



**ANALISIS ENERGI *OUTPUT* PEMBAKARAN GAS ELPIJI
PADA *COMBUSTOR* SKALA MESO DAN MAKRO
DENGAN *SUDDEN EXPANSION***

SKRIPSI

Oleh

**Danang Muharyanto
NIM 131910101104**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**



**ANALISIS ENERGI *OUTPUT* PEMBAKARAN GAS ELPIJI
PADA *COMBUSTOR* SKALA MESO DAN MAKRO
DENGAN *SUDDEN EXPANSION***

SKRIPSI

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

Oleh

**Danang Muharyanto
NIM 131910101104**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kehadiran Allah SWT., skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Orang tua dan keluarga tercinta yang luar biasa;
2. Guru dan Staf RA. Bustanul Athfal Aisyiyah, SDN I Bangun, SMPN I Munjungan dan SMKN I Trenggalek;
3. Dosen dan Staf almamater tercinta Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, khususnya Dosen Pembimbing dan Dosen Penguji;
4. Teman-teman RA, SD, SMP, SMK, teman-teman kuliah, teman-teman kost 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.

Terimakasih atas segala kebaikan yang telah diberikan kepada saya, semoga mendapat balasan yang lebih baik dari Allah SWT.

MOTTO

“Setiap orang adalah guru, semua tempat adalah sekolah, setiap buku adalah ilmu”
(Raden Mas Soewardi Soerjaningrat)^{*)}

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain. Dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap”
(terjemahan Al-Qur'an surat Al-Insyirah ayat 6-8)^{**)}

“Gantungkan cita-citamu setinggi langit! Bermimpilah setinggi langit. Jika engkau jatuh, engkau akan jatuh diantara bintang-bintang”
(Ir. Soekarno)^{***)}

^{*)} Raden Mas Soewardi Soerjaningrat dalam Ginandjar Kartasasmita. 1981. *30 Tahun Indonesia Merdeka 1945-1949 (Jilid 1)*. Jakarta: PT Tira Pustaka.

^{**)} Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo.

^{***)} 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 : Danang Muharyanto

NIM : 131910101104

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Analisis Energi *Output* Pembakaran Gas Elpiji Pada *Combustor* Skala Meso Dan Makro Dengan *Sudden Expansion*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang dijunjung tinggi.

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

Jember, 20 November 2017

Yang menyatakan,

(Danang Muharyanto)

NIM 131910101104

SKRIPSI

**ANALISIS ENERGI *OUTPUT* PEMBAKARAN GAS ELPIJI
PADA *COMBUSTOR* SKALA MESO DAN MAKRO
DENGAN *SUDDEN EXPANSION***

Oleh

Danang Muharyanto
NIM 131910101104

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Santoso Mulyadi, S.T., M.T.

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Energi *Output* Pembakaran Gas Elpiji Pada *Combustor* Skala Meso Dan Makro Dengan *Sudden Expansion*” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Senin, 20 November 2017

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.
NIP. 19700228 199702 1 001

Boy Arief Fachri, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19740901 199903 1 002

Anggota I,

Anggota II,

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.
NIP. 19681205 199702 1 002

Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.
NIP. 19600812 199802 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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

RINGKASAN

Analisis Energi Output Pembakaran Gas Elpiji Pada Combustor Skala Meso dan Makro Dengan Sudden Expansion, Danang Muharyanto, 131910101104; 2017: 217 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Perkembangan teknologi yang begitu pesat dewasa ini sangat mempengaruhi jumlah ketersediaan sumber-sumber energi yang tidak dapat diperbaharui yang ada di permukaan bumi. Kebutuhan akan sumber energi yang begitu besar namun tidak diimbangi dengan jumlah ketersediaannya di alam menjadi faktor utama manusia untuk mulai menggunakan sumber energi yang ketersediaannya akan terus ada jika dikelola dengan baik. Pembakaran skala meso merupakan pembakaran yang terjadi pada saluran ruang bakar dengan diameter sebesar 1-10 mm dan pada saluran ruang bakar lebih dari 10 mm disebut dengan pembakaran skala makro (Maruta dan Ju, 2011). Dari kedua skala diameter tersebut masing-masing memiliki karakteristik pembakaran yang berbeda yang tentunya berpengaruh pula pada besar energi panas yang dihasilkan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan pengamatan terhadap energi *output* pembakaran dan efisiensi pembakaran, yang diperoleh dari temperatur nyala api dan temperatur dinding *combustor* pada dua skala diameter pembakaran, yaitu pada pembakaran skala meso dan pembakaran skala makro. Penelitian ini dilakukan dengan jalan memberikan variasi diameter pada masing-masing skala diameter *combustor*. Untuk skala meso, diameter *outlet combustor* divariasikan pada ukuran 5 mm, 5,5 mm dan 6 mm dengan diameter *inlet* 4,5 mm. sedangkan pada skala makro, diameter *outlet combustor* divariasikan pada ukuran 11 mm, 12 mm dan 13 mm dengan diameter *inlet* 10 mm. *Inlet* dan *outlet combustor* terbuat dari bahan tembaga dengan ketebalan *outlet* sebesar 1 mm pada skala meso dan 2 mm pada skala makro. Selanjutnya, dilakukan pengujian pada masing-masing *combustor* tersebut dengan debit udara dan debit bahan bakar yang sama. Variasi

ukuran diameter dan ketebalan bahan tersebut diharapkan dapat menunjukkan perbedaan energi *output* pembakaran dan efisiensi pembakaran dari dua skala diameter pembakaran, sehingga dapat diketahui skala *combustor* yang memiliki potensi menghasilkan energi panas tinggi dengan konsumsi bahan bakar yang efisien.

Hasil analisis temperatur nyala api dan temperatur dinding dari *combustor* skala meso dan *combustor* skala makro menunjukkan bahwa energi *output* pembakaran dan efisiensi pembakaran tertinggi terdapat pada diameter *combustor* skala meso yang menghasilkan energi *output* pembakaran sebesar 5826,50 Watt dengan efisiensi pembakaran sebesar 98,97% pada diameter *outlet* 5 mm, 5549,61 Watt dengan efisiensi pembakaran sebesar 94,26% pada diameter *outlet* 5,5 mm dan 5346,05 Watt dengan efisiensi pembakaran sebesar 90,81% pada diameter 6 mm. Sedangkan untuk diameter *combustor* skala makro menghasilkan energi *output* pembakaran sebesar 1180,21 Watt dengan efisiensi pembakaran sebesar 20,05% pada diameter *outlet* 11 mm, 1127,88 Watt dengan efisiensi pembakaran sebesar 19,16% pada diameter *outlet* 12 mm dan 1038,63 Watt dengan efisiensi pembakaran sebesar 17,64% pada diameter 13 mm.. Sehingga dapat disimpulkan bahwa diameter *combustor* skala meso adalah yang paling efisien. Semakin kecil ukuran diameter dan skala diameter *combustor*, temperatur pembakaran semakin meningkat yang berakibat pada meningkatnya energi *output* pembakaran dan efisiensi pembakaran.

SUMMARY

Analysis of Elpiji Gas Energy Output Combustion in Meso-scale and Macro-scale Combustor With Sudden Expansion, Danang Muharyanto, 131910101104; 2017: 217 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

The rapid development of technology at this time has great involvement in the amount of the availability of non-renewable resources on earth. The substantial need for energy resources without its availability in the nature is the main reason for human to start using energy resources which can be preserved with good supervision. Meso-scale combustion is combustion which happens in the channel of combustion chamber with a diameter of 1-10 mm, meanwhile if the diameter is more than 10 mm it is called macro-scale combustion (Maruta and Ju, 2011). Both scales have its own combustion characteristics which affect the amount of thermal energy that will be produced.

The purpose of this research is to observe the energy output and efficiency of combustion which are obtained from the temperature of flame and temperature of combustor wall in two diameter scales of combustion, which are meso-scale combustion and macro-scale combustion. This research was performed by giving diameter variations to each diameter scale of combustor. For meso-scale, the diameter of outlet combustors were varied in the size of 5 mm, 5,5 mm and 6 mm with inlet diameter of 4,5 mm. Meanwhile in the macro-scale, the diameter of outlet combustors were varied in the size of 11 mm, 12 mm and 13 mm with inlet diameter of 10 mm. The inlet and outlet combustors were made from copper (Cu) with outlet thickness of 1 mm for meso-scale combustor diameter and 2 mm for macro-scale combustor diameter. A test was performed to each combustor in one flowrate of air and fuel. Variations in diameter size and material thickness are expected to show the performance of energy output and combustion efficiency from the two diameter

scales of combustion so that which combustor scale has the potential to produce highest thermal energy with more efficient of fuel consumption can be known.

The analysis result of energy output combustion, has shown that the highest energy output from the combustion and higher combustion efficiency were found in meso-scale combustion which energy output value 5826,50 Watt with 98,97% of combustion efficiency on 5 mm combustor, 5549,61 Watt with 94,26% of combustion efficiency on 5,5 mm combustor, 5346,05 Watt with 90,81% of combustion efficiency on 6 mm combustor while macro-scale combustion energy output value 1180,21 Watt with 20,05% of combustion efficiency on 11 mm combustor, 1127,88 Watt with 19,16% of combustion efficiency on 12 mm combustor, 1038,63 Watt with 17,64% of combustion efficiency on 13 mm combustor. The result is shown that meso-scale combustor is the most efficient than macro-scale combustor. The conclusion of analysis result is the smaller diameter size and diameter scale of combustor, the higher combustion temperature which results in the rise of the energy output and combustion efficiency.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, nikmat, karunia dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Energi *Output* Pembakaran Gas Elpiji Pada *Combustor* Skala Meso Dan Makro Dengan *Sudden Expansion*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

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

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat, nikmat, karunia dan hidayah-Nya dan semoga sholawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Besar Muhammad SAW.
2. Orang tua tercinta, Ayahanda Mungin dan Ibunda Sri Widayati yang tak pernah lelah memberikan semangat, do'a, dukungan moril dan materiil serta kasih sayang yang tak terhingga kepada saya.
3. Dosen pembimbing saya, Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T. dan Bapak Boy Arief Fachri, S.T., M.T., Ph. D. yang telah banyak memberikan bimbingan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T. dan Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T. selalu dosen penguji yang tak pernah lelah memberikan kritik dan saran sehingga penelitian dan penulisan skripsi ini menjadi lebih baik.
5. Bapak Andi Sanata, S.T., M.T. selaku pembimbing latar skripsi saya dan Bapak Dr. Muhammad Nurkoyim Kustanto, S.T., M.T. yang banyak memberikan bantuan dalam pelaksanaan penelitian dan dalam pengerjaan skripsi ini.
6. Seluruh dosen dan staf pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan banyak ilmu kepada saya. Semoga ilmu yang Bapak/Ibu berikan bermanfaat dan barokah untuk saya

serta pribadi masing-masing sehingga menjadi amalan baik untuk Bapak/Ibu kelak.

7. Tim skripsi *Meso Combustion* (Rachmad Dwi Fitriansyah, Eranio Restu Pabowo dan Iskandar Akbar) yang banyak memberikan bantuan dan masukan dalam penulisan serta penyusunan skripsi ini.
8. Adik saya Silsilia Sindy Dwijayanti yang telah banyak memberikan do'a dan dukungan dalam skripsi ini.
9. Adik Yuli Tri Andini, S.Pd. yang selalu memberikan semangat, do'a dan dukungan dalam pengerjaan dan penyusunan skripsi ini.
10. Teman-temanku Teknik Mesin Angkatan 2013 dan teman-teman kost yang senantiasa memberikan semangat, dukungan, bantuan dan do'a kepada saya dalam pengerjaan skripsi serta penelitian.
11. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan baik dalam penelitian dan pengerjaan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu.

Terimakasih atas segala kebaikan yang telah diberikan kepada penulis, semoga mendapat balasan yang lebih baik dari Allah Subhanahu Wa Ta'ala.

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 Jember tercinta.

Jember, 20 November 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
HALAMAN RINGKASAN	viii
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.4.1 Tujuan	3
1.4.2 Manfaat	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Proses dan Reaksi Pembakaran	4
2.1.1 Klasifikasi Pembakaran Berdasarkan Sifat Reaksi	
Kimia	5
2.1.2 Klasifikasi Pembakaran Berdasarkan Cara Pencampuran	
Reaktan dan Pengoksidasi	6
2.1.3 Reaksi Kimia Dalam Pembakaran.....	6

2.2 Bahan Bakar Gas	7
2.2.1 Gas Alam.....	7
2.2.2 Gas Propana	10
2.2.3 Gas Butana	10
2.2.4 Gas LPG (<i>Liquified Petroleum Gas</i>).....	10
2.3 Campuran Udara-Bahan Bakar	13
2.3.1 Rasio Udara-Bahan Bakar (<i>Air-fuel Ratio/AFR</i>)	13
2.3.2 Rasio Ekuivalen / <i>Equivalence Ratio</i> (Φ)	14
2.3.3 <i>Flammability Limit</i>	15
2.4 Mekanika Fluida	16
2.4.1 Fluida Statis dan Fluida Dinamis.....	16
2.4.2 Sifat Dasar Fluida	17
2.5 Aliran Fluida	19
2.5.1 Klasifikasi Aliran	19
2.5.2 Kecepatan dan Kapasitas Aliran Fluida	19
2.5.3 Aliran Laminar dan Aliran Turbulen.....	20
2.5.4 <i>Sudden Expansion</i>	23
2.6 Skala Diameter Combustor	24
2.7 Kalor dan Perpindahan Kalor	24
2.7.1 Perpindahan Kalor.....	24
2.7.2 Perpindahan Kalor Konduksi	25
2.7.3 Perpindahan Kalor Konveksi.....	27
2.8 Penelitian Sebelumnya	28
2.9 Hipotesis	29
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Metode Penelitian	30
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	30
3.3 Alat dan Bahan	30
3.3.1 Alat.....	30
3.3.2 Bahan.....	38

3.4 Variabel Penelitian	39
3.4.1 Variabel Bebas	39
3.4.2 Variabel Terikat.....	39
3.5 Skema Rangkaian Alat Uji	40
3.6 Prosedur Penelitian	41
3.7 Diagram Alir	42
3.8 Penyajian dan Pengolahan Data Penelitian	43
3.8.1 Penyajian Data Penelitian Pada <i>Combustor</i> Skala Meso	43
3.8.2 Penyajian Data Penelitian Pada <i>Combustor</i> Skala Makro.....	44
3.8.3 Pengolahan Data Penelitian.....	41
3.9 Jadwal Kegiatan Penelitian	47
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Hasil Pengujian	48
4.2 Pengolahan Data	50
4.2.1 Perhitungan Beban Hambatan <i>Thermal</i> pada <i>Combustor</i>	50
4.2.2 Perhitungan Energi Input Pembakaran	51
4.2.3 Perhitungan Energi Pembakaran.....	51
4.2.4 Perhitungan Energi Kalor Pada Dinding Luar <i>Combustor</i>	52
4.2.5 Perhitungan Energi <i>Output</i> Pembakaran Pada <i>Combustor</i>	53
4.2.6 Perhitungan Efisiensi Pembakaran	54
4.3 Analisis Energi <i>Output</i> Pembakaran	55
4.4 Pembahasan Analisis Energi <i>Output</i> Pembakaran Pada <i>Combustor</i>	57
BAB 5. PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	59

DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	65



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Material-material yang terkandung dalam gas bumi dan poduk	8
Gambar 2.2 Kecepatan Aliran Melalui Saluran Tertutup	20
Gambar 2.3 Aliran laminar (atas) dan aliran turbulen (bawah)	21
Gambar 2.4 Percobaan Reynold tentang Aliran laminar (a) dan aliran turbulen (b).....	22
Gambar 2.5 <i>Backward facing step / Sudden expansion</i>	23
Gambar 2.6 Distribusi suhu untuk konduksi keadaan <i>steady</i> melalui dinding datar.....	26
Gambar 2.7 Diagram temperature pada <i>meso-scale combustor</i> , (a) d=2 mm, (b) d=6 mm.....	29
Gambar 3.1 Dimensi Combustor Skala Meso: (a) 5 mm; (b) 5,5 mm; (c) 6 mm	31
Gambar 3.2 Dimensi Combustor Skala Makro: (a) 11 mm; (b) 12 mm; (c) 13 mm	32
Gambar 3.3 <i>Mixer</i>	33
Gambar 3.4 Kompresor.....	33
Gambar 3.5 <i>Flowmeter</i>	34
Gambar 3.6 Jangka Sorong	36
Gambar 3.7 <i>Pisco Tube</i>	36
Gambar 3.8 <i>Regulator LPG</i>	37
Gambar 3.9 <i>Thermocouple</i> dan <i>Data Logger</i>	37
Gambar 3.10 Tabung Gas LPG.....	39
Gambar 3.11 Skema Instalasi Alat Penelitian.....	40
Gambar 3.12 Diagram Alir Penelitian	42
Gambar 4.1 Perbandingan energi <i>output</i> pembakaran pada <i>combustor</i> skala meso dan makro	54

Gambar 4.2 Perbandingan efisiensi <i>output</i> pembakaran pada <i>combustor</i> skala meso dan makro	55
Gambar 4.3 Boxplot energi <i>output</i> pada <i>combustor</i> skala meso dan makro...	57



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 <i>Gross Heating Values</i> dari beberapa hidrokarbon	9
Tabel 3.1 Penyajian data hasil pengujian <i>combustor</i> skala meso pada percobaan 1	43
Tabel 3.2 Penyajian data hasil pengujian <i>combustor</i> skala meso pada percobaan 2	43
Tabel 3.3 Penyajian data hasil pengujian <i>combustor</i> skala meso pada percobaan 3	43
Tabel 3.4 Penyajian data hasil pengujian <i>combustor</i> skala makro pada percobaan 1	44
Tabel 3.5 Penyajian data hasil pengujian <i>combustor</i> skala makro pada percobaan 2	44
Tabel 3.6 Penyajian data hasil pengujian <i>combustor</i> skala makro pada percobaan 3	44
Tabel 3.7 Jadwal kegiatan penelitian	47
Tabel 4.1 Data hasil pengujian <i>combustor</i> skala meso pada percobaan 1	49
Tabel 4.2 Data hasil pengujian <i>combustor</i> skala meso pada percobaan 2	49
Tabel 4.3 Data hasil pengujian <i>combustor</i> skala meso pada percobaan 3	49
Tabel 4.4 Data hasil pengujian <i>combustor</i> skala makro pada percobaan 1	49
Tabel 4.5 Data hasil pengujian <i>combustor</i> skala makro pada percobaan 2	49
Tabel 4.6 Data hasil pengujian <i>combustor</i> skala makro pada percobaan 3	50
Tabel 4.7 Beban hambatan <i>thermal</i> pada <i>combustor</i> skala meso	50
Tabel 4.8 Beban hambatan <i>thermal</i> pada <i>combustor</i> skala makro.....	51
Tabel 4.9 Energi pembakaran pada <i>combustor</i> skala meso	51
Tabel 4.10 Energi pembakaran pada <i>combustor</i> skala makro.....	52
Tabel 4.11 Energi kalor pada dinding <i>combustor</i> skala meso	52
Tabel 4.12 Energi kalor pada dinding <i>combustor</i> skala makro.....	53
Tabel 4.13 Energi <i>output</i> pembakaran pada <i>combustor</i> skala meso	53

Tabel 4.14 Energi <i>output</i> pembakaran pada <i>combustor</i> skala makro	53
Tabel 4.15 Efisiensi pembakaran pada <i>combustor</i> skala meso dan makro	54
Tabel 4.16 Hasil pemodelan statistik uji hipotesis	56



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN A. Perhitungan Data Penelitian	65
LAMPIRAN B. Data Penelitian.....	84
LAMPIRAN C. Analisis Statistik Uji Hipotesis	184
LAMPIRAN D. Spesifikasi <i>Data Logger</i>	185
LAMPIRAN E. Spesifikasi <i>Thermocouple</i>	186
LAMPIRAN F. Spesifikasi <i>Flowmeter</i> Udara	187
LAMPIRAN G. Spesifikasi <i>Flowmeter</i> Bahan Bakar.....	189
LAMPIRAN H. Dokumentasi	191
LAMPIRAN I. Gambar Alat Penelitian	199

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang begitu pesat dewasa ini sangat mempengaruhi jumlah ketersediaan sumber-sumber energi yang tidak dapat diperbaharui yang ada di permukaan bumi. Hal ini disebabkan karena sumber energi tersebut sebagian besar dipergunakan sebagai bahan bakar yang mendukung hampir dalam setiap aktifitas manusia. Kebutuhan akan sumber energi yang begitu besar namun tidak diimbangi dengan jumlah ketersediaannya di alam menjadi faktor utama manusia untuk mulai menggunakan sumber energi yang ketersediaannya akan terus ada jika dikelola dengan baik. Teknologi yang telah berkembang saat ini telah mendorong para ilmuwan untuk melakukan berbagai riset tentang pembakaran. Salah satunya adalah memperkecil peralatan pengkonversi energi. Diantaranya adalah pengurangan ukuran dalam sistem pembakaran dan sekaligus mengganti jenis bahan bakar yang semula menggunakan bahan bakar minyak menjadi bahan bakar gas (Maruta dan Ju, 2011).

Meso scale-combustion atau pembakaran pada saluran ruang bakar dengan diameter sebesar 1-10 mm merupakan salah satu wujud pengembangan teknologi pemanfaatan bahan bakar fosil. Pembakaran ini memiliki potensi untuk menghasilkan energi panas yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik skala mikro atau disebut *Micro Power Generator (MPG)*. Komponen utama MPG adalah ruang bakar atau disebut *combustor*, dalam *combustor* tersebut berlangsung proses pembakaran skala *meso* (Maruta dan Ju, 2011).

Perbedaan ukuran diameter dari *combustor* sangat berpengaruh terhadap energi *output* pembakaran. Menurut Li, *et al*, (2005) dalam penelitiannya yang melakukan penelitian tentang pengaruh variasi diameter *combustor* yang berbentuk silindris terhadap temperatur. Dalam penelitiannya didapatkan bahwa semakin kecil ukuran dari

diameter *combustor* maka temperatur yang dihasilkan semakin tinggi sebagaimana ditampilkan pada diagram temperatur-radius yang juga semakin meningkat. Dan penelitian yang dilakukan oleh Han *et al.*, (2016), membuktikan bahwa hasil dari simulasi nyala api dan studi numerik membuktikan bahwa pembakaran pada skala makro memiliki tingkat kecepatan detonasi nyala api yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan pembakaran pada skala mikro. Hasil dari penelitian tersebut adalah semakin cepat dan semakin besar tingkat ledakan pada proses penyalaan api, akan berpengaruh terhadap kecepatan rambat nyala api dan energi kalor pembakaran yang dihasilkan.

Pengembangan selanjutnya berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Li, *et al.*, (2013) dan Han *et al.*, (2016), dalam karya tulis ilmiah ini dilakukan pengamatan terhadap energi *output* pembakaran gas LPG pada *combustor* skala meso dan *combustor* skala makro. Penelitian ini dilakukan dengan jalan memberikan variasi skala diameter pada pembakaran gas LPG, kemudian menganalisis energi *output* pembakaran dari *combustor* skala meso dan *combustor* skala makro, sehingga dapat diperoleh suatu data pembandingan antara besar energi yang dihasilkan pada pembakaran skala meso dan pembakaran skala makro yang berupa energi *output* pembakaran dan efisiensi pembakaran.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam karya tulis ilmiah ini adalah bagaimana analisa energi *output* pembakaran pada *combustor* skala meso dan *combustor* skala makro dengan *sudden expansion*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Skala dari *combustor* yang digunakan pada penelitian ini adalah skala makro dan skala meso.

2. Besar diameter *inlet combustor* adalah 4,5 mm pada skala meso dan 10 mm pada skala makro.
3. Besar diameter *outlet combustor* adalah 5 mm, 5,5 mm, 6 mm pada skala meso dan 11 mm, 12 mm, 13 mm pada skala makro.
4. Udara bebas diasumsikan terdiri atas 79% N₂ dan 21% O₂.
5. Bahan bakar yang digunakan adalah gas LPG (*Liquified Petroleum Gas*) dengan komposisi 50% gas butana dan 50% gas propana.
6. Proses pembakaran berlangsung secara *steady*.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui analisis energi *output* pembakaran gas LPG pada *combustor* skala meso terhadap *combustor* skala makro dengan *sudden expansion*.

1.4.2 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mampu mengetahui energi *output* pembakaran gas LPG pada *combustor* skala meso terhadap *combustor* skala makro dengan *sudden expansion*.
2. Mampu menganalisa energi *output* pembakaran pada *combustor* skala meso dan *combustor* skala makro.
3. Mampu memberikan kontribusi dan referensi baru dalam pengembangan pembakaran skala makro, skala meso dan skala mikro.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses dan Reaksi Pembakaran

Proses pembakaran merupakan rangkaian reaksi - reaksi kimia yang terjadi antara bahan bakar dan zat pengoksidasi berupa oksigen, dimana dalam proses pembakaran ini dibarengi dengan produksi energi berupa panas dan perubahan senyawa kimia. Pelepasan energi panas ini dapat menimbulkan cahaya dalam bentuk api. Reaksi pembakaran berlangsung ketika suatu zat bereaksi cepat dengan oksigen dan mendapatkan suhu yang cukup untuk memulai awal pembakaran. Dalam proses pembakaran terdapat proses pembakaran yang berlangsung secara sempurna dan tidak berlangsung secara sempurna, hal ini dipengaruhi oleh unsur yang tergantung di dalam bahan bakar yang digunakan maupun proses terjadinya pembakaran tersebut (Cahyono *et al.*, 2011).

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

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 78% udara (tanpa adanya oksigen) merupakan nitrogen, dan sisanya merupakan elemen lainnya. Nitrogen dianggap sebagai pengencer yang menurunkan suhu yang harus ada untuk mencapai oksigen yang dibutuhkan untuk pembakaran. Nitrogen mengurangi efisiensi pembakaran dengan cara menyerap panas dari pembakaran bahan bakar dan mengencerkan gas buang. Nitrogen ini juga dapat bergabung dengan oksigen (terutama pada suhu nyala yang tinggi) untuk menghasilkan oksida nitrogen (NO_x), yang merupakan pencemar beracun. (UNEP, 2006)

2.1.1 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, 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, 2016).

2.1.2 Klasifikasi 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, 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 (Rohadi, 2016).

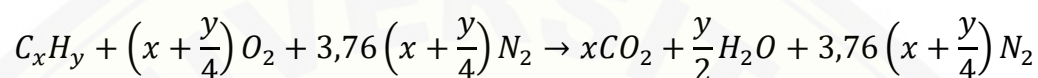
Pembakaran secara difusi memiliki visualisasi nyala api yang didominasi warna kuning, sedangkan pembakaran secara *premixed* memiliki visualisasi nyala api berwarna biru yaitu memiliki suhu tinggi. Warna dalam hal ini menunjukkan tingkat panas dari hasil pembakaran. Kelemahan dari pembakaran *premixed* 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 di padamkan (Siamullah *et al.* 2013).

2.1.3 Reaksi Kimia Dalam Pembakaran

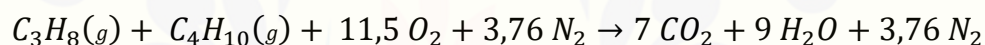
Ketika menangani reaksi kimia, perlu diingat bahwa terjadi konservasi massa, sehingga massa dari produk berjumlah sama dengan massa dari reaktan. Massa total dari setiap elemen kimia harus sama pada kedua sisi dari persamaan, elemen-elemen tersebut terkandung di dalam senyawa kimia yang berbeda di dalam 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 (N₂) dengan nilai sebesar 78% dan kandungan terbesar kedua yaitu Oksigen (O₂) dengan nilai sebesar 21% dengan asumsi bahwa gas yang lain diabaikan karena presentase kandungan yang terlalu kecil. Dengan demikian setiap penggunaan 1 mol (O₂) yang terkandung di udara pada suatu reaksi pembakaran, secara otomatis akan mencakup $\left(\frac{79}{21}\right) = 3,76$ mol (N₂). Maka reaksi stoikiometrik pembakaran untuk hidrokarbon C_xH_y dapat di tulis dengan persamaan:



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



2.2 Bahan Bakar Gas

Dalam setiap proses pembakaran, baik difusi maupun premix dibutuhkan bahan bakar. 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).

2.2.1 Gas Alam

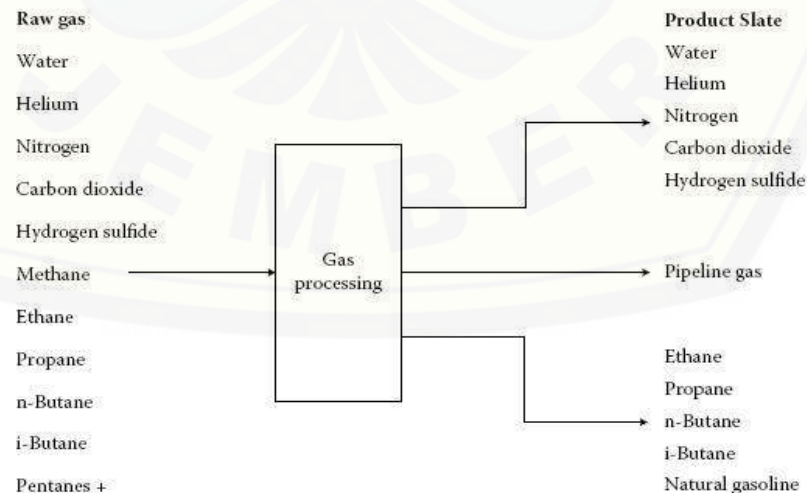
Gas alam atau sering juga disebut gas bumi merupakan bahan bakar yang sangat sederhana. Sekitar 90% dari gas alam adalah metana (CH₄), yang hanya satu atom karbon dengan empat atom hidrogen melekat, dengan sisanya terdiri dari etana (C₂H₆), propana (C₃H₈), butana (C₄H₁₀) dan komponen-komponen lain serta komponen pengotor seperti Air, H₂S, CO₂ dan lain-lain dengan jenis dan jumlahnya

yang bervariasi sesuai dengan sumber gas alam (Chandra, 2006).

Gas alam dapat ditemukan di ladang minyak, ladang gas bumi dan juga tambang batu bara. Ketika gas yang kaya dengan metana diproduksi melalui pembusukan oleh bakteri anaerobik dari bahan-bahan organik selain dari fosil, maka ia disebut biogas. Sumber biogas dapat ditemukan di rawa-rawa, tempat pembuangan akhir sampah, serta penampungan kotoran - kotoran manusia dan hewan. Atas dasar itulah terkadang gas alam sering juga disebut sebagai gas rawa (Lyons, 1996).

Komposisi gas alam selalu bervariasi antara lokasi yang satu dengan lokasi yang lain. Di beberapa lokasi tertentu gas alam memerlukan alat operasi khusus untuk melakukan proses gas alam. Lokasi-lokasi seperti ini biasanya adalah lokasi gas alam yang mempunyai kadar komponen pengotor seperti Air, H_2S , CO_2 diluar batas spesifikasi yang telah ditentukan. Spesifikasi produk gas alam biasanya dinyatakan dalam komposisi dan kriteria performansi-nya. Kriteria - kriteria tersebut antara lain: *Heating Value*, *inert total*, kandungan air, oksigen, dan sulfur. *Heating Value* merupakan kriteria dalam pembakaran gas alam, sedangkan kriteria lain terkait dengan perlindungan perpipaan dari korosi dan *plugging* (Chandra, 2006).

Secara keseluruhan material atau komponen-komponen yang terkandung dalam gas alam bisa dilihat pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Material-material yang terkandung dalam gas bumi dan produk.
(Chandra, 2006)

Dari Gambar 2.1 tersebut, terlihat beragam komponen yang terkandung dalam gas alam. Adapun komponen-komponen utama gas alam yang telah melewati tahapan pengolahan adalah Metana, Etana, Propana dan Butana sedangkan komponen-komponen pengotor gas alam diantaranya Air, Helium, Nitrogen, Karbondioksida dan Hidrogen sulfida. Hidrogen sulfida adalah salah satu kontaminan (pengotor) utama dari gas alam yang harus dipisahkan karena sulfur bersifat korosi yang bisa merusak pipa-pipa dan peralatan-peralatan pengolahan gas alam (Chandra, 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 standar, 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 Values* 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 terlihat 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).

2.2.2 Gas Propana

Propana merupakan hidrokarbon alkane 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 distilasi minyak mentah maupun dari gas alam (Taufiq, 2008).

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



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).

2.2.3 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:



2.2.4 Gas LPG (*Liquified Petroleum Gas*)

LPG (*Liquified Petroleum Gas*) atau gas minyak bumi yang dicairkan) merupakan campuran dari berbagai unsur hidrokarbon yang berasal dari gas alam. Dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya, gas berubah menjadi cair.

Kompondari gas LPG didominasi oleh (C_3H_8) dan butane (C_4H_{10}). LPG juga mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil, misalnya etana (C_2H_6) dan pentane (C_5H_{12}) (Kurniawan dan Tjahjadi, 2016).

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 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, 2012).

Berdasarkan keputusan Dirjen Migas No.25 K/36/DDJM/1990 tanggal 14 Mei 1990, gas LPG yang dipasarkan di Indonesia adalah gas campuran yang terdiri dari gas propana dan butana yang perbandingan campurannya adalah 50% propana dan 50% butana. Keputusan ini juga menyebutkan bahwa spesifikasi bahan bakar gas LPG untuk keperluan dalam negeri adalah spesifikasi LPG propana dan spesifikasi LPG butana menggunakan standar *American Standard Testing Methode* (ASTM). Gas LPG termasuk gas yang dapat cair pada tekanan dan suhu rendah. Namun jenis gas ini mempunyai sifat dan kelakuan yang sangat berbahaya karena mudah terbakar dan mudah meledak, tidak beracun tapi jika terhirup lebih dari 1.000 ppm atau 0,1% (100% = 1.000.000 ppm) akan menyebabkan mengantuk sampai meninggal (Kurniawan dan Tjahjadi, 2016).

Liquified Petroleum Gas (LPG) terdiri dari campuran utama propana dan butana dengan sedikit persentase hidrokarbon tidak jenuh (*propilen* dan *butilene*) dan beberapa fraksi C₂ yang lebih ringan dan C₅ yang lebih berat. Senyawa yang terdapat dalam LPG adalah propana (C₃H₈), *propilen* (C₃H₆), normal dan iso-butan (C₄H₁₀) dan *butilen* (C₄H₈). Menurut Harun (2010), berdasarkan spesifikasi LPG yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi No. 26525.K/10/DJM.T/2009 komposisi produk LPG minimal mengandung campuran propane dan butane sebesar 97% dan maksimum 2% merupakan campuran petana dan hidrokarbon yang lebih berat. Batasan komposisi butana dan propane dalam spesifikasi tersebut dibatasi dengan parameter maksimum tekanan uap yang ditentukan sebesar 145 psi. Komposisi campuran LPG Pertamina mengandung 50% propane dan 50% butane dan telah sesuai dengan ketentuan tersebut baik dari aspek komposisi maupun tekanan uapnya yang telah diperhitungkan sesuai dengan kalori/daya bakar yang diperlukan (Kurniawan dan Tjahjadi, 2016).

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, 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, 2011).

2.3 Campuran Udara-Bahan Bakar

Bahan bakar, udara, kalor dan reaksi kimia pembakaran merupakan beberapa hal penting yang perlu diperhatikan dalam suatu proses pembakaran. Perbandingan dari campuran bahan bakar dan udara memiliki peranan yang penting dalam menentukan hasil proses pembakaran yang secara langsung berpengaruh pada reaksi pembakaran yang terjadi serta hasil keluaran proses pembakaran (Taufiq, 2008).

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghitung rasio campuran bahan bakar dan udara antara lain AFR (*Air-fuel Ratio*), FAR (*Fuel-air Ratio*) dan Rasio Ekivalen (ϕ) (Taufiq, 2008).

2.3.1 Rasio Udara-Bahan Bakar (*Air-fuel Ratio*/AFR)

Air fuel ratio atau biasa disingkat AFR merupakan besaran yang menyatakan jumlah perbandingan antara massa udara dan bahan bakar dalam suatu reaksi kimia. Dua parameter yang sering digunakan untuk memberikan kuantifikasi jumlah bahan bakar dan udara di dalam proses pembakaran tertentu adalah rasio udara-bahan bakar dan kebalikannya rasio bahan bakar-udara. Rasio udara-bahan bakar singkatnya adalah rasio jumlah udara di dalam sebuah reaksi terhadap jumlah bahan bakar. Rasio ini dapat dituliskan dengan basis molar (mol udara dibagi dengan mol bahan bakar) atau dengan basis massa (massa udara dibagi dengan massa bahan bakar) (Moran dan Saphiro, 2004).

Menurut Mahandari dan Kartika (2010), Secara simbolis AFR dapat dihitung melalui persamaan berikut:

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

dimana:

\dot{m}_a = laju massa udara (kg/detik)

\dot{m}_f = laju massa bahan bakar (kg/detik)

M_a = massa molar udara (g/mol)

N_f = jumlah mol udara (mol)

M_f = massa molar bahan bakar (g/mol)

N_a = jumlah mol udara 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).

2.3.2 Rasio Ekuivalen / *Equivalence Ratio* (Φ)

Menurut Farizkaraja et al. (2014), rasio ekuivalen merupakan rasio dari rasio aktual bahan bakar dan udara terhadap rasio bahan bakar dan udara untuk pembakaran dengan jumlah udara teoritis. Rumus rasio ekuivalen dituliskan sebagai berikut:

$$\Phi = \frac{AFR_{stoic}}{AFR_{actual}}$$

dimana :

Φ = *Equivalence ratio*.

AFR_{stoic} = Rasio udara dan bahan bakar dengan kondisi stoikiometrik.

AFR_{actual} = 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 Farizkaraja *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 (ϕ), 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.

2.3.3 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, 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, 2015).

2.4 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 (dinamika fluida) (Munson Bruce 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 iatan antara molekul penyusunnya (Munson Bruce et. al., 2004).

2.4.1 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, 2014).

b. Fluida Dinamis

Fluida dinamis atau dinamika fluida adalah subdisiplin dari mekanika yang mempelajari tentang pergerakan dari fluida, terutama pada fluida cairan 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 subdisiplin 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, 2014).

2.4.2 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, 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, temperature dan kekentalan (Rosyid, 2014).

Berat jenis (*specific weight*) dari suatu fluida dilambangkan dengan γ (gamma) dan didefinisikan sebagai berat tiap satuan volume (Rosyid, 2014).

Kerapatan suatu fluida didefinisikan sebagai massa tiap satuan volume pada suatu temperature dan tekanan tertentu. Kerapatan dinyatakan dengan ρ (huruf kecil yunani yang dibaca “rho”). Kerapatan fluida bervariasi tergantung jenis fluidanya. Untuk fluida gas, perubahan temperature dan tekanan sangat mempengaruhi kerapatan gas. Untuk fluida cairan, pengaruh keduanya adalah kecil. Jika kerapatan fluida tidak terpengaruh oleh perubahan temperature maupun tekanan dinamakan fluida *incompressible* atau fluida tak mampu mampat (Rosyid, 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/m². Dalam dunia teknik memang lebih banyak digunakan satuan tekanan lain seperti psi (*pound per square inch*), bar, atm, kgf/m² atau dalam ketinggian kolom zat cair seperti cmHg (Rosyid, 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, 2014).

2.5 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 Bruce et. al., 2004).

2.5.1 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) (Munson Bruce et. al., 2004).

b. Aliran Tidak Tunak (*Unsteady*)

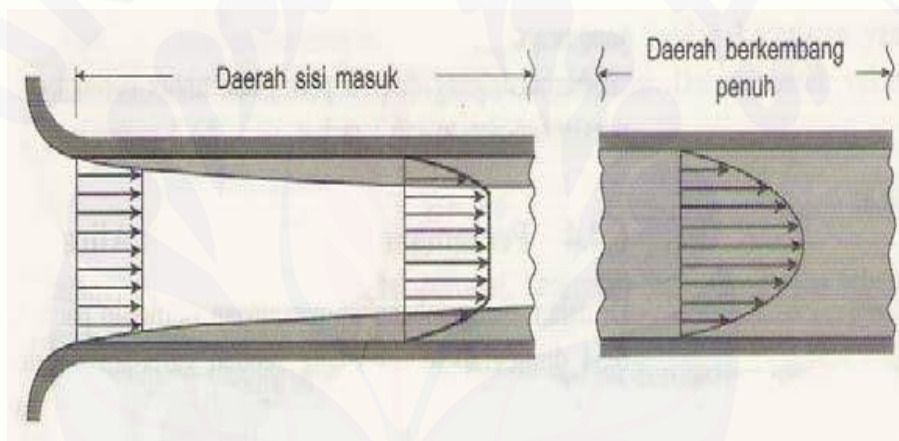
Adalah suatu aliran yang didalamnya terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu (Munson Bruce et. al., 2004).

2.5.2 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 disejumlah 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 Bruce et. al., 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 Bruce et. al., 2004).



Gambar 2.2 Kecepatan Aliran Melalui Saluran Tertutup (Munson Bruce 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 (m^3/s), laju aliran berat (kg/s) dan laju aliran massa (kg/s) (Munson Bruce et. al., 2004).

Prinsip kerja setiap pengukuran aliran tersebut didasari oleh prinsip fisika yang sama yakni bahwa peningkatan kecepatan menyebabkan penurunan tekanan (Munson Bruce et. al., 2004).

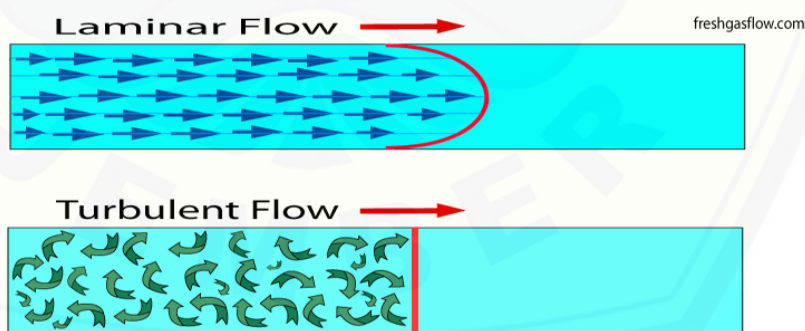
2.5.3 Aliran Laminar dan Aliran Turbulen

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 Haruo, 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 Haruo, 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 bersilang satu sama lain sehingga terbentuk pusaran di dalam fluida, aliran yang seperti ini disebut dengan aliran turbulen (Munson Bruce et. al., 2004).

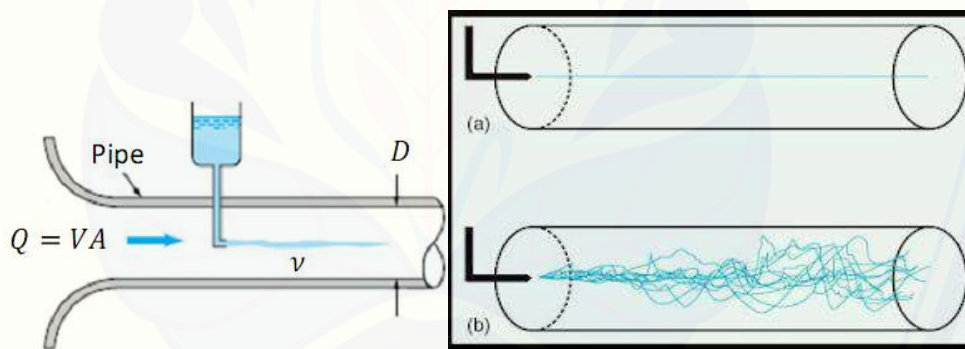


Gambar 2.3 Aliran laminar (atas) dan aliran turbulen (bawah)

(Munson Bruce 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 Bruce et. al., 2004).



Gambar 2.4 Percobaan Reynold tentang Aliran laminar (a) dan aliran turbulen (b)
(Munson Bruce et. al., 2004)

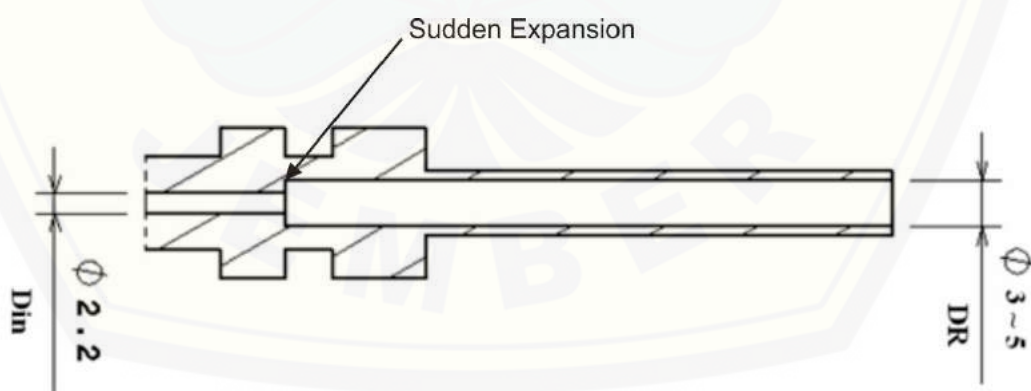
Perilaku ketika fluida mulai bergerak secara acak (tak menentu) dalam bentuk arus-silang dan pusaran, menunjukkan bahwa aliran air tidak lagi laminar. Pada kondisi seperti ini garis alir fluida tidak lagi lurus dan sejajar (Munson Bruce et. al., 2004)

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

bilangan Reynolds (Sularso dan Haruo, 1983).

2.5.4 Sudden Expansion

Permasalahan utama dalam *meso-scale combustor* adalah mendapatkan keseimbangan antara kestabilan api pembakaran dan memaksimalkan *output* panas. Pada *meso-scale combustor* memiliki perbandingan luas permukaan terhadap *volume* yang tinggi sehingga akan meningkatkan *heat losses*, yang mana hal ini dapat menyebabkan pembakaran yang tidak stabil dan dapat memadamkan api. *Residence time* pada *combustor* juga rendah yang menyebabkan kesulitan dalam keberlanjutan pembakaran. Pada penelitian Yang, *et. al*, pada tahun 2002 menyatakan bahwa *backward facing step / sudden expansion* pada *combustor* mampu mensirkulasikan pencampuran reaktan pada pembakaran di area dekat dinding *combustor*, sehingga meningkatkan proses pencampuran pembakaran di sekitar tepi tabung *combustor*, serta membuat pembakaran lebih komplit dan stabil. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa *meso-scale combustor* dengan *backward facing step* sangat efektif untuk aplikasi konversi energi secara langsung dimana temperatur panas dinding tersebut yang diperlukan sebagai sumber panas, seperti pada aplikasi *Thermoelectric Power Generator* (Sulis, 2015).



Gambar 2.5 *Backward facing step / Sudden expansion* (Baigmohammadi, 2015)

2.6 Skala Diameter *Combustor*

Micro combustor terbagi menjadi beragam macam jenis dan ukuran yang ada. Akan tetapi secara umum *micro combustor* diklasifikasikan secara sederhana menjadi tiga, yaitu *micro-scale combustor*, *meso-scale combustor* dan *macro-scale combustor*. Pengklasifikasian tersebut berdasarkan besarnya celah pada ruang bakar. Untuk *micro-scale combustor* celah ruang bakar memiliki ukuran celah kurang dari 1 mm, untuk *meso-scale combustor* memiliki ukuran celah lebih dari 1 mm dan untuk *macro-scale combustor* memiliki ukuran celah lebih dari 10 mm. Karakteristik pembakaran dari ketiga jenis skala diameter *combustor* tersebut masih menyerupai karakteristik pembakaran pada *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* dan sedikit lebih kecil dari *macro-scale combustor*. Dimana salah satu batasan ukuran *micro combustor* adalah skala panjangnya lebih kecil dari *quenching distance* bahan bakar yang digunakan. *Quenching distance* merupakan jarak minimum dari celah *combustor* dimana masih bisa terjadi *flame propagation* didalamnya (Raditya, et. al., 2013).

2.7 Kalor dan 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)

2.7.1 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor (*heat transfer*) ialah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara 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 di sini yang menjadi sasaran analisis ialah masalah laju perpindahan, inilah yang membedakan ilmu perpindahan kalor dari ilmu termodinamika. (Holman, 1997)

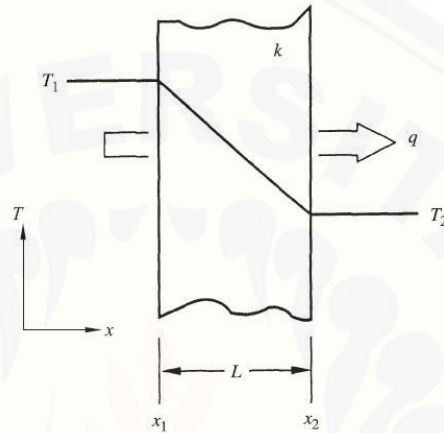
Termodinamika membahas sistem dalam keseimbangan, ilmu ini dapat digunakan untuk meramal energi yang diperlukan untuk mengubah sistem dari suatu keadaan seimbang ke keadaan seimbang lain, tetapi tidak dapat meramalkan kecepatan perpindahan itu. Hal ini disebabkan karena pada waktu proses perpindahan itu berlangsung, sistem tidak berada dalam keadaan seimbang. Ilmu perpindahan kalor melengkapi hukum pertama dan kedua termodinamika, yaitu dengan memberikan beberapa kaidah percobaan yang dapat dimanfaatkan untuk menentukan perpindahan energi. Sebagaimana juga dalam ilmu termodinamika, kaidah-kaidah percobaan yang digunakan dalam masalah perpindahan kalor cukup sederhana, dan dapat dengan mudah dikembangkan sehingga mencakup berbagai ragam situasi praktis. (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 energi kalor akan terus berlangsung hingga kedua zat tersebut mencapai kesetimbangan temperatur, baik melalui perpindahan kalor konduksi, konveksi maupun radiasi. (Moran dan Shapiro, 2004)

2.7.2 Perpindahan Kalor Konduksi

Perpindahan kalor konduksi adalah perpindahan energi sebagai kalor melalui sebuah proses medium stasioner, seperti tembaga, air, atau udara. Di dalam benda-benda padat maka perpindahan tenaga timbul karena atom-atom pada temperatur yang lebih tinggi bergetar dengan lebih cepat, sehingga atom-atom tersebut dapat memindahkan tenaga 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 tenaga juga dihantar oleh tumbukan-tumbukan molekul. (Reynold dan Perkins, 1983)



Gambar 2.6 Distribusi suhu untuk konduksi keadaan *steady* melalui dinding datar (Reynold dan Perkins, 1983)

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

$$Q = -kA \frac{dT}{dx}$$

dimana:

Q = laju perpindahan kalor

k = konduktivitas *thermal*

A = luas area benda

$\frac{dT}{dx}$ = gradien suhu ke arah perpindahan kalor

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)

2.7.3 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 didifusikan 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*) atau konveksi alami (*natural*). Persamaan dasar untuk menghitung laju perpindahan panas konveksi yaitu:

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

Dimana:

- Q = Laju perpindahan panas (W)
- H = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m².°C)
- ΔT = Perbedaan temperatur (°C)

a. Konveksi alamiah (*Natural Convection*)

Konveksi alamiah (*natural convection*) atau konveksi bebas (*free convection*), terjadi karena fluida yang karena proses pemanasan 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 (*bouyancy force*) yang dialaminya apabila densitas fluida di dekat permukaan perpindahan kalor berkurang sebagai akibat proses pemanasan (Djafar, et. al., 2010).

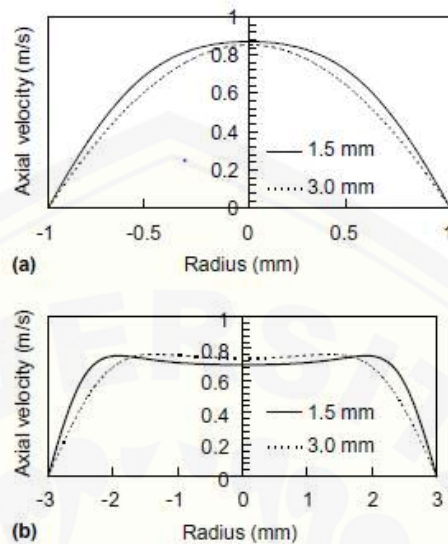
Gaya apung itu tidak akan terjadi apabila fluida itu tidak mengalami sesuatu gaya dari luar seperti gravitasi (gaya berat), walaupun gravitasi bukanlah satu-satunya medan gaya luar yang dapat menghasilkan arus konveksi bebas. Fluida yang terkurung dalam mesin rotasi mengalami medan gaya sentrifugal, 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 mana dialirannya tersebut berasal dari luar, seperti dari *blower* atau kran dan pompa. Konveksi paksa dalam pipa merupakan persolaan 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).

2.8 Penelitian Sebelumnya

Li, *et al*, (2005) dalam penelitiannya yang melakukan penelitian tentang pengaruh variasi diameter *combustor* yang berbentuk silindris terhadap temperatur. Dalam penelitiannya didapatkan bahwa semakin kecil ukuran dari diameter *combustor* maka temperatur yang dihasilkan semakin rendah sebagaimana ditampilkan pada diagram temperatur-radius yang juga semakin menurun.



Gambar 2.7 Diagram temperatur pada *meso-scale combustor*,
(a) $d=2$ mm, (b) $d=6$ mm (Li, *et al.* 2005)

Han *et al.*, (2016), membuktikan bahwa hasil dari simulasi nyala api dan studi numerik membuktikan bahwa pembakaran pada skala makro memiliki tingkat kecepatan detonasi nyala api yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan pembakaran pada skala mikro. Hasil dari penelitian tersebut adalah semakin cepat dan semakin besar tingkat ledakan pada proses penyalaan api, akan berpengaruh terhadap kecepatan rambat nyala api dan energi kalor pembakaran yang dihasilkan.

2.9 Hipotesis

Semakin besar ukuran *combustor*, maka luas permukaan *combustor* semakin semakin besar yang mengakibatkan menurunnya energi kalor dari hasil pembakaran dan efisiensi pembakaran. Dan apabila luas permukaan *combustor* semakin kecil, maka energi kalor dari hasil pembakaran dan efisiensi pembakaran akan meningkat, sehingga pembakaran yang terjadi akan lebih efisien.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode desain eksperimental, yaitu metode yang dilakukan dengan mengamati pengaruh variasi skala dan ukuran dari diameter *combustor* dengan *sudden expansion* terhadap karakteristik pembakaran dan energi kalor hasil pembakaran pada *combustor* skala meso dan *combustor* skala makro.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini adalah pada bulan Maret sampai dengan bulan Oktober 2017. Sedangkan penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

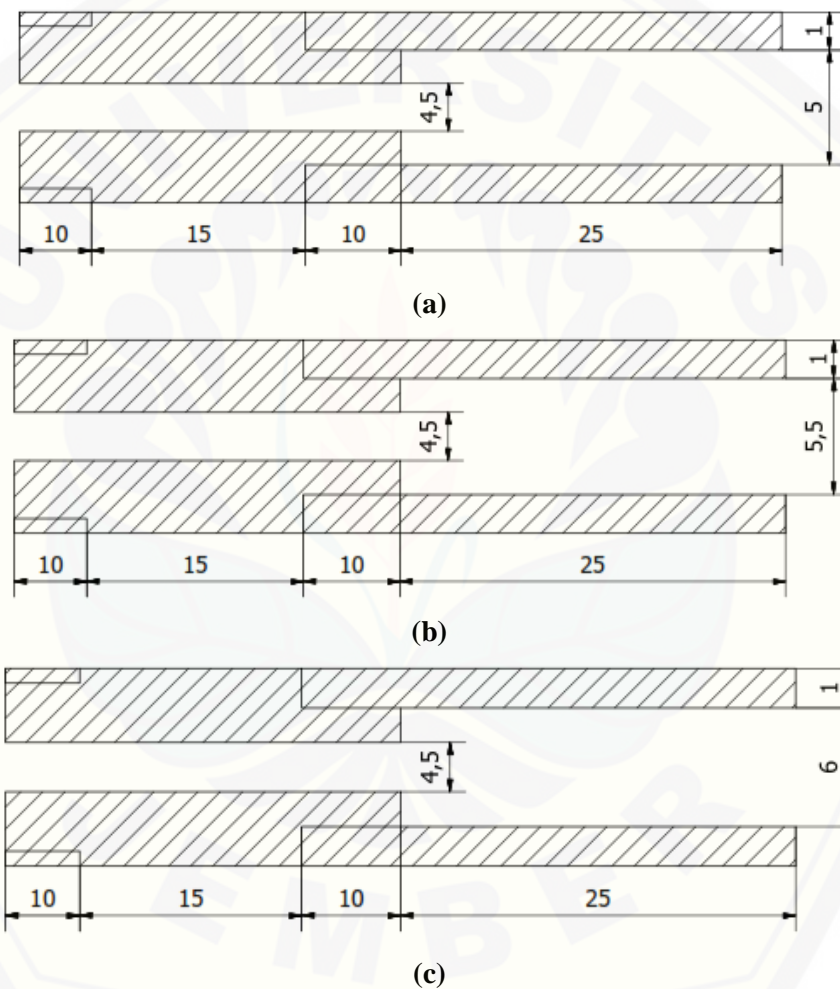
1. *Combustor* Skala Meso dan *Combustor* Skala Makro

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*).

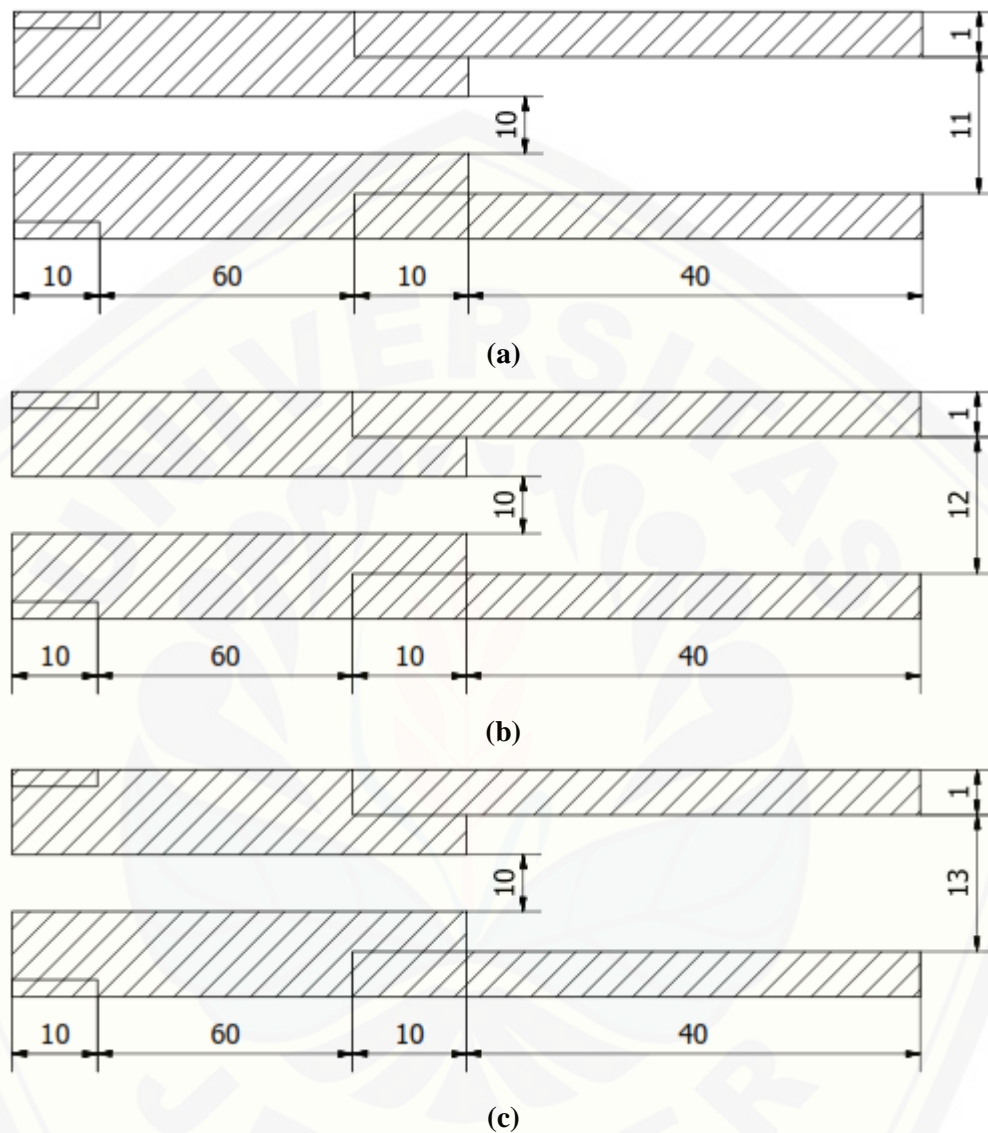
Ukuran dari *combustor* yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi dua bagian, yaitu *combustor* skala meso dan *combustor* skala makro. *Combustor* meso memiliki ukuran diameter dalam *inlet* 4,5 mm dan ukuran diameter dalam *outlet*

divariasikan pada 5 mm, 5,5 mm dan 6 mm. Sedangkan pada *combustor* skala makro memiliki ukuran diameter dalam *inlet* 10 mm dan ukuran diameter dalam *outlet* divariasikan pada 11 mm, 12 mm dan 13 mm.

Dimensi dari masing-masing *combustor* ditunjukkan pada Gambar 3.1 untuk *combustor* skala meso dan Gambar 3.2 untuk *combustor* skala makro.



Gambar 3.1 Dimensi *Combustor* Skala Meso: (a) 5 mm; (b) 5,5 mm; (c) 6 mm.



Gambar 3.2 Dimensi *Combustor* Skala Makro: (a) 11 mm; (b) 12 mm; (c) 13 mm.

2. *Combustor Holder*

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

3. *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)

4. Kompresor

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 (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

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

5. *Flowmeter*

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 3.5, 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 3.5 *Flowmeter* (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

6. 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 3.6 .



Gambar 3.6 Jangka Sorong (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 3.7.



Gambar 3.7 *Pisco tube* (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

8. *Regulator* LPG

Regulator berfungsi untuk mengalirkan bahan bakar gas LPG dari tabung gas menuju *flowmeter*. *Regulator* LPG dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Regulator LPG (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

9. *Thermocouple* dan *Data Logger*

Thermocouple dan *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 *Thermocouple* dan *Data Logger* (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

a. Spesifikasi *thermocouple*:

- a) Power Consumption : 0.8 W @ 24 VDC
- b) Watchdog Timer : System (1.6 second)
- c) Support Protocol : ASCII command
- d) Channels : 6 differential, and 2 single-ended
- e) Input Impedance : Voltage (20 M Ω)
- f) Input Type : Thermocouple (mV, V, mA)
- g) Voltage/Current : ± 15 mV,
- h) Input Range : ± 50 mV, ± 100 mV, ± 500 mV,
 ± 1 V, ± 2.5 V, ± 20 mA

b. Spesifikasi *data logger*:

- a) Network : USB-type A connector (type A to type B cable provided)
- b) Serial : 1 x plug-in terminal (#14 ~ 22 AWG), (3-wire RS-232/422/485)
- c) Isolation Voltage : 3,000 VDC
- d) Power Consumption : 1.5 W @ 5 V
- e) Driver Support : Windows 2000/XP/ Vista/7/8 (32&64-bit)
- f) USB Specification Compliance : USB 2.0
- g) Speed Modes (bps) : 600 bps to 115.2 kbps
- h) Transmission Modes : Full/half duplex, bidirectional

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gas LPG (*Liquified Petroleum Gas*).

Gas LPG digunakan sebagai bahan bakar dalam proses pembakaran pada *combustor* skala meso dan *combustor* skala makro. Gas LPG tersebut terdiri dari 50% gas propana dan 50% gas butana.



Gambar 3.10 Tabung Gas LPG (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

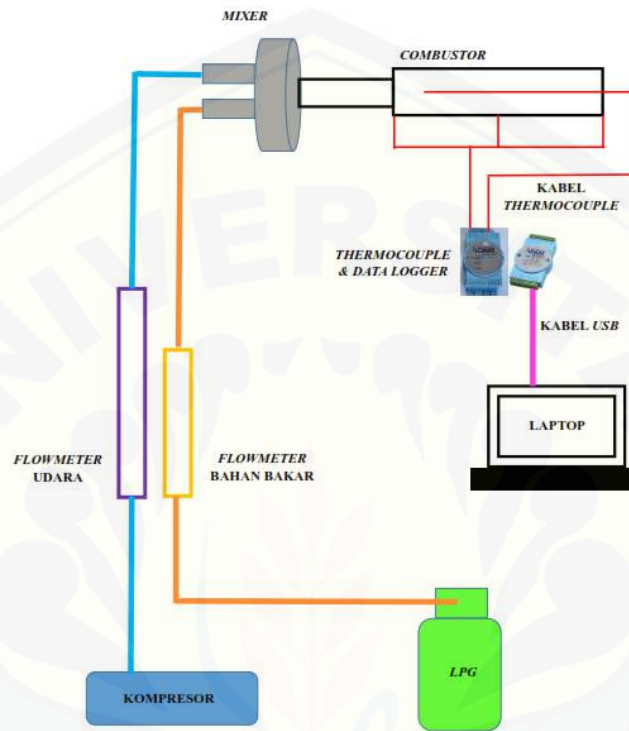
Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi faktor-faktor yang diukur oleh peneliti untuk menentukan hubungan antara fenomena yang diamati, adapun variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Combustor* skala meso yang terdiri dari inlet yang memiliki ukuran diameter dalam 4,5 mm dan *outlet* yang divariasikan pada ukuran diameter dalam 5 mm, 5,5 mm dan 6 mm.
2. *Combustor* skala makro yang terdiri dari inlet yang memiliki ukuran diameter dalam 10 mm dan *outlet* yang divariasikan pada ukuran diameter dalam 11 mm, 12 mm dan 13 mm.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas. Penelitian ini mempunyai variabel terikat yang meliputi temperatur dinding *combustor*, temperatur nyala api, energi *output* pembakaran gas LPG dan efisiensi pembakaran.

3.5 Skema Rangkaian Alat Uji



Gambar 3.11 Skema Instalasi Alat Penelitian

Keterangan:

- — Saluran Udara
- — Saluran Bahan Bakar
- — Kabel *thermocouple*
- — Kabel USB

Gambar 3.11 menunjukkan skema rangkaian pemasangan alat pada penelitian karakteristik pembakaran pada *combustor* skala meso dan *combustor* skala makro. Bahan bakar disuplai dari tabung gas LPG yang terdiri dari 50% gas butana dan 50% gas propana, sedangkan udara bebas didapatkan dari kompresor. Bahan bakar dan udara disalurkan menuju *flowmeter* dengan jenis yang berbeda, yaitu *flowmeter* bahan bakar dan *flowmeter* udara. *Flowmeter* difungsikan sebagai media pengatur debit dari

aliran bahan bakar dan udara. Dimana nilai debit tersebut dapat diubah-ubah dengan kisaran tertentu sesuai dengan spesifikasi *flowmeter*. Dari *flowmeter* bahan bakar dan udara yang sudah diatur nilai debitnya, disalurkan menuju *mixer* agar terjadi pencampuran homogen antara bahan bakar dan udara. Selanjutnya campuran bahan bakar dan udara dialirkan menuju *combustor* skala meso dan *combustor* skala makro sebagai bahan dasar dalam reaksi pembakaran di dalam *combustor*.

Selanjutnya dilakukan pengukuran temperatur dengan menggunakan *thermocouple* pada nyala api yang terbentuk dari reaksi pembakaran di dalam *combustor* dan temperatur dinding *combustor* untuk mendapatkan data temperatur yang selanjutnya diolah menjadi data energi *output* pembakaran.

3.6 Prosedur Penelitian

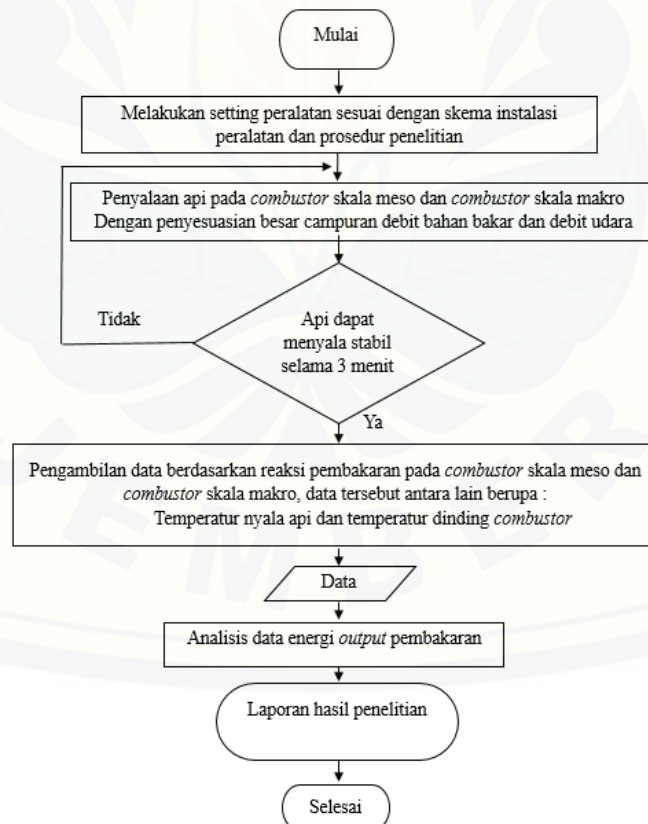
Pengambilan data dalam penelitian karakteristik pembakaran dan energi *output* pembakaran pada *combustor* skala meso dan *combustor* skala makro harus melakukan beberapa tahapan secara berurutan. Adapun tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan *combustor* skala meso, 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 dalam posisi debit 300 ml/min.
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 debit 16,5 ml/min.

5. Memulai reaksi pembakaran pada *combustor* skala meso dengan jalan memberikan pemantik api dengan menggunakan korek api pada mulut *outlet combustor*.
6. Mencatat nilai temperatur api dan temperatur dinding *combustor* ketika api mampu menyala secara stabil selama 3 menit dengan menggunakan *data logger*.
7. Mengulangi prosedur pengambilan data dari awal dengan variasi *combustor* skala makro.

Pengambilan dan pengumpulan data dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap ukuran *combustor* dan kemudian diambil rata-rata. Pengambilan data dilakukan dengan prosedur yang sama pada masing-masing variasi diameter *combustor*.

3.7 Diagram Alir



Gambar 3.12 Diagram Alir Penelitian

3.8 Penyajian dan Pengolahan Data Penelitian

Data yang diperoleh dari hasil penelitian diolah menggunakan *software Microsoft excel* untuk memudahkan proses penyajian data nilai variabel terikat. Hasil pengolahan data disajikan dalam tabel yang ditunjukkan dalam bentuk tabel seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1, Tabel 3.2, Tabel 3.3, Tabel 3.4, Tabel 3.5 dan Tabel 3.6.

3.8.1 Penyajian Data Penelitian Pada *Combustor* Skala Meso

Tabel 3.1 Penyajian data hasil pengujian *combustor* skala meso pada percobaan 1

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

Tabel 3.2 Penyajian data hasil pengujian *combustor* skala meso pada percobaan 2

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

Tabel 3.3 Penyajian data hasil pengujian *combustor* skala meso pada percobaan 3

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

3.8.2 Penyajian Data Penelitian Pada *Combustor* Skala Makro

Tabel 3.4 Penyajian data hasil pengujian *combustor* skala makro pada percobaan 1

Diameter Outlet Combustor (mm)	AFR (ml/min)			Percobaan 1		
	Udara	Bahan Bakar	Temperatur ^φ Api (°C)	Temperatur Dinding Outlet Combustor (°)		
				Dinding A	Dinding B	Dinding C
11						
12	300	16,5				
13						

Tabel 3.5 Penyajian data hasil pengujian *combustor* skala makro pada percobaan 2

Diameter Outlet Combustor (mm)	AFR (ml/min)			Percobaan 2		
	Udara	Bahan Bakar	Temperatur ^φ Api (°C)	Temperatur Dinding Outlet Combustor (°)		
				Dinding A	Dinding B	Dinding C
11						
12	300	16,5				
13						

Tabel 3.6 Penyajian data hasil pengujian *combustor* skala makro pada percobaan 3

Diameter Outlet Combustor (mm)	AFR (ml/min)			Percobaan 3		
	Udara	Bahan Bakar	Temperatur ^φ Api (°C)	Temperatur Dinding Outlet Combustor (°)		
				Dinding A	Dinding B	Dinding C
11						
12	300	16,5				
13						

3.8.3 Pengolahan Data Penelitian

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

- a. Hambatan *thermal* perpindahan panas konduksi dari dinding dalam *combustor* ke dinding luar *combustor*.

$$R_{konduksi} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi.L.k} \dots\dots\dots (3.1)$$

- b. Hambatan *thermal* perpindahan panas konveksi dari dinding luar *combustor* ke lingkungan.

$$R_{konveksi} = \frac{1}{A.h} \dots\dots\dots (3.2)$$

- c. Beban hambatan *thermal* perpindahan panas keseluruhan.

$$R_{total} = R_{konduksi} + R_{konveksi} \dots\dots\dots (3.3)$$

- d. Energi kalor hasil pembakaran pada *combustor*.

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{total}} = \frac{(T_{api} - T_{lingkungan}) + 273}{R_{total}} \dots\dots\dots (3.4)$$

- e. Energi kalor pada dinding luar *combustor* (T_{AB})

$$\dot{Q}_{AB} = -k.A. \frac{(T_A - T_B)}{\Delta x} \dots\dots\dots (3.5)$$

- f. Energi kalor pada dinding luar *combustor* (T_B)

$$\dot{Q}_{BC} = -k.A. \frac{(T_B - T_C)}{\Delta x} \dots\dots\dots (3.6)$$

- g. Energi kalor pada dinding luar keseluruhan

$$\dot{Q}_{AC} = \dot{Q}_{AB} + \dot{Q}_{BC} \dots\dots\dots (3.7)$$

- h. Energi *output* pembakaran

$$\Sigma \dot{Q} = \dot{Q} + \dot{Q}_{AC} \dots\dots\dots (3.8)$$

Keterangan :

$R_{konveksi}$ = Hambatan *thermal* konveksi ($^{\circ}\text{K}/\text{W}$)

A = Luas dinding *combustor* (m^2)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{K}$)

$R_{konduksi}$ = Hambatan *thermal* konduksi ($^{\circ}\text{K}/\text{W}$)

L = Panjang *combustor* (m)

k = Konduktivitas *thermal* bahan *combustor* ($\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{K}$)

\dot{Q} = Energi kalor (Watt)

ΔT	= Beda Temperatur ($^{\circ}\text{K}$)
T_{api}	= Temperatur api ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{\text{lingkungan}}$	= Temperatur lingkungan ($^{\circ}\text{C}$)
\dot{Q}_{AB}	= Energi kalor pada area dinding <i>combustor</i> AB (Watt)
\dot{Q}_{BC}	= Energi kalor pada area dinding <i>combustor</i> BC (Watt)
\dot{Q}_{AC}	= Energi kalor pada dinding <i>combustor</i> (Watt)
T_A	= Temperatur pada dinding <i>combustor</i> area A ($^{\circ}\text{C}$)
T_B	= Temperatur pada dinding <i>combustor</i> area B ($^{\circ}\text{C}$)
T_C	= Temperatur pada dinding <i>combustor</i> area C ($^{\circ}\text{C}$)
$\Sigma \dot{Q}$	= Jumlah energi kalor pembakaran dan energi kalor pada dinding <i>combustor</i> (Watt)

Data yang telah diolah selanjutnya dianalisis untuk menentukan perbandingan energi *output* pembakaran dan efisiensi pembakaran.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari pengujian, pembahasan dan analisis yang telah dilakukan menghasilkan kesimpulan bahwa temperatur pembakaran pada *combustor* skala meso lebih tinggi daripada temperatur pembakaran dari *combustor* skala makro. Perbedaan temperatur tersebut berpengaruh terhadap energi *output* pembakaran dan efisiensi pembakaran. Hasil dari analisis energi *output* pembakaran gas elpiji pada *combustor* skala meso dan *combustor* skala makro menunjukkan bahwa energi *output* pembakaran pada *combustor* skala meso lebih besar daripada energi *output* pembakaran pada *combustor* skala makro. Efisiensi pembakaran pada *combustor* skala meso lebih besar daripada efisiensi pembakaran pada *combustor* skala makro.

Kesimpulan tersebut membuktikan bahwa perbedaan diameter *combustor* memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap temperatur pembakaran, energi *output* pembakaran dan efisiensi pembakaran.

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 energi *output* pembakaran.
2. Pada penelitian ini, tingkat *heat losses* belum diketahui secara pasti, untuk selanjutnya dapat dikaji ulang tentang besarnya tingkat *heat losses* yang terjadi.
3. Penelitian ini dilakukan pada ruangan terbuka, pada penelitian selanjutnya diharapkan penelitian dilakukan pada ruangan terisolir, sehingga energi adiabatik dari *combustor* dapat diketahui.
4. Bahan bakar dalam penelitian ini masih terbatas pada gas LPG, untuk selanjutnya penelitian dapat dilakukan dengan beberapa variasi bahan bakar.

5. Pengujian *combustor* pada penelitian ini diuji pada udara bebas, pada penelitian selanjutnya diharapkan pengujian *combustor* dilakukan pada alat *heat exchanger* sehingga dapat diketahui unjuk kerja dari *combustor* pada alat *heat exchanger*.



DAFTAR PUSTAKA

- Baighmohammadi Mohammadreza, Soroush Sarafan Sadeghi, Sadegh Tabejamaat. 2015. “*Numerical Study of The Effects of Wire Insertion On CH₄(Methane)/AIR Pre-Mixed Flame In A Micro Combustor*. Iran. Department of Aerospace Engineering”, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic). *Proceedings of the Energy*. Vol. (54): 271-284.
- Cahyono, H., Fathurrohman, W., Hilal, A.S., dan Wahyoto, Tuter. 2011. *Energi dan Pembakaran*. Semarang. Universitas Negeri Semarang.
- Celanovic, I., Bermel, P., dan Soljacic, M. 2011. *Thermophotovoltaic power conversion system: current performance and future potential*. Massachusetts Institute of Technology (77 Massachusetts Ave., Cambridge, MA 02139, USA).
- Chandra, Budiman. 2006. *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. EGC. Jakarta
- Condro, B. dan Setiyo M. 2012. “Optimasi Pemanfaatan LPG Sebagai Bahan Bakar Kendaraan Melalui Penyetelan *Converter Kits* dan Saat Pengapian. Magelang. Universitas Muhammadiyah Magelang”.
- Djafar, Z., Putra N., dan Koestoer, R. A. 2010. “Pengaruh Variasi Temperatur Fluida Panas terhadap Karakteristik Modul Termoelektrik Generator”. Depok. Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Farizkaraja M., Sasongko, M. N., dan Wijayanti W. 2014. “Pengaruh Konsentrasi CO₂ Terhadap Karakteristik Api Pembakaran Difusi CH₄ + CO₂ Pada *Counter Flow Burner*”. Malang. Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Han, W., Gao, Y., & Law, C.K. 2016. “*Flame Acceleration and Deflagration-To- Detonation Transition In Micro and Macro-Channels: An Integrated Mechanistic Study*”, 176. 285-298.
- Holman, J.P. 1997. *Heat Transfer*, 8th Edition, McGraw-Hill Companies Inc., New York. USA.

- Iriawan, Nur dan Astuti, P. Septin, 2009. *Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*. Jakarta : Andi Publisher.
- Ju, Y., dan Maruta, K. 2011. "Microscale Combustion: Technology development and fundamental research. Science Direct. Progress in Energy and Combustion Science". Vol.(xxx): 1 – 47.
- Kurniawan, M. Andri dan Tjahjadi, Gunawan. 2016. *Pengaman Otomatis Kompor Gas LPG Satu Tungku Berbasis Mikrokontroler ATMEGA*. Jakarta Barat. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Trisakti.
- Lyons, Susan M. 1996. *International Tax Glossary*, Edisi 3, IBFD Publication BV.
- M.J. Moran dan H.N Shapiro, 2006. *Fundamental of Engineering Thermodynamics*, Edisi 5, John Wiley & Sons Inc.
- Mahandari, C. P. dan Kartika D. 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 Vol (33): 125-150.
- Maruta, K. 2011. *Micro and Mesoscale Combustion*. Science Direct. Proceedings of the Combustion Institute Vol (33): 125-150.
- Mikami, M., Maeda, Y., Matsui, K., Seo, T. & Yuliati, L. 2012. "Combustion of Gaseous and Liquid Fuels In Meso-scale Tubes With Wire Mesh". Proceeding of the Combustion Institute 34. 3387-3394.
- Mikami, M., Maeda, Y., Matsui, K., Seo, T. & Yuliati, L. 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 Shapiro, H. N. 2004. *Termodinamika Teknik*. Edisi Ke-4. Jakarta: Erlangga.
- Munson, B. R., Young, D. F., dan Okiishi, T. H. 2005. *Mekanika Fluida Edisi Keempat*. Jakarta : Erlangga.

- Raditya, M. A., Wardana, I. N. G., dan Yuliati L. 2013. Pengaruh Variasi Jarak Antar *Wire Mesh* Terhadap Karakteristik Pembakaran Pada *Meso-scale Combustor*. Malang. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Reynold, William C dan Perkins, Henry C. 1983. *Engineering Thermodynamics*. McGraw-Hill Companies Inc., New York. USA.
- Rohadi, Ahmad I. 2016. Pengaruh Panjang Saluran *Sudden Expansion* Terhadap Karakteristik Pembakaran Pada *Meso-scale Combustor*. Jember. Teknik Mesin Universitas Jember.
- Rosyid, Muhammad Fachani, et. al. 2014. Kajian Konsep Fisika 2. Platinum Distribution, PT. Tiga Serangkai. Solo.
- Sari, S. 2015. Pengaruh Diameter *Combustor* Terhadap Karakteristik Pembakara pada *Meso-scale Combustor* dengan *Backward Facing Step*. Malang. Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Siamullah, M. W., Sasongko, M. N., dan Yuliati, L. 2013. Pengaruh Diameter *Droplet* Air Terhadap Proses Pemadaman Api Tipe *Premixed Flame*. Malang. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Stoecker, Wilbert F dan Jones, Jerold W. 1982. *Refrigeration and Air Conditioning*. McGraw-Hill Companies Inc., New York. USA.
- Sularso dan Haruo, Tahara. 1983. Pompa dan Kompresor. PT. Pradnya Paramitha. Jakarta.
- 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.
- Wang, Y., Wu, M., Yang, V., dan Yetter, R. A. 2007. "*Combustion in meso-scale vortex chambers*". USA. Department of Mechanical and Nuclear Engineering", The Pennsylvania State University. Proceedings of the Combustion Institute. Vol.(31): 3235-3242.

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

Yang, W. M., Chou, S. K., Shu, C., Li, Z. W., dan Xue, H. 2002. “*Combustion in micro-cylindrical combustor with and without a backward facing step*”. Applied Thermal Engineering. Vol. (22): 1777-1787.

Yang, W. M., Chou, S. K., Shu, C., Li, Z. W., dan Xue, H. 2002. *Combustion in Micro-Cylindrical Combustors With and Without a Backward Facing Step*. Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore. Singapore. Department of Mechanical Engineering, California State Polytechnic University. USA. 22 (2002) 1777–1787.

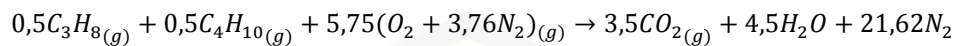
Yang, W. M., Chou, S. K., Shu, C., Xue, H. Li, Z. W., Li, D.T., Pan, J.F., “*Microscale Combustion Research for Application to Micro Thermophotovoltaic Sistem*”, J. Energi Conversion and Management, 44 (2003) p. 2625-2634.

Yunus, Syarifudin. 2010. Jurnalistik Terapan. Bogor: Ghalia Indonesia.

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

LAMPIRAN A. Perhitungan Data Penelitian

1. Perhitungan AFR_{stoikiometri}



a) Diketahui:

- Massa atom relatif (Ar)

$C = 12 \text{ gram/mol}$; $H = 1 \text{ gram/mol}$; $O = 16 \text{ gram/mol}$; dan
 $N = 14 \text{ gram/mol}$

- Massa jenis udara pada suhu ruangan 30°C adalah $0,001205 \text{ gram/cm}^3$
- Massa jenis propana $0,00183 \text{ gram/cm}^3$.
- Massa jenis butana $0,002417 \text{ gram/cm}^3$.
- Massa jenis LPG (50% propana dan 50% butana) adalah $0,0092126 \text{ gram/cm}^3$.

b) Ditanya:

- $AFR_{stoikiometri} = \dots?$

c) Penyelesaian:

- $AFR_{stoikiometri}$ berdasarkan rasio massa udara dan bahan bakar:

$$\begin{aligned} - \text{ Massa bahan bakar} &= n \times Mr \\ &= 0,5 MrC_3H_8 + 0,5 MrC_4H_{10} \\ &= (0,5(36 + 8)) + (0,5(48 + 10)) \\ &= 22 + 29 \\ &= 51 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Massa udara} &= n \times Mr \\ &= 5,75 (MrO_2 + 3,76 MrN_2) \\ &= 5,75(32 + 3,76(28)) \\ &= 5,75 \times 137,28 \\ &= 789,36 \text{ gram} \end{aligned}$$

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

2. Perhitungan AFR_{aktual}

a) Diketahui :

- $\rho_{LPG} = 0,002126 \text{ gram/cm}^3$
- $\rho_{\text{udara}} = 0,001205 \text{ gram/cm}^3$
- $Q_f = 16,5 \text{ ml/min}$
- $Q_{a \text{ min}} = 290 \text{ ml/min}$
- $Q_{a \text{ maks}} = 310 \text{ ml/min}$

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

- $m_f = \rho_{LPG} \times Q_f = 0,002126 \text{ gram/cm}^3 \times 16,5 \text{ ml/min} = 0,035079 \text{ gram/min}$
- $m_{a \text{ maks}} = \rho_{\text{udara}} \times Q_{a \text{ maksimal}} = 0,001205 \text{ gram/cm}^3 \times 310 \text{ ml/min} = 0,37355 \text{ gram/min}$
- $m_{a \text{ min}} = \rho_{\text{udara}} \times Q_{a \text{ minimal}} = 0,001205 \text{ gram/cm}^3 \times 290 \text{ ml/min} = 0,34945 \text{ gram/min}$

c) Nilai AFR_{aktual}

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

- $\text{AFR}_{\text{aktual batas atas}} = \frac{0,37355 \text{ gram/min}}{0,035079 \text{ gram/min}} = 10,65$
- $\text{AFR}_{\text{aktual batas bawah}} = \frac{0,34945 \text{ gram/min}}{0,035079 \text{ gram/min}} = 9,96$

3. Perhitungan Rasio Ekuivalen (Φ)

$$\Phi = \frac{\text{AFR}_{\text{stoikiometri}}}{\text{AFR}_{\text{aktual}}}$$

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

4. Perhitungan Kecepatan Reaktan (V)

A. Perhitungan kecepatan reaktan pada mixer

a) Diketahui:

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

b) Ditanya :

- $V_{reaktan \min}$
- $V_{reaktan \max}$

c) Penyelesaian:

$$V_{reaktan \min} = \frac{\frac{Q_f + Q_{a \min}}{3,14 \times r^2}}{100} = \frac{\frac{5,8 + 190}{(3,14 \times 15^2)}}{100} = 0,72 \text{ cm/s}$$

$$V_{reaktan \max} = \frac{\frac{Q_f + Q_{a \max}}{3,14 \times r^2}}{100} = \frac{\frac{5,8 + 200}{(3,14 \times 15^2)}}{100} = 0,77 \text{ cm/s}$$

B. Perhitungan kecepatan reaktan pada saluran *adapter* skala meso

a) Diketahui:

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

b) Ditanya :

- $V_{reaktan \min}$
- $V_{reaktan \max}$

c) Penyelesaian:

$$V_{reaktan \min} = \frac{\frac{Q_f + Q_{a \min}}{3,14 \times r^2}}{100} = \frac{\frac{5,8 + 190}{(3,14 \times 2,25^2)}}{100} = 32,14 \text{ cm/s}$$

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

C. Perhitungan kecepatan reaktan pada saluran *adapter* skala makro

a) Diketahui:

- $Q_{a min} = 290 \text{ ml/min}$
- $Q_{a maks} = 310 \text{ ml/min}$
- $Q_f = 16,5 \text{ ml/min}$
- $d_{out combustor} = 10 \text{ mm}$
- $r_{out combustor} = 5 \text{ mm}$

b) Ditanya :

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

c) Penyelesaian:

- $$V_{reaktan min} = \frac{Q_f + Q_{a min}}{\frac{3,14 \times r^2}{100}} = \frac{5,8 + 190}{\frac{(3,14 \times 5^2)}{100}} = 6,51 \text{ cm/s}$$

- $$V_{reaktan maks} = \frac{Q_f + Q_{a max}}{\frac{3,14 \times r^2}{100}} = \frac{5,8 + 200}{\frac{(3,14 \times 5^2)}{100}} = 6,93 \text{ cm/s}$$

D. Perhitungan kecepatan reaktan pada *inlet combustor* skala meso

a) Diketahui:

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

b) Ditanya :

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

c) Penyelesaian:

- $$V_{reaktan min} = \frac{Q_f + Q_{a min}}{\frac{3,14 \times r^2}{100}} = \frac{5,8 + 190}{\frac{(3,14 \times 2,25^2)}{100}} = 32,14 \text{ cm/s}$$

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

E. Perhitungan kecepatan reaktan pada *inlet combustor* skala makro

a) Diketahui:

- $Q_{a min} = 290 \text{ ml/min}$
- $Q_{a maks} = 310 \text{ ml/min}$
- $Q_f = 16,5 \text{ ml/min}$
- $d_{out combustor} = 10 \text{ mm}$
- $r_{out combustor} = 5 \text{ mm}$

b) Ditanya :

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

c) Penyelesaian:

- $$V_{reaktan min} = \frac{Q_f + Q_{a min}}{\frac{3,14 \times r^2}{100}} = \frac{5,8 + 190}{\frac{(3,14 \times 5^2)}{100}} = 6,51 \text{ cm/s}$$

- $$V_{reaktan maks} = \frac{Q_f + Q_{a max}}{\frac{3,14 \times r^2}{100}} = \frac{5,8 + 200}{\frac{(3,14 \times 5^2)}{100}} = 6,93 \text{ cm/s}$$

F. Perhitungan kecepatan reaktan pada outlet combustor

a) Diketahui:

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

b) Ditanya :

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

c) Penyelesaian:

- $$V_{reaktan\ min} = \frac{\frac{Q_f+Q_a\ min}{60}}{\frac{3,14 \times r^2}{100}} = \frac{\frac{5,8+190}{60}}{\frac{(3,14 \times 2,5^2)}{100}} = 26,03\ \text{cm/s}$$
- $$V_{reaktan\ maks} = \frac{\frac{Q_f+Q_a\ max}{60}}{\frac{3,14 \times r^2}{100}} = \frac{\frac{5,8+200}{60}}{\frac{(3,14 \times 2,5^2)}{100}} = 27,73\ \text{cm/s}$$

Dengan cara yang sama, diperoleh hasil perhitungan pada combustor ukuran 5,5 mm, 6 mm, 11 mm, 12 mm dan 13 mm sebagai berikut:

Diameter outlet combustor (mm)	Kecepatan reaktan minimum (cm/s)	Kecepatan reaktan maksimum (cm/s)
5	26,03	27,73
5,5	21,51	22,92
6	18,08	19,26
11	5,38	5,73
12	4,52	4,81
13	3,85	4,10

G. Perhitungan lama tinggal reaktan pada *mixer*

a) Diketahui:

$$\text{Diameter } \textit{mixer} = 30 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi } \textit{mixer} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Kecepatan reaktan} = 290 \text{ ml/min} + 310 \text{ ml/min} = 600 \text{ ml/min}$$

b) Ditanya:

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

c) Penyelesaian:

$$\bullet \text{ Volume } \textit{mixer} = \frac{\pi D^2}{4} \times 30^2 \times 20 = 14130 \text{ mm}^3$$

$$\bullet \text{ Lama tinggal reaktan pada } \textit{mixer} = \frac{\text{Volume } \textit{mixer}}{\text{Kecepatan reaktan}}$$

$$= \frac{14130 \text{ mm}^3}{600 \text{ ml/min}}$$

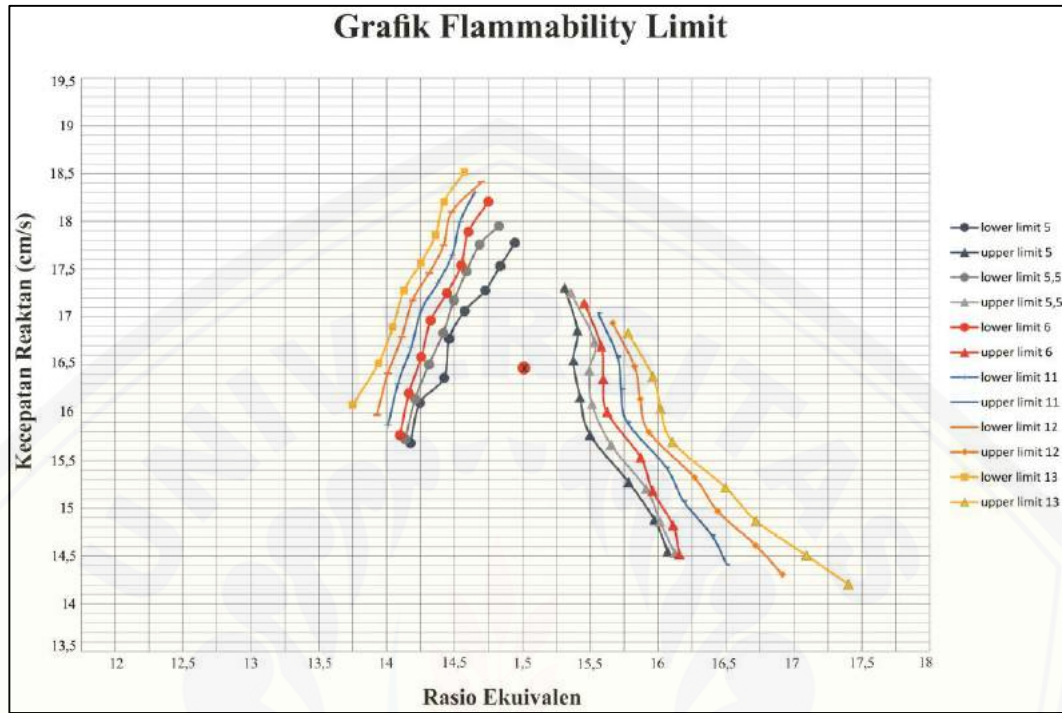
$$= 23,55 \frac{\text{mm}^3}{\text{ml/min}}$$

$$= \frac{23,55 \frac{\text{mm}^3}{\text{ml/min}}}{1000}$$

$$= 0,0235 \text{ min}$$

$$= 1,413 \text{ detik}$$

5. *Flammability Limit*



Dari grafik *flammability limit* di atas, dapat diketahui nilai titik tengah adalah sebesar 1,509238. Nilai titik tengah tersebut merupakan nilai tengah dari rasio ekuivalen terhadap kecepatan reaktan pada *flammability limit*. Nilai tengah dari rasio ekuivalen tersebut selanjutnya digunakan sebagai parameter untuk perhitungan data debit aktual dari udara (Q_a) dan bahan bakar (Q_f). (Maruta dan Ju, 2011)

Dari hasil perhitungan, diperoleh data dari Q_a dan Q_f sebagai berikut:

ϕ	Q_f (ml/min)	Q_a (ml/min)
1,51	16,40	297,28

Data Q_a dan Q_f tersebut selanjutnya digunakan sebagai parameter dalam pengambilan data temperatur pada *combustor* skala meso dan makro.

6. 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 W/m.°K (*sumber: Stoecker, Hal: 24)

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

- 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 W/m.°K (*sumber: Stoecker, hal: 26)

Nilai h diasumsikan sebesar 8 W/m.°K.

$$\begin{aligned}
 A &= 2\pi \cdot r_2 \cdot l \\
 &= 2\pi \cdot (3,5 \times 10^{-3}) \cdot (25 \times 10^{-3}) \\
 &= 0,0005497787 m^2 \\
 R_{konveksi} &= \frac{1}{A \cdot h} \\
 &= \frac{1}{0,0005497787 m^2 \cdot \left(\frac{8}{0,025}\right) W/m^2 \cdot ^\circ K} \\
 &= 4,9735922148 \text{ } ^\circ K/W
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} R_{total} &= R_{konduksi} + R_{konveksi} \\ &= (0,0036821153 + 4,9735922148) \text{ } ^\circ\text{K/W} \\ &= 4,978339287 \text{ } ^\circ\text{K/W} \end{aligned}$$

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. $^\circ$ K (*sumber: Stoecker, Hal: 24)

$$\begin{aligned} R_{konduksi} &= \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi \cdot L \cdot k} \\ &= \frac{\ln\left[\frac{(3,75 \times 10^{-3})}{(2,75 \times 10^{-3})}\right] m}{2\pi \cdot (25 \times 10^{-3}) m \cdot 386 \text{ W/m.}^\circ\text{K}} \\ &= 0,0051178992 \text{ } ^\circ\text{K/W} \end{aligned}$$

- 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 W/m. $^\circ$ K (*sumber: Stoecker, hal: 26)

Nilai h_2 diasumsikan sebesar 8 W/m. $^\circ$ K.

$$\begin{aligned} A_2 &= 2\pi \cdot r_2 \cdot l \\ &= 2\pi \cdot (3,75 \times 10^{-3}) \cdot (25 \times 10^{-3}) \\ &= 0,0005890486 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

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

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

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

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 W/m.°K (*sumber: Stoecker, Hal: 24)

$$\begin{aligned}
 R_{konduksi} &= \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi \cdot L \cdot k} \\
 &= \frac{\ln\left[\frac{(4 \times 10^{-3})}{(3 \times 10^{-3})}\right] \text{ m}}{2\pi \cdot (25 \times 10^{-3}) \text{ m} \cdot 386 \text{ W/m} \cdot \text{°K}} \\
 &= 0,0047470722 \text{ °K/W}
 \end{aligned}$$

- 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 W/m.°K (*sumber: Stoecker, hal: 26)

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

$$\begin{aligned}
 A_2 &= 2\pi \cdot r_2 \cdot l \\
 &= 2\pi \cdot (4 \times 10^{-3}) \cdot (25 \times 10^{-3}) \\
 &= 0,0006283185 \text{ m}^2 \\
 R_{konveksi} &= \frac{1}{A \cdot h} \\
 &= \frac{1}{0,0006283185 \text{ m}^2 \cdot \left(\frac{8}{0,025}\right) \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}} \\
 &= 5,75529869632
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan beban hambatan *thermal* perpindahan panas keseluruhan

$$\begin{aligned}
 R_{total} &= R_{konduksi} + R_{konveksi} \\
 &= (0,0047470722 + 5,75529869632) \text{ } ^\circ\text{K/W} \\
 &= 5,758980812 \text{ } ^\circ\text{K/W}
 \end{aligned}$$

D. Perhitungan Beban Hambatan *Thermal* Perpindahan Panas Pada *Combustor* 11 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)

$$\begin{aligned}
 R_{konduksi} &= \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi \cdot L \cdot k} \\
 &= \frac{\ln\left[\frac{(7,5 \times 10^{-3})}{(5,5 \times 10^{-3})}\right] \text{ m}}{2\pi \cdot (50 \times 10^{-3}) \text{ m} \cdot 386 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{K}} \\
 &= 0,0025589496 \text{ } ^\circ\text{K/W}
 \end{aligned}$$

- 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 W/m.°K

(*sumber: Stoecker, hal: 26)

Nilai h diasumsikan sebesar 8 W/m.°K.

$$\begin{aligned}
 A_2 &= 2\pi \cdot r_2 \cdot l \\
 &= 2\pi \cdot (7,5 \times 10^{-3}) \cdot (50 \times 10^{-3}) \\
 &= 0,0023561945 \text{ m}^2 \\
 R_{konveksi} &= \frac{1}{A \cdot h} \\
 &= \frac{1}{0,0023561945 \text{ m}^2 \cdot \left(\frac{8}{0,05}\right) \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}} \\
 &= 23,4051383 \text{ °K/W}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 R_{total} &= R_{konduksi} + R_{konveksi} \\
 &= (0,0025589496 + 23,4051383) \text{ °K/W} \\
 &= 23,4073516262 \text{ °K/W}
 \end{aligned}$$

E. Perhitungan Beban Hambatan *Thermal* Perpindahan Panas Pada *Combustor* 12 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.°K (*sumber: Stoecker,

Hal: 24)

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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\ln \left[\frac{(8 \times 10^{-3})}{(6 \times 10^{-3})} \right] m}{2\pi \cdot (50 \times 10^{-3}) m \cdot 386 W/m \cdot ^\circ K} \\
 &= 0,0023735361 \text{ } ^\circ K/W
 \end{aligned}$$

- 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 W/m.²°K

(*sumber: Stoecker, hal: 26)

Nilai h diasumsikan sebesar 8 W/m.²°K.

$$\begin{aligned}
 A_2 &= 2\pi \cdot r_2 \cdot l \\
 &= 2\pi \cdot (8 \times 10^{-3}) \cdot (50 \times 10^{-3}) \\
 &= 0,0025132741 m^2 \\
 R_{konveksi} &= \frac{1}{A \cdot h} \\
 &= \frac{1}{0,0025132741 m^2 \cdot \left(\frac{8}{0,05}\right) W/m^2 \cdot ^\circ K} \\
 &= 24,867960084 \text{ } ^\circ K/W
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 R_{total} &= R_{konduksi} + R_{konveksi} \\
 &= (0,0023735361 + 24,867960084) \text{ } ^\circ K/W \\
 &= 24,8703336201 \text{ } ^\circ K/W
 \end{aligned}$$

F. Perhitungan Beban Hambatan *Thermal* Perpindahan Panas Pada *Combustor* 13 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.°K (*sumber: Stoecker, Hal: 24)

$$\begin{aligned}
 R_{konduksi} &= \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi \cdot L \cdot k} \\
 &= \frac{\ln\left[\frac{(8,5 \times 10^{-3})}{(6,5 \times 10^{-3})}\right] m}{2\pi \cdot (50 \times 10^{-3}) m \cdot 386 W/m \cdot ^\circ K} \\
 &= 0,0022133262 \text{ } ^\circ K/W
 \end{aligned}$$

- 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 W/m.°K (*sumber: Stoecker, hal: 26)

Nilai h diasumsikan sebesar 8 W/m.°K.

$$\begin{aligned}
 A_2 &= 2\pi \cdot r_2 \cdot l \\
 &= 2\pi \cdot (8,5 \times 10^{-3}) \cdot (50 \times 10^{-3}) \\
 &= 0,0026703538 m^2 \\
 R_{konveksi} &= \frac{1}{A \cdot h} \\
 &= \frac{1}{0,0026703538 m^2 \cdot \left(\frac{8}{0,05}\right) W/m^2 \cdot ^\circ K} \\
 &= 26,525823738 \text{ } ^\circ K/W
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan beban hambatan *thermal* perpindahan panas keseluruhan

$$\begin{aligned}
 R_{total} &= R_{konduksi} + R_{konveksi} \\
 &= (0,0022133262 + 26,525823738) \text{ } ^\circ\text{K/W} \\
 &= 26,5283826876 \text{ } ^\circ\text{K/W}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut:

Diameter <i>Combustor</i> (mm)	Hambatan <i>Thermal</i> ($^\circ\text{K/W}$)
5	4,978339287
5,5	5,310282872
6	5,758980812
11	23,4073516262
12	24,8703336201
13	26,5283826876

2. Perhitungan Energi *Input*

Diketahui energi kalor dari reaksi pembakaran:

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

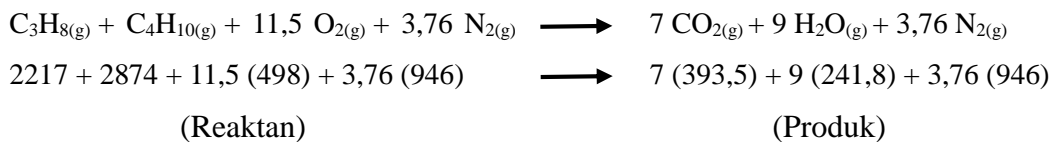
$$\text{C}_4\text{H}_{10} = 2874 \text{ Kj/mol}$$

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

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

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

$$\text{H}_2\text{O}_{(g)} = 241,8 \text{ Kj/mol}$$



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

$$\Delta H_R = E_1 R - E_1 P$$

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

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

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

$$= 5887,3 \text{ Kj/mol}$$

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

3. 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°C

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \frac{\Delta T}{R_{total}} \\ \dot{Q} &= \frac{(T_{api} - T_{lingkungan}) + 273}{R_{total}} \\ &= \frac{(815,7175926 - 30)^\circ\text{C} + 273}{4,978339287 \text{ }^\circ\text{K/W}} \\ &= \frac{1058,7175926 \text{ }^\circ\text{K}}{4,978339287 \text{ }^\circ\text{K/W}} \\ &= 212,6648128151 \text{ W} \\ \dot{Q} &= 212,66 \text{ W} \end{aligned}$$

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

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

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{total}}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{Q} &= \frac{(T_{api} - T_{udara\ ambien}) + 273}{R_{total}} \\
 &= \frac{(719,6418518 - 30)^{\circ}C + 273}{5,310282872 \text{ }^{\circ}K/W} \\
 &= \frac{962,6418518 \text{ }^{\circ}K}{5,310282872 \text{ }^{\circ}K/W} \\
 &= 181,278827325 \text{ W} \\
 \dot{Q} &= 181,28 \text{ W}
 \end{aligned}$$

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

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

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

d. Perhitungan energi *output* pembakaran pada combustor 11 mm

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

$$\begin{aligned}
 \dot{Q} &= \frac{\Delta T}{R_{total}} \\
 \dot{Q} &= \frac{(T_{api} - T_{udara\ ambien}) + 273}{R_{total}} \\
 &= \frac{(644,6288889 - 30)^{\circ}C + 273}{23,4073516262 \text{ }^{\circ}K/W}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{887,6288889 \text{ } ^\circ K}{23,4073516262 \text{ } ^\circ K/W} \\
 &= 37,9209447987 \text{ W} \\
 \dot{Q} &= 37,92 \text{ W}
 \end{aligned}$$

e. Perhitungan energi *output* pembakaran pada combustor 12 mm

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

$$\begin{aligned}
 \dot{Q} &= \frac{\Delta T}{R_{total}} \\
 \dot{Q} &= \frac{(T_{api} - T_{udara ambien}) + 273}{R_{total}} \\
 &= \frac{(592,7005555 - 30)^\circ C + 273}{24,8703336201 \text{ } ^\circ K/W} \\
 &= \frac{835,7005555 \text{ } ^\circ K}{24,8703336201 \text{ } ^\circ K/W} \\
 &= 33,6023057939 \text{ W} \\
 \dot{Q} &= 33,60 \text{ W}
 \end{aligned}$$

f. Perhitungan energi *output* pembakaran pada combustor 13 mm

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

$$\begin{aligned}
 \dot{Q} &= \frac{\Delta T}{R_{total}} \\
 \dot{Q} &= \frac{(T_{api} - T_{udara ambien}) + 273}{R_{total}} \\
 &= \frac{(631,4905556 - 30)^\circ C + 273}{26,5283826876 \text{ } ^\circ K/W} \\
 &= \frac{874,4905556 \text{ } ^\circ K}{26,5283826876 \text{ } ^\circ K/W} \\
 &= 32,964337325 \text{ W} \\
 \dot{Q} &= 32,96 \text{ W}
 \end{aligned}$$

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

No	Diameter Combustor (mm)	Energi Output Pembakaran (Watt)
1	5	212,66
2	5,5	181,28
3	6	180,54
4	11	37,92
5	12	33,60
6	13	32,96

4. Perhitungan Energi Output Pada Dinding Luar Combustor

A. Perhitungan Energi Output Pada Dinding Luar Combustor Skala Meso

a. Perhitungan energi output pada dinding luar combustor 5 mm

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

$$\begin{aligned}
 \Delta x &= 12,5 \text{ mm} \\
 &= 0,0125 \text{ m}
 \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned}
 \dot{Q}_{AB} &= -386 \text{ W/m} \cdot \text{°K} \cdot 0,0002748893 \text{ m}^2 \cdot \frac{\{(201,0503704 - 170,387037)\text{°C} + 273\}\text{°K}}{0,0125 \text{ m}} \\
 &= 2772,1021487258 \text{ W}
 \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned}
 \dot{Q}_{BC} &= -386 \text{ W/m} \cdot \text{°K} \cdot 0,0002748893 \text{ m}^2 \cdot \frac{\{(170,387037 - 138,5253704)\text{°C} + 273\}\text{°K}}{0,0125 \text{ m}} \\
 &= 2841,7408770116 \text{ W}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{Q}_{AC} &= \dot{Q}_{AB} + \dot{Q}_{BC} \\
 &= (2772,1021487258 + 2841,7408770116) \text{ W} \\
 &= 5613,8430257374 \text{ W} \\
 &= 5613,84 \text{ W}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 A &= 2\pi \cdot r \cdot l \\
 &= 2\pi \cdot (3,75 \times 10^{-3}) \cdot (12,5 \times 10^{-3}) \\
 &= 0,0002945243 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta x &= 12,5 \text{ mm} \\
 &= 0,0125 \text{ m}
 \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned}
 \dot{Q}_{AB} &= -386 \text{ W/m} \cdot \text{°K} \cdot 0,0002945243 \text{ m}^2 \cdot \frac{\{(165,3553704 - 141,0085185)\text{°C} + 273\}\text{°K}}{0,0125 \text{ m}} \\
 &= 2704,342970995 \text{ W}
 \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned}
 \dot{Q}_{BC} &= -386 \text{ W/m} \cdot \text{°K} \cdot 0,0002945243 \text{ m}^2 \cdot \frac{\{(141,0085185 - 121,0983333)\text{°C} + 273\}\text{°K}}{0,0125 \text{ m}} \\
 &= 2663,9918849548 \text{ W}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{Q}_{AC} &= \dot{Q}_{AB} + \dot{Q}_{BC} \\
 &= (2704,342970995 + 2663,9918849548) \text{ W} \\
 &= 5368,3348559498 \text{ W} \\
 &= 5368,33 \text{ W}
 \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned} \Delta x &= 12,5 \text{ mm} \\ &= 0,0125 \text{ m} \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{AB} &= -386 \text{ W/m} \cdot \text{°K} \cdot 0,0003141593 \text{ m}^2 \cdot \frac{\{(145,397037 - 132,6498148)\text{°C} + 273\}\text{°K}}{0,0125 \text{ m}} \\ &= 2577,6709796353 \text{ W} \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{BC} &= -386 \text{ W/m} \cdot \text{°K} \cdot 0,0003141593 \text{ m}^2 \cdot \frac{\{(132,6498148 - 112,7242593)\text{°C} + 273\}\text{°K}}{0,0125 \text{ m}} \\ &= 2587,8431287683 \text{ W} \end{aligned}$$

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

$$= (2577,6709796353 + 2587,8431287683) \text{ W}$$

$$= 5165,5141084036 \text{ W}$$

$$= 5165,51 \text{ W}$$

B. Perhitungan Energi *Output* Pada Dinding Luar *Combustor* Skala Makro

a. Perhitungan energi *output* pada dinding luar *combustor* 11 mm

$$\begin{aligned} A &= 2\pi \cdot r \cdot l \\ &= 2\pi \cdot (7,5 \times 10^{-3}) \cdot (25 \times 10^{-3}) \\ &= 0,0011780972 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta x &= 25 \text{ mm} \\ &= 0,025 \text{ m} \end{aligned}$$

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

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

$$\dot{Q}_{AB} = -386 \text{ W/m} \cdot \text{°K} \cdot 0,0011780972 \text{ m}^2 \cdot \frac{\{(58,60017989 - 55,48242086)\text{°C} + 273\}\text{°K}}{0,025 \text{ m}}$$

$$567,6132085923 \text{ W}$$

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

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

$$\dot{Q}_{BC} = -386 \text{ W/m} \cdot \text{°K} \cdot 0,0011780972 \text{ m}^2 \cdot \frac{\{(55,48242086 - 51,72481482)\text{°C} + 273\}\text{°K}}{0,025 \text{ m}}$$

$$574,6811445295 \text{ W}$$

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

$$= (567,6132085923 + 574,6811445295) \text{ W}$$

$$= 1142,2943531218 \text{ W}$$

$$= 1142,29 \text{ W}$$

b. Perhitungan energi *output* pada dinding luar *combustor* 12 mm

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

$$= 2\pi \cdot (8 \times 10^{-3}) \cdot (25 \times 10^{-3})$$

$$= 0,0012566371 \text{ m}^2$$

$$\Delta x = 25 \text{ mm}$$

$$= 0,025 \text{ m}$$

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

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

$$\dot{Q}_{AB} = -386 \text{ W/m} \cdot \text{°K} \cdot 0,0012566371 \text{ m}^2 \cdot \frac{\{(67,62759259 - 57,06)\text{°C} + 273\}\text{°K}}{0,025 \text{ m}}$$

$$= 550,1913643265 \text{ W}$$

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

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

$$\dot{Q}_{BC} = -386 \text{ W/m} \cdot \text{°K} \cdot 0,0012566371 \text{ m}^2 \cdot \frac{\{(57,06 - 49,63925926)^\circ\text{C} + 273\}^\circ\text{K}}{0,025 \text{ m}}$$

$$= 544,0856923177 \text{ W}$$

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

$$= (550,1913643265 + 544,0856923177) \text{ W}$$

$$= 1094,2770566442 \text{ W}$$

$$= 1094,28 \text{ W}$$

c. Perhitungan energi *output* pada dinding luar *combustor* 13 mm

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

$$= 2\pi \cdot (8,5 \times 10^{-3}) \cdot (50 \times 10^{-3})$$

$$= 0,0013351769 \text{ m}^2$$

$$\Delta x = 25 \text{ mm}$$

$$= 0,025 \text{ m}$$

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

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

$$\dot{Q}_{AB} = -386 \text{ W/m} \cdot \text{°K} \cdot 0,0013351769 \text{ m}^2 \cdot \frac{\{(60,47222222 - 58,13407407)^\circ\text{C} + 273\}^\circ\text{K}}{0,025 \text{ m}}$$

$$= 502,2532547618 \text{ W}$$

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

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

$$\dot{Q}_{BC} = -386 \text{ W/m} \cdot \text{°K} \cdot 0,0013351769 \text{ m}^2 \cdot \frac{\{(58,13407407 - 52,36740741)^\circ\text{C} + 273\}^\circ\text{K}}{0,025 \text{ m}}$$

$$= 503,4171250048 \text{ W}$$

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{AC} &= \dot{Q}_{AB} + \dot{Q}_{BC} \\ &= (502,2532547618 + 503,4171250048) \text{ W} \\ &= 1005,6703797666 \text{ W} \\ &= 1005,67 \text{ W}\end{aligned}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut:

Diameter Combustor (mm)	\dot{Q}_{AB} (Watt)	\dot{Q}_{BC} (Watt)	\dot{Q}_{AC} (Watt)
5	2772,10	2841,74	5613,84
5,5	2704,34	2663,99	5368,33
6	2577,67	2587,84	5165,51
11	567,61	574,68	1142,29
12	550,19	544,09	1094,28
13	502,25	503,42	1005,67

5. Perhitungan Energi Output Total

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

Dari proses penjumlahan diperoleh hasil sebagai berikut:

Diameter Combustor (mm)	Energi Output Pembakaran (Watt)	\dot{Q}_{AC} (Watt)	Energi Output Total (Watt)
5	212,66	5613,84	5826,50
5,5	181,28	5368,33	5549,61
6	180,54	5165,51	5346,05
11	37,92	1142,29	1180,21
12	33,60	1094,28	1127,88
13	32,96	1005,67	1038,63

6. Perhitungan Efisiensi Pembakaran (η)

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

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

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

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

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

d. Perhitungan efisiensi pembakaran *combustor* 11 mm

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

$$\eta = \frac{1180,21}{-5887,3} \times 100 \%$$

$$\eta = 20,0467107163 \%$$

$$\eta = 20,05 \%$$

e. Perhitungan efisiensi pembakaran *combustor* 12 mm

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

$$\eta = \frac{1127,88}{-5887,3} \times 100 \%$$

$$\eta = 19,1578482496 \%$$

$$\eta = 19,16 \%$$

f. Perhitungan efisiensi pembakaran *combustor* 13 mm

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

$$\eta = \frac{1038,63}{-5887,3} \times 100 \%$$

$$\eta = 17,6418731847 \%$$

$$\eta = 17,64 \%$$

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

Diameter Combustor (mm)	Energi Output Total (Watt)	Efisiensi Pembakaran (%)
5	5826,50	98,97
5,5	5549,61	94,26
6	5346,05	90,81
11	1180,21	20,05
12	1127,88	19,16
13	1038,63	17,64

LAMPIRAN B. Data Penelitian

Data pengujian *combustor* skala meso percobaan 1

1. *Combustor* 5 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	31,100	140,100	127,700	71,700
2	54,000	142,800	128,800	73,100
3	74,700	144,100	129,200	74,200
4	200,300	146,400	130,400	75,200
5	368,700	149,700	130,700	76,000
6	378,800	151,100	131,100	77,000
7	389,800	151,200	131,400	77,900
8	481,500	151,400	132,000	78,500
9	500,000	151,500	132,000	79,700
10	568,700	151,500	132,500	80,500
11	570,500	151,700	132,600	81,400
12	621,600	151,800	133,400	82,100
13	665,700	152,900	133,900	83,100
14	669,500	153,200	134,800	83,900
15	670,000	153,900	134,800	84,600
16	686,200	153,900	135,400	85,500
17	697,700	154,300	135,400	86,100
18	701,200	154,300	136,200	86,700
19	750,100	154,400	136,200	87,700
20	758,800	155,000	137,100	88,400
21	768,900	155,000	137,100	89,000
22	774,800	155,500	137,400	89,700
23	775,000	155,500	137,800	90,200
24	776,700	155,500	137,800	91,000
25	806,800	155,800	138,400	91,600
26	814,100	155,800	138,500	91,700
27	822,300	156,100	138,900	91,800
28	824,100	156,800	140,000	92,000
29	31,100	140,100	127,700	71,700

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
30	829,900	157,500	140,100	92,300
31	830,900	158,200	141,100	92,500
32	835,500	158,400	141,100	92,600
33	841,600	159,500	141,200	93,000
34	843,600	159,700	142,100	93,100
35	849,400	160,300	142,100	93,300
36	853,200	161,000	142,400	93,500
37	854,300	161,500	143,000	93,500
38	857,200	161,800	143,200	93,600
39	859,800	162,200	143,300	93,700
40	860,000	162,600	143,800	93,800
41	862,300	162,900	144,200	94,000
42	864,000	163,200	144,500	94,100
43	865,100	163,300	144,600	94,500
44	867,000	163,400	145,100	94,500
45	870,400	163,800	145,600	95,100
46	870,800	163,900	145,700	95,100
47	872,000	164,700	146,100	95,600
48	873,700	165,800	147,100	96,300
49	876,400	166,300	147,400	96,500
50	883,400	166,300	147,500	96,800
51	884,900	166,300	147,800	97,000
52	885,400	166,800	148,500	97,200
53	889,200	167,300	148,700	97,500
54	890,200	167,400	148,700	97,800
55	893,800	167,500	149,400	97,800
56	895,500	167,600	149,700	98,200
57	896,100	167,900	149,700	98,400
58	896,400	168,200	150,500	98,700
59	897,800	169,100	151,200	99,400
60	900,800	169,200	151,500	99,600
61	901,300	169,200	151,900	99,600
62	903,000	170,100	151,900	100,000
63	903,200	170,200	152,300	100,000

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
64	904,100	170,700	152,500	100,100
65	905,000	171,300	153,200	100,400
66	905,600	171,600	153,200	100,600
67	906,600	172,000	154,000	100,800
68	906,700	172,300	154,100	101,000
69	906,800	172,400	154,400	101,100
70	907,200	172,600	154,700	101,200
71	907,700	173,400	155,000	101,200
72	907,800	173,800	155,100	101,600
73	908,400	174,600	155,500	101,800
74	909,100	175,200	155,500	102,000
75	909,400	175,400	155,800	102,100
76	910,400	175,700	156,100	102,300
77	910,700	175,800	156,100	102,400
78	911,100	176,200	156,400	102,600
79	912,700	176,900	156,700	102,800
80	914,100	177,000	156,700	103,000
81	914,600	177,200	157,000	103,000
82	915,000	177,400	157,000	103,200
83	917,100	177,600	157,100	103,300
84	918,700	177,900	157,500	103,400
85	920,300	178,000	157,700	103,900
86	921,800	178,300	157,800	104,000
87	922,300	178,300	157,800	104,000
88	922,500	178,500	158,000	104,200
89	923,200	178,900	158,100	104,200
90	923,800	179,000	158,300	104,300
91	923,900	179,300	158,500	104,400
92	923,900	179,600	158,500	104,500
93	924,000	179,700	158,500	104,600
94	924,100	179,800	158,700	104,700
95	925,800	180,000	158,800	104,700
96	926,000	180,100	158,900	105,000
97	926,500	180,100	159,000	105,100

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
98	928,500	180,400	159,200	105,200
99	929,300	180,500	159,300	105,400
100	929,400	180,600	159,500	105,500
101	930,100	180,600	159,600	105,600
102	930,400	180,700	159,600	105,600
103	931,000	180,700	160,000	105,700
104	933,700	180,800	160,300	105,700
105	935,300	181,000	160,500	106,100
106	936,000	181,000	160,800	106,400
107	936,300	181,100	160,900	106,500
108	937,500	181,200	161,100	106,500
109	937,900	181,300	161,400	106,600
110	938,400	181,300	161,400	106,800
111	939,800	181,400	161,700	107,000
112	940,800	181,400	161,800	107,000
113	942,500	181,700	162,100	107,200
114	943,000	181,800	162,200	107,300
115	943,100	182,000	162,200	107,500
116	944,500	182,000	162,400	107,800
117	946,900	182,200	162,600	107,900
118	949,100	182,300	163,600	108,400
119	950,800	182,400	164,100	108,700
120	952,800	182,500	164,700	108,800
121	953,300	182,700	164,700	108,800
122	955,300	182,700	165,100	109,000
123	956,200	182,900	165,500	109,200
124	959,900	182,900	165,600	109,300
125	960,200	183,000	166,100	109,300
126	960,800	183,000	166,100	109,300
127	965,500	183,000	166,500	109,300
128	967,000	183,000	166,500	109,400
129	967,800	183,100	166,500	109,400
130	968,200	183,100	166,500	109,500
131	969,500	183,100	166,600	109,500

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
132	972,700	183,100	166,600	109,600
133	976,000	183,200	166,600	109,800
134	982,400	183,300	166,800	109,800
135	982,800	183,300	166,900	109,900
136	991,600	183,400	167,200	109,900
137	995,200	183,400	167,600	110,000
138	999,700	183,400	167,700	110,200
139	1007,600	183,400	168,000	110,200
140	1009,000	183,500	168,400	110,300
141	1011,500	183,500	168,800	110,400
142	1015,100	183,600	168,800	110,600
143	1018,300	183,900	169,200	110,700
144	1021,400	183,900	169,200	110,700
145	1022,400	183,900	169,200	110,800
146	1023,800	184,000	169,300	110,800
147	1026,100	184,000	169,400	110,800
148	1027,100	184,000	169,600	110,800
149	1030,500	184,100	169,900	111,000
150	1031,000	184,100	170,300	111,200
151	1035,600	184,100	170,500	111,200
152	1036,500	184,200	170,600	111,300
153	1036,800	184,300	170,900	111,400
154	1038,100	184,300	171,100	111,500
155	1038,400	184,400	171,200	111,800
156	1040,100	184,500	171,400	111,800
157	1041,500	184,500	171,500	112,000
158	1044,500	184,500	171,500	112,200
159	1044,700	184,500	171,600	112,400
160	1045,000	184,600	171,800	112,400
161	1046,500	184,700	171,800	112,500
162	1051,100	184,800	171,900	112,700
163	1052,200	184,800	172,000	112,800
164	1053,700	184,900	172,000	112,900
165	1055,000	185,000	172,000	113,100

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
166	1058,800	185,000	172,000	113,100
167	1061,400	185,100	172,100	113,200
168	1062,300	185,400	172,100	113,300
169	1067,000	185,500	172,100	113,500
170	1067,400	185,500	172,100	113,500
171	1067,800	185,800	172,100	113,600
172	1070,900	185,900	172,100	113,600
173	1072,300	186,100	172,200	113,700
174	1073,200	186,100	172,200	113,800
175	1074,600	186,200	172,300	113,800
176	1078,300	186,500	172,300	114,000
177	1079,100	187,100	172,400	114,000
178	1090,000	187,200	172,500	114,000
179	1090,200	187,600	172,500	114,000
180	1095,400	188,200	172,500	114,100

2. *Combustor* 5,5 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	34,800	38,100	34,500	35,200
2	35,900	38,400	35,000	38,600
3	36,500	38,400	38,100	38,700
4	37,100	38,400	38,100	38,700
5	44,800	38,500	38,200	38,700
6	314,300	44,900	39,300	38,800
7	345,900	48,200	40,100	39,000
8	384,200	52,400	44,300	41,700
9	463,500	64,600	54,000	50,900
10	492,000	74,100	64,400	60,100
11	509,300	78,700	67,500	62,300
12	553,500	85,400	74,000	66,100
13	569,900	90,800	79,700	71,300
14	573,400	97,000	84,900	75,500
15	579,200	102,500	89,500	78,300

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5,5 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
16	582,800	106,000	92,700	82,100
17	583,100	110,900	97,500	86,200
18	586,100	114,800	100,700	87,700
19	586,700	118,200	103,400	89,300
20	588,100	120,600	105,500	91,100
21	589,900	139,900	108,100	91,400
22	592,900	142,200	112,300	93,700
23	593,800	146,500	116,000	94,000
24	601,700	147,500	118,700	95,100
25	609,300	148,500	120,500	96,600
26	610,600	150,800	120,800	97,100
27	617,000	153,100	124,500	98,900
28	619,700	155,100	126,000	100,500
29	621,300	156,700	128,100	101,000
30	622,300	158,300	129,800	104,000
31	626,400	159,800	131,200	105,100
32	632,900	163,700	134,400	107,700
33	634,700	176,600	144,600	121,800
34	635,400	176,600	144,600	122,300
35	637,800	177,300	144,800	122,700
36	641,700	177,400	145,300	122,800
37	643,600	177,500	145,600	122,800
38	647,200	177,700	146,400	123,000
39	648,400	178,800	147,100	123,000
40	650,000	179,000	148,300	123,000
41	651,100	179,500	148,700	123,200
42	652,200	179,700	150,200	123,200
43	652,500	180,400	150,900	123,700
44	655,000	180,500	151,200	123,700
45	656,900	180,600	151,400	124,100
46	657,600	180,800	151,800	124,200
47	658,300	180,800	151,900	124,500
48	662,800	181,200	152,500	125,000
49	663,400	181,200	152,500	125,200

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5,5 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
50	663,800	181,400	152,800	125,200
51	664,100	181,400	153,200	125,400
52	665,000	182,000	153,200	125,700
53	665,100	182,800	153,200	126,000
54	666,000	182,800	153,400	126,000
55	668,800	182,800	153,400	126,200
56	669,100	182,900	153,500	126,700
57	669,700	183,000	153,500	126,700
58	670,100	183,200	153,600	127,300
59	670,700	183,200	153,700	127,500
60	671,500	183,200	153,700	127,700
61	671,600	183,500	153,800	127,700
62	671,700	183,700	153,800	127,800
63	672,400	183,700	153,800	127,800
64	672,500	184,300	153,800	127,900
65	674,000	184,300	153,800	128,000
66	675,600	184,300	153,900	128,000
67	676,900	184,500	153,900	128,000
68	678,700	184,900	153,900	128,000
69	680,100	185,200	154,000	128,000
70	680,500	185,400	154,000	128,000
71	691,200	185,500	154,000	128,100
72	691,900	185,800	154,200	128,100
73	693,200	186,000	154,200	128,200
74	693,300	186,200	154,300	128,400
75	693,700	186,400	154,300	128,400
76	694,900	186,400	154,300	128,400
77	696,100	186,500	154,400	128,400
78	696,300	186,500	154,500	128,400
79	697,000	186,500	154,500	128,500
80	698,500	186,500	154,500	128,500
81	699,800	186,600	154,500	128,500
82	700,000	186,600	154,600	128,500
83	700,200	186,900	154,700	128,500

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5,5 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
84	701,300	187,000	154,700	128,500
85	701,700	187,100	154,700	128,500
86	701,800	187,100	154,700	128,500
87	702,200	187,100	154,800	128,500
88	702,200	187,300	154,800	128,600
89	702,700	187,300	154,800	128,700
90	702,800	187,500	154,900	128,700
91	703,000	187,500	154,900	128,700
92	703,800	187,500	154,900	128,800
93	704,100	187,500	155,000	128,800
94	704,400	187,600	155,000	128,800
95	704,700	187,600	155,100	128,900
96	704,800	187,700	155,100	129,000
97	704,900	187,700	155,100	129,000
98	705,200	187,700	155,100	129,000
99	705,300	187,700	155,100	129,100
100	705,500	187,800	155,100	129,100
101	705,600	187,800	155,200	129,100
102	705,700	187,800	155,200	129,200
103	705,800	187,800	155,200	129,200
104	705,900	188,000	155,300	129,300
105	706,100	188,000	155,400	129,400
106	706,200	188,000	155,400	129,400
107	706,300	188,000	155,400	129,500
108	706,400	188,000	155,400	129,500
109	706,500	188,000	155,500	129,500
110	706,800	188,200	155,700	129,500
111	707,100	188,200	155,700	129,800
112	707,200	188,200	155,800	129,900
113	707,500	188,200	155,800	129,900
114	707,700	188,200	155,800	129,900
115	707,800	188,300	155,800	129,900
116	708,000	188,300	155,800	129,900
117	708,200	188,400	155,900	129,900

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5,5 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
118	708,500	188,400	156,000	130,000
119	708,700	188,400	156,000	130,000
120	708,800	188,500	156,100	130,100
121	708,900	188,600	156,100	130,100
122	709,100	188,700	156,100	130,100
123	709,200	188,700	156,200	130,200
124	709,300	188,800	156,200	130,200
125	709,400	188,800	156,200	130,200
126	709,500	188,800	156,300	130,200
127	709,600	188,800	156,300	130,300
128	709,800	189,100	156,400	130,400
129	710,000	189,200	156,400	130,400
130	710,100	189,400	156,400	130,400
131	710,200	189,500	156,500	130,500
132	710,400	189,500	156,500	130,500
133	710,500	189,700	156,600	130,500
134	710,600	189,800	156,700	130,500
135	710,800	189,900	156,800	130,500
136	711,300	190,000	156,800	130,600
137	711,400	190,100	156,900	130,600
138	711,500	190,100	157,000	130,700
139	712,000	190,200	157,000	130,700
140	712,100	190,200	157,000	130,700
141	712,300	190,200	157,100	130,800
142	712,700	190,200	157,200	130,800
143	713,100	190,300	157,200	130,800
144	713,400	190,400	157,300	131,000
145	713,500	190,400	157,400	131,100
146	713,600	190,400	157,400	131,100
147	715,500	190,500	157,400	131,100
148	716,300	190,500	157,400	131,100
149	718,900	190,500	157,500	131,100
150	719,200	190,500	157,500	131,200
151	723,900	190,600	157,500	131,200

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5,5 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
152	726,000	190,700	157,500	131,200
153	730,800	190,700	157,600	131,200
154	732,600	190,700	157,600	131,300
155	737,400	190,800	157,600	131,300
156	738,200	191,000	157,600	131,300
157	739,500	191,100	157,700	131,300
158	740,100	191,900	157,700	131,300
159	740,200	191,900	157,700	131,400
160	741,100	192,000	157,800	131,400
161	742,000	192,000	157,800	131,500
162	743,900	192,100	157,800	131,500
163	744,000	192,100	157,800	131,500
164	745,300	192,300	157,900	131,500
165	748,100	192,300	158,000	131,500
166	748,200	192,300	158,100	131,500
167	749,000	192,500	158,100	131,600
168	755,200	192,500	158,200	131,600
169	758,400	192,500	158,400	131,600
170	761,600	192,600	158,400	131,600
171	793,200	192,600	158,500	131,600
172	796,800	192,600	158,600	131,600
173	804,900	192,700	158,600	131,600
174	809,000	192,900	158,600	131,700
175	814,400	193,000	158,600	131,800
176	819,800	193,100	158,700	131,900
177	831,200	193,800	163,500	134,300
178	859,700	194,200	163,500	134,400
179	885,200	194,400	163,800	134,500
180	894,000	194,900	164,100	134,700

3. *Combustor 6 mm*

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	44,100	45,200	45,200	44,300
2	44,600	45,200	45,200	44,300
3	72,500	69,200	45,300	44,400
4	196,200	85,600	45,900	44,700
5	266,400	90,700	46,700	45,100
6	347,500	97,100	47,500	45,600
7	373,000	100,000	48,700	47,500
8	382,100	106,100	83,400	70,100
9	398,500	128,000	119,800	104,900
10	408,800	129,300	120,400	105,100
11	420,800	129,400	122,700	106,100
12	421,800	131,700	123,200	106,400
13	425,900	131,800	125,400	107,000
14	454,200	134,800	126,500	108,000
15	466,500	135,400	126,900	108,200
16	473,800	136,500	127,600	109,400
17	474,600	136,900	128,000	109,600
18	477,800	137,000	130,000	110,100
19	483,300	138,000	130,300	110,500
20	489,200	140,000	132,600	111,200
21	490,200	142,500	134,600	111,800
22	496,500	142,800	135,400	112,800
23	498,400	144,800	136,100	113,100
24	502,000	146,200	137,200	113,400
25	503,000	146,400	137,300	113,700
26	506,500	147,000	138,100	113,800
27	508,800	147,200	138,300	114,200
28	513,100	147,700	138,500	114,300
29	513,300	147,800	139,000	115,000
30	515,100	148,100	139,200	115,200
31	516,100	148,300	139,600	116,200
32	522,300	148,400	139,800	116,600
33	528,700	148,500	140,000	116,900
34	529,200	148,700	140,200	117,000

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 6 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
35	532,500	149,100	140,200	117,100
36	533,300	149,100	140,400	117,200
37	534,200	149,100	140,700	117,400
38	535,000	149,300	141,100	117,700
39	539,100	149,400	141,400	117,800
40	549,800	149,700	141,500	117,800
41	554,400	149,900	141,700	117,900
42	554,500	150,300	141,800	118,000
43	556,900	150,500	141,900	118,100
44	563,100	150,500	142,000	118,200
45	563,300	150,500	142,100	118,200
46	571,300	150,600	142,200	118,300
47	571,400	150,700	143,600	118,500
48	574,700	151,000	143,600	118,600
49	577,200	151,400	145,000	119,600
50	578,700	151,700	145,400	119,700
51	578,700	152,500	145,700	120,500
52	578,800	152,800	146,100	120,900
53	580,900	153,400	146,500	121,500
54	583,300	154,200	147,200	121,800
55	584,000	154,700	147,200	122,000
56	584,100	154,900	147,700	122,300
57	586,000	155,000	148,200	122,400
58	586,600	155,500	148,400	122,500
59	588,000	156,100	148,800	122,600
60	592,800	156,500	148,900	122,800
61	597,800	156,800	149,400	122,900
62	598,000	156,800	149,900	123,100
63	598,300	157,300	150,200	123,500
64	598,500	158,400	150,300	124,000
65	599,000	158,700	150,500	124,000
66	599,700	158,700	150,700	124,100
67	599,900	158,800	150,700	124,100
68	600,100	159,300	150,800	124,100

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 6 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
69	600,300	159,700	151,000	124,200
70	604,600	159,700	151,000	124,300
71	604,700	159,800	151,000	124,300
72	607,900	159,800	151,100	124,400
73	609,800	160,000	151,100	124,400
74	610,600	160,100	151,200	124,400
75	611,900	160,100	151,200	124,500
76	612,600	160,200	151,200	124,500
77	612,800	160,200	151,300	124,500
78	613,200	160,300	151,300	124,500
79	613,200	160,400	151,300	124,500
80	617,100	160,400	151,400	124,500
81	622,800	160,400	151,400	124,500
82	623,900	160,400	151,500	124,500
83	627,700	160,400	151,500	124,700
84	628,100	160,400	151,700	124,700
85	629,400	160,400	151,700	124,700
86	629,500	160,500	151,800	124,800
87	629,900	160,600	151,900	124,800
88	634,600	160,700	151,900	124,800
89	636,300	160,700	151,900	124,800
90	637,100	160,700	152,000	125,000
91	644,200	160,700	152,000	125,100
92	644,800	160,800	152,000	125,100
93	645,800	160,900	152,100	125,100
94	646,800	160,900	152,100	125,200
95	650,500	161,000	152,200	125,200
96	650,800	161,000	152,300	125,400
97	653,100	161,100	152,500	125,500
98	653,300	161,100	152,800	125,700
99	655,200	161,200	153,100	125,700
100	659,200	161,200	153,200	125,700
101	659,400	161,300	153,300	125,800
102	661,800	161,400	153,700	125,800

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 6 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
103	663,300	161,400	154,100	126,000
104	664,400	161,500	154,100	126,100
105	672,100	161,700	154,100	126,100
106	673,000	161,800	154,200	126,100
107	676,000	162,000	154,400	126,400
108	678,200	162,100	154,500	126,500
109	681,000	162,200	154,500	126,500
110	683,100	162,300	154,700	126,700
111	687,100	162,400	154,800	126,800
112	688,000	162,500	154,800	126,800
113	688,700	162,500	155,000	127,000
114	689,800	162,600	155,100	127,100
115	689,900	162,900	155,200	127,200
116	691,300	163,100	155,200	127,200
117	691,700	163,100	155,400	127,300
118	692,600	163,400	155,400	127,300
119	692,700	163,500	155,500	127,400
120	692,700	163,700	155,500	127,500
121	693,100	163,700	155,600	127,600
122	693,200	163,800	155,700	127,700
123	693,200	163,900	155,900	127,700
124	693,700	164,200	156,100	127,700
125	694,300	164,200	156,100	128,000
126	695,200	164,500	156,100	128,100
127	696,100	164,500	156,200	128,400
128	696,300	164,600	156,500	128,500
129	696,400	164,800	156,700	128,600
130	696,500	165,000	156,700	128,700
131	697,200	165,000	156,700	129,000
132	697,400	165,000	156,700	129,000
133	698,500	165,000	156,800	129,100
134	698,700	165,100	156,900	129,200
135	698,800	165,400	157,000	129,200
136	699,300	165,600	157,000	129,300

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 6 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
137	699,500	165,700	157,100	129,400
138	699,700	165,700	157,100	129,500
139	699,800	165,700	157,200	129,500
140	700,100	165,800	157,200	129,500
141	700,200	165,800	157,200	129,700
142	700,700	166,000	157,400	129,700
143	701,100	166,000	157,400	129,800
144	701,500	166,200	157,400	129,900
145	701,700	166,300	157,500	129,900
146	702,200	166,300	157,700	130,000
147	702,300	166,400	157,800	130,000
148	702,400	166,600	157,800	130,000
149	702,700	166,600	157,800	130,000
150	705,300	166,600	157,800	130,100
151	705,500	166,600	158,000	130,200
152	705,900	166,600	158,100	130,200
153	706,000	166,700	158,200	130,200
154	706,700	166,800	158,300	130,300
155	706,700	167,000	159,800	130,900
156	708,100	167,100	160,600	131,500
157	708,300	167,100	161,100	132,200
158	709,100	167,200	161,200	133,000
159	709,100	167,400	161,200	133,000
160	711,500	167,400	161,400	133,100
161	714,700	167,400	161,500	133,100
162	717,600	167,500	161,700	133,200
163	720,500	167,500	161,700	133,200
164	722,800	168,000	165,800	137,000
165	723,800	168,000	166,800	137,200
166	727,700	168,000	167,000	137,500
167	732,100	168,600	167,100	137,500
168	732,400	168,800	167,400	138,000
169	732,700	168,800	167,700	138,100
170	736,200	169,500	168,000	138,200

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 6 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
171	737,600	169,700	168,100	138,400
172	738,100	169,700	168,700	138,400
173	738,500	170,200	168,900	138,400
174	739,400	170,500	168,900	138,500
175	741,900	170,600	169,100	138,900
176	742,700	171,100	169,200	139,200
177	742,900	171,200	169,300	139,200
178	743,000	171,300	169,600	139,200
179	743,300	171,400	169,900	139,500
180	745,000	171,600	170,100	139,700

Data Pengujian *Combustor* Skala Meso Percobaan 2

1. *Combustor* 5 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	30,700	94,700	93,100	78,000
2	31,100	95,800	94,000	81,700
3	31,400	97,300	95,300	86,500
4	60,000	118,500	102,900	90,900
5	66,800	133,500	111,600	91,800
6	73,400	146,000	116,200	93,200
7	88,200	150,500	123,700	94,500
8	118,600	156,700	132,600	97,900
9	210,800	159,600	133,100	98,200
10	311,000	161,600	137,100	101,500
11	408,700	164,400	141,000	104,400
12	412,000	168,100	144,900	106,800
13	438,700	170,000	146,400	109,600
14	448,400	174,100	149,000	112,200
15	458,200	182,500	158,400	121,700
16	475,900	188,100	160,600	123,000
17	476,800	188,300	161,200	126,300
18	477,600	188,800	165,900	127,100
19	480,300	189,000	166,000	128,500

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
20	516,000	189,200	167,000	129,500
21	577,800	190,100	167,800	130,000
22	620,600	191,000	168,900	130,700
23	647,000	191,700	169,100	131,500
24	649,600	191,700	170,400	131,600
25	667,000	192,600	171,500	132,300
26	685,200	193,800	171,600	133,200
27	691,200	194,600	171,700	134,000
28	693,300	194,800	172,000	135,000
29	701,100	196,000	172,200	142,200
30	719,500	197,200	173,100	143,200
31	720,000	199,100	174,800	144,100
32	730,200	200,300	177,200	145,200
33	731,100	201,900	178,800	145,400
34	732,300	203,500	180,100	145,500
35	733,500	205,100	181,500	145,500
36	743,500	206,300	181,700	145,700
37	745,800	206,400	181,900	145,800
38	761,400	206,900	182,700	146,200
39	765,700	207,200	183,000	146,400
40	766,800	207,300	183,100	147,000
41	771,100	207,700	183,200	147,700
42	772,800	208,500	183,700	148,000
43	774,600	209,800	185,000	148,200
44	776,300	210,000	185,500	148,400
45	782,900	210,100	185,500	148,800
46	788,300	236,400	205,200	162,400
47	804,000	237,500	206,400	163,100
48	821,200	239,300	207,700	163,800
49	843,800	240,800	209,000	164,800
50	846,000	242,000	209,700	165,500
51	847,700	243,200	210,600	166,100
52	852,400	250,100	217,500	173,200
53	856,800	251,700	218,200	173,200

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
54	857,700	253,800	219,400	173,400
55	871,100	256,100	222,500	174,000
56	878,000	259,300	227,000	175,100
57	884,100	260,700	227,100	176,100
58	892,200	261,300	228,200	176,500
59	897,200	262,400	229,200	177,300
60	900,500	263,400	229,300	178,300
61	901,000	264,700	230,000	179,700
62	903,100	265,700	230,100	180,400
63	903,300	266,100	231,000	180,900
64	903,500	270,200	232,200	185,900
65	904,400	272,500	233,500	187,000
66	906,200	273,800	234,600	188,100
67	910,300	289,300	253,200	211,000
68	912,900	290,500	253,200	211,300
69	914,500	291,900	253,800	214,400
70	915,700	293,400	253,900	217,400
71	916,100	293,800	254,100	217,500
72	916,300	294,200	254,400	217,800
73	919,100	294,600	254,700	218,000
74	919,700	295,100	254,800	218,500
75	919,700	295,100	255,200	219,200
76	920,600	295,300	255,800	219,800
77	922,100	295,500	256,000	219,800
78	922,900	295,600	256,500	220,300
79	923,100	295,700	257,000	221,100
80	923,500	295,700	257,100	221,100
81	928,100	295,700	257,200	222,800
82	928,400	295,800	257,200	223,300
83	928,800	295,800	257,500	223,500
84	930,200	295,900	257,700	223,500
85	930,700	296,000	259,000	224,700
86	931,400	296,000	259,100	225,100
87	932,000	296,000	259,600	225,100

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
88	933,800	296,100	259,600	225,200
89	936,600	296,100	259,700	225,400
90	937,300	296,400	259,700	225,400
91	937,800	296,500	259,700	225,400
92	939,100	296,600	260,000	225,500
93	939,200	296,700	260,000	225,600
94	940,600	296,700	260,100	225,700
95	941,200	296,800	260,200	225,700
96	943,600	296,800	260,200	225,700
97	943,800	296,900	260,400	225,700
98	946,000	296,900	260,500	225,800
99	946,300	297,000	260,500	225,800
100	947,400	297,000	260,800	225,800
101	947,500	297,100	260,800	225,900
102	948,100	297,100	260,900	226,000
103	948,100	297,100	261,000	226,000
104	949,000	297,200	261,000	226,000
105	950,500	297,300	261,200	226,100
106	952,300	297,300	261,200	226,200
107	953,500	297,400	261,200	226,200
108	953,800	297,400	261,300	226,200
109	954,700	297,400	261,300	226,200
110	954,800	297,500	261,400	226,200
111	956,200	297,500	261,400	226,300
112	956,300	297,500	261,400	226,300
113	957,000	297,700	261,500	226,400
114	958,100	297,700	261,500	226,400
115	958,300	297,700	261,600	226,400
116	958,600	297,900	261,800	226,400
117	959,100	298,000	261,800	226,400
118	959,500	298,100	262,000	226,400
119	960,300	298,100	262,100	226,400
120	960,300	298,200	262,100	226,400
121	960,600	298,400	262,100	226,400

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
122	961,000	298,500	262,500	226,500
123	961,200	298,500	262,600	226,500
124	962,000	298,600	262,700	226,500
125	962,100	298,700	262,800	226,500
126	962,300	298,700	262,800	226,500
127	962,500	298,800	263,000	226,600
128	963,500	298,800	263,100	226,700
129	963,900	298,900	263,100	226,700
130	966,200	298,900	263,100	226,700
131	966,400	299,000	263,400	226,700
132	966,600	299,000	263,400	226,700
133	966,700	299,100	263,500	226,700
134	968,000	299,100	263,500	226,700
135	968,600	299,100	263,600	226,700
136	969,100	299,200	263,800	226,800
137	970,500	299,200	264,200	226,800
138	970,700	299,200	264,200	226,800
139	970,800	299,200	264,300	226,900
140	971,000	299,200	264,300	226,900
141	971,600	299,300	264,500	227,100
142	972,200	299,300	264,600	227,100
143	972,400	299,300	264,600	227,200
144	973,500	299,300	264,600	227,200
145	974,700	299,300	264,600	227,200
146	974,900	299,400	264,700	227,300
147	975,300	299,400	264,700	227,300
148	975,700	299,500	264,700	227,500
149	976,000	299,500	264,700	227,500
150	976,100	299,500	264,900	227,500
151	977,300	299,500	265,000	227,700
152	977,400	299,500	265,100	227,700
153	977,500	299,600	265,100	227,800
154	977,800	299,600	265,200	227,800
155	978,000	299,600	265,200	227,900

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
156	978,100	299,600	265,200	228,000
157	978,200	299,700	265,400	228,100
158	978,500	299,700	265,500	228,200
159	979,000	299,700	265,500	228,200
160	979,300	299,700	265,600	228,200
161	979,400	299,800	265,700	228,200
162	979,600	300,000	265,700	228,200
163	981,700	300,000	265,800	228,200
164	982,100	300,000	266,000	228,200
165	982,800	300,000	266,200	228,300
166	983,900	300,000	266,200	228,400
167	985,000	300,100	266,200	228,400
168	986,000	300,200	266,400	228,400
169	986,300	300,200	266,400	228,500
170	986,600	300,200	266,500	228,500
171	987,500	300,200	266,500	228,500
172	987,600	300,300	266,500	228,600
173	988,100	300,300	266,800	228,700
174	988,400	300,400	267,500	228,700
175	988,800	300,400	267,600	228,800
176	991,300	300,600	267,700	228,900
177	993,000	300,800	267,700	229,200
178	993,900	301,000	267,900	229,300
179	996,200	301,000	268,000	229,400
180	998,600	301,300	268,000	229,500

2. Combustor 5,5 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	34,800	38,100	34,500	35,200
2	35,900	38,400	35,000	38,600
3	36,500	38,400	38,100	38,700
4	37,100	38,400	38,100	38,700
5	44,800	38,500	38,200	38,700
6	432,600	44,900	39,300	38,800
7	450,100	48,200	40,100	39,000
8	453,900	52,400	44,300	41,700
9	463,500	64,600	54,000	50,900
10	474,600	74,100	64,400	60,100
11	492,600	78,700	67,500	62,300
12	505,500	85,400	74,000	66,100
13	505,600	90,800	79,700	71,300
14	530,000	97,000	84,900	75,500
15	546,000	102,500	89,500	78,300
16	564,900	106,000	92,700	82,100
17	566,500	110,900	97,500	86,200
18	577,800	114,800	100,700	89,300
19	581,000	117,200	103,400	91,400
20	624,800	117,400	105,000	94,000
21	646,700	118,100	105,100	94,900
22	648,700	118,200	105,500	95,100
23	650,000	119,100	105,500	95,500
24	662,200	119,300	106,400	96,300
25	665,500	120,600	107,000	96,600
26	666,000	120,800	108,200	96,900
27	672,400	123,000	108,200	97,900
28	679,800	123,500	109,200	98,500
29	689,800	124,200	110,600	98,700
30	693,700	125,700	111,200	100,000
31	704,700	126,100	111,800	100,200
32	712,400	127,400	112,000	100,800
33	716,700	128,400	113,900	102,800
34	718,800	131,300	116,100	105,000

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5,5 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
35	730,400	134,000	118,800	107,200
36	731,200	136,000	121,000	109,000
37	732,500	136,200	122,500	111,000
38	735,900	136,700	123,000	111,700
39	741,000	137,600	123,700	112,600
40	741,200	138,100	124,800	112,900
41	760,400	139,500	125,800	114,700
42	761,600	140,300	126,100	116,000
43	763,000	140,500	126,500	119,900
44	765,800	141,600	126,800	120,200
45	766,000	141,800	127,000	120,500
46	767,500	142,200	127,300	120,500
47	768,000	142,400	127,600	120,600
48	774,600	142,700	128,400	121,000
49	775,100	142,800	129,100	121,800
50	776,600	144,600	130,100	123,000
51	777,800	145,000	130,200	123,500
52	781,500	145,700	131,000	124,100
53	782,900	146,700	131,200	124,500
54	784,000	147,600	131,500	124,500
55	788,800	147,800	132,500	125,200
56	789,000	148,600	132,800	125,400
57	789,700	149,500	133,000	125,900
58	790,100	149,700	133,200	126,500
59	790,400	150,700	133,400	126,600
60	791,900	151,800	134,500	127,100
61	795,000	152,600	136,500	128,600
62	795,200	153,600	137,500	129,200
63	795,500	153,800	137,800	130,400
64	796,800	154,100	138,300	130,400
65	797,200	154,200	138,600	130,400
66	798,400	154,200	138,700	130,500
67	799,100	154,300	138,800	130,800
68	799,500	154,400	138,900	130,900

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5,5 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
69	800,200	155,000	139,200	131,200
70	800,300	155,100	139,300	131,500
71	801,800	156,600	139,500	131,800
72	802,300	156,700	139,500	132,000
73	802,700	156,900	139,800	132,200
74	802,900	157,300	140,300	132,400
75	804,000	157,500	140,700	132,600
76	804,200	158,400	141,000	133,400
77	804,600	158,700	142,500	133,800
78	804,900	159,300	142,800	134,000
79	805,100	159,700	143,500	134,200
80	805,300	159,800	143,600	134,400
81	805,400	160,100	143,900	134,500
82	805,700	160,800	144,100	134,800
83	806,000	161,200	144,200	134,800
84	806,100	161,300	144,500	135,000
85	806,400	161,700	144,800	135,200
86	806,700	162,400	145,200	135,700
87	807,500	162,500	145,400	135,800
88	807,700	163,100	145,500	136,200
89	808,800	163,500	146,100	136,500
90	809,500	164,200	147,200	137,400
91	809,700	164,200	147,400	137,700
92	810,300	164,200	147,400	137,800
93	810,400	164,200	147,600	138,000
94	811,100	164,300	147,700	138,000
95	812,000	164,400	147,800	138,100
96	812,100	164,500	147,800	138,100
97	813,500	164,500	147,900	138,100
98	814,400	164,500	148,000	138,200
99	814,700	164,500	148,000	138,300
100	815,300	164,500	148,100	138,400
101	815,700	164,600	148,200	138,900
102	815,900	164,700	148,200	139,000

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5,5 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
103	816,300	164,800	148,200	139,000
104	816,500	165,000	148,400	139,100
105	817,700	165,200	148,500	139,200
106	817,900	165,400	148,800	139,200
107	818,100	165,400	148,800	139,500
108	819,300	165,600	148,900	139,700
109	819,400	165,800	149,200	139,700
110	821,200	166,000	149,500	140,000
111	821,300	166,000	149,800	140,100
112	821,600	166,100	150,000	140,200
113	822,100	166,300	150,200	140,300
114	822,600	166,300	150,300	140,300
115	823,900	166,600	150,500	140,800
116	824,000	166,600	150,500	140,800
117	825,900	166,700	150,800	141,000
118	827,000	166,800	150,800	141,100
119	827,100	166,900	150,800	141,300
120	827,600	167,100	150,900	141,300
121	829,000	167,100	151,200	141,400
122	829,900	167,200	151,200	141,500
123	830,100	167,200	151,300	141,500
124	831,200	167,300	151,400	141,700
125	832,200	167,300	151,400	141,700
126	832,700	167,400	151,500	141,700
127	833,000	167,400	151,600	141,800
128	833,400	167,500	151,700	141,800
129	835,000	167,700	151,800	142,000
130	835,200	167,900	151,900	142,000
131	835,500	168,400	152,000	142,300
132	835,700	168,400	152,000	142,400
133	837,400	168,600	152,400	142,500
134	837,500	168,700	152,700	142,800
135	839,100	168,700	152,800	142,900
136	840,000	169,000	152,800	142,900

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5,5 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
137	841,000	169,000	152,900	142,900
138	843,000	169,000	153,000	142,900
139	844,000	169,200	153,000	143,000
140	845,100	169,300	153,000	143,100
141	845,800	169,500	153,100	143,400
142	846,200	169,500	153,100	143,400
143	846,500	170,000	153,300	143,500
144	846,600	170,000	153,500	143,600
145	846,800	170,200	153,700	143,700
146	848,200	170,200	153,800	143,700
147	848,500	170,400	153,800	143,700
148	848,700	170,500	153,900	144,100
149	848,800	170,500	154,000	144,200
150	849,900	170,700	154,100	144,200
151	850,000	170,800	154,100	144,200
152	850,300	170,900	154,200	144,500
153	850,500	171,000	154,300	144,500
154	851,800	171,000	154,700	144,700
155	852,100	171,000	154,900	144,800
156	852,300	171,300	154,900	144,900
157	852,900	171,300	155,000	145,000
158	853,200	171,400	155,200	145,100
159	853,700	171,600	155,500	145,200
160	854,400	171,700	155,500	145,200
161	854,600	171,800	155,700	145,300
162	855,700	171,800	155,700	145,400
163	858,600	172,100	156,100	145,500
164	859,700	172,200	156,200	145,700
165	859,800	172,700	156,300	145,700
166	860,000	172,800	156,500	145,800
167	860,600	172,900	156,700	145,900
168	862,100	173,000	156,700	146,100
169	863,800	173,100	156,800	146,100
170	864,400	173,200	157,100	146,100

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5,5 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
171	864,600	173,500	157,300	146,200
172	867,600	173,600	157,300	146,200
173	870,200	174,000	157,500	146,200
174	885,200	174,100	157,900	146,400
175	894,000	174,800	157,900	146,800
176	918,100	174,800	158,100	146,800
177	937,000	175,500	158,400	147,700
178	971,700	175,500	159,500	147,700
179	980,800	176,800	159,900	149,300
180	1012,300	178,300	162,000	151,100

3. *Combustor* 6 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	44,100	45,200	45,200	44,300
2	87,600	45,200	45,200	44,300
3	172,500	69,200	45,300	44,400
4	203,200	81,600	68,900	65,300
5	233,200	81,700	72,500	67,700
6	305,100	83,500	77,200	70,500
7	344,800	88,800	77,700	71,900
8	396,200	94,900	82,200	72,600
9	399,600	125,000	110,700	98,600
10	409,800	125,800	111,000	101,200
11	410,600	125,800	111,100	101,200
12	416,800	125,900	111,200	101,600
13	427,100	126,100	111,400	102,000
14	443,700	126,600	112,100	102,200
15	454,700	127,100	112,700	102,300
16	459,300	127,500	112,800	102,900
17	479,200	127,500	113,000	103,000
18	495,600	127,500	113,100	103,000
19	501,000	127,800	113,500	103,000
20	505,300	127,800	113,600	103,400
21	511,700	128,000	113,800	103,700

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 6 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
22	512,300	128,000	114,000	103,700
23	513,600	128,100	114,100	103,800
24	525,500	128,300	114,100	104,000
25	529,200	128,400	114,300	104,000
26	532,600	128,500	114,400	104,200
27	537,100	128,600	114,500	104,400
28	539,000	128,700	114,500	104,500
29	545,100	128,900	114,600	104,500
30	563,300	129,000	114,600	104,700
31	567,800	129,000	114,600	104,700
32	571,300	129,000	114,600	104,800
33	571,500	129,100	114,900	104,800
34	575,300	129,800	115,000	104,800
35	580,300	129,800	115,000	104,800
36	587,400	130,400	115,100	105,000
37	595,300	130,600	115,100	105,000
38	613,500	130,700	115,200	105,000
39	618,600	130,700	115,200	105,100
40	635,500	130,900	115,400	105,100
41	639,300	131,000	115,500	105,200
42	642,900	131,000	115,700	105,300
43	643,400	131,000	115,800	105,400
44	655,200	131,100	115,800	105,500
45	659,200	131,100	115,900	105,500
46	671,700	131,200	116,100	105,500
47	678,500	131,500	116,400	105,600
48	685,300	131,600	116,400	105,600
49	685,900	131,600	116,500	105,600
50	693,300	131,700	116,700	105,700
51	697,100	131,700	116,700	105,800
52	700,500	132,000	116,800	106,000
53	703,000	132,100	117,100	106,000
54	727,600	132,100	117,600	106,100
55	732,500	132,500	117,600	106,200

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 6 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
56	739,000	132,500	117,800	106,300
57	765,700	132,700	118,000	106,400
58	776,200	132,900	118,000	106,400
59	776,800	132,900	118,100	106,500
60	778,200	133,200	118,200	106,600
61	779,300	133,200	118,300	106,600
62	781,300	133,500	118,500	106,700
63	781,500	133,900	118,600	106,700
64	782,200	134,000	118,800	106,800
65	782,600	134,100	118,900	106,800
66	783,100	134,200	119,000	106,900
67	783,400	134,400	119,100	107,000
68	783,900	135,100	119,100	107,000
69	785,100	135,100	119,300	107,100
70	785,500	135,100	119,400	107,300
71	785,500	135,300	119,500	107,400
72	785,700	135,500	119,500	107,600
73	786,800	135,600	119,600	107,700
74	787,800	135,700	119,600	107,700
75	790,000	136,100	119,800	107,800
76	791,600	136,100	119,900	107,900
77	791,700	136,100	120,000	108,000
78	792,600	136,200	120,100	108,100
79	793,500	136,900	120,100	108,100
80	794,200	136,900	120,300	108,400
81	795,000	137,000	120,500	108,500
82	795,700	137,000	120,700	108,500
83	796,100	137,100	120,700	108,500
84	796,300	137,400	121,000	108,500
85	797,500	137,400	121,100	108,500
86	797,700	137,700	121,200	108,700
87	797,800	137,800	121,300	108,900
88	797,800	138,100	121,500	109,000
89	798,200	138,300	121,700	109,000

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 6 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
90	799,700	138,400	122,100	109,100
91	800,300	138,400	122,100	109,100
92	800,900	138,500	122,200	109,200
93	801,700	138,700	122,200	109,300
94	802,000	138,900	122,500	109,400
95	802,500	139,100	122,700	109,600
96	803,000	139,300	122,800	109,600
97	803,100	139,400	123,000	109,800
98	803,200	139,700	123,100	110,000
99	803,400	139,800	123,200	110,100
100	804,200	140,000	123,400	110,200
101	804,300	140,100	123,600	110,400
102	804,500	140,100	123,600	110,400
103	804,800	140,300	123,800	110,500
104	805,200	140,500	124,100	110,500
105	806,700	140,500	124,200	110,600
106	807,100	140,800	124,200	110,600
107	807,300	141,000	124,300	110,800
108	807,300	141,400	124,400	110,800
109	807,400	141,500	124,400	110,800
110	807,700	141,700	124,500	110,800
111	808,700	141,700	124,600	111,000
112	808,900	141,700	124,600	111,200
113	809,200	141,800	124,800	111,200
114	809,200	142,000	124,800	111,400
115	809,700	142,100	125,100	111,500
116	811,000	142,200	125,200	111,500
117	812,500	142,400	125,200	111,600
118	812,900	142,500	125,700	111,800
119	813,600	142,500	125,700	111,800
120	814,000	142,600	125,700	112,000
121	814,000	142,700	125,700	112,000
122	816,000	142,900	126,200	112,300
123	816,100	143,200	126,400	112,400

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 6 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
124	817,000	143,300	126,400	112,400
125	817,500	143,500	126,400	112,600
126	818,100	143,600	126,700	112,600
127	820,700	143,900	127,100	113,100
128	820,900	144,000	127,500	113,200
129	821,000	144,100	127,500	113,900
130	821,300	144,200	127,600	113,900
131	821,600	144,300	127,600	114,000
132	824,500	145,000	127,700	114,200
133	825,100	145,000	127,700	114,200
134	825,500	145,200	127,700	114,300
135	826,100	145,200	127,800	114,500
136	827,100	145,200	128,000	114,600
137	828,600	145,400	129,000	116,500
138	829,000	145,800	129,500	116,800
139	830,500	145,800	130,400	117,100
140	830,700	145,800	131,200	117,400
141	831,000	146,100	131,500	117,600
142	832,200	146,600	131,800	118,000
143	832,500	147,100	132,300	118,200
144	832,800	147,500	132,800	118,600
145	833,300	147,700	133,200	118,800
146	835,400	148,100	133,600	119,200
147	835,700	148,400	134,200	119,600
148	836,600	149,100	134,600	119,900
149	837,300	149,700	134,900	120,200
150	839,700	150,100	135,400	120,800
151	842,600	151,100	136,400	121,100
152	843,100	151,800	137,200	121,500
153	845,700	152,500	138,000	121,800
154	849,500	153,100	138,800	122,300
155	849,500	153,500	138,800	122,600
156	849,900	153,800	139,000	123,100
157	851,700	154,700	139,600	123,600

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 6 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
158	851,900	155,800	140,300	124,000
159	852,200	156,900	141,500	124,600
160	854,500	157,300	142,100	125,100
161	857,300	157,700	142,200	125,400
162	860,000	158,200	143,000	125,700
163	862,100	159,000	143,700	125,900
164	862,800	159,500	144,000	126,400
165	866,800	160,000	144,300	126,700
166	871,500	160,200	144,300	126,900
167	875,100	160,300	144,400	126,900
168	875,300	160,400	145,000	127,000
169	875,400	160,500	145,000	127,000
170	875,800	160,500	145,300	127,000
171	876,000	160,500	145,400	127,000
172	876,300	160,500	145,400	127,000
173	877,400	160,500	145,500	127,000
174	878,000	160,600	145,500	127,000
175	878,400	160,600	145,600	127,100
176	878,400	160,700	145,700	127,100
177	878,700	160,700	145,700	127,100
178	878,800	160,800	145,700	127,100
179	891,900	160,800	146,000	127,100
180	893,800	161,200	146,100	127,100

Data Pengujian *Combustor* Skala Meso Percobaan 3

1. *Combustor* 5 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	45,500	43,200	40,400	42,300
2	45,600	44,200	40,600	42,400
3	75,200	72,300	40,700	42,400
4	80,600	93,700	40,800	42,700
5	93,500	102,000	41,200	43,000
6	110,500	102,700	41,700	43,200
7	130,300	105,300	42,600	44,000
8	147,500	108,900	43,600	45,000
9	195,100	110,200	45,000	46,100
10	208,700	111,600	46,900	47,700
11	213,600	113,300	50,000	50,100
12	217,400	117,000	54,000	53,400
13	221,000	117,500	58,000	56,200
14	223,700	122,300	63,000	60,700
15	246,400	122,500	68,000	65,500
16	250,500	126,300	73,700	70,100
17	276,300	127,800	77,800	75,600
18	293,000	132,000	83,300	80,700
19	300,200	134,600	88,700	84,300
20	332,600	134,800	92,500	89,100
21	338,400	136,000	97,000	93,300
22	343,600	136,100	100,700	97,200
23	345,700	138,500	103,400	99,600
24	393,700	138,800	103,500	99,700
25	404,200	139,000	103,700	100,200
26	410,500	139,100	104,600	100,500
27	417,100	139,400	104,700	100,500
28	418,300	140,500	104,900	100,800
29	474,300	142,300	105,200	101,000
30	480,300	143,200	105,700	101,200
31	503,300	143,400	106,000	101,500
32	532,500	143,500	106,000	101,600
33	537,400	144,100	106,500	101,800

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
34	567,400	146,500	107,000	102,100
35	601,500	146,600	107,100	102,300
36	662,500	147,200	107,300	102,500
37	668,600	148,700	107,300	103,100
38	673,800	149,000	107,500	103,500
39	679,600	149,500	107,700	104,400
40	681,000	149,500	108,200	104,800
41	683,100	149,800	108,500	105,800
42	683,600	149,900	109,100	106,500
43	687,500	151,100	109,400	106,700
44	699,400	151,400	109,600	106,800
45	701,500	152,400	109,800	106,900
46	704,000	152,400	110,100	107,200
47	708,700	152,500	110,500	108,000
48	711,600	152,500	110,700	108,800
49	714,400	153,000	111,100	109,000
50	719,400	154,300	111,200	109,000
51	720,100	154,400	111,300	109,100
52	721,200	154,900	112,500	109,500
53	722,100	155,200	113,100	110,100
54	724,100	157,000	113,200	110,200
55	724,200	157,500	113,400	110,800
56	724,700	158,100	113,500	111,100
57	724,900	158,100	113,700	111,200
58	727,200	158,600	113,800	111,300
59	729,200	158,800	114,200	111,500
60	736,000	159,100	114,400	112,000
61	737,900	159,500	114,600	112,100
62	738,600	159,900	114,700	112,200
63	739,700	160,200	114,900	113,100
64	743,300	160,400	115,200	113,200
65	744,500	160,400	116,200	113,300
66	746,400	160,500	116,400	113,300
67	746,500	160,600	116,500	113,500

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
68	751,600	160,900	116,500	113,900
69	751,700	161,300	116,700	114,800
70	751,800	161,400	117,100	115,500
71	752,800	161,600	117,800	115,500
72	754,800	162,200	118,600	116,400
73	755,100	162,400	118,800	117,000
74	757,300	162,600	118,800	117,700
75	757,700	163,000	119,800	118,100
76	757,800	163,200	120,400	118,700
77	758,900	163,400	120,500	119,000
78	759,500	163,500	120,900	119,200
79	759,500	163,700	121,100	119,900
80	760,200	164,000	121,300	120,100
81	760,300	164,100	121,700	121,100
82	761,200	164,100	121,700	121,200
83	761,500	164,500	122,200	122,200
84	762,600	164,600	122,300	122,800
85	762,900	164,700	122,700	122,900
86	764,200	165,200	123,000	122,900
87	764,400	166,000	123,500	123,600
88	764,700	166,500	123,600	124,000
89	765,100	167,000	124,300	124,400
90	765,100	167,100	124,500	124,700
91	766,400	167,100	124,800	124,800
92	769,100	167,600	124,900	124,800
93	771,400	167,700	125,000	125,100
94	772,100	167,800	125,400	125,500
95	774,500	167,800	125,600	125,800
96	776,700	168,000	125,800	126,700
97	777,600	168,100	126,300	126,700
98	781,200	168,100	126,400	127,000
99	782,200	168,200	126,700	127,500
100	783,500	168,400	127,000	127,500
101	785,300	168,400	127,300	128,100

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
102	788,800	168,400	127,300	128,400
103	788,800	168,500	127,900	128,600
104	789,200	168,700	128,100	128,900
105	791,200	168,700	128,200	129,100
106	791,700	168,800	128,400	129,200
107	792,400	168,900	128,800	129,500
108	792,700	168,900	128,900	130,000
109	793,500	169,400	129,000	130,200
110	794,100	169,500	129,200	130,300
111	794,200	169,500	129,700	130,800
112	794,300	169,800	129,800	130,900
113	795,800	169,800	129,900	131,100
114	796,100	170,000	130,000	131,300
115	796,200	170,100	130,100	131,300
116	797,800	170,100	130,400	131,300
117	799,500	170,300	130,400	131,700
118	799,600	170,500	130,400	131,700
119	800,700	170,500	130,600	132,000
120	801,000	170,500	130,700	132,100
121	803,100	170,600	130,700	132,100
122	804,000	170,800	130,700	132,300
123	804,300	171,100	130,800	132,300
124	804,800	171,200	130,900	132,300
125	806,100	171,300	131,100	132,400
126	808,500	171,800	131,100	132,400
127	808,700	172,100	131,300	132,500
128	808,800	172,200	131,300	132,500
129	809,800	172,200	131,400	132,600
130	810,000	172,500	131,600	132,700
131	811,000	172,600	131,700	132,800
132	812,000	173,000	132,100	132,900
133	812,500	173,000	132,200	132,900
134	813,000	173,100	132,500	133,100
135	813,200	173,100	132,700	133,100

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
136	813,400	173,100	132,800	133,300
137	815,100	173,100	133,000	133,300
138	815,200	173,200	133,000	133,500
139	815,300	173,300	133,300	133,600
140	816,000	173,300	133,500	133,700
141	816,000	173,500	133,500	133,800
142	820,100	173,700	133,600	133,900
143	821,200	173,800	133,600	134,000
144	821,300	174,000	133,900	134,000
145	821,600	174,000	134,100	134,100
146	822,700	174,400	134,100	134,400
147	823,000	174,500	134,100	134,400
148	824,200	174,800	134,200	134,700
149	829,200	175,000	134,400	134,800
150	833,100	175,900	134,600	135,000
151	834,100	176,100	134,700	135,100
152	846,200	177,900	134,700	135,400
153	848,900	178,400	134,800	135,400
154	849,000	178,500	135,000	135,400
155	852,600	178,700	135,300	135,400
156	853,800	179,100	135,400	135,500
157	856,400	179,800	135,500	135,800
158	856,800	180,400	135,800	136,000
159	860,900	180,900	136,100	136,100
160	865,000	181,100	136,500	136,100
161	879,500	181,600	138,100	136,100
162	879,600	182,400	138,500	136,100
163	879,800	183,500	139,000	136,200
164	882,800	184,200	140,100	136,200
165	885,500	184,800	140,400	136,300
166	904,200	185,300	140,800	136,500
167	904,700	186,000	141,200	137,000
168	921,400	186,200	141,700	137,700
169	941,700	186,300	141,900	137,900

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
170	942,800	186,400	142,300	138,800
171	946,800	186,600	142,500	139,400
172	954,900	186,700	142,600	139,400
173	956,000	187,500	143,000	140,200
174	957,000	188,200	143,100	140,500
175	961,800	191,000	143,300	140,800
176	961,800	194,000	143,400	141,300
177	966,300	198,900	143,400	142,000
178	968,100	199,700	143,800	143,200
179	968,500	205,900	144,200	144,200
180	968,800	260,800	148,300	149,700

2. *Combustor* 5,5 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	33,400	38,100	34,500	35,200
2	57,000	38,400	35,000	38,600
3	88,800	38,400	38,100	38,700
4	99,900	38,400	38,100	38,700
5	111,000	38,500	38,200	38,700
6	129,300	44,900	39,300	38,800
7	150,200	48,200	40,100	39,000
8	179,900	52,400	44,300	41,700
9	205,200	64,600	52,400	42,200
10	247,200	74,100	54,000	45,700
11	325,700	78,600	57,200	50,900
12	360,000	78,700	64,400	51,500
13	475,900	85,400	66,500	52,500
14	579,200	87,200	67,500	58,100
15	582,800	90,800	70,300	60,100
16	583,100	94,200	74,000	62,100
17	586,100	97,000	78,300	62,300
18	586,700	98,800	79,700	66,000
19	588,100	102,500	82,600	66,100

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5,5 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
20	588,100	106,000	84,900	68,900
21	589,900	108,900	88,100	71,300
22	592,900	110,900	89,500	72,900
23	593,800	114,800	92,700	75,500
24	601,700	115,500	94,100	76,400
25	609,300	118,200	97,500	78,300
26	610,600	120,200	98,100	79,700
27	617,000	120,600	100,700	82,000
28	619,700	127,100	103,000	82,100
29	621,300	132,600	103,400	83,000
30	622,300	138,100	105,500	86,200
31	626,400	139,900	107,300	87,700
32	632,900	141,600	108,100	88,500
33	634,700	142,200	111,000	89,000
34	635,400	145,200	112,300	89,300
35	637,800	146,500	113,000	91,100
36	641,700	147,500	116,000	91,400
37	641,700	148,500	118,700	93,700
38	643,600	150,800	119,100	94,000
39	647,200	152,700	120,500	95,100
40	648,400	153,100	120,800	95,700
41	650,000	153,100	123,200	96,400
42	651,100	155,100	124,500	96,600
43	652,200	155,900	125,800	97,100
44	652,500	156,500	126,000	98,100
45	655,000	156,700	127,700	98,900
46	656,900	158,300	128,100	99,700
47	657,600	159,800	129,800	100,500
48	658,300	161,300	130,000	101,000
49	662,800	162,600	131,200	101,800
50	663,400	163,700	132,000	103,700
51	663,800	164,000	133,500	104,000
52	664,100	165,600	134,400	105,100
53	665,000	167,500	136,000	105,200

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5,5 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
54	665,100	169,500	138,100	106,500
55	666,000	171,200	140,100	107,700
56	668,800	172,300	141,300	108,100
57	669,100	174,000	143,200	109,800
58	669,700	175,400	144,600	111,100
59	670,100	176,600	144,600	112,800
60	670,700	176,600	144,800	114,100
61	671,500	176,600	144,800	115,700
62	694,500	177,300	145,300	116,700
63	719,600	177,400	145,600	117,400
64	723,500	177,500	146,000	118,600
65	725,000	177,700	146,400	119,500
66	727,800	177,700	147,100	120,900
67	733,700	178,800	148,300	121,800
68	748,100	179,000	148,500	122,200
69	770,100	179,300	148,700	122,300
70	772,600	179,500	150,000	122,700
71	792,400	179,700	150,200	122,800
72	793,400	180,100	150,900	122,800
73	794,000	180,400	151,000	123,000
74	797,700	180,500	151,200	123,000
75	800,800	180,600	151,400	123,000
76	804,900	180,700	151,800	123,200
77	805,000	180,800	151,900	123,200
78	806,500	180,800	152,000	123,200
79	807,800	181,200	152,500	123,700
80	809,000	181,200	152,500	123,700
81	809,200	181,400	152,800	123,900
82	809,300	181,400	153,200	124,100
83	810,000	181,700	153,200	124,200
84	810,000	182,000	153,200	124,500
85	810,200	182,800	153,200	125,000
86	810,600	182,800	153,400	125,000
87	810,700	182,800	153,400	125,200

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5,5 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
88	810,800	182,800	153,500	125,200
89	810,900	182,900	153,500	125,400
90	810,900	183,000	153,600	125,700
91	811,400	183,200	153,700	125,900
92	811,800	183,200	153,700	126,000
93	811,800	183,200	154,100	126,000
94	812,100	183,800	154,800	126,200
95	812,400	184,600	155,800	126,700
96	812,700	186,000	156,800	126,700
97	814,600	187,000	157,700	126,700
98	814,800	188,500	158,500	127,300
99	815,100	189,400	159,200	127,500
100	816,800	190,300	160,200	127,700
101	817,100	190,800	160,800	127,700
102	817,400	191,400	161,200	128,500
103	817,600	192,500	162,600	129,600
104	818,000	193,500	163,800	130,200
105	819,400	194,500	164,500	130,700
106	820,600	194,800	164,700	131,100
107	822,200	194,900	165,000	131,600
108	822,500	195,100	165,200	132,600
109	822,700	195,800	165,600	133,200
110	823,100	196,600	166,000	133,600
111	823,200	196,700	166,500	134,300
112	823,500	197,300	167,000	135,000
113	824,000	197,700	167,500	135,200
114	826,400	198,300	168,100	135,700
115	826,600	198,900	168,800	136,500
116	827,300	199,700	169,800	137,500
117	827,400	200,100	170,200	137,700
118	829,400	200,400	170,200	138,100
119	829,600	200,600	170,200	138,300
120	829,800	201,400	170,700	138,400
121	830,000	202,100	171,100	138,800

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5,5 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
122	830,000	202,700	171,600	139,000
123	830,300	203,500	172,700	139,500
124	830,300	204,100	173,100	140,300
125	831,100	204,700	173,200	140,800
126	831,300	205,000	173,400	141,200
127	831,400	205,500	174,100	141,500
128	831,500	205,600	174,300	142,400
129	831,700	205,900	174,800	143,000
130	832,000	206,400	175,000	143,100
131	832,500	207,200	175,700	143,400
132	832,800	207,400	175,800	143,500
133	832,800	208,400	175,900	144,900
134	832,800	209,000	176,300	145,200
135	833,300	209,500	176,700	145,400
136	833,300	209,500	176,900	145,500
137	833,400	209,700	177,200	145,800
138	833,400	210,000	177,500	146,000
139	833,800	210,400	178,000	146,200
140	834,400	210,600	178,400	146,400
141	834,700	210,700	178,900	146,600
142	835,000	211,000	179,000	146,700
143	835,000	211,000	179,800	148,700
144	835,300	211,000	179,900	150,000
145	835,500	211,200	180,200	150,100
146	836,900	211,200	180,300	150,100
147	837,100	211,300	180,400	150,300
148	837,200	211,300	180,400	150,500
149	837,700	211,400	180,700	150,600
150	837,700	211,700	180,800	150,700
151	837,800	211,800	180,800	150,700
152	837,900	212,500	181,100	150,700
153	838,100	212,600	181,200	150,800
154	838,300	213,500	181,400	150,800
155	838,500	213,600	181,600	150,800

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 5,5 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
156	839,400	213,700	181,900	151,200
157	839,500	214,000	181,900	151,200
158	839,600	214,200	182,000	151,500
159	840,000	214,400	182,200	151,500
160	840,800	214,400	182,200	151,500
161	840,800	214,700	182,400	151,800
162	841,100	215,000	182,400	151,800
163	841,400	215,200	182,500	151,900
164	841,700	215,300	183,000	152,100
165	841,800	215,800	183,400	152,100
166	842,500	216,300	183,800	152,300
167	842,800	216,500	184,200	152,400
168	843,500	217,000	184,600	152,800
169	844,400	217,700	185,400	153,300
170	845,200	218,100	185,900	153,800
171	845,300	220,200	187,100	155,300
172	845,900	220,900	187,800	156,000
173	846,600	221,100	188,000	156,100
174	846,700	223,100	190,200	156,900
175	847,600	223,200	190,200	157,100
176	916,400	223,400	190,300	157,200
177	924,700	223,500	190,700	157,700
178	925,100	223,900	190,800	157,800
179	926,100	223,900	191,000	157,900
180	972,200	224,000	191,100	158,000

3. *Combustor 6 mm*

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	44,200	46,400	46,200	45,700
2	45,000	46,500	46,400	45,700
3	45,600	46,600	46,400	45,800
4	85,900	54,300	48,700	46,000
5	240,000	58,800	52,900	47,100
6	472,600	63,900	57,500	48,400
7	735,200	68,700	61,400	50,700
8	866,000	74,500	66,200	53,000
9	950,700	80,100	71,000	55,500
10	982,000	84,100	74,200	57,500
11	1007,000	89,400	78,400	60,500
12	1018,000	93,600	82,000	63,100
13	1018,100	97,000	85,600	65,100
14	1018,500	100,000	88,100	67,800
15	1019,100	103,000	90,800	70,000
16	1019,200	105,900	93,500	72,400
17	1019,900	108,000	95,600	74,200
18	1020,100	110,700	98,100	76,400
19	1023,600	113,000	100,400	78,300
20	1024,400	115,500	102,400	80,100
21	1024,500	116,800	104,300	82,000
22	1026,000	119,100	106,100	83,500
23	1026,900	121,200	107,500	84,700
24	1027,200	122,600	109,400	86,400
25	1028,200	124,600	111,000	88,000
26	1028,300	126,400	112,600	89,500
27	1029,300	128,200	114,000	90,700
28	1029,300	129,500	115,200	92,000
29	1029,300	131,200	116,600	93,300
30	1030,300	132,800	117,600	94,200
31	1030,700	133,800	118,900	95,200
32	1031,300	135,000	120,100	96,200
33	1031,300	135,700	121,100	97,100
34	1031,800	136,700	121,700	98,200

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 6 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
35	1032,000	137,200	122,400	99,000
36	1032,100	138,100	123,300	99,600
37	1032,300	138,700	124,000	100,400
38	1032,300	139,200	124,900	101,200
39	1032,500	140,100	125,800	102,000
40	1032,500	141,200	127,000	102,700
41	1032,600	141,800	127,500	103,400
42	1032,700	142,100	128,000	104,100
43	1032,700	143,400	129,300	104,700
44	1032,800	144,200	129,800	105,500
45	1032,800	144,400	130,500	106,000
46	1032,800	144,600	131,100	106,200
47	1032,900	144,700	131,200	106,200
48	1033,000	145,500	131,300	106,900
49	1033,100	145,800	132,000	107,900
50	1033,200	147,200	132,600	108,500
51	1033,500	148,000	133,600	109,300
52	1033,600	148,100	134,100	110,000
53	1033,900	148,700	134,800	110,500
54	1033,900	149,400	135,300	110,800
55	1034,000	149,800	135,700	111,400
56	1034,100	150,500	136,500	112,000
57	1034,300	151,200	136,900	112,200
58	1034,500	151,400	137,200	112,600
59	1034,600	151,600	137,800	113,100
60	1034,800	152,700	139,100	114,300
61	1034,800	153,200	139,500	114,700
62	1035,200	153,400	139,700	114,800
63	1035,500	153,600	140,000	115,200
64	1035,600	154,200	140,400	115,600
65	1036,000	154,700	140,500	115,700
66	1036,000	155,000	140,800	116,000
67	1036,000	155,300	141,700	117,100
68	1036,100	155,800	141,800	117,200

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 6 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
69	1037,400	156,100	142,200	117,500
70	1037,500	156,900	143,500	118,700
71	1037,800	157,000	143,700	119,000
72	1038,000	157,300	143,900	119,100
73	1038,200	157,700	144,100	119,500
74	1038,300	160,100	146,600	121,600
75	1038,500	160,200	146,700	121,800
76	1038,600	161,500	147,900	122,500
77	1038,700	161,500	148,100	122,700
78	1039,100	161,700	148,500	123,100
79	1039,300	161,800	148,600	123,200
80	1039,300	162,000	148,700	123,400
81	1039,500	162,100	148,700	123,500
82	1039,500	162,100	148,700	123,500
83	1039,500	162,600	148,900	123,500
84	1039,600	163,300	149,000	123,500
85	1039,600	163,400	149,300	123,600
86	1040,000	163,600	149,700	123,900
87	1040,100	163,600	149,800	124,100
88	1040,200	163,800	149,800	124,600
89	1040,300	163,800	150,200	125,100
90	1040,300	163,900	150,400	125,100
91	1040,500	163,900	150,400	125,200
92	1040,500	164,100	150,500	125,500
93	1040,600	164,100	150,700	125,500
94	1040,900	164,200	150,800	125,700
95	1041,300	164,200	151,200	126,500
96	1042,300	164,300	151,200	126,800
97	1043,000	164,300	151,300	126,800
98	1044,000	164,300	151,400	127,000
99	1046,300	164,400	151,500	127,100
100	1046,500	164,400	151,500	127,100
101	1047,100	164,500	151,600	127,100
102	1047,800	164,600	151,600	127,200

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 6 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
103	1047,900	164,600	151,700	127,200
104	1048,100	164,700	151,800	127,400
105	1048,200	164,900	152,100	127,500
106	1049,600	165,700	152,600	127,800
107	1049,900	165,800	152,600	127,800
108	1050,000	165,800	152,700	127,800
109	1050,300	165,900	152,800	127,900
110	1050,400	166,000	153,000	128,200
111	1051,800	166,100	153,200	128,600
112	1052,800	166,200	153,400	128,800
113	1053,000	166,500	153,700	129,000
114	1053,200	166,500	153,700	129,000
115	1054,300	166,800	153,900	129,100
116	1054,600	167,100	154,200	129,300
117	1055,100	167,400	154,400	129,400
118	1056,000	167,700	154,500	129,500
119	1057,800	167,800	154,500	129,600
120	1061,000	167,800	154,600	129,800
121	1063,000	167,800	154,600	129,800
122	1064,200	167,800	154,700	129,800
123	1065,000	168,000	154,800	129,800
124	1065,000	168,000	154,900	129,800
125	1065,300	168,000	154,900	130,000
126	1065,800	168,000	154,900	130,000
127	1066,100	168,000	155,000	130,000
128	1066,300	168,000	155,000	130,100
129	1066,400	168,100	155,000	130,100
130	1066,600	168,100	155,000	130,200
131	1066,700	168,200	155,100	130,400
132	1066,800	168,400	155,200	130,400
133	1067,000	168,700	155,400	130,600
134	1067,100	169,300	155,800	130,700
135	1067,400	169,500	156,100	130,900
136	1067,700	169,700	156,200	131,100

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 6 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
137	1068,000	169,700	156,400	131,200
138	1068,200	169,800	156,500	131,200
139	1068,200	169,800	156,500	131,300
140	1068,200	169,900	156,700	131,300
141	1068,300	170,000	156,800	131,500
142	1068,300	170,000	156,900	131,500
143	1068,400	170,800	157,300	132,100
144	1068,500	170,800	157,400	132,200
145	1068,600	171,000	157,400	132,200
146	1068,600	171,000	157,500	132,300
147	1068,600	171,000	157,500	132,300
148	1068,900	171,100	157,600	132,300
149	1069,100	171,100	157,600	132,500
150	1069,200	171,200	157,700	132,500
151	1069,300	171,300	157,700	132,600
152	1069,500	171,300	157,800	132,600
153	1069,600	171,300	157,800	132,800
154	1070,000	171,300	157,800	132,800
155	1070,600	171,400	157,900	132,800
156	1071,200	171,500	157,900	132,800
157	1071,300	171,500	157,900	132,800
158	1071,500	171,600	158,000	132,900
159	1071,600	171,700	158,100	133,000
160	1071,600	171,700	158,200	133,100
161	1071,900	172,000	158,400	133,100
162	1072,300	172,100	158,400	133,200
163	1072,300	172,100	158,400	133,200
164	1072,600	172,100	158,400	133,200
165	1072,600	172,200	158,400	133,300
166	1072,700	172,200	158,400	133,400
167	1072,800	172,300	158,500	133,500
168	1073,000	172,400	158,500	133,500
169	1073,000	172,400	158,600	133,500
170	1073,100	172,400	158,800	133,500

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 6 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
171	1073,100	172,600	158,800	133,600
172	1073,300	172,800	159,200	133,600
173	1073,500	172,800	159,200	133,600
174	1073,600	172,800	159,300	133,600
175	1073,600	172,900	159,300	133,600
176	1073,700	172,900	159,300	133,700
177	1073,700	173,000	159,300	133,700
178	1073,700	173,000	159,600	133,800
179	1073,800	173,200	159,800	134,000
180	1073,800	173,300	159,900	134,200

Data Pengujian *Combustor* Skala Makro Percobaan 1

1. *Combustor* 11 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	30,100	29,700	29,700	29,600
2	119,600	36,900	35,100	33,700
3	228,400	47,300	45,100	43,700
4	366,000	52,200	45,700	43,700
5	516,500	52,300	46,100	43,800
6	593,500	52,500	46,200	43,900
7	629,400	52,500	46,400	44,100
8	631,100	52,600	46,500	44,400
9	665,000	52,800	47,000	44,400
10	670,300	52,800	47,100	44,600
11	672,200	52,900	47,300	44,800
12	673,700	52,900	47,400	45,100
13	675,300	53,000	47,900	45,200
14	675,800	53,000	48,300	45,300
15	676,100	53,100	48,300	45,300
16	676,500	53,500	48,500	45,700
17	676,600	53,700	50,700	48,200
18	677,800	54,000	50,700	48,400
19	678,000	54,000	50,800	48,600
20	678,500	54,100	51,100	48,600
21	678,900	54,800	51,400	48,700
22	679,000	54,800	51,400	48,800
23	680,100	54,900	51,500	49,100
24	680,600	55,000	51,500	49,200
25	682,800	55,200	51,800	49,200
26	682,800	55,400	52,000	49,200
27	683,000	55,800	52,100	49,300
28	683,500	55,800	52,200	49,600
29	683,500	55,900	52,500	49,700
30	683,900	56,100	52,500	49,800
31	684,000	56,200	52,700	49,800
32	684,200	56,400	53,000	49,900
33	685,100	56,700	53,200	50,100

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 11 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
34	685,400	57,000	53,200	50,100
35	685,700	57,200	53,200	50,400
36	685,800	57,300	53,700	50,500
37	685,800	57,500	53,900	50,700
38	686,100	57,700	54,000	50,700
39	686,600	58,000	54,000	51,000
40	687,200	58,200	54,600	51,300
41	688,600	59,700	55,500	52,100
42	688,600	59,900	56,000	52,500
43	689,200	60,200	56,200	52,700
44	689,200	60,300	56,200	52,800
45	689,300	60,400	56,400	52,900
46	689,700	60,500	56,500	52,900
47	689,700	60,500	56,600	53,000
48	689,800	60,600	56,700	53,100
49	690,100	61,800	58,500	54,600
50	690,400	61,900	58,500	55,000
51	690,600	62,200	58,600	55,100
52	690,900	62,300	58,700	55,200
53	691,400	62,300	59,100	55,200
54	691,600	62,700	59,100	55,300
55	694,700	62,800	59,100	55,300
56	695,400	62,800	59,200	55,500
57	695,500	62,800	59,300	55,600
58	695,700	62,900	59,400	55,600
59	696,100	63,000	59,400	55,700
60	697,100	63,000	59,400	55,900
61	697,700	63,100	59,500	56,000
62	697,800	63,200	59,800	56,100
63	698,200	63,400	60,200	56,500
64	698,600	63,400	60,300	56,600
65	699,000	63,700	60,500	56,700
66	700,200	63,800	60,600	56,800
67	700,500	63,800	60,600	56,900

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 11 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
68	700,500	64,000	60,800	57,000
69	700,500	64,000	60,900	57,000
70	700,700	64,200	61,000	57,100
71	700,700	64,600	61,100	57,100
72	700,900	64,700	61,100	57,300
73	701,000	64,700	61,200	57,400
74	701,400	64,800	61,200	57,500
75	701,600	64,800	61,400	57,600
76	701,900	65,000	61,500	57,700
77	701,900	65,200	61,500	57,700
78	702,100	65,200	61,500	57,900
79	702,300	65,400	61,700	58,000
80	702,500	65,500	61,700	58,000
81	702,800	65,600	61,700	58,000
82	702,800	65,600	61,700	58,000
83	703,600	65,800	61,800	58,100
84	703,700	65,800	62,100	58,400
85	703,700	65,900	62,100	58,500
86	703,700	65,900	62,100	58,500
87	703,700	66,000	62,300	58,600
88	703,900	66,100	62,300	58,700
89	704,300	66,100	62,500	58,800
90	706,100	66,100	62,500	59,000
91	707,500	66,200	62,600	59,000
92	707,800	66,300	62,600	59,000
93	709,100	66,400	62,700	59,000
94	709,300	66,600	62,800	59,000
95	709,600	66,600	62,800	59,000
96	710,400	66,700	62,900	59,100
97	710,500	66,700	63,000	59,200
98	711,000	66,700	63,100	59,300
99	711,200	66,800	63,400	59,300
100	711,200	66,800	63,400	59,400
101	711,700	66,800	63,400	59,400

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 11 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
102	712,000	66,900	63,400	59,400
103	712,100	67,000	63,500	59,400
104	712,200	67,100	63,500	59,400
105	713,300	67,100	63,500	59,500
106	713,700	67,100	63,500	59,500
107	713,800	67,100	63,500	59,500
108	713,800	67,100	63,500	59,500
109	713,900	67,200	63,700	59,600
110	714,000	67,300	63,900	59,900
111	714,800	67,300	64,000	60,000
112	715,100	67,300	64,100	60,000
113	715,500	67,400	64,100	60,000
114	715,700	67,400	64,100	60,100
115	717,200	67,500	64,300	60,200
116	717,500	67,500	64,300	60,300
117	717,500	67,600	64,300	60,500
118	718,000	67,700	64,400	60,700
119	718,300	67,700	64,600	60,700
120	718,700	67,800	64,800	60,900
121	720,800	67,800	64,900	60,900
122	722,800	68,100	65,000	61,000
123	723,700	68,300	65,000	61,000
124	723,900	68,300	65,000	61,100
125	724,200	68,400	65,100	61,100
126	736,400	68,400	65,100	61,200
127	737,100	68,400	65,100	61,400
128	738,300	68,400	65,200	61,400
129	739,100	68,400	65,400	61,400
130	745,500	68,400	65,500	61,500
131	746,000	68,500	65,600	61,600
132	748,800	68,500	65,600	61,600
133	755,500	68,500	65,600	61,600
134	756,500	68,600	65,700	61,700
135	759,100	68,600	65,700	61,700

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 11 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
136	760,300	68,600	65,800	61,800
137	761,500	68,700	65,900	61,800
138	764,000	68,800	66,100	61,900
139	765,000	68,800	66,200	62,000
140	765,100	68,800	66,300	62,100
141	766,100	68,800	66,500	62,200
142	766,100	68,800	66,500	62,200
143	766,300	68,800	66,500	62,300
144	766,500	68,800	66,700	62,500
145	766,500	68,800	66,700	62,500
146	766,600	68,900	66,800	62,600
147	767,100	69,000	66,800	62,600
148	768,100	69,000	66,800	62,600
149	768,200	69,000	67,000	62,600
150	768,300	69,000	67,000	62,700
151	768,800	69,000	67,000	62,700
152	768,900	69,000	67,100	62,800
153	770,700	69,000	67,100	62,800
154	772,000	69,000	67,100	63,000
155	772,200	69,000	67,300	63,000
156	772,300	69,000	67,500	63,100
157	772,400	69,100	67,500	63,100
158	772,600	69,100	67,500	63,100
159	772,800	69,200	67,600	63,100
160	772,900	69,200	67,700	63,100
161	773,100	69,200	67,800	63,200
162	773,800	69,200	67,800	63,300
163	773,800	69,200	67,800	63,300
164	774,100	69,300	68,100	63,500
165	775,500	69,400	68,100	63,700
166	776,000	69,500	68,200	63,900
167	776,000	69,500	68,400	63,900
168	776,300	69,600	68,500	63,900
169	776,600	69,800	68,600	64,000

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 11 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
170	783,000	70,000	68,600	64,000
171	785,100	70,100	68,700	64,000
172	786,000	70,100	68,700	64,100
173	790,500	70,200	68,700	64,200
174	794,600	70,400	69,000	64,200
175	797,800	70,400	69,000	64,300
176	802,000	70,400	69,000	64,300
177	806,700	70,500	69,000	64,300
178	808,200	70,800	69,200	64,300
179	814,000	70,900	69,500	64,700
180	814,700	71,000	69,500	65,100

2. *Combustor* 12 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	45,500	34,400	49,000	44,300
2	48,000	37,200	49,000	44,400
3	64,700	38,500	49,200	44,400
4	88,500	39,800	49,400	44,400
5	97,600	41,700	49,400	44,400
6	117,000	44,100	49,500	44,400
7	124,000	46,800	49,500	44,400
8	130,700	49,600	49,700	44,500
9	141,200	54,000	49,800	44,500
10	148,800	57,700	49,800	44,600
11	161,900	58,400	51,300	45,100
12	171,300	58,600	51,400	45,100
13	172,200	58,800	51,600	45,100
14	201,800	59,100	51,700	45,100
15	203,600	59,400	51,700	45,300
16	232,100	59,500	52,100	45,600
17	237,700	59,500	52,500	45,600
18	237,800	59,700	52,500	45,600
19	275,100	59,800	53,000	45,800

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 12 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
20	280,800	59,900	53,000	45,900
21	282,100	59,900	53,300	45,900
22	286,200	60,000	53,400	46,000
23	289,700	60,100	53,500	46,000
24	292,300	60,100	53,500	46,000
25	296,400	60,100	53,800	46,000
26	301,000	60,200	53,800	46,100
27	308,200	60,200	53,900	46,100
28	311,500	60,300	54,000	46,200
29	313,300	60,300	54,100	46,300
30	314,200	60,400	54,300	46,300
31	331,500	60,600	54,700	46,500
32	335,600	60,600	54,700	46,500
33	336,700	60,700	54,700	46,500
34	344,600	60,700	54,700	46,500
35	345,100	60,800	54,700	46,500
36	354,500	60,900	54,700	46,600
37	355,000	60,900	54,800	46,600
38	371,100	61,100	54,800	46,600
39	372,700	61,100	54,800	46,600
40	380,200	61,200	54,800	46,600
41	383,000	61,300	54,900	46,700
42	386,800	61,400	54,900	46,700
43	391,700	62,100	54,900	46,700
44	394,200	62,200	55,000	46,700
45	395,500	62,300	55,000	46,700
46	421,800	62,600	55,000	46,700
47	429,300	62,600	55,000	46,700
48	447,100	62,700	55,000	46,700
49	462,200	62,700	55,000	46,800
50	464,100	63,000	55,100	46,800
51	464,200	63,400	55,100	46,800
52	481,300	63,800	55,100	46,800
53	489,500	64,100	55,100	46,800

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 12 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
54	513,000	64,500	55,100	46,800
55	514,600	64,600	55,100	46,800
56	518,200	64,900	55,100	46,800
57	518,600	65,300	55,200	46,800
58	549,800	65,600	55,200	46,800
59	561,200	65,700	55,200	46,800
60	577,200	66,100	55,200	46,800
61	583,500	66,600	55,200	46,900
62	605,500	67,300	55,200	46,900
63	656,600	67,500	55,200	47,000
64	666,000	67,500	55,300	47,000
65	672,200	67,600	55,300	47,000
66	701,200	67,900	55,300	47,000
67	717,800	68,000	55,300	47,000
68	720,000	68,000	55,300	47,000
69	740,700	68,200	55,300	47,000
70	742,500	68,400	55,400	47,000
71	743,800	68,400	55,400	47,000
72	744,300	68,400	55,400	47,000
73	751,200	68,600	55,400	47,000
74	755,400	68,700	55,500	47,000
75	756,500	68,800	55,700	47,000
76	757,600	69,000	55,700	47,000
77	759,600	69,000	55,700	47,100
78	764,000	69,000	55,700	47,100
79	765,800	69,000	56,000	47,100
80	767,700	69,100	56,000	47,100
81	767,700	69,100	56,100	47,100
82	767,900	69,100	56,100	47,100
83	768,000	69,200	56,200	47,100
84	768,600	69,200	56,300	47,200
85	513,000	64,500	55,100	46,800
86	514,600	64,600	55,100	46,800
87	518,200	64,900	55,100	46,800

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 12 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
88	769,100	69,200	56,300	47,200
89	769,400	69,200	56,400	47,200
90	769,500	69,200	56,400	47,200
91	769,900	69,200	56,500	47,200
92	770,000	69,200	56,500	47,200
93	770,100	69,300	56,500	47,300
94	770,200	69,300	56,500	47,300
95	770,800	69,300	56,700	47,300
96	771,100	69,300	56,700	47,300
97	771,100	69,400	56,800	47,300
98	771,600	69,400	56,800	47,300
99	772,400	69,500	56,900	47,300
100	773,000	69,500	57,100	47,400
101	773,200	69,500	57,200	47,400
102	773,400	69,700	57,200	47,400
103	773,900	69,800	57,900	47,400
104	781,500	69,800	57,900	47,500
105	782,300	69,800	58,000	47,500
106	782,400	69,900	58,100	47,500
107	782,600	69,900	58,200	47,500
108	782,700	69,900	58,200	47,500
109	782,800	70,200	58,300	47,500
110	782,800	70,200	58,400	47,600
111	782,800	70,600	58,500	47,700
112	783,100	71,100	58,500	47,700
113	783,300	71,100	58,500	47,700
114	783,300	71,300	58,600	47,700
115	783,400	71,600	58,700	47,800
116	783,900	72,100	58,700	47,800
117	783,900	72,200	58,700	47,800
118	783,900	72,500	58,800	47,800
119	784,000	73,300	58,800	47,800
120	784,100	74,000	58,900	47,800
121	784,100	74,200	59,000	47,800

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 12 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
122	784,400	77,800	59,100	48,000
123	784,400	78,800	59,100	48,100
124	784,700	79,000	59,400	48,200
125	785,100	80,100	59,400	48,300
126	785,100	81,100	59,500	48,500
127	785,100	81,400	59,600	48,600
128	785,200	82,700	59,700	48,700
129	785,200	82,900	59,800	48,800
130	785,200	84,700	59,900	48,800
131	785,300	84,800	60,000	48,800
132	785,400	87,300	60,000	48,800
133	785,400	87,400	60,000	48,800
134	785,500	89,200	60,100	48,800
135	785,600	89,600	60,100	48,800
136	785,800	91,500	60,100	48,900
137	786,000	91,600	60,100	48,900
138	786,000	93,700	60,100	48,900
139	786,100	93,700	60,200	48,900
140	786,200	94,800	60,200	48,900
141	786,300	98,900	60,200	49,100
142	786,300	100,000	60,300	49,100
143	786,500	104,700	60,300	49,100
144	786,800	110,500	60,500	49,100
145	787,900	115,900	60,600	49,300
146	788,200	117,500	60,600	49,400
147	789,500	120,200	60,700	49,400
148	791,600	124,800	60,700	49,400
149	791,800	127,000	60,700	50,400
150	806,200	133,000	60,800	50,500
151	819,000	133,800	60,800	50,500
152	827,000	134,300	60,800	50,600
153	827,400	138,200	60,900	50,700
154	833,700	138,800	60,900	50,700
155	836,200	140,800	61,000	50,800

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 12 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
156	837,800	144,200	61,000	50,800
157	840,400	148,000	61,100	50,800
158	842,400	148,800	61,900	50,800
159	843,300	149,800	61,900	50,900
160	845,100	152,100	61,900	50,900
161	848,100	153,700	61,900	51,000
162	848,600	154,600	62,000	51,000
163	849,400	160,200	62,000	51,000
164	849,700	161,800	62,000	51,000
165	849,800	167,200	62,000	51,000
166	851,400	168,000	62,000	51,000
167	851,500	169,500	62,000	51,000
168	852,200	174,100	62,000	51,000
169	854,800	175,800	62,100	51,000
170	855,000	178,100	62,100	51,000
171	856,500	180,800	62,100	51,100
172	857,500	188,200	62,100	51,100
173	859,400	190,000	62,200	51,100
174	863,400	191,500	62,200	51,100
175	864,800	195,700	62,200	51,100
176	866,700	198,700	62,400	51,200
177	868,100	212,400	62,900	51,200
178	868,900	213,900	63,200	51,600
179	869,000	227,900	63,200	51,800
180	869,700	229,200	63,700	52,000

3. *Combustor* 13 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	29,400	33,400	33,100	33,700
2	30,000	33,500	33,200	33,800
3	32,000	33,800	33,300	33,900
4	51,700	53,500	43,800	43,200
5	212,700	53,500	43,900	43,500
6	213,500	53,500	44,100	44,000
7	237,000	53,500	44,600	44,000
8	241,400	53,500	44,700	44,100
9	291,300	53,500	45,200	44,100
10	433,200	53,500	45,500	44,200
11	541,300	53,500	45,700	44,200
12	601,100	53,600	46,100	44,300
13	601,300	53,600	46,200	44,500
14	601,700	53,600	46,700	44,600
15	602,400	53,700	47,100	44,800
16	602,500	53,800	47,200	45,000
17	603,700	53,800	47,600	45,100
18	604,800	53,800	48,100	45,100
19	606,100	54,000	48,100	45,200
20	606,900	54,000	48,200	45,200
21	607,300	54,000	48,500	45,300
22	608,300	54,100	48,700	45,600
23	610,300	54,100	48,900	45,700
24	612,100	54,200	49,200	45,800
25	613,600	54,300	49,500	46,000
26	614,700	54,300	49,800	46,200
27	614,800	54,300	50,000	46,400
28	615,000	54,300	50,300	46,500
29	615,300	54,300	50,700	46,800
30	615,700	54,400	50,700	47,000
31	616,200	54,400	50,900	47,000
32	616,500	54,400	51,000	47,000
33	617,000	54,400	51,000	47,200
34	617,100	54,500	51,100	47,300

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 13 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
35	618,400	54,500	51,200	47,300
36	618,800	54,500	51,300	47,500
37	619,100	54,500	51,500	47,600
38	619,800	54,500	51,700	47,700
39	620,300	54,500	51,900	48,000
40	620,400	54,600	52,000	48,100
41	621,500	54,600	52,100	48,100
42	621,600	54,600	52,200	48,200
43	622,400	54,600	52,400	48,200
44	623,800	54,700	52,700	48,500
45	624,200	54,700	52,900	48,500
46	625,500	54,700	52,900	48,500
47	625,800	54,700	53,000	48,600
48	625,800	54,700	53,100	48,600
49	626,200	54,700	53,100	48,700
50	626,800	54,700	53,100	48,900
51	627,200	54,700	53,300	48,900
52	627,300	54,800	53,700	49,000
53	628,400	54,800	53,900	49,100
54	628,500	54,800	53,900	49,100
55	628,500	54,800	54,100	49,400
56	629,900	54,900	54,200	49,500
57	630,200	55,000	54,400	49,500
58	630,500	55,000	54,500	49,700
59	631,500	55,000	54,600	49,700
60	631,600	55,100	54,700	49,800
61	632,000	55,100	54,700	49,800
62	632,400	55,100	54,800	50,100
63	633,300	55,100	55,100	50,100
64	633,900	55,100	55,400	50,100
65	634,800	55,200	55,400	50,200
66	634,800	55,200	55,400	50,300
67	635,200	55,200	55,400	50,400
68	636,500	55,200	55,600	50,500

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 13 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
69	637,000	55,200	56,100	50,500
70	637,300	55,200	56,200	50,500
71	637,400	55,200	56,400	50,600
72	639,000	55,200	56,500	50,600
73	639,200	55,200	56,500	50,700
74	640,600	55,300	56,600	50,700
75	640,700	55,400	56,700	50,800
76	642,000	55,400	56,700	50,800
77	643,100	55,400	56,900	50,800
78	643,700	55,400	57,000	51,000
79	644,400	55,400	57,200	51,100
80	645,100	55,400	57,200	51,100
81	645,900	55,400	57,600	51,200
82	646,300	55,400	57,700	51,400
83	646,600	55,500	57,700	51,500
84	646,600	55,500	57,800	51,500
85	646,800	55,500	57,800	51,600
86	647,000	55,500	58,000	51,600
87	647,100	55,500	58,000	51,600
88	647,400	55,500	58,000	51,600
89	647,500	55,500	58,100	51,800
90	647,900	55,600	58,100	51,800
91	648,300	55,700	58,200	52,000
92	648,700	55,700	58,400	52,100
93	649,600	55,700	58,500	52,100
94	649,800	55,700	58,500	52,300
95	650,000	55,800	58,500	52,300
96	650,300	55,900	58,700	52,400
97	650,300	55,900	59,600	52,500
98	650,600	56,000	59,700	52,500
99	650,700	56,000	60,100	52,700
100	651,000	56,100	60,400	52,700
101	651,100	56,100	60,500	52,800
102	651,200	56,100	60,700	52,900

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 13 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
103	652,100	56,100	60,700	53,000
104	652,400	56,100	60,700	53,000
105	652,500	56,200	60,800	53,100
106	652,500	56,200	60,900	53,100
107	652,700	56,200	60,900	53,200
108	652,800	56,200	61,000	53,200
109	653,000	56,200	61,100	53,200
110	653,400	56,200	61,100	53,200
111	653,700	56,200	61,200	53,400
112	653,800	56,300	61,200	53,400
113	654,200	56,300	61,300	53,500
114	654,500	56,300	61,300	53,500
115	654,600	56,400	61,300	53,600
116	654,700	56,400	61,300	53,700
117	655,000	56,400	61,300	53,700
118	655,200	56,400	61,400	53,700
119	655,300	56,400	61,400	53,800
120	656,600	56,400	61,400	53,900
121	658,800	56,400	61,600	54,100
122	660,000	56,400	61,600	54,100
123	661,100	56,400	61,600	54,100
124	662,300	56,500	61,700	54,100
125	662,800	56,500	61,700	54,300
126	667,000	56,500	61,800	54,300
127	668,700	56,500	61,800	54,400
128	669,300	56,500	61,800	54,600
129	670,100	56,500	61,900	54,600
130	671,800	56,600	61,900	54,600
131	672,400	56,700	61,900	54,700
132	673,200	56,700	61,900	54,800
133	673,300	56,800	62,000	55,000
134	673,900	56,800	62,000	55,000
135	674,600	56,900	62,000	55,100
136	674,700	56,900	62,100	55,200

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 13 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
137	674,800	57,000	62,100	55,200
138	675,000	57,000	62,100	55,200
139	675,500	57,100	62,100	55,500
140	675,600	57,100	62,100	55,500
141	675,700	57,200	62,200	55,600
142	675,900	57,200	62,200	55,600
143	676,000	57,200	62,200	55,600
144	676,000	57,300	62,200	55,600
145	676,100	57,400	62,300	55,700
146	676,200	57,600	62,300	55,700
147	676,300	57,800	62,300	55,800
148	676,600	58,000	62,500	55,800
149	676,700	58,600	62,500	55,800
150	676,800	59,000	62,600	55,900
151	676,800	59,100	62,600	55,900
152	676,900	59,100	62,600	56,000
153	677,100	60,100	62,600	56,000
154	677,200	60,600	62,600	56,000
155	677,700	60,600	62,600	56,000
156	677,700	61,200	62,600	56,000
157	678,200	62,100	62,600	56,100
158	678,300	62,600	62,600	56,100
159	678,400	62,600	62,700	56,100
160	678,500	64,000	62,700	56,100
161	679,100	64,500	62,700	56,100
162	679,400	65,100	62,700	56,100
163	680,700	65,700	62,700	56,100
164	681,200	67,200	62,700	56,100
165	681,900	68,100	62,700	56,100
166	682,500	68,700	62,700	56,100
167	684,100	70,200	62,800	56,200
168	685,000	71,000	62,800	56,300
169	689,600	72,400	62,800	56,300
170	693,100	73,400	62,800	56,400

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 13 mm percobaan 1

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
171	695,500	75,000	62,900	56,400
172	704,600	76,300	62,900	56,400
173	720,500	78,100	63,000	56,400
174	728,800	80,500	63,000	56,400
175	736,100	81,900	63,000	56,500
176	741,000	84,200	63,000	56,600
177	745,600	84,700	63,100	56,700
178	748,600	85,800	63,300	56,700
179	750,600	85,900	63,400	57,000
180	750,600	87,300	63,400	57,000

Data Pengujian *Combustor* Skala Makro Percobaan 2

1. *Combustor* 11 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	28,100	28,800	28,500	28,600
2	36,500	36,900	35,100	33,700
3	41,300	47,300	45,100	43,700
4	79,800	48,200	45,600	43,700
5	177,500	48,200	45,600	43,700
6	215,400	48,300	45,700	43,800
7	252,200	48,400	45,800	43,900
8	282,200	48,400	45,800	43,900
9	299,900	48,400	45,900	44,000
10	364,100	48,600	45,900	44,000
11	400,200	48,600	46,000	44,000
12	430,800	48,600	46,100	44,000
13	432,600	48,700	46,200	44,000
14	437,300	48,800	46,200	44,000
15	500,300	48,800	46,300	44,000
16	532,200	48,900	46,400	44,100
17	535,600	48,900	46,500	44,200
18	555,600	49,000	46,700	44,200

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 11 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
19	560,600	49,000	46,800	44,200
20	568,800	49,000	46,800	44,400
21	576,500	49,200	47,200	44,400
22	578,500	50,000	47,900	44,500
23	580,400	50,100	48,200	44,600
24	580,500	50,200	48,300	44,700
25	581,500	51,000	48,800	44,700
26	587,300	51,000	49,100	44,800
27	587,800	51,100	49,200	44,900
28	588,800	51,300	49,300	45,000
29	589,900	51,400	49,400	45,000
30	591,200	51,500	49,500	45,000
31	591,200	51,600	49,600	45,000
32	591,700	51,700	49,600	45,000
33	592,100	51,700	49,700	45,100
34	592,500	51,700	49,800	45,100
35	592,600	51,800	49,900	45,100
36	592,600	52,000	50,000	45,200
37	592,600	52,100	50,100	45,200
38	593,000	52,200	50,100	45,200
39	593,200	52,300	50,200	45,200
40	593,300	52,400	50,200	45,300
41	593,300	52,700	50,200	45,300
42	593,300	52,700	50,200	45,300
43	593,400	52,700	50,300	45,300
44	593,700	52,700	50,400	45,500
45	593,900	52,800	50,400	45,500
46	594,000	52,800	50,400	45,500
47	594,000	52,800	50,500	45,500
48	594,100	52,800	50,700	45,600
49	594,100	52,800	50,800	45,600
50	594,100	52,800	50,800	45,600
51	594,200	52,800	51,300	45,800
52	594,400	52,800	51,400	45,900

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 11 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
53	594,400	52,900	51,700	46,100
54	594,600	52,900	51,800	46,100
55	594,700	52,900	51,800	46,100
56	594,800	52,900	51,800	46,200
57	594,900	52,900	51,900	46,200
58	595,000	52,900	52,000	46,300
59	595,100	52,900	52,100	46,400
60	595,100	53,000	52,100	46,400
61	595,300	53,000	52,100	46,500
62	595,300	53,000	52,400	46,500
63	595,400	53,000	52,500	46,600
64	595,500	53,000	52,600	46,900
65	595,600	53,000	52,700	46,900
66	595,600	53,000	52,800	47,000
67	595,600	53,000	52,900	47,100
68	595,700	53,100	52,900	47,100
69	595,800	53,100	53,000	47,100
70	595,900	53,100	53,000	47,100
71	596,000	53,100	53,000	47,100
72	596,000	53,200	53,000	47,200
73	596,100	53,200	53,100	47,200
74	596,100	53,200	53,100	47,200
75	596,100	53,200	53,100	47,200
76	596,100	53,300	53,100	47,300
77	596,500	53,300	53,200	47,300
78	596,500	53,400	53,200	47,300
79	596,500	53,400	53,300	47,300
80	596,700	53,400	53,300	47,400
81	596,800	53,500	53,400	47,500
82	596,900	53,700	53,500	47,500
83	597,200	53,800	53,500	47,500
84	597,300	53,800	53,600	47,600
85	597,300	53,900	53,600	47,600
86	597,400	53,900	53,600	47,600

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 11 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
87	598,100	53,900	53,600	47,700
88	598,100	53,900	53,700	47,700
89	598,200	54,000	53,700	47,700
90	598,300	54,000	53,800	47,700
91	598,300	54,000	53,800	47,700
92	598,600	54,000	53,800	47,700
93	598,700	54,000	53,900	47,800
94	598,800	54,100	54,000	47,800
95	599,000	54,100	54,000	47,800
96	599,400	54,100	54,000	47,800
97	599,500	54,100	54,000	48,000
98	599,700	54,100	54,000	48,000
99	599,800	54,200	54,000	48,000
100	599,800	54,200	54,000	48,100
101	600,000	54,200	54,000	48,100
102	600,000	54,200	54,000	48,100
103	600,100	54,200	54,100	48,100
104	600,100	54,200	54,100	48,200
105	600,100	54,300	54,100	48,200
106	600,500	54,300	54,100	48,200
107	600,500	54,300	54,100	48,300
108	600,600	54,300	54,100	48,300
109	601,100	54,300	54,100	48,500
110	601,200	54,300	54,100	48,500
111	601,500	54,300	54,100	48,500
112	601,900	54,300	54,100	48,500
113	602,100	54,300	54,100	48,600
114	602,500	54,300	54,100	48,600
115	602,700	54,300	54,200	48,600
116	602,700	54,400	54,200	48,600
117	603,400	54,400	54,200	48,600
118	603,500	54,400	54,200	48,700
119	603,600	54,500	54,200	48,700
120	603,900	54,500	54,200	48,700

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 11 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
121	604,600	54,500	54,200	48,800
122	604,700	54,600	54,200	48,900
123	605,000	54,600	54,200	49,000
124	605,000	54,600	54,200	49,000
125	606,200	54,600	54,200	50,400
126	606,500	54,600	54,200	50,500
127	606,900	54,600	54,300	50,500
128	608,100	54,600	54,300	50,500
129	608,400	54,700	54,300	50,600
130	609,000	54,700	54,300	50,600
131	609,700	54,700	54,300	50,600
132	610,000	54,700	54,300	50,600
133	610,100	54,700	54,300	50,600
134	610,500	54,800	54,300	50,600
135	610,900	54,800	54,300	50,700
136	610,900	54,900	54,400	50,700
137	611,900	55,000	54,400	50,700
138	612,600	55,000	54,400	50,700
139	612,800	55,000	54,400	50,700
140	613,900	55,000	54,400	50,700
141	614,200	55,100	54,400	50,700
142	614,300	55,100	54,500	50,700
143	614,500	55,100	54,500	50,700
144	614,700	55,100	54,500	50,800
145	615,200	55,200	54,500	50,800
146	615,400	55,200	54,500	50,800
147	616,200	55,200	54,600	50,800
148	616,800	55,200	54,600	50,800
149	617,700	55,200	54,600	50,800
150	617,800	55,200	54,600	50,800
151	619,300	55,300	54,600	50,900
152	620,000	55,400	54,600	50,900
153	621,000	55,400	54,600	50,900
154	621,200	55,500	54,600	50,900

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 11 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
155	621,800	55,500	54,600	50,900
156	621,900	55,600	54,700	51,000
157	622,600	55,700	54,700	51,000
158	622,900	55,800	54,700	51,000
159	623,000	55,800	54,700	51,000
160	623,200	55,800	54,700	51,100
161	623,400	55,800	54,800	51,200
162	623,900	55,900	54,900	51,600
163	624,000	55,900	55,000	51,700
164	624,000	55,900	55,000	51,700
165	624,100	56,000	55,000	51,800
166	624,300	56,000	55,000	52,100
167	624,400	56,000	55,000	52,200
168	624,600	56,100	55,100	52,200
169	625,000	56,100	55,200	52,500
170	625,100	56,100	55,200	52,900
171	625,200	56,200	55,400	53,100
172	625,200	56,200	55,600	53,200
173	625,400	56,400	55,700	53,900
174	625,800	56,500	55,700	54,200
175	626,000	56,600	55,700	54,600
176	626,200	56,700	55,800	54,800
177	626,300	56,700	55,800	55,400
178	626,600	56,700	55,800	55,900
179	627,200	57,100	55,800	56,500
180	627,600	52,800,	55,800	56,800

2. Combustor 12 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	28,300	51,300	47,800	44,300
2	43,400	51,400	47,900	44,500
3	139,800	51,500	48,300	44,500
4	457,800	51,600	49,400	44,800
5	490,400	51,600	49,400	44,800
6	526,600	51,700	49,500	45,000
7	549,800	51,800	49,800	45,000
8	553,300	51,900	50,200	45,000
9	560,600	51,900	50,300	45,300
10	562,500	52,000	50,500	45,500
11	564,800	52,000	51,000	45,600
12	566,300	52,200	51,700	46,100
13	566,800	52,200	52,100	46,200
14	567,300	52,400	52,200	46,200
15	567,700	52,500	52,300	46,400
16	568,700	52,500	52,600	46,400
17	569,000	52,500	52,800	46,700
18	569,100	52,500	53,000	46,700
19	570,100	52,600	53,200	46,800
20	570,300	52,600	53,200	46,900
21	570,500	52,700	53,500	47,000
22	571,400	52,700	53,800	47,400
23	571,600	52,800	54,100	47,400
24	571,800	52,900	54,200	47,500
25	572,400	53,000	54,300	47,700
26	573,100	53,100	54,500	47,700
27	573,500	53,200	54,500	47,700
28	573,900	53,200	54,600	48,100
29	574,100	53,400	54,700	48,100
30	574,200	53,400	55,000	48,100
31	574,300	53,500	55,200	48,100
32	574,700	53,500	55,200	48,300
33	574,800	53,500	55,200	48,300
34	575,000	53,700	55,300	48,300

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 12 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
35	575,100	53,800	55,300	48,400
36	575,400	53,900	55,700	48,600
37	575,500	54,000	55,800	48,800
38	575,700	54,000	55,800	48,800
39	575,700	54,100	56,000	48,800
40	577,000	54,100	56,200	48,800
41	577,400	54,100	56,400	49,000
42	577,500	54,100	56,500	49,000
43	578,000	54,100	56,700	49,200
44	579,100	54,300	56,900	49,200
45	579,700	54,400	57,000	49,300
46	580,200	54,500	57,000	49,300
47	580,600	54,700	57,000	49,400
48	581,000	54,700	57,200	49,500
49	581,200	54,800	57,300	49,600
50	581,500	54,900	57,500	49,700
51	582,000	55,000	57,500	49,700
52	583,000	55,000	57,600	49,800
53	583,600	55,000	57,600	49,800
54	584,000	55,000	57,700	49,900
55	584,100	55,200	57,700	50,100
56	584,300	55,300	57,800	50,200
57	584,500	55,400	58,100	50,200
58	584,700	55,400	58,200	50,300
59	584,800	55,400	58,500	50,300
60	585,300	55,500	58,500	50,500
61	585,600	55,800	58,500	50,500
62	585,800	55,800	58,500	50,700
63	586,000	56,000	58,800	50,700
64	586,100	56,100	59,000	50,800
65	586,500	56,100	59,000	50,800
66	586,900	56,100	59,100	50,800
67	587,000	56,100	59,100	51,000
68	587,600	56,200	59,300	51,100

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 12 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
69	587,900	56,200	59,400	51,100
70	588,000	56,400	59,400	51,200
71	588,700	56,500	59,500	51,200
72	588,800	56,700	59,700	51,200
73	589,300	56,900	59,700	51,300
74	589,400	57,200	59,800	51,300
75	589,600	57,200	59,800	51,500
76	589,800	57,300	59,800	51,500
77	590,100	57,300	59,900	51,600
78	590,200	57,500	60,000	51,600
79	590,500	57,600	60,400	51,600
80	590,900	58,000	60,400	51,700
81	591,400	59,200	61,600	51,800
82	591,500	59,500	62,100	53,000
83	591,900	59,500	62,100	53,100
84	592,000	59,500	62,100	53,100
85	592,300	59,500	62,300	53,400
86	592,500	59,600	62,300	53,500
87	592,500	59,800	62,300	53,500
88	592,800	59,800	62,300	53,500
89	592,900	59,800	62,300	53,500
90	593,000	59,800	62,400	53,500
91	593,200	59,900	62,500	53,700
92	593,300	59,900	62,500	53,800
93	593,400	59,900	62,600	53,900
94	594,200	60,000	62,700	54,000
95	594,300	60,000	62,700	54,200
96	594,500	60,000	62,700	54,200
97	594,600	60,100	62,700	54,300
98	594,900	60,100	62,800	54,500
99	595,300	60,100	62,900	54,600
100	595,600	60,100	63,500	54,600
101	596,300	60,100	63,500	54,800
102	596,400	60,100	63,500	54,900

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 12 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
103	596,600	60,200	63,700	54,900
104	596,700	60,200	63,700	55,000
105	596,800	60,500	63,700	55,200
106	597,200	60,500	63,800	55,200
107	597,400	60,600	64,000	55,200
108	597,500	60,600	64,200	55,400
109	597,900	60,600	64,200	55,500
110	598,200	60,700	64,300	55,500
111	598,400	60,800	64,400	55,500
112	598,500	60,900	64,400	55,500
113	599,100	61,000	64,500	55,500
114	599,200	61,000	64,500	55,500
115	599,300	61,000	64,500	55,500
116	599,700	61,000	64,500	55,600
117	600,000	61,100	64,500	55,600
118	600,000	61,100	64,700	55,600
119	600,200	61,100	64,700	55,700
120	600,500	61,200	64,700	55,700
121	600,700	61,300	64,800	55,700
122	600,800	61,400	64,800	55,700
123	600,900	61,500	64,800	55,700
124	601,000	61,500	64,900	55,700
125	601,200	61,500	64,900	55,700
126	601,300	61,700	64,900	55,700
127	602,600	61,700	65,000	55,700
128	602,900	61,800	65,000	55,700
129	603,300	61,800	65,000	55,800
130	603,600	62,000	65,000	55,800
131	604,300	62,100	65,000	55,800
132	604,500	62,100	65,200	55,800
133	605,100	62,100	65,200	55,800
134	605,100	62,100	65,400	55,800
135	605,100	62,100	65,400	55,800
136	606,000	62,100	65,500	55,800

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 12 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
137	606,200	62,100	65,500	55,800
138	606,500	62,300	65,500	55,800
139	606,600	62,300	65,600	55,900
140	606,700	62,300	65,700	55,900
141	606,800	62,300	65,700	55,900
142	607,200	62,300	65,700	56,000
143	607,500	62,400	65,700	56,000
144	608,300	62,400	65,800	56,000
145	608,600	62,400	65,800	56,000
146	609,500	62,400	65,900	56,000
147	609,600	62,400	66,000	56,100
148	609,800	62,400	66,000	56,200
149	609,900	62,500	66,000	56,200
150	610,200	62,600	66,000	56,200
151	610,400	62,600	66,000	56,200
152	612,300	62,600	66,100	56,200
153	612,700	62,600	66,100	56,300
154	612,900	62,700	66,100	56,400
155	614,100	62,700	66,100	56,400
156	614,700	62,700	66,200	56,500
157	615,100	62,700	66,200	56,500
158	615,300	62,700	66,200	56,500
159	617,200	62,700	66,300	56,700
160	617,300	62,700	66,400	56,800
161	617,600	62,800	66,500	56,800
162	617,800	62,800	66,500	56,900
163	618,100	62,900	66,600	57,000
164	619,200	62,900	66,600	57,100
165	621,500	63,000	66,600	57,100
166	621,700	63,000	66,700	57,200
167	623,200	63,100	66,700	57,200
168	623,700	63,100	66,700	57,300
169	623,800	63,200	67,000	57,500
170	624,500	63,200	67,000	57,500

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 12 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
171	626,000	63,200	67,000	57,500
172	627,700	63,300	67,100	57,700
173	633,900	63,400	67,100	57,900
174	634,100	63,400	67,100	58,000
175	635,300	63,400	67,200	58,000
176	639,700	63,500	67,200	58,300
177	640,600	63,500	67,200	58,300
178	642,300	63,700	67,200	58,300
179	646,600	64,000	67,200	58,300
180	647,400	64,500	67,400	58,400

3. *Combustor* 13 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	174,700	59,600	56,100	49,600
2	223,600	59,700	56,400	49,900
3	242,400	60,000	56,500	49,900
4	294,200	60,000	56,500	50,000
5	300,200	60,100	56,600	50,100
6	312,400	60,100	56,700	50,200
7	322,800	60,100	56,700	50,300
8	337,400	60,100	56,700	50,300
9	353,600	60,200	56,800	50,400
10	357,800	60,200	56,800	50,500
11	378,600	60,300	57,100	50,600
12	411,300	60,300	57,200	50,800
13	411,700	60,300	57,200	51,000
14	416,100	60,500	57,500	51,000
15	421,100	60,500	57,500	51,000
16	432,300	60,500	57,600	51,200
17	438,300	60,600	57,800	51,300
18	445,300	60,700	57,900	51,400
19	446,500	60,700	58,000	51,400

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 13 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
20	458,600	60,800	58,000	51,600
21	468,300	60,800	58,200	51,700
22	498,200	60,900	58,400	51,700
23	525,400	61,000	58,500	51,800
24	528,000	61,000	58,600	51,800
25	534,900	61,300	59,000	51,800
26	577,800	61,400	59,000	51,800
27	581,100	61,400	59,100	51,800
28	585,200	61,500	59,100	51,800
29	585,700	61,800	59,300	52,000
30	588,700	62,000	59,400	52,000
31	591,500	62,100	59,400	52,000
32	596,600	62,100	59,700	52,000
33	598,500	62,300	59,800	52,000
34	607,500	62,500	59,900	52,000
35	611,100	62,500	60,000	52,100
36	613,100	62,500	60,000	52,100
37	615,100	62,500	60,200	52,100
38	615,700	62,600	60,300	52,100
39	616,400	62,600	60,300	52,200
40	617,100	62,600	60,500	52,200
41	617,900	62,700	60,600	52,200
42	618,800	62,700	60,600	52,400
43	619,000	62,700	60,700	52,400
44	619,100	62,800	60,700	52,500
45	619,300	62,900	60,700	52,800
46	619,500	62,900	60,700	52,800
47	621,400	63,000	60,700	53,000
48	622,300	63,000	60,800	53,100
49	622,600	63,000	60,800	53,100
50	623,300	63,100	60,900	53,200
51	623,500	63,100	61,000	53,200
52	623,900	63,400	61,100	53,200
53	624,600	63,400	61,100	53,200

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 13 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
54	625,000	63,400	61,200	53,300
55	625,300	63,700	61,300	53,400
56	626,100	63,700	61,500	53,400
57	626,800	63,800	61,600	53,400
58	627,100	63,800	61,700	53,500
59	627,100	64,000	61,900	53,500
60	627,300	64,200	62,000	53,500
61	627,900	64,200	62,000	53,500
62	628,400	64,200	62,200	53,600
63	629,500	64,300	62,300	53,600
64	629,800	64,300	62,300	53,600
65	630,600	64,300	62,300	53,600
66	630,700	64,400	62,300	53,600
67	632,300	64,400	62,300	53,600
68	632,500	64,400	62,500	53,700
69	632,600	64,500	62,500	53,700
70	632,700	64,500	62,500	53,700
71	633,200	64,600	62,600	53,700
72	633,400	64,600	62,600	53,800
73	633,900	64,600	62,600	53,900
74	634,000	64,700	62,600	54,000
75	635,000	64,700	62,600	54,000
76	635,500	64,800	62,700	54,000
77	635,600	64,900	62,700	54,000
78	635,800	64,900	62,700	54,100
79	636,200	64,900	62,700	54,100
80	637,100	65,000	62,700	54,100
81	637,400	65,000	62,900	54,200
82	637,500	65,100	63,000	54,200
83	638,000	65,200	63,000	54,200
84	638,100	65,300	63,000	54,200
85	638,400	65,500	63,000	54,200
86	639,200	65,500	63,000	54,200
87	640,300	65,700	63,400	54,300

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 13 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
88	640,700	65,700	63,500	54,300
89	641,000	65,700	63,500	54,300
90	641,300	65,800	63,700	54,400
91	641,700	65,800	63,700	54,500
92	642,100	65,900	63,800	54,600
93	642,400	65,900	63,800	54,600
94	642,500	66,000	63,800	54,700
95	642,800	66,000	63,800	55,100
96	643,800	66,100	64,000	55,400
97	644,000	66,100	64,000	55,500
98	645,300	66,200	64,300	55,800
99	645,600	66,200	64,500	55,800
100	645,900	66,300	64,600	55,900
101	646,700	66,500	64,800	55,900
102	646,700	66,600	64,800	55,900
103	647,200	66,600	64,800	55,900
104	648,800	66,700	65,000	55,900
105	649,400	66,700	65,000	55,900
106	650,500	66,800	65,000	56,000
107	650,800	66,900	65,000	56,000
108	652,100	66,900	65,000	56,000
109	653,200	66,900	65,100	56,000
110	653,300	67,000	65,100	56,000
111	653,700	67,000	65,100	56,000
112	653,900	67,100	65,100	56,000
113	654,800	67,200	65,100	56,100
114	656,700	67,400	65,100	56,100
115	657,300	67,400	65,100	56,100
116	657,400	67,500	65,100	56,100
117	657,800	67,500	65,100	56,100
118	658,300	67,500	65,100	56,100
119	658,500	67,600	65,100	56,100
120	658,700	67,700	65,100	56,100
121	659,000	67,800	65,100	56,100

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 13 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
122	659,100	67,800	65,200	56,100
123	659,800	67,900	65,200	56,100
124	660,100	67,900	65,200	56,100
125	660,300	68,000	65,200	56,200
126	661,000	68,100	65,200	56,200
127	661,200	68,100	65,200	56,200
128	661,500	68,200	65,200	56,200
129	661,600	68,200	65,200	56,200
130	661,900	68,300	65,200	56,200
131	662,000	68,300	65,300	56,200
132	662,100	68,400	65,300	56,200
133	662,300	68,400	65,300	56,200
134	662,800	68,500	65,300	56,400
135	662,900	68,500	65,300	56,400
136	663,700	68,700	65,300	56,400
137	664,700	68,700	65,300	56,400
138	665,700	68,800	65,400	56,400
139	665,800	68,800	65,400	56,500
140	666,800	69,000	65,400	56,500
141	666,900	69,200	65,400	56,500
142	667,000	69,200	65,400	56,500
143	667,600	69,200	65,400	56,500
144	667,700	69,200	65,400	56,500
145	668,100	69,300	65,500	56,600
146	668,500	69,300	65,500	56,600
147	668,700	69,400	65,600	56,700
148	669,000	69,500	65,700	56,700
149	669,200	69,700	65,700	56,700
150	669,400	69,800	65,700	56,700
151	669,700	69,800	65,700	56,700
152	669,900	70,100	65,700	56,700
153	670,100	70,200	65,700	56,700
154	670,500	70,500	65,700	56,700
155	670,700	71,000	65,800	56,700

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 13 mm percobaan 2

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
156	671,000	71,400	65,800	56,800
157	671,500	71,600	65,800	56,800
158	672,200	72,700	65,800	56,800
159	673,100	73,200	65,800	56,800
160	673,900	73,300	65,800	56,800
161	675,100	74,000	65,900	56,800
162	677,200	74,800	66,000	56,800
163	679,500	75,800	66,000	56,800
164	682,200	76,600	66,000	56,800
165	682,900	76,700	66,000	56,800
166	684,100	77,400	66,000	56,800
167	684,200	77,500	66,100	56,800
168	685,200	77,600	66,100	56,800
169	685,400	78,100	66,100	56,800
170	685,500	79,000	66,100	56,900
171	685,900	79,100	66,100	56,900
172	687,900	80,100	66,200	56,900
173	689,200	81,100	66,300	57,000
174	693,800	81,900	66,300	57,000
175	694,500	82,600	66,400	57,000
176	695,000	83,200	66,500	57,000
177	695,300	83,900	66,600	57,000
178	695,800	84,200	66,600	57,100
179	697,600	85,200	66,600	57,100
180	700,900	85,300	66,700	57,100

Data Pengujian *Combustor* Skala Makro Percobaan 3

1. *Combustor* 11 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	30,600	30,400	30,300	30,300
2	118,400	43,300	38,800	36,800
3	227,400	44,000	39,000	36,900
4	341,900	44,400	39,000	37,700
5	375,200	46,500	39,100	38,000
6	415,500	46,500	39,400	38,300
7	474,700	46,700	39,400	38,400
8	522,100	46,800	39,800	38,600
9	530,500	46,800	40,000	38,700
10	559,200	47,000	40,000	38,800
11	572,100	47,100	40,400	39,000
12	585,500	47,200	40,400	39,200
13	589,300	47,300	40,500	39,400
14	593,800	47,400	40,800	39,900
15	598,200	47,400	41,000	40,000
16	601,500	47,400	41,300	40,100
17	625,700	47,500	41,600	40,200
18	625,900	47,600	42,000	40,200
19	626,600	47,700	42,100	40,500
20	627,500	48,100	42,200	40,700
21	630,500	48,100	42,400	41,100
22	632,300	48,300	42,600	41,200
23	633,300	48,400	43,000	41,400
24	637,200	48,500	43,200	41,400
25	638,900	48,600	43,600	41,500
26	640,500	48,800	43,600	41,700
27	641,100	48,900	43,700	41,900
28	641,300	49,100	44,100	42,300
29	641,800	49,500	44,300	42,500
30	642,200	49,800	44,600	42,700
31	642,800	49,800	44,600	42,800
32	643,100	49,800	45,100	42,900
33	643,100	50,200	45,300	43,100

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 11 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
34	643,700	50,200	45,400	43,100
35	643,900	50,200	45,600	43,400
36	643,900	50,800	45,700	43,800
37	644,100	51,100	46,100	44,000
38	644,200	51,200	46,200	44,000
39	644,300	51,500	46,500	44,200
40	644,500	53,200	49,000	46,200
41	644,700	53,600	49,200	46,200
42	644,700	53,800	49,300	46,200
43	645,000	54,000	49,700	46,500
44	645,100	54,100	50,100	46,500
45	645,100	54,200	50,300	46,500
46	645,200	54,400	50,400	46,800
47	645,300	54,700	50,500	47,100
48	645,600	54,900	50,500	47,200
49	645,600	55,100	50,500	47,200
50	645,700	55,200	50,800	47,200
51	645,800	55,300	51,100	47,300
52	646,000	55,500	51,300	47,400
53	646,900	55,700	51,300	47,500
54	647,600	56,000	51,400	47,600
55	648,600	56,100	51,400	47,800
56	648,700	56,300	51,500	48,100
57	648,800	56,500	51,700	48,100
58	649,300	56,600	51,800	48,100
59	649,300	56,800	52,100	48,200
60	651,000	56,800	52,200	48,300
61	652,500	56,900	52,200	48,400
62	652,700	56,900	52,400	48,500
63	654,200	57,100	52,400	48,700
64	655,900	57,200	52,500	49,000
65	656,000	57,300	52,600	49,000
66	656,200	57,400	52,700	49,000
67	657,500	57,500	53,000	49,100

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 11 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
68	657,800	57,600	53,000	49,100
69	658,000	57,600	53,200	49,200
70	658,000	57,600	53,200	49,500
71	658,500	58,100	53,200	49,700
72	658,800	58,100	53,400	49,800
73	659,000	58,200	53,500	50,000
74	659,000	58,500	53,500	50,100
75	659,100	58,500	53,500	50,100
76	659,300	58,700	53,600	50,200
77	659,700	58,700	54,000	50,300
78	660,000	58,800	54,000	50,500
79	660,600	59,000	54,100	50,500
80	661,200	59,100	54,100	50,800
81	662,300	59,400	54,300	50,900
82	662,600	59,700	54,400	51,000
83	662,800	59,700	54,500	51,000
84	663,400	59,700	54,600	51,000
85	664,300	59,800	54,600	51,100
86	665,000	59,800	54,800	51,100
87	665,100	59,900	55,000	51,200
88	666,200	60,100	55,200	51,300
89	666,500	60,100	55,200	51,300
90	666,700	60,200	55,300	51,600
91	666,800	60,600	55,400	51,600
92	667,000	60,800	55,500	51,700
93	667,000	60,900	55,500	51,700
94	667,200	60,900	55,700	51,800
95	667,200	61,200	56,000	51,900
96	667,300	61,200	56,100	52,000
97	667,500	61,300	56,100	52,000
98	668,500	61,400	56,100	52,000
99	670,000	61,500	56,100	52,200
100	670,200	61,900	56,400	52,500
101	670,500	62,000	56,400	52,500

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 11 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
102	671,000	62,100	56,500	52,500
103	671,100	62,200	56,600	52,700
104	671,300	62,300	57,000	52,700
105	672,000	62,400	57,100	52,800
106	672,000	62,500	57,100	52,800
107	672,100	62,600	57,100	52,900
108	672,400	62,600	57,200	52,900
109	672,600	62,700	57,300	53,000
110	672,800	62,900	57,400	53,300
111	672,800	62,900	57,600	53,500
112	673,300	62,900	57,700	53,500
113	674,800	63,000	57,700	53,500
114	675,000	63,000	57,800	53,500
115	675,000	63,000	57,800	53,700
116	676,700	63,100	57,900	53,800
117	678,800	63,100	58,000	53,800
118	679,700	63,100	58,000	54,000
119	680,700	63,100	58,100	54,200
120	681,000	63,200	58,100	54,300
121	681,200	63,200	58,200	54,300
122	681,200	63,400	58,400	54,300
123	681,600	63,400	58,400	54,500
124	682,100	63,500	58,500	54,500
125	683,200	63,500	58,500	54,600
126	684,000	63,500	58,600	54,700
127	684,000	63,700	58,700	54,900
128	684,700	63,700	59,000	55,000
129	684,700	63,800	59,000	55,000
130	684,700	63,800	59,100	55,100
131	686,300	63,900	59,200	55,100
132	686,800	64,000	59,300	55,200
133	687,500	64,200	59,400	55,600
134	689,000	64,200	59,400	55,600
135	690,200	64,500	59,500	55,600

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 11 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
136	691,700	64,600	59,800	55,700
137	693,200	64,700	59,900	55,900
138	694,500	64,700	59,900	55,900
139	696,100	64,800	60,000	56,000
140	696,400	65,000	60,000	56,000
141	697,400	65,200	60,100	56,100
142	697,600	65,400	60,100	56,400
143	697,600	65,700	60,100	56,400
144	698,000	65,700	60,300	56,400
145	698,200	65,900	60,300	56,400
146	698,800	66,000	60,500	56,500
147	699,100	66,000	60,500	56,600
148	700,100	66,000	60,600	56,700
149	700,500	66,100	60,700	56,700
150	701,100	66,100	60,700	56,800
151	702,000	66,200	60,700	57,000
152	702,200	66,400	60,800	57,000
153	702,800	66,400	60,800	57,000
154	703,500	66,500	60,800	57,100
155	703,700	66,500	61,000	57,100
156	703,800	66,600	61,000	57,200
157	704,700	66,600	61,100	57,300
158	704,800	66,700	61,100	57,300
159	704,800	66,700	61,100	57,500
160	706,000	66,700	61,100	57,500
161	708,800	66,800	61,200	57,600
162	710,100	66,800	61,300	57,700
163	711,500	66,800	61,300	57,700
164	712,500	66,800	61,400	57,700
165	713,600	66,800	61,400	57,700
166	715,100	66,900	61,400	57,700
167	715,300	66,900	61,400	57,800
168	715,400	67,000	61,500	57,800
169	716,800	67,000	61,500	57,800

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 11 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
170	717,100	67,100	61,700	57,900
171	719,800	67,100	61,700	57,900
172	723,100	67,200	61,700	58,000
173	726,200	67,200	61,700	58,000
174	726,900	67,200	61,700	58,100
175	729,900	67,400	62,000	58,100
176	729,900	67,500	62,000	58,100
177	730,800	67,600	62,100	58,200
178	730,800	67,700	62,200	58,200
179	731,900	67,700	62,200	58,400
180	732,800	67,700	57,300,	58,400

2. *Combustor* 12 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	28,300	40,400	38,000	36,500
2	43,400	40,700	38,400	36,600
3	168,500	41,100	38,800	36,800
4	214,800	41,800	39,200	36,900
5	227,000	42,100	39,300	37,100
6	251,100	42,400	39,700	37,200
7	263,600	42,700	40,000	37,700
8	264,700	42,900	40,400	38,000
9	273,800	43,400	40,800	38,100
10	275,100	43,800	41,100	38,100
11	279,500	44,100	41,100	38,400
12	282,800	44,300	41,300	38,700
13	290,100	44,600	41,700	38,900
14	323,000	44,700	42,200	39,000
15	324,500	45,200	42,400	39,100
16	332,200	45,600	42,700	39,200
17	359,700	45,800	42,800	39,500
18	362,900	46,100	43,100	40,000
19	382,700	46,500	43,200	40,000

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 12 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
20	390,800	46,500	43,800	40,200
21	401,200	47,000	44,100	40,300
22	404,800	47,300	44,200	40,500
23	446,500	47,400	44,500	40,800
24	452,700	47,500	44,600	41,000
25	453,000	47,600	45,100	41,200
26	453,300	48,000	45,300	41,400
27	493,400	48,000	45,700	41,400
28	496,000	48,300	45,700	41,500
29	502,600	48,500	45,800	41,600
30	508,900	48,600	46,000	42,000
31	517,700	48,800	46,400	42,200
32	551,900	49,400	46,800	42,300
33	556,800	49,500	47,000	42,500
34	557,900	49,700	47,200	42,500
35	558,500	49,800	47,200	42,700
36	560,700	49,800	47,500	43,000
37	562,000	49,900	47,500	43,100
38	566,100	50,000	47,800	43,400
39	566,300	50,500	47,900	43,500
40	566,400	50,900	47,900	43,500
41	566,600	51,000	48,300	43,500
42	566,900	51,100	48,500	43,900
43	568,700	51,200	48,500	44,100
44	568,700	51,300	48,600	44,300
45	569,800	51,300	48,900	44,300
46	570,100	51,400	49,000	44,300
47	570,700	51,500	49,300	44,400
48	571,000	51,600	49,400	44,500
49	571,100	51,700	49,500	44,500
50	573,000	51,700	49,500	44,700
51	573,000	51,800	50,000	45,000
52	573,100	52,000	50,200	45,100
53	573,500	52,400	50,300	45,100

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 12 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
54	573,500	52,600	50,400	45,300
55	574,000	52,700	50,500	45,300
56	574,200	52,700	50,500	45,500
57	574,500	52,800	51,000	45,600
58	574,600	53,200	51,000	45,700
59	575,000	53,300	51,200	45,700
60	576,300	53,400	51,200	46,200
61	576,800	53,500	51,500	46,400
62	576,800	53,500	51,700	46,500
63	576,800	53,600	51,800	46,500
64	576,900	54,100	51,800	46,700
65	576,900	54,100	51,800	47,000
66	577,100	54,200	52,000	47,000
67	577,200	54,500	52,200	47,000
68	577,400	54,800	52,200	47,100
69	578,500	55,100	52,400	47,200
70	578,700	55,400	52,400	47,500
71	578,800	55,400	52,500	47,500
72	578,900	55,800	52,500	47,500
73	579,600	56,100	52,500	47,700
74	580,500	56,100	52,700	47,800
75	581,200	56,200	52,700	47,900
76	581,900	56,300	52,800	48,000
77	582,100	56,400	52,800	48,000
78	582,200	56,500	53,000	48,100
79	582,700	56,600	53,100	48,300
80	583,600	56,600	53,200	48,300
81	584,100	56,600	53,400	48,500
82	584,400	56,600	53,500	48,500
83	585,100	56,600	53,600	48,600
84	585,100	56,600	53,700	48,800
85	586,700	56,600	53,900	48,800
86	587,300	56,700	54,000	48,900
87	588,600	56,700	54,100	49,000

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 12 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
88	594,700	56,700	54,300	49,100
89	597,300	56,800	54,400	49,100
90	601,400	56,800	54,500	49,200
91	601,500	57,000	54,700	49,200
92	603,200	57,200	54,700	49,300
93	603,900	57,300	54,800	49,500
94	605,800	57,300	55,000	49,700
95	606,400	57,600	55,100	49,800
96	606,700	57,800	55,400	49,900
97	606,900	58,300	55,500	50,000
98	607,000	58,400	55,600	50,100
99	607,100	58,600	55,600	50,400
100	608,200	58,900	55,600	50,500
101	608,900	59,200	55,700	50,600
102	609,100	59,300	55,700	50,700
103	609,200	59,300	55,800	50,700
104	609,600	59,400	55,800	50,900
105	609,700	59,500	56,000	51,000
106	609,700	59,600	56,100	51,100
107	610,400	59,700	56,700	51,400
108	610,800	59,700	56,800	51,600
109	611,000	59,700	56,800	51,600
110	611,400	59,700	56,800	51,700
111	611,800	59,800	56,800	51,700
112	612,100	59,900	56,900	51,700
113	612,200	59,900	56,900	51,800
114	612,300	60,000	56,900	51,800
115	614,500	60,000	56,900	52,000
116	614,800	60,100	56,900	52,000
117	617,000	60,300	57,000	52,000
118	619,700	60,400	57,000	52,000
119	620,500	60,600	57,000	52,000
120	620,500	60,700	57,100	52,000
121	620,600	60,700	57,100	52,000

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 12 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
122	621,500	60,900	57,100	52,100
123	622,900	60,900	57,100	52,100
124	623,400	61,000	57,100	52,100
125	623,800	61,100	57,100	52,100
126	624,100	61,100	57,100	52,100
127	625,800	61,700	57,100	52,100
128	626,000	62,100	57,100	52,200
129	626,800	62,600	57,100	52,200
130	629,100	62,600	57,100	52,300
131	629,300	62,800	57,200	52,300
132	630,000	63,000	57,200	52,500
133	630,400	63,200	57,200	52,700
134	630,900	63,200	57,200	52,800
135	631,100	63,400	57,200	53,000
136	631,300	63,500	57,300	53,000
137	632,300	63,700	57,400	53,100
138	632,400	64,000	57,800	53,500
139	633,300	64,300	58,200	53,500
140	634,000	64,300	58,300	53,500
141	634,500	64,900	58,500	53,700
142	636,200	65,200	58,700	53,800
143	636,200	66,000	58,800	53,800
144	636,700	66,000	59,000	54,100
145	637,500	66,100	59,100	54,600
146	637,600	66,100	59,200	54,600
147	637,600	66,500	59,200	54,700
148	637,700	66,600	59,200	54,700
149	638,600	66,800	59,400	54,700
150	640,100	66,800	59,400	54,800
151	640,100	67,100	59,400	54,800
152	640,300	67,200	59,500	54,800
153	640,500	67,600	59,500	54,800
154	641,000	67,700	59,700	54,800
155	642,500	67,800	59,700	54,800

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 12 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
156	642,800	67,900	59,800	54,800
157	643,100	67,900	59,800	54,900
158	643,900	68,000	60,200	55,200
159	644,200	68,000	60,300	55,300
160	645,500	68,100	60,400	55,300
161	645,800	68,100	60,700	55,500
162	645,800	68,200	60,800	55,600
163	646,500	68,200	60,900	55,600
164	648,100	68,400	60,900	55,700
165	648,500	68,400	61,100	55,800
166	649,400	68,700	61,200	55,800
167	650,700	69,600	61,200	55,800
168	651,000	69,700	61,200	55,900
169	651,500	70,000	61,200	55,900
170	652,800	70,100	61,400	56,100
171	654,600	70,100	61,600	56,100
172	656,000	70,300	61,800	56,200
173	656,100	70,700	63,100	57,200
174	657,000	70,800	63,200	57,300
175	661,500	71,000	63,300	57,300
176	661,500	71,400	63,400	57,400
177	663,700	71,800	64,100	57,500
178	665,500	71,800	64,100	57,600
179	684,500	72,000	64,100	57,600
180	686,100	72,100	64,300	57,600

3. *Combustor* 13 mm

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
1	72,200	42,000	40,400	39,400
2	118,600	42,400	41,000	39,800
3	205,600	42,700	41,100	39,900
4	212,600	43,100	41,500	40,100
5	252,800	43,100	41,500	40,400
6	289,700	43,200	41,700	40,500
7	303,400	43,500	41,900	40,800
8	312,400	43,700	42,000	40,800
9	322,800	43,800	42,400	41,000
10	337,400	44,000	42,600	41,200
11	353,700	44,400	43,000	41,500
12	401,100	44,500	43,100	41,500
13	402,100	45,100	43,200	41,600
14	411,300	45,200	43,700	42,000
15	411,700	45,700	44,000	42,000
16	416,100	45,800	44,000	42,200
17	421,100	46,000	44,200	42,500
18	432,300	46,400	44,500	42,600
19	438,300	46,400	44,500	42,700
20	445,300	46,500	44,700	43,000
21	446,500	47,000	45,100	43,100
22	458,900	47,000	45,200	43,100
23	483,700	47,100	45,200	43,100
24	498,200	47,200	45,600	43,200
25	525,400	47,800	45,800	43,400
26	528,000	47,800	45,900	43,700
27	534,900	48,200	46,400	43,800
28	536,100	48,500	46,400	43,900
29	561,000	48,600	46,700	44,200
30	581,200	48,800	47,000	44,500
31	588,700	49,000	47,100	44,500
32	591,500	49,100	47,200	44,700
33	596,600	49,200	47,400	44,900
34	598,500	49,300	47,700	45,100

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 13 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
35	607,500	49,800	48,000	45,300
36	611,100	49,900	48,200	45,700
37	613,400	50,100	48,300	45,800
38	632,800	50,200	48,300	45,800
39	636,900	50,200	48,400	45,800
40	644,000	50,500	48,700	46,200
41	653,100	50,500	48,900	46,400
42	663,100	51,000	49,100	46,700
43	665,700	51,100	49,100	46,800
44	674,700	51,100	49,500	47,000
45	675,100	51,400	49,500	47,100
46	676,500	51,400	49,700	47,200
47	687,100	51,600	49,900	47,300
48	690,700	51,800	50,000	47,400
49	695,500	52,000	50,100	47,400
50	700,700	52,100	50,200	47,600
51	701,300	52,500	50,400	47,700
52	702,600	52,700	50,600	48,000
53	703,100	52,700	50,800	48,000
54	703,700	52,800	50,800	48,000
55	704,600	53,100	51,100	48,500
56	705,700	53,200	51,100	48,500
57	706,500	53,200	51,100	48,600
58	706,800	53,300	51,100	48,700
59	707,900	53,400	51,300	48,700
60	708,800	53,400	51,600	48,800
61	709,300	53,400	51,700	49,000
62	709,500	53,700	52,000	49,100
63	709,700	54,000	52,100	49,500
64	710,700	54,300	52,300	49,700
65	711,300	54,600	52,300	49,700
66	712,400	54,800	52,600	49,700
67	712,700	54,800	52,700	50,000
68	712,900	54,800	52,700	50,000

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 13 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
69	714,000	54,900	52,800	50,100
70	714,100	55,200	53,000	50,100
71	714,400	55,300	53,200	50,200
72	714,500	55,500	53,400	50,300
73	714,800	55,800	53,800	50,300
74	715,100	56,000	53,800	50,400
75	715,600	56,100	54,000	50,400
76	715,700	56,100	54,000	50,700
77	715,900	56,100	54,200	50,800
78	716,000	56,300	54,300	50,800
79	716,200	56,400	54,300	50,800
80	716,200	56,500	54,600	51,000
81	716,600	57,100	54,800	51,000
82	716,800	57,100	55,000	51,000
83	716,800	57,300	55,000	51,100
84	717,100	57,400	55,400	51,100
85	717,200	57,400	55,500	51,200
86	717,300	57,600	55,700	51,300
87	717,500	58,500	56,700	51,400
88	717,900	59,000	56,700	51,400
89	718,000	59,100	56,700	51,400
90	718,100	59,200	56,700	51,500
91	718,200	59,300	56,800	51,700
92	718,700	59,400	56,900	51,700
93	719,200	59,600	57,000	51,800
94	719,400	59,900	57,100	51,800
95	719,500	60,000	57,200	51,800
96	719,800	60,100	57,200	52,000
97	719,900	60,100	57,200	52,000
98	720,000	60,100	57,500	52,000
99	720,100	60,300	57,500	52,000
100	720,100	60,300	57,500	52,000
101	720,200	60,300	57,600	52,100
102	720,200	60,400	57,600	52,100

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 13 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
103	720,200	60,500	57,700	52,200
104	720,300	60,500	57,800	52,700
105	720,300	60,500	57,900	52,700
106	720,400	60,500	58,000	52,800
107	720,500	60,600	58,000	52,900
108	720,600	60,700	58,200	53,300
109	720,600	60,700	58,200	53,500
110	721,000	60,700	58,400	53,700
111	721,000	60,700	58,400	53,700
112	721,100	60,800	58,400	53,700
113	721,200	60,900	58,400	53,900
114	721,200	60,900	58,500	54,300
115	721,300	61,000	58,600	54,400
116	721,400	61,000	58,600	54,600
117	721,500	61,100	58,700	54,700
118	721,800	61,200	59,000	54,800
119	721,800	61,300	59,000	54,800
120	721,900	61,500	59,100	54,900
121	722,100	61,600	59,200	54,900
122	722,200	61,900	59,400	55,200
123	722,300	61,900	59,400	55,200
124	722,500	62,000	59,500	55,400
125	722,600	62,000	59,500	55,500
126	722,700	62,100	59,500	55,600
127	722,800	62,100	59,600	55,600
128	722,800	62,100	59,600	56,000
129	723,000	62,200	59,700	56,100
130	723,000	62,300	59,700	56,100
131	723,200	62,400	59,800	56,200
132	723,400	62,500	59,800	56,200
133	723,500	62,500	59,900	56,400
134	723,600	62,500	60,000	56,500
135	723,800	62,500	60,000	56,600
136	723,900	62,500	60,000	56,700

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 13 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
137	723,900	62,500	60,100	56,800
138	724,000	62,700	60,200	56,900
139	724,100	62,900	60,400	57,100
140	724,300	63,000	60,500	57,200
141	724,600	63,100	60,500	57,300
142	724,700	63,100	60,700	57,400
143	724,800	63,500	61,200	57,400
144	724,900	63,800	61,300	57,700
145	725,100	63,800	61,400	57,800
146	725,200	63,800	61,400	57,800
147	725,200	63,800	61,400	57,800
148	725,500	63,900	61,700	57,900
149	725,900	63,900	61,800	58,200
150	726,200	64,100	61,900	58,200
151	726,300	64,500	62,100	58,300
152	726,500	64,500	62,100	58,500
153	727,100	64,500	62,100	58,600
154	727,700	64,600	62,200	58,600
155	728,000	64,700	62,300	58,800
156	728,300	64,800	62,300	58,800
157	729,100	64,800	62,300	58,900
158	729,600	65,000	62,500	58,900
159	729,800	65,100	62,700	59,000
160	730,500	65,100	62,700	59,100
161	730,600	65,100	62,700	59,100
162	730,800	65,200	62,800	59,100
163	730,900	65,200	62,800	59,200
164	731,200	65,400	62,900	59,200
165	731,300	65,500	62,900	59,200
166	731,800	65,500	63,000	59,200
167	731,900	65,600	63,000	59,200
168	732,000	65,700	63,100	59,200
169	732,100	65,700	63,100	59,400
170	732,200	65,800	63,100	59,400

Lanjutan tabel data pengujian *combustor* 13 mm percobaan 3

Waktu (s)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding A (°C)	Temperatur Dinding B (°C)	Temperatur Dinding C (°C)
171	732,300	65,800	63,200	59,400
172	732,400	65,900	63,200	59,500
173	732,500	66,100	63,200	59,500
174	732,900	66,100	63,400	59,500
175	733,000	66,200	63,400	59,500
176	733,100	66,200	63,400	59,500
177	733,300	66,200	63,500	59,700
178	733,400	66,400	63,700	59,800
179	733,600	66,600	63,700	59,800
180	740,700	76,300	63,800	59,900

LAMPIRAN C. Analisis Statistik Uji Hipotesis

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Two-Sample T-Test and CI: Energi Meso; Energi Makro

Two-sample T for Energi Meso vs Energi Makro

	N	Mean	StDev	SE Mean
Energi Meso	3	5574	241	139
Energi Makro	3	1115,6	71,6	41

Difference = mu (Energi Meso) - mu (Energi Makro)

Estimate for difference: 4458

95% lower bound for difference: 4034

T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 30,70 P-Value = 0,001 DF = 2

LAMPIRAN D. 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



ADAM-4542+



ADAM-4561/4562



Specifications

General

- Power Input** Unregulated 10 - 30 V_{DC}
- Connectors** 1 x plug-in terminal block (#14 - 22 AWG) (RS-232/422/485)
2 x ST fiber connector
- Power Consumption** 1.5 W @ 24 V_{DC}
- Operation Modes** Support Point-to-Point, and Ring (half-duplex)

Fiber Optic Communications

- Optical Power Budget (Attenuation)** 15 dB (measured with 62.5/125 μm)
- Transmission Distance** 2.5 km
- Transmission Mode** Multi mode (Send and Receive)
820 nm
- Wavelength** 820 nm

Serial Communications

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

Specifications

General

- Power Input** Unregulated 12 - 24 V_{DC}
- Connectors** 1 x plug-in terminal block (#14 - 22 AWG) (RS-232/422/485)
1 x SC fiber connector
- Power Consumption** 3 W @ 24 V_{DC}
- Operation Modes** Support Point-to-Point, Redundant and Ring (half-duplex)

Fiber Optic Communications

- Optical Power Budget (Attenuation)** 15 dB
- 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, 19.2 k, 38.4 k, 57.6 k, 115.2 k, 230.4 k, 460.8 k, 921.6 k and RS-232/422 mode (switchable)
- Transmission Modes** Full/half duplex, bidirectional

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

Specifications

General

- Connectors** Network: USB-type A connector (type A to type B cable provided)
Serial: ADAM-4561 1 x plug-in terminal (#14 - 22 AWG) (3-wire RS-232/422/485)
ADAM-4562 1 x DB-9 serial connectors (9-wire RS-232)

Isolation Voltage

- ADAM-4561: 3,000 V_{DC}
- ADAM-4562: 2,500 V_{DC}

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/7/8 (32&64-bit)

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

LAMPIRAN E. 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-4017/4017+ CE FCC



ADAM-4018/4018+ CE FCC



ADAM-4019+ CE FCC

Specifications

General

- **Power Consumption** 1.2 W @ 24 V_{DC}
- **Watchdog Timer** ADAM-4017: System (1.6 second) ADAM-4017+: System (1.6 second) & Communication
- **Support Protocol** ASCII command (ADAM-4017) ASCII command and Modbus/RTU (ADAM-4017+)

Analog Input

- **Channels** ADAM-4017: 6 differential, and 2 single-ended ADAM-4017+: 8 differential
- **Channel Independent Configuration** ADAM-4017+ only
- **Input Impedance** Voltage: 20 M Ω Current: 120 Ω (4017+ only)
- **Input Type** mV, V, mA
- **Input Range** ADAM-4017: ± 150 mV, ± 500 mV, ± 1 V, ± 5 V, ± 10 V, ± 20 mA ADAM-4017+: ± 150 mV, ± 500 mV, ± 1 V, ± 5 V, ± 10 V, ± 20 mA, 4 - 20 mA

Specifications

General

- **Power Consumption** 0.8 W @ 24 V_{DC}
- **Watchdog Timer** ADAM-4018: System (1.6 second) ADAM-4018+: System (1.6 second) & Communication ASCII command (ADAM-4018) ASCII command and Modbus/RTU (ADAM-4018+)
- **Support Protocol**

Analog Input

- **Channels** ADAM-4018: 6 differential, and 2 single-ended ADAM-4018+: 8 differential ADAM-4018+ only
- **Channel Independent Configuration**
- **Input Impedance** Voltage: 20 M Ω Current: 120 Ω (4018+ only)
- **Input Type** ADAM-4018: Thermocouple, mV, V, mA ADAM-4018+: Thermocouple, mV ADAM-4018+ ± 15 mV
- **Voltage/Current Input Range** ± 50 mV, ± 100 mV, ± 500 mV, ± 1 V, ± 5 V, ± 20 mA ADAM-4018+: ± 20 mA, 4 - 20 mA
- **T/C Types and Temperature Ranges**

J	E	-75° C	R	I	500 - 1750° C
K	S	-100° C	B	300 - 1750° C	
T	Q	-40° C	R	300 - 1800° C	
E	L	-100° C			
- **Burn-out Detection** All T/C (ADAM-4018+ only)

Specifications

General

- **Power Consumption** 1.0 W @ 24 V_{DC}
- **Watchdog Timer** System (1.6 second) & Communication
- **Support Protocol** ASCII command and Modbus/RTU

Analog Input

- **Channels** 6 differential channels for individual input type
- **Channel Independent Configuration** Yes
- **Input Impedance** Voltage: 20 M Ω Current: 120 Ω
- **Input Type** T/C, mV, V, mA
- **Voltage/Current Input Range** ± 1 V, ± 2.5 V, ± 5 V, ± 10 V, ± 100 mV, ± 500 mV, ± 20 mA, 4 - 20 mA
- **T/C Types and Temperature Ranges**

J	0 - 750° C	R	500 - 1750° C
K	0 - 1320° C	S	500 - 1750° C
T	-100 - 400° C	B	500 - 1800° C
E	0 - 1000° C		
- **Burn-out Detection** 4 - 20 mA & all T/C

Common Specifications

General

- **Power Input** Unregulated 10 - 35 V_{DC}
- **Connectors** 2 x Plug-in terminal block (F14 - 22 AWG)

Analog Input

- **Accuracy** Voltage mode: $\pm 1\%$ or better Current mode: $\pm 0.2\%$ or better
- **Resolution** 10-bit
- **Sampling Rate** 10 samples/second (10/s)

- **Isolation Voltage** 3000 V_{DC}
- **Overvoltage Protection** ± 25 V_{DC}
- **CMR @ 50/60 Hz** 120 dB
- **NMR @ 50/60 Hz** 100 dB
- **Span Drift** ± 25 ppm/° C
- **Zero Drift** ± 5 μ V/° C
- **Built-in TVS/ESD Protection**

Environment

- **Humidity** 5 - 95% RH
- **Operating Temperature** -10 - 70° C (14 - 158° F)
- **Storage Temperature** -25 - 85° C (-13 - 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

LAMPIRAN F. Spesifikasi *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 of 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.

B

Features

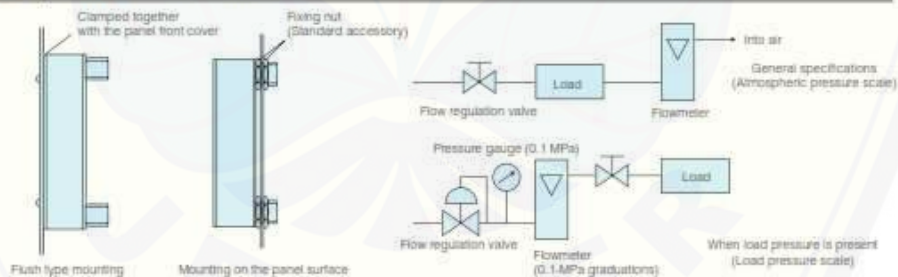
- **Capable of measuring ultra-minute flows**
Can measure a wide range of flows from ultra-minute flows of 0.5-3 ML/MIN to flows of 3-30 L/MIN.
- **High precision measurement**
High precision measurement of flows is available up to +2% of full scale (standard specifications) or to +1% of full scale (optional specifications).
- **Wide variations**
A broad range of variations is available in total length, materials 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 those standard (Air, N₂, O₂, H₂, He, Ar and CO₂).
- **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 maximum flow rate.)

Applications

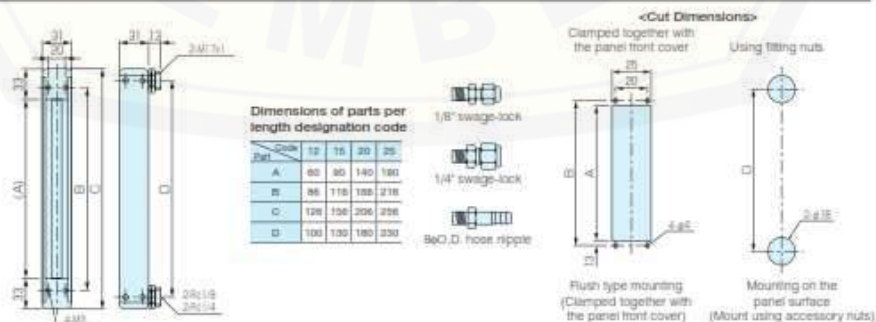
- For integration into your equipment panel
- For flow inspections at laboratory
- For semiconductor manufacturing equipment
- For biotechnology industries



Example of Use with Model RK1450



Dimensions



B

Standard Specifications

	Gases	Liquids
Fluids	Air, N ₂ , O ₂ , H ₂ , He, Ar, and CO ₂ (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	0.5-3 ML/MIN to 3-30 L/MIN (See the Capacity Table below) * Optional: 0.5-3 ML/MIN	0.5-5 ML/MIN to 0.1-1 L/MIN (See the Capacity Table below) * Optional: 0.5-3 ML/MIN
Accuracy	F547% (Measurement point) * Optional: F541% (Measurement point)	F547% (Measurement point)
Proof pressure	1.0 MPa for 100 ML/MIN or less 0.7 MPa for 3 L/MIN or less 0.5 MPa for 30 L/MIN or more	1.0 MPa for 5 ML/MIN or less 0.7 MPa for 150 ML/MIN or less 0.5 MPa for 200 ML/MIN or more
Available scale	10:1 * Optional: 20:1	
Material	SS	SS
Body block	SUS316	Stress
tapered tube		Dynal [®] glass
Packing	PTM	NBR
Fluid		Dynal, SUS316, glass
Protective cover		Acrylic resin
Temperature resistance		MAX80°C
Connection end		Rc1/4 (Standard); Rc1/8 (Optional)

Capacity Table

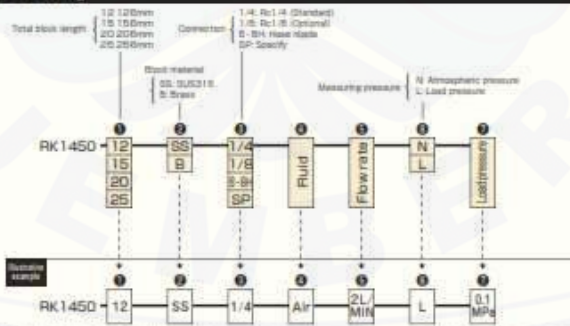
Air (Flow rate at atmospheric pressure)

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	
126mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
156mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
206mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
256mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

H₂O

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
126mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
156mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
206mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
256mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Ordering



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

LAMPIRAN G. Spesifikasi *Flowmeter* Bahan Bakar (*Liquid Petroleum Gas*)

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

The Model RK1250 Series Flowmeter is a completely renewed 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

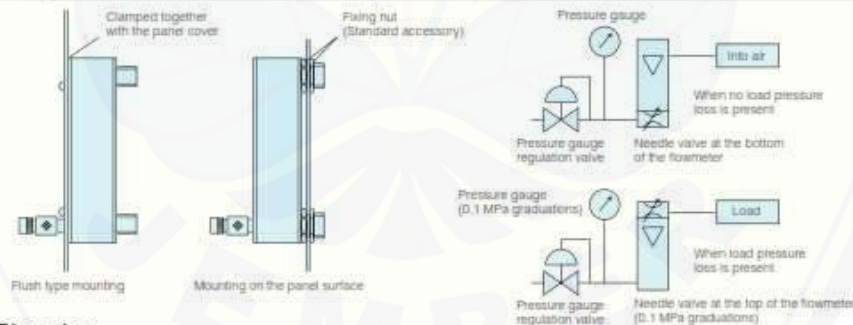
- **Capable of controlling ultra-minute flows**
Can respond to a wide range of flows from ultra-minute flows of 0.5-3 ML/MIN to flows of 3-30 L/MIN.
- **The incorporated precision needle valve allows a delicate control of flows.**
The effective revolving speed of the needle valve can be maximized by specifying a maximum flow and normal supply pressure.
- **Wide variations.**
Four total lengths of the flowmeter are available: 120, 150, 200, and 250 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 L/MIN are also possible.



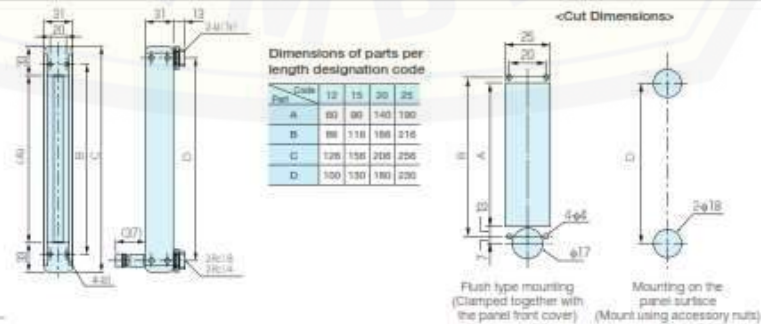
Applications

- 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

	Gases	Liquids
Fluids	Air, N ₂ , O ₂ , H ₂ , He, Ar, and CO ₂ (Calibrated 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	0.5-3 ML/MIN to 3-30 L/MIN (See the Capacity Table below) * Optional: 0.5-3 ML/MIN	0.5-5 ML/MIN to 0.1-1 L/MIN (See the Capacity Table below) * Optional: 0.5-3 ML/MIN
Accuracy	F54716 (Measurement point) * Optional: F54116 (Measurement point)	F54716 (Measurement point)
Proof pressure	1.0 MPa for 100 ML/MIN or less 0.7 MPa for 3 L/MIN or less 0.5 MPa for 30 L/MIN or more	1.0 MPa for 5 ML/MIN or less 0.7 MPa for 150 ML/MIN or less 0.5 MPa for 200 ML/MIN or more
Available scale	10:1 * Optional: 20:1	
Material	SS	SS
Body block	SUS316	Brass
Sealed tube		Dynal [®] glass
Packing	PTFE	NBR
Fluid		Dynal, SUS316, glass
Protective cover		Acrylic resin
Temperature resistance	MAX80°C	
Connection end	Rc1/4 (Standard); Rc1/8 (Optional)	

Capacity Table

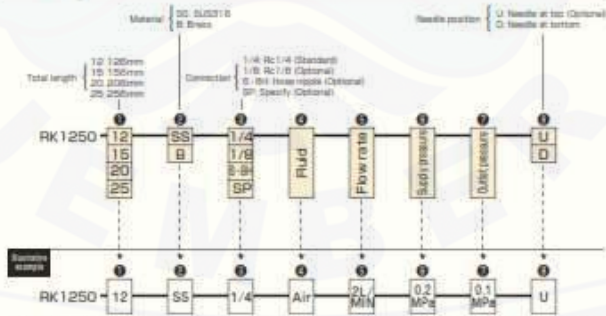
Air (Flow rate at atmospheric pressure)

Total length	Max. flow rate	Flow rate (ML/MIN)																	
		5	10	20	30	50	100	150	200	300	500	1	2	3	5	10	15	20	30
126mm		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
156mm		—	—	—	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
206mm		—	—	—	—	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
256mm		—	—	—	—	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

H₂O

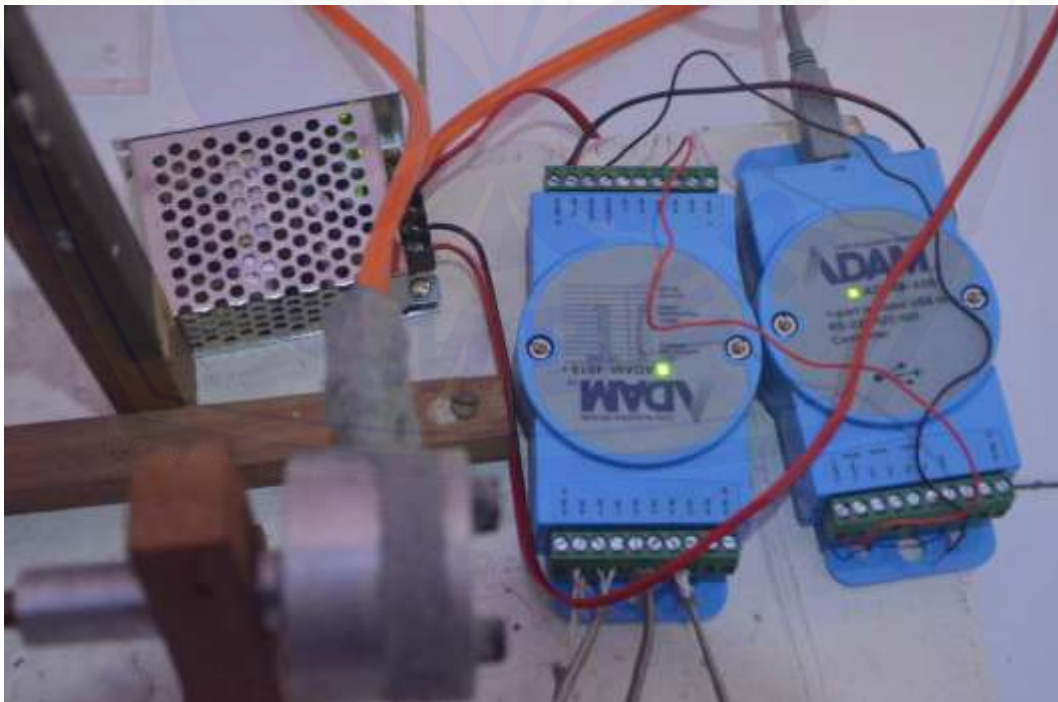
Total length	Max. flow rate	Flow rate (ML/MIN)										
		5	10	20	30	50	100	150	200	300	500	1
126mm		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
156mm		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
206mm		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
256mm		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

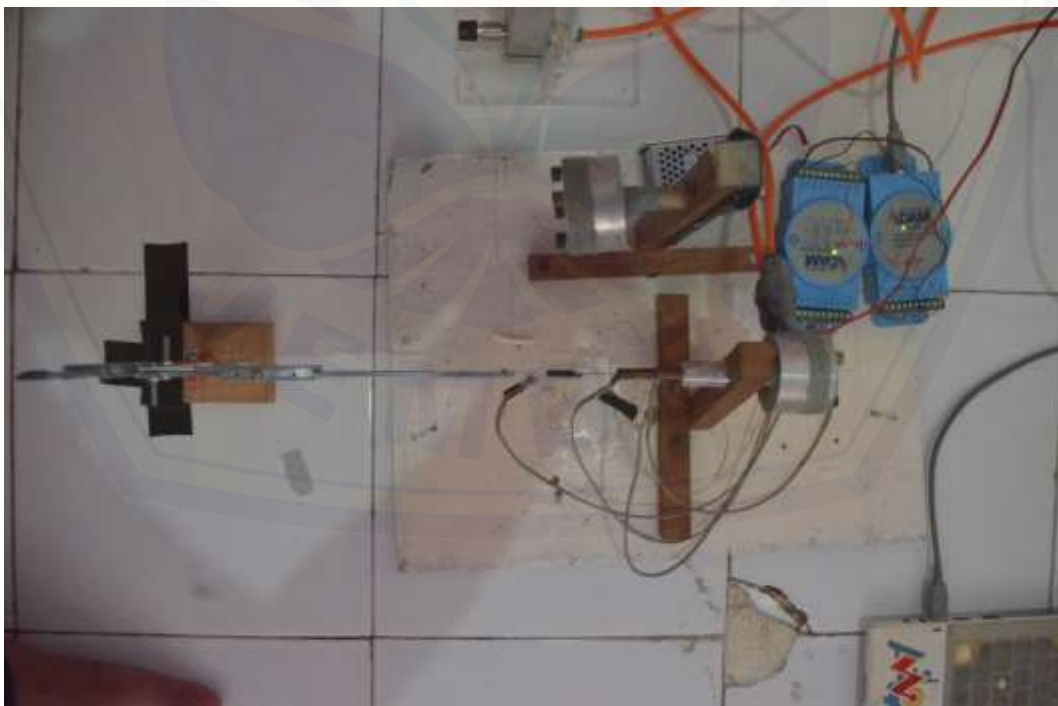
Ordering



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

LAMPIRAN H. Dokumentasi



















PERTAMINA *Material Safety Data Sheet*

1. CHEMICAL PRODUCT/COMPANY IDENTIFICATION

Product Name: **LPG (Liquefied Petroleum Gas)**

Tradenames / Synonyms: elpiji

MSDS Code: LPG-mix-001-PTM

Date: May 1, 2007 Revised: 0

Manufacture: PERTAMINA, Indonesia

Distributor: PERTAMINA, Direktorat Pemasaran & Niaga
unit Gas Domestik
Gedung Utama Pertamina Lt 12
Jl. Medan Merdeka Timur 1A, Jakarta 10110, Indonesia
Phone: 62-21-3815137,- 3815569
Facs.: 62-21-3846943,-3843773

Product Information: PERTAMINA, Pemasaran Gas Domestik
Phone: 62-21-3815137,- 3815569
Facs.: 62-21-3846943,-3843773

Medical Emergency: 62-21-3815964

2. COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS

Component	CAS Number	
1. Ethane	74-84-0	0.2 % Max.
2. Propane	74-98-6	97.50 % (C3 + C4) Min.
3. Iso-butane	75-28-5	
4. N-butane	106-97-8	
5. Pentane and heavier	68476-43-7	Traces
6. Ethyl Mercaptan	67-56-1	50 ml/100 AG Min.
* Pentane as n-Pentane		

3. HAZARDS IDENTIFICATION

3.1. EMERGENCY OVERVIEW:

Health Hazards: Danger, may cause cardiac sensitization, asphyxiant gas, overexposure may cause depression, liquid material may cause frostbite and freeze burns.

Flammability hazards: Extremely flammable, forms explosive mixtures with air, may cause flash fire.

Appearance / Odor: Vapor and Liquid are colorless, contain stanching agent

OSHA Hazard Determination: 800 - 1000 ppm 8-hour TWA

HMIS Rating: Health: 1; Flammability: 4; Reactivity: 0

3.2. POTENTIAL HEALTH EFFECTS

mary Route of Exposure

Pri

Eye Contact	May causes irritation. Direct contact with liquefied/pressurized gas or frost particle may produce severely and possibly permanent eye damage from freezer burn	N/A
Skin Irritation:	Neither a "corrosive" nor "irritant" by OSHA standard. Solid or liquid forms of this material and pressurized gas can cause Freezer burns. Prolonged exposure tends to remove skin oils, Possibly leading to dermatitis	N/A
Inhalation:	Oxygen deficient atmospheres may cause gasping, disorientation, unconsciousness, and possibly death	Yes
Ingestion:	Not expected with proper use Solid and liquid forms of this material and pressurized gas Can cause burns. Potential human health risks vary from person to person. As a precaution, exposure to liquids, Vapors, mists or fumes should be minimized	N/A
Carcinogenicity: No		

3.3. TOXICOLOGICAL INFORMATION

Acute or chronic overexposure to this material or its components may cause systematic toxicity, including adverse effects to the following: cardiovascular and central nervous systems.

Contain asphyxiant which may cause reproductively and/or development effects in pregnant woman.

Pre-existing medical conditions which may be aggravated by exposure include disorders of the respiratory and cardiovascular systems.

3.4. ECOLOGICAL INFORMATION

Ecological Information ND

4. FIRST AID AND EMERGENCY PROCEDURES

INHALATION: Remove from exposure and call physician. For respiratory distress give air, oxygen, and/or administer cardiopulmonary resuscitation. Keep warm and quiet until medical attention arrives.

SKIN CONTACT: This material is not expected to be absorbed through the skin. In case of excessive skin contact with liquid, immediately flush skin with tap water for fifteen minutes. If irritation develops, immediately contact physician for treatment.

EYE CONTACT: Immediately flush eyes with tap water for at least fifteen minutes. If irritations develop and If liquid gets into eyes, contact physician immediately

INGESTION: Do not induce vomiting; call physician immediately

5. FIRE FIGHTING MEASURES

Flammable Properties

Flash Point: -153⁰F, -103⁰C

Hazardous Product of Combustion:	Deficient primary and secondary air can produce Carbon Monoxide
Explosion:	Exposed to an ignition source it will burn in the open or be Explosive in confined spaces
Fire Extinguishing Media:	Dry Chemical, CO ₂ Halogenated Extinguishing Agent, Water Spray.
Fire Fighting Instructions:	Shut off gas source; use water to keep fire-exposed containers cool and to protect men effecting the shut off. Control fire until gas supply can be shut off. Minimize breathing of gases, vapor, fumes or decomposition products. Use supplied-air breathing equipment for enclosed or confined spaces or as otherwise needed.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Emergency Action:	Eliminate and/or shut off ignition sources and keep ignition sources out of the area. Keep unnecessary people away; isolate hazard area and deny entry. Stay upwind. Isolate for ½ mile in all directions if tank, rail car or tank truck is involved in release. Evacuate area endangered by release as required (See Personal Protection Information Section)
Spill or Leak Procedure:	Evacuate area of all unnecessary personnel. Wear protective equipment and/or garments if exposure conditions warrant. Protect from ignition. Ventilate area thoroughly. Shut off source, if possible.

7. HANDLING AND STORAGE

Handling and storage:	Transport & store cylinders & tanks secured in an upright position in vented space. Do not store with oxidizing agents, O ₂ / chlorine cylinder. Cylinders that are not in use must have valves in closed position.
Eye protection:	Safety glasses, goggles or face shield
Skin Protection:	Insulated gloves
Inhalation:	Where concentration in air would reduce the oxygen level below 18% air or exceed occupational exposure limits, self contained breathing apparatus is required

8. EXPOSURE CONTROLS / PERSONAL PROTECTION

Engineering Controls:	Ventilation and other forms of engineering controls are the preferred means for controlling exposures.
Ventilation:	Explosion proof ventilation equipment
Personal Protective Equipment:	Safety glasses, goggles or face shield and Insulated gloves
Respiratory Protection:	Where concentration in air would reduce the oxygen level below 18% air or exceed occupational exposure limits, self contained breathing apparatus is required

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Vapor pressure 100^oF, psig 120.00 max.

Weathering test at 36 °F, % vol.	95.00 min.
Copper corrosion 1 hrs, 100 °F	ASTM No. 1 max.
Total sulphur, grains/100 cuft	15 max.
Water content	free water
C2 % vol.	0.20 max.
C3 and C4 % vol.	97.50 min.
C5+ (C5 and heavier) % vol.	-
Ethyl or butyl mercaptan added, ml/100 AG	50.00 min.

10. STABILITY AND REACTIVITY

Chemical Stability:	Stable
Incompatibility with Other Materials:	Oxygen and strong oxidizing agents
Hazardous Polymerization Occur:	Will not occur
Decomposition :	Deficient primary and secondary air can produce carbon monoxide Carbon oxides formed when burned

11. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Waste Disposal: Insure conformity with all applicable disposal regulations

12. TRANSPORTATION INFORMATION

Shipping Name:	Liquefied Petroleum Gas
Hazard Class:	2.1 (Flammable Gas)
Packing Group:	Not Applicable
Marking:	Liquefied Petroleum Gas
Labels required:	Flammable Gas

13. REGULATORY INFORMATION

There may be specific regulations at the local, regional or state/provincial level that pertain to this product.

14. OTHER INFORMATION

The data in this Material Safety Data Sheet relates only to the specific material designated herein and does not relate to use in combination with any other material or in any process.



DEPARTEMEN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL REPUBLIK INDONESIA
DIREKTORAT JENDERAL MINYAK DAN GAS BUMI

KEPUTUSAN DIREKTUR JENDERAL MINYAK DAN GAS BUMI

NOMOR : 28525.K/10/DJM.T/2009

TENTANG

STANDAR DAN MUTU (SPESIFIKASI) BAHAN BAKAR GAS
JENIS LIQUEFIED PETROLEUM GAS (LPG) YANG DIPASARKAN DI DALAM NEGERI

DIREKTUR JENDERAL MINYAK DAN GAS BUMI,

- Menimbang :
- a. bahwa untuk melaksanakan ketentuan Pasal 3 ayat (1) Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 0048 Tahun 2005 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) serta Pengawasan Bahan Bakar Minyak, Bahan Bakar Gas, Bahan Bakar Lain, LPG, LNG dan Hasil Olahan yang Dipasarkan di Dalam Negeri telah ditetapkan Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor 22394.K/10/DJM.T/2009 tanggal 11 November 2009 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Gas Jenis *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) Yang Dipasarkan di Dalam Negeri;
 - b. bahwa dengan adanya perkembangan dan perubahan spesifikasi *Liquefied Petroleum Gas* (LPG), maka Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor 22394.K/10/DJM.T/2009 sebagaimana dimaksud dalam huruf a sudah tidak sesuai dan perlu dicabut;
 - c. bahwa berdasarkan pertimbangan pada huruf a dan b diatas, perlu untuk menetapkan standar dan mutu (spesifikasi) Bahan Bakar Gas jenis *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) yang Dipasarkan di Dalam Negeri dalam suatu Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi.
- Mengingat :
1. Undang-undang Nomor 22 Tahun 2001 Tentang Minyak dan Gas Bumi (Lembaran Negara Tahun 2001 Nomor 135, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4152);
 2. Peraturan Pemerintah Nomor 36 Tahun 2004 tentang Kegiatan Usaha Hilir Minyak dan Gas Bumi (Lembaran Negara Tahun 2004 Nomor 124, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4435) sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Pemerintah Nomor 30 Tahun 2009 (Lembaran Negara Tahun 2009 Nomor 59, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4998);
 3. Keputusan Presiden Nomor 69/M Tahun 2008 tanggal 24 Juni 2008;
 4. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 0030 Tahun 2005 tanggal 20 Juli 2005 tentang Organisasi dan Tata Kerja Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral;
 5. Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1088.K/20/MEM/2003 tanggal 17 September 2003 tentang Pedoman Pelaksanaan Pembinaan, Pengawasan, Pengaturan dan Pengendalian Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi dan Kegiatan Usaha Hilir Minyak dan Gas Bumi;
 6. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 0048 Tahun 2005 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) serta Pengawasan Bahan Bakar Minyak, Bahan Bakar Gas, Bahan Bakar Lain, LPG, LNG dan Hasil Olahan yang Dipasarkan di Dalam Negeri.

MEMUTUSKAN

Menetapkan: KEPUTUSAN DIREKTUR JENDERAL MINYAK DAN GAS BUMI TENTANG SPESIFIKASI BAHAN BAKAR GAS JENIS LIQUEFIED PETROLEUM GAS (LPG) YANG DIPASARKAN DI DALAM NEGERI

KESATU : Menetapkan standar dan mutu (spesifikasi) Bahan Bakar Gas jenis *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) yang Dipasarkan di Dalam Negeri yang terdiri dari :

- a. Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Gas Jenis LPG Campuran sebagaimana tercantum dalam Lampiran I Keputusan ini;
- b. Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Gas Jenis LPG Propana sebagaimana tercantum dalam Lampiran II Keputusan ini;
- c. Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Gas Jenis LPG Butana sebagaimana tercantum dalam Lampiran III Keputusan ini.

KEDUA : Dengan berlakunya Keputusan ini, maka Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor 22394.K/10/DJM.T/2009 tanggal 11 Nopember 2009 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Gas Jenis *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) Yang Dipasarkan di Dalam Negeri dicabut dan dinyatakan tidak berlaku.

KETIGA : Keputusan ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di Jakarta
Pada tanggal 21 Desember 2009

Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi



Evila H. Legowo

Tembusan:

1. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral
2. Menteri Perhubungan
3. Menteri Perdagangan
4. Menteri Negara Lingkungan Hidup
5. Sekretaris Jenderal Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral
6. Inspektur Jenderal Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral
7. Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan ESOM
8. Kepala BPH Migas

LAMPIRAN I KEPUTUSAN DIREKTUR JENDERAL MINYAK DAN GAS BUMI
 NOMOR : 26525.K/10/DJM.1/2009
 TANGGAL : 31 Desember 2009

STANDAR DAN MUTU (SPESIFIKASI) BAHAN BAKAR GAS JENIS LPG CAMPURAN

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metoda Uji	
			Minimum	Maksimum	ASTM	Lain
1.	Berat Jenis Relatif pada 60/60°F	-	Dilaporkan		D-1657	-
2.	Tekanan Uap pada 100°F	psig	-	145	D-1287	-
3.	Weathering Test pada 36°F	% vol	95	-	D-1837	-
4.	Korosi Bilah Tembaga	1 jam/ 100°F	-	ASTM No. 1	D-1838	-
5.	Kandungan Sulfur Total	grains/ 100 cuft	-	15	D-2784	-
6.	Kandungan Air	-	Tidak ada air bebas		-	Visual
7.	Komposisi:				D-2153	-
	C ₁	% vol	-	0,8		
	C ₂ dan C ₃	% vol	97,0	-		
	C ₄ + (C ₄ dan kandungan hidrokarbon lain yang lebih berat)	% vol	-	2,0		
8.	Etil atau Butil Merkaptan	ml/ 1000 AG	50	-	-	-

Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi



Eva H. Legrow

LAMPIRAN II KEPUTUSAN DIREKTUR JENDERAL MINYAK DAN GAS BUMI
 NOMOR : 26525.X/10/DJM.T/2009
 TANGGAL : 31 Desember 2009

STANDAR DAN MUTU (SPESIFIKASI) BAHAN BAKAR GAS JENIS LPG PROPANA

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metoda Uji	
			Minimum	Maksimum	ASTM	Lain
1.	Berat Jenis Relatif pada 60/60°F	-	Dilaporkan		D-1857	-
2.	Tekanan Uap pada 100°F	psig	-	210	D-1267	-
3.	Weathering Test pada 36°F	% vol	95	-	D-1837	-
4.	Korosi Bilih Tembaga	1 jam 100°F	-	ASTM No. 1	D-1838	-
5.	Kandungan Sulfur Total	grains/ 100 cuft	-	15 ¹⁾	D-2784	-
6.	Komposisi:				D-2163	-
	C ₃ total	% vol	95	-		
	C ₄ + (C ₄ dan kandungan hidrokarbon lain yang lebih berat)	% vol	-	2,5		
7.	Etil atau Butil Merkaptan	mlr 1000 AG	50	-		

¹⁾ Sebelum ditambahkan Etil atau Butil Merkaptan.



Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi

Eyda H. Legowo

LAMPIRAN III KEPUTUSAN DIREKTUR JENDERAL MINYAK DAN GAS BUMI
 NOMOR : 26525.K/10/DJN.T/2009
 TANGGAL 31 Desember 2009

STANDAR DAN MUTU (SPESIFIKASI) BAHAN BAKAR GAS JENIS LPG BUTANA

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metoda Uji	
			Minimum	Maksimum	ASTM	Lain
1.	Berat Jenis Relatif pada 60/50°F	-	Diaporkan		D-1657	-
2.	Tekanan Uap pada 100°F	psig	-	70	D-1267	-
3.	Weathering Test pada 36°F	% vol	95	-	D-1837	-
4.	Korosi Bilah Tembaga	1 jam/ 100°F	-	ASTM No. 1	D-1838	-
5.	Kandungan Sulfur Total	grains/ 100 cuft	-	15 ¹⁾	D-2784	-
6.	Komposisi:				D-2153	-
	C ₄	% vol	97,5	-		
	C ₅	% vol	-	2,5		
	C ₆ + (C ₆ dan kandungan hidrokarbon lain yang lebih berat)	% vol	NIL			
7.	Etil atau Butil Merkaptan	ml/ 1000 AG	50	-	-	-

¹⁾ Sebelum ditambahkan Etil atau Butil Merkaptan

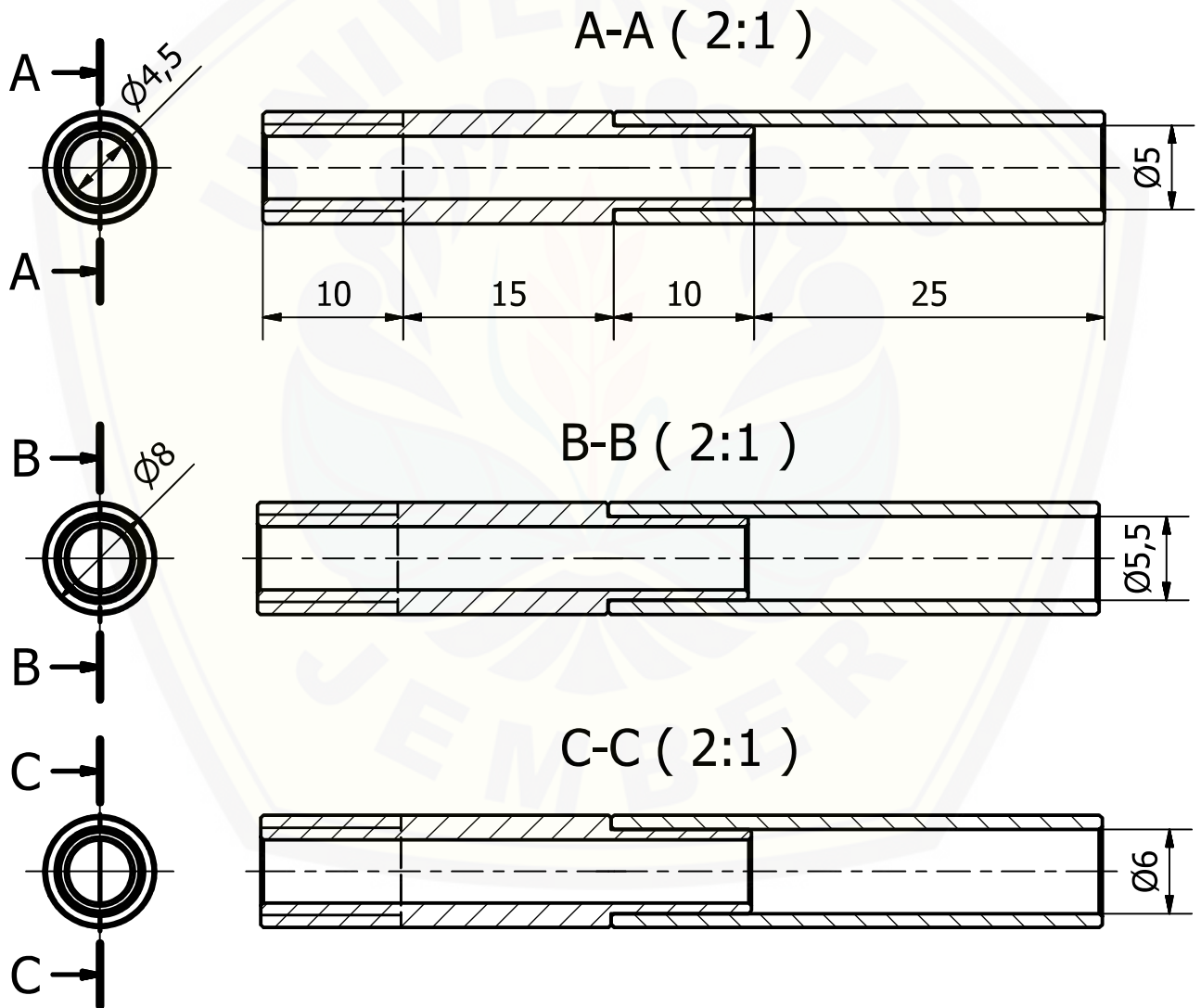
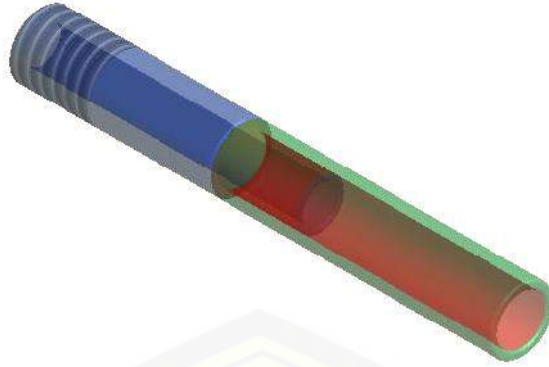


Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi

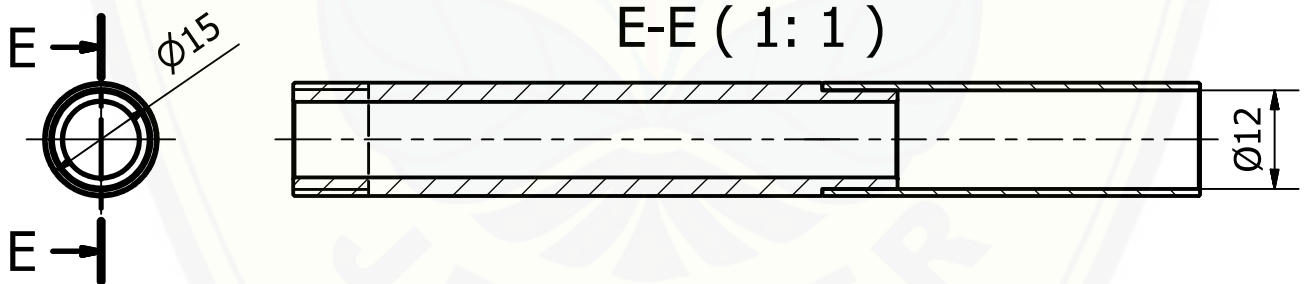
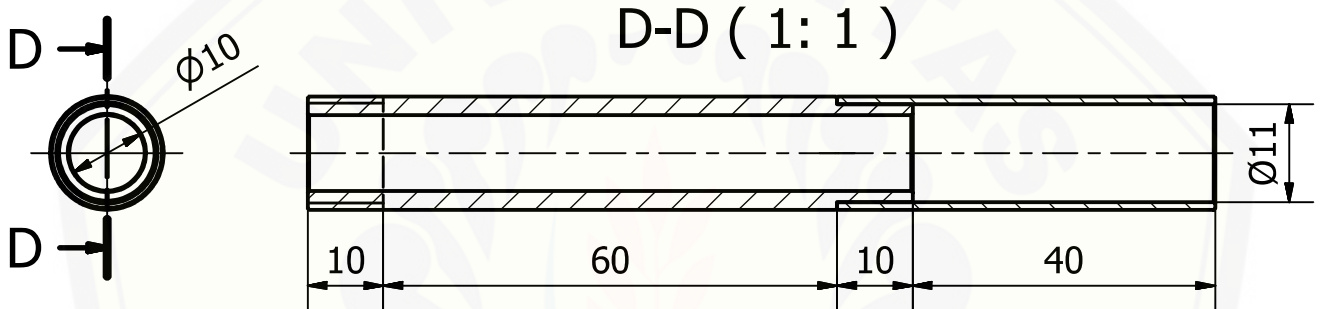
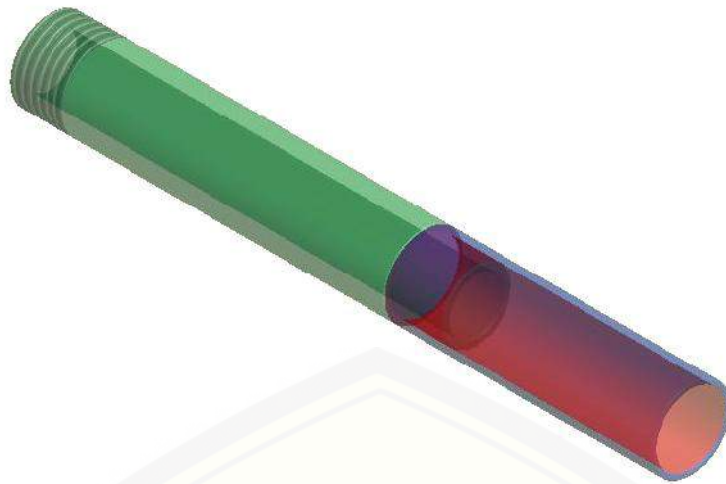
Eva H. Legowo



	SKALA : 1:1	DIGAMBAR : DANANG MUHARYANTO	PERINGATAN	
	SATUAN : mm	NIM : 131910101104		
	TANGGAL : 18/04/17	DIPERIKSA : MESO COMB. TEAM		
TEKNIK MESIN UNIVERSITAS JEMBER	COMBUSTOR SKALA MESO DAN MAKRO		No. 1	A4



	SKALA : 2:1	DIGAMBAR : DANANG MUHARYANTO	PERINGATAN	
	SATUAN : mm	NIM : 131910101104		
	TANGGAL : 18/04/17	DIPERIKSA : MESO COMB. TEAM		
TEKNIK MESIN UNIVERSITAS JEMBER	COMBUSTOR SKALA MESO		No. 2	A4



	SKALA : 1:1	DIGAMBAR : DANANG MUHARYANTO	PERINGATAN	
	SATUAN : mm	NIM : 131910101104		
	TANGGAL : 18/04/17	DIPERIKSA : MESO COMB. TEAM		
TEKNIK MESIN UNIVERSITAS JEMBER	COMBUSTOR SKALA MAKRO		No. 3	A4