatur Dinding Dinding A	Temperatur Dinding Dinding B	Temperatur Dinding Outlet Combustor (° Dinding C
5						
5,5	300	16,5				
6						

Tabel 3.4 Penyajian data hasil pengujian pada *combustor* dengan variasi diameter *outlet combustor* 6 mm

Diameter Outlet Combustor (mm)	AFR (ml/min)			Percobaan 3		
	Udara	Bahan Bakar	Temperatur <sup>φ</sup> Api (°C)	Temperatur Dinding Dinding A	Temperatur Dinding Dinding B	Temperatur Dinding Outlet Combustor (° Dinding C
5						
5,5	300	16,5				
6						

### 3.8.3 Pengolahan Data Penelitian

Persamaan yang digunakan untuk mengolah data hasil penelitian adalah sebagai berikut :

- a. Perhitungan AFR <sub>Stoikiometri</sub>

$$AFR \text{ Stoikiometri} = \frac{\text{Massa Udara}}{\text{Massa Bahan Bakar}} \dots\dots\dots (3.1)$$

- b. Perhitungan AFR <sub>Aktual</sub>

$$AFR \text{ Aktual} = \frac{m_a}{m_f} \dots\dots\dots (3.2)$$

- c. Perhitungan Rasio Ekuivalen (Φ)

$$\Phi = \frac{(AFR)_{\text{Stoikiometri}}}{(AFR)_{\text{aktual}}} \dots\dots\dots (3.3)$$

d. Kecepatan minimal reaktan

$$V_{\text{total}} (\text{minimal}) = \frac{Q_{f(\text{vapor})} + Q_{a(\text{min})}}{\frac{60}{(3,14 \times r^2)} \dots\dots\dots (3.4)}$$

e. Kecepatan maksimal reaktan

$$V_{\text{total}} (\text{maksimal}) = \frac{Q_{f(\text{vapor})} + Q_{a(\text{maksimal})}}{\frac{60}{(3,14 \times r^2)} \dots\dots\dots (3.5)}$$

f. Perhitungan beban hambatan thermal perpindahan panas

$$R_{\text{konduksi}} = \frac{\ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right)}{2 \pi \cdot L \cdot k} \dots\dots\dots (3.6)$$

$$R_{\text{konveksi}} = \frac{1}{A \cdot h} \dots\dots\dots (3.7)$$

g. Heat Losses

$$Q_{\text{loss}} = h A_w (T_w - T_{\infty}) + A_w \sigma_b \varepsilon (T_w^4 - T_{\infty}^4) \dots\dots\dots (3.8)$$

Keterangan :

$r$  = Jari – jari dalam *combustor* (mm)

$(AFR)_{\text{stoikiometri}}$  = Rasio udara dan bahan bakar stokiometri

$(AFR)_{\text{aktual}}$  = Rasio udara dan bahan bakar aktual

$Q_{a \text{ minimal}}$  = Debit udara minimal (ml/min)

$Q_{a \text{ maksimal}}$  = Debit udara maksimal (ml/min)

$Q_{f(\text{vapor})}$  = Debit bahan bakar pada fase uap (ml/min)

$\rho_{f(\text{vapor})}$  = Densitas bahan bakar pada fase uap (mg/ml)

$\dot{m}_f$  = Massa alir bahan bakar (mg/min)

$\Phi$  = *Equivalence Ratio*

$V_{(\text{minimal})}$  = Kecepatan minimal reaktan di dalam *combustor* (cm/s)

- $V_{(maksimal)}$  = Kecepatan maksimal reaktan di dalam *combustor* (cm/s)
- $Q_{loss}$  = Kehilangan panas total (*heat losses* total) (W)
- $h$  = Koefisien perpindahan panas konveksi alami (10 W/(m<sup>2</sup> K))
- $A_w$  = Luas permukaan tabung luar dinding (m<sup>2</sup>)
- $T_w$  = Temperatur dinding (K)
- $T_{\infty}$  = Temperatur ambien (K)
- $\sigma_b$  = Ketetapan *Stephan-Boltzmann* konstan (5.67 x 10<sup>-8</sup> W/(m<sup>2</sup> K<sup>4</sup>))
- $\epsilon$  = Emisivitas radiasi *combustor*

### 3.9 Jadwal Kegiatan Penelitian

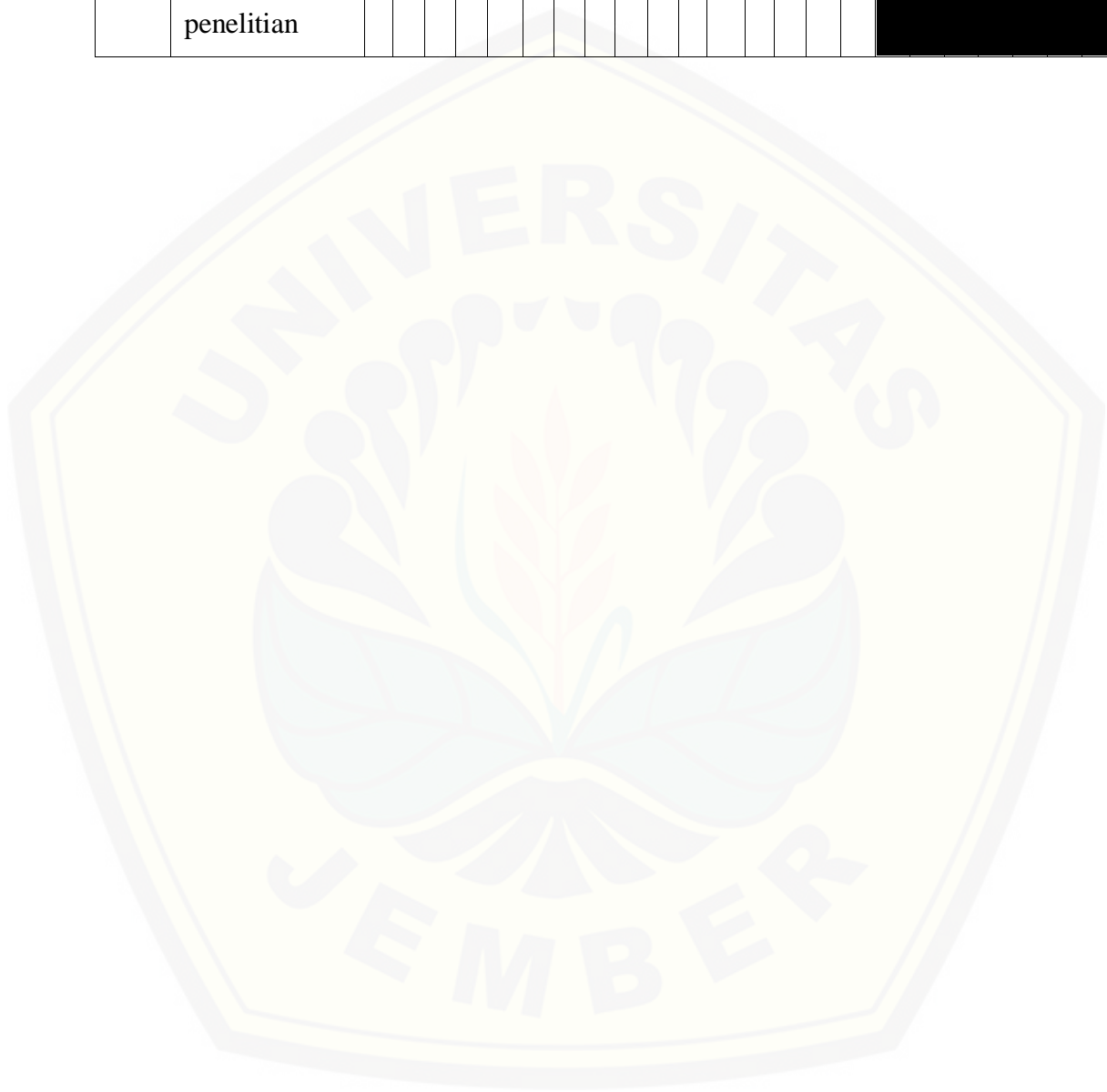
Kegiatan penelitian *heat losses* pada *meso-scale combustor* berlangsung selama lima bulan. Ada pun jadwal kegiatan penelitian ini ditunjukkan pada tabel 3.4.

Tabel 3.5 Jadwal kegiatan penelitian

No.	JenisKegiatan	Bulan																							
		Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Studi literatur	■	■																						
2.	Penyusunan proposal			■	■	■	■	■	■																
3.	Penelitian pendahuluan					■	■	■	■	■	■	■	■												
4.	Seminar proposal												■	■											
5.	Pelaksanaan penelitian													■	■	■	■								



6.	Pengolahan dan Analisa data																														
7.	Laporan hasil penelitian																														



## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari pengujian, pembahasan dan analisis yang telah dilakukan menghasilkan kesimpulan bahwa kestabilan pembakaran pada *combustor* yaitu dengan *backward facing step (sudden expansion)* dapat meningkatkan proses pencampuran udara dan bahan bakar dan memperlama *residence time*. Hasil dari analisis energi *output* pembakaran gas LPG pada *meso-scale combustor* untuk ukuran *combustor* 5 mm menunjukkan nilai efisiensi pembakaran yang tinggi yaitu 98,97% serta rendahnya tingkat kehilangan panas (*heat losses*) yaitu sebesar  $1,0904262108812 \times 10^{-6}$  W.

Kesimpulan tersebut membuktikan bahwa *combustor* dengan *backward facing step (sudden expansion)* memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap temperatur pembakaran, efisiensi pembakaran serta *heat losses* pada *combustor*.

### 5.2 Saran

Berdasarkan pengujian, pembahasan dan analisis yang telah dilakukan, saran untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Penelitian masih terbatas pada tembaga (Cu) sebagai material *combustor*, pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat memvariasikan beberapa material *combustor* untuk dilakukan pengujian *heat losses* pembakaran.
2. Penelitian ini dilakukan di ruangan terbuka, pada penelitian selanjutnya diharapkan penelitian dilakukan pada ruangan terisolir, sehingga energi adiabatik dari *combustor* dapat diketahui.
3. Dalam penelitian ini untuk bahan bakarnya masih terbatas menggunakan gas LPG, untuk penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan bahan bakar yang bervariasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, S., Ryanuargo, dan S. P. Sari. 2013. *Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensor pada Sistem Pendingin*. Jakarta: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma. *Jurnal Rekayasa Elektrika*. 10 (4): 180-185.
- Celanovic, I., P. Bermel, dan M. Soljacic. 2011. *Thermophotovoltaic Power Conversion System: Current Performance and Future Potential*. Massachusetts Institute of Technology (77 Massachusetts Ave., Cambridge, MA 02139, USA).
- Chandra, dan Budiman. 2006. *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. EGC. Jakarta.
- Chou, S. K., W. M. Yang, K. J. Chua, J. Li, dan K. L. Zhang. 2011. *Development of Micro Power Generators – A Review*. Science Direct. *Applied Energy* 88: 1-16.
- Condro, B. dan M. Setiyo. 2012. *Optimasi Pemanfaatan LPG Sebagai Bahan Bakar Kendaraan Melalui Penyetelan Converter Kits dan Saat Pengapian*. Magelang: Universitas Muhammadiyah Magelang.
- Djafar, Z., N. Putra, dan R. A. Koestoer. 2010. *Pengaruh Variasi Temperatur Fluida Panas terhadap Karakteristik Modul Termoelektrik Generator*. Depok: Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Fadhlulloh, M. A. 2015. *Sintesis dan Karakterisasi Karbon Nanopartikel dari Liquefied Petroleum Gas (LPG) dengan Metode Pembakaran*. Jakarta: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Farizkaraja, M., M. N. Sasongko, dan W. Wijayanti. 2014. *Pengaruh Konsentrasi CO<sub>2</sub> Terhadap Karakteristik Api Pembakaran Difusi CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub> Pada Counter Flow Burner*. Malang: Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Fernandez, dan C. Pello. 2002. *Micropower Generation Using Combustion: Issues and Approaches*. *Proceedings of the Combustion Institute* 29: 883-899.
- Holman, J. P. 1997. *Heat Transfer*, 8<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill Companies Inc., New York. USA.
- Jiaqiang, E., W. Zuo, X. Liu, Q. Peng, Y. Deng, dan H. Zhu. 2016. *Effects of Inlet Pressure on Wall Temperature and Exergy Efficiency of the Micro-*

- Cylindrical Combustor With a Step*. Science Direct. *Applied Energy* 175: 337-345.
- Ju, Y., dan K. Maruta. 2011. *Microscale Combustion: Technology Development and Fundamental Research*. Science Direct. *Progress in Energy and Combustion Science* 37: 669 – 715.
- Khandelwal, B., A. A. Deshpande, dan S. Kumar. 2013. *Experimental Studies On Flame Stabilization in a Three Step Rearward Facing Configuration Based Micro Channel Combustor*. Science Direct. *Applied Thermal Engineering* 58: 363-368.
- Kurniawan, M. A., dan G. Tjahjadi. 2016. *Pengaman Otomatis Kompor Gas LPG Satu Tungku Berbasis Mikrokontroler ATMEGA*. Jakarta Barat: Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Trisakti.
- Mahandari, C. P., dan D. Kartika. 2010. *Flame Lift-up on A Bunsen Burner*. Jakarta: *A Preliminary Study*.
- Maruta, K. 2011. *Micro and Mesoscale Combustion*. Science Direct. *Proceedings of the Combustion Institute* 33: 125-150.
- Mikami, M., Y. Maeda, K. Matsui, T. Seo, dan L. Yuliati. 2012. *Combustion of Gaseous and Liquid Fuels In Meso-scale Tubes With Wire Mesh*. *Proceeding of the Combustion Institute* 34. 3387-3394.
- Moran, M. J., dan H. N. Shapiro, 2004. *Fundamental of Engineering Thermodynamics*. Edisi 5. John Wiley & Sons Inc,
- Muhyiddin, A. 2016. Kompresor Angin Wipro. <http://m.olx.co.id/257467679/>. [Diakses pada 28 mei 2019].
- Munson, B. R., D. F. Young, dan T. H. Okiishi. 2004. *Mekanika Fluida Edisi Keempat*. Jakarta : Erlangga.
- Raditya, M. A., I. N. G. Wardana, dan L. Yuliati. 2013. *Pengaruh Variasi Jarak Antar Wire Mesh Terhadap Karakteristik Pembakaran Pada Meso-scale Combustor*. Malang: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Rohadi, dan I. Ahmad. 2016. *Pengaruh Panjang Saluran Sudden Expansion Terhadap Karakteristik Pembakaran pada Meso-Scale Combustor*. Jember: Teknik Mesin Universitas Jember.
- Rosyid, dan M. Fachani. 2014. *Kajian Konsep Fisika 2*. Platinum Distribution. Solo: PT. Tiga Serangkai.

- Sari, dan Sullistiyah. 2015. *Pengaruh Diameter Combustor Terhadap Karakteristik Pembakaran pada Meso-scale Combustor dengan Backward Facing Step*. Malang: Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Siamullah, M. W., M. N. Sasongko, dan L. Yulianti. 2013. *Pengaruh Diameter Droplet Air Terhadap Proses Pemadam Api Tipe Premixed Flame*. Malang: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Stoecker, E. F., dan J. W. Jones. 1982. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Sularso, dan H. Tahara. 1983. *Pompa dan Kompresor*. Jakarta: PT. Pradnya Paramitha.
- Taufiq. 2008. *Perbandingan Temperatur Ring Stainless Steel dan Temperatur Ring Keramik pada Fenomena "Flame Lift-Up"*. Depok: Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Indonesia.
- Unep. 2006. Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia. [www.energyefficiencyasia.org](http://www.energyefficiencyasia.org). [Diakses pada 28 mei 2019].
- Wardana, J. N. G. 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. Malang: PT. Danar Wijaya.
- Wirahadi, F., I. N. G. Wardana, dan L. Yulianti. 2013. *Pengaruh Variasi Jumlah Wire Mesh Terhadap Karakteristik Pembakaran Pada Meso-Scale Combustor*. Malang: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Yunus, S. 2010. *Jurnalistik Terapan*. Bogor: Ghalia Indonesia.

## LAMPIRAN

## A. Perhitungan Data Penelitian

## 1. Perhitungan AFR stoikiometri



a) Diketahui :

- Massa atom relatif (Ar)  
C = 12 gram/mol ; H = 1 gram/mol ; O = 16 gram/mol ; dan N = 14 gram/mol
- Massa jenis udara pada suhu ruangan 30 °C adalah 0,001205 gram/cm<sup>3</sup>
- Massa jenis propana 0,00183 gram/cm<sup>3</sup>
- Massa jenis butana 0,002417 gram/cm<sup>3</sup>
- Massa jenis LPG (50% propana dan 50% butana) adalah 0,0092126 gram/cm<sup>3</sup>.

b) Ditanya :

- AFR stoikiometri = ....?

c) Penyelesaian :

- AFR<sub>stoikiometri</sub> berdasarkan rasio massa udara dan bahan bakar :

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Massa bahan bakar} &= n \times \text{Mr} \\
 &= 0,5 \times (\text{Mr C}_3\text{H}_8 + \text{Mr C}_4\text{H}_{10}) \\
 &= 0,5 \times ((3 \times 12) + (8 \times 1)) + 0,5 \times ((4 \times 12) + (10 \times 1)) \\
 &= 0,5 (44) + 0,5 (58) \\
 &= 22 + 29 \\
 &= 51 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Massa udara} &= n \times \text{Mr} \\
 &= 5,75 \times (\text{Mr O}_2 + 3,76 \times \text{Mr N}_2) \\
 &= 5,75 \times ((16 \times 2) + 3,76 \times (14 \times 2))
 \end{aligned}$$

$$= 5,75 \times (32 + (3,76 \times 28))$$

$$= 5,75 \times 137,28$$

$$= 789,36 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ AFR}_{\text{stoikiometri}} &= \frac{\text{Massa udara}}{\text{Massa bahan bakar}} \\ &= \frac{789,36}{51} \\ &= 15,48 \end{aligned}$$

## 2. Perhitungan AFR<sub>aktual</sub>

a) Diketahui :

- $P_{\text{LPG}} = 0,002126 \text{ gram/cm}^3$

- $P_{\text{udara}} = 0,001205 \text{ gram/cm}^3$

- $Q_f = 16,5 \text{ ml/min}$

- $Q_{a \text{ min}} = 290 \text{ ml/min}$

- $Q_{a \text{ maks}} = 310 \text{ ml/min}$

b) Karena perbedaan fase bahan bakar dan udara, maka keduanya di ubah menjadi massa alir ( $m$ ).

- $m_f = P_{\text{LPG}} \times Q_f$   
 $= 0,002126 \text{ gram/cm}^3 \times 16,5 \text{ ml/min}$   
 $= 0,035079 \text{ gram/min}$

- $m_{a \text{ maks}} = P_{\text{udara}} \times Q_{a \text{ maks}}$   
 $= 0,001205 \text{ gram/cm}^3 \times 310 \text{ ml/min}$   
 $= 0,37355 \text{ gram/min}$

- $m_{a \text{ min}} = P_{\text{udara}} \times Q_{a \text{ min}}$   
 $= 0,001205 \text{ gram/cm}^3 \times 290 \text{ ml/min}$   
 $= 0,34945 \text{ gram/min}$

c) Nilai AFR<sub>aktual</sub>

- $\text{AFR}_{\text{aktual}} = \frac{m_a}{m_f}$

- $\text{AFR}_{\text{aktual batas atas}} = \frac{0,37355 \text{ gram/min}}{0,035079 \text{ gram/min}} = 10,65$

- $AFR_{\text{actual batas bawah}} = \frac{0,34945 \text{ gram/min}}{0,035079 \text{ gram/min}} = 9,96$

### 3. Perhitungan Rasio Ekuivalen ( $\Phi$ )

- $\Phi = \frac{AFR \text{ stoikiometri}}{AFR \text{ aktual}}$
- $\Phi_{\text{batas atas}} = \frac{15,48}{9,96} = 1,55$
- $\Phi_{\text{batas bawah}} = \frac{15,48}{10,65} = 1,45$

### 4. Perhitungan Kecepatan Reaktan ( $V$ )

#### A. Perhitungan kecepatan reaktan pada *mixer*

a) Diketahui :

- $Q_{a \text{ min}} = 290 \text{ ml/min}$
- $Q_{a \text{ maks}} = 310 \text{ ml/min}$
- $Q_f = 16,5 \text{ ml/min}$
- $d_{\text{out combustor}} = 30 \text{ mm}$
- $r_{\text{out combustor}} = 15 \text{ mm}$

b) Ditanya :

- $V_{\text{reaktan min}}$
- $V_{\text{reaktan maks}}$

c) Penyelesaian :

- $V_{\text{reaktan min}} = \frac{Q_f + Q_{a \text{ min}}}{\frac{60}{(3,14 \times r^2)}} = \frac{5,8 + 190}{\frac{60}{(3,14 \times 15^2)}} = 0,72 \text{ cm/s}$
- $V_{\text{reaktan maks}} = \frac{Q_f + Q_{a \text{ max}}}{\frac{60}{(3,14 \times r^2)}} = \frac{5,8 + 200}{\frac{60}{(3,14 \times 15^2)}} = 0,77 \text{ cm/s}$

#### B. Perhitungan kecepatan reaktan pada saluran *adapter skala meso combustor* dengan ukuran 4,5 mm

a) Diketahui :

- $Q_{a \text{ min}} = 290 \text{ ml/min}$



- $Q_a \text{ maks} = 310 \text{ ml/min}$
- $Q_f = 16,5 \text{ ml/min}$
- $d_{\text{out combustor}} = 4,5 \text{ mm}$
- $r_{\text{out combustor}} = 2,25 \text{ mm}$

b) Ditanya :

- $V_{\text{reaktan min}}$
- $V_{\text{reaktan maks}}$

c) Penyelesaian :

- $$V_{\text{reaktan min}} = \frac{\frac{Q_f + Q_a \text{ min}}{60}}{\frac{(3,14 \times r^2)}{100}} = \frac{\frac{5,8 + 190}{60}}{\frac{(3,14 \times 2,25^2)}{100}} = 32,14 \text{ cm/s}$$
- $$V_{\text{reaktan maks}} = \frac{\frac{Q_f + Q_a \text{ max}}{60}}{\frac{(3,14 \times r^2)}{100}} = \frac{\frac{5,8 + 200}{60}}{\frac{(3,14 \times 2,25^2)}{100}} = 34,23 \text{ cm/s}$$

C. Perhitungan kecepatan reaktan pada *inlet meso combustor* dengan ukuran 4,5 mm

a) Diketahui :

- $Q_a \text{ min} = 290 \text{ ml/min}$
- $Q_a \text{ maks} = 310 \text{ ml/min}$
- $Q_f = 16,5 \text{ ml/min}$
- $d_{\text{out combustor}} = 4,5 \text{ mm}$
- $r_{\text{out combustor}} = 2,25 \text{ mm}$

b) Ditanya :

- $V_{\text{reaktan min}}$
- $V_{\text{reaktan maks}}$

c) Penyelesaian :

- $$V_{\text{reaktan min}} = \frac{\frac{Q_f + Q_a \text{ min}}{60}}{\frac{(3,14 \times r^2)}{100}} = \frac{\frac{5,8 + 190}{60}}{\frac{(3,14 \times 2,25^2)}{100}} = 32,14 \text{ cm/s}$$
- $$V_{\text{reaktan maks}} = \frac{\frac{Q_f + Q_a \text{ max}}{60}}{\frac{(3,14 \times r^2)}{100}} = \frac{\frac{5,8 + 200}{60}}{\frac{(3,14 \times 2,25^2)}{100}} = 34,23 \text{ cm/s}$$

Dengan cara yang sama, diperoleh hasil perhitungan pada sisi *outlet meso scale combustor* ukuran 5 mm, 5,5 mm, dan 6 mm sebagai berikut :

<b>Diameter outlet combustor (mm)</b>	<b>Kecepatan reaktan minimum (cm/s)</b>	<b>Kecepatan reaktan maksimum (cm/s)</b>
5	26,03	27,73
5,5	21,51	22,92
6	18,08	19,26

D. Perhitungan lama tinggal reaktan pada *mixer*

a) Diketahui :

- Diameter *mixer* = 30 mm
- Tinggi *mixer* = 20 mm
- Kecepatan reaktan = 290 ml/min + 310 ml/min = 600 ml/min

b) Ditanya :

- Volume *mixer*
- Lama tinggal reaktan pada *mixer*

c) Penyelesaian:

- Volume *mixer* =  $\frac{\pi D^2}{4} \times 30^2 \times 20 = 14130 \text{ mm}^3$
- Lama tinggal reaktan pada *mixer* =  $\frac{\text{Volume mixer}}{\text{kecepatan reaktan}}$   
 $= \frac{14130 \text{ mm}^3}{600 \text{ ml/min}}$   
 $= 23,55 \frac{\text{mm}^3}{\text{ml/min}}$   
 $= \frac{23,55 \frac{\text{mm}^3}{\text{ml/min}}}{1000}$   
 $= 0,0235 \text{ min}$   
 $= 1,413 \text{ detik}$

## 5. Perhitungan Beban Hambatan *Thermal* Perpindahan Panas

### A. Perhitungan Beban Perpindahan Panas Pada *Combustor* 5 mm

- a. Perhitungan beban hambatan *thermal* perpindahan panas konduksi dari dinding dalam *combustor* ke dinding luar *combustor*.

Nilai konduktivitas *thermal* dari tembaga adalah  $386 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{K}$  (\*sumber: Stoecker, Hal:24).

$$\begin{aligned} R_{\text{konduksi}} &= \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \pi \cdot L \cdot k} \\ &= \frac{\ln\left(\frac{3,5 \times 10^{-3}}{2,5 \times 10^{-3}}\right)}{2 \pi \cdot (25 \times 10^{-3}) \text{ m} \cdot 386 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{K}}} \\ &= 0,0036821153 \text{ } ^\circ\text{K/W} \end{aligned}$$

- b. Perhitungan beban hambatan *thermal* perpindahan panas konveksi dari dinding luar *combustor* ke lingkungan.

Nilai koefisien perpindahan panas konveksi bebas dari udara ( $h$ ) adalah  $5-25 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{K}$  (\*sumber: Stoecker, hal:26).

Nilai  $h$  diasumsikan sebesar  $8 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{K}$ .

$$\begin{aligned} A &= 2 \pi \cdot r_2 \cdot l \\ &= 2 \pi \cdot (3,5 \times 10^{-3}) \cdot (25 \times 10^{-3}) \\ &= 0,0005497787 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$R_{\text{konveksi}} = \frac{1}{A \cdot h}$$

$$= \frac{1}{0,0005497787 \text{ m}^2 \cdot \left(\frac{8}{0,025}\right) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}}}$$

$$= 4,9735922148 \text{ } ^\circ\text{K/W}$$

c. Perhitungan beban hambatan *thermal* perpindahan panas keseluruhan

$$R_{\text{total}} = R_{\text{konduksi}} + R_{\text{konveksi}}$$

$$= (0,0036821153 + 4,9735922148) \text{ } ^\circ\text{K/W}$$

$$= 4,978339287 \text{ } ^\circ\text{K/W}$$

B. Perhitungan Beban Hambatan *Thermal* Perpindahan Panas Pada *Combustor* 5,5 mm

a. Perhitungan beban hambatan *thermal* perpindahan panas konduksi dari dinding dalam *combustor* ke dinding luar *combustor*.

Nilai konduktivitas *thermal* dari tembaga adalah 386 W/m.<sup>0</sup>K (\*sumber: Stoecker, Hal:24).

$$R_{\text{konduksi}} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \pi \cdot L \cdot k}$$

$$= \frac{\ln\left(\frac{3,75 \times 10^{-3}}{2,75 \times 10^{-3}}\right)}{2 \pi \cdot (25 \times 10^{-3}) \text{ m} \cdot 386 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{K}}}$$

$$= 0,0051178992 \text{ } ^\circ\text{K/W}$$

b. Perhitungan beban hambatan *thermal* perpindahan panas konveksi dari dinding luar *combustor* ke lingkungan.

Nilai koefisien perpindahan panas konveksi bebas dari udara (h) adalah 5-25 W/m.<sup>0</sup>K (\*sumber: Stoecker, hal:26).

Nilai  $h$  diasumsikan sebesar  $8 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{K}$ .

$$\begin{aligned} A &= 2 \pi \cdot r_2 \cdot l \\ &= 2 \pi \cdot (3,75 \times 10^{-3}) \cdot (25 \times 10^{-3}) \\ &= 0,0005890486 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{konveksi}} &= \frac{1}{A \cdot h} \\ &= \frac{1}{0,0005890486 \text{ m}^2 \cdot \left(\frac{8}{0,025}\right) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}}} \\ &= 5,3051649728 \text{ } ^\circ\text{K/W} \end{aligned}$$

c. Perhitungan beban hambatan *thermal* perpindahan panas keseluruhan

$$\begin{aligned} R_{\text{total}} &= R_{\text{konduksi}} + R_{\text{konveksi}} \\ &= (0,0051178992 + 5,3051649728) \text{ } ^\circ\text{K/W} \\ &= 5,310282872 \text{ } ^\circ\text{K/W} \end{aligned}$$

C. Perhitungan Beban Hambatan *Thermal* Perpindahan Panas Pada *Combustor* 6 mm

a. Perhitungan beban hambatan *thermal* perpindahan panas konduksi dari dinding dalam *combustor* ke dinding luar *combustor*.

Nilai konduktivitas *thermal* dari tembaga adalah  $386 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{K}$  (\*sumber: Stoecker, Hal:24).

$$R_{\text{konduksi}} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \pi \cdot L \cdot k}$$

$$= \frac{\ln\left(\frac{4 \times 10^{-3}}{3 \times 10^{-3}}\right)}{2 \pi \cdot (25 \times 10^{-3}) \text{m} \cdot 386 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{K}}}$$

$$= 0,0047470722 \text{ } ^\circ\text{K/W}$$

- b. Perhitungan beban hambatan *thermal* perpindahan panas konveksi dari dinding luar *combustor* ke lingkungan.

Nilai koefisien perpindahan panas konveksi bebas dari udara (h) adalah 5-25 W/m.<sup>0</sup>K (\*sumber: Stoecker, hal:26).

Nilai h diasumsikan sebesar 8 W/m.<sup>0</sup>K.

$$A = 2 \pi \cdot r_2 \cdot l$$

$$= 2 \pi \cdot (4 \times 10^{-3}) \cdot (25 \times 10^{-3})$$

$$= 0,0006283185 \text{ m}^2$$

$$R_{\text{konveksi}} = \frac{1}{A \cdot h}$$

$$= \frac{1}{0,0006283185 \text{ m}^2 \cdot \left(\frac{8}{0,025}\right) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}}}$$

$$= 5,75529869632 \text{ } ^\circ\text{K/W}$$

- c. Perhitungan beban hambatan *thermal* perpindahan panas keseluruhan

$$R_{\text{total}} = R_{\text{konduksi}} + R_{\text{konveksi}}$$

$$= (0,0047470722 + 5,75529869632) \text{ } ^\circ\text{K/W}$$

$$= 5,758980812 \text{ } ^\circ\text{K/W}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut:

<b>Diameter Combustor (mm)</b>	<b>Hambatan Thermal (<sup>0</sup>K/W)</b>
5	4,978339287
5,5	5,310282872
6	5,758980812

### 6. Perhitungan Energi Input

Diketahui energi kalor dari reaksi pembakaran :

$$\text{C}_3\text{H}_8 = 2217 \text{ Kj/mol}$$

$$\text{C}_4\text{H}_{10} = 2874 \text{ Kj/mol}$$

$$\text{O}_2 = 498 \text{ Kj/mol}$$

$$\text{N}_2 = 946 \text{ Kj/mol}$$

$$\text{CO}_2 = 393,5 \text{ Kj/mol}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 241,8 \text{ Kj/mol}$$



$$2217 + 2874 + 11,5 (498) + 3,76 (946) \longrightarrow 7 (393,5) + 9 (241,8) + 3,76 (946)$$

(Reaktan)

(Produk)

$$\Delta H_R = E_1 \text{ Reaktan} - E_1 \text{ Produk}$$

$$\Delta H_R = E_1 \text{ R} - E_1 \text{ P}$$

$$E_1 \text{ R} = (2217 + 2874 + 5727 + 3556,96) \text{ Kj/mol} = 14374,96 \text{ Kj/mol}$$

$$E_1 \text{ P} = (2754,5 + 2176,2 + 3556,96) \text{ Kj/mol} = 8487,66 \text{ Kj/mol}$$

$$\Delta H_R = 14374,96 \text{ Kj/mol} - 8487,66 \text{ Kj/mol} = 5887,3 \text{ Kj/mol}$$

Untuk reaksi eksoterm, digunakan pemakaian notasi (-) sebagai pembeda. Sehingga, hasilnya adalah -5887,3 Kj/mol.

## 7. Perhitungan Energi *Output* Pembakaran

- a. Perhitungan energi *output* pembakaran pada *combustor* 5 mm

$T_{\text{udara ambien}}$  pada saat pengujian dan pengambilan data adalah  $30^{\circ}\text{C}$

$$\bar{Q} = \frac{\Delta T}{R \text{ total}}$$

$$\bar{Q} = \frac{(T \text{ api} - T \text{ lingkungan}) + 273}{R \text{ total}}$$

$$\bar{Q} = \frac{(815,7175926 - 30)^{\circ}\text{C} + 273}{4,978339287 \text{ }^{\circ}\text{K/W}}$$

$$\bar{Q} = \frac{1058,7175926 \text{ }^{\circ}\text{K}}{4,978339287 \text{ }^{\circ}\text{K/W}}$$

$$= 212,6648128151 \text{ W}$$

$$\bar{Q} = 212,66 \text{ W}$$

- b. Perhitungan energi *output* pembakaran pada *combustor* 5,5 mm

$$\bar{Q} = \frac{\Delta T}{R \text{ total}}$$

$$\bar{Q} = \frac{(T \text{ api} - T \text{ lingkungan}) + 273}{R \text{ total}}$$

$$\bar{Q} = \frac{(719,6418518 - 30)^{\circ}\text{C} + 273}{5,310282872 \text{ }^{\circ}\text{K/W}}$$

$$\bar{Q} = \frac{962,6418518 \text{ }^{\circ}\text{K}}{5,310282872 \text{ }^{\circ}\text{K/W}}$$

$$= 181,278827325 \text{ W}$$

$$\bar{Q} = 181,28 \text{ W}$$

- c. Perhitungan energi *output* pembakaran pada *combustor* 6 mm



$$\begin{aligned}\bar{Q} &= \frac{\Delta T}{R \text{ total}} \\ \bar{Q} &= \frac{(T \text{ api} - T \text{ lingkungan}) + 273}{R \text{ total}} \\ \bar{Q} &= \frac{(808,2270369 - 30)^\circ\text{C} + 273}{5,758980812 \text{ }^\circ\text{K/W}} \\ \bar{Q} &= \frac{1051,2270369 \text{ }^\circ\text{K}}{5,758980812 \text{ }^\circ\text{K/W}} \\ &= 180,5369924327 \text{ W} \\ \bar{Q} &= 180,54 \text{ W}\end{aligned}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan diperoleh hasil energi *output* sebagai berikut:

No.	Diameter <i>Combustor</i> (mm)	Energi <i>Output</i> Pembakaran (Watt)
1	5	212,66
2	5,5	181,28
3	6	180,54

## 8. Perhitungan Energi *Output* Pada Dinding Luar *Combustor*

a. Perhitungan energi *output* pada dinding luar *combustor* 5 mm

$$\begin{aligned}A &= 2\pi \cdot r \cdot l \\ &= 2\pi \cdot (3,5 \times 10^{-3}) \cdot (12,5 \times 10^{-3}) \\ &= 0,0002748893 \text{ m}^2 \\ \Delta x &= 12,5 \text{ mm} \\ &= 0,0125 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\bar{Q}_{AB} = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$\bar{Q}_{AB} = -k \cdot A \cdot \frac{(T_A - T_B)}{\Delta x}$$

$$\bar{Q}_{AB} = -386 \text{ W/m} \cdot \text{K} \cdot 0,0002748893 \text{ m}^2 \cdot \frac{[(201,0503704 - 170,387037)^\circ\text{C} + 273 \text{ }^\circ\text{K}]}{0,0125 \text{ m}}$$

$$\bar{Q}_{AB} = 2772,1021487258 \text{ W}$$

$$\bar{Q}_{BC} = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$\bar{Q}_{BC} = -k \cdot A \cdot \frac{(T_A - T_B)}{\Delta x}$$

$$\bar{Q}_{BC} = -386 \text{ W/m} \cdot \text{K} \cdot 0,0002748893 \text{ m}^2 \cdot \frac{[(170,387037 - 138,5253704)^\circ\text{C} + 273 \text{ }^\circ\text{K}]}{0,0125 \text{ m}}$$

$$\bar{Q}_{BC} = 2841,7408770116 \text{ W}$$

$$\bar{Q}_{AC} = \bar{Q}_{AB} + \bar{Q}_{BC}$$

$$\bar{Q}_{AC} = 2772,1021487258 \text{ W} + 2841,7408770116 \text{ W}$$

$$\bar{Q}_{AC} = 5613,8430257374 \text{ W}$$

$$\bar{Q}_{AC} = 5613,84 \text{ W}$$

b. Perhitungan energi *output* pada dinding luar *combustor* 5,5 mm

$$A = 2\pi \cdot r \cdot l$$

$$= 2\pi \cdot (3,75 \times 10^{-3}) \cdot (12,5 \times 10^{-3})$$

$$= 0,0002945243 \text{ m}^2$$

$$\Delta x = 12,5 \text{ mm}$$

$$= 0,0125 \text{ m}$$

$$\bar{Q}_{AB} = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$\bar{Q}_{AB} = -k \cdot A \cdot \frac{(T_A - T_B)}{\Delta x}$$

$$\bar{Q}_{AB} = -386 \text{ W/m} \cdot \text{K} \cdot 0,0002945243 \text{ m}^2 \cdot \frac{[(165,3553704 - 141,0085185)^\circ\text{C} + 273 \text{ }^\circ\text{K}]}{0,0125 \text{ m}}$$

$$\bar{Q}_{AB} = 2704,342970995 \text{ W}$$

$$\bar{Q}_{BC} = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$\bar{Q}_{BC} = -k \cdot A \cdot \frac{(T_A - T_B)}{\Delta x}$$

$$\bar{Q}_{BC} = -386 \text{ W/m} \cdot \text{K} \cdot 0,0002945243 \text{ m}^2 \cdot \frac{[(141,0085185 - 121,0983333)^\circ\text{C} + 273 \text{ }^\circ\text{K}]}{0,0125 \text{ m}}$$

$$\bar{Q}_{BC} = 2663,9918849548 \text{ W}$$

$$\bar{Q}_{AC} = \bar{Q}_{AB} + \bar{Q}_{BC}$$

$$\bar{Q}_{AC} = 2704,342970995 \text{ W} + 2663,9918849548 \text{ W}$$

$$\bar{Q}_{AC} = 5368,3348559498 \text{ W}$$

$$\bar{Q}_{AC} = 5368,33 \text{ W}$$

c. Perhitungan energi *output* pada dinding luar *combustor* 6 mm

$$\begin{aligned} A &= 2\pi \cdot r \cdot l \\ &= 2\pi \cdot (4 \times 10^{-3}) \cdot (12,5 \times 10^{-3}) \\ &= 0,0003141593 \text{ m}^2 \\ \Delta x &= 12,5 \text{ mm} \\ &= 0,0125 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\bar{Q}_{AB} = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$\bar{Q}_{AB} = -k \cdot A \cdot \frac{(T_A - T_B)}{\Delta x}$$

$$\bar{Q}_{AB} = -386 \text{ W/m} \cdot \text{K} \cdot 0,0003141593 \text{ m}^2 \cdot \frac{[(145,397037 - 132,6498148)^{\circ}\text{C} + 273 \text{ }^{\circ}\text{K}]}{0,0125 \text{ m}}$$

$$\bar{Q}_{AB} = 2577,6709796353 \text{ W}$$

$$\bar{Q}_{BC} = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$\bar{Q}_{BC} = -k \cdot A \cdot \frac{(T_A - T_B)}{\Delta x}$$

$$\bar{Q}_{BC} = -386 \text{ W/m} \cdot \text{K} \cdot 0,0003141593 \text{ m}^2 \cdot \frac{[(132,6498148 - 112,7242593)^{\circ}\text{C} + 273 \text{ }^{\circ}\text{K}]}{0,0125 \text{ m}}$$

$$\bar{Q}_{BC} = 2587,8431287683 \text{ W}$$

$$\bar{Q}_{AC} = \bar{Q}_{AB} + \bar{Q}_{BC}$$

$$\bar{Q}_{AC} = 2577,6709796353 \text{ W} + 2587,8431287683 \text{ W}$$

$$\bar{Q}_{AC} = 5165,5141084036 \text{ W}$$

$$\bar{Q}_{AC} = 5165,51 \text{ W}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut :

<b>Diameter Combustor (mm)</b>	<b><math>\bar{Q}_{AB}</math> (Watt)</b>	<b><math>\bar{Q}_{BC}</math> (Watt)</b>	<b><math>\bar{Q}_{AC}</math> (Watt)</b>
5	2772,10	2841,74	5613,84
5,5	2704,34	2663,99	5368,33
6	2577,67	2587,84	5165,51

### 9. Perhitungan Energi Output Total

Perhitungan energi *output* total dilakukan dengan cara menjumlahkan energi *output* pembakaran dan energi *output* pada dinding *combustor* ( $\bar{Q}_{AC}$ ).

Dari proses penjumlahan diperoleh hasil sebagai berikut :

<b>Diameter Combustor (mm)</b>	<b>Energi Output Pembakaran (Watt)</b>	<b><math>\bar{Q}_{AC}</math> (Watt)</b>	<b>Energi Output Total (Watt)</b>
5	212,66	5613,84	5826,50
5,5	181,28	5368,33	5549,61
6	180,54	5165,51	5346,05

### 10. Perhitungan Efisiensi Pembakaran ( $\eta$ )

- a. Perhitungan efisiensi pembakaran *combustor* 5 mm

$$\eta = \frac{\text{Energi Output Total}}{\text{Energi Input}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{5826,50}{-5887,3} \times 100\%$$

$$\eta = 98,9672685272 \%$$

$$\eta = 98,97 \%$$

b. Perhitungan efisiensi pembakaran *combustor* 5,5 mm

$$\eta = \frac{\text{Energi Output Total}}{\text{Energi Input}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{5549,61}{-5887,3} \times 100\%$$

$$\eta = 94,264093897 \%$$

$$\eta = 94,26 \%$$

c. Perhitungan efisiensi pembakaran *combustor* 6 mm

$$\eta = \frac{\text{Energi Output Total}}{\text{Energi Input}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{5346,05}{-5887,3} \times 100\%$$

$$\eta = 90,8064817488 \%$$

$$\eta = 90,81 \%$$

Dari hasil perhitungan efisiensi pembakaran pada masing-masing *combustor*, diperoleh hasil sebagai berikut :

<b>Diameter Combustor (mm)</b>	<b>Energi Output Total (Watt)</b>	<b>Efisiensi Pembakaran (%)</b>
5	5826,50	98,97
5,5	5549,61	94,26
6	5346,05	90,81

## 11. Perhitungan *Heat Losses* Secara Konveksi Pada *Combustor*

a. Perhitungan *heat losses* secara konveksi pada *combustor* 5 mm

- $Q_{\text{con\_loss A}} = h \cdot A \cdot (T_A - T_{\infty})$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{8}{0.025} \text{ W/m}^2 \cdot \text{ }^0\text{K} \cdot 0,0002748893 \text{ m}^2 \cdot ((201,0503704 - \\
 &30)^0\text{C} + 273 \text{ }^0\text{K} ) \\
 &= \frac{8}{0.025} \text{ W/m}^2 \cdot \text{ }^0\text{K} \cdot 0,0002748893 \text{ m}^2 \cdot (444,0503704 \text{ }^0\text{K} ) \\
 &= 39,0607025549 \text{ W}
 \end{aligned}$$

- $Q_{\text{con\_loss B}} = h \cdot A \cdot (T_B - T_{\infty})$ 

$$\begin{aligned}
 &= \frac{8}{0.025} \text{ W/m}^2 \cdot \text{ }^0\text{K} \cdot 0,0002748893 \text{ m}^2 \cdot ((170,387037 - \\
 &30)^0\text{C} + 273 \text{ }^0\text{K} ) \\
 &= \frac{8}{0.025} \text{ W/m}^2 \cdot \text{ }^0\text{K} \cdot 0,0002748893 \text{ m}^2 \cdot (413,387037 \text{ }^0\text{K} ) \\
 &= 36,3634154336 \text{ W}
 \end{aligned}$$

- $Q_{\text{con\_loss C}} = h \cdot A \cdot (T_C - T_{\infty})$ 

$$\begin{aligned}
 &= \frac{8}{0.025} \text{ W/m}^2 \cdot \text{ }^0\text{K} \cdot 0,0002748893 \text{ m}^2 \cdot ((138,5253704 - \\
 &30)^0\text{C} + 273 \text{ }^0\text{K} ) \\
 &= \frac{8}{0.025} \text{ W/m}^2 \cdot \text{ }^0\text{K} \cdot 0,0002748893 \text{ m}^2 \cdot (381,5253704 \text{ }^0\text{K} ) \\
 &= 33,560570848 \text{ W}
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan *heat losses* secara konveksi pada *combustor* 5,5 mm

- $Q_{\text{con\_loss A}} = h \cdot A \cdot (T_A - T_{\infty})$ 

$$\begin{aligned}
 &= \frac{8}{0.025} \text{ W/m}^2 \cdot \text{ }^0\text{K} \cdot 0,0002945243 \text{ m}^2 \cdot ((165,3553704 - \\
 &30)^0\text{C} + 273 \text{ }^0\text{K} ) \\
 &= \frac{8}{0.025} \text{ W/m}^2 \cdot \text{ }^0\text{K} \cdot 0,0002945243 \text{ m}^2 \cdot (408.3553704 \text{ }^0\text{K} ) \\
 &= 38,486585476 \text{ W}
 \end{aligned}$$

- $Q_{\text{con\_loss B}} = h \cdot A \cdot (T_B - T_{\infty})$ 

$$\begin{aligned}
 &= \frac{8}{0.025} \text{ W/m}^2 \cdot \text{ }^0\text{K} \cdot 0,0002945243 \text{ m}^2 \cdot ((141,0085185 - \\
 &30)^0\text{C} + 273 \text{ }^0\text{K} ) \\
 &= \frac{8}{0.025} \text{ W/m}^2 \cdot \text{ }^0\text{K} \cdot 0,0002945243 \text{ m}^2 \cdot (384,0085185 \text{ }^0\text{K} )
 \end{aligned}$$

$$= 36,191948832 \text{ W}$$

- $Q_{\text{con\_loss C}} = h \cdot A \cdot (T_C - T_{\infty})$ 

$$= \frac{8}{0.025} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,0002945243 \text{ m}^2 \cdot ((121,0983333 - 30)^{\circ}\text{C} + 273 \text{ K})$$

$$= \frac{8}{0.025} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,0002945243 \text{ m}^2 \cdot (364,0983333 \text{ K})$$

$$= 34,31545816 \text{ W}$$

c. Perhitungan *heat losses* secara konveksi pada *combustor* 6 mm

- $Q_{\text{con\_loss A}} = h \cdot A \cdot (T_A - T_{\infty})$ 

$$= \frac{8}{0.025} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,0003141593 \text{ m}^2 \cdot ((145,397037 - 30)^{\circ}\text{C} + 273 \text{ K})$$

$$= \frac{8}{0.025} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,0003141593 \text{ m}^2 \cdot (388,397037 \text{ K})$$

$$= 39,045933216 \text{ W}$$

- $Q_{\text{con\_loss B}} = h \cdot A \cdot (T_B - T_{\infty})$ 

$$= \frac{8}{0.025} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,0003141593 \text{ m}^2 \cdot ((132,6498148 - 30)^{\circ}\text{C} + 273 \text{ K})$$

$$= \frac{8}{0.025} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,0003141593 \text{ m}^2 \cdot (375,6498148 \text{ K})$$

$$= 37,764442516 \text{ W}$$

- $Q_{\text{con\_loss C}} = h \cdot A \cdot (T_C - T_{\infty})$ 

$$= \frac{8}{0.025} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,0003141593 \text{ m}^2 \cdot ((112,7242593 - 30)^{\circ}\text{C} + 273 \text{ K})$$

$$= \frac{8}{0.025} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,0003141593 \text{ m}^2 \cdot (355,7242593 \text{ K})$$

$$= 35,761306976 \text{ W}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut :

<b>Diameter Combustor</b>	<b>Heat Losses Secara Konveksi (W)</b>
---------------------------	--

(mm)	Dinding A	Dinding B	Dinding C
5	39,0607025549	36,3634154336	33,560570848
5,5	38,486585476	36,191948832	34,31545816
6	39,045933216	37,764442516	35,761306976

## 12. Perhitungan *Heat Losses* Secara Radiasi Pada *Combustor*

a. Perhitungan *heat losses* secara radiasi pada *combustor* 5 mm

- $$Q_{\text{rad\_loss A}} = A \cdot \sigma_b \cdot \epsilon \cdot (T_A^4 - T_o^4)$$

$$= 0,0002748893 \text{ m}^2 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot 0,03$$

$$((201,0503704 - 30)^4 \text{C} + 273^4 \text{K})$$

$$= 0,0002748893 \text{ m}^2 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot 0,03 \cdot$$

$$(444,0503704 \text{ K}^4)$$

$$= 0,0207632047 \times 10^{-8} \text{ W}$$

- $$Q_{\text{rad\_loss B}} = A \cdot \sigma_b \cdot \epsilon \cdot (T_B^4 - T_o^4)$$

$$= 0,0002748893 \text{ m}^2 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot 0,03$$

$$((201,0503704 - 30)^4 \text{C} + 273^4 \text{K})$$

$$= 0,0002748893 \text{ m}^2 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot 0,03 \cdot$$

$$(413,387037 \text{ K}^4)$$

$$= 0,01932942802 \times 10^{-8} \text{ W}$$

- $$Q_{\text{rad\_loss C}} = A \cdot \sigma_b \cdot \epsilon \cdot (T_C^4 - T_o^4)$$

$$= 0,0002748893 \text{ m}^2 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot 0,03$$

$$((138,5253704 - 30)^4 \text{C} + 273^4 \text{K})$$



$$= 0,0002748893 \text{ m}^2 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot 0,03 \cdot (381,5253704 \text{ K}^4)$$

$$= 0,0178396189 \times 10^{-8} \text{ W}$$

b. Perhitungan *heat losses* secara radiasi pada *combustor* 5,5 mm

- $Q_{\text{rad\_loss A}} = A \cdot \sigma_b \cdot \epsilon \cdot (T_A^4 - T_o^4)$ 

$$= 0,0002945243 \text{ m}^2 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot 0,03 \cdot ((165,3553704 - 30)^4 \text{ } ^\circ\text{C} + 273 \text{ } ^\circ\text{K})$$

$$= 0,0002945243 \text{ m}^2 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot 0,03 \cdot (408,3553704 \text{ K}^4)$$

$$= 0,0204580256 \times 10^{-8} \text{ W}$$

- $Q_{\text{rad\_loss B}} = A \cdot \sigma_b \cdot \epsilon \cdot (T_B^4 - T_o^4)$ 

$$= 0,0002945243 \text{ m}^2 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot 0,03 \cdot ((141,0085185 - 30)^4 \text{ } ^\circ\text{C} + 273 \text{ } ^\circ\text{K})$$

$$= 0,0002945243 \text{ m}^2 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot 0,03 \cdot (384,0085185 \text{ K}^4)$$

$$= 0,0192382828 \times 10^{-8} \text{ W}$$

- $Q_{\text{rad\_loss C}} = A \cdot \sigma_b \cdot \epsilon \cdot (T_C^4 - T_o^4)$ 

$$= 0,0002945243 \text{ m}^2 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot 0,03 \cdot ((121,0983333 - 30)^4 \text{ } ^\circ\text{C} + 273 \text{ } ^\circ\text{K})$$

$$= 0,0002945243 \text{ m}^2 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot 0,03 \cdot (364,0983333 \text{ K}^4)$$

$$= 0,0182408107 \times 10^{-8} \text{ W}$$

c. Perhitungan *heat losses* secara radiasi pada *combustor* 6 mm

- $$Q_{\text{rad\_loss A}} = A \cdot \sigma_b \cdot \varepsilon \cdot (T_A^4 - T_o^4)$$

$$= 0,0003141593 \text{ m}^2 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot 0,03$$

$$((145,397037 - 30)^4 \text{ } ^\circ\text{C} + 273 \text{ } ^\circ\text{K})$$

$$= 0,0003141593 \text{ m}^2 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot 0,03 \cdot$$

$$(388,397037 \text{ K}^4)$$

$$= 0,02075535539 \times 10^{-8} \text{ W}$$
- $$Q_{\text{rad\_loss B}} = A \cdot \sigma_b \cdot \varepsilon \cdot (T_B^4 - T_o^4)$$

$$= 0,0003141593 \text{ m}^2 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot 0,03$$

$$((132,6498148 - 30)^4 \text{ } ^\circ\text{C} + 273 \text{ } ^\circ\text{K})$$

$$= 0,0003141593 \text{ m}^2 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot 0,03 \cdot$$

$$(375,6498148 \text{ K}^4)$$

$$= 0,0200741615 \times 10^{-8} \text{ W}$$
- $$Q_{\text{rad\_loss C}} = A \cdot \sigma_b \cdot \varepsilon \cdot (T_C^4 - T_o^4)$$

$$= 0,0003141593 \text{ m}^2 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot 0,03$$

$$((112,7242593 - 30)^4 \text{ } ^\circ\text{C} + 273 \text{ } ^\circ\text{K})$$

$$= 0,0003141593 \text{ m}^2 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot 0,03 \cdot$$

$$(355,7242593 \text{ K}^4)$$

$$= 0,0190093697 \times 10^{-8} \text{ W}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut :

Diameter <i>Combustor</i>	<i>Heat Losses</i> Secara Radiasi (W)		
	Dinding A	Dinding B	Dinding C

(mm)			
5	0,0207632047 x $10^{-8}$	0,01932942802 x $10^{-8}$	0,0178396189 x $10^{-8}$
5,5	0,0204580256 x $10^{-8}$	0,0192382828 x $10^{-8}$	0,0182408107 x $10^{-8}$
6	0,02075535539 x $10^{-8}$	0,0200741615 x $10^{-8}$	0,0190093697 x $10^{-8}$

### 13. Perhitungan *Heat Losses* Total Pada *Combustor*

Perhitungan *heat losses* total dilakukan dengan cara menjumlahkan *heat loss* secara konveksi dan *heat losses* secara radiasi pada dinding *combustor*.

$$Q_{\text{Loss}} = Q_{\text{con\_Loss}} + Q_{\text{rad\_Loss}}$$

Dari proses penjumlahan diperoleh hasil sebagai berikut :

<b>Diameter <i>Combustor</i> (mm)</b>	<b><i>Heat Losses</i> Secara Konveksi Total (<math>Q_{\text{con\_Loss}}</math>) (Watt)</b>	<b><i>Heat Losses</i> Secara Radiasi Total (<math>Q_{\text{rad\_Loss}}</math>) (Watt)</b>	<b><i>Heat Losses</i> Total (<math>Q_{\text{Loss}}</math>) (Watt)</b>
5	108,9846888365	0,05793225162 x $10^{-8}$	1,0904262108812 x $10^{-6}$
5,5	108,993992468	0,0396963084 x $10^{-8}$	1,090336887764 x $10^{-6}$
6	112,571682708	0,0408295169 x $10^{-8}$	1,1261251222 x $10^{-6}$

**B. Data Penelitian**

Data kalibrasi LPG di *flowmeter* butana

Skala di Flowmeter Butana (ml/min) x	Skala Hasil Kalibrasi (ml/min) y
2	7.71
2.5	9.38
3	11.05
3.5	12.72
4	14.39
4.5	16.06
5	17.74
5.5	19.41
6	21.08
6.5	22.75
7	24.42
7.5	26.09
8	27.76
8.5	29.44
9	31.11
9.5	32.78
10	34.45

Data kalibrasi *flowmeter* udara

Skala di Flowmeter Udara (ml/min) x	Skala Hasil Kalibrasi (ml/min) y
50	54.43

55	60.13
60	65.82
65	71.52
70	77.21
75	82.91
80	88.61
85	94.30
90	100.00
95	105.69
100	111.39
105	117.09
110	122.78
115	128.48
120	134.17
125	139.87
130	145.57

Data pengujian *meso scale combustor* percobaan 1

1. *Combustor* 5 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	31.1	140.1	127.7	71.7
2	54	142.8	128.8	73.1
3	74.7	144.1	129.2	74.2
4	200.3	146.4	130.4	75.2
5	368.7	149.7	130.7	76
6	378.8	151.1	131.1	77
7	389.8	151.2	131.4	77.9
8	481.5	151.4	132	78.5
9	500	151.5	132	79.7

10	568.7	151.5	132.5	80.5
11	570.5	151.7	132.6	81.4
12	621.6	151.8	133.4	82.1
13	665.7	152.9	133.9	83.1
14	669.5	153.2	134.8	83.9
15	670	153.9	134.8	84.6
16	686.2	153.9	135.4	85.5
17	697.7	154.3	135.4	86.1
18	701.2	154.3	136.2	86.7
19	750.1	154.4	136.2	87.7
20	758.8	155	137.1	88.4
21	768.9	155	137.1	89
22	774.8	155.5	137.4	89.7
23	775	155.5	137.8	90.2
24	776.7	155.5	137.8	91
25	806.8	155.8	138.4	91.6
26	814.1	155.8	138.5	91.7
27	822.3	156.1	138.9	91.8
28	824.1	156.8	140	92
29	829.3	157.3	140	92.1
30	829.9	157.5	140.1	92.3
31	830.9	158.2	141.1	92.5
32	835.5	158.4	141.1	92.6
33	841.6	159.5	141.2	93
34	843.6	159.7	142.1	93.1
35	849.4	160.3	142.1	93.3
36	853.2	161	142.4	93.5
37	854.3	161.5	143	93.5
38	857.2	161.8	143.2	93.6
39	859.8	162.2	143.3	93.7
40	860	162.6	143.8	93.8
41	862.3	162.9	144.2	94
42	864	163.2	144.5	94.1
43	865.1	163.3	144.6	94.5
44	867	163.4	145.1	94.5
45	870.4	163.8	145.6	95.1
46	870.8	163.9	145.7	95.1
47	872	164.7	146.1	95.6
48	873.7	165.8	147.1	96.3
49	876.4	166.3	147.4	96.5
50	883.4	166.3	147.5	96.8
51	884.9	166.3	147.8	97

52	885.4	166.8	148.5	97.2
53	889.2	167.3	148.7	97.5
54	890.2	167.4	148.7	97.8
55	893.8	167.5	149.4	97.8
56	895.5	167.6	149.7	98.2
57	896.1	167.9	149.7	98.4
58	896.4	168.2	150.5	98.7
59	897.8	169.1	151.2	99.4
60	900.8	169.2	151.5	99.6
61	901.3	169.2	151.9	99.6
62	903	170.1	151.9	100
63	903.2	170.2	152.3	100
64	904.1	170.7	152.5	100.1
65	905	171.3	153.2	100.4
66	905.6	171.6	153.2	100.6
67	906.6	172	154	100.8
68	906.7	172.3	154.1	101
69	906.8	172.4	154.4	101.1
70	907.2	172.6	154.7	101.2
71	907.7	173.4	155	101.2
72	907.8	173.8	155.1	101.6
73	908.4	174.6	155.5	101.8
74	909.1	175.2	155.5	102
75	909.4	175.4	155.8	102.1
76	910.4	175.7	156.1	102.3
77	910.7	175.8	156.1	102.4
78	911.1	176.2	156.4	102.6
79	912.7	176.9	156.7	102.8
80	914.1	177	156.7	103
81	914.6	177.2	157	103
82	915	177.4	157	103.2
83	917.1	177.6	157.1	103.3
84	918.7	177.9	157.5	103.4
85	920.3	178	157.7	103.9
86	921.8	178.3	157.8	104
87	922.3	178.3	157.8	104
88	922.5	178.5	158	104.2
89	923.2	178.9	158.1	104.2
90	923.8	179	158.3	104.3
91	923.9	179.3	158.5	104.4
92	923.9	179.6	158.5	104.5
93	924	179.7	158.5	104.6

94	924.1	179.8	158.7	104.7
95	925.8	180	158.8	104.7
96	926	180.1	158.9	105
97	926.5	180.1	159	105.1
98	928.5	180.4	159.2	105.2
99	929.3	180.5	159.3	105.4
100	929.4	180.6	159.5	105.5
101	930.1	180.6	159.6	105.6
102	930.4	180.7	159.6	105.6
103	931	180.7	160	105.7
104	933.7	180.8	160.3	105.7
105	935.3	181	160.5	106.1
106	936	181	160.8	106.4
107	936.3	181.1	160.9	106.5
108	937.5	181.2	161.1	106.5
109	937.9	181.3	161.4	106.6
110	938.4	181.3	161.4	106.8
111	939.8	181.4	161.7	107
112	940.8	181.4	161.8	107
113	942.5	181.7	162.1	107.2
114	943	181.8	162.2	107.3
115	943.1	182	162.2	107.5
116	944.5	182	162.4	107.8
117	946.9	182.2	162.6	107.9
118	949.1	182.3	163.6	108.4
119	950.8	182.4	164.1	108.7
120	952.8	182.5	164.7	108.8
121	953.3	182.7	164.7	108.8
122	955.3	182.7	165.1	109
123	956.2	182.9	165.5	109.2
124	959.9	182.9	165.6	109.3
125	960.2	183	166.1	109.3
126	960.8	183	166.1	109.3
127	965.5	183	166.5	109.3
128	967	183	166.5	109.4
129	967.8	183.1	166.5	109.4
130	968.2	183.1	166.5	109.5
131	969.5	183.1	166.6	109.5
132	972.7	183.1	166.6	109.6
133	976	183.2	166.6	109.8
134	982.4	183.3	166.8	109.8
135	982.8	183.3	166.9	109.9



136	991.6	183.4	167.2	109.9
137	995.2	183.4	167.6	110
138	999.7	183.4	167.7	110.2
139	1007.6	183.4	168	110.2
140	1009	183.5	168.4	110.3
141	1011.5	183.5	168.8	110.4
142	1015.1	183.6	168.8	110.6
143	1018.3	183.9	169.2	110.7
144	1021.4	183.9	169.2	110.7
145	1022.4	183.9	169.2	110.8
146	1023.8	184	169.3	110.8
147	1026.1	184	169.4	110.8
148	1027.1	184	169.6	110.8
149	1030.5	184.1	169.9	111
150	1031	184.1	170.3	111.2
151	1035.6	184.1	170.5	111.2
152	1036.5	184.2	170.6	111.3
153	1036.8	184.3	170.9	111.4
154	1038.1	184.3	171.1	111.5
155	1038.4	184.4	171.2	111.8
156	1040.1	184.5	171.4	111.8
157	1041.5	184.5	171.5	112
158	1044.5	184.5	171.5	112.2
159	1044.7	184.5	171.6	112.4
160	1045	184.6	171.8	112.4
161	1046.5	184.7	171.8	112.5
162	1051.1	184.8	171.9	112.7
163	1052.2	184.8	172	112.8
164	1053.7	184.9	172	112.9
165	1055	185	172	113.1
166	1058.8	185	172	113.1
167	1061.4	185.1	172.1	113.2
168	1062.3	185.4	172.1	113.3
169	1067	185.5	172.1	113.5
170	1067.4	185.5	172.1	113.5
171	1067.8	185.8	172.1	113.6
172	1070.9	185.9	172.1	113.6
173	1072.3	186.1	172.2	113.7
174	1073.2	186.1	172.2	113.8
175	1074.6	186.2	172.3	113.8
176	1078.3	186.5	172.3	114
177	1079.1	187.1	172.4	114

178	1090	187.2	172.5	114
179	1090.2	187.6	172.5	114
180	1095.4	188.2	172.5	114.1

## 2. Combustor 5,5 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	34.8	38.1	34.5	35.2
2	35.9	38.4	35	38.6
3	36.5	38.4	38.1	38.7
4	37.1	38.4	38.1	38.7
5	44.8	38.5	38.2	38.7
6	314.3	44.9	39.3	38.8
7	345.9	48.2	40.1	39
8	384.2	52.4	44.3	41.7
9	463.5	64.6	54	50.9
10	492	74.1	64.4	60.1
11	509.3	78.7	67.5	62.3
12	553.5	85.4	74	66.1
13	569.9	90.8	79.7	71.3
14	573.4	97	84.9	75.5
15	579.2	102.5	89.5	78.3
16	582.8	106	92.7	82.1
17	583.1	110.9	97.5	86.2
18	586.1	114.8	100.7	87.7
19	586.7	118.2	103.4	89.3
20	588.1	120.6	105.5	91.1
21	589.9	139.9	108.1	91.4
22	592.9	142.2	112.3	93.7
23	593.8	146.5	116	94
24	601.7	147.5	118.7	95.1
25	609.3	148.5	120.5	96.6
26	610.6	150.8	120.8	97.1
27	617	153.1	124.5	98.9
28	619.7	155.1	126	100.5
29	621.3	156.7	128.1	101
30	622.3	158.3	129.8	104
31	626.4	159.8	131.2	105.1
32	632.9	163.7	134.4	107.7

33	634.7	176.6	144.6	121.8
34	635.4	176.6	144.6	122.3
35	637.8	177.3	144.8	122.7
36	641.7	177.4	145.3	122.8
37	643.6	177.5	145.6	122.8
38	647.2	177.7	146.4	123
39	648.4	178.8	147.1	123
40	650	179	148.3	123
41	651.1	179.5	148.7	123.2
42	652.2	179.7	150.2	123.2
43	652.5	180.4	150.9	123.7
44	655	180.5	151.2	123.7
45	656.9	180.6	151.4	124.1
46	657.6	180.8	151.8	124.2
47	658.3	180.8	151.9	124.5
48	662.8	181.2	152.5	125
49	663.4	181.2	152.5	125.2
50	663.8	181.4	152.8	125.2
51	664.1	181.4	153.2	125.4
52	665	182	153.2	125.7
53	665.1	182.8	153.2	126
54	666	182.8	153.4	126
55	668.8	182.8	153.4	126.2
56	669.1	182.9	153.5	126.7
57	669.7	183	153.5	126.7
58	670.1	183.2	153.6	127.3
59	670.7	183.2	153.7	127.5
60	671.5	183.2	153.7	127.7
61	671.6	183.5	153.8	127.7
62	671.7	183.7	153.8	127.8
63	672.4	183.7	153.8	127.8
64	672.5	184.3	153.8	127.9
65	674	184.3	153.8	128
66	675.6	184.3	153.9	128
67	676.9	184.5	153.9	128
68	678.7	184.9	153.9	128
69	680.1	185.2	154	128
70	680.5	185.4	154	128
71	691.2	185.5	154	128.1
72	691.9	185.8	154.2	128.1
73	693.2	186	154.2	128.2
74	693.3	186.2	154.3	128.4

75	693.7	186.4	154.3	128.4
76	694.9	186.4	154.3	128.4
77	696.1	186.5	154.4	128.4
78	696.3	186.5	154.5	128.4
79	697	186.5	154.5	128.5
80	698.5	186.5	154.5	128.5
81	699.8	186.6	154.5	128.5
82	700	186.6	154.6	128.5
83	700.2	186.9	154.7	128.5
84	701.3	187	154.7	128.5
85	701.7	187.1	154.7	128.5
86	701.8	187.1	154.7	128.5
87	702.2	187.1	154.8	128.5
88	702.2	187.3	154.8	128.6
89	702.7	187.3	154.8	128.7
90	702.8	187.5	154.9	128.7
91	703	187.5	154.9	128.7
92	703.8	187.5	154.9	128.8
93	704.1	187.5	155	128.8
94	704.4	187.6	155	128.8
95	704.7	187.6	155.1	128.9
96	704.8	187.7	155.1	129
97	704.9	187.7	155.1	129
98	705.2	187.7	155.1	129
99	705.3	187.7	155.1	129.1
100	705.5	187.8	155.1	129.1
101	705.6	187.8	155.2	129.1
102	705.7	187.8	155.2	129.2
103	705.8	187.8	155.2	129.2
104	705.9	188	155.3	129.3
105	706.1	188	155.4	129.4
106	706.2	188	155.4	129.4
107	706.3	188	155.4	129.5
108	706.4	188	155.4	129.5
109	706.5	188	155.5	129.5
110	706.8	188.2	155.7	129.5
111	707.1	188.2	155.7	129.8
112	707.2	188.2	155.8	129.9
113	707.5	188.2	155.8	129.9
114	707.7	188.2	155.8	129.9
115	707.8	188.3	155.8	129.9
116	708	188.3	155.8	129.9

117	708.2	188.4	155.9	129.9
118	708.5	188.4	156	130
119	708.7	188.4	156	130
120	708.8	188.5	156.1	130.1
121	708.9	188.6	156.1	130.1
122	709.1	188.7	156.1	130.1
123	709.2	188.7	156.2	130.2
124	709.3	188.8	156.2	130.2
125	709.4	188.8	156.2	130.2
126	709.5	188.8	156.3	130.2
127	709.6	188.8	156.3	130.3
128	709.8	189.1	156.4	130.4
129	710	189.2	156.4	130.4
130	710.1	189.4	156.4	130.4
131	710.2	189.5	156.5	130.5
132	710.4	189.5	156.5	130.5
133	710.5	189.7	156.6	130.5
134	710.6	189.8	156.7	130.5
135	710.8	189.9	156.8	130.5
136	711.3	190	156.8	130.6
137	711.4	190.1	156.9	130.6
138	711.5	190.1	157	130.7
139	712	190.2	157	130.7
140	712.1	190.2	157	130.7
141	712.3	190.2	157.1	130.8
142	712.7	190.2	157.2	130.8
143	713.1	190.3	157.2	130.8
144	713.4	190.4	157.3	131
145	713.5	190.4	157.4	131.1
146	713.6	190.4	157.4	131.1
147	715.5	190.5	157.4	131.1
148	716.3	190.5	157.4	131.1
149	718.9	190.5	157.5	131.1
150	719.2	190.5	157.5	131.2
151	723.9	190.6	157.5	131.2
152	726	190.7	157.5	131.2
153	730.8	190.7	157.6	131.2
154	732.6	190.7	157.6	131.3
155	737.4	190.8	157.6	131.3
156	738.2	191	157.6	131.3
157	739.5	191.1	157.7	131.3
158	740.1	191.9	157.7	131.3

159	740.2	191.9	157.7	131.4
160	741.1	192	157.8	131.4
161	742	192	157.8	131.5
162	743.9	192.1	157.8	131.5
163	744	192.1	157.8	131.5
164	745.3	192.3	157.9	131.5
165	748.1	192.3	158	131.5
166	748.2	192.3	158.1	131.5
167	749	192.5	158.1	131.6
168	755.2	192.5	158.2	131.6
169	758.4	192.5	158.4	131.6
170	761.6	192.6	158.4	131.6
171	793.2	192.6	158.5	131.6
172	796.8	192.6	158.6	131.6
173	804.9	192.7	158.6	131.6
174	809	192.9	158.6	131.7
175	814.4	193	158.6	131.8
176	819.8	193.1	158.7	131.9
177	831.2	193.8	163.5	134.3
178	859.7	194.2	163.5	134.4
179	885.2	194.4	163.8	134.5
180	894	194.9	164.1	134.7

### 3. Combustor 6 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	44.1	45.2	45.2	44.3
2	44.6	45.2	45.2	44.3
3	72.5	69.2	45.3	44.4
4	196.2	85.6	45.9	44.7
5	266.4	90.7	46.7	45.1
6	347.5	97.1	47.5	45.6
7	373	100	48.7	47.5
8	382.1	106.1	83.4	70.1
9	398.5	128	119.8	104.9
10	408.8	129.3	120.4	105.1
11	420.8	129.4	122.7	106.1
12	421.8	131.7	123.2	106.4
13	425.9	131.8	125.4	107

14	454.2	134.8	126.5	108
15	466.5	135.4	126.9	108.2
16	473.8	136.5	127.6	109.4
17	474.6	136.9	128	109.6
18	477.8	137	130	110.1
19	483.3	138	130.3	110.5
20	489.2	140	132.6	111.2
21	490.2	142.5	134.6	111.8
22	496.5	142.8	135.4	112.8
23	498.4	144.8	136.1	113.1
24	502	146.2	137.2	113.4
25	503	146.4	137.3	113.7
26	506.5	147	138.1	113.8
27	508.8	147.2	138.3	114.2
28	513.1	147.7	138.5	114.3
29	513.3	147.8	139	115
30	515.1	148.1	139.2	115.2
31	516.1	148.3	139.6	116.2
32	522.3	148.4	139.8	116.6
33	528.7	148.5	140	116.9
34	529.2	148.7	140.2	117
35	532.5	149.1	140.2	117.1
36	533.3	149.1	140.4	117.2
37	534.2	149.1	140.7	117.4
38	535	149.3	141.1	117.7
39	539.1	149.4	141.4	117.8
40	549.8	149.7	141.5	117.8
41	554.4	149.9	141.7	117.9
42	554.5	150.3	141.8	118
43	556.9	150.5	141.9	118.1
44	563.1	150.5	142	118.2
45	563.3	150.5	142.1	118.2
46	571.3	150.6	142.2	118.3
47	571.4	150.7	143.6	118.5
48	574.7	151	143.6	118.6
49	577.2	151.4	145	119.6
50	578.7	151.7	145.4	119.7
51	578.7	152.5	145.7	120.5
52	578.8	152.8	146.1	120.9
53	580.9	153.4	146.5	121.5
54	583.3	154.2	147.2	121.8
55	584	154.7	147.2	122

56	584.1	154.9	147.7	122.3
57	586	155	148.2	122.4
58	586.6	155.5	148.4	122.5
59	588	156.1	148.8	122.6
60	592.8	156.5	148.9	122.8
61	597.8	156.8	149.4	122.9
62	598	156.8	149.9	123.1
63	598.3	157.3	150.2	123.5
64	598.5	158.4	150.3	124
65	599	158.7	150.5	124
66	599.7	158.7	150.7	124.1
67	599.9	158.8	150.7	124.1
68	600.1	159.3	150.8	124.1
69	600.3	159.7	151	124.2
70	604.6	159.7	151	124.3
71	604.7	159.8	151	124.3
72	607.9	159.8	151.1	124.4
73	609.8	160	151.1	124.4
74	610.6	160.1	151.2	124.4
75	611.9	160.1	151.2	124.5
76	612.6	160.2	151.2	124.5
77	612.8	160.2	151.3	124.5
78	613.2	160.3	151.3	124.5
79	613.2	160.4	151.3	124.5
80	617.1	160.4	151.4	124.5
81	622.8	160.4	151.4	124.5
82	623.9	160.4	151.5	124.5
83	627.7	160.4	151.5	124.7
84	628.1	160.4	151.7	124.7
85	629.4	160.4	151.7	124.7
86	629.5	160.5	151.8	124.8
87	629.9	160.6	151.9	124.8
88	634.6	160.7	151.9	124.8
89	636.3	160.7	151.9	124.8
90	637.1	160.7	152	125
91	644.2	160.7	152	125.1
92	644.8	160.8	152	125.1
93	645.8	160.9	152.1	125.1
94	646.8	160.9	152.1	125.2
95	650.5	161	152.2	125.2
96	650.8	161	152.3	125.4
97	653.1	161.1	152.5	125.5



98	653.3	161.1	152.8	125.7
99	655.2	161.2	153.1	125.7
100	659.2	161.2	153.2	125.7
101	659.4	161.3	153.3	125.8
102	661.8	161.4	153.7	125.8
103	663.3	161.4	154.1	126
104	664.4	161.5	154.1	126.1
105	672.1	161.7	154.1	126.1
106	673	161.8	154.2	126.1
107	676	162	154.4	126.4
108	678.2	162.1	154.5	126.5
109	681	162.2	154.5	126.5
110	683.1	162.3	154.7	126.7
111	687.1	162.4	154.8	126.8
112	688	162.5	154.8	126.8
113	688.7	162.5	155	127
114	689.8	162.6	155.1	127.1
115	689.9	162.9	155.2	127.2
116	691.3	163.1	155.2	127.2
117	691.7	163.1	155.4	127.3
118	692.6	163.4	155.4	127.3
119	692.7	163.5	155.5	127.4
120	692.7	163.7	155.5	127.5
121	693.1	163.7	155.6	127.6
122	693.2	163.8	155.7	127.7
123	693.2	163.9	155.9	127.7
124	693.7	164.2	156.1	127.7
125	694.3	164.2	156.1	128
126	695.2	164.5	156.1	128.1
127	696.1	164.5	156.2	128.4
128	696.3	164.6	156.5	128.5
129	696.4	164.8	156.7	128.6
130	696.5	165	156.7	128.7
131	697.2	165	156.7	129
132	697.4	165	156.7	129
133	698.5	165	156.8	129.1
134	698.7	165.1	156.9	129.2
135	698.8	165.4	157	129.2
136	699.3	165.6	157	129.3
137	699.5	165.7	157.1	129.4
138	699.7	165.7	157.1	129.5
139	699.8	165.7	157.2	129.5

140	700.1	165.8	157.2	129.5
141	700.2	165.8	157.2	129.7
142	700.7	166	157.4	129.7
143	701.1	166	157.4	129.8
144	701.5	166.2	157.4	129.9
145	701.7	166.3	157.5	129.9
146	702.2	166.3	157.7	130
147	702.3	166.4	157.8	130
148	702.4	166.6	157.8	130
149	702.7	166.6	157.8	130
150	705.3	166.6	157.8	130.1
151	705.5	166.6	158	130.2
152	705.9	166.6	158.1	130.2
153	706	166.7	158.2	130.2
154	706.7	166.8	158.3	130.3
155	706.7	167	159.8	130.9
156	708.1	167.1	160.6	131.5
157	708.3	167.1	161.1	132.2
158	709.1	167.2	161.2	133
159	709.1	167.4	161.2	133
160	711.5	167.4	161.4	133.1
161	714.7	167.4	161.5	133.1
162	717.6	167.5	161.7	133.2
163	720.5	167.5	161.7	133.2
164	722.8	168	165.8	137
165	723.8	168	166.8	137.2
166	727.7	168	167	137.5
167	732.1	168.6	167.1	137.5
168	732.4	168.8	167.4	138
169	732.7	168.8	167.7	138.1
170	736.2	169.5	168	138.2
171	737.6	169.7	168.1	138.4
172	738.1	169.7	168.7	138.4
173	738.5	170.2	168.9	138.4
174	739.4	170.5	168.9	138.5
175	741.9	170.6	169.1	138.9
176	742.7	171.1	169.2	139.2
177	742.9	171.2	169.3	139.2
178	743	171.3	169.6	139.2
179	743.3	171.4	169.9	139.5
180	745	171.6	170.1	139.7

Data pengujian *meso scale combustor* percobaan 2

1. *Combustor* 5 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	30.7	94.7	93.1	78
2	31.1	95.8	94	81.7
3	31.4	97.3	95.3	86.5
4	60	118.5	102.9	90.9
5	66.8	133.5	111.6	91.8
6	73.4	146	116.2	93.2
7	88.2	150.5	123.7	94.5
8	118.6	156.7	132.6	97.9
9	210.8	159.6	133.1	98.2
10	311	161.6	137.1	101.5
11	408.7	164.4	141	104.4
12	412	168.1	144.9	106.8
13	438.7	170	146.4	109.6
14	448.4	174.1	149	112.2
15	458.2	182.5	158.4	121.7
16	475.9	188.1	160.6	123
17	476.8	188.3	161.2	126.3
18	477.6	188.8	165.9	127.1
19	480.3	189	166	128.5
20	516	189.2	167	129.5
21	577.8	190.1	167.8	130
22	620.6	191	168.9	130.7
23	647	191.7	169.1	131.5
24	649.6	191.7	170.4	131.6
25	667	192.6	171.5	132.3
26	685.2	193.8	171.6	133.2
27	691.2	194.6	171.7	134
28	693.3	194.8	172	135
29	701.1	196	172.2	142.2
30	719.5	197.2	173.1	143.2
31	720	199.1	174.8	144.1
32	730.2	200.3	177.2	145.2
33	731.1	201.9	178.8	145.4
34	732.3	203.5	180.1	145.5
35	733.5	205.1	181.5	145.5

36	743.5	206.3	181.7	145.7
37	745.8	206.4	181.9	145.8
38	761.4	206.9	182.7	146.2
39	765.7	207.2	183	146.4
40	766.8	207.3	183.1	147
41	771.1	207.7	183.2	147.7
42	772.8	208.5	183.7	148
43	774.6	209.8	185	148.2
44	776.3	210	185.5	148.4
45	782.9	210.1	185.5	148.8
46	788.3	236.4	205.2	162.4
47	804	237.5	206.4	163.1
48	821.2	239.3	207.7	163.8
49	843.8	240.8	209	164.8
50	846	242	209.7	165.5
51	847.7	243.2	210.6	166.1
52	852.4	250.1	217.5	173.2
53	856.8	251.7	218.2	173.2
54	857.7	253.8	219.4	173.4
55	871.1	256.1	222.5	174
56	878	259.3	227	175.1
57	884.1	260.7	227.1	176.1
58	892.2	261.3	228.2	176.5
59	897.2	262.4	229.2	177.3
60	900.5	263.4	229.3	178.3
61	901	264.7	230	179.7
62	903.1	265.7	230.1	180.4
63	903.3	266.1	231	180.9
64	903.5	270.2	232.2	185.9
65	904.4	272.5	233.5	187
66	906.2	273.8	234.6	188.1
67	910.3	289.3	253.2	211
68	912.9	290.5	253.2	211.3
69	914.5	291.9	253.8	214.4
70	915.7	293.4	253.9	217.4
71	916.1	293.8	254.1	217.5
72	916.3	294.2	254.4	217.8
73	919.1	294.6	254.7	218
74	919.7	295.1	254.8	218.5
75	919.7	295.1	255.2	219.2
76	920.6	295.3	255.8	219.8
77	922.1	295.5	256	219.8

78	922.9	295.6	256.5	220.3
79	923.1	295.7	257	221.1
80	923.5	295.7	257.1	221.1
81	928.1	295.7	257.2	222.8
82	928.4	295.8	257.2	223.3
83	928.8	295.8	257.5	223.5
84	930.2	295.9	257.7	223.5
85	930.7	296	259	224.7
86	931.4	296	259.1	225.1
87	932	296	259.6	225.1
88	933.8	296.1	259.6	225.2
89	936.6	296.1	259.7	225.4
90	937.3	296.4	259.7	225.4
91	937.8	296.5	259.7	225.4
92	939.1	296.6	260	225.5
93	939.2	296.7	260	225.6
94	940.6	296.7	260.1	225.7
95	941.2	296.8	260.2	225.7
96	943.6	296.8	260.2	225.7
97	943.8	296.9	260.4	225.7
98	946	296.9	260.5	225.8
99	946.3	297	260.5	225.8
100	947.4	297	260.8	225.8
101	947.5	297.1	260.8	225.9
102	948.1	297.1	260.9	226
103	948.1	297.1	261	226
104	949	297.2	261	226
105	950.5	297.3	261.2	226.1
106	952.3	297.3	261.2	226.2
107	953.5	297.4	261.2	226.2
108	953.8	297.4	261.3	226.2
109	954.7	297.4	261.3	226.2
110	954.8	297.5	261.4	226.2
111	956.2	297.5	261.4	226.3
112	956.3	297.5	261.4	226.3
113	957	297.7	261.5	226.4
114	958.1	297.7	261.5	226.4
115	958.3	297.7	261.6	226.4
116	958.6	297.9	261.8	226.4
117	959.1	298	261.8	226.4
118	959.5	298.1	262	226.4
119	960.3	298.1	262.1	226.4

120	960.3	298.2	262.1	226.4
121	960.6	298.4	262.1	226.4
122	961	298.5	262.5	226.5
123	961.2	298.5	262.6	226.5
124	962	298.6	262.7	226.5
125	962.1	298.7	262.8	226.5
126	962.3	298.7	262.8	226.5
127	962.5	298.8	263	226.6
128	963.5	298.8	263.1	226.7
129	963.9	298.9	263.1	226.7
130	966.2	298.9	263.1	226.7
131	966.4	299	263.4	226.7
132	966.6	299	263.4	226.7
133	966.7	299.1	263.5	226.7
134	968	299.1	263.5	226.7
135	968.6	299.1	263.6	226.7
136	969.1	299.2	263.8	226.8
137	970.5	299.2	264.2	226.8
138	970.7	299.2	264.2	226.8
139	970.8	299.2	264.3	226.9
140	971	299.2	264.3	226.9
141	971.6	299.3	264.5	227.1
142	972.2	299.3	264.6	227.1
143	972.4	299.3	264.6	227.2
144	973.5	299.3	264.6	227.2
145	974.7	299.3	264.6	227.2
146	974.9	299.4	264.7	227.3
147	975.3	299.4	264.7	227.3
148	975.7	299.5	264.7	227.5
149	976	299.5	264.7	227.5
150	976.1	299.5	264.9	227.5
151	977.3	299.5	265	227.7
152	977.4	299.5	265.1	227.7
153	977.5	299.6	265.1	227.8
154	977.8	299.6	265.2	227.8
155	978	299.6	265.2	227.9
156	978.1	299.6	265.2	228
157	978.2	299.7	265.4	228.1
158	978.5	299.7	265.5	228.2
159	979	299.7	265.5	228.2
160	979.3	299.7	265.6	228.2
161	979.4	299.8	265.7	228.2

162	979.6	300	265.7	228.2
163	981.7	300	265.8	228.2
164	982.1	300	266	228.2
165	982.8	300	266.2	228.3
166	983.9	300	266.2	228.4
167	985	300.1	266.2	228.4
168	986	300.2	266.4	228.4
169	986.3	300.2	266.4	228.5
170	986.6	300.2	266.5	228.5
171	987.5	300.2	266.5	228.5
172	987.6	300.3	266.5	228.6
173	988.1	300.3	266.8	228.7
174	988.4	300.4	267.5	228.7
175	988.8	300.4	267.6	228.8
176	991.3	300.6	267.7	228.9
177	993	300.8	267.7	229.2
178	993.9	301	267.9	229.3
179	996.2	301	268	229.4
180	998.6	301.3	268	229.5

## 2. Combustor 5,5 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	34.8	38.1	34.5	35.2
2	35.9	38.4	35	38.6
3	36.5	38.4	38.1	38.7
4	37.1	38.4	38.1	38.7
5	44.8	38.5	38.2	38.7
6	432.6	44.9	39.3	38.8
7	450.1	48.2	40.1	39
8	453.9	52.4	44.3	41.7
9	463.5	64.6	54	50.9
10	474.6	74.1	64.4	60.1
11	492.6	78.7	67.5	62.3
12	505.5	85.4	74	66.1
13	505.6	90.8	79.7	71.3
14	530	97	84.9	75.5

15	546	102.5	89.5	78.3
16	564.9	106	92.7	82.1
17	566.5	110.9	97.5	86.2
18	577.8	114.8	100.7	89.3
19	581	117.2	103.4	91.4
20	624.8	117.4	105	94
21	646.7	118.1	105.1	94.9
22	648.7	118.2	105.5	95.1
23	650	119.1	105.5	95.5
24	662.2	119.3	106.4	96.3
25	665.5	120.6	107	96.6
26	666	120.8	108.2	96.9
27	672.4	123	108.2	97.9
28	679.8	123.5	109.2	98.5
29	689.8	124.2	110.6	98.7
30	693.7	125.7	111.2	100
31	704.7	126.1	111.8	100.2
32	712.4	127.4	112	100.8
33	716.7	128.4	113.9	102.8
34	718.8	131.3	116.1	105
35	730.4	134	118.8	107.2
36	731.2	136	121	109
37	732.5	136.2	122.5	111
38	735.9	136.7	123	111.7
39	741	137.6	123.7	112.6
40	741.2	138.1	124.8	112.9
41	760.4	139.5	125.8	114.7
42	761.6	140.3	126.1	116
43	763	140.5	126.5	119.9
44	765.8	141.6	126.8	120.2
45	766	141.8	127	120.5
46	767.5	142.2	127.3	120.5
47	768	142.4	127.6	120.6
48	774.6	142.7	128.4	121
49	775.1	142.8	129.1	121.8
50	776.6	144.6	130.1	123
51	777.8	145	130.2	123.5
52	781.5	145.7	131	124.1
53	782.9	146.7	131.2	124.5
54	784	147.6	131.5	124.5
55	788.8	147.8	132.5	125.2
56	789	148.6	132.8	125.4



57	789.7	149.5	133	125.9
58	790.1	149.7	133.2	126.5
59	790.4	150.7	133.4	126.6
60	791.9	151.8	134.5	127.1
61	795	152.6	136.5	128.6
62	795.2	153.6	137.5	129.2
63	795.5	153.8	137.8	130.4
64	796.8	154.1	138.3	130.4
65	797.2	154.2	138.6	130.4
66	798.4	154.2	138.7	130.5
67	799.1	154.3	138.8	130.8
68	799.5	154.4	138.9	130.9
69	800.2	155	139.2	131.2
70	800.3	155.1	139.3	131.5
71	801.8	156.6	139.5	131.8
72	802.3	156.7	139.5	132
73	802.7	156.9	139.8	132.2
74	802.9	157.3	140.3	132.4
75	804	157.5	140.7	132.6
76	804.2	158.4	141	133.4
77	804.6	158.7	142.5	133.8
78	804.9	159.3	142.8	134
79	805.1	159.7	143.5	134.2
80	805.3	159.8	143.6	134.4
81	805.4	160.1	143.9	134.5
82	805.7	160.8	144.1	134.8
83	806	161.2	144.2	134.8
84	806.1	161.3	144.5	135
85	806.4	161.7	144.8	135.2
86	806.7	162.4	145.2	135.7
87	807.5	162.5	145.4	135.8
88	807.7	163.1	145.5	136.2
89	808.8	163.5	146.1	136.5
90	809.5	164.2	147.2	137.4
91	809.7	164.2	147.4	137.7
92	810.3	164.2	147.4	137.8
93	810.4	164.2	147.6	138
94	811.1	164.3	147.7	138
95	812	164.4	147.8	138.1
96	812.1	164.5	147.8	138.1
97	813.5	164.5	147.9	138.1
98	814.4	164.5	148	138.2

99	814.7	164.5	148	138.3
100	815.3	164.5	148.1	138.4
101	815.7	164.6	148.2	138.9
102	815.9	164.7	148.2	139
103	816.3	164.8	148.2	139
104	816.5	165	148.4	139.1
105	817.7	165.2	148.5	139.2
106	817.9	165.4	148.8	139.2
107	818.1	165.4	148.8	139.5
108	819.3	165.6	148.9	139.7
109	819.4	165.8	149.2	139.7
110	821.2	166	149.5	140
111	821.3	166	149.8	140.1
112	821.6	166.1	150	140.2
113	822.1	166.3	150.2	140.3
114	822.6	166.3	150.3	140.3
115	823.9	166.6	150.5	140.8
116	824	166.6	150.5	140.8
117	825.9	166.7	150.8	141
118	827	166.8	150.8	141.1
119	827.1	166.9	150.8	141.3
120	827.6	167.1	150.9	141.3
121	829	167.1	151.2	141.4
122	829.9	167.2	151.2	141.5
123	830.1	167.2	151.3	141.5
124	831.2	167.3	151.4	141.7
125	832.2	167.3	151.4	141.7
126	832.7	167.4	151.5	141.7
127	833	167.4	151.6	141.8
128	833.4	167.5	151.7	141.8
129	835	167.7	151.8	142
130	835.2	167.9	151.9	142
131	835.5	168.4	152	142.3
132	835.7	168.4	152	142.4
133	837.4	168.6	152.4	142.5
134	837.5	168.7	152.7	142.8
135	839.1	168.7	152.8	142.9
136	840	169	152.8	142.9
137	841	169	152.9	142.9
138	843	169	153	142.9
139	844	169.2	153	143
140	845.1	169.3	153	143.1

141	845.8	169.5	153.1	143.4
142	846.2	169.5	153.1	143.4
143	846.5	170	153.3	143.5
144	846.6	170	153.5	143.6
145	846.8	170.2	153.7	143.7
146	848.2	170.2	153.8	143.7
147	848.5	170.4	153.8	143.7
148	848.7	170.5	153.9	144.1
149	848.8	170.5	154	144.2
150	849.9	170.7	154.1	144.2
151	850	170.8	154.1	144.2
152	850.3	170.9	154.2	144.5
153	850.5	171	154.3	144.5
154	851.8	171	154.7	144.7
155	852.1	171	154.9	144.8
156	852.3	171.3	154.9	144.9
157	852.9	171.3	155	145
158	853.2	171.4	155.2	145.1
159	853.7	171.6	155.5	145.2
160	854.4	171.7	155.5	145.2
161	854.6	171.8	155.7	145.3
162	855.7	171.8	155.7	145.4
163	858.6	172.1	156.1	145.5
164	859.7	172.2	156.2	145.7
165	859.8	172.7	156.3	145.7
166	860	172.8	156.5	145.8
167	860.6	172.9	156.7	145.9
168	862.1	173	156.7	146.1
169	863.8	173.1	156.8	146.1
170	864.4	173.2	157.1	146.1
171	864.6	173.5	157.3	146.2
172	867.6	173.6	157.3	146.2
173	870.2	174	157.5	146.2
174	885.2	174.1	157.9	146.4
175	894	174.8	157.9	146.8
176	918.1	174.8	158.1	146.8
177	937	175.5	158.4	147.7
178	971.7	175.5	159.5	147.7
179	980.8	176.8	159.9	149.3
180	1012.3	178.3	162	151.1

3. *Combustor* 6 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	44.1	45.2	45.2	44.3
2	87.6	45.2	45.2	44.3
3	172.5	69.2	45.3	44.4
4	203.2	81.6	68.9	65.3
5	233.2	81.7	72.5	67.7
6	305.1	83.5	77.2	70.5
7	344.8	88.8	77.7	71.9
8	396.2	94.9	82.2	72.6
9	399.6	125	110.7	98.6
10	409.8	125.8	111	101.2
11	410.6	125.8	111.1	101.2
12	416.8	125.9	111.2	101.6
13	427.1	126.1	111.4	102
14	443.7	126.6	112.1	102.2
15	454.7	127.1	112.7	102.3
16	459.3	127.5	112.8	102.9
17	479.2	127.5	113	103
18	495.6	127.5	113.1	103
19	501	127.8	113.5	103
20	505.3	127.8	113.6	103.4
21	511.7	128	113.8	103.7
22	512.3	128	114	103.7
23	513.6	128.1	114.1	103.8
24	525.5	128.3	114.1	104
25	529.2	128.4	114.3	104
26	532.6	128.5	114.4	104.2
27	537.1	128.6	114.5	104.4
28	539	128.7	114.5	104.5
29	545.1	128.9	114.6	104.5
30	563.3	129	114.6	104.7
31	567.8	129	114.6	104.7
32	571.3	129	114.6	104.8
33	571.5	129.1	114.9	104.8
34	575.3	129.8	115	104.8
35	580.3	129.8	115	104.8
36	587.4	130.4	115.1	105
37	595.3	130.6	115.1	105

38	613.5	130.7	115.2	105
39	618.6	130.7	115.2	105.1
40	635.5	130.9	115.4	105.1
41	639.3	131	115.5	105.2
42	642.9	131	115.7	105.3
43	643.4	131	115.8	105.4
44	655.2	131.1	115.8	105.5
45	659.2	131.1	115.9	105.5
46	671.7	131.2	116.1	105.5
47	678.5	131.5	116.4	105.6
48	685.3	131.6	116.4	105.6
49	685.9	131.6	116.5	105.6
50	693.3	131.7	116.7	105.7
51	697.1	131.7	116.7	105.8
52	700.5	132	116.8	106
53	703	132.1	117.1	106
54	727.6	132.1	117.6	106.1
55	732.5	132.5	117.6	106.2
56	739	132.5	117.8	106.3
57	765.7	132.7	118	106.4
58	776.2	132.9	118	106.4
59	776.8	132.9	118.1	106.5
60	778.2	133.2	118.2	106.6
61	779.3	133.2	118.3	106.6
62	781.3	133.5	118.5	106.7
63	781.5	133.9	118.6	106.7
64	782.2	134	118.8	106.8
65	782.6	134.1	118.9	106.8
66	783.1	134.2	119	106.9
67	783.4	134.4	119.1	107
68	783.9	135.1	119.1	107
69	785.1	135.1	119.3	107.1
70	785.5	135.1	119.4	107.3
71	785.5	135.3	119.5	107.4
72	785.7	135.5	119.5	107.6
73	786.8	135.6	119.6	107.7
74	787.8	135.7	119.6	107.7
75	790	136.1	119.8	107.8
76	791.6	136.1	119.9	107.9
77	791.7	136.1	120	108
78	792.6	136.2	120.1	108.1
79	793.5	136.9	120.1	108.1

80	794.2	136.9	120.3	108.4
81	795	137	120.5	108.5
82	795.7	137	120.7	108.5
83	796.1	137.1	120.7	108.5
84	796.3	137.4	121	108.5
85	797.5	137.4	121.1	108.5
86	797.7	137.7	121.2	108.7
87	797.8	137.8	121.3	108.9
88	797.8	138.1	121.5	109
89	798.2	138.3	121.7	109
90	799.7	138.4	122.1	109.1
91	800.3	138.4	122.1	109.1
92	800.9	138.5	122.2	109.2
93	801.7	138.7	122.2	109.3
94	802	138.9	122.5	109.4
95	802.5	139.1	122.7	109.6
96	803	139.3	122.8	109.6
97	803.1	139.4	123	109.8
98	803.2	139.7	123.1	110
99	803.4	139.8	123.2	110.1
100	804.2	140	123.4	110.2
101	804.3	140.1	123.6	110.4
102	804.5	140.1	123.6	110.4
103	804.8	140.3	123.8	110.5
104	805.2	140.5	124.1	110.5
105	806.7	140.5	124.2	110.6
106	807.1	140.8	124.2	110.6
107	807.3	141	124.3	110.8
108	807.3	141.4	124.4	110.8
109	807.4	141.5	124.4	110.8
110	807.7	141.7	124.5	110.8
111	808.7	141.7	124.6	111
112	808.9	141.7	124.6	111.2
113	809.2	141.8	124.8	111.2
114	809.2	142	124.8	111.4
115	809.7	142.1	125.1	111.5
116	811	142.2	125.2	111.5
117	812.5	142.4	125.2	111.6
118	812.9	142.5	125.7	111.8
119	813.6	142.5	125.7	111.8
120	814	142.6	125.7	112
121	814	142.7	125.7	112

122	816	142.9	126.2	112.3
123	816.1	143.2	126.4	112.4
124	817	143.3	126.4	112.4
125	817.5	143.5	126.4	112.6
126	818.1	143.6	126.7	112.6
127	820.7	143.9	127.1	113.1
128	820.9	144	127.5	113.2
129	821	144.1	127.5	113.9
130	821.3	144.2	127.6	113.9
131	821.6	144.3	127.6	114
132	824.5	145	127.7	114.2
133	825.1	145	127.7	114.2
134	825.5	145.2	127.7	114.3
135	826.1	145.2	127.8	114.5
136	827.1	145.2	128	114.6
137	828.6	145.4	129	116.5
138	829	145.8	129.5	116.8
139	830.5	145.8	130.4	117.1
140	830.7	145.8	131.2	117.4
141	831	146.1	131.5	117.6
142	832.2	146.6	131.8	118
143	832.5	147.1	132.3	118.2
144	832.8	147.5	132.8	118.6
145	833.3	147.7	133.2	118.8
146	835.4	148.1	133.6	119.2
147	835.7	148.4	134.2	119.6
148	836.6	149.1	134.6	119.9
149	837.3	149.7	134.9	120.2
150	839.7	150.1	135.4	120.8
151	842.6	151.1	136.4	121.1
152	843.1	151.8	137.2	121.5
153	845.7	152.5	138	121.8
154	849.5	153.1	138.8	122.3
155	849.5	153.5	138.8	122.6
156	849.9	153.8	139	123.1
157	851.7	154.7	139.6	123.6
158	851.9	155.8	140.3	124
159	852.2	156.9	141.5	124.6
160	854.5	157.3	142.1	125.1
161	857.3	157.7	142.2	125.4
162	860	158.2	143	125.7
163	862.1	159	143.7	125.9

164	862.8	159.5	144	126.4
165	866.8	160	144.3	126.7
166	871.5	160.2	144.3	126.9
167	875.1	160.3	144.4	126.9
168	875.3	160.4	145	127
169	875.4	160.5	145	127
170	875.8	160.5	145.3	127
171	876	160.5	145.4	127
172	876.3	160.5	145.4	127
173	877.4	160.5	145.5	127
174	878	160.6	145.5	127
175	878.4	160.6	145.6	127.1
176	878.4	160.7	145.7	127.1
177	878.7	160.7	145.7	127.1
178	878.8	160.8	145.7	127.1
179	891.9	160.8	146	127.1
180	893.8	161.2	146.1	127.1

Data pengujian *meso scale combustor* percobaan 3

1. *Combustor* 5 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	45.5	43.2	40.4	42.3
2	45.6	44.2	40.6	42.4
3	75.2	72.3	40.7	42.4
4	80.6	93.7	40.8	42.7
5	93.5	102	41.2	43
6	110.5	102.7	41.7	43.2
7	130.3	105.3	42.6	44
8	147.5	108.9	43.6	45
9	195.1	110.2	45	46.1
10	208.7	111.6	46.9	47.7
11	213.6	113.3	50	50.1



12	217.4	117	54	53.4
13	221	117.5	58	56.2
14	223.7	122.3	63	60.7
15	246.4	122.5	68	65.5
16	250.5	126.3	73.7	70.1
17	276.3	127.8	77.8	75.6
18	293	132	83.3	80.7
19	300.2	134.6	88.7	84.3
20	332.6	134.8	92.5	89.1
21	338.4	136	97	93.3
22	343.6	136.1	100.7	97.2
23	345.7	138.5	103.4	99.6
24	393.7	138.8	103.5	99.7
25	404.2	139	103.7	100.2
26	410.5	139.1	104.6	100.5
27	417.1	139.4	104.7	100.5
28	418.3	140.5	104.9	100.8
29	474.3	142.3	105.2	101
30	480.3	143.2	105.7	101.2
31	503.3	143.4	106	101.5
32	532.5	143.5	106	101.6
33	537.4	144.1	106.5	101.8
34	567.4	146.5	107	102.1
35	601.5	146.6	107.1	102.3
36	662.5	147.2	107.3	102.5
37	668.6	148.7	107.3	103.1
38	673.8	149	107.5	103.5
39	679.6	149.5	107.7	104.4
40	681	149.5	108.2	104.8
41	683.1	149.8	108.5	105.8
42	683.6	149.9	109.1	106.5
43	687.5	151.1	109.4	106.7
44	699.4	151.4	109.6	106.8
45	701.5	152.4	109.8	106.9
46	704	152.4	110.1	107.2
47	708.7	152.5	110.5	108
48	711.6	152.5	110.7	108.8
49	714.4	153	111.1	109
50	719.4	154.3	111.2	109
51	720.1	154.4	111.3	109.1
52	721.2	154.9	112.5	109.5
53	722.1	155.2	113.1	110.1

54	724.1	157	113.2	110.2
55	724.2	157.5	113.4	110.8
56	724.7	158.1	113.5	111.1
57	724.9	158.1	113.7	111.2
58	727.2	158.6	113.8	111.3
59	729.2	158.8	114.2	111.5
60	736	159.1	114.4	112
61	737.9	159.5	114.6	112.1
62	738.6	159.9	114.7	112.2
63	739.7	160.2	114.9	113.1
64	743.3	160.4	115.2	113.2
65	744.5	160.4	116.2	113.3
66	746.4	160.5	116.4	113.3
67	746.5	160.6	116.5	113.5
68	751.6	160.9	116.5	113.9
69	751.7	161.3	116.7	114.8
70	751.8	161.4	117.1	115.5
71	752.8	161.6	117.8	115.5
72	754.8	162.2	118.6	116.4
73	755.1	162.4	118.8	117
74	757.3	162.6	118.8	117.7
75	757.7	163	119.8	118.1
76	757.8	163.2	120.4	118.7
77	758.9	163.4	120.5	119
78	759.5	163.5	120.9	119.2
79	759.5	163.7	121.1	119.9
80	760.2	164	121.3	120.1
81	760.3	164.1	121.7	121.1
82	761.2	164.1	121.7	121.2
83	761.5	164.5	122.2	122.2
84	762.6	164.6	122.3	122.8
85	762.9	164.7	122.7	122.9
86	764.2	165.2	123	122.9
87	764.4	166	123.5	123.6
88	764.7	166.5	123.6	124
89	765.1	167	124.3	124.4
90	765.1	167.1	124.5	124.7
91	766.4	167.1	124.8	124.8
92	769.1	167.6	124.9	124.8
93	771.4	167.7	125	125.1
94	772.1	167.8	125.4	125.5
95	774.5	167.8	125.6	125.8

96	776.7	168	125.8	126.7
97	777.6	168.1	126.3	126.7
98	781.2	168.1	126.4	127
99	782.2	168.2	126.7	127.5
100	783.5	168.4	127	127.5
101	785.3	168.4	127.3	128.1
102	788.8	168.4	127.3	128.4
103	788.8	168.5	127.9	128.6
104	789.2	168.7	128.1	128.9
105	791.2	168.7	128.2	129.1
106	791.7	168.8	128.4	129.2
107	792.4	168.9	128.8	129.5
108	792.7	168.9	128.9	130
109	793.5	169.4	129	130.2
110	794.1	169.5	129.2	130.3
111	794.2	169.5	129.7	130.8
112	794.3	169.8	129.8	130.9
113	795.8	169.8	129.9	131.1
114	796.1	170	130	131.3
115	796.2	170.1	130.1	131.3
116	797.8	170.1	130.4	131.3
117	799.5	170.3	130.4	131.7
118	799.6	170.5	130.4	131.7
119	800.7	170.5	130.6	132
120	801	170.5	130.7	132.1
121	803.1	170.6	130.7	132.1
122	804	170.8	130.7	132.3
123	804.3	171.1	130.8	132.3
124	804.8	171.2	130.9	132.3
125	806.1	171.3	131.1	132.4
126	808.5	171.8	131.1	132.4
127	808.7	172.1	131.3	132.5
128	808.8	172.2	131.3	132.5
129	809.8	172.2	131.4	132.6
130	810	172.5	131.6	132.7
131	811	172.6	131.7	132.8
132	812	173	132.1	132.9
133	812.5	173	132.2	132.9
134	813	173.1	132.5	133.1
135	813.2	173.1	132.7	133.1
136	813.4	173.1	132.8	133.3
137	815.1	173.1	133	133.3

138	815.2	173.2	133	133.5
139	815.3	173.3	133.3	133.6
140	816	173.3	133.5	133.7
141	816	173.5	133.5	133.8
142	820.1	173.7	133.6	133.9
143	821.2	173.8	133.6	134
144	821.3	174	133.9	134
145	821.6	174	134.1	134.1
146	822.7	174.4	134.1	134.4
147	823	174.5	134.1	134.4
148	824.2	174.8	134.2	134.7
149	829.2	175	134.4	134.8
150	833.1	175.9	134.6	135
151	834.1	176.1	134.7	135.1
152	846.2	177.9	134.7	135.4
153	848.9	178.4	134.8	135.4
154	849	178.5	135	135.4
155	852.6	178.7	135.3	135.4
156	853.8	179.1	135.4	135.5
157	856.4	179.8	135.5	135.8
158	856.8	180.4	135.8	136
159	860.9	180.9	136.1	136.1
160	865	181.1	136.5	136.1
161	879.5	181.6	138.1	136.1
162	879.6	182.4	138.5	136.1
163	879.8	183.5	139	136.2
164	882.8	184.2	140.1	136.2
165	885.5	184.8	140.4	136.3
166	904.2	185.3	140.8	136.5
167	904.7	186	141.2	137
168	921.4	186.2	141.7	137.7
169	941.7	186.3	141.9	137.9
170	942.8	186.4	142.3	138.8
171	946.8	186.6	142.5	139.4
172	954.9	186.7	142.6	139.4
173	956	187.5	143	140.2
174	957	188.2	143.1	140.5
175	961.8	191	143.3	140.8
176	961.8	194	143.4	141.3
177	966.3	198.9	143.4	142
178	968.1	199.7	143.8	143.2
179	968.5	205.9	144.2	144.2

180	968.8	260.8	148.3	149.7
-----	-------	-------	-------	-------

2. *Combustor* 5,5 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	33.4	38.1	34.5	35.2
2	57	38.4	35	38.6
3	88.8	38.4	38.1	38.7
4	99.9	38.4	38.1	38.7
5	111	38.5	38.2	38.7
6	129.3	44.9	39.3	38.8
7	150.2	48.2	40.1	39
8	179.9	52.4	44.3	41.7
9	205.2	64.6	52.4	42.2
10	247.2	74.1	54	45.7
11	325.7	78.6	57.2	50.9
12	360	78.7	64.4	51.5
13	475.9	85.4	66.5	52.5
14	579.2	87.2	67.5	58.1
15	582.8	90.8	70.3	60.1
16	583.1	94.2	74	62.1
17	586.1	97	78.3	62.3
18	586.7	98.8	79.7	66
19	588.1	102.5	82.6	66.1
20	588.1	106	84.9	68.9
21	589.9	108.9	88.1	71.3
22	592.9	110.9	89.5	72.9
23	593.8	114.8	92.7	75.5
24	601.7	115.5	94.1	76.4
25	609.3	118.2	97.5	78.3
26	610.6	120.2	98.1	79.7
27	617	120.6	100.7	82
28	619.7	127.1	103	82.1
29	621.3	132.6	103.4	83
30	622.3	138.1	105.5	86.2
31	626.4	139.9	107.3	87.7
32	632.9	141.6	108.1	88.5
33	634.7	142.2	111	89
34	635.4	145.2	112.3	89.3

35	637.8	146.5	113	91.1
36	641.7	147.5	116	91.4
37	641.7	148.5	118.7	93.7
38	643.6	150.8	119.1	94
39	647.2	152.7	120.5	95.1
40	648.4	153.1	120.8	95.7
41	650	153.1	123.2	96.4
42	651.1	155.1	124.5	96.6
43	652.2	155.9	125.8	97.1
44	652.5	156.5	126	98.1
45	655	156.7	127.7	98.9
46	656.9	158.3	128.1	99.7
47	657.6	159.8	129.8	100.5
48	658.3	161.3	130	101
49	662.8	162.6	131.2	101.8
50	663.4	163.7	132	103.7
51	663.8	164	133.5	104
52	664.1	165.6	134.4	105.1
53	665	167.5	136	105.2
54	665.1	169.5	138.1	106.5
55	666	171.2	140.1	107.7
56	668.8	172.3	141.3	108.1
57	669.1	174	143.2	109.8
58	669.7	175.4	144.6	111.1
59	670.1	176.6	144.6	112.8
60	670.7	176.6	144.8	114.1
61	671.5	176.6	144.8	115.7
62	694.5	177.3	145.3	116.7
63	719.6	177.4	145.6	117.4
64	723.5	177.5	146	118.6
65	725	177.7	146.4	119.5
66	727.8	177.7	147.1	120.9
67	733.7	178.8	148.3	121.8
68	748.1	179	148.5	122.2
69	770.1	179.3	148.7	122.3
70	772.6	179.5	150	122.7
71	792.4	179.7	150.2	122.8
72	793.4	180.1	150.9	122.8
73	794	180.4	151	123
74	797.7	180.5	151.2	123
75	800.8	180.6	151.4	123
76	804.9	180.7	151.8	123.2

77	805	180.8	151.9	123.2
78	806.5	180.8	152	123.2
79	807.8	181.2	152.5	123.7
80	809	181.2	152.5	123.7
81	809.2	181.4	152.8	123.9
82	809.3	181.4	153.2	124.1
83	810	181.7	153.2	124.2
84	810	182	153.2	124.5
85	810.2	182.8	153.2	125
86	810.6	182.8	153.4	125
87	810.7	182.8	153.4	125.2
88	810.8	182.8	153.5	125.2
89	810.9	182.9	153.5	125.4
90	810.9	183	153.6	125.7
91	811.4	183.2	153.7	125.9
92	811.8	183.2	153.7	126
93	811.8	183.2	154.1	126
94	812.1	183.8	154.8	126.2
95	812.4	184.6	155.8	126.7
96	812.7	186	156.8	126.7
97	814.6	187	157.7	126.7
98	814.8	188.5	158.5	127.3
99	815.1	189.4	159.2	127.5
100	816.8	190.3	160.2	127.7
101	817.1	190.8	160.8	127.7
102	817.4	191.4	161.2	128.5
103	817.6	192.5	162.6	129.6
104	818	193.5	163.8	130.2
105	819.4	194.5	164.5	130.7
106	820.6	194.8	164.7	131.1
107	822.2	194.9	165	131.6
108	822.5	195.1	165.2	132.6
109	822.7	195.8	165.6	133.2
110	823.1	196.6	166	133.6
111	823.2	196.7	166.5	134.3
112	823.5	197.3	167	135
113	824	197.7	167.5	135.2
114	826.4	198.3	168.1	135.7
115	826.6	198.9	168.8	136.5
116	827.3	199.7	169.8	137.5
117	827.4	200.1	170.2	137.7
118	829.4	200.4	170.2	138.1

119	829.6	200.6	170.2	138.3
120	829.8	201.4	170.7	138.4
121	830	202.1	171.1	138.8
122	830	202.7	171.6	139
123	830.3	203.5	172.7	139.5
124	830.3	204.1	173.1	140.3
125	831.1	204.7	173.2	140.8
126	831.3	205	173.4	141.2
127	831.4	205.5	174.1	141.5
128	831.5	205.6	174.3	142.4
129	831.7	205.9	174.8	143
130	832	206.4	175	143.1
131	832.5	207.2	175.7	143.4
132	832.8	207.4	175.8	143.5
133	832.8	208.4	175.9	144.9
134	832.8	209	176.3	145.2
135	833.3	209.5	176.7	145.4
136	833.3	209.5	176.9	145.5
137	833.4	209.7	177.2	145.8
138	833.4	210	177.5	146
139	833.8	210.4	178	146.2
140	834.4	210.6	178.4	146.4
141	834.7	210.7	178.9	146.6
142	835	211	179	146.7
143	835	211	179.8	148.7
144	835.3	211	179.9	150
145	835.5	211.2	180.2	150.1
146	836.9	211.2	180.3	150.1
147	837.1	211.3	180.4	150.3
148	837.2	211.3	180.4	150.5
149	837.7	211.4	180.7	150.6
150	837.7	211.7	180.8	150.7
151	837.8	211.8	180.8	150.7
152	837.9	212.5	181.1	150.7
153	838.1	212.6	181.2	150.8
154	838.3	213.5	181.4	150.8
155	838.5	213.6	181.6	150.8
156	839.4	213.7	181.9	151.2
157	839.5	214	181.9	151.2
158	839.6	214.2	182	151.5
159	840	214.4	182.2	151.5
160	840.8	214.4	182.2	151.5



161	840.8	214.7	182.4	151.8
162	841.1	215	182.4	151.8
163	841.4	215.2	182.5	151.9
164	841.7	215.3	183	152.1
165	841.8	215.8	183.4	152.1
166	842.5	216.3	183.8	152.3
167	842.8	216.5	184.2	152.4
168	843.5	217	184.6	152.8
169	844.4	217.7	185.4	153.3
170	845.2	218.1	185.9	153.8
171	845.3	220.2	187.1	155.3
172	845.9	220.9	187.8	156
173	846.6	221.1	188	156.1
174	846.7	223.1	190.2	156.9
175	847.6	223.2	190.2	157.1
176	916.4	223.4	190.3	157.2
177	924.7	223.5	190.7	157.7
178	925.1	223.9	190.8	157.8
179	926.1	223.9	191	157.9
180	972.2	224	191.1	158

### 3. Combustor 6 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	44.2	46.4	46.2	45.7
2	45	46.5	46.4	45.7
3	45.6	46.6	46.4	45.8
4	85.9	54.3	48.7	46
5	240	58.8	52.9	47.1
6	472.6	63.9	57.5	48.4
7	735.2	68.7	61.4	50.7
8	866	74.5	66.2	53
9	950.7	80.1	71	55.5
10	982	84.1	74.2	57.5
11	1007	89.4	78.4	60.5
12	1018	93.6	82	63.1
13	1018.1	97	85.6	65.1

14	1018.5	100	88.1	67.8
15	1019.1	103	90.8	70
16	1019.2	105.9	93.5	72.4
17	1019.9	108	95.6	74.2
18	1020.1	110.7	98.1	76.4
19	1023.6	113	100.4	78.3
20	1024.4	115.5	102.4	80.1
21	1024.5	116.8	104.3	82
22	1026	119.1	106.1	83.5
23	1026.9	121.2	107.5	84.7
24	1027.2	122.6	109.4	86.4
25	1028.2	124.6	111	88
26	1028.3	126.4	112.6	89.5
27	1029.3	128.2	114	90.7
28	1029.3	129.5	115.2	92
29	1029.3	131.2	116.6	93.3
30	1030.3	132.8	117.6	94.2
31	1030.7	133.8	118.9	95.2
32	1031.3	135	120.1	96.2
33	1031.3	135.7	121.1	97.1
34	1031.8	136.7	121.7	98.2
35	1032	137.2	122.4	99
36	1032.1	138.1	123.3	99.6
37	1032.3	138.7	124	100.4
38	1032.3	139.2	124.9	101.2
39	1032.5	140.1	125.8	102
40	1032.5	141.2	127	102.7
41	1032.6	141.8	127.5	103.4
42	1032.7	142.1	128	104.1
43	1032.7	143.4	129.3	104.7
44	1032.8	144.2	129.8	105.5
45	1032.8	144.4	130.5	106
46	1032.8	144.6	131.1	106.2
47	1032.9	144.7	131.2	106.2
48	1033	145.5	131.3	106.9
49	1033.1	145.8	132	107.9
50	1033.2	147.2	132.6	108.5
51	1033.5	148	133.6	109.3
52	1033.6	148.1	134.1	110
53	1033.9	148.7	134.8	110.5
54	1033.9	149.4	135.3	110.8
55	1034	149.8	135.7	111.4

56	1034.1	150.5	136.5	112
57	1034.3	151.2	136.9	112.2
58	1034.5	151.4	137.2	112.6
59	1034.6	151.6	137.8	113.1
60	1034.8	152.7	139.1	114.3
61	1034.8	153.2	139.5	114.7
62	1035.2	153.4	139.7	114.8
63	1035.5	153.6	140	115.2
64	1035.6	154.2	140.4	115.6
65	1036	154.7	140.5	115.7
66	1036	155	140.8	116
67	1036	155.3	141.7	117.1
68	1036.1	155.8	141.8	117.2
69	1037.4	156.1	142.2	117.5
70	1037.5	156.9	143.5	118.7
71	1037.8	157	143.7	119
72	1038	157.3	143.9	119.1
73	1038.2	157.7	144.1	119.5
74	1038.3	160.1	146.6	121.6
75	1038.5	160.2	146.7	121.8
76	1038.6	161.5	147.9	122.5
77	1038.7	161.5	148.1	122.7
78	1039.1	161.7	148.5	123.1
79	1039.3	161.8	148.6	123.2
80	1039.3	162	148.7	123.4
81	1039.5	162.1	148.7	123.5
82	1039.5	162.1	148.7	123.5
83	1039.5	162.6	148.9	123.5
84	1039.6	163.3	149	123.5
85	1039.6	163.4	149.3	123.6
86	1040	163.6	149.7	123.9
87	1040.1	163.6	149.8	124.1
88	1040.2	163.8	149.8	124.6
89	1040.3	163.8	150.2	125.1
90	1040.3	163.9	150.4	125.1
91	1040.5	163.9	150.4	125.2
92	1040.5	164.1	150.5	125.5
93	1040.6	164.1	150.7	125.5
94	1040.9	164.2	150.8	125.7
95	1041.3	164.2	151.2	126.5
96	1042.3	164.3	151.2	126.8
97	1043	164.3	151.3	126.8

98	1044	164.3	151.4	127
99	1046.3	164.4	151.5	127.1
100	1046.5	164.4	151.5	127.1
101	1047.1	164.5	151.6	127.1
102	1047.8	164.6	151.6	127.2
103	1047.9	164.6	151.7	127.2
104	1048.1	164.7	151.8	127.4
105	1048.2	164.9	152.1	127.5
106	1049.6	165.7	152.6	127.8
107	1049.9	165.8	152.6	127.8
108	1050	165.8	152.7	127.8
109	1050.3	165.9	152.8	127.9
110	1050.4	166	153	128.2
111	1051.8	166.1	153.2	128.6
112	1052.8	166.2	153.4	128.8
113	1053	166.5	153.7	129
114	1053.2	166.5	153.7	129
115	1054.3	166.8	153.9	129.1
116	1054.6	167.1	154.2	129.3
117	1055.1	167.4	154.4	129.4
118	1056	167.7	154.5	129.5
119	1057.8	167.8	154.5	129.6
120	1061	167.8	154.6	129.8
121	1063	167.8	154.6	129.8
122	1064.2	167.8	154.7	129.8
123	1065	168	154.8	129.8
124	1065	168	154.9	129.8
125	1065.3	168	154.9	130
126	1065.8	168	154.9	130
127	1066.1	168	155	130
128	1066.3	168	155	130.1
129	1066.4	168.1	155	130.1
130	1066.6	168.1	155	130.2
131	1066.7	168.2	155.1	130.4
132	1066.8	168.4	155.2	130.4
133	1067	168.7	155.4	130.6
134	1067.1	169.3	155.8	130.7
135	1067.4	169.5	156.1	130.9
136	1067.7	169.7	156.2	131.1
137	1068	169.7	156.4	131.2
138	1068.2	169.8	156.5	131.2
139	1068.2	169.8	156.5	131.3

140	1068.2	169.9	156.7	131.3
141	1068.3	170	156.8	131.5
142	1068.3	170	156.9	131.5
143	1068.4	170.8	157.3	132.1
144	1068.5	170.8	157.4	132.2
145	1068.6	171	157.4	132.2
146	1068.6	171	157.5	132.3
147	1068.6	171	157.5	132.3
148	1068.9	171.1	157.6	132.3
149	1069.1	171.1	157.6	132.5
150	1069.2	171.2	157.7	132.5
151	1069.3	171.3	157.7	132.6
152	1069.5	171.3	157.8	132.6
153	1069.6	171.3	157.8	132.8
154	1070	171.3	157.8	132.8
155	1070.6	171.4	157.9	132.8
156	1071.2	171.5	157.9	132.8
157	1071.3	171.5	157.9	132.8
158	1071.5	171.6	158	132.9
159	1071.6	171.7	158.1	133
160	1071.6	171.7	158.2	133.1
161	1071.9	172	158.4	133.1
162	1072.3	172.1	158.4	133.2
163	1072.3	172.1	158.4	133.2
164	1072.6	172.1	158.4	133.2
165	1072.6	172.2	158.4	133.3
166	1072.7	172.2	158.4	133.4
167	1072.8	172.3	158.5	133.5
168	1073	172.4	158.5	133.5
169	1073	172.4	158.6	133.5
170	1073.1	172.4	158.8	133.5
171	1073.1	172.6	158.8	133.6
172	1073.3	172.8	159.2	133.6
173	1073.5	172.8	159.2	133.6
174	1073.6	172.8	159.3	133.6
175	1073.6	172.9	159.3	133.6
176	1073.7	172.9	159.3	133.7
177	1073.7	173	159.3	133.7
178	1073.7	173	159.6	133.8
179	1073.8	173.2	159.8	134
180	1073.8	173.3	159.9	134.2



C. Spesifikasi Data Logger

## ADAM-4541 ADAM-4542+ ADAM-4561/4562

**Multi-mode Fiber Optic to RS-232/422/485 Converter**  
**Single-mode Fiber Optic to RS-232/422/485 Converter**  
**1-port Isolated USB to RS-232/422/485 Converter**

---



**ADAM-4541** FCC CE RoHS

### Specifications

**General**

- Power Input** Unregulated 10 - 30 Vdc
- Connectors** 1 x plug-in terminal block (P14 - 22 AWG) (RS-232/422/485)  
1 x ST fiber connector
- Power Consumption** 1.5 W @ 24 Vdc
- Operation Modes** Support Point-to-Point, and Ring (half-duplex)

**Fiber Optic Communications**

- Optical Power Budget** 15 dB (measured with attenuation)
- Transmission Distance** 2.5 km
- Transmission Mode** Multi-mode (Send and Receive)
- Wavelength** 820 nm

**Serial Communications**

- Communication Mode** Asynchronous
- Speed Modes (bps)** 1200, 2400, 4800, 9600, 19.2k, 38.4k, 57.6k, 115.2k and RS-232/422 mode (switchable)
- Transmission Mode** Full/half duplex, bidirectional



**ADAM-4542+** FCC CE RoHS

### Specifications

**General**

- Power Input** Unregulated 12 - 24 Vdc
- Connectors** 1 x plug-in terminal block (P14 - 22 AWG) (RS-232/422/485)  
1 x SC fiber connector
- Power Consumption** 3 W @ 24 Vdc
- Operation Modes** Support Point-to-Point, Redundant and Ring (half-duplex)

**Fiber Optic Communications**

- Optical Power Budget** 15 dB (Attenuation)
- Transmission Distance** 15 km
- Transmission Mode** Single mode (Send and Receive)
- Wavelength** 1310 nm

**Serial Communications**

- Communication Mode** Asynchronous
- Speed Modes (bps)\*** 1200, 2400, 4800, 9600, 19.2k, 38.4k, 57.6k, 115.2k, 230.4k, 460.8k, 921.6k and RS-232/422 mode (switchable)
- Transmission Modes** Full/half duplex, bidirectional

\* The highest speed for RS-232 mode is 115.2 kbps



**ADAM-4561/4562** FCC CE RoHS

### Specifications

**General**

- Connectors** Female: D9-type A connector (Type A to Type B cable provided)  
Send: ADAM-4561  
1 x plug-in terminal (P14 - 22 AWG) 5-wire RS-232/422/485  
1 x DB-9 serial connector (9-wire RS-232)
- Isolation Voltage** ADAM-4561: 1,380 Vdc  
ADAM-4562: 2,580 Vdc
- Power Consumption** ADAM-4561: 1.5 W @ 5 V  
ADAM-4562: 1.1 W @ 5 V
- Driver Support** ADAM-4561/4562: Windows 2000/XP/Vista/7 (ADAM-4562)
- USB Specification Compliance** ADAM-4561: USB 2.0  
ADAM-4562: USB 2.0

**Serial Communications**

- Speed Modes (bps)** ADAM-4561: 600 bps to 115.2 kbps  
ADAM-4562: 75 bps to 115.2 kbps
- Transmission Modes** Full/half duplex, bidirectional

### Common Specifications

**Environment**

- Operating Humidity** 5 - 95% RH
- Operating Temperature** ADAM-4541/4542+ -10 - 70°C (14 - 158°F)  
ADAM-4561/4562 -10 - 70°C (14 - 158°F)
- Storage Temperature** -25 - 85°C (-13 - 185°F)

### Ordering Information

- ADAM-4541** Multi-mode Fiber to RS-232/422/485 Converter
- ADAM-4542+** Single-mode Fiber to RS-232/422/485 Converter
- ADAM-4561** 1-port Isolated USB to RS-232/422/485 Converter
- ADAM-4562** 1-port Isolated USB to RS-232 Converter

D. Spesifikasi *Thermocouple*

## ADAM-4017/4017+ ADAM-4018/4018+ ADAM-4019+

**8-ch Analog Input Modules with Modbus™**  
**8-ch Thermocouple Input Modules with Modbus**  
**8-ch Universal Analog Input Module with Modbus**





**ADAM-4017/18/19** CE FCC

### Specifications

**General**

- Power Consumption: 1.2 W @ 24 V<sub>DC</sub>
- Watchdog Timer: ADAM-4017: System (1.5 second) ADAM-4017+: System (1.5 second) & Communication
- Support Protocol: ASCII command (ADAM-4017) ASCII command and Modbus/RTU (ADAM-4017+)

**Analog Input**

- Channels: ADAM-4017: 8 differential and 2 single-ended ADAM-4017+: 8 differential ADAM-4019: only
- Channel Independent Configuration
- Input Impedance: Voltage: 20 MΩ Current: 120 Ω (4017+ only)
- Input Type: ±100 mV, ±500 mV, ±1 V, ±5 V, ±10 V, ±20 mV, ±100 mV, ±500 mV, ±1 V, ±5 V, ±10 V, ±20 mV, 4 - 20 mA

**ADAM-4018** CE FCC

### Specifications

**General**

- Power Consumption: 0.9 W @ 24 V<sub>DC</sub>
- Watchdog Timer: System (1.5 second) ADAM-4018: System (1.5 second) & Communication
- Support Protocol: ASCII command (ADAM-4018) ASCII command and Modbus/RTU (ADAM-4018+)

**Analog Input**

- Channels: ADAM-4018: 8 channels ADAM-4018+: 8 channels ADAM-4019: only
- Channel Independent Configuration
- Input Impedance: Voltage: 20 MΩ Current: 120 Ω
- Input Type: ±100 mV, ±500 mV, ±1 V, ±5 V, ±10 V, ±20 mV, ±100 mV, ±500 mV, ±1 V, ±5 V, ±10 V, ±20 mV, Thermocouple, 4-20 mA, ADAM-4019: only
- Voltage/Current Input Range: ±100 mV, ±500 mV, ±100 mV, ±1 V, ±5 V, ±10 V, ±20 mV, ADAM-4019: only
- T/C Types and Temperature Ranges:

J	K	R	S	B
0	1	2	3	4
5	6	7	8	9
- Burn-out Detection: ADAM-4018: only

**ADAM-4019** CE FCC

### Specifications

**General**

- Power Consumption: 1.6 W @ 24 V<sub>DC</sub>
- Watchdog Timer: System (1.5 second) & Communication
- Support Protocol: ASCII command and Modbus/RTU

**Analog Input**

- Channels: 8 differential channels for individual input type
- Channel Independent Configuration: No
- Input Impedance: Voltage: 20 MΩ Current: 120 Ω
- Input Type: ±1 V, ±5 V, ±10 V, ±500 mV, ±500 mV, ±100 mV, 4 - 20 mA
- T/C Types and Temperature Ranges:

J	K	R	S	B
0	1	2	3	4
5	6	7	8	9
- Burn-out Detection: 4 - 20 mA & all T/C

### Common Specifications

**General**

- Power Input: Independent 10 - 30 V<sub>DC</sub>
- Connectors: 2 x Plug-in terminal block, 2814 - 02, 40pin

**Analog Input**

- Accuracy: Voltage mode: ±0.1% at 25°C Current mode: ±0.2% at 25°C
- Resolution: 10 bit
- Sampling Rate: 10 samples/second (10MS)

**Environment**

- Isolation Voltage: 5000 V<sub>DC</sub>
- Overvoltage Protection: ±25 V<sub>DC</sub>
- CMB: 40 50/50 Hz
- EMC: 40 50/50 Hz
- ESD: 40 50/50 Hz
- Zero Drift: ±0.001% / °C
- Build-to-TYP/ESD Protection

**Environment**

- Humidity: 5 - 95% RH
- Operating Temperature: -10 - 70° C (14 - 158° F)
- Storage Temperature: -20 - 80° C (-20 - 180° F)

### Ordering Information

- ADAM-4017: 8-ch Analog Input Module
- ADAM-4017+: 8-ch Analog Input Module with Modbus
- ADAM-4018: 8-ch Thermocouple Input Module
- ADAM-4018+: 8-ch Thermocouple Input Module with Modbus
- ADAM-4019: 8-ch Universal Analog Input Module with Modbus

ADANTECH
80-480 I/O Modules



E. Flowmeter Udara

High-Precision Flowmeter (for Sensitive Measurements)  
**MODEL RK1450 SERIES**

This top-grade high-precision area flowmeter is a fruit of KOFLOC's challenge to boost the general perception currently conceived by people of flowmeter as being a "mere yardstick" into a new conception that a flowmeter is a "precision instrument." This flowmeter particularly features its uniquely precision-formed glass tube and ultra-precision ball float.



**Features**

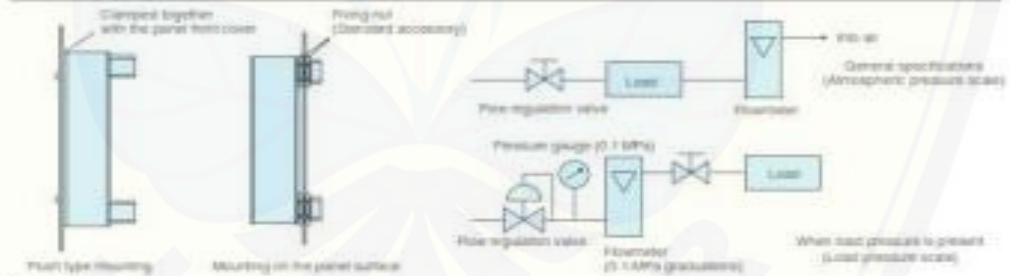
- **Capable of measuring ultra-minute flows**  
Can measure a wide range of flows from ultra-minute flows of 0.5-0.9 NL/Min to flows of 3-33 L/Min.
- **High precision measurement**  
High precision measurement of flows is available up to 40% of full scale (standard specification) or to 47% of full scale (optional specification).
- **Wide variations**  
A broad range of variations is available in total length, material of construction, flow rate, pressure, scale, and so forth to meet diverse applications from a variety of fields.
- **Capable of measuring all kinds of gases**  
Practically all kinds of gases can be measured, not to mention these standard (Ar, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, He, Ar and CO<sub>2</sub>).
- **Measurement of water flows also possible**  
Measurement of full-scale water flows not exceeding 1 L/Min is also possible. (Dimensions may vary depending upon the specified flow-rate.)

**Applications**

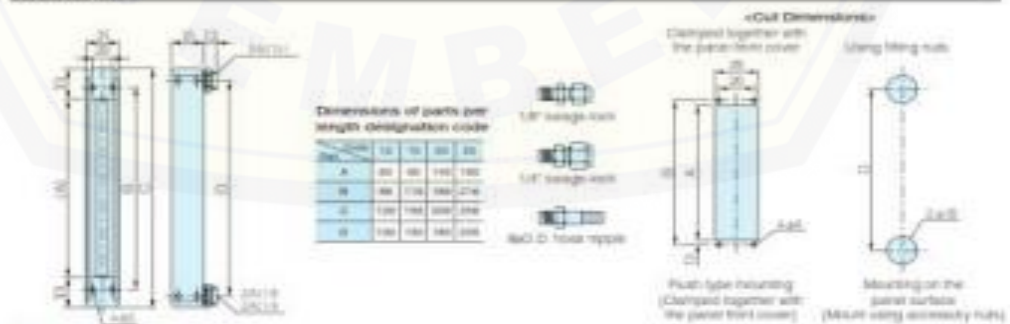
- For integration into your equipment panel
- For flow inspections at laboratory
- For semiconductor manufacturing equipment
- For biotechnology industries



**Example of Use with Model RK1450**



**Dimensions**



Standard Specifications

	Steel	Aluminum
Fluid	Air, N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , He, Ar, and CO <sub>2</sub> . Calibration by actual gas. For other gases, consultation is necessary regarding whether correction conditions or calibration by actual gas is to be used. † Optional: Scale indicating two types of fluids.	Standard: Pure Water For other fluids, consultation is necessary regarding whether correction conditions or calibration by actual fluid is to be used.
Flow range	0.5-5 ML/MIN to 0-20 L/MIN (See the Capacity Table below). † Optional: 0.5-0 ML/MIN	0.5-5 ML/MIN to 0-1.1 L/MIN (See the Capacity Table below). † Optional: 0.5-0 ML/MIN
Accuracy	±0.2% (Measurement point) † Optional: ±0.1% (Measurement point)	±0.2% (Measurement point)
Max. pressure	1.0 MPa for 100 ML/MIN or less 0.7 MPa for 1 L/MIN or less 0.5 MPa for 10 L/MIN or more	1.0 MPa for 1 ML/MIN or less 0.7 MPa for 100 ML/MIN or less 0.5 MPa for 200 ML/MIN or more
Available scale	10 <sup>1</sup> † Optional: 10 <sup>2</sup>	
Material	SS	Al
Body form	300°/180°	Open
Support tube		Fluorocarbon
Facility	rear	rear
Fluid		Fluorocarbon, 300°/180°, glass
Production scale		Single head
Temperature resistance		300°C
Connection end		1/4" NPT (Standard), 1/4" NPT (Optional)

Capacity Table

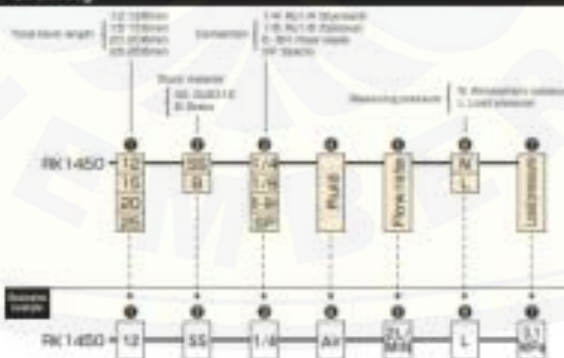
Air (Flow rate at atmospheric pressure)

Total length	Max. flow rate																	
	5	10	20	30	50	100	150	200	300	500	1	2	3	5	10	15	20	30
	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	L/MIN	L/MIN	L/MIN	L/MIN	L/MIN	L/MIN	L/MIN	L/MIN
120mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
150mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
200mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
250mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

H<sub>2</sub>O

Total length	Max. flow rate										
	5	10	20	30	50	100	150	200	300	500	1
	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	L/MIN
120mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
150mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
200mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
250mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Ordering



**F. Flowmeter Bahan Bakar (LPG)**

**Flowmeter with Precision Needle Valve (for Accurate Flow Control)**  
**MODEL RK1250 SERIES**

The Model RK1250 Series Flowmeter is a completely re-named model of existing KOFLOC RK1200, designed as a flowmeter that can be integrated into the customer's equipment. A combination of a grade high precision float type flowmeter with a needle valve capable of very accurate flow control provides a flowmeter ideal for measurement and control of trace flows.

**B**

**Features**

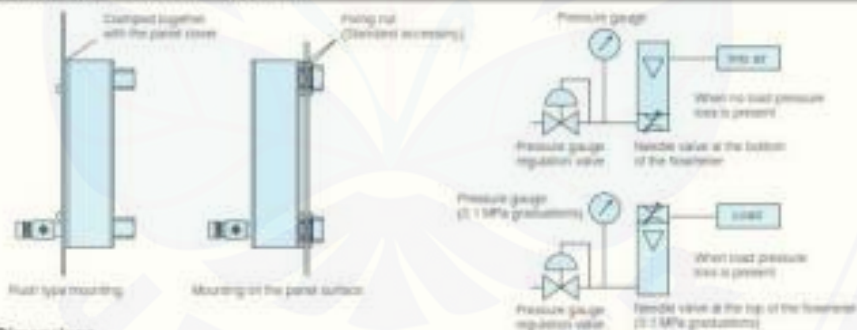
- **Capable of controlling ultra-minute flows:**  
 (can respond to a wide range of flows from ultra-minute flows of 0.5-3 mL/MH to flows of 0-30 L/MH).
- **The incorporated precision needle valve allows a delicate control of flows.**  
 The effective settling speed of the needle valve can be maximized by applying a reserve flow and normal supply pressure.
- **Wide variations:**  
 Four total lengths of the flowmeter are available: 126, 150, 200, and 230 mm, for your selection according to your needs.
- **Two types of valve arrangement:**  
 The needle valve can be laid out either at the top or at the bottom of the meter. Choose the type that best suits your needs.
- **Measurement and control of water flows also possible:**  
 Measurement and control of water flows not exceeding 1.5MPa are also possible.

**Applications**

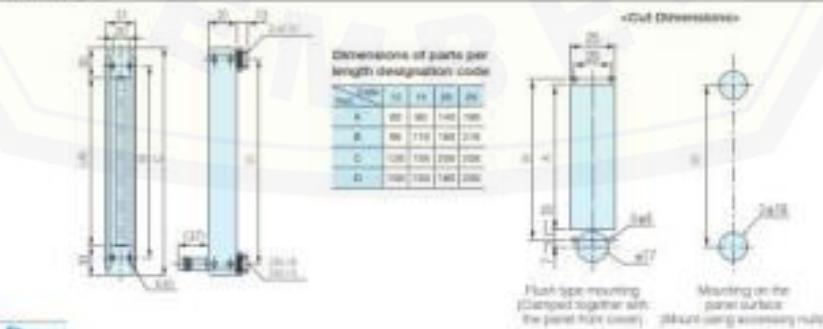
- For integration into your equipment panel
- For gas devices to be used on the semiconductor manufacturing site
- For biotechnology industries
- For vacuum line control



**Example of Use with Model RK1250**



**Dimensions**



B

**Standard Specifications**

	Gas	Liquid
Fluids	Air, N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , He, Ar, and CO <sub>2</sub> (calibration by actual gas) For other gases, consultation is necessary regarding whether conversion conditions or calibration by actual gas is to be used. * Optional: Scale indicating two types of fluids	Standard fluid (Water) For other liquids, consultation is necessary regarding whether conversion conditions or calibration by actual liquid is to be used.
Flow range	0.5-5 ML/MIN to 0-30 L/MIN (See the Capacity Table below) * Optional: 0.5-0 ML/MIN	0.5-0 ML/MIN to 0.1-1 L/MIN (See the Capacity Table below) * Optional: 0.5-0 ML/MIN
Accuracy	FS±1% (Measurement point) * Optional: FS±1% (Measurement point)	FS±1% (Measurement point)
Proof pressure	0.7 MPa for 0 L/MIN or less 0.5 MPa for 10 L/MIN or more	1.0 MPa for 0 ML/MIN or less 0.7 MPa for 100 ML/MIN or less 0.5 MPa for 200 ML/MIN or more
Available scale	10:1 * Optional: 20:1	
Materials	SS	SS
Body block	SUS316	Steel
Sealed tube		Pyrex <sup>®</sup> glass
Flaking	None	None
Flare		Pyrex, SUS316, glass
Protective cover		Acrylic resin
Temperature resistance		MAX80°C
Connection and	Rc1/4 (Standard) Rc1/8 (Optional)	

**Capacity Table**

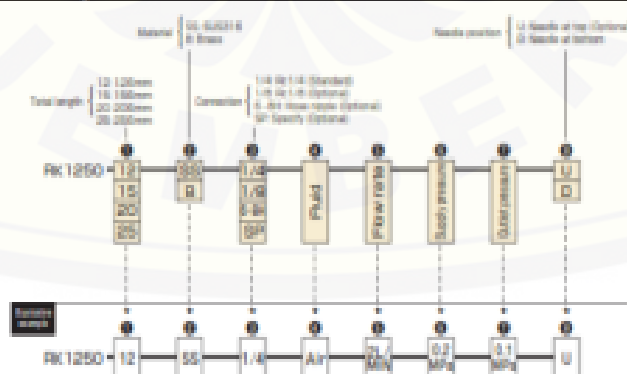
**Air (Flow rate at atmospheric pressure)**

Total length	Max. flow rate																		
	5 ML/MIN	10 ML/MIN	20 ML/MIN	30 ML/MIN	50 ML/MIN	100 ML/MIN	150 ML/MIN	200 ML/MIN	300 ML/MIN	500 ML/MIN	1 L/MIN	2 L/MIN	3 L/MIN	5 L/MIN	10 L/MIN	15 L/MIN	20 L/MIN	30 L/MIN	
120mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
150mm	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
200mm	—	—	—	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
250mm	—	—	—	—	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

**HeD**

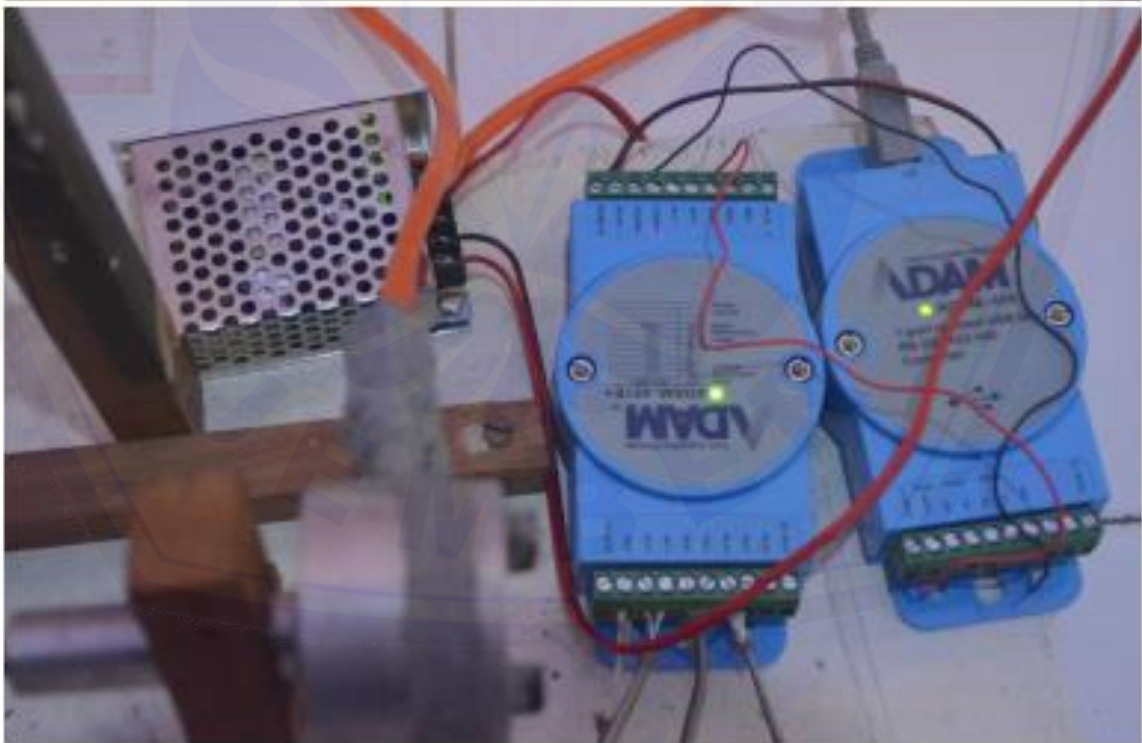
Total length	Max. flow rate										
	5 ML/MIN	10 ML/MIN	20 ML/MIN	30 ML/MIN	50 ML/MIN	100 ML/MIN	150 ML/MIN	200 ML/MIN	300 ML/MIN	500 ML/MIN	1 L/MIN
120mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
150mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
200mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
250mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

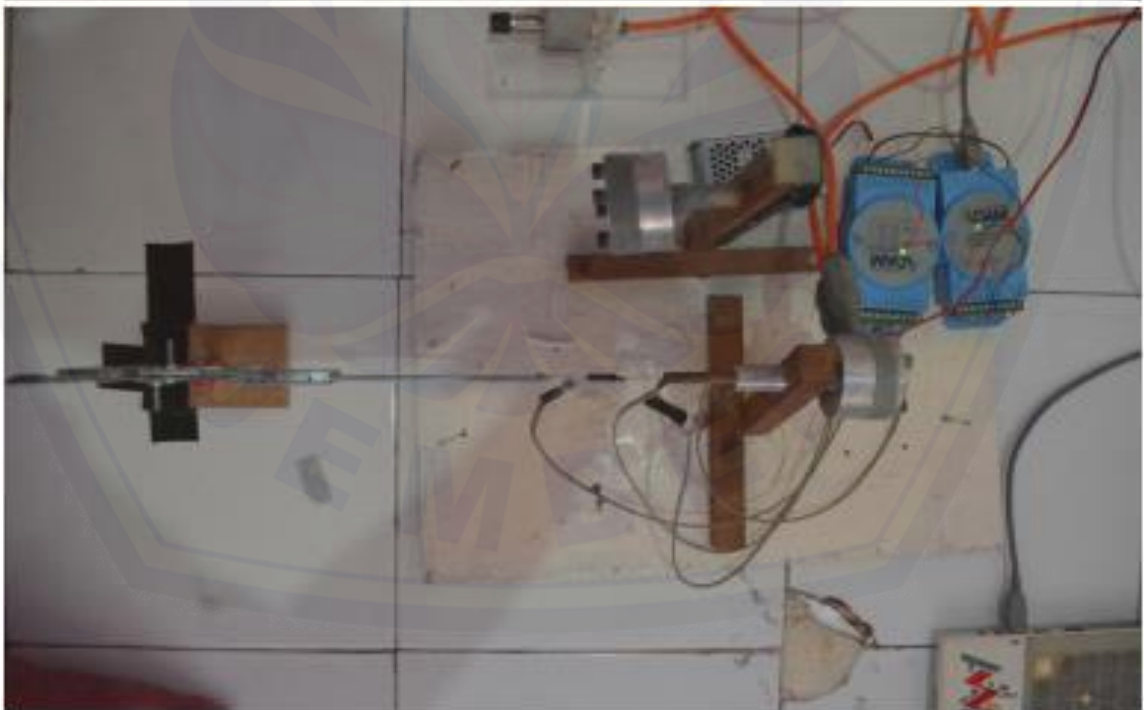
**Ordering**

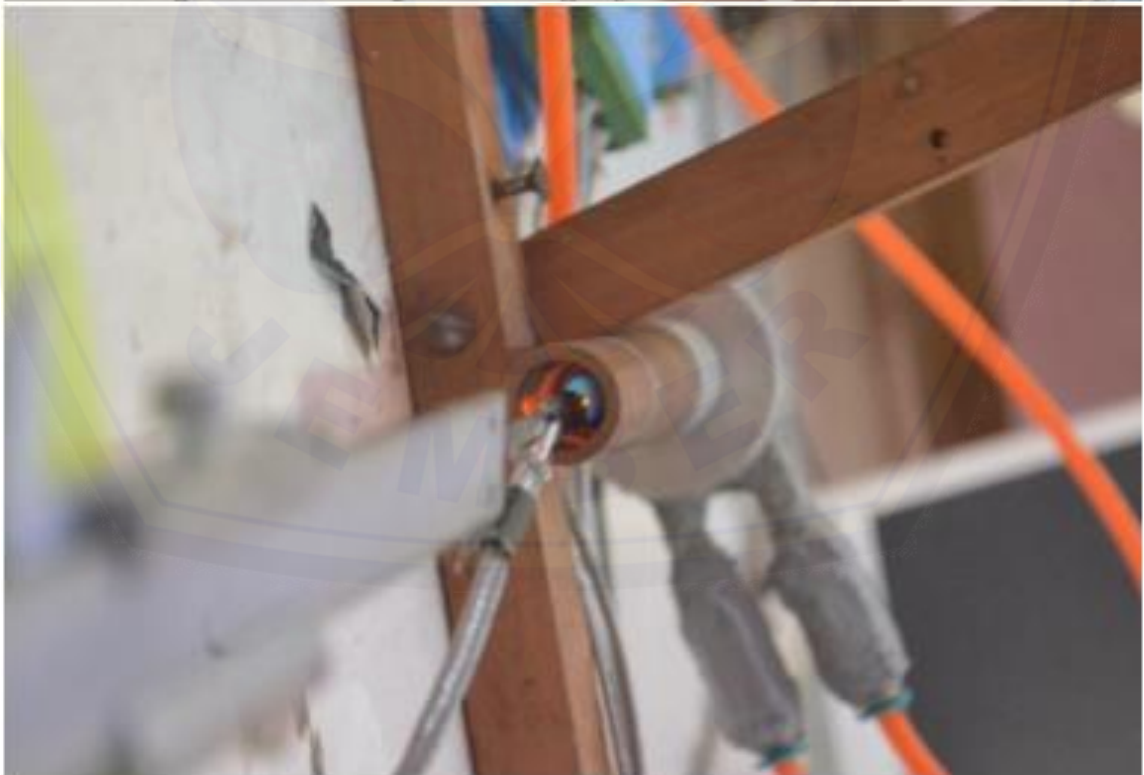
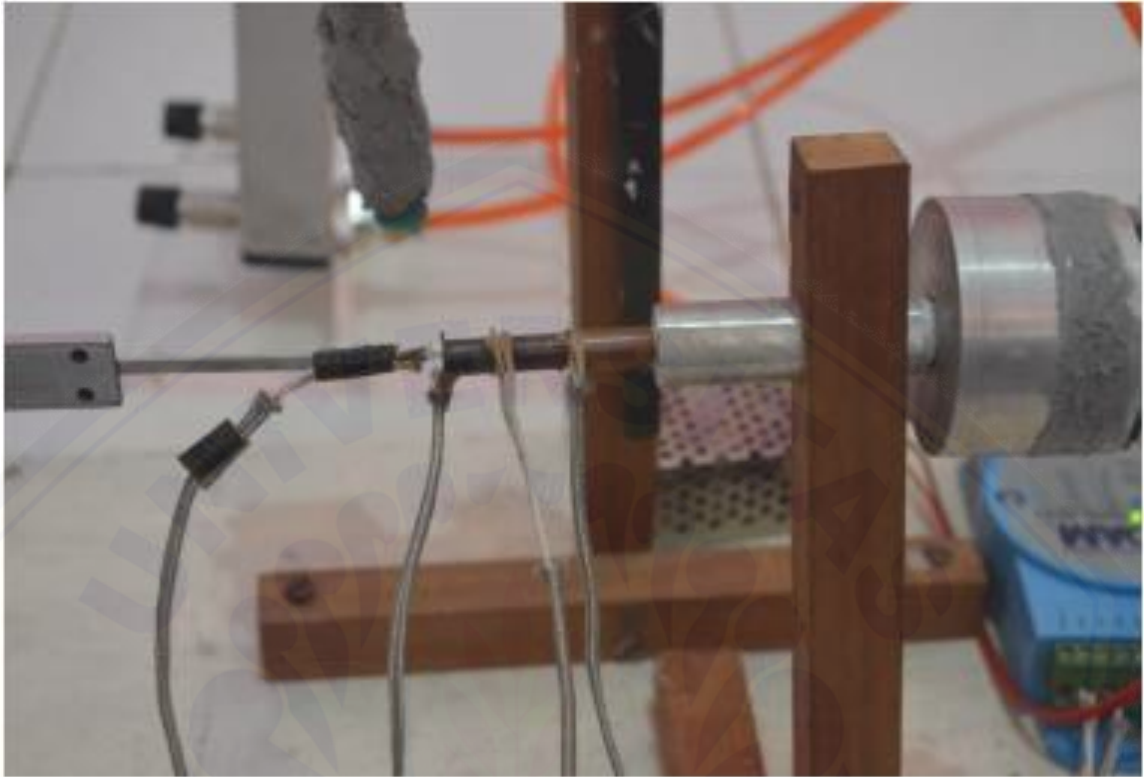


\* Refer to "Ordering" and "Relative example" when placing an order or requesting a quotation. Fill in the blanks in the "Order Specification Request Card" at the end of the catalog, and send the card by fax.

**G. Dokumentasi**











H. Dimensi Meso Scale Combustor

