



**KARAKTERISTIK DISTRIBUSI TEMPERATUR PADA *MESO*  
*COMBUSTOR* DENGAN *SUDDEN EXPANSION***

**SKRIPSI**

oleh

**Eranio Restu Prabowo  
NIM 131910101079**

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



**KARAKTERISTIK DISTRIBUSI TEMPERATUR PADA *MESO*  
*COMBUSTOR* 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

**Eranio Restu Prabowo**  
**NIM 131910101079**

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

## PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamin saya ucapkan puji serta syukur ke Hadirat Allah Swt atas segala nikmat serta karunia-Nya dan semoga sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada baginda Nabi Muhammad Saw. Dengan penuh rasa syukur dan rendah diri skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Orang tua tercinta yang selalu memberi support;
2. Keluarga tercinta;
3. Dosen dan staff almamater tercinta Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, terutama untuk dosen pembimbing dan dosen penguji;
4. Sahabat serta teman saya terutama teman kuliah, kost dan teman sejurusan;
5. Dan seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu;

Terima kasih atas segala kebaikan dan bantuan baik moral maupun materil yang telah diberikan kepada saya, semoga mendapatkan kebaikan serta balasan berlipat ganda dari Allah Swt.

## MOTTO

“Karena sesungguhnya, sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”  
(Surat *Al-Insyirah* ayat 5) <sup>1)</sup>

“Ijazah yang kau terima suatu saat dapat robek dan hancur menjadi abu, dia tidak abadi. Ingatlah, bahwa satu-satunya yang abadi adalah karakter dari seseorang. Kenangan terhadap karakter itu akan tetap hidup, sekalipun dia mati.”  
(Ir.Sukarno) <sup>2)</sup>

“Jangan pernah meminta untuk dihormati, tapi tunjukkanlah bahwa dirimu pantas untuk dihormati. *Never give up and MAKE IT POSSIBLE!*.”

- 
- 1) Departemen Agama Republik Indonesia. 2005. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Bandung: CV Penerbit Diponegoro.
  - 2) Yayasan Bung Karno. 2014. *Bung Karno Penyambung Lidah Rakyat Indonesia*. Yogyakarta: PT. Media Pressindo

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Eranio Restu Prabowo

NIM : 131910101079

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Karakteristik Distribusi Temperatur pada *Meso Combustor* 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 mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 13 November 2017

Yang menyatakan,

(Eranio Restu Prabowo)

NIM 131910101079

**SKRIPSI**

**KARAKTERISTIK DISTRIBUSI TEMPERATUR PADA *MESO*  
*COMBUSTOR* DENGAN *SUDDEN EXPANSION***

Oleh

Eranio Restu Prabowo  
NIM 131910101079

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Ahmad Syuhri, M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Karakteristik Distribusi Temperatur pada *Meso Combustor* dengan *Sudden Expansion*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Kamis, 13 November 2017

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji

Dosen Pembimbing Utama,

Ahmad Adib Rosyadi, S.T, M.T.  
NIP 19850117 201212 1 001

Dosen Penguji I,

Dr. R. Koekoeh K. W, S.T., M.Eng.  
NIP 19670708 199412 1 001

Dosen Pembimbing Anggota,

Ir. Ahmad Syuhri, M.T.  
NIP 19670123 199702 1 001

Dosen Penguji II,

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

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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

## RINGKASAN

**Karakteristik Distribusi Temperatur pada Meso Combustor dengan Sudden Expansion**, Eranio Restu Prabowo, 131910101079; 2017: 78 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Saat ini perkembangan berbagai alat elektronik dengan ukuran yang portable semakin pesat. Hal ini menyebabkan kebutuhan akan sumber energi berukuran yang ringkas dengan kepadatan yang tinggi semakin dibutuhkan. Salah satu pembangkit energi yang sedang dikembangkan saat ini adalah *meso scale combustion*. *Meso scale combustion* adalah pembakaran pada saluran ruang bakar (*combustor*) dengan diameter sebesar 1 – 10 mm. Komponen utama dari sistem *Meso Combustion* adalah *combustor* dengan dinding yang berfungsi sebagai *emitter* panas.

Tujuan dari penelitian dalam karya tulis ilmiah ini adalah untuk melakukan pengamatan terhadap distribusi temperatur yang meliputi temperatur ruang bakar ( $T_i$ ) dan dinding ( $T_w$ ) pada *meso scale combustor*. Penelitian ini dilakukan dengan cara memberikan variasi diameter *outlet* ( $D_o$ ) pada *combustor* sebesar 5 mm, 5,5 mm dan 6 mm. Dengan variasi tersebut diharapkan dapat diketahui karakteristik distribusi temperatur yang berbeda pada *combustor*.

Hasil pengukuran suhu pada dinding ( $T_w$ ) *combustor* menunjukkan bahwa suhu tertinggi dihasilkan *combustor* dengan diameter ( $D_o$ ) terkecil berukuran 5 mm, dimana suhu rata-rata yang dihasilkan sebesar  $146,2^{\circ}\text{C}$ , sedangkan suhu terendah dihasilkan *combustor* dengan  $D_o = 6$  mm sebesar  $137^{\circ}\text{C}$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa suhu dinding semakin tinggi seiring dengan kecilnya  $D_o$  *combustor*. Hasil pengukuran suhu pada ruang bakar ( $T_i$ ) *combustor* menunjukkan bahwa suhu tertinggi dihasilkan *combustor* dengan diameter terbesar berukuran 6 mm sebesar  $746,2^{\circ}\text{C}$ , sedangkan suhu terendah dihasilkan *combustor* dengan diameter terkecil berukuran 5 mm sebesar  $736,2^{\circ}\text{C}$ . Hal ini menunjukkan bahwa suhu ruang bakar ( $T_i$ ) *combustor* semakin tinggi seiring dengan bertambahnya  $D_o$  *combustor*.

Adapun faktor yang mempengaruhi suhu dinding ( $T_w$ ) pada *combustor* adalah perbandingan rasio luas permukaan dan volume *combustor* (*surface to volume ratio*). *Combustor* dengan diameter kecil membuat nilai rasio semakin meningkat sehingga menghasilkan suhu dinding yang lebih tinggi, namun dengan *heat losses* yang besar. Sedangkan faktor yang mempengaruhi suhu ruang pembakaran ( $T_i$ ) adalah pusaran aliran reaktan (*vortex*) yang terbentuk di area *sudden expansion*. Semakin besar diameter *combustor* ( $D_o$ ) menyebabkan *vortex* yang terbentuk juga besar. *Vortex* yang besar membawa suhu dan massa lebih banyak ke ruang pembakaran sehingga membuat suhu semakin meningkat, namun dengan kestabilan nyala api yang kurang baik karena massa berlebih yang terbawa sehingga terjadi ketidakseimbangan reaksi pembakaran.



## SUMMARY

**Temperature Distribution Characteristics on Meso Scale Combustion with Sudden Expansion**, Eranio Restu Prabowo, 131910101079; 2017: 78 pages; Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering University of Jember.

Currently the development of various portable electronic devices has increased rapidly. This leads to the increasingly needs for energy sources that have a compact size and higher density. One of the energy generators being developed recently is meso scale combustion. Meso scale combustion is a combustion inside combustion chamber with diameter of 1 - 10 mm. The main component of the Meso Combustion system is combustor with its wall as a hot emitter.

The purpose of research in this scientific paper is to observe temperature distribution which consisted of combustion chamber temperature ( $T_i$ ) and wall temperature ( $T_w$ ). This research is done by giving variation on the combustor outlet diameter ( $D_o$ ) with size of 5 mm, 5,5 mm and 6 mm. By those variation it is expected that the temperature distribution characteristics on each combustor can be known.

The result of wall temperature ( $T_w$ ) measurement shows that the highest temperature is produced by smallest combustor diameter ( $D_o$ ) of 5 mm, where the average temperature is 146.2°C, while the lowest temperature is produced by largest combustor with diameter ( $D_o$ ) of 6 mm at 137°C. So it can be concluded that the wall temperature is higher along with the smaller combustor  $D_o$ . The result of temperature measurement on combustion chamber ( $T_i$ ) shows that the highest temperature is produced by combustor with the largest diameter of 6 mm at 746.2°C, while the lowest temperature is produced by combustor with the smallest diameter of 5 mm at 736.2°C. This shows that the temperature of combustor chamber ( $T_i$ ) is higher along with the increase of combustor diameter.

The factors that affecting wall temperature ( $T_w$ ) on combustor is surface to volume ratio. Combustors with small diameter raise the ratio value hence resulting higher wall temperature, but with larger heat losses. While the factor that affecting the combustion chamber temperature ( $T_i$ ) is the vortex flow formed in the sudden expansion area. The larger combustor diameter ( $D_o$ ) causes the vortex that is formed is also large. Large vortex bring more temperature and mass to the combustion chamber hence make the temperature increase, but with poor flame stability because the excessive mass carried so that there is an imbalance combustion reaction.

## PRAKATA

Alhamdulillah rabbil'alamin puji serta syukur kehadirat Allah Swt karena atas segala nikmat serta karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Karakteristik Pembakaran pada *Meso-Scale Combustor* dengan *Sudden Expansion*". Skripsi ini disusun demi memenuhi syarat menyelesaikan jenjang pendidikan strata satu (S1) pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Maka dari itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah Swt sang Maha Pemberi yang telah memberi nikmat, karunia, kesabaran dan kekuatan sehingga membuat penulisan skripsi ini dapat dilakukan.
2. Keluarga yang tercinta. Mama tersayang Retno Wulandari, ayahanda Untung Prabowo, dan adik perempuan saya yang cantik jelita Eryffa Riana Prandari yang telah memberikan motivasi serta menjadi penyemangat saya.
3. Bapak Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Utama dan bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah membantu baik waktu maupun pemikiran dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Dr. R. Koekoeh K. W., S.T., M.Eng. Sebagai Dosen Penguji I dan bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T. sebagai Dosen Penguji II yang telah memberikan banyak kritik serta saran dalam penulisan skripsi ini.
5. Bapak Andi Sanata, S.T., M.T. Sebagai dosen pembimbing penelitian yang telah memberi banyak bimbingan sehingga penelitian ini dapat dilakukan dengan sebaiknya.
6. Ibu Intan Hardiatama, S.T., M.T. Yang telah membantu memberikan bimbingan yang sangat dibutuhkan dalam penelitian ini.
7. Teman kos gedung putih : Mamad serta Tumanggor yang menemani, membantu dan menyemangati saya dalam menuliskan skripsi ini
8. Ismia Khilmi Fauzia yang setia membantu memberi semangat dan menjadi salah satu alasan saya untuk segera menyelesaikan penulisan skripsi ini.

9. Rekan satu penelitian *meso combustion research group*.
10. Seluruh rekan satu angkatan Teknik Mesin Universitas Jember 2013 yang luar biasa.
11. Paguyuban tercinta IMADA JAYA yang menjadi rumah kedua bagi saya dikota Jember ini.

Dalam penulisan skripsi ini penulis telah berusaha semaksimal mungkin demi hasil terbaik yang didapatkan, tetapi penulis terbuka akan kritik serta saran yang membangun dari berbagai pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata penulis berharap semoga pembaca yang budiman mendapatkan manfaat setelah membaca karya tulis ilmiah ini.

Jember, 13 November 2017

Eranio Restu Prabowo

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iii
HALAMAN MOTTO .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN .....	viii
SUMMARY .....	ix
PRAKATA .....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Batasan Masalah.....</b>	<b>2</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian.....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian.....</b>	<b>3</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Pembakaran .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 LPG (<i>Liquefied Petroleum Gas</i>) .....</b>	<b>4</b>
<b>2.3 Debit Bahan Bakar (<math>Q_f</math>) dan Debit Udara (<math>Q_a</math>) .....</b>	<b>7</b>
<b>2.4 Rasio Udara Bahan Bakar (AFR, <i>Air-Fuel Ratio</i>) .....</b>	<b>8</b>
<b>2.5 Rasio Ekuivalen (<math>\phi</math>) .....</b>	<b>8</b>
<b>2.6 MPG (<i>Micro Power Generator</i>) .....</b>	<b>9</b>
<b>2.7 <i>Meso-Scale Combustion</i> (Pembakaran Skala <i>Meso</i>) .....</b>	<b>12</b>

2.7.1 <i>Backward Facing Step / Sudden Expansion</i> .....	14
<b>2.8 Pengaruh Variasi Diameter Terhadap Distribusi     Temperatur pada <i>Meso Scale Combustor</i></b> .....	15
<b>2.9 Penelitian Sebelumnya</b> .....	15
<b>2.10 Hipotesis</b> .....	17
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	18
<b>3.1 Tempat dan Waktu Pengambilan Data</b> .....	18
<b>3.2 Alat dan Bahan Penelitian</b> .....	18
3.2.1 Alat .....	18
3.2.2 Bahan .....	25
<b>3.3 Variabel Penelitian</b> .....	26
3.3.1 Variabel Bebas .....	26
3.3.2 Variabel Terikat .....	26
3.3.3 Variabel Kontrol .....	27
<b>3.4 Skema Rangkaian Alat Uji</b> .....	27
3.4.1 Skema Pengukuran Temperatur.....	27
<b>3.5 Prosedur Penelitian</b> .....	29
<b>3.6 Diagram Alir Penelitian</b> .....	31
<b>3.7 Penyajian Data Penelitian</b> .....	32
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	33
<b>4.1 Data Hasil Penelitian</b> .....	33
4.1.1 Grafik Distribusi Temperatur.....	35
<b>4.2 Analisis Hasil Penelitian</b> .....	39
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	41
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	41
<b>5.2 Saran</b> .....	41
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	43
<b>LAMPIRAN</b>	

**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
2.1 Grafik produksi LPG Indonesia tahun 2000-2013 .....	5
2.2 Kepadatan energi dari beberapa jenis sumber energi .....	10
2.3 Berbagai jenis MEMS. ....	10
2.4 Proses konversi energi pada sel <i>termophotovoltaic</i> .....	11
2.5 Efek seebeck yang terjadi pada generator termoelektrik.....	12
2.6 <i>Meso combustor</i> dan dimensinya .....	14
2.7 Ilustrasi <i>combustor</i> dengan <i>sudden expansion</i> .....	15
2.8 Foto permukaan dinding saat terjadi pembakaran pada <i>combustor</i> .....	17
3.1 <i>Meso-scale combustor</i> dengan <i>sudden expansion</i> .....	18
3.2 <i>Meso scale combustor</i> . ....	19
3.3 <i>Mixer</i> . ....	19
3.4 <i>Flowmeter</i> .....	20
3.5 Kompresor udara .....	21
3.6 <i>Pisco tube</i> .....	22
3.7 <i>Thermocouple</i> .....	22
3.8 <i>Data logger</i> dan <i>converter</i> .....	23
3.9 Regulator gas LPG .....	24
3.10 Jangka sorong .....	24
3.11 <i>Thermocouple Holder</i> .....	25
3.12 Tabung gas LPG 3 Kg .....	25

3.13	<i>Seal tape</i> .....	26
3.14	<i>Lighter</i> api .....	26
3.15	Skema alat uji .....	27
3.16	Titik pengukuran pada dinding <i>combustor</i> .....	28
3.17	Titik pengukuran pada bagian dalam <i>combustor</i> .....	28
3.18	Diagram alir penelitian.....	31
4.1	Grafik <i>flammability limit</i> .....	34
4.2	Grafik distribusi $T_w$ pada ketiga <i>combustor</i> .....	36
4.3	Grafik perbandingan rata-rata $T_w$ pada ketiga <i>combustor</i> .....	36
4.4	Grafik distribusi $T_i$ pada ketiga <i>combustor</i> .....	38
4.5	Grafik perbandingan rata-rata $T_i$ pada ketiga <i>combustor</i> .....	38
4.6	<i>vortex</i> pada area <i>sudden expansion</i> .....	40

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Spesifikasi elpiji produksi PERTAMINA.....	6
2.2 Perbandingan emisi dan konsumsi bahan bakar gas dengan bensin .....	7
2.3 Klasifikasi jenis pembakaran .....	13
3.1 Penyajian data <i>flammability limit</i> .....	32
3.2 Penyajian data temperatur dinding <i>combustor</i> .....	32
3.3 Penyajian data suhu ruang bakar <i>combustor</i> .....	32
4.1 Data hasil pengujian <i>flammability limit</i> .....	33
4.2 Data hasil pengukuran suhu dinding ( $T_w$ ) <i>meso combustor</i> .....	35
4.3 Data hasil pengukuran suhu ruang bakar ( $T_i$ ) <i>meso combustor</i> .....	35



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Saat ini perkembangan berbagai alat elektronik dengan ukuran yang *portable* semakin pesat. Hal ini menyebabkan kebutuhan akan sumber energi dengan ukuran yang ringkas dengan kepadatan yang tinggi semakin dibutuhkan. Sebagai contoh sumber energi dengan ukuran yang *portable* adalah baterai. Baterai dibutuhkan sebagai sumber tenaga pada berbagai teknologi elektronik dengan ukuran yang kecil seperti pada *laptop*, *smartphone*, kamera, bahkan arloji. Tetapi bila diteliti lebih jauh, baterai memiliki banyak kekurangan yang belum dapat tertutupi hingga saat ini. Baterai memiliki kepadatan energi yang relatif rendah (Maruta, 2011). Selain itu baterai juga membutuhkan penanganan pada limbahnya yang berbahaya. Berbagai faktor tersebut yang mendorong dilakukan berbagai penelitian untuk menemukan sumber energi baru yang lebih padat dan efisien. Salah satu pembangkit energi yang sedang dikembangkan saat ini adalah *Micro Power Generator* (MPG).

Salah satu bagian dari sistem *Micro Power Generator* (MPG) adalah *Meso Combustion*. Dilihat dari segi geometrinya *meso combustion* adalah pembakaran pada saluran ruang bakar (*combustor*) dengan diameter sebesar 1 – 10 mm (Maruta dan Ju, 2011). Komponen utama dari sistem *Meso Combustion* adalah *combustor* dengan dinding yang berfungsi sebagai *emittor* panas (Pan, 2006). Pembakaran tingkat *meso* terjadi didalam *combustor* sehingga menghasilkan panas pada dinding *combustor*. Energi panas yang dihasilkan sangat potensial untuk dijadikan sumber energi dengan cara merubahnya menjadi energi listrik secara langsung menggunakan sel *thermophotovoltaic* (TPV) yang diinstalasi di sekitar dinding *combustor*. Kesulitan paling tinggi pada *meso combustion* adalah bagaimana mengatur kesetimbangan yang optimal antara mempertahankan kestabilan nyala api dan memaksimalkan *output* panas (Yang, 2002). Menurut Yang *et al.* (2002), kestabilan nyala api dan pencampuran bahan bakar dapat ditingkatkan dengan

menambahkan *backward facing step* (BFS) atau *sudden expansion* (SE) yaitu pembesaran diameter pada *combustor*.

Li *et al.* (2008) meneliti beberapa parameter yang mempengaruhi distribusi temperatur pada *combustor*. Hasil dari penelitian tersebut adalah bahwa diameter *combustor* sangat mempengaruhi distribusi temperatur pada dinding *combustor*. Sedangkan Pan *et al.* (2006) melakukan penelitian terhadap tiga parameter utama pada *micro combustion* yaitu rasio bahan bakar-oksidator, rasio diameter *nozzle-combustor* dan ketebalan dinding *combustor* dan menghasilkan kesimpulan bahwa rasio diameter *nozzle-combustor* mempengaruhi besar dan keseragaman distribusi temperatur pada dinding *combustor*.

Pengembangan selanjutnya berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yang *et al.* (2002), Pan *et al.* (2006) dan Li *et al.* (2008) dalam karya tulis ilmiah ini akan dilakukan pengamatan terhadap karakteristik distribusi temperatur pada *meso scale combustor*. Penelitian pada karya tulis ilmiah ini dilakukan dengan cara memberikan variasi diameter *outlet* pada *meso combustor*. Dengan variasi tersebut diharapkan dapat diketahui karakteristik distribusi temperatur yang berbeda pada tiap *combustor*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah pada karya tulis ilmiah ini adalah bagaimana pengaruh variasi diameter *outlet meso combustor* dengan *sudden expansion* terhadap karakteristik distribusi temperatur pada pembakaran skala *meso*.

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan permasalahan yang akan dianalisa dalam penelitian ini, maka akan dibatasi permasalahan yang akan dibahas sebagai berikut:

1. Bahan bakar yang digunakan adalah LPG (*Liquefied Petroleum Gas*).
2. Oksidator yang digunakan adalah udara.
3. Proses pembakaran berlangsung secara *steady*.
4. Penelitian ini hanya membahas distribusi temperatur pada *meso combustor*.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi diameter *outlet combustor* berbentuk silinder terhadap karakteristik distribusi temperatur pada pembakaran skala *meso* dengan *sudden expansion*.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

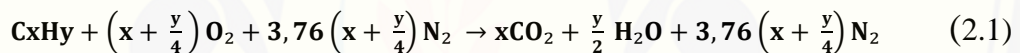
1. Memberikan referensi baru dalam pengembangan teknologi pembakaran skala *meso* selanjutnya.
2. Mampu mengetahui karakteristik distribusi temperatur pada *meso combustor*.
3. Mampu mengetahui perbedaan distribusi temperatur pada tiga jenis variasi diameter *outlet meso combustor*.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pembakaran

Pembakaran adalah sebuah rangkaian reaksi dimana elemen dari bahan bakar seperti hidrogen maupun karbon digabung dengan oksigen kemudian melepaskan energi panas dan menyebabkan kenaikan temperatur. Kondisi yang diperlukan dalam pembakaran adalah adanya campuran bahan bakar dengan oksidator dan pemicu proses pembakaran. Dalam proses pembakaran, bahan bakar yang umumnya digunakan adalah bahan bakar organik seperti hidrokarbon dalam fasa padat, cair, dan gas (Ganesan, 2012).

Menurut Mahandri (2010), rumus umum reaksi stoikiometrik pembakaran hidrokarbon murni  $C_xH_y$  adalah sebagai berikut:

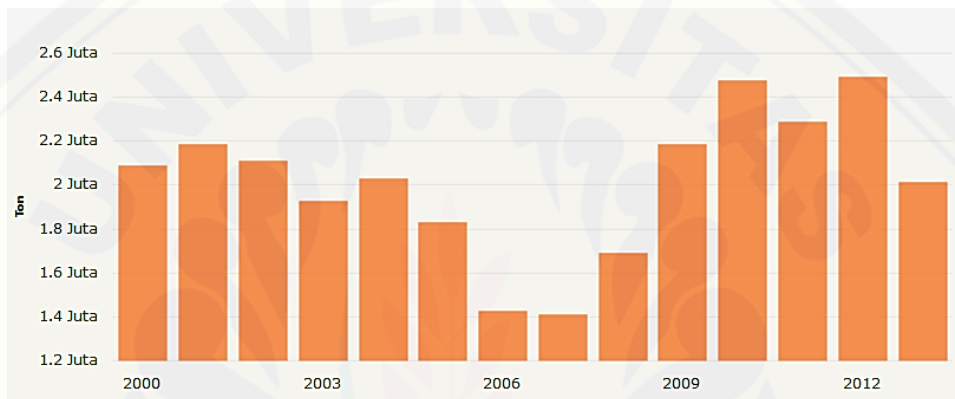


Berdasarkan metode pencampurannya, terdapat dua jenis pembakaran yaitu pembakaran *premixed* dan difusi. Pembakaran *premixed* adalah pembakaran yang terjadi setelah sebelumnya bahan bakar dan oksidator bercampur secara sempurna. Pembakaran jenis ini contohnya terdapat pada mesin motor bakar bensin dengan karburator. Sedangkan pembakaran difusi adalah jenis pembakaran dimana bahan bakar dan oksidator bercampur secara langsung di dalam ruang bakar, contohnya adalah mesin diesel dimana solar akan langsung diinjeksikan kedalam ruang bakar (McAllister, 2011).

### 2.2 LPG (*Liquefied Petroleum Gas*)

LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) atau biasa disebut juga dengan *autogas* merupakan salah satu jenis gas yang terdiri dari bahan utama seperti propana ( $C_3H_8$ ) dan butana ( $C_4H_{10}$ ). Keduanya sangat mudah untuk dicairkan dan disimpan dalam

kontainer bertekanan. Hal itu menyebabkan LPG bersifat *portable* dan mudah untuk dipindahkan dalam bentuk tabung silinder. LPG diproduksi oleh industri migas dan disimpan dalam wadah bertekanan dibawah temperatur kritisnya untuk menjaga agar tetap dalam kondisi cair. Titik didih normal dari LPG berkisar antara 229 – 273 K. LPG digunakan secara luas pada tingkat industri, rumah tangga dan pertanian. Produksi LPG di Indonesia berkisar 2 juta liter per tahunnya. Adapun grafik LPG di Indonesia pada tahun 2000-2013 ditunjukkan oleh Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Grafik produksi LPG Indonesia tahun 2000-2013 (Sumber: [www.databoks.katadata.co.id](http://www.databoks.katadata.co.id))

Berdasarkan komposisinya LPG terdiri dari tiga jenis, yaitu *propane* LPG, *butane* LPG, *mixed* LPG. *Propane* LPG terdiri dari hidokarbon propana, sedangkan *butane* LPG terdiri dari hidrokarbon butana. Untuk keperluan rumah tangga seperti memasak biasanya digunakan campuran antara dua jenis LPG tersebut atau disebut dengan *mixed* LPG (Moblely, 2001). PERTAMINA (Perusahaan Tambang Minyak Negara) sebagai produsen pertambangan minyak dan gas di Indonesia mengeluarkan produk LPG dengan merk dagang Elpiji baik untuk kebutuhan tingkat rumah tangga hingga industri. Adapun tabel spesifikasi elpiji PERTAMINA (mengikuti Keputusan Dirjen Migas No. 25 K/36/DDJM/1990 tanggal 14 Mei 1990 tentang Spesifikasi Bahan Bakar Gas Elpiji untuk Keperluan Dalam Negeri) ditunjukkan oleh Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi elpiji produksi PERTAMINA

TEST	MIN	MAX	METHOD
Specific Gravity at 60/60°F	to be reported	to be reported	ASTM D-1657
Vapour pressure 100°F	-	120	ASTM D-1267
Weathering test 36°F, %vol	95	-	ASTM D-1837
Copper corossion 1 hr, 100°F	-	No.1	ASTM D-1858
Total sulfur, grains/100 cult		15	ASTM D-2784
Water content	no free water	no free water	Visual
Composition:			ASTM D-2163
	-	0,2	
	97,5	-	
	0	2,0	
Ethyl or buthyl mercaptan added, ml/100 AG	50	50	

(sumber : [www.pertamina.com/gasdom/produk\\_dan\\_services\\_elpiji\\_spesifikasi.aspx](http://www.pertamina.com/gasdom/produk_dan_services_elpiji_spesifikasi.aspx))

Sifatnya yang ramah lingkungan juga membuat LPG dijadikan bahan bakar kendaraan bermotor alternatif pengganti bensin dan solar. Dikatakan ramah lingkungan karena susunan molekular LPG lebih sederhana dibandingkan dengan bensin dan solar sehingga karakteristik pembakarannya lebih baik. Nilai kalor per liter LPG lebih rendah dibanding bensin sehingga tingkat konsumsi bahan bakar meningkat 10-20%, tetapi emisi yang dihasilkan seperti CO<sub>2</sub>, NOX, HC dan CO lebih sedikit sehingga lebih ramah lingkungan (Niewenhuis *et al.* 2003). Adapun perbandingan emisi dan konsumsi bahan bakar gas dengan bensin ditunjukkan oleh Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Perbandingan emisi dan konsumsi bahan bakar gas dengan bensin

Emisi dan konsumsi bahan bakar	Bensin	LPG
CO (g/km)	0,87	0,72
HC (g/km)	0,14	0,12
NO <sub>x</sub> (g/km)	0,12	0,16
Konsumsi bahan bakar (1/100 km)	8,7	11,3
Konsumsi energi (MJ/km)	2,8	2,7

Sumber: (Faiz, 1996)

### 2.3 Debit Bahan Bakar ( $Q_f$ ) dan Debit Udara ( $Q_a$ )

Dalam proses pembakaran ada sejumlah volume udara dan bahan bakar per satuan waktu yang masuk kedalam ruang bakar, hal ini lah yang disebut sebagai debit bahan bakar ( $Q_f$ ) dan debit udara ( $Q_a$ ). Besarnya debit udara dan bahan bakar sangat mempengaruhi temperatur dan sifat pembakaran yang terjadi di dalam ruang pembakaran. Bila dilihat dari laju aliran massa dan densitas zat nya, adapun persamaan debit udara adalah sebagai berikut :

$$Q_f = \frac{\dot{m}_f}{\rho_f} \quad 2.3$$

Adapun persamaan debit udara ditunjukkan oleh persamaan 2.4.

$$Q_a = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a} \quad 2.4$$

Keterangan:

$Q_f$  = debit bahan bakar (mL/min)

$\rho_f$  = densitas bahan bakar (mg/mL)

$\dot{m}_f$  = laju massa bahan bakar (mg/min)

$Q_a$  = debit udara (mL/min)

$\rho_a$  = densitas udara (mg/mL)

$\dot{m}_a$  = laju massa udara (mg/min)

#### 2.4 Rasio Udara Bahan Bakar (AFR, *Air-Fuel Ratio*)

*Air-fuel ratio* atau AFR merupakan rasio jumlah udara didalam sebuah reaksi pembakaran terhadap jumlah bahan bakar Rasio ini dapat dituliskan dengan basis molar (mol udara dibagi dengan mol bahan bakar) atau dengan basis masa (masa udara dibagi dengan masa bahan bakar) (Moran *et al*, 2004).

Menurut Mahandari dan Kartika (2010), AFR dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$AFR = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} = \frac{M_a N_a}{M_f N_f} \quad (2.5)$$

Keterangan:

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

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

$M_a$  = adalah massa molar udara (g/mol)

$N_a$  = jumlah molar udara (mol)

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

$N_f$  = jumlah molar udara bahan bakar (mol)

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).

#### 2.5 Rasio Ekuivalen ( $\phi$ )

Rasio ekuivalen merupakan rasio dari AFR aktual terhadap AFR teoritis dalam pembakaran (Rathore, 2010). Perhitungan rasio ekuivalen dapat ditulis sebagai berikut :

$$\phi = \frac{(AFR)_s}{(AFR)_a} \quad (2.6)$$



Keterangan:

$\phi$  = Rasio ekuivalen

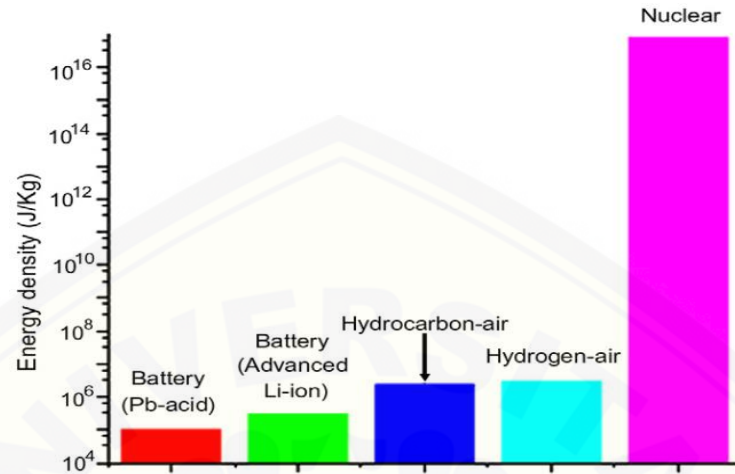
$(AFR)_s$  = Rasio udara dan bahan bakar dalam kondisi stokiometrik

$(AFR)_a$  = Rasio udara dan bahan bakar dalam kondisi aktual

Berdasarkan nilai rasionya, apabila nilai  $\phi > 1$  maka terdapat kelebihan bahan bakar dalam campuran dan campuran bersifat kaya bahan bakar (*fuel-rich mixture*). Apabila nilai  $\phi < 1$  maka bahan bakar dalam campuran kurang dan campuran bersifat miskin bahan bakar (*fuel-lean mixture*), sedangkan bila nilai  $\phi = 1$  maka campuran bersifat sempurna atau dapat disebut campuran stoikiometrik (Borghi *et al*, 1998).

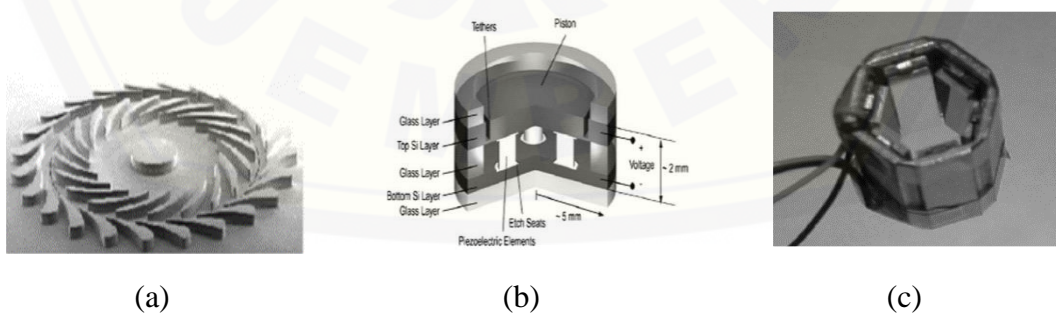
## 2.6 MPG (*Micro Power Generator*)

MPG (*Micro Power Generator*) merupakan sistem pembangkit energi berskala mikro yang sedang giat dikembangkan belakangan ini. Tuntutan akan sumber energi baru dengan kepadatan tinggi yang mendorong terus dilakukannya penelitian dan pengembangan terhadap sistem MPG atau dapat disebut juga dengan MEMS (*Micro Electro Mechanical System*). MEMS menggunakan bahan bakar berupa hidrokarbon dan hidrogen. Hidrogen dan hidrokarbon merupakan sumber energi yang baik dan dengan kepadatan tinggi. Pemanfaatan proses pembakaran untuk pembangkit tenaga memberikan beberapa keuntungan dibanding baterai dalam hal penyimpanan energi per satuan massa dan pembangkit tenaga per satuan volume. Keuntungan dari bahan bakar hidrokarbon juga termasuk biaya yang rendah dan tegangan lebih konstan (Yang, 2002). Gambar 2.2 menunjukkan kepadatan energi dari berbagai jenis sumber energi.



Gambar 2.2 Kepadatan energi dari beberapa jenis sumber energi (Sumber: Chou, 2010)

MEMS dapat didefinisikan sebagai sistem pembangkit dan konversi energi berskala mikro, beberapa contoh dari jenis sistem MEMS yaitu *micro thermodynamic machines* seperti turbin mikro, *solid-state direct energy conversion* seperti *thermophotovoltaic generator*, dan *vibration energy harvesting devices* seperti generator piezoelektrik (Chou, 2010). Gambar 2.3 menunjukkan contoh MPG (*micro turbin*), generator piezoelektrik, dan *micro thermophotovoltaic generator*.

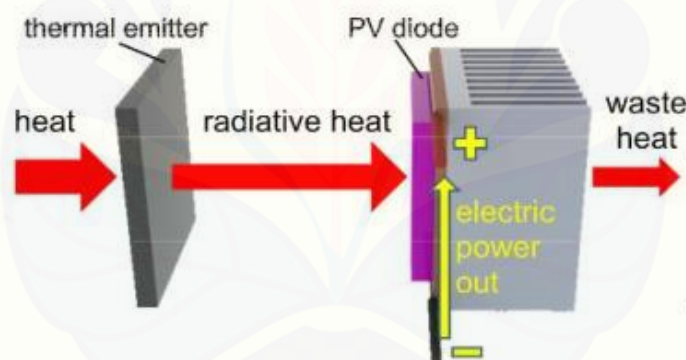


Gambar 2.3 Berbagai jenis MEMS : (a) *micro turbin* (b) generator piezoelektrik (c) *micro thermophotovoltaic generator* (Sumber: Chou, 2010., Ju dan Maruta, 2011)

Dalam aplikasinya untuk mengurangi getaran karena bagian yang bergerak (*moving parts*) dalam sistem pembangkit tenaga mikro maka digunakan metode konversi panas menjadi elektrik secara langsung dengan menggunakan alat antara lain meliputi:

a. *Micro-thermophotovoltaic* (TPV)

*Micro-TVP* bekerja dengan memanfaatkan radiasi energi panas yang dipancarkan oleh emittor untuk dikonversi menjadi energi listrik menggunakan sel fotovoltaik. Radiasi dari *emittor* yang memancarkan foton dengan sifat optik dari emisi termal selanjutnya akan diterima oleh sel fotovoltaik kemudian akan dirubah menjadi energi langsung. Sel TPV biasanya terbuat dari bahan *gallium antimonide* (GaSb) dan bekerja pada rentang suhu  $900^{\circ}\text{C}$  -  $1300^{\circ}\text{C}$ . Gambar 2.4 merupakan proses konversi energi pada sel *termophotovoltaic*.

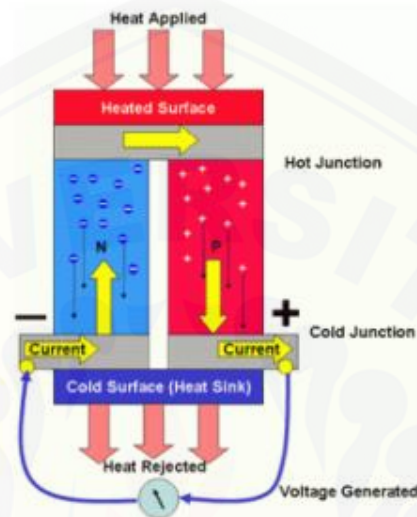


Gambar 2.4 Proses konversi energi pada sel *termophotovoltaic* (Sumber: Celavonic *et al.*, 2011)

b. *Micro-thermoelectric*

*Micro-thermoelectric* merupakan generator skala mikro yang digunakan untuk menghasilkan daya listrik dalam jumlah yang kecil (kilo Watt - mili Watt). Generator termoelektrik mempunyai beberapa keunggulan seperti masa pemakaian tanpa dilakukakn perbaikan yang dapat bertahan selama 10 tahun serta dapat menggunakan berbagai sumber energi panas. Generator termoelektrik menggunakan prinsip efek *seebeck* dalam beroperasi, yaitu dengan menghasilkan

listrik dari perbedaan suhu diantara dua material berbeda yang dihubungkan dalam suatu rangkaian tertutup. Gambar 2.5 menunjukkan efek *seebeck* yang terjadi pada generator termoelektrik.



Gambar 2.5 Efek seebeck yang terjadi pada generator termoelektrik (Sumber: Suprpto *et al.*, 2013)

### 2.7 Meso-Scale Combustion (Pembakaran Skala Meso)

*Meso scale combustion* merupakan salah satu bentuk dari sistem pembangkit tenaga mikro atau MPG : *Micro Power Generator* / MEMS : *Micro Electro-Mechanical System*. Pembakaran skala mikro sangat potensial untuk dijadikan sumber energi baru yang padat untuk sistem yang membutuhkan energi dalam volume yang relatif kecil seperti peralatan elektronik. Menurut Wang *et al.* (2007) dengan densitas energi dari bahan bakar hidrokarbon mencapai 50 MJ/kg, pembakaran dengan berdasarkan *micro power devices* lebih unggul dibandingkan dengan baterai *lithium* kontemporer yang hanya memiliki densitas energi sebesar (0,6 MJ/kg).

Menurut Ju dan Maruta (2011), secara garis besar terdapat beberapa jenis skala pembakaran yaitu *micro-scale combustion* atau pembakaran skala mikro dan *meso-scale combustion* atau pembakaran skala meso. Klasifikasi jenis pembakaran tersebut adalah berdasarkan ukuran diameter suatu ruang bakar (*combustor*) yang

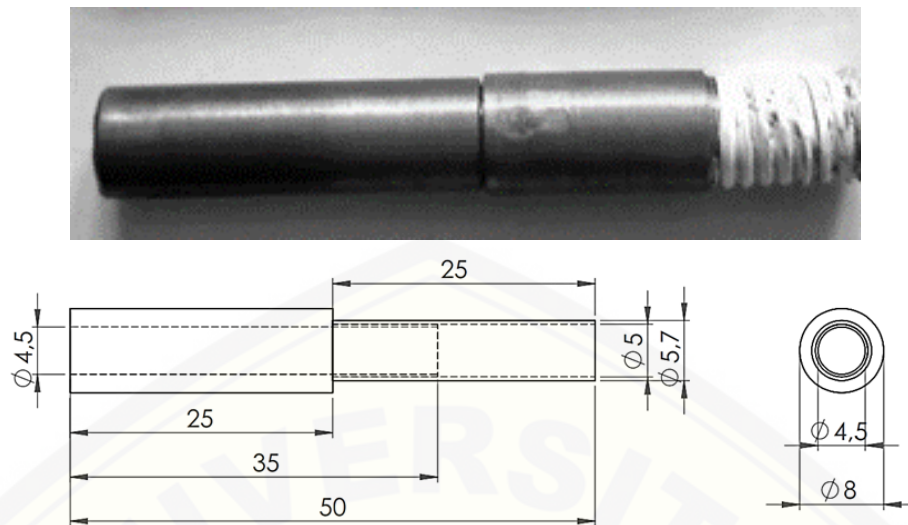
berbentuk silinder. Jika ukuran diameter *combustor* di bawah 1 mm, maka termasuk kedalam jenis *micro combustion*. Jika diameter *combustor* antara 1 - 10 mm maka termasuk dalam jenis *meso combustion*. Adapun klasifikasi jenis pembakaran ditunjukkan oleh Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Klasifikasi jenis pembakaran

Definisi berdasarkan	Skala <i>Combustor</i>	Skala Panjang
Panjang fisik	Skala meso	1 – 10 nm
	Skala mikro	1 – 1000 nm
Diameter nyala api	Skala meso	~ diameter quenching (keseimbangan)
	Skala mikro	<i>Mean-free path</i>
Skala alat	Skala mikro	Lebih kecil dari ukuran mesin biasa

Sumber: (Ju dan Maruta, 2011)

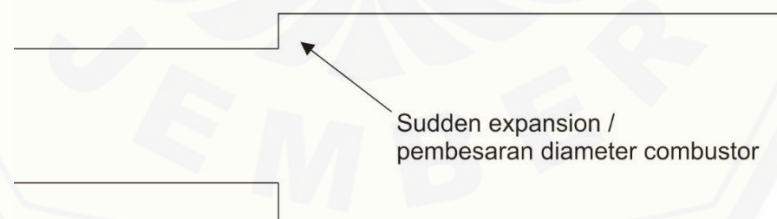
Salah satu bagian utama dalam sistem *meso scale combustion* adalah *combustor* itu sendiri. *Combustor* merupakan tempat berlangsungnya proses pembakaran bahan bakar. Pembakaran yang terjadi di dalam *combustor* menghasilkan energi panas yang menaikkan temperatur dinding dari *combustor*. Energi panas inilah yang dirubah secara langsung menjadi energi listrik dengan menggunakan pembangkit TPV (*thermophotovoltaic*) yang diinstalasi di sekitar dinding *combustor*. Kesulitan paling tinggi pada *meso combustion* adalah bagaimana mengatur keseimbangan yang optimal antara mempertahankan pembakaran dan memaksimalkan *output* panas dari *combustor* (Yang *et al.* 2002).



Gambar 2.6 *Meso combustor* dan dimensinya

### 2.7.1 *Backward Facing Step / Sudden Expansion.*

*Backward Facing Step (BFS) / Sudden Expansion (SE)* merupakan salah satu metode untuk memaksimalkan pembakaran dalam *combustor*. *Sudden expansion* adalah pembesaran diameter dalam ruang *combustor*. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Yang *et al.* (2002) mereka melakukan pengujian terhadap beberapa jenis *combustor* yang dilengkapi dengan *sudden expansion* maupun yang tidak.



Gambar 2.7 Ilustrasi *combustor* dengan *sudden expansion* (Sumber: Yang *et al.*, 2002)

Dari hasil pengujian yang dilakukan tersebut diketahui bahwa *combustor* yang dilengkapi dengan *sudden expansion* mempunyai karakteristik pembakaran yang lebih baik sehingga menghasilkan suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan *combustor* yang tidak dilengkapi dengan sistem tersebut. Hal ini dikarenakan

*sudden expansion* dapat membentuk aliran memutar (*vortex*) yang terjadi akibat perbesaran diameter secara mendadak, *vortex* ini berguna untuk mengatur posisi api dan meningkatkan pencampuran bahan bakar di dalam *combustor*.

## **2.8 Pengaruh Variasi Diameter Terhadap Distribusi Temperatur pada Meso Scale Combustor**

Dalam penerapannya, *micro scale combustion* maupun *meso scale combustion* merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem pembangkit *micro termophotovoltaic (micro-TPV)*. Dalam pengoperasiannya sistem *micro-TPV* membutuhkan temperatur yang tinggi dan seragam di sepanjang dinding *combustor* untuk di konversi menjadi energi listrik secara langsung. Meningkatkan temperatur dinding *combustor* merupakan cara yang efektif untuk meningkatkan efisiensi sistem (Li *et al.* 2008).

Ada beberapa metode untuk meningkatkan temperatur pada dinding *combustor*, salah satunya yaitu dengan memvariasikan diameter *combustor*. Dengan diameter *combustor* yang lebih kecil maka volume *combustor* juga akan mengecil dan menghasilkan rasio perbandingan luas permukaan dan volume ruang bakar (*surface to volume ratio*) yang semakin besar sehingga menyebabkan suhu dinding yang dihasilkan semakin tinggi (Walther *et al.* 2010). Tetapi dengan *surface to volume ratio* yang makin besar akan meningkatkan *heat losses* sehingga efisiensi sistem akan menurun karena panas yang dihasilkan oleh pembakaran banyak yang terbuang sehingga tidak dapat digunakan untuk menjaga kestabilan nyala api di dalam ruang pembakaran.

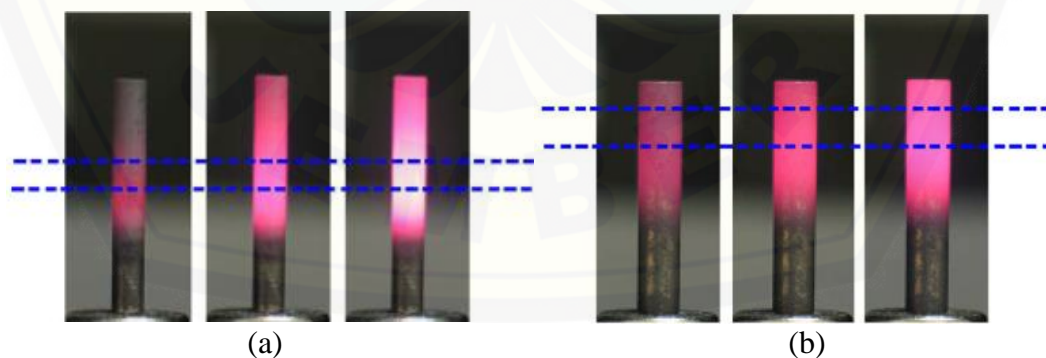
## **2.9 Penelitian Sebelumnya**

Penelitian sebelumnya telah banyak dilakukan seperti penelitian yang dilakukan Yang *et al.* (2002) yang meneliti tentang optimasi pembakaran pada *combustor* dengan penambahan *backward facing step (BFS)* atau perbesaran diameter di dalam *combustor*. Penelitian dilakukan dengan cara membandingkan dua jenis *combustor* skala mikro berbahan *stainless* yang dilengkapi BFS dan tidak dilengkapi dengan BFS. Dari hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan bahwa

*backward facing step* dapat meningkatkan pencampuran bahan bakar dengan oksidator sehingga reaksi pembakaran lebih sempurna dan posisi api dapat dikontrol dengan lebih baik, selain itu dengan dilengkapi BFS distribusi temperatur pada *combustor* lebih tinggi dan merata.

Pan *et al.* (2006) dalam jurnal ilmiahnya melakukan penelitian terhadap beberapa parameter yang mempengaruhi distribusi temperatur pada dinding *combustor*. Penelitian dilakukan dengan melakukan perbandingan pada tiga *combustor* dengan *nozzle to combustor ratio* yang berbeda yaitu sebesar 0,5 mm ( $\delta = 0,208$ ), 0,7 mm ( $\delta = 0,292$ ) dan 0,9 mm ( $\delta = 0,375$ ). Hasilnya adalah perbedaan diameter *combustor* dapat menghasilkan suhu yang bervariasi di sepanjang dinding dan sangat mempengaruhi distribusi temperatur pada *combustor*.

Penelitian yang dilakukan oleh Li *et al.* (2008) dalam jurnal ilmiahnya tentang pengaruh diameter yang berbeda pada dua *combustor* ( $d = 2$  mm dan  $d = 3$  mm) terhadap suhu di sepanjang dinding. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa *combustor* yang memiliki diameter lebih kecil ( $d = 2$  mm) menghasilkan suhu dinding lebih tinggi dibandingkan dengan *combustor* berdiameter lebih besar ( $d = 3$  mm), tetapi suhu dinding akan semakin menurun pada *combustor* yang lebih panjang dengan diameter yang sama. Selain itu titik puncak suhu tertinggi juga berbeda pada kedua *combustor* seperti pada gambar 2.8 berikut.



Gambar 2.8 Foto permukaan dinding saat terjadi pembakaran pada *combustor* berdiameter:

(a) 2 mm dan (b) 3 mm (Sumber: Li *et al.* 2008)



### 2.10 Hipotesis

Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang berkaitan dengan topik pada karya tulis ilmiah ini dapat ditarik hipotesa bahwa variasi diameter *outlet* pada *meso combustor* dapat mempengaruhi distribusi temperatur pada *meso combustor* dengan suhu dinding tertinggi dihasilkan oleh *combustor* dengan diameter terkecil dan suhu ruang bakar tertinggi dihasilkan *combustor* dengan diameter terbesar.



### BAB 3. METODE PENELITIAN

Penelitian karakteristik distribusi temperatur pada *meso-scale combustion* yang dilengkapi dengan *sudden expansion* menggunakan metode eksperimental, yaitu metode dengan memvariasikan diameter *outlet combustor* untuk mengetahui distribusi temperatur pada *combustor* skala *meso*.

#### 3.1 Tempat dan Waktu Pengambilan Data

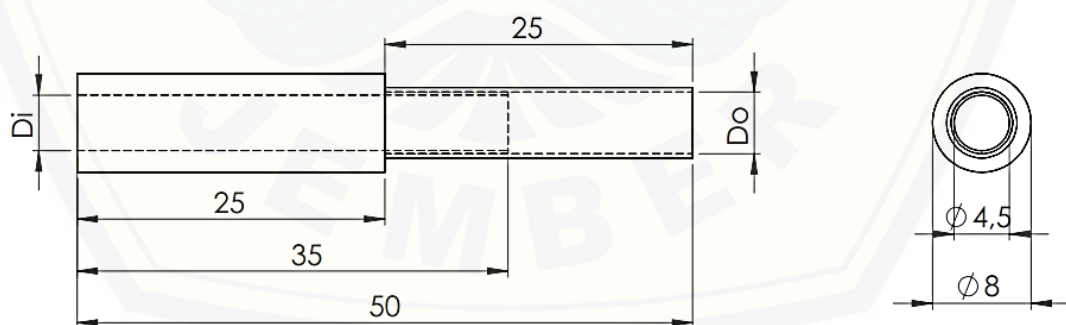
Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember pada bulan Agustus 2017.

#### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

##### 3.2.1 Alat

##### a. *Meso-scale Combustor*

*Combustor* yang digunakan terbuat dari bahan tembaga yang terdiri atas dua bagian yaitu bagian *inlet* dan bagian *outlet* sebagai saluran *sudden expansion*. Diameter *inlet combustor* ( $D_i$ ) = 4,5 mm konstan dan diameter *outlet* ( $D_o$ ) = 5, 5,5 dan 6 mm untuk tiap *combustor*.



Gambar 3.1 *Meso-scale combustor* dengan *sudden expansion*



Gambar 3.2 *Meso scale combustor*

b. *Combustion Holder*

*Combustion holder* berfungsi sebagaiudukan bagi *combustor*, sekaligus menjadi alat *safety* agar api tidak langsung masuk kedalam *flowmeter*.

c. *Mixer*

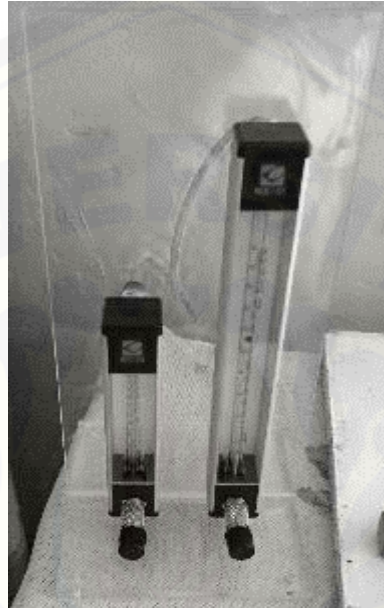
*Mixer* merupakan alat yang berfungsi sebagai tempat bercampurnya udara dan bahan bakar LPG. Setelah melalui *flowmeter* aliran udara dan bahan bakar LPG akan masuk kedalam *mixer* melalui saluran *pisco tube*.



Gambar 3.3 *Mixer*

d. *Flowmeter*

*Flowmeter* adalah alat untuk mengatur jumlah debit udara maupun bahan bakar yang akan masuk kedalam *mixer*. Terdapat dua buah *flowmeter* yaitu *flowmeter* udara di sebelah kiri dan *flowmeter* bahan bakar di sebelah kanan.



Gambar 3.4 *Flowmeter*

Spesifikasi *Flowmeter* :

1) *Flowmeter* udara

Merek	: Kofloc
Seri	: RK-1250
Jenis	: <i>Flowmeter</i> udara
Tekanan kerja	: 0,1 Mpa
Aliran maks.	: 500 ml/min
Aliran min.	: 50 ml/min
Skala terkecil	: 5 ml/min

2) *Flowmeter* bahan bakar

Merek	: Kofloc
-------	----------

Seri	: RK-1250
Jenis	: <i>Flowmeter</i> propana dan butana
Tekanan kerja	: 0,1 Mpa
Aliran maks.	: 20 ml/min
Aliran min.	: 2 ml/min
Skala terkecil	: 0,5 ml/min

e. Kompresor

Berfungsi untuk menyediakan udara yang akan dialirkan menuju *flowmeter* udara kemudian menuju *mixer* dan selanjutnya ruang bakar.



Gambar 3.5 Kompresor udara

Spesifikasi kompresor :

Merk	: Lakoni Imola 75
Horse Power	: 3/4 HP
Daya Listrik	: 500 Watt
Kapasitas tangki	: 10 liter
Kapasitas Aliran	: 120 liter / menit
Kecepatan Mesin	: 2800 rpm
Kapasitas Tekanan	: 8 Bar

f. *Pisco Tube*

*Pisco tube* merupakan selang kecil yang berfungsi sebagai saluran bagi udara dan bahan bakar.



Gambar 3.6 *Pisco tube*

g. *Thermocouple*

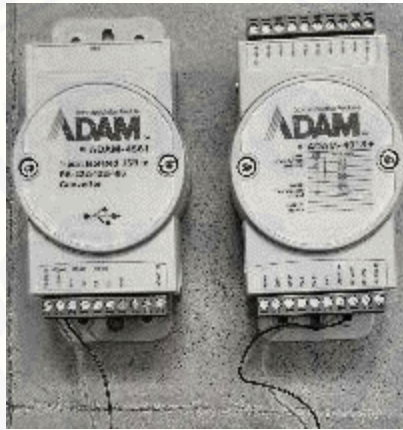
*Thermocouple* digunakan untuk mengetahui temperatur hasil pembakaran pada *meso-scale combustion*. *Thermocouple* yang digunakan adalah tipe-K berjenis kawat yang dapat mengukur suhu maksimal hingga 1500°C.



Gambar 3.7 *Thermocouple*

#### h. Data Logger

*Data logger* merupakan alat yang digunakan untuk menyimpan data percobaan / pengukuran. *Data logger* akan menerjemahkan data dari sensor *thermocouple* yang mengukur besaran suhu kedalam bentuk grafik. Untuk menghubungkan *data logger* dengan *laptop* maka diperlukan *converter*.



Gambar 3.8 *Data logger* (kanan) dan *converter* (kiri)

Spesifikasi *data logger* :

Merk	: ADAM 4018+ ( <i>data logger</i> ), ADAM 4561 ( <i>converter</i> )
Konsumsi daya	: 0.8 W @ 10~30 VDC
Saluran	: 8 Channel
Tipe input	: <i>Thermocouple</i> , mA
Voltase	: $\pm 15$ mV

#### i. Regulator Gas

Regulator gas berfungsi untuk mengatur debit gas LPG yang akan dialirkan menuju *flowmeter* LPG. Selain itu juga berfungsi sebagai alat *safety* agar tidak terjadi kebocoran.



Gambar 3.9 Regulator gas LPG

j. Jangka Sorong

Jangka sorong berfungsi untuk mengukur jarak pengukuran yang akan dilakukan pada permukaan *combustor*.

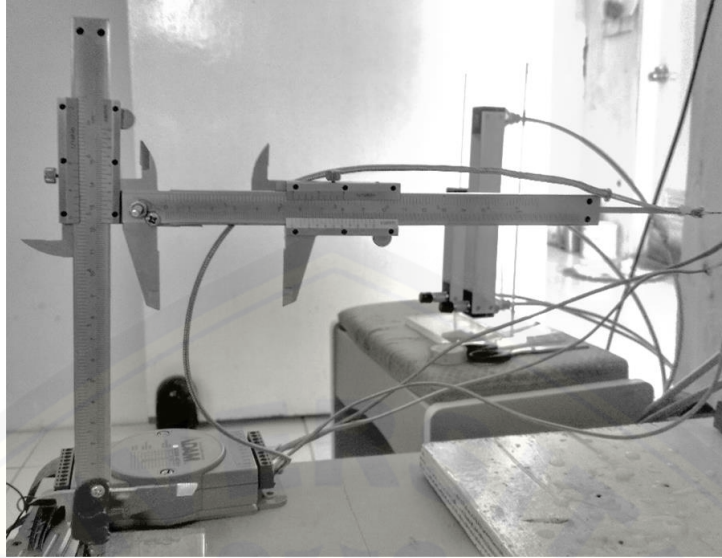


Gambar 3.10 Jangka sorong

k. *Thermocouple Holder*.

Berfungsi sebagai alat penahan kawat *thermocouple* untuk mengukur suhu ruang bakar *combustor*. Pada *holder* terdapat skala ukur sehingga dapat diketahui posisi ujung kawat *thermocouple* berada sejauh mana dari ujung *nozzle combustor*.



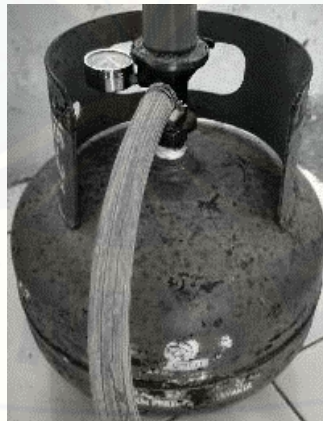


Gambar 3.11 *Thermocouple holder*

### 3.2.2 Bahan

#### a. Gas LPG

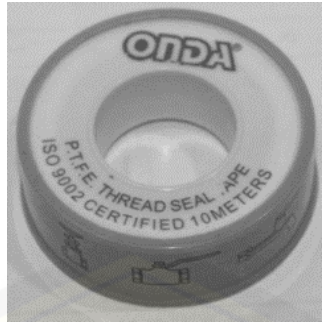
Pada penelitian ini bahan bakar yang digunakan berupa gas LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) buatan PERTAMINA berjenis tabung hijau 3 kg.



Gambar 3.12 Tabung gas LPG 3 kg

#### b. *Seal Tape*

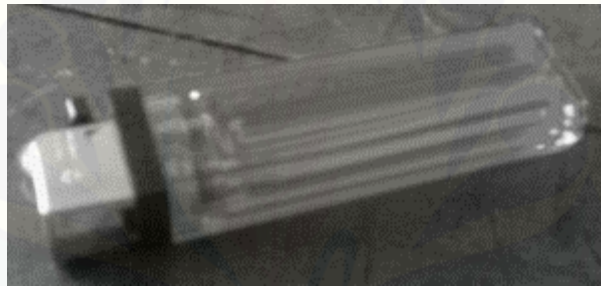
Berfungsi mengisolasi sambungan *combustor* pada saat dipasang pada *combustor holder* dan mencegah kebocoran aliran yang mengalir kedalam *combustor*.



Gambar 3.13 Seal tape

c. *Lighter* api

*Lighter* api atau penyala api berfungsi menyalakan api dan memulai pembakaran di dalam *combustor*.



Gambar 3.14 *Lighter* api

### 3.3 Variabel Penelitian

#### 3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi faktor-faktor yang diukur oleh peneliti untuk menentukan hubungan antara fenomena yang diamati. Adapun variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah diameter *outlet* ( $D_o$ ) *combustor* masing-masing sebesar : 5, 5,5 dan 6 mm.

#### 3.3.2 Variabel Terikat

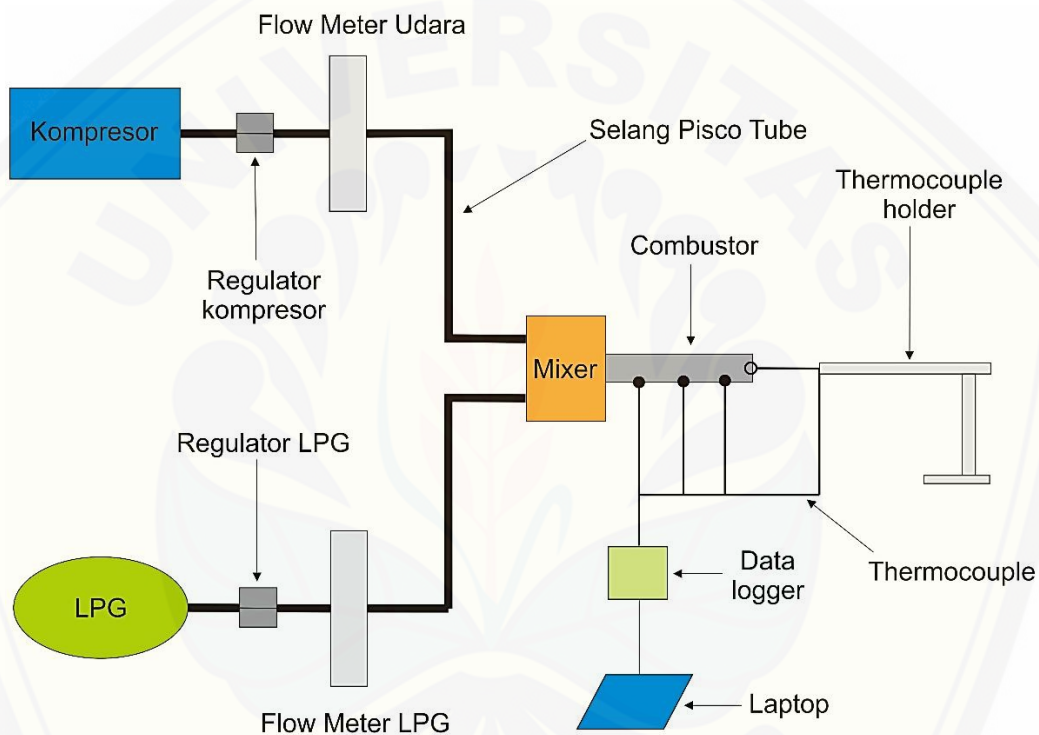
Variabel terikat adalah variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas. Penelitian ini mempunyai variabel terikat yang meliputi temperatur pada dinding ( $T_w$ ) dan ruang bakar ( $T_i$ ) *combustor*.

### 3.3.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol variabel yang ditetapkan dalam penelitian. Adapun variabel kontrol dalam penelitian ini adalah:

- Debit bahan bakar ( $Q_f$ ) dan debit udara ( $Q_a$ ).
- Diameter *inlet combustor* ( $D_i$ ) sebesar 4,5 mm.

### 3.4 Skema Rangkaian Alat Uji



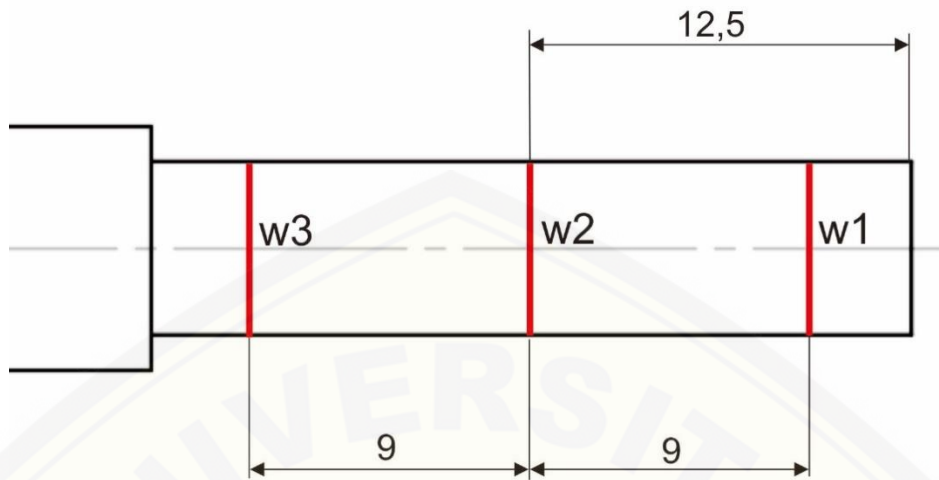
Gambar 3.15 Skema alat uji

#### 3.4.1 Skema Pengukuran Temperatur

Pada penelitian ini ditentukan beberapa titik pada *meso combustor* untuk dilakukan pengukuran menggunakan *thermocouple*. Adapun beberapa titik tersebut adalah sebagai berikut :

- Titik pengukuran pada dinding (*wall combustor*)

Untuk mengukur temperatur dinding rata-rata atau *wall temperature* ( $T_w$ ) maka ditentukan tiga titik seperti dalam ilustrasi gambar berikut:

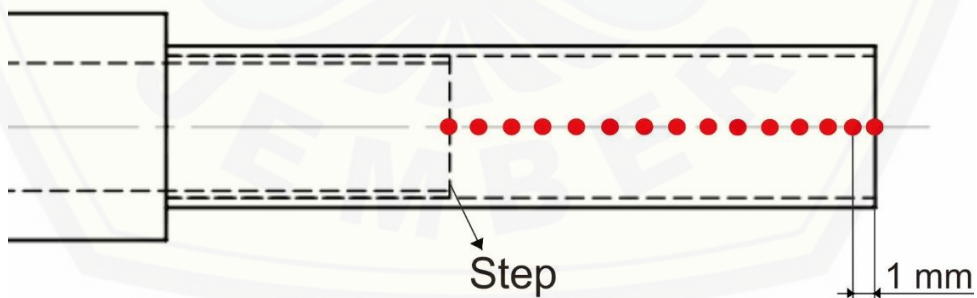


Gambar 3.16 Titik pengukuran pada dinding *combustor*

Instalasi atau pemasangan kawat *thermocouple* pada dinding dilakukan dengan cara melilitkan kawat pada titik yang telah ditentukan.

b. Titik pengukuran pada bagian dalam ( $T_i$ ) *combustor*.

Untuk mengukur temperatur bagian dalam *combustor* ( $T_i$ ) maka ditentukan sebanyak 16 titik dengan jarak masing-masing titik 1 mm seperti dalam ilustrasi gambar berikut :



Gambar 3.17 Titik pengukuran pada bagian dalam *combustor*

Pengukuran temperatur pada bagian dalam *combustor* dilakukan dengan cara memasukan ujung kawat *thermocouple* tepat pada titik-titik sesuai gambar diatas.

*Thermocouple holder* digunakan agar posisi *thermocouple* sesuai dengan titik yang ditentukan.

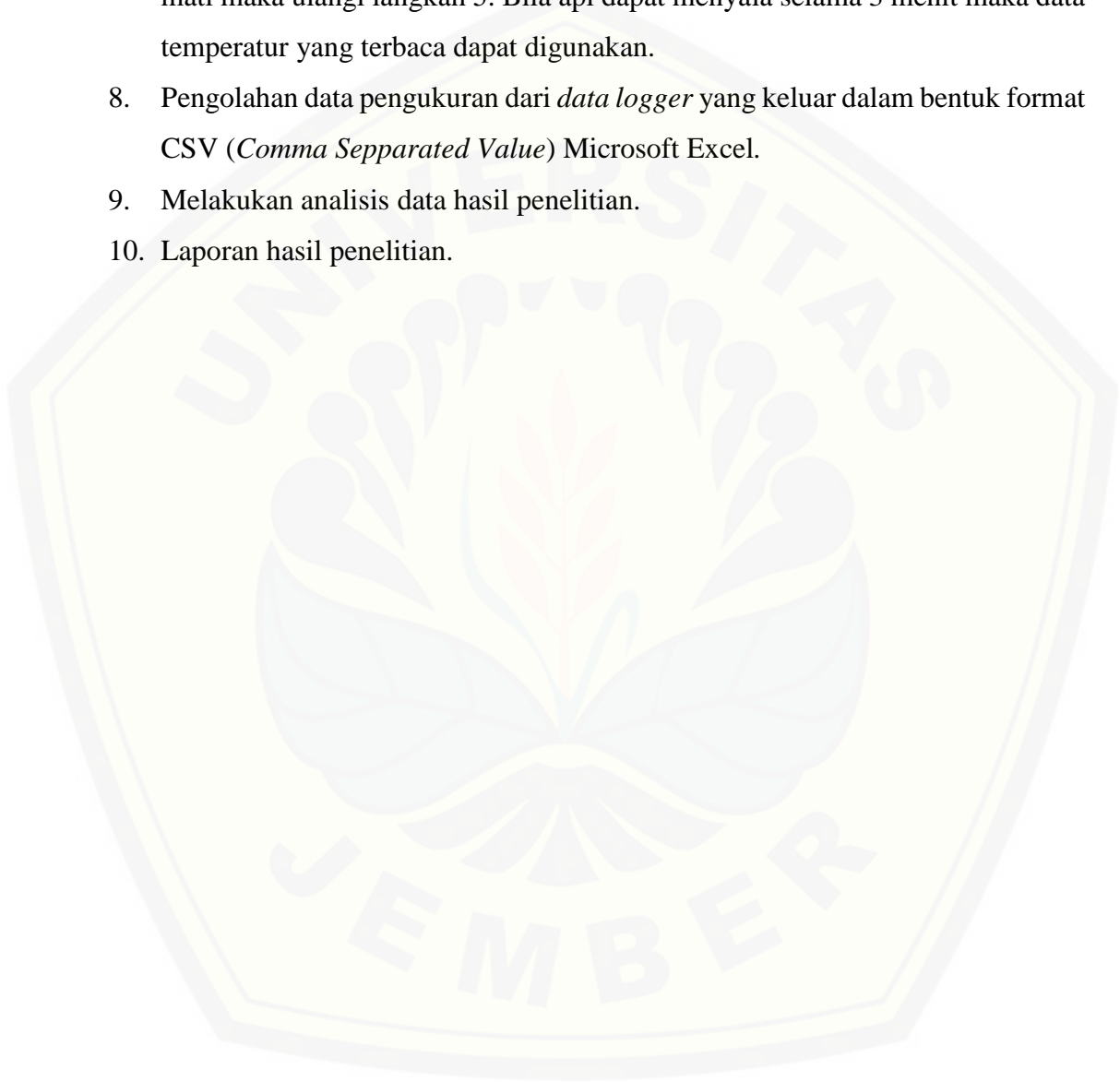
### 3.5 Prosedur Penelitian

Sebelum penelitian karakteristik distribusi temperatur pada *meso scale combustor* dilakukan, terlebih dahulu dilakukan pengujian *flammability limit* untuk menentukan perhitungan rasio ekuivalen dan kecepatan reaktan pada pembakaran. Kemudian berdasarkan data perhitungan yang didapat, dibuat grafik *flammability limit* untuk menentukan nilai debit bahan bakar dan udara yang akan digunakan untuk pengujian pada ketiga *combustor* dengan cara menentukan titik tengah pada grafik *flammability limit*. Setelah itu pengambilan data temperatur dapat dilakukan. Adapun pengambilan data dalam penelitian karakteristik distribusi temperatur pada *meso-scale combustor* harus melakukan beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat – alat penelitian yang diperlukan sesuai dengan skema pada Gambar 3.15 hingga 3.17, selang saluran bahan bakar dan udara harus terpasang dengan baik dan tidak terjadi kebocoran, lalu setting kompresor pada tekanan 1,1 bar.
2. Melakukan *setting* pada *flowmeter* udara dengan memputa tuas aliran udara kompresor lalu membuka katup *flowmeter* secara perlahan hingga bola penunjuk debit udara pada *flowmeter* berada di skala paling atas.
3. Melakukan *setting* pada *flowmeter* bahan bakar dengan membuka regulator LPG kemudian katup *flowmeter* dibuka perlahan hingga bola penunjuk debit bahan bakar pada *flowmeter* berada pada posisi skala paling atas.
4. Memulai reaksi pembakaran pada *combustor* dengan cara memantik *lighter* api pada *nozzle combustor*.
5. Ketika api sudah menyala lakukan pengaturan debit bahan bakar dan udara. Bila belum diketahui debit yang sesuai, lakukan pengaturan dengan menjaga skala debit bahan bakar konstan, kemudian lakukan penyesuaian pada debit udara hingga api masuk kedalam *combustor* dan menyala tepat pada *step*, setelah itu aktifkan alat pengukur dan mulai pengukuran. Namun bila debit

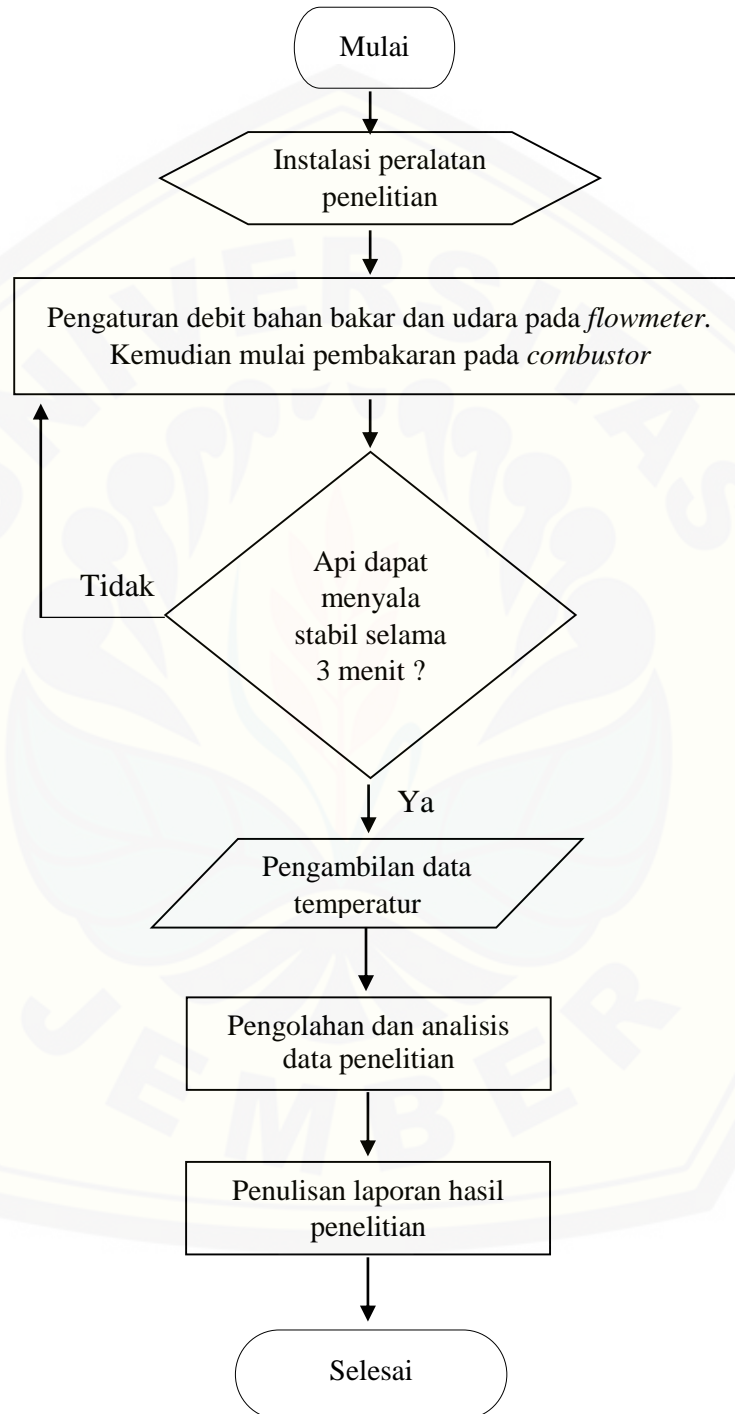
yang dikehendaki sudah diketahui maka langsung atur nilai debit udara atau bahan bakar sesuai data yang ada.

6. Setelah debit telah diatur mulailah pengukuran.
7. Melakukan pengamatan kestabilan nyala api selama minimal 3 menit, bila api mati maka ulangi langkah 5. Bila api dapat menyala selama 3 menit maka data temperatur yang terbaca dapat digunakan.
8. Pengolahan data pengukuran dari *data logger* yang keluar dalam bentuk format CSV (*Comma Sepparated Value*) Microsoft Excel.
9. Melakukan analisis data hasil penelitian.
10. Laporan hasil penelitian.



### 3.6 Diagram Alir Penelitian

Penelitian dalam karya tulis ilmiah ini dilakukan dengan mengikuti beberapa langkah-langkah seperti yang ditunjukkan pada diagram alir berikut.



Gambar 3.18 Diagram alir penelitian

### 3.7 Penyajian Data Penelitian

Data yang diperoleh dari hasil penelitian diolah menggunakan *software* Microsoft Excel ver.2013 untuk memudahkan pencarian nilai variabel terikat. Hasil pengolahan data akan disajikan dalam bentuk tabel seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.1 hingga 3.3 serta dalam bentuk grafik.

Tabel 3.1 Penyajian data *flammability limit*

No	D <sub>o</sub> (mm)	Q <sub>f</sub> (mL/min)	Q <sub>a</sub> (mL/min)		Φ		V <sub>reaktan</sub> (cm/s)	
			min	max	lower	upper	min	max
1	5							
2	5,5							
3	6							

Tabel 3.2 Penyajian data temperatur dinding *combustor*

Combustor	Suhu Dinding (T <sub>w</sub> )			Rata-rata
	w1	w2	w3	
D <sub>o</sub> = 5				
D <sub>o</sub> = 5,5				
D <sub>o</sub> = 6				

Tabel 3.3 Penyajian data suhu ruang bakar *combustor*

X (mm)	T <sub>i</sub> (°C)		
	D <sub>o</sub> = 5	D <sub>o</sub> = 5,5	D <sub>o</sub> = 6
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Rata-rata			



**BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

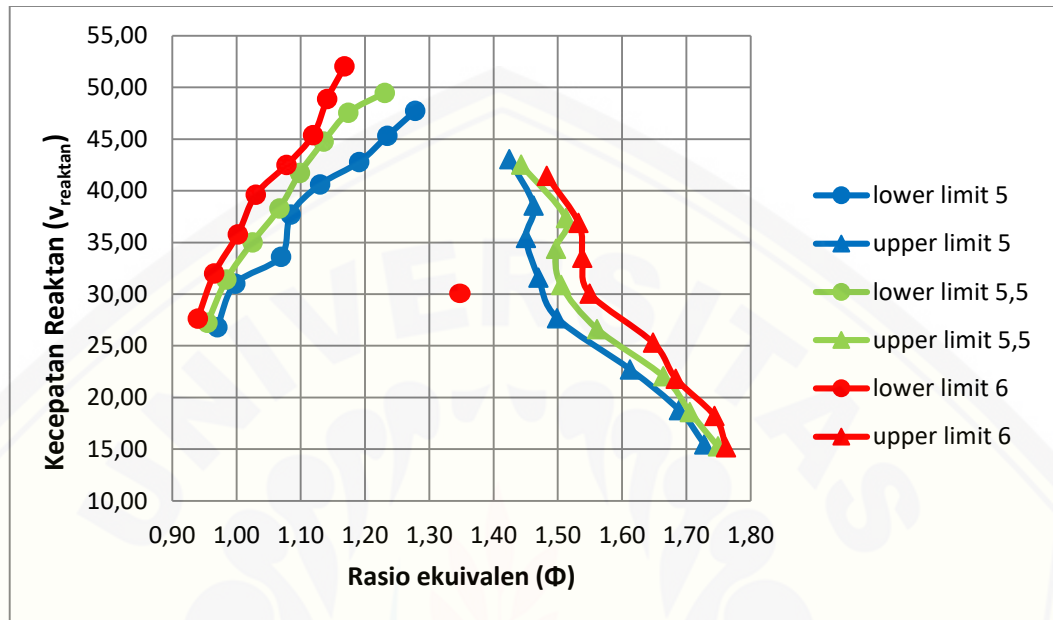
**4.1 Data Hasil Penelitian**

Setelah dilakukan pengujian *flammability limit* didapatkan data berupa nilai  $Q_f$ ,  $Q_{a \text{ min}}$  serta  $Q_{a \text{ max}}$ , kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan ekuivalen rasio ( $\Phi$ ) dan kecepatan reaktan ( $v_{\text{reaktan}}$ ) seperti yang terdapat pada lampiran. Dari perhitungan tersebut maka didapatkan data seperti yang disajikan pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian *flammability limit*

No	$D_o$ (mm)	$Q_f$ (mL/min)	$Q_a$ (mL/min)		$\Phi$		$v_{\text{reaktan}}$ (cm/s)	
			min	max	lower	upper	min	max
1	5	8,8	138,7	247	0,97	1,73	15,46	26,82
2		10,4	168,7	285,3	1,00	1,69	18,78	31,01
3		12,1	204,7	308,7	1,07	1,61	22,73	33,63
4		13,7	250,3	346	1,08	1,50	27,69	37,72
5		15,4	286	372	1,13	1,47	31,60	40,62
6		17	321	391	1,19	1,45	35,44	42,78
7		18,7	349,3	413,7	1,23	1,46	38,59	45,33
8		20,4	390,3	435	1,28	1,42	43,06	47,74
9	5,5	8,8	137	251	0,95	1,75	15,28	27,24
10		10,4	167	289,3	0,98	1,71	18,60	31,43
11		12,1	198,3	322	1,02	1,66	22,06	35,03
12		13,7	240,3	351,7	1,07	1,56	26,64	38,31
13		15,4	279,3	382,7	1,10	1,51	30,90	41,74
14		17	311	410	1,14	1,50	34,39	44,77
15		18,7	337,7	435	1,17	1,51	37,36	47,57
16		20,4	385,3	451,7	1,23	1,44	42,54	49,49
17	6	8,8	136	255	0,94	1,76	15,18	27,66
18		10,4	163,3	295	0,97	1,74	18,22	32,02
19		12,1	196	329,3	1,00	1,68	21,82	35,80
20		13,7	227,7	364,3	1,03	1,65	25,31	39,64
21		15,4	271,3	390	1,08	1,55	30,06	42,50
22		17	302,7	416	1,12	1,54	33,52	45,40
23		18,7	333,3	447,7	1,14	1,53	36,91	48,90
24		20,4	375	476	1,17	1,48	41,45	52,04

Dari data yang telah didapatkan diatas maka dapat dibuat grafik *flammability limit* seperti pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 grafik *flammability limit*

Dari grafik *flammability limit* diatas kemudian ditentukan titik tengah grafik yang ditandai dengan titik berwarna merah. Dari titik tersebut didapatkan nilai rasio ekuivalen ( $\Phi$ ) sebesar 1,35 dan  $v_{reaktan}$  sebesar 30 cm/s untuk kemudian dimasukkan kedalam rumus perhitungan yang terdapat pada lampiran untuk mendapatkan nilai  $Q_f$  dan  $Q_a$  yang akan digunakan. Setelah dilakukan perhitungan maka dapat ditentukan nilai  $Q_a = 12$  mL/min dan  $Q_f = 242$  mL/min yang akan digunakan pada penelitian karakteristik distribusi temperatur selanjutnya.

Setelah dilakukan pengujian distribusi temperatur maka didapatkan data hasil pengukuran suhu pada dinding *combustor* yang disajikan dalam Tabel 4.2 dan suhu pada ruang bakar *combustor* yang disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.2 Data hasil pengukuran suhu dinding ( $T_w$ ) *meso combustor*

Combustor	$T_w$ ( $^{\circ}\text{C}$ )			Rata-rata
	w1	w2	w3	
$D_o = 5$	151,9	184,7	102	146,2
$D_o = 5,5$	151,2	175,7	100,2	142,4
$D_o = 6$	140,3	174,7	95,5	137

Tabel 4.3 Data hasil pengukuran suhu ruang bakar ( $T_i$ ) *meso combustor*

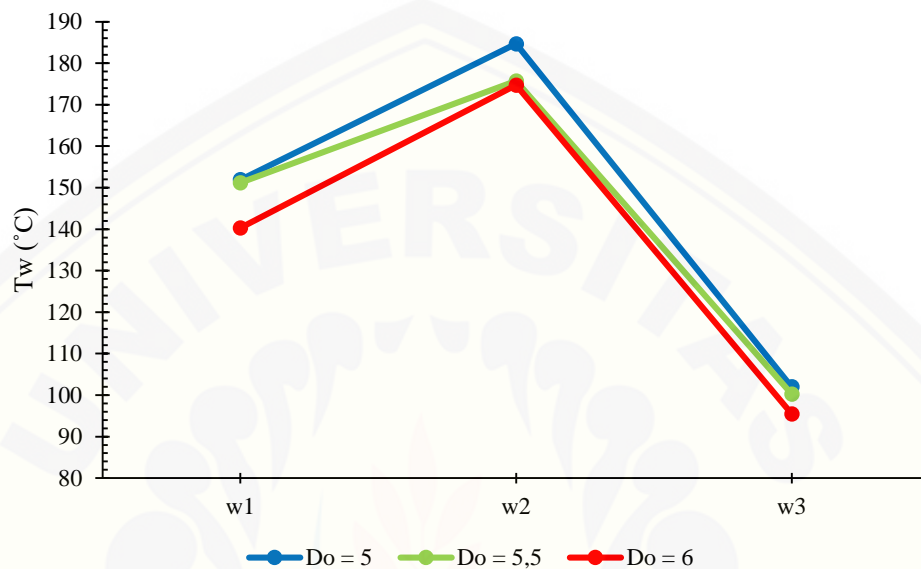
X (mm)	$T_i$ ( $^{\circ}\text{C}$ )		
	$D_o = 5$	$D_o = 5,5$	$D_o = 6$
0	478,4	437,5	447,4
1	503,3	469,7	489
2	539	510	513,1
3	546,6	557,5	550,5
4	575,9	585	578,8
5	584,5	614,7	617,2
6	664	641	645,2
7	668,1	686,6	700,2
8	711,9	738,3	743,3
9	793,6	786,3	791,1
10	826,2	844,6	854,6
11	893	897,4	912,9
12	952,1	935	937,1
13	1005,4	996,1	1068,8
14	1007,7	1045,3	1062,5
15	1029,2	1027,5	1028,3
Rata-rata	736,2	739,4	742,6

#### 4.1.1 Grafik Distribusi Temperatur

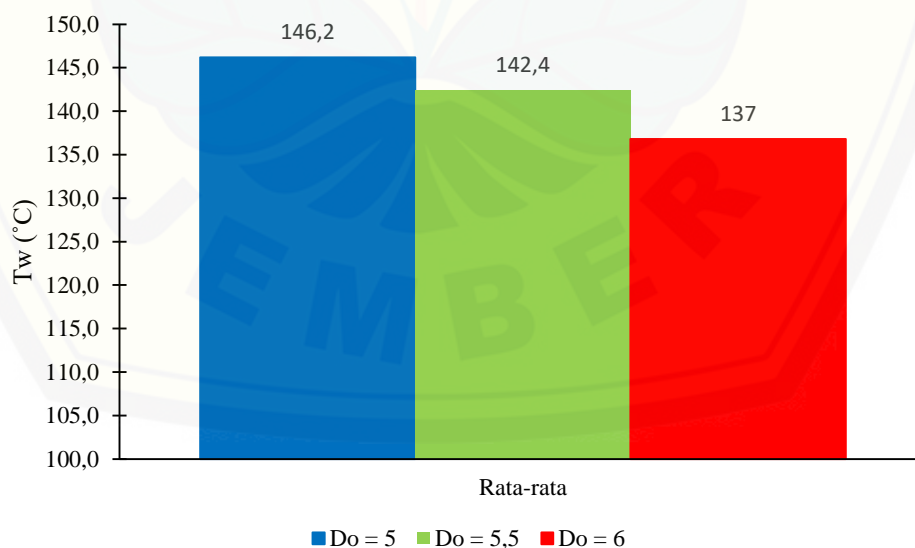
Setelah data suhu yang tercatat diolah menjadi tabel temperatur pada dinding dan ruang bakar *meso combustor* maka langkah selanjutnya adalah membuat grafik distribusi temperatur berdasarkan tabel yang telah disusun sebelumnya agar dapat lebih mudah dalam menggambarkan distribusi temperatur

yang terjadi pada *meso combustor*. Analisis distribusi temperatur pada penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu distribusi temperatur pada ruang bakar ( $T_i$ ) dan pada dinding ( $T_w$ ).

a. Grafik distribusi temperatur pada dinding ( $T_w$ ) *combustor*



Gambar 4.2 Grafik distribusi  $T_w$  pada ketiga *combustor*

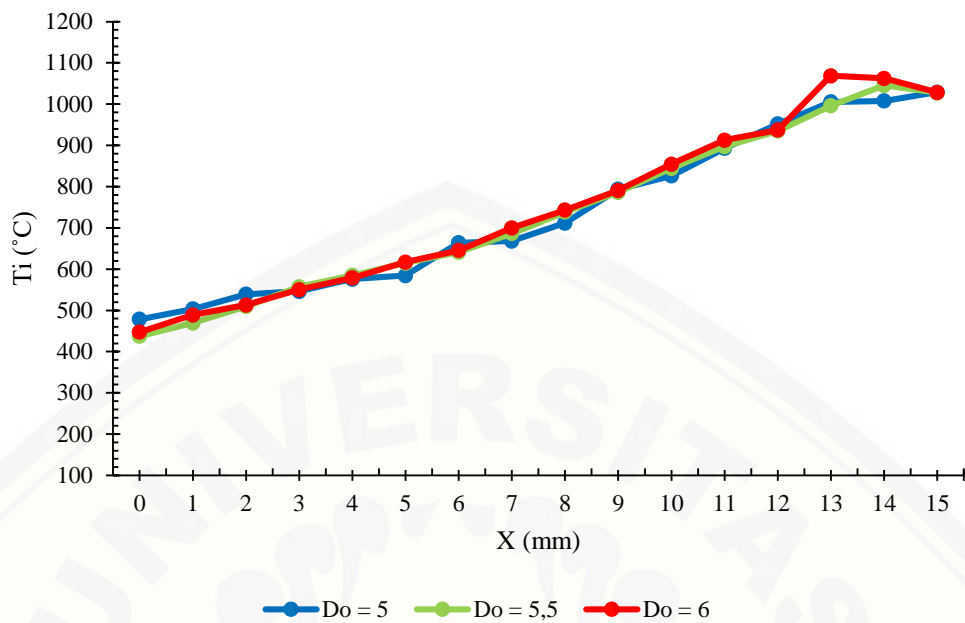
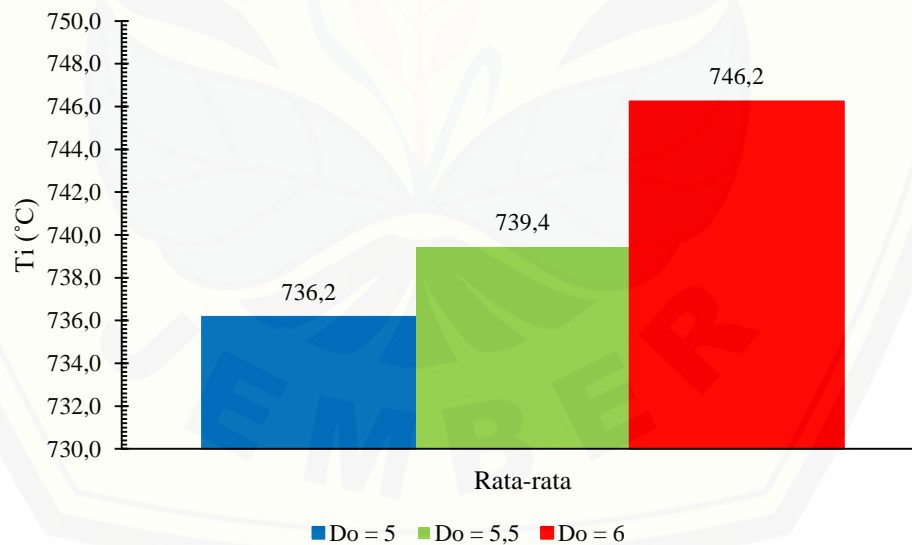


Gambar 4.3 Grafik perbandingan rata-rata  $T_w$  pada ketiga *combustor*

Pada gambar 4.2 diatas disajikan grafik temperatur dinding atau *wall temperature* ( $T_w$ ) pada ketiga *combustor* dan pada gambar 4.3 disajikan grafik perbandingan rata-rata  $T_w$  pada ketiga *combustor* untuk dapat dilakukan perbandingan. Dapat dilihat bahwa temperatur dinding pada *combustor* dengan  $D_o = 5$  mm memiliki nilai yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan *combustor*  $D_o = 5,5$  dan  $6$  mm. Pada *combustor* dengan  $D_o = 5$  mm suhu dinding tertinggi yang tercatat adalah sebesar  $184,7^\circ\text{C}$  pada titik  $w_2$  sedangkan suhu terendah berada pada titik  $w_3$  sebesar  $102^\circ\text{C}$ . Pada *combustor* dengan  $D_o = 5,5$  mm suhu tertinggi berada pada titik  $w_2$  sebesar  $175,7^\circ\text{C}$  untuk  $T_w$  terendah berada pada titik  $w_3$  dengan suhu sebesar  $100,2^\circ\text{C}$ . Sedangkan pada *combustor* dengan  $D_o = 6$  mm suhu tertinggi berada pada titik  $w_2$  sebesar  $175^\circ\text{C}$  dan  $T_w$  terendah pada titik  $w_3$  sebesar  $95,5^\circ\text{C}$ .

Temperatur rata-rata dinding berbeda pada ketiga *combustor* meskipun tidak signifikan seperti yang terdapat pada gambar 4.3. Suhu rata-rata dinding tertinggi dihasilkan *combustor* dengan  $D_o = 5$  mm sebesar  $146,2^\circ\text{C}$  sedangkan suhu terendah dihasilkan *combustor* dengan  $D_o = 6$  mm sebesar  $137^\circ\text{C}$ . Adapun suhu rata-rata yang dihasilkan *combustor* dengan  $D_o = 5,5$  mm sebesar  $142,4^\circ\text{C}$ .

Bila diperhatikan dari ketiga *combustor* memiliki kesamaan pada titik suhu maksimum dan minimum pada dinding. Adapun persamaan itu adalah untuk  $T_w$  tertinggi berada pada titik  $w_2$  dan terendah berada pada titik  $w_3$ . Hal ini disebabkan karena posisi  $w_2$  yang dekat dengan bagian *sudden expansion* atau *step* dari *combustor*. Sedangkan titik  $w_3$  berada yang paling jauh dari *step* sehingga suhu yang dihasilkan lebih rendah. Seperti diketahui bahwa *step* adalah lokasi dimana api bertahan sehingga menyebabkan suhu dinding di sekelilingnya menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan suhu di titik lainnya.

b. Grafik distribusi temperatur pada ruang bakar ( $T_i$ ) *combustor*Gambar 4.4 Grafik distribusi  $T_i$  pada ketiga *combustor*Gambar 4.5 Grafik perbandingan rata-rata  $T_i$  pada ketiga *combustor*

Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa untuk  $T_i$  pada *combustor* nilainya semakin besar ketika  $D_o$  dari *combustor* semakin besar walaupun perbedaan diantara ketiganya tidak signifikan. Posisi titik puncak dari suhu ruang bakar pada

tiap *combustor* berbeda. Sebagai contoh pada gambar 4.4 *combustor* dengan  $D_o = 5$  mm suhu  $T_i$  tertinggi yang tercatat adalah sebesar  $1029,2^\circ\text{C}$  dengan jarak dari  $D_o$  ( $x$ ) sejauh 13 mm, untuk *combustor* dengan  $D_o = 5,5$  mm suhu  $T_i$  tertinggi yang tercatat adalah sebesar  $1045,3^\circ\text{C}$  dengan jarak dari  $D_o$  ( $x$ ) sejauh 14 mm atau berada tepat di depan *step* sedangkan pada *combustor* dengan  $D_o = 6$  mm suhu  $T_i$  tertinggi yang tercatat sebesar  $1068,8^\circ\text{C}$  dengan jarak dari  $D_o$  ( $x$ ) sejauh 15 mm atau tepat berada pada *step*.

Sedangkan untuk suhu rata rata ruang bakar pada ketiga *combustor* seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa suhu rata-rata tertinggi dihasilkan *combustor* dengan  $D_o$  yang terbesar, sedangkan suhu terendah dihasilkan *combustor* dengan  $D_o$  yang terkecil. Adapun pada *combustor* dengan  $D_o = 6$  mm suhu rata-rata  $T_i$  yang dihasilkan sebesar  $746,2^\circ\text{C}$ , untuk *combustor* dengan  $D_o = 5,5$  mm suhu rata-rata yang dihasilkan sebesar  $739,4^\circ\text{C}$  sedangkan untuk *combustor* dengan  $D_o = 5$  mm suhu rata-rata yang dihasilkan sebesar  $736,2^\circ\text{C}$ .

#### 4.2 Analisis Hasil Penelitian.

Dari grafik hasil penelitian yang telah disajikan sebelumnya dapat diketahui bahwa *combustor* dengan  $D_o$  yang kecil cenderung menghasilkan suhu rata-rata dinding yang lebih tinggi dibandingkan *combustor* berdiameter lebih besar, hal ini diperkuat oleh Li *et al.* (2009). Tingginya suhu pada dinding *combustor* sangat dipengaruhi oleh besaran *surface to volume ratio* (SVR). Adapun *surface to volume ratio* adalah rasio perbandingan antara luas permukaan dengan volume dari *combustor*. Dengan volume *combustor* yang semakin kecil membuat nilai *surface to volume ratio* (SVR) semakin besar sehingga meningkatkan *heat loss* yang terjadi dan membuat suhu permukaan *combustor* semakin tinggi (Walther *et al.* 2010). Berdasarkan perhitungan yang di peroleh sesuai dengan yang tertera di lampiran, maka dapat diketahui bahwa *combustor* dengan  $D_o$  yang kecil memiliki *surface to volume ratio* yang besar bila dibandingkan dengan *combustor* dengan  $D_o$  yang lebih besar sehingga menghasilkan suhu dinding ( $T_w$ ) yang lebih tinggi.

Sedangkan berdasarkan data pengukuran suhu pada ruang bakar *combustor* ( $T_i$ ) dapat diketahui bahwa suhu  $T_i$  semakin tinggi seiring dengan bertambahnya

diameter *outlet* ( $D_o$ ) pada *meso combustor*. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya *vortex* pada saluran *sudden expansion* dari *meso combustor*. Semakin besar *sudden expansion* ( $D_o$  lebih besar) semakin besar pula *vortex* yang dihasilkan. *Vortex* yang terbentuk dapat meningkatkan stabilitas nyala api dan berfungsi sebagai penahan api (*flame holder*) di dalam ruang pembakaran *meso combustor*. Hal ini disebabkan karena *vortex* membawa suhu dan massa ke dalam zona reaksi (*reaction zone*) atau ruang pembakaran. Tetapi semakin besar *vortex* yang terbentuk membuat kestabilan nyala api semakin berkurang (Altay *et al.* 2009). Ini disebabkan karena *vortex* yang besar cenderung membawa massa lebih banyak dibandingkan dengan suhu ke dalam ruang pembakaran sehingga membuat ketidakseimbangan antara panas dan massa pada pembakaran yang menyebabkan ketidakstabilan nyala api. *Vortex* yang besar juga menyebabkan terjadinya pemuluran api (*stretching*) sehingga nyala api akan semakin menjauhi *sudden expansion* akibat banyaknya massa yang memasuki ruang pembakaran.

Pada grafik distribusi temperatur dapat dilihat *combustor* dengan  $D_o = 6$  mm memiliki suhu ruang pembakaran ( $T_i$ ) yang paling tinggi dibanding *combustor* lainnya, namun dengan titik tertinggi terletak menjauhi *sudden expansion*. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya *vortex* yang lebih besar pada *combustor* ini seperti pada penjelasan sebelumnya.



## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian karakteristik distribusi temperatur pada *meso combustor* dengan *sudden expansion* ini adalah sebagai berikut:

1. Variasi diameter *outlet* ( $D_o$ ) menghasilkan distribusi temperatur yang berbeda pada dinding maupun ruang pembakaran *meso combustor*.
2. Berdasarkan hasil penelitian maka dapat diketahui bahwa : suhu dinding *combustor* ( $T_w$ ) tertinggi dihasilkan *combustor* dengan  $D_o$  yang terkecil berukuran 5 mm dengan rata-rata suhu mencapai  $147,2^{\circ}\text{C}$ , sedangkan suhu ruang bakar ( $T_i$ ) tertinggi dihasilkan *combustor* dengan  $D_o$  terbesar berukuran 6 mm dengan rata-rata suhu sebesar  $742,6^{\circ}\text{C}$ .
3. Rasio luas permukaan dan volume atau *surface to volume ratio* (SVR) sangat mempengaruhi perbedaan suhu dinding ( $T_w$ ) pada *combustor*. Semakin kecil  $D_o$  *combustor* akan meningkatkan nilai rasio. Rasio pebandingan yang besar menyebabkan suhu dinding yang tinggi namun dengan *heat losses* yang semakin besar, begitu juga sebaliknya.
4. Aliran reaktan yang membentuk pusaran (*vortex*) pada area *sudden expansion* menjadi faktor yang mempengaruhi perbedaan suhu ruang bakar ( $T_i$ ) pada *combustor*. Semakin besar *vortex* maka akan menghasilkan suhu ruang bakar yang tinggi namun dengan kestabilan nyala api yang kurang baik karena *vortex* yang terlalu besar cenderung membawa massa yang berlebih dibandingkan suhu untuk reaksi pembakaran.

### 5.2 Saran

Adapun saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan untuk meneliti bagian pengkonversi panas pada *meso scale combustion*. Bagian tersebut dapat digunakan untuk

merubah energi panas menjadi bentuk energi yang dapat dimanfaatkan seperti energi listrik.

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang *heat losses* pada *meso scale combustion*.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Altay, H. M., Speth, R.L., Hudgins, D.E., Goniem, A.F., 2009, Flame–vortex interaction driven combustion dynamics in a backward-facing step combustor : *Combustion and Flame* 156 (2009) 1111–1125.
- Borghì, R., M. Destriau, G. D Soete. 1998. *Combustion and Flames*. Paris : Editions OPHRYS.
- Celanovic, I., Bermel, P., dan Soljagic, M. 2011. *Thermophotovoltaic power conversion system: current performance and future potential*. Massachusetts Institute of Technology (77 Massachusetts Ave., Cambridge, MA 02139, USA).
- Chou, S.K., W.M. Yang, K.J. Chua, J.Li, dan K.L. Zhang. 2010. Development of micro power generators – A review. *Applied Energy*. 88: 1-16.
- Demirbas, A. 2009. *Biohydrogen: For Future Engine Fuel Demands*. Trabzon : Springer Science & Business Media.
- Databoks. 2013. Produksi LPG Indonesia 2000-2013. [www.databoks.katadata.co.id/datapublish/2016/08/08/produksi-lpg-indonesia-2000-2013](http://www.databoks.katadata.co.id/datapublish/2016/08/08/produksi-lpg-indonesia-2000-2013) [10 Februari 2017]
- Faiz, A., Christopher S. Weaver, Michael P. Walsh. 1996. *Air Pollution from Motor Vehicles: Standards and Technologies for Controlling Emissions*. Washington D. C : World Bank Publications.
- Ganesan, V. 2012. *Combustion Engines : Fourth Edition*. New Delhi : Tata McGraw-Hill Education.
- J. Li, S.K. Chou, G. Huang, W.M. Yang dan Z.W. Li. 2009. Study on premixed combustion in cylindrical micro combustors : Transient flame behavior and wall heat flux. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 33 : 764–773.
- Ju, Y., dan K. Maruta. 2011. Microscale combustion: Technology development and fundamental research. *Progress in Energy and Combustion Science*. 37: 669-715.

- Mahandri, C.P. 2010. Fenomena Flame Lift-up pada Pembakaran *Premixed Gas Propana*. *Disertasi*. Depok: Program Pasca Sarjana Teknik Mesin Universitas Indonesia.
- Mahandri, C.P dan Kartika. D. 2010. Flame Lift-up on A Bunsen Burner. *Energy, Process and Enviromental Engineering and Management & Sustainable Architecture*. 13: 1-4.
- McAllister, S., Jyh-Yuan Chen, A. Carlos Fernandez-Pello. 2011. *Fundamentals of Combustion Processes*. New York : Springer Science & Business Media.
- Mobley, R. K. 2001. *Plant Engineer's Handbook*. Massachusetts : Butterworth-Heinemann.
- Moran, M. J., Howard N. Saphiro. 2004. *Fundamental of Engineering Thermodynamics*. Jakarta ; Erlangga.
- Niewenhuis, P. 2003. *The Automotive Industry and the Environment*. Cambridge : Peter Wells CRC Press.
- Pan, J.F., J. Huang, D.T. Li, W.M. Yang, W.X. Tang dan H. Xue. 2007. Effects of major parameters on micro-combustion for thermophotovoltaic energy conversion. *Applied Thermal Engineering*. 27 : 1089–1095.
- PERTAMINA. 2013. Spesifikasi Elpiji. [www.pertamina.com/gasdom/ produk\\_dan\\_services\\_elpiji\\_spesifikasi.aspx](http://www.pertamina.com/gasdom/produk_dan_services_elpiji_spesifikasi.aspx) [diakses pada 10 Februari 2017]
- Rathore, M. M. 2010. *Thermal Engineering*. New Delhi : Tata McGraw-Hill Education.
- Suprpto, Utama, Putradipura, Juwanda, Theresia, dan Walio. 2013. Termoelektrik. [http:// praptofi11.wordpress.com](http://praptofi11.wordpress.com) [8 Maret 2017]
- 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.
- Walther D.C., Ahn J. 2010. Advances and challenges in the development of power-generation systems at small scales. *Progress in Energy and Combustion Science* 37 (2011) 583e610.

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



LAMPIRAN

1. Perhitungan AFR stoikiometri

AFR<sub>stoikiometri</sub> merupakan AFR yang diperoleh dengan menghitung persamaan kimia pada pembakaran. Dalam pembakaran menggunakan bahan bakar gas LPG persamaan kimia dapat ditulis sebagai berikut :



Persamaan kimia diatas merupakan reaksi pembakaran 0,5 mol butana dan 0,5 mol propana yang direaksikan dengan 5,57 mol udara menghasilkan 3,52 mol gas CO<sub>2</sub>, 4,5 mol H<sub>2</sub>O dan 21,62 mol N<sub>2</sub>. Kemudian AFR<sub>stoikiometri</sub> dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut :

a. Diketahui :

- Massa atom relatif (M<sub>r</sub>) = C = 12 gr/mol; H = 1 gr/mol; dan N = 14 gr/mol
- Massa jenis udara (m<sub>a</sub>) = 0,001205 gr/cm<sup>3</sup>
- Massa jenis propana = 0,00183 gr/cm<sup>3</sup>
- Massa jenis butana = 0,002417 gr/cm<sup>3</sup>
- Massa jenis LPG (50% propana + 50% butana) = 0,002126 gr/cm<sup>3</sup>

b. Dicari : AFR<sub>stoikiometri</sub>..?

c. Penyelesaian

- Massa bahan bakar = n x M<sub>r</sub>  

$$= 0,5 M_r \text{ C}_3\text{H}_8 + 0,5 M_r \text{ C}_4\text{H}_{10}$$

$$= (0,5 (36 + 8)) + (0,5 (48 + 10))$$

$$= 22 + 29$$

$$= 51 \text{ gram}$$
- Massa udara (m<sub>a</sub>) = n x M<sub>r</sub>  

$$= 5,75 (M_r \text{ O}_2 + 3,76 M_r \text{ N}_2)$$

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

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

- $AFR_{\text{stoikiometri}} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f}$
- $= \frac{789,36}{51}$
- $= 15,48$

## 2. Perhitungan AFR aktual

Nilai  $AFR_{\text{aktual}}$  diperoleh dengan cara menghitung perbandingan massa aliran bahan bakar dan udara. Sebagai contoh perhitungan nilai  $Q_a$  dan  $Q_f$  diambil dari tabel 4.1 nomor 1.

a. Diketahui :

- $\rho_{\text{LPG}} = 0,002126 \text{ gr/cm}^3$
- $\rho_a = 0,001205 \text{ gr/cm}^3$
- $Q_f = 8,8 \text{ ml/min}$
- $Q_{a \text{ min}} = 138,7 \text{ ml/min}$
- $Q_{a \text{ max}} = 247 \text{ ml/min}$
- $AFR_{\text{stoikiometri}} = 15,48$

b. Dikarenakan perbedaan fase antara bahan bakar dan udara, maka dilakukan perubahan menjadi massa alir ( $\dot{m}$ )

- $\dot{m}_f = \rho_{\text{LPG}} \times Q_f = 0,002126 \times 8,8 = 0,0187 \text{ gr/min}$
- $\dot{m}_{a \text{ min}} = \rho_a \times Q_{a \text{ min}} = 0,001205 \times 138,7 = 0,167 \text{ gr/min}$
- $\dot{m}_{a \text{ max}} = \rho_a \times Q_{a \text{ max}} = 0,001205 \times 247 = 0,297 \text{ gr/min}$

c. Nilai  $AFR_{\text{aktual}}$

$$AFR_{\text{aktual}} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f}$$

- $AFR_{\text{aktual (lower)}} = \frac{0,1671}{0,0187} = 8,9$
- $AFR_{\text{aktual (upper)}} = \frac{0,2976}{0,0187} = 15,9$

### 3. Perhitungan rasio ekuivalen ( $\Phi$ )

Rasio ekuivalen merupakan perbandingan antara AFR<sub>stoikiometri</sub> dengan AFR<sub>aktual</sub>. Rasio ekuivalen dapat dihitung dengan persamaan :

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

#### a. Rasio ekuivalen batas bawah ( $\Phi_{\text{lower}}$ )

- Diketahui
  - AFR<sub>aktual (upper)</sub> = 15,83
  - AFR<sub>stoikiometri</sub> = 15,48
- Dicari :  $\Phi_{\text{lower}}$ ..?
- Penyelesaian :
  - $\Phi = \frac{\text{AFR stoikiometri}}{\text{AFR aktual (upper)}}$
  - $\Phi_{\text{lower}} = \frac{15,48}{15,83}$
  - $\Phi_{\text{lower}} = 0,97$

#### b. Rasio ekuivalen batas atas ( $\Phi_{\text{upper}}$ )

- Diketahui
  - AFR<sub>aktual (lower)</sub> = 8,9
  - AFR<sub>stoikiometri</sub> = 15,48
- Dicari :  $\Phi_{\text{lower}}$ ..?
- Penyelesaian :
  - $\Phi = \frac{\text{AFR stoikiometri}}{\text{AFR aktual (lower)}}$
  - $\Phi_{\text{lower}} = \frac{15,48}{8,9}$
  - $\Phi_{\text{lower}} = 1,73$



c. Kecepatan total reaktan (v)

- Diketahui :
  - $Q_a \text{ min} = 138,7 \text{ ml/min}$
  - $Q_a \text{ max} = 247 \text{ ml/min}$
  - $Q_f = 8,8 \text{ ml/min}$
  - $D_i \text{ combustor} = 4,5 \text{ mm}; r_i = 2,25 \text{ mm}$
- Dicari :  $V_{\text{reaktan (min)}}$ ..?;  $V_{\text{reaktan (max)}}$ ..?
- Penyelesaian

$$\frac{\left(\frac{Q_f + Q_a(\text{min/max})}{60}\right)}{\frac{(3,14 \times r^2)}{100}} \text{ cm}^2$$

$$- V_{\text{reaktan (min)}} = \frac{\left(\frac{8,8+138,7}{60}\right)}{\frac{(3,14 \times 2,25^2)}{100}}$$

$$- V_{\text{reaktan (min)}} = \frac{2,45}{0,159}$$

$$- V_{\text{reaktan (min)}} = 15,46 \text{ cm/s}$$

$$- V_{\text{reaktan (max)}} = \frac{\left(\frac{8,8+247}{60}\right)}{\frac{(3,14 \times 2,25^2)}{100}}$$

$$- V_{\text{reaktan (max)}} = \frac{4,26}{0,159}$$

$$- V_{\text{reaktan (max)}} = 26,82 \text{ cm/s}$$

**4. Penentuan nilai  $Q_a$  dan  $Q_f$  untuk pengambilan data distribusi temperatur**

- Diketahui :
  - $\Phi = 1,35$
  - $V_{\text{reaktan}} = 27 \text{ cm/s}$

- AFR stoikiometri = 15,48
- $\dot{m}_a$  = 0,001205
- $\dot{m}_f$  = 0,002126
- $\rho_a$  = 0,001205 gr/cm<sup>3</sup>
- $\rho_{LPG}$  = 0,002126 gr/cm<sup>3</sup>

• Dicari : Debit udara ( $Q_a$ )..?; Debit bahan bakar ( $Q_f$ )..?

• Penyelesaian

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

$$1,35 = \frac{15,48}{\text{AFR aktual}}$$

$$\text{AFR aktual} = \frac{15,48}{1,35}$$

$$\text{AFR aktual} = 11,47$$

$$\text{AFR aktual} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f}$$

$$11,47 = \frac{Q_a \times 0,001205}{Q_f \times 0,002126}$$

$$Q_a = 20,2 Q_f$$

$$V_{\text{reaktan (min)}} = \frac{\left( \frac{Q_f + Q_a(\text{min/max})}{60} \right)}{\frac{(3,14 \times r^2)}{100}} \text{cm}^2$$

$$27 = \frac{\left( \frac{Q_f + 20,2 Q_f}{60} \right)}{\frac{(3,14 \times 2,25^2)}{100}}$$

$$27 = \frac{0,353 Q_f}{0,159}$$

$$Q_f = \frac{0,159 \times 27}{0,354}$$

$$Q_f = 12 \text{ mL/min}; Q_a = 20,2 \times 12 = 242 \text{ mL/min}$$

### 5. Perhitungan *surface to volume ratio* (SVR)

*Surface to volume ratio* (SVR) adalah rasio perbandingan antara luas permukaan dengan volume dari ruang pembakaran *meso scale combustion*, adapun untuk mencari *surface to volume ratio* dapat menggunakan persamaan :

$$SVR = \frac{\text{luas permukaan ruang pembakaran}}{\text{volume ruang pembakaran}}$$

$$SVR = \frac{l \times k}{V}$$

$$SVR = \frac{l \times (2 \cdot \pi \cdot r_o)}{(\pi \cdot r_i^2 \cdot l)} = \frac{l \times (2 \cdot \pi \cdot r_o)}{(\pi \cdot r_i^2 \cdot l)}$$

$$SVR = \frac{2 \cdot r_o}{r_i^2}$$

Keterangan :

- $l$  : panjang ruang pembakaran (mm)
- $k$  : keliling ruang pembakaran
- $V$  : volume ruang pembakaran
- $r_o$  : jari-jari luar ruang pembakaran (mm)
- $r_i$  : jari-jari dalam ruang pembakaran (mm)

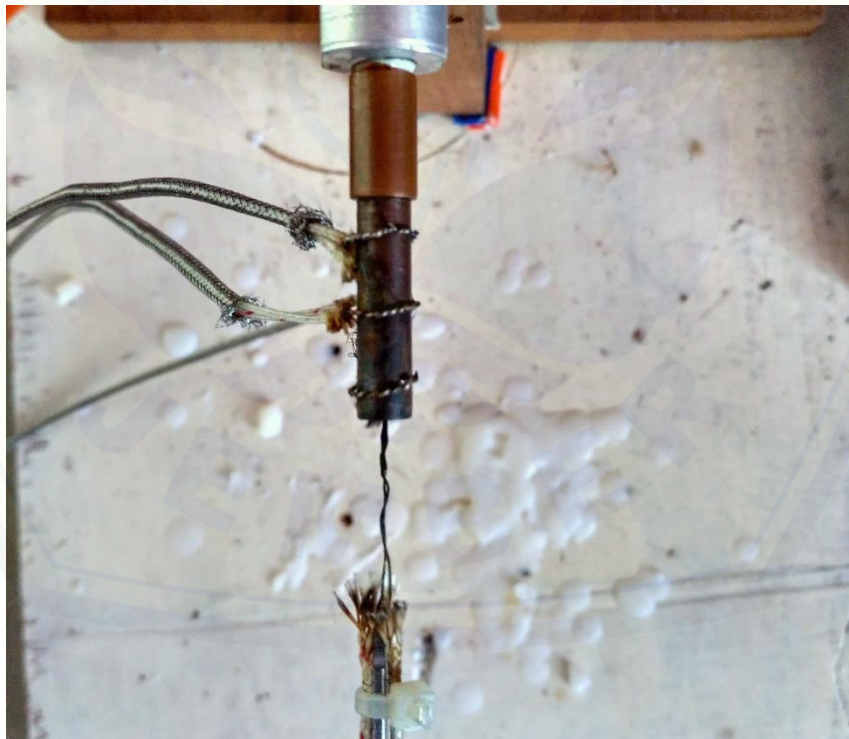
Maka nilai *surface to volume ratio* (SVR) pada ketiga *combustor* dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

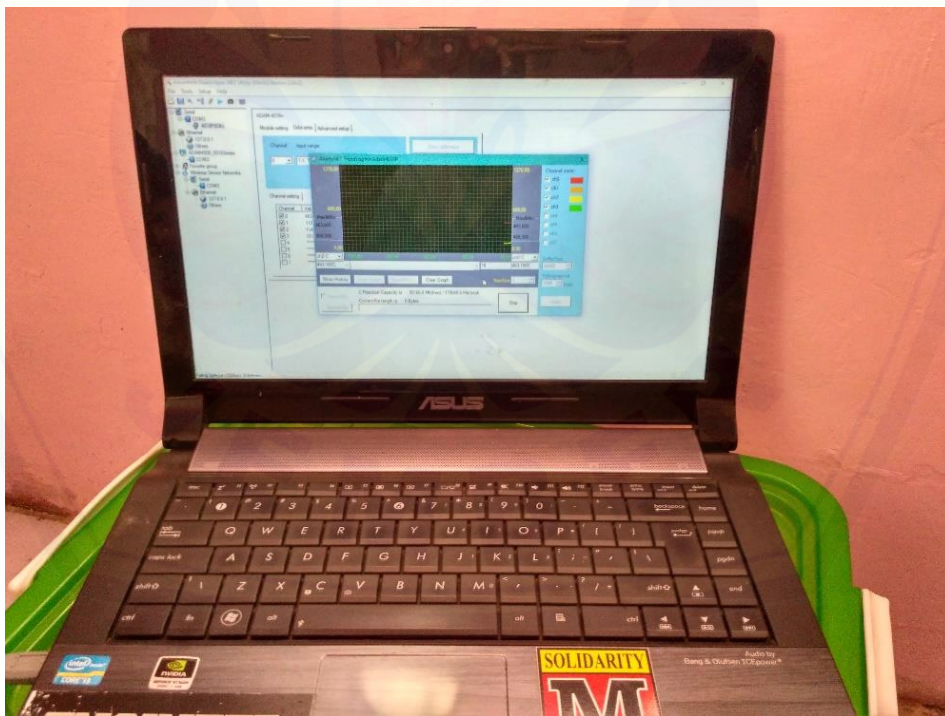
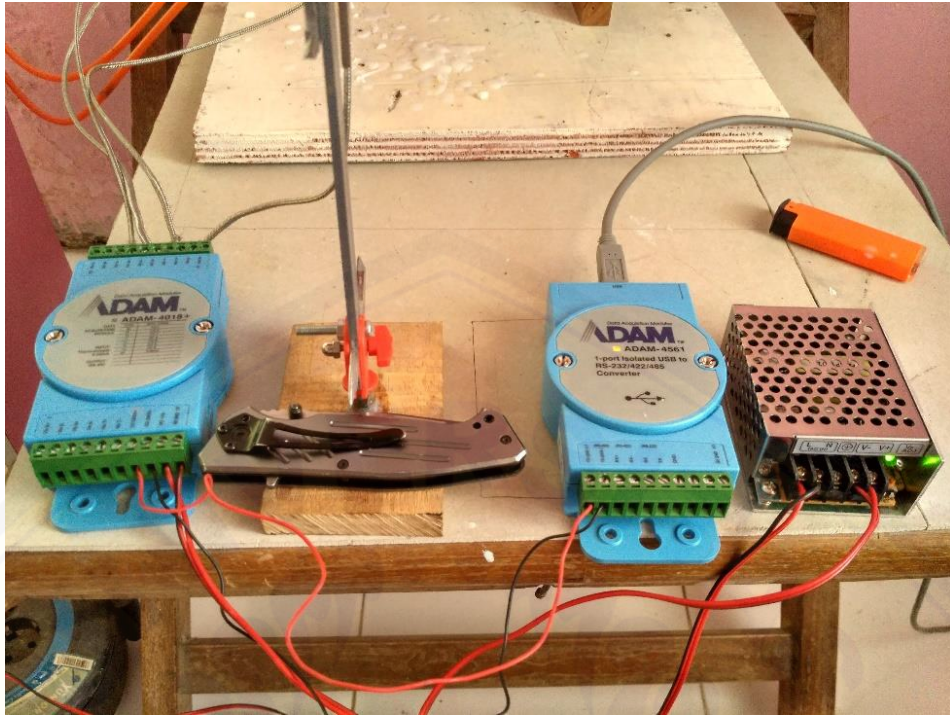
$$\text{a. } D_o = 5 \text{ mm} : \frac{2 \times 2,85}{2,5^2} = \frac{5,7}{6,25} = 0,91$$

$$\text{b. } D_o = 5,5 \text{ mm} : \frac{2 \times 3,1}{2,75^2} = \frac{6,2}{7,56} = 0,82$$

$$\text{c. } D_o = 6 \text{ mm} : \frac{2 \times 3,35}{3^2} = \frac{6,7}{9} = 0,74$$

**6. Dokumentasi Penelitian**







## 7. Data Pengukuran Temperatur

Combustor $D_o = 5 \text{ mm}$																			
detik	$T_w$ ( $^{\circ}\text{C}$ )			$T_i$ ( $^{\circ}\text{C}$ )															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
1	185,5	99,8	141,3	470,1	499,1	537,2	531,2	581,3	571	639,5	668,4	705,4	814,2	827,4	890,6	945	1024	1019	1011
2	185,2	99,7	141,1	470,1	499,8	538	531,8	582,6	569,8	640,9	667,9	706,6	814,7	827,5	890,8	945	1024	1020	1010
3	185,2	99,7	140,9	470,3	501	537,6	532,4	583,3	569,2	641,9	667,5	707,1	809,2	827,5	891,2	945,1	1022	1020	1009
4	185,1	99,7	140,6	470,7	501,5	537,8	533,1	583,7	569	642,7	667,3	707,5	797,8	825,9	891,4	944,7	1021	1020	1008
5	185,2	99,6	140,4	470,6	501,7	537,7	534	583,6	569,1	643,7	667,5	708	794	825,7	891,2	944,5	1021	1021	1008
6	185,1	99,6	140,3	471	502,7	537,8	534,8	583,3	568,9	644,2	668,1	708,3	791,9	824,7	891	944,2	1021	1021	1008
7	185,1	99,5	140,1	471,8	503,5	538,2	535,7	582,8	568,5	644,6	668,5	708,4	791,1	824,4	890,8	944,1	1021	1021	1008
8	185	99,5	140	472,1	505	538,7	536	581,9	568,1	645	669,2	708,6	790,5	824,6	890,8	944,2	1021	1021	1008
9	185,2	99,5	140,2	472,8	505,7	538,7	536,8	581,2	568,1	645,7	669,6	708,8	790,1	824,6	890,9	944,2	1022	1021	1009
10	185,2	99,5	140,4	473,6	505,7	538	537,1	581,1	568,2	646	669,9	709,1	789,9	824,4	891,1	944,2	1022	1021	1006
11	185,3	99,6	140,6	474,3	506	537,2	537,3	581,2	569	646,3	669,8	709,2	789,8	824,1	891,2	944,4	1022	1021	1006
12	185,4	99,7	140,7	475	506,3	536,8	537	581,2	569,9	646,8	669,8	709,3	789,9	824,2	891,5	944,4	1022	1021	1007
13	185,4	99,8	140,7	475,2	506,8	536,4	534,2	580,8	570,6	647	670,1	709,3	790,1	824,3	891,7	944,6	1022	1021	1007
14	185,4	99,8	140,7	475,2	507,2	536,8	532,1	580,6	571,2	647,8	670,4	709,3	790,5	824,1	891,7	944,8	1023	1021	1007
15	185,5	99,9	140,8	475,3	506,9	537,5	530,6	580,5	571,5	648,3	670,7	709,5	791	824,1	891,7	944,8	1023	1021	1007
16	185,5	100	141,1	475,2	506,6	538	530,5	580,6	572	648,8	671	709,6	791,6	824,2	891,9	944,9	1023	1021	1007
17	185,4	99,9	141,4	475,3	506,8	537,5	531	580,7	572,5	649	671,1	709,6	792,1	824,4	891,8	945	1023	1021	1007
18	185,4	100	141,5	475,5	506,8	537,2	532,2	581,5	572,7	648,6	671,3	709,7	792,5	824,4	891,8	945	1024	1021	1007
19	185,5	100,1	142	475,8	507	537,1	532,9	582,5	572,6	648,6	671,5	709,6	792,5	824,5	892,2	944,9	1024	1021	1007
20	185,7	100,1	142,2	476,3	507,3	537,2	533,1	583,1	572,3	648,7	671,5	709,6	791,8	824,6	892,3	944,8	1024	1020	1009
21	185,7	100,2	142,5	477,2	507,6	537,1	533,2	584,1	571,7	649,2	671,7	709,7	791,8	824,7	892,7	944,8	1024	1020	1007

detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
22	185,7	100,4	142,7	478	507,7	537,3	533,2	584,8	571,2	649,6	672	709,7	791,8	824,7	892,8	944,8	1024	1020	1008
23	185,6	100,3	142,7	478,6	507,2	537,6	533,4	585,3	571,2	650,1	672,2	710	791,7	824,8	892,8	944,8	1024	1020	1010
24	185,6	100,2	142,8	478,8	507,2	538	533,8	585,7	571,6	650,7	672,2	710,2	791,7	824,9	893,1	944,8	1024	1020	1010
25	185,6	100,2	143	478,7	507,4	538,6	534,7	586	572,2	651	672	710,3	791,6	824,9	893	945,1	1025	1020	1010
26	185,6	100,2	143,1	478,5	507,1	539,1	535,2	586,2	572,5	651,6	671,6	710,3	791,6	824,9	893,3	946,8	1025	1020	1010
27	185,5	100,1	143,1	478,3	506,3	539,6	536	586,2	572,6	652,1	671,1	710,4	791,6	825,3	893,4	947,9	1025	1020	1009
28	185,6	100,2	142,7	478,1	505,6	540,2	536,4	586	572,7	652,4	670,6	710,5	791,6	825,5	893,6	949,1	1025	1020	1010
29	185,5	100,2	142,4	477,4	505	540,6	536,9	585,7	572,5	653,1	670,4	710,7	791,9	825,7	893,5	950	1025	1020	1010
30	185,4	100,2	142,1	476,9	504,8	540,7	537,6	585,2	572,3	653,6	670,2	710,8	792	825,6	893,2	950,4	1025	1020	1012
31	185,5	100,1	141,8	476,5	504,9	540,7	537,8	584	572	654	670,1	710,9	792,2	825,7	893	950,9	1026	1019	1012
32	185,5	100,1	141,7	475,8	505,1	540,3	538,2	583,7	571,5	654,3	669,7	711,1	792,2	825,6	892,7	951,2	1026	1019	1011
33	185,5	99,9	141,4	475,4	505,6	540	538,1	583,5	571,6	654,7	668,5	711,5	792,2	825,8	892,6	951,4	1026	1019	1012
34	185,5	99,8	141,5	475,3	506,2	539,6	537,8	583,4	571,8	655	667,3	711,8	792,2	826	892,7	951,4	1026	1019	1012
35	185,5	99,9	141,5	475,1	506,3	539,2	537,7	583,3	572,2	655,2	666,4	712,1	792,2	826,2	892,7	951,4	1027	1019	1012
36	185,5	99,9	141,5	474,9	506	538,6	537,6	583,5	572,5	655,5	666,2	712,3	791,9	826,4	892,6	951,2	1027	1019	1011
37	185,5	99,8	141,3	474,7	505,8	538,5	537,5	583,7	573	656	666,1	712,4	792	826,4	892,8	951,1	1027	1019	1011
38	185,4	99,8	141,2	474,1	505,3	538,7	537,7	583,9	573,3	656,2	666,1	712,7	791,9	826,4	893,1	951,1	1027	1018	1011
39	185,4	99,7	140,9	473,7	504,8	538,6	537,8	584,5	573,3	656,7	666	712,8	791,9	826,5	893,8	951,3	1028	1018	1011
40	185,4	99,7	140,7	473,5	504,7	538,7	538	584,7	573	657	665,7	712,8	792,1	826,7	894,1	951,6	1028	1018	1010
41	185,5	99,7	140,5	473,4	504,5	538,6	538,2	584,7	572,8	657,5	665,4	713,1	792,1	826,7	894,4	951,7	1028	1018	1010
42	185,4	99,7	140,7	473,6	504,2	538,8	538,1	584	572,5	657,7	665,2	713,2	792,4	826,8	894,7	951,8	1028	1018	1010
43	185,4	99,7	140,7	473,7	504,1	539,3	538	583	572	658	664,9	713,6	792,7	826,9	894,8	951,8	1028	1018	1010
44	185,4	99,8	140,9	474,1	504	539,8	537,8	581,8	571,3	658,5	664,7	714,1	793,1	827,1	895	951,8	1028	1018	1010



detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
46	185,4	99,9	141,2	475,2	504,9	539,8	538	580,7	570,3	658,7	664,5	714,3	792,9	827,3	893,8	951,9	1029	1017	1010
47	185,4	100	141,2	476	505	539,6	538,3	580,5	570,4	658,6	664,6	713,3	792,8	827,4	892,5	952	1029	1017	1010
48	185,5	100,1	141,2	476,5	504,8	539,2	539	580,3	570,7	658,5	664,5	711,8	792,7	827,5	891,5	952	1029	1017	1010
49	185,5	100,1	141,1	476,9	505,1	539	539,4	580,3	571	658,5	664,5	711,5	792,5	827,6	891,4	951,9	1029	1017	1009
50	185,5	100	141	477	506,1	539	540	580,4	571	658,6	664,5	710,8	792,6	828,1	891,2	951,9	1030	1017	1009
51	185,6	100	141,1	476,7	506,5	539	540,7	580,2	571,1	658,7	664,6	710,8	792,8	828,5	891,2	951,8	1030	1017	1008
52	185,5	100	141,2	475,5	507,4	539,3	541	580,1	570,9	658,8	665	711	793,1	828,8	891,5	952	1030	1017	1008
53	185,4	100	141,5	475,1	507,8	539,7	541,1	579,8	570,8	659	665,2	711	793,5	825,5	891,7	951,9	1030	1016	1008
54	185,5	100,1	141,9	475,1	508,2	539,8	541,3	579,2	570,8	659,2	665,4	710,6	793,6	824,5	891,7	951,9	1031	1016	1007
55	185,5	100,1	142	475,7	508,6	540	541,5	578,8	571	659,5	665,5	710,3	793,4	824,4	891,7	952	1031	1016	1007
56	185,5	100,1	141,8	475,8	508,5	540	542	578,4	570,9	659,8	665,7	709,8	793,1	824,5	891,6	952,1	1031	1016	1007
57	185,5	100	141,8	475,7	508	539,8	542,3	578,4	570,7	660,2	665,7	709,6	793,4	824,7	891,7	952,3	1031	1016	1006
58	185,4	100,1	141,8	475,8	507,2	539,4	542,6	578,7	570,7	660,6	665,8	709,3	793,5	824,7	891,9	952,2	1032	1016	1006
59	185,4	100,1	142	475,9	506,6	539	543,1	579,5	570,7	660,7	665,9	709,2	793,5	824,6	892	952,5	1032	1016	1006
60	185,5	100	142,2	476	506,1	538,7	543,6	580,6	571,1	660,8	666,1	709,1	793,6	824,7	892	952,6	1033	1015	1006
61	185,5	100,2	142,1	476,3	505,2	538,3	544,1	581,2	571,2	660,8	666,3	709,1	793,5	824,8	891,8	952,7	1033	1015	1006
62	185,5	100,2	141,9	476,9	504,1	537,5	544,9	581,8	571,3	661	666,5	708,9	793,4	824,8	891,9	953	1033	1015	1006
63	185,4	100,3	141,7	477,9	503,4	536,8	546	582,5	571,7	661	666,6	709	793,3	824,8	892	953,1	1033	1015	1006
64	185,6	100,3	141,8	478,3	502,8	536,6	546,6	582,8	571,8	661,2	666,6	709,1	793,2	824,9	892	953,3	1034	1015	1006
65	185,6	100,4	142,2	479,1	501,5	536,6	546,7	583,2	572,5	661,5	666,5	709,2	793,4	824,8	892,2	953,5	1034	1015	1006
66	185,7	100,2	142,6	479	500,8	536,4	546,5	583,5	572,8	661,8	666,3	709,5	793,2	824,9	892,2	953,5	1035	1014	1006
67	185,6	100,2	142,7	478,6	500	536,1	546,2	583,8	573,2	662,3	666	709,6	793,4	825,3	892,2	953,8	1035	1014	1006
68	185,7	100,2	142,9	478,2	499,4	536,1	545,9	584,4	574	662,7	665,9	709,5	793,4	825,8	892,2	954,3	1035	1014	1006

detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
70	185,7	100,2	142,9	477,8	498,9	536,1	545,8	584,8	574,2	664,2	665,7	709,5	793,6	826,5	892,4	954,7	1036	1014	1006
71	185,7	100,2	143	477,4	499	536,3	546,1	584,7	573,8	664,8	665,7	709,6	793,8	826,9	892,5	954,7	1036	1013	1006
72	186,2	100,4	143	477,1	499,1	536,7	546,6	584,5	573,1	665	665,6	709,7	793,7	827	892,8	953,5	1037	1013	1006
73	186,3	100,3	143,2	477,6	499,4	537,2	546,8	584,4	572,9	665,4	665,5	710,1	793,6	827,2	893	953,5	1037	1013	1006
74	186,6	100,4	143,2	478,2	499,5	537,2	547	584,5	572,8	665,7	665,5	710,4	793,5	827,3	893,1	953,5	1037	1013	1006
75	186,6	100,5	143	478,5	499,8	537,6	547,4	585	572,7	666	665,5	710,5	793,6	827,4	893,4	953,6	1038	1013	1006
76	186,6	100,6	143,1	479	499,9	537,6	548,1	585,2	572,7	666,7	665,4	710,7	793,7	827,5	893,7	953,5	1038	1012	1006
77	187,1	100,7	142,8	479,3	500	537,4	548,7	586,1	572,7	667	665,4	711,3	793,8	827,6	894	953,6	1038	1012	1006
78	187,7	101	142,9	479,5	500,3	537,3	548,7	586,6	572,8	668	665,3	711,5	793,8	827,7	894,2	953,5	1038	1012	1006
79	187,9	101	142,8	480,1	500,7	537,3	548,5	587,1	573	668,4	665,5	712	794,1	827,4	894,3	953,5	1039	1012	1006
80	188	101,1	142,8	481,1	501	537,4	548,5	587,8	573,2	668,5	665,6	712,4	794,2	827,4	894,3	953,7	1039	1012	1006
81	188,1	101,4	143,1	482,4	501,2	537,5	549,1	588,6	573,8	668,8	665,8	712,5	794,2	827,3	894,3	953,9	1040	1011	1006
82	188,2	101,5	143,3	483,5	501,3	537,6	549,7	589	574,5	669,1	666	712,3	794,4	827,2	894,3	953,8	1040	1011	1006
83	188,4	101,6	143,5	483,3	501,5	537,7	550	589,3	575,3	669,2	666,3	711,9	794,6	827,2	894,3	954	1041	1011	1006
84	188,3	101,6	143,8	482,1	501,7	537,8	550,2	589,6	575,7	669,4	666,7	711,8	794,5	827,2	894,1	954	1041	1011	1006
85	187,8	101,6	143,9	480,7	502	537,9	551,5	589,8	575,6	669,1	667,2	711,5	794,6	827,3	894,2	954,1	1042	1011	1006
86	187,6	101,6	143,4	480,3	502,2	538,1	552,3	590	574,7	669,1	667,5	711,3	794,5	827,5	894,4	954,1	1042	1011	1006
87	187,9	101,6	143,1	480,5	502,6	538,5	552,9	590	574,1	668,2	667,6	711,1	794,4	827,7	894,6	954,1	1042	1011	1006
88	187,9	101,6	143,2	482,1	503	539,2	553,5	590	573,1	666,5	667,6	710,8	794,4	827	894,8	954,2	1042	1010	1005
89	188,1	101,7	143,7	483,5	503,1	539,5	553,3	589,8	573,1	665	667,6	710,5	794,4	824,9	894,9	954,2	1043	1010	1005
90	188,1	101,8	144,1	484,5	502,7	539,8	553,2	589,8	573,2	664,2	667,7	710,6	794,3	823,6	895,3	954,4	1044	1010	1005
91	188	101,9	144,2	485,3	502,6	540	553	589,7	573,5	664	667,7	710,8	794,4	823,4	895,6	954,2	1044	1010	1005
93	188,5	101,9	144,2	485,7	502,8	539,6	552,5	590,3	574	663,2	667,7	711,2	794,8	823,4	890,8	954,3	1045	1009	1004

detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
94	188,3	102	144,2	484,2	503,2	539,5	552,6	590,2	574,3	663,5	667,8	711,3	795,8	823,3	890,3	954,4	1046	1009	1004
95	188,4	102	144,3	483,1	503,6	539,4	552,8	590,2	574,6	663,8	667,8	711,5	796,2	823,4	890,2	954,4	1046	1009	1004
96	188,4	101,8	144,5	481,8	503,9	539,5	553,2	590,3	574,8	663,8	667,7	711,7	796,5	823,5	890,3	954,5	1047	1009	1004
97	188,2	101,8	144,3	481,3	504	539,5	553,3	590,4	574,7	663,8	667,5	712,1	796,5	823,4	890,4	954,6	1048	1008	1004
98	188	101,8	144,1	481,4	504,2	539,2	553,3	590,3	574,3	664,2	667,3	712,4	796,7	823,4	890,5	954,6	1048	1008	1004
99	187,5	101,8	143,7	481,8	504,3	538,7	553,6	590,2	574,2	664,5	667,4	712,7	796,7	823,5	890,6	954,7	1049	1008	1004
100	187,6	101,8	143,5	482	504,3	538,1	554	590,1	574,2	664,4	667,8	713,1	796,6	823,5	890,7	954,7	1050	1008	1004
101	187,7	101,7	143,7	481,7	504,6	537,8	554,2	589,2	574,5	664,5	668,1	713,1	796,8	823,8	890,8	954,6	1051	1008	1004
102	188,1	101,6	143,7	481,3	504,7	537	554,6	588,2	574,6	664,4	668,4	713,3	796,9	824	890,8	954,4	1052	1008	1003
103	188,4	101,7	143,7	481,5	504,5	536,6	554,8	587,2	574,8	664,3	668,4	713,6	797	824,2	890,9	954,4	1053	1007	1003
104	188,2	101,8	143,8	482,2	504,2	536,3	555,1	586,8	575,2	664	668,1	713,6	796,9	824,2	891	954,4	1054	1007	1003
105	188,1	101,7	143,6	482,8	503,8	536,5	555,6	586,5	575,4	664	668	713,6	797	824,4	891	954,2	1055	1007	1003
106	188,7	101,8	143,6	483,6	503,8	536,7	556	586,4	575,7	664,1	667,2	713,8	797,1	824,6	891,2	954,2	1057	1006	1003
107	189	102	143,9	484,2	503,9	537,1	556,2	586,5	575,4	664,3	666,9	713,2	797,1	824,7	891,2	954,1	1058	1006	1003
108	189,2	102,1	144	484	504,2	537,4	556,5	586,7	575,3	664,6	667	713,3	797,1	824,8	891,6	954,2	1060	1006	1003
109	189,1	102	143,7	483,5	504,7	538	557	586,7	575,3	664,7	667,3	713,5	797,1	825	891,7	954,4	1044	1006	1003
110	188,8	102	143,5	483,3	504,8	538,5	557,5	587	575,5	664,8	667,6	713,7	797,1	825,2	891,8	954,5	1027	1006	1003
111	188,4	102,1	143,4	483,4	505,4	539,2	558,3	587,3	575,4	665,3	668,3	713,9	797,1	825,6	891,9	954,5	1023	1005	1003
112	188	102	143,2	483,4	505,7	539,8	558,8	587,6	575,3	665,7	668,5	713,8	797,3	825,8	892	954,1	1020	1005	1003
113	188,7	102,1	143,4	483,6	505,7	540,3	558,9	587,8	575,4	666,1	668,4	713,8	797,3	825,7	892,1	953,3	1019	1005	1003
114	188,7	102,2	143,5	483,8	505,7	541,2	559,3	588,1	575,7	666,4	668,4	713,6	797,5	825,7	892,3	953,1	1019	1004	1003
115	188,5	102,1	143,7	484,1	506,1	541,9	559,3	588,2	575,8	666,6	668,2	713,3	797,5	825,7	892,4	953,3	1019	1004	1003
117	188,1	102,4	143,9	484,6	506,6	542,6	560	588,3	576,3	667,4	668,7	713,3	797,2	825,9	892,7	953,3	1019	1003	1004

# Digital Repository Universitas Jember

detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
118	188,1	102,4	144	485	506,2	542,7	561	588,2	577,3	667,6	669	713,2	797,2	826	892,8	953,3	1019	1003	1004
119	188,1	102,4	144,1	485,5	505,9	542,8	561,8	588	578,6	667,9	669,6	713,1	797,2	826,4	893	953,8	1019	1003	1003
120	187,6	102,4	143,9	486	505,7	542,8	562,6	587,8	579,2	667,9	670,2	713,3	797,2	826,5	893,3	954	1019	1003	1001
121	187,6	102,3	143,9	486,1	505,4	542,9	563,1	587,6	579,7	668,1	670,5	713,3	797,1	826,8	893,6	954,1	1019	1002	1001
122	187,6	102,2	144,3	485,9	504,7	543,1	563,1	587,5	580,2	668,1	670,5	713,3	797	826,8	893,6	954,2	1019	1002	1001
123	188,1	102,2	144,8	486	503,7	543,1	562,8	587,6	580,3	667,9	670,2	713,4	796,9	826,7	893,6	954,2	1019	1002	1001
124	188,4	102,2	145	485,6	502,6	543	562,5	588	581,4	667,9	670,2	713,5	796,8	826,5	893,7	954,3	1020	1002	1002
125	188,2	102,2	144,9	484,7	502,2	543,1	562,3	587,8	582,3	667,9	670,1	713,7	796,6	826,4	893,6	954,2	1020	1001	1002
126	188,5	102,2	144,7	484,4	502,2	543,1	562,6	587,6	582,8	668,1	670	713,9	796,4	826,5	893,6	954,4	1020	1001	1002
127	188,7	102,3	144,7	484,3	502,5	543,3	563,7	587,2	583,8	668,3	669,7	714	796,2	826,5	893,5	954,4	1020	1001	1002
128	189	102,2	144,7	484,2	503,3	543,5	564,5	587	584,8	668,5	669,6	714,1	796	826,4	893,5	954,4	1020	1001	1002
129	189,4	102,4	144,8	484,5	503,2	543,3	565,2	586,8	585,3	669	669,4	714,4	795,9	826,5	893,6	954,4	1020	1000	1002
130	189,3	102,5	145,1	484,3	501,7	542,8	565,7	586,6	585,7	669,4	669,4	714,5	795,8	826,7	893,8	954,4	1021	1000	1002
131	189,1	102,5	145,2	484,1	500,7	542,1	565,8	586,4	586	669,8	669,3	714,7	795,7	826,7	894,1	954,5	1021	1000	1002
132	188,8	102,5	145,2	483,5	500,2	542	566,5	586,1	586,1	670	669,2	715,1	795,7	826,7	894,3	954,5	1021	999,8	1002
133	188,8	102,5	145,1	483	500,3	541,6	567,2	585,7	585,8	670,2	669,1	715	795,6	826,7	894,4	954,4	1021	999,5	1002
134	189	102,4	145,4	480,5	500,1	540,8	563,8	585	585,5	670,6	669,1	715,1	795,6	826,9	894,5	954,3	1021	999,4	1002
135	188,8	102,3	145,5	478,9	497,2	539,7	558,2	584,5	585,3	670,8	669	714,8	795,7	827,4	894,6	954,2	1022	999,1	1001
136	188,5	102,4	145,5	478	494,2	539,1	556,1	583,7	585,2	671,1	669,2	714,8	795,8	827,7	894,4	954,2	1022	999	1001
137	188,2	102,3	145,4	476,5	489,4	537,7	549,7	583,6	585,4	671,3	669,4	714,8	796	827,8	894,4	954,1	1022	998,7	1001
138	188,2	102,1	145,4	476,1	488,6	537,5	545,1	583,6	585,8	671,5	669,4	714,6	796,1	827,7	894,3	953,3	1022	998,3	1001
139	188	102	145,6	476,7	489,4	537,6	543,8	584,2	586	671,9	669,3	714,5	796,2	827,8	894,4	953	1022	998,1	1001
140	187,8	102	145,6	477,2	490,9	538	543,3	584,7	585,6	672,3	669,3	713,8	796,2	827,7	894,4	953,2	1022	997,8	1001

detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
141	188	102	145,3	477,5	493,1	538,3	543,8	584,8	584,6	672,7	669,3	713,6	796,1	827,9	894,4	953,1	1022	997,7	1001
142	187,7	101,9	145	478	494,9	538,3	544,7	584,9	583,4	673,1	669,3	712,7	796,1	828,2	894,4	953,1	1022	997,4	1001
143	187,8	102	144,6	479,3	497	538	545,3	585	582,5	673,5	669,1	711,1	796	828,4	894,4	953	1023	997,1	1001
144	188,2	102	144,4	479,7	498	538	545,4	584,9	581,4	673,7	668,8	710,7	796	828,7	894,7	953	1023	996,8	1001
145	187,4	101,9	144,3	479,1	498,3	538,2	544,5	584,5	580,6	674,2	668,6	710,7	795,9	828,7	895	952,9	1023	996,7	1001
146	187,3	101,9	144,3	478,5	498,8	538,7	543,6	583,7	580,2	674,6	668,3	711	795,9	828,7	893,5	953	1023	996,3	1001
147	187	101,7	144,5	477,7	499,4	538,6	540,2	583,3	579,7	675,1	668,2	711,3	795,9	828,8	891,7	953	1023	996,1	1001
148	186,8	101,5	144,3	477,5	499,7	538,3	539,3	583,1	579,3	675,7	668,1	711,6	795,6	828,8	891,7	952,9	1024	996	1001
149	186,4	101,5	144	477,8	500,6	538	539,7	582,8	579	675,9	668	711,8	793	828,8	892	953,1	1024	995,7	1001
150	186,4	101,4	143,8	478	501,6	537,8	541,1	582,8	579,2	676	668	712	790,8	828,8	892,5	953,3	1024	995,5	1001
151	186,2	101,2	143,5	477,7	502,8	537,8	541,8	582,8	579,5	675,8	668	712,2	789,5	828,9	893	953,3	1024	995,3	1002
152	186,1	101,1	143,2	477,7	504,1	537,8	543,1	583,2	579,7	675,7	668,1	712,4	788,8	829,1	893,5	953,3	1024	995	1003
153	186	101,1	143,5	477,3	503,8	537,8	544	583,6	579,7	675,5	668,1	712,7	788,4	829,3	893,5	953,3	1024	994,7	1005
154	185,8	101	143,4	476,6	504,1	538,2	544,1	583,9	579,8	675,7	668,1	713	788,2	829,5	893,6	953,4	1024	994,5	1006
155	185,7	100,6	143,1	475,7	504,7	538,7	544,2	584,1	580,2	675,4	668,3	713,2	788,2	829,5	893,8	953,5	1025	994,1	1006
156	185,7	100,5	142,8	475,4	504,5	538,4	544,9	584,1	581	675,4	668,6	713,4	788,3	829,6	893,9	953,6	1025	993,8	1005
157	185,5	100,3	142,7	475,2	504	538	545,4	584,1	581,7	675,2	668,8	713,5	788,3	829,8	894	953,8	1025	993,5	1005
158	185,4	100,2	142,4	475,3	503,9	538,3	546,3	584,3	582,3	675,3	668,8	713,5	788,4	830	894	953,8	1025	993,3	1005
159	185,4	100,3	142,3	475,2	503,8	539	546,7	584,4	582,8	675,4	669	713,4	788,4	830,1	893,9	953,6	1025	992,8	1005
160	185,5	100,2	142,3	475,2	503,3	539,6	547,1	584,4	583,6	675,7	669,2	713,3	788,5	830,3	893,8	953,8	1026	992,5	1005
161	185,5	100,1	142,1	475,1	502,5	540	547,7	584,1	584	676	669,6	713,1	788,6	830,4	893,7	953,9	1026	992,2	1005
162	185,5	100	141,8	475,4	503	540,3	547,5	583,2	584,2	676,2	669,7	713	788,6	830,5	893,8	954,2	1026	991,8	1005
163	185,5	100,1	141,7	475,9	503,6	540	547,7	581,7	584	676,3	670	713	788,5	830,8	894	954,2	1026	991,6	1005

detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
164	185,5	100,2	141,8	476,7	503,6	539,8	547,8	580,5	583,5	676,3	670,1	713,2	788,6	830,8	894,1	954,2	1026	991,2	1005
165	185,5	100,1	141,9	476,8	503,5	539,8	547,8	579,6	582,7	676,5	670,3	713,4	788,5	830,9	894,4	954,2	1026	990,8	1005
166	185,5	100	141,8	476,5	503,4	540	547,8	578,9	582	676,7	670,5	713,7	788,5	830,9	894,6	954,1	1027	990,5	1005
167	185,6	100	141,7	476,2	503,5	539,8	548,1	578,5	581,2	676,8	670,6	713,9	788,5	831	894,9	953,5	1027	990,2	1005
168	185,6	99,9	141,5	476	503,5	539,8	548,7	578,1	580,7	677,1	670,8	714	788,5	825,8	895	952,6	1027	990	1004
169	185,8	100	141,5	476	503,6	539,6	549,2	578,2	580,5	677,3	670,7	714,3	788,6	823,7	894,7	952,6	1027	989,7	1004
170	185,7	100	141,5	475,7	504,2	539,8	549,8	578,9	580,1	677,8	670,4	714,5	788,6	823	895	952,8	1027	989,4	1004
171	185,7	99,8	141,4	475,6	505,1	540,2	550,5	579,2	580,1	678,2	670,1	714,5	788,9	822,8	895,1	952,8	1027	989,1	1004
172	185,7	100	141,5	475,8	505,5	540,6	550,7	580,2	580,1	678,4	669,3	714,4	789	822,8	895,2	953	1027	988,8	1004
173	185,7	100,1	141,8	476,2	505,6	540,5	551,3	580,9	580,2	678,7	668,8	714,5	789,1	822,8	894,8	953,2	1027	988,7	1004
174	185,7	100	141,8	476,3	505,4	540,3	551,5	581,5	580,7	678,8	668,6	714,5	789,2	822,8	894,7	953,5	1028	988,5	1004
175	185,8	100	142	476,3	505,2	540,3	550,3	582,3	581,2	679,1	668,2	714,3	789,2	823,1	894,7	953,8	1028	988,3	1003
176	185,8	100	142	475,8	504,3	540,7	548,2	583,2	580,2	679,3	668	714,1	789,2	823,2	894,7	953,9	1022	987,8	1004
177	185,8	100,1	142	475,9	503,9	541,3	546,7	583,8	579,7	679,6	667,7	714,2	789,3	823,3	895	953,8	1019	987,7	1004
178	185,7	100,1	142,1	476,1	504,1	541,5	546,5	584,5	579,7	679,8	667,5	714,3	789,4	823,5	895,4	954	1019	987,3	1003
179	185,8	100,2	142,2	476	505,5	542,2	546,4	584,9	579,7	680	667,3	714,7	789,5	823,8	895,4	953,9	1019	986,8	1003
180	185,7	100,1	142,2	475,6	506	542,8	546,2	585,1	580	680,3	667,4	714,8	789,7	824,4	895,6	954,1	1019	986,2	1003
Rata rata	186,6	100,8	142,8	478,4	503,3	539	546,6	584,5	575,9	664	668,1	711,9	793,6	826,2	893	952,1	1029	1008	1005
	146,2			736,2															

Combustor $D_o = 5,5$ mm																			
detik	$T_w$ (°C)			$T_i$ (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
1	141,2	79,4	118	438,5	476,6	516	544	568,1	614	644,5	694,7	746,4	788,8	849,8	906,2	935,4	1022	1028	1022
2	141,8	79,7	118,5	438	475,7	516,2	543,3	568,5	614,1	645	694,7	746,4	789,9	850,1	906,8	936,7	1022	1028	1023
3	142,4	79,9	118,9	437,7	475,1	515,4	543,1	568,8	614,1	645,2	694,6	746,5	790,7	850,7	907,6	937,7	1023	1029	1023
4	142,9	80,2	119,5	437,5	474,9	513,4	543,3	569	614,2	645,6	694,8	745,3	790	851	908,3	938,1	1023	1029	1023
5	143,5	80,4	120	437,5	474,8	513,2	543,5	569	614,2	645,8	695,1	743,3	789,1	851,6	908,7	938,6	1024	1029	1023
6	144	80,5	120,7	438,2	474,9	513,8	543,6	569,1	614,3	646	695,2	741,8	788,7	852,1	909,1	939	1024	1029	1023
7	144,5	80,7	121,2	438,6	474,8	514,1	544,1	569,3	614,3	646,2	695,7	741,2	788,4	852,4	909,5	939,3	1024	1030	1023
8	144,9	81	121,3	439,1	474,7	514,1	544,2	569,5	614,3	646,2	695,9	739,1	788,2	853	909,9	938,1	1024	1030	1023
9	145,3	81,1	121,8	439,5	474,6	513,9	543,8	569,7	614,3	646,2	696,3	732,7	788	853,5	910,1	936,7	1025	1030	1023
10	145,7	81,4	122,3	439,9	476,7	513,6	542,6	569,7	614,6	645,3	696,5	721,6	787,9	853,7	910,4	936,3	1025	1033	1023
11	146,6	81,7	123,3	440,8	478,5	513,6	541,6	570	615,3	645	696,7	714,9	787,8	854	910,4	936,3	1025	1036	1023
12	146,8	81,9	123,8	441,2	479	514	541,9	570,2	616	644,3	696,8	707,1	787,9	854	910,5	936,3	1025	1039	1023
13	147,4	82,1	124,1	441,3	479,8	514	543,3	570,4	616,3	643,8	696,8	703,4	787,8	853,8	910,7	936,5	1025	1040	1023
14	147,7	82,2	124,3	441,6	480,9	513,7	545,3	570,8	616,5	643,5	697	699,1	788	853,8	911	936,6	1026	1040	1023
15	148,1	82,4	124,5	442	482,7	512,8	546,2	571,2	617	643,3	697,1	697,6	788,1	853,7	911,3	937	1025	1040	1023
16	148,5	82,7	124,7	442,2	484,2	513	545,2	571,8	617,6	643,1	697,1	697	788,2	853,7	911,6	937	1026	1041	1023
17	148,9	83	125,1	442,7	485,1	513,4	544,5	572,3	618,1	643,1	697,1	695,3	788	853,7	912,1	937	1025	1041	1023
18	149,2	83	125,4	443,1	486	513,5	544,4	573	618,2	643,1	696,9	695,2	787,8	853,7	912,4	937,1	1025	1041	1023
19	149,5	83,1	126	444	486,6	513,3	545,7	573,7	618,2	643,2	696,5	696,3	787,8	853,7	912,7	937,1	1025	1041	1023
20	149,8	83,2	126,4	444,8	486,6	512,9	546,8	574,1	618,4	643,4	696,2	697	788,2	853,7	912,8	937,1	1026	1042	1023
21	150,2	83,4	126,8	445,4	486,2	512,5	546,9	574,4	618,2	643,4	695,9	697,5	788,5	853,8	912,7	937,3	1026	1042	1022
22	150,5	83,5	127	446	485,8	512,1	547	574,6	618	643,5	696	699,6	788,6	853,7	912,7	937,4	1026	1042	1023

detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
23	151	83,8	127,1	446,6	485,8	511,8	547,8	574,7	617,6	643,5	696,2	701,7	788,7	853,6	912,7	937,6	1026	1043	1023
24	151,2	84	127,2	446,7	486,3	510,9	548,9	574,7	617,1	643,6	696,5	702,2	788,8	853,5	912,6	937,5	1026	1043	1023
25	151,4	84,1	127,2	446,8	486,6	510,4	550	574,7	616,8	643,8	696,8	703,1	789	853,5	912,5	937,2	1026	1043	1023
26	151,5	84,2	127,4	447,5	487,3	510	551	574,7	616,3	643,8	697	704,7	789	853,5	912,4	936,7	1026	1043	1023
27	151,9	84,4	127,7	449	488,9	509,7	551,8	574,8	616	644	697,4	706,4	789	853,3	912,4	936,4	1026	1044	1022
28	152,1	84,5	127,8	448,7	490,3	509,7	552,8	574,8	615,7	644	697,7	708,2	789,1	853,4	912,6	936,4	1026	1044	1022
29	152,5	84,5	128,2	448,5	491	510	553,6	574,9	615,5	644	697,8	711	789	853,4	912,8	936,4	1026	1044	1022
30	152,6	84,7	129,1	447,6	491,6	510,1	554	574,7	615,1	644	698,2	713,5	789	853,5	913	936,3	1026	1044	1022
31	152,6	84,7	129,4	446,2	492,3	510,2	554,2	574,5	614,7	644	698,4	718,9	789	853,5	913,1	936,1	1026	1044	1022
32	152,8	84,7	129,7	445,1	492,5	510,4	554,4	574,2	614,5	644,1	698,7	724,3	789,1	853,7	913,3	936,1	1026	1045	1022
33	153	84,8	130,1	444,6	492,1	510,7	554,4	574	614,2	644	698,9	727,8	789,2	853,6	913,4	936,3	1026	1045	1023
34	153,2	84,8	130,3	444,6	491,2	510,9	554,1	573,8	614,1	644,1	699	730,6	789,2	853,6	913,6	936,4	1026	1045	1028
35	153,4	85	130,5	444,4	489,5	510,9	553,3	574	614	644	699,1	734,4	789,4	853,6	913,8	936,3	1026	1045	1031
36	153,7	85	130,6	444,2	488,3	511	552,8	574,2	614,2	644	699,1	735,8	789,5	853,7	913,8	936,3	1027	1045	1032
37	153,7	85,1	130,8	443,7	488,1	511,6	552,7	574,2	614,3	643,9	699,1	737,1	789,6	853,8	914	936,5	1027	1045	1032
38	153,8	85,1	130,8	443,5	488,4	512,1	553	574,4	614,6	644	699,1	738,2	789,9	854	914,1	936,6	1027	1045	1032
39	154	85,2	131,1	443,1	488,3	512,6	553,5	574,5	614,8	644	699,1	738,6	790	854,5	914,2	937	1027	1046	1032
40	154,2	85,2	131,2	442,5	488,4	513,1	554	574,5	614,9	644,2	699,2	739,4	790,2	855	914,4	937	1027	1046	1032
41	154,3	85,2	131,1	442	488,6	513,9	554,1	574,3	615	644,3	699,2	740	790,5	855,3	914,7	937	1027	1046	1032
42	154,5	85,2	131,2	441,8	489,3	515	554,2	574,5	614,9	644,5	699,3	740,7	790,7	855,9	914,8	936,8	1027	1046	1032
43	154,7	85,3	131,3	441,9	489,7	515,7	554,3	574,4	614,8	644,6	699,3	741,5	791,2	856,4	914,9	937	1027	1046	1032
44	154,8	85,5	131,4	442,3	491,1	516,4	554,2	574,3	614,8	644,7	699,3	741,8	791,2	856,6	915	937	1027	1046	1032
45	154,9	85,5	131,5	442,7	491,5	517,2	553,2	574,5	614,8	644,8	699,3	742,5	791,2	856,7	915,1	937,2	1027	1046	1032



detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
46	155,1	85,5	131,5	443	491,2	517,6	552,1	574,5	614,9	644,8	699,2	743,2	791,5	855,4	915,2	937,4	1027	1046	1032
47	155,2	85,5	131,5	443,1	490,6	519	549,9	574,7	615	644,7	699,3	743,6	791,5	854,5	915,2	937,8	1027	1046	1032
48	155,3	85,7	131,6	443,3	489,7	519,9	548,5	574,7	615,1	644,7	699,4	744	791,5	853,8	915,2	937,8	1027	1046	1032
49	155,5	85,7	131,7	443,4	489,3	520,2	547,8	574,6	615,2	644,6	699,5	744,4	791,3	853,5	915,2	938	1027	1047	1032
50	155,7	85,8	132	443,5	489,1	520,5	548,2	574,3	615,4	644,6	699,6	744,5	791,2	852,8	915,3	938,1	1027	1047	1032
51	156	85,8	132,2	444,6	489,4	520,4	548,3	574,1	615,8	644,7	699,7	744,6	791,1	849,8	915,2	938,3	1027	1047	1032
52	156,3	85,9	132,3	446,1	489,8	520,2	547,7	574,1	616,4	644,6	699,8	744,7	791	847,3	915,2	938,5	1027	1047	1032
53	156,5	86,1	132,5	446,9	489,5	520	546,7	573,8	616,9	644,7	700,1	744,8	791	845,1	915,2	938,6	1027	1047	1032
54	156,5	86,1	132,6	447,3	488,6	519,6	546,3	573,7	617,3	644,7	700,2	745,1	791,1	844,6	915,1	938,7	1027	1047	1032
55	156,5	86,1	132,5	447,5	487,8	519,4	545,8	573,6	617,6	644,7	700,5	745,3	791,2	845	915,2	938,7	1027	1047	1032
56	156,5	86,3	132,6	447	487,1	519,2	545,5	573,6	618	644,7	700,7	745,5	791,6	845,4	915	938,8	1027	1047	1031
57	156,7	86,5	132,6	446	486,8	519	544,5	573,6	618,5	644,6	700,7	745,6	791,8	845,9	915,1	938,7	1027	1047	1031
58	156,8	86,5	132,8	444,7	487,3	519	543,8	573,8	619,1	644,7	700,8	746	791,8	846,5	915,1	938,6	1028	1047	1031
59	157	86,6	132,8	444,1	488,5	519	544,1	574,1	619,7	644,7	700,7	746,1	791,8	847,8	915,3	938,6	1028	1047	1031
60	156,9	86,5	133	442,7	489,9	519,1	545,8	574,7	620	644,8	700,9	746,1	791,9	848,7	915,3	938,5	1028	1047	1031
61	157	86,5	133,1	442,5	490,4	519	548,3	575,3	620,5	644,8	701	746,4	792,1	849,7	915,2	938,2	1028	1047	1031
62	157,1	86,7	133,1	442,7	490,7	518,7	549,7	575,9	620,7	644,9	701	746,5	792,1	850,5	915,2	937,8	1028	1047	1031
63	157,2	86,8	133,1	442,7	491	518,1	551	576,3	620,7	645,2	701	746,7	792,2	851	915,2	937,5	1028	1047	1031
64	157,2	86,7	133,1	442,6	491,1	517,6	552,2	576,7	620,7	645,5	701	746,8	792,5	851,5	915,4	937,3	1028	1047	1031
65	157,3	86,7	133,1	443,2	490,5	517,2	552,8	577,3	620,7	645,6	701	747	792,5	851,8	915,4	937,5	1028	1048	1031
66	157,5	87	133,1	444,5	489,8	516,9	553,8	577,7	620,8	645,7	701,1	747,2	792,4	852,1	915,5	937,8	1028	1048	1030
67	157,6	87	133,1	445,5	489,2	516,5	554,5	578	621	645,9	701,1	747,4	792,2	852,4	915,5	938	1028	1048	1030
68	157,6	86,9	133,2	446,5	488	516	555	578,3	621	646,1	701,1	747,5	792,1	852,4	915,6	938	1028	1048	1030

detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
69	157,7	87	133,5	448,4	483,5	515	555,5	578,5	621,2	646	701,2	747,8	792,1	852,4	915,7	938	1028	1048	1030
70	157,8	87	133,8	449,5	483,5	514	556	579,2	621,3	646	701,4	747,9	792,1	852,5	915,7	938,5	1028	1048	1030
71	157,7	86,9	134,1	449,7	485	513,1	556	579,8	621,1	645,9	701,7	748,3	792,1	852,4	915,8	938,8	1028	1048	1030
72	157,9	86,9	134,2	449,6	484,5	512,3	555,7	580,1	620,7	645,7	702	748,3	791,8	852,4	915,8	939	1028	1048	1030
73	157,9	87	134,5	448,2	482,8	511,1	555,3	580,4	619,8	645,5	702,5	748,3	791,8	852,4	916,1	939,2	1028	1048	1029
74	158,1	86,9	134,7	447,4	480,1	510,6	555	580,5	619,1	645,4	702,8	748,3	791,8	852,4	916,2	939,2	1028	1048	1030
75	158,1	87	134,7	447	479,2	509,7	554,4	580,5	618,4	645,3	703,1	748,2	791,9	852,5	916,2	939,4	1029	1048	1030
76	158,3	87	134,9	447,2	481	509,5	554,5	580,3	617,6	645,3	703,5	748,3	792	852,7	916,2	939,5	1029	1048	1029
77	158,4	87	134,9	447,4	483,3	509,6	554,5	579,9	617	645,3	703,7	748,3	792,2	853	916	939,6	1029	1048	1029
78	158,7	87,1	135	448,1	484,7	510	555,2	579,6	616,7	645,2	704	748,5	792,5	853,3	916	939,5	1029	1048	1029
79	159	87,2	135	448,9	485,5	510,1	555,7	579	616,3	645,3	704	748,6	792,8	853,5	915,8	939,7	1029	1048	1029
80	159	87,3	134,9	448,9	487,8	510,4	555,8	578,3	616,1	645,2	704	748,7	793	854	916	939,5	1029	1048	1029
81	158,8	87,3	135	448,8	488,2	510,9	556,1	577,9	615,8	645,3	703,8	748,9	792,8	854,1	914,9	939,2	1029	1048	1029
82	159	87,5	135	448,9	488,1	511	556,3	577,6	615,7	645,5	703,7	749	792,8	854,4	911,5	939	1029	1048	1029
83	158,9	87,5	135	449	488,9	511,2	556,4	577,3	615,5	645,6	703,6	748,9	792,8	854,9	910	938,9	1029	1048	1029
84	158,9	87,6	135,1	448,8	490,6	511,2	556,3	577,3	615,4	645,5	703,4	748,9	792,8	855	909,1	939	1029	1048	1029
85	159	87,7	135,2	448,5	492,3	511	556,3	577,4	615,5	645,7	703,4	749	793	855,2	909	939,1	1029	1048	1029
86	159	87,8	135,4	447,7	494,1	510,7	556,6	577,8	615,6	646,2	703,2	749,2	792,8	855,4	909,2	939,1	1029	1048	1029
87	159	87,8	135,2	447	495,5	510,4	557,1	578	615,8	646,4	703,2	749,4	793	855,5	909,3	939,2	1029	1048	1029
88	159	87,8	135,5	446,4	496,3	510,2	557,1	578	616,7	646,6	703,1	749,5	793,1	855,7	909,5	939,1	1029	1048	1029
89	159,1	87,8	135,8	446,3	496,9	510,2	557	577,8	617,2	646,7	703,1	749,7	793,4	855,7	909,7	938,8	1029	1048	1029
90	159	87,8	136,1	445,8	496,6	510,2	556,5	577,7	618	646,7	703,1	750,1	793,5	856,1	910	938,8	1029	1048	1029
91	159	87,6	136,2	445,3	495,8	510,3	555,2	577,8	618,4	646,8	703,1	750,3	793,5	856,1	910,3	938,8	1029	1048	1029

detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
92	159,1	87,6	136,4	445,1	495,8	510,4	554,2	578	619,2	646,5	703	750,6	793,4	856,3	910,5	939	1029	1048	1029
93	159,1	87,6	136,4	444,8	496,8	510,5	553,2	578,5	619,8	646,6	703	750,7	793,1	856,4	910,8	939,3	1029	1048	1029
94	159,1	87,6	136,5	444,5	498,1	510,8	552,6	579	620,1	646,7	702,9	751	793	856,4	911	939,7	1029	1048	1029
95	159,4	87,6	136,4	443,9	499	511,1	552,2	579,5	620,7	646,7	702,8	751,1	792,7	856,2	911,1	939,8	1029	1048	1029
96	159,3	87,6	136,2	442,5	499,4	511,6	552,7	580,4	621,2	646,8	702,9	751,3	792,7	856,2	911,2	939,9	1029	1048	1029
97	159,3	87,5	136,1	442,2	500,1	511,8	553,3	581	621,5	647	703	751,5	793	856,2	911,4	939,9	1029	1048	1029
98	159,2	87,6	136,1	442	500,8	511,9	554,2	581,1	621,6	646,9	703	751,4	793,3	856,2	911,3	940	1029	1048	1029
99	159,3	87,5	136	441,5	501,3	512	555,1	581,2	621,6	647	703,1	751,4	793,5	856,4	911,5	940	1029	1048	1029
100	159,3	87,5	135,9	441	501,5	511,7	555,5	581,3	621,6	647	703,1	751,4	793,8	856,7	911,7	940,2	1029	1048	1029
101	159,3	87,5	136,1	440,7	501,3	511,6	556,6	581,5	621,4	646,9	703,7	751,2	793,9	857	912,1	940,2	1029	1048	1029
102	159,3	87,5	136,2	440,9	501,3	511,2	557	581,7	621	646,9	702,5	751,4	794	857,1	912,3	940,3	1029	1048	1029
103	159,3	87,6	136,2	441,2	501,5	511,1	557,1	581,8	620,6	646,8	701,2	751,5	794,1	857,2	912,4	940,4	1029	1048	1028
104	159,3	87,5	136,2	441,6	501,8	511,1	557	582	620,3	647	699,1	751,8	794,1	857,2	912,7	940,4	1029	1048	1028
105	159,4	87,5	136,1	441	501,8	511,4	556,2	582,1	619,9	646,8	697,7	752,1	794	857,3	912,8	940,3	1029	1048	1028
106	159,1	87,3	135,8	441,1	501,6	511,5	555,6	582,4	619,1	646,6	697,2	752,2	792,9	857,4	913	940,2	1029	1048	1028
107	159,1	87,3	135,5	441,3	500,9	511,7	554,9	582,5	618,7	646,5	697	752,5	791,1	857,5	913	940,2	1029	1048	1028
108	159,2	87,3	135,6	441	500,3	511,6	555	582,5	618,8	646,3	697	752,5	790,3	857,5	913,1	940,2	1029	1048	1028
109	159,3	87,5	135,8	440,7	499,4	511,6	555,4	582,3	618,8	646,3	697,2	752,6	789,7	857,6	913,4	940,2	1029	1048	1028
110	159,3	87,3	135,7	440,5	499	511,8	556,2	582,2	618,9	646,2	697,3	752,6	789,2	857,6	913,5	940,3	1029	1048	1028
111	159,3	87,3	135,8	440,2	499	512,2	556,5	582,3	618,7	646,2	697,3	752,7	789,1	857,7	913,7	940,4	1030	1048	1028
112	159,4	87,5	135,8	440,5	499,4	512,5	556,7	582,1	618,5	645,1	697,3	752,7	789	857,5	913,8	940,5	1030	1048	1028
113	159,3	87,3	135,8	440,6	499	513	557	582	618,5	644,2	697,3	752,9	789	857,6	913,8	940,4	1030	1048	1028
114	159,4	87,4	135,7	441	498,2	513,9	556,7	582	618,5	644,1	697,3	752,8	788,9	857,4	914	940,4	1030	1048	1028

detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
115	159,4	87,4	135,7	441,2	497,5	515	556,2	582,1	618,4	643,7	697,4	752,8	788,8	857,3	913,7	940,4	1030	1048	1028
116	159,5	87,5	135,7	441,2	496,8	516,3	555,3	582,1	618,4	643,5	697,5	752,7	788,7	857,2	913,7	940,3	1030	1048	1028
117	159,4	87,5	135,7	441,1	496,3	517,6	554,8	582,2	618,1	643,5	697,5	752,6	788,7	857,2	913,5	940,2	1030	1048	1028
118	159,6	87,5	135,7	441,1	493,5	518	554,7	582,5	617,9	643,5	697,5	752,6	788,8	857	913,3	940,1	1031	1048	1028
119	159,5	87,5	135,6	441,4	490,3	518,6	554,7	583,2	617,7	643,4	697,4	752,6	788,8	856,8	913,2	940,1	1030	1047	1028
120	159,6	87,4	135,5	441,9	489,5	519,1	554,1	583,8	617,4	643,4	697,3	752,7	789	856,6	913,2	940	1030	1047	1028
121	159,5	87,5	135,4	442,4	489,7	519,3	554,1	584,4	617,3	643,4	697,2	752,7	789,2	856,5	913,1	939,8	1030	1048	1028
122	159,7	87,4	135,5	443,2	490,1	519,3	554,8	584,7	616,8	643,5	697,2	752,6	789,3	856,2	913,3	938	1030	1047	1028
123	159,7	87,4	135,5	443,6	489,8	519,1	555,2	584,9	616,4	643,5	697,2	752,5	789,3	856	913,4	935,1	1030	1047	1028
124	159,8	87,4	135,8	444	489,1	518,4	556,2	585	616	643,5	697,3	752,2	789,4	855,8	913,5	933,4	1030	1047	1027
125	159,9	87,6	135,9	444,2	488,7	517,7	556,2	585	615,6	643,6	697,5	752,1	789,4	855,5	913,7	932,6	1030	1047	1027
126	160	87,6	136	444,3	488,8	517,3	556,2	585	615,6	643,7	697,5	752	789,4	855,5	913,8	932,2	1030	1047	1027
127	160,1	87,6	136	444,3	489,2	516,8	556,5	585	615,6	644,2	697,6	751,8	789,4	855,4	914	932,2	1030	1047	1027
128	160,2	87,7	136	444,3	490	516,3	556,1	584,8	615,6	644,7	697,7	751,7	789,5	855,3	914	932,4	1030	1047	1027
129	160,2	87,7	136,1	444,4	491,1	515,6	554,9	584,7	615,5	645,1	697,8	751,5	789,8	855,4	914	932,6	1030	1047	1027
130	160,2	87,7	136,1	444,8	491,7	514,2	554	584,6	615,3	645,5	698,1	751,4	790,1	855,4	914	932,7	1030	1047	1027
131	160,4	87,7	136,1	445,2	491,7	512,7	553,2	584,3	615,3	645,5	698,2	751,1	790,3	855,4	914	932,8	1030	1047	1027
132	160,4	87,8	136,3	446	491,5	511,5	552,8	584,1	615,1	645,5	698,5	750,7	790,7	855,5	914	932,9	1030	1047	1027
133	160,5	87,7	136,5	446,3	490,1	511	552,3	584	615,2	645,3	698,7	750,5	790,8	855,5	914	933,1	1030	1047	1027
134	160,5	87,8	136,8	446,6	488,1	510	551	584,2	615,3	645,2	698,8	750,4	790,7	855,6	914	933	1030	1047	1027
135	160,7	87,8	137,2	446,8	486,5	509,3	549,9	584	615,5	645	699	750,3	790,7	855,6	914	932,7	1030	1047	1027
136	160,7	87,8	137,5	447,2	485,8	509,1	548,9	583,8	615,7	644,4	699,2	750,2	790,7	855,6	914	932,4	1030	1047	1027
137	160,8	87,9	137,7	448,5	486,5	509	547,6	583,3	615,8	644,3	699,6	750,2	790,7	855,4	914,2	931,8	1030	1047	1027

detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
138	161	88	137,9	449,7	486,7	508,9	546,8	583	615,8	644,5	699,8	750,2	790,5	855,2	914,2	931,7	1030	1047	1027
139	161,2	88,2	138	450,8	485	509,3	546,1	582,7	615,8	644,7	700,2	750,3	790,4	855,3	914,4	931,8	1030	1047	1027
140	161,8	88,3	137,9	451,7	483,8	509,8	544,1	582,5	615,8	645,1	700,4	750,6	790,5	855,4	914,4	932,1	1030	1047	1027
141	162,1	88,6	137,9	451,7	483,5	510	542,2	582,2	616	645,5	700,5	750,8	790,5	855,4	914,6	932,4	1030	1047	1027
142	162,2	88,8	137,9	453,2	484,1	510,4	541,3	582	616	645,5	700,7	751	790,6	855,4	914,6	932,6	1030	1047	1027
143	162,4	88,8	137,9	454,1	484,2	510,7	539,5	582	616,1	645,8	700,7	751,5	790,7	855,5	914,8	933,1	1030	1047	1027
144	162,7	89	138	455,1	484,6	510,8	541,8	581,9	616,2	646	700,6	751,7	791	855,6	914,8	933,6	1030	1047	1027
145	162,7	89,1	138,2	456,5	485,2	510,8	543,1	581,8	616,3	646	700,7	751,8	791,1	855,7	914,8	933,9	1030	1047	1027
146	162,5	89,1	138,1	458,1	485,2	510,2	544,7	581,9	616,7	645,8	700,7	751,8	791,1	855,7	914,8	934,2	1030	1047	1027
147	162,5	89	138,3	459,3	484,6	509,6	545,1	582,4	617,2	645,7	700,9	751,7	791,1	855,7	914,8	934,5	1030	1046	1027
148	162,7	89,1	138,4	460,8	484,8	509,5	545,1	582,8	617,7	645,6	701	751,6	791,1	855,8	914,9	934,8	1030	1046	1026
149	162,7	89,2	138,7	462	486,8	509,6	544,3	583,2	618,2	645,7	701,1	751,4	791,1	856,1	915	935	1030	1046	1026
150	162,8	89,2	138,7	461,1	488,9	510,4	543,2	583,6	618,2	645,8	701,2	751,4	791,3	856,2	915,2	935,2	1030	1046	1026
151	162,2	89,3	138,8	460,1	490,3	510,9	543	583,7	618,5	645,8	701,4	751,5	791,8	856,4	915,2	935,4	1030	1046	1026
152	162,1	89,3	138,8	458,4	491,3	511,1	543,7	584,1	618,8	645,7	701,6	751,6	792	856,7	915,4	935,7	1030	1046	1026
153	162,2	89,3	139,1	457,2	491,6	511,1	544,5	584,4	618,9	646	701,8	751,8	792,4	856,8	915,5	935,7	1030	1046	1027
154	162,5	89,2	139,2	455,5	491,8	510,9	545,2	584,6	619,1	646	702,1	752	792,8	856,9	915,6	935,6	1030	1046	1026
155	162,7	89,2	139,2	452,1	491,1	510,5	546,2	584,8	619	646	702,5	752,2	793	857	915,9	935,4	1030	1046	1026
156	163	89,2	139,2	451,3	490	510,2	548,5	584,8	618,9	646,2	702,6	752,6	793,2	857	915,1	935,4	1030	1046	1026
157	163,1	89,2	139,4	451,4	488,7	509,9	549,3	584,8	618,5	646,2	702,8	752,8	793,3	857,1	912,6	935,5	1030	1046	1026
158	163,1	89,3	139,5	452,5	488	509,9	550,2	584,6	618,2	646,2	702,9	753,3	793,4	857	910,4	935,4	1030	1046	1026
159	162,9	89,3	139,4	454,5	487,1	510,1	550,5	584,1	618,2	646	703	753,6	793,2	856,8	909,2	935,6	1030	1046	1026
160	162,9	89,3	139,5	457	486,1	510,4	549,4	583,9	618,3	646	703,1	753,8	793	856,9	909	935,6	1030	1046	1026

detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
161	162,6	89,5	139,5	458,4	485,6	510,5	549,1	583,3	618,1	646	703,2	753,8	792,7	856,8	908,9	935,8	1030	1046	1026
162	162,2	89,5	139,5	458,6	485,2	510,6	549,6	582,7	617,9	646,1	703,3	753,7	792,4	857,1	908,9	936	1030	1046	1026
163	162	89,2	139,5	458	485,5	511	550,4	582,3	617,5	646,2	703,4	753	792,1	857,2	909,1	936	1030	1046	1026
164	162,4	89,3	139,5	457,7	485,6	511,4	551,7	582,5	617	646,2	703,4	752,2	792	857,3	909,5	935,9	1030	1046	1026
165	162,4	89,3	139,7	457,3	486,2	511,7	552,1	583,1	616,6	646,1	703,5	751,8	791,7	857,5	909,8	935,7	1030	1046	1026
166	162,7	89,3	139,7	457,5	487,1	512,6	552	583,7	616,2	646	703,5	751,5	791,9	857,6	909,9	935,5	1030	1046	1026
167	163	89,5	139,9	458,3	487,9	513	550,9	584	615,8	645,7	703,6	751,5	792	857,9	910,2	935,4	1030	1046	1026
168	163,4	89,6	140	460,3	488,4	513,1	549,9	584,1	615,5	645,6	703,7	751,7	791,8	858	910,6	935,3	1030	1046	1026
169	163,7	89,6	139,9	462,4	488,5	513	548	584	615,5	645,7	703,9	751,8	792	857,9	910,9	935,4	1030	1046	1025
170	163,7	89,8	140	464	488	512,7	547,1	583,9	615,7	645,7	704,1	751,9	792	857,9	911	935,4	1030	1046	1025
171	163,7	90	140,1	465	487,6	512,5	545	583,7	615,8	645,8	704,5	752,1	792	857,8	911	935,2	1030	1046	1025
172	163,8	90,1	140,1	465	487,3	512	543,8	583,5	616	645,8	704,7	752,3	792,1	857,7	911	935,2	1030	1046	1025
173	164	90,1	140,2	464,3	487	511,7	543,6	583,5	616	646,2	705	752,4	792,4	857,4	911	935,4	1030	1046	1025
174	164,1	90,1	140,4	463,1	487	511,4	543,8	583,3	616,1	646,3	705,2	752,7	793	857,2	910,9	935,7	1031	1046	1026
175	163,9	90,1	140,4	462,5	487,2	511,1	543,9	582,7	616,2	646,4	705,1	753,1	793,1	857	910,8	936	1031	1046	1029
176	163,7	90	140,5	462,7	487,5	510,9	544,1	581,9	616,3	646,3	705	753,6	793,5	856,7	910,8	936,2	1031	1046	1031
177	163,7	90	140,5	462,8	488,1	510,8	544,4	581,1	616,7	645,7	704,8	754	793,8	856,4	910,8	936,5	1031	1046	1031
178	163,7	90	140,6	462,8	489,1	511	544,5	580	617,1	645,5	704,7	754,1	794,1	856,4	910,8	936,6	1031	1046	1031
179	163,7	90	140,6	463	489,6	511,1	544,4	579,1	617,5	645,5	704,6	754,2	794,4	856,4	910,9	937	1031	1046	1031
180	163,8	90	140,8	462,2	490,5	511,2	544,2	578,7	618,3	645,4	704,6	754,2	794,8	856,5	911	937,1	1031	1046	1031
Rata rata	165,6	91,2	140,5	447,4	489	513,1	550,5	578,8	617,2	645,2	700,2	743,3	791,1	854,6	912,9	937,1	1028	1045	1027
	142,4			739,4															

Combustor $D_o = 6 \text{ mm}$																			
detik	$T_w$ ( $^{\circ}\text{C}$ )			$T_i$ ( $^{\circ}\text{C}$ )															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
1	92	60,3	75,2	399,8	465,8	514,8	539,8	583,9	613,5	641,3	684	737,2	775,3	833,5	897	932,1	1006	1063	1105
2	95,3	62,3	78,7	404,5	466,3	516,5	539,9	585,8	615,7	641,5	684,6	737,2	781,4	834,7	897,4	932,7	1006	1063	1104
3	99,9	64,3	81,1	406,1	466,6	515,2	541,9	585,6	614,9	642	685	737,1	784	835,7	897,8	933	1006	1064	1104
4	103,5	65,5	84,3	408,1	466,6	516,5	544,2	585,2	610,9	642	685,4	736,1	786,1	836,3	898	933,1	1006	1064	1104
5	106	67	87,2	408,8	466,6	517,1	545,3	585,6	602,9	642,2	685,7	735,4	787,3	837,1	898	933,6	1006	1064	1103
6	109,1	68,5	89,9	409,6	466,5	516,6	547,7	585,8	597,4	642,2	685,8	734,8	787,8	837,5	898,1	933,6	1006	1064	1103
7	112,3	69,7	92,1	411,9	466,6	514	548,3	586	594,5	642,6	685,7	734,6	788	838,1	898,2	934,1	1006	1064	1102
8	114,3	70,9	94,6	414,4	466,7	511,4	548,3	585,8	583,8	642,3	685,5	733,9	788,1	838,5	898,3	934,4	1006	1065	1102
9	117	72,1	97	416,4	467	510,3	547,8	585,7	584,5	640,7	685,4	732,7	788,2	839,4	898,3	934,7	1006	1065	1102
10	119,7	73,1	98,7	418,7	467,1	509,3	547,2	585,6	584,9	639,4	685,1	732	788,2	839,8	898,5	934,7	1005	1065	1102
11	121,4	74,2	100,8	420,5	466,9	509	547,4	585,6	585,3	640,2	685	731,7	788	840,3	898,3	934,6	1002	1065	1102
12	123,4	75,2	102,7	421,7	466,9	507,8	548	585,7	586	640,5	684,8	731,7	788	840,8	898,5	934,6	992	1065	1102
13	125,3	76	104,3	422,8	467,3	506,3	548	586	586,8	640,8	684,8	731,8	788	841,3	898,5	934,7	983,7	1066	1101
14	127,1	76,9	106,1	424	467,5	505,2	547,8	586	588,3	641	685	731,8	788,1	841,7	898,6	934,9	979,5	1066	1101
15	128,9	77,7	107,8	425,7	467,6	504,3	547,8	585,1	590,4	640,9	685,1	731,9	788,1	842	898,6	935,1	978,8	1065	1101
16	130,2	78,3	109	426	467,2	503,6	548	584,5	592,4	641	685	732,1	788,1	842,3	898,6	935,3	978,5	1065	1101
17	132	79,2	110,8	426,5	466,8	503,2	547,2	583,4	595	640,8	684,9	732,1	788,1	842,6	898,6	935,3	978,8	1065	1101
18	133,5	79,9	111,8	427,2	467,1	503,2	545,8	582,7	596,5	641	685	732	788,1	842,9	898,5	935,3	979,1	1065	1101
19	134,7	80,4	113,2	427,6	467,3	504,1	545,1	582,5	598	641,1	684,6	732,1	788,1	843,3	898,6	935,4	979,3	1065	1100
20	135,8	81,2	114,6	427,6	468,2	504,6	545,6	582,4	598,6	641,3	683,6	732,5	788,1	843,4	898,6	935,2	979,1	1065	1100
21	137,1	81,8	115,5	428,1	469,8	505,3	545,9	582,3	599,7	641,1	683,7	733	788,3	843,5	898,6	935,1	979	1065	1100
22	138,4	82,2	116,7	428,8	470,8	505,3	546,6	582,1	600,6	641	684,1	733,4	788,5	843,4	898,6	934,5	980,1	1065	1099

# Digital Repository Universitas Jember

detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
23	139,3	82,8	117,7	429,6	470,1	504,1	547,7	581,8	601,2	640,7	684,7	734,4	788,7	843,3	898,5	932,8	981,3	1065	1098
24	140,3	83,3	118,3	431,7	469,4	503,5	548,6	581,7	601,6	640,5	685,4	735	788,8	843,1	898,4	932,1	981,6	1065	1098
25	141,2	83,7	119,1	434	468,8	503,2	549,9	581,5	602	640,2	686	735,2	789,2	843	898,4	932	982	1065	1098
26	142,2	84,1	120,1	434,5	468,5	503,3	550,3	581,4	602,2	640,1	686,5	735,5	789,4	842,8	898,4	931,8	982	1065	1098
27	143	84,5	120,8	436,1	468,2	503	550,8	581,3	602,3	640,5	687	735,5	789,7	842,8	898,6	931,6	982,6	1065	1097
28	143,7	84,9	121,5	437,4	467,8	502,3	551,3	581,4	602,8	640,2	687,3	735,6	790	842,8	898,6	931,6	983	1065	1097
29	144,4	85,3	122,4	438,7	467,6	501,7	552,4	581,4	603,4	640	687,5	735,5	790,1	842,5	898,8	931,5	983,4	1065	1097
30	145,2	85,7	123,1	440,3	468,1	501,4	552,6	581,3	603,6	639,7	687,8	735,4	790,5	842,5	898,8	931,5	984,1	1065	1096
31	145,7	86	123,8	441,7	468,2	501,6	551,8	581,2	604,3	639,1	688	735,4	790,5	842,3	898,9	931,7	984,8	1066	1097
32	146,4	86,3	124,5	442,4	469,3	501,9	550,7	581,1	604,8	639	687,9	735,5	790,5	842,3	899,1	932,1	985	1066	1097
33	147,4	86,7	125,1	442	470	503,1	550,6	581,3	605	639	687,5	735,5	790,5	842,3	899	932,1	985,2	1066	1097
34	148	87,1	125,8	441,2	470,2	503,5	550,4	581,5	605,4	639,1	687,1	735,6	790,4	842	898,8	932,2	985,3	1066	1097
35	148,7	87,3	126,5	440,6	469,8	503,4	549,8	581,6	605,5	639,3	686,9	735,7	790,4	841,9	898,8	932,3	985,5	1066	1097
36	149,5	87,6	127,1	439,6	469,1	503,6	549,7	582,1	605,7	639,3	686,5	735,8	790,1	842	898,7	932,3	985,4	1066	1097
37	150	87,9	127,8	438,6	468,6	503,7	549,5	582,4	605,7	639,7	686,2	736	789,8	842	898,6	932	985,5	1065	1097
38	150,5	88,2	128,5	437,6	468,2	503,8	550,5	583,1	605,9	640,2	685,5	736,2	789,6	842,1	898,5	932,1	985,7	1065	1096
39	151,4	88,5	128,8	436,6	468,1	503,6	551,3	583,2	606	640,7	685	736,5	789,5	842,2	898,4	932,1	985,9	1065	1096
40	151,9	88,9	129,5	435,4	468,1	503,2	552,1	582,8	606,1	641,1	684,5	736,6	789,2	842,2	898,4	932,4	986,4	1065	1096
41	152,3	89	130	435,3	468	502,7	552,8	582,3	606,4	641,4	684,3	736,8	789,1	842,3	898,4	932,4	986,5	1065	1096
42	152,7	89,2	130,4	435,5	467,8	502,8	553	582	606,7	641,7	684,4	736,9	789	842,5	898,5	932,5	986,3	1065	1056
43	153,4	89,5	130,8	436	467,9	502,8	553,2	581,8	607,1	642	684,6	737	788,8	842,9	898,6	932,5	986,1	1065	1038
44	153,6	89,6	131,1	436,6	468,3	502,9	553,8	581,7	607,7	642	684,9	736,6	788,8	842,8	898,8	932,4	986,1	1065	1031
45	154	89,7	131,5	436,7	469,5	503	554	581,7	608,1	642,1	685	736,4	789,4	842,6	899,1	932,7	986,6	1065	1025



# Digital Repository Universitas Jember

detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
46	154,5	90	131,9	436,2	471,2	502,9	554,2	582	608,5	642,2	685,8	736,2	789,5	842,6	899,1	932,8	986,9	1065	1020
47	154,9	90,3	132,3	436	473	502,6	554,3	582,3	609	642,5	686,5	736,5	789,7	842,7	899,3	932,8	987	1065	1014
48	155,3	90,4	132,8	435	474,3	502,5	554,5	582,5	609,2	642,5	686,9	736,5	789,7	842,8	899,4	932,8	987,3	1065	1007
49	155,6	90,6	133,1	432,8	475,6	502,6	555	582,6	609,7	642,4	687,3	736,6	789,7	842,8	899,3	932,9	987,3	1066	1001
50	155,8	90,7	133,5	432,2	476,5	502,7	555,5	582,4	609,8	642,4	687,4	736,7	789,5	842,9	899,4	933,3	987,8	1066	997,4
51	156,1	90,9	133,7	432,1	476,7	503	555,8	582	610	642,2	687,3	736,9	789,4	843	899,3	933,6	988,3	1065	1010
52	156,3	91	133,8	432	476,2	502,9	556,2	581,6	610,2	642,2	687,3	737	789,4	843,1	899,4	933,7	989	1065	1063
53	156,7	91,2	134,2	432,2	476,1	502,9	556,7	581,5	610,5	641,9	687,4	737	789,7	843,2	899,2	933,8	989,1	1065	1083
54	157	91,3	134,5	433,2	475,9	503,2	557	581,7	611,2	641,5	687,2	737	790	842,8	897,4	933,7	989,1	1065	1093
55	157,1	91,5	134,8	435	475,8	503,3	557,1	582,2	612,1	641,4	687,1	736,7	790,1	843,6	896,8	933,6	989,7	1065	1095
56	157,5	91,8	135,2	435,7	476,3	503,6	557,2	582,8	612,7	641,4	686,9	736,7	790,1	844,6	896,4	933,5	990,1	1065	1096
57	157,8	91,9	135,6	436,2	476,8	503,8	557,2	583,1	613,7	641,5	686,8	736,9	790,1	845,3	896,1	933,5	990,2	1065	1096
58	158	92,1	135,9	436,3	476,3	503,8	557,3	583,2	614,1	641,5	686,8	737,4	790,1	845,6	896,1	933,5	990,6	1066	1096
59	158,3	92,4	136,5	435,5	475,5	504,1	557,5	583,2	614,3	641,5	686,7	738,4	790,2	845,6	896	933,6	990,9	1066	1096
60	158,5	92,5	136,8	435,2	474,7	504,6	557,5	583,1	614,5	641,7	686,8	739	790,4	845,5	895,9	933,6	991,1	1066	1097
61	158,8	92,6	137	435,4	474,1	505	557,8	582,8	614,5	641,9	686,8	739,5	790,5	845,4	896	933,8	991,5	1066	1097
62	159,1	92,7	137,2	435,5	473,2	505,1	558,2	582,8	614,6	642	686,8	740,2	790,6	845,2	895,9	934	991,8	1066	1097
63	159,2	92,8	137,5	435,4	472,5	505	558,9	582,7	614,7	642,1	687	740,4	790,7	845	896,1	934,5	992,1	1066	1098
64	159,6	92,9	137,7	435,5	472	504,9	559,3	582,7	614,7	642,1	687,4	740,6	790,8	843,9	896,3	934,8	992,5	1065	1098
65	159,9	93	137,8	435,4	469,9	504,5	559,5	582,7	614,9	642,2	687,5	740,8	790,9	844,5	896,4	935,1	992,4	1065	1099
66	160,2	93,1	137,9	434,9	468,7	504,2	559,6	582,9	615,1	642,3	687,5	741,2	791,2	845,6	896,2	935,5	992,3	1065	1099
67	160,3	93	137,9	434,6	468,3	504,5	559,6	583,1	615,3	642,3	687,4	741,4	790,9	846	896,3	935,6	992,1	1065	1099
68	160,6	93,1	138,1	434,7	467	504,6	559,5	583,3	615,5	642,2	687,4	741,6	791,1	846,5	896,4	935,8	992,2	1066	1100

# Digital Repository Universitas Jember

detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
69	160,8	93,2	138,4	435	467,4	504,7	559,3	583,5	615,6	642,2	686	741,5	791,1	846,8	896,3	935,7	992,4	1066	1100
70	161	93,3	138,6	435,2	468,7	504	559,2	583,5	615,8	642	685,2	741,6	791,3	846,9	896,3	935,8	992,5	1066	1100
71	161,1	93,4	138,8	435,8	470,3	503,1	559	583,3	616	641,8	684,7	741,5	791,3	847,2	896,5	936	992,7	1066	1101
72	161,3	93,5	139	436,6	471,7	503,1	558,9	583,2	616,3	641,6	684,2	741,7	791,2	847,3	896,6	936	992,8	1066	1101
73	161,4	93,5	138,9	436,6	472	503,5	558,7	582,9	616,6	641,3	683,8	741,7	791,1	847,2	896,5	936,4	993	1066	1101
74	161,7	93,5	139	436,6	473,1	504	558,9	582,7	616,8	641,1	683,6	741,7	791,2	847,4	896,7	936,4	993,1	1066	1102
75	162,1	93,6	139	436,6	472,3	504,6	559,3	582,7	617,1	641,1	683,6	741,8	791	847,5	896,7	936,5	993,4	1066	1102
76	162,1	93,7	139,2	436,5	470	504,6	559,8	582,7	617,2	641,1	683,7	741,7	791	847,4	896,9	936,9	993,6	1066	1103
77	162,3	93,7	139,5	436,4	467,8	503,5	560,3	582,7	617,6	641,1	684	741,8	791,1	847,2	897,1	936,8	993,7	1066	1103
78	162,4	93,9	139,7	436,5	463,8	503,1	560,5	582,6	618,1	641,3	684,2	741,8	791,2	847	897,4	936,6	993,7	1066	1103
79	162,7	94	139,9	437,1	465,3	502	560,7	582,7	618,6	641,4	684,3	741,7	791,2	846,8	897,7	936,4	994	1066	1104
80	162,8	94,1	140	437,7	467,2	501,6	560,7	582,8	619,1	641,2	684,5	741,5	791,3	846,6	898	936,3	994,1	1066	1104
81	163	94,1	140,1	438,4	469,8	501	560,7	583,1	618,9	640,8	684,5	741,4	791,2	846,5	898,3	936,3	994,3	1066	1104
82	163,2	94,2	140,4	438,7	469,7	500,8	560,7	583,5	618,6	640,6	684,6	741,4	791,3	846,6	898,5	936,3	994,4	1066	1104
83	163,4	94,3	140,5	439	470,6	502,3	560,6	583,7	618,3	640,7	684,8	741,5	790,5	846,5	898,5	936,3	994,7	1066	1105
84	163,4	94,3	140,7	439,2	471,4	504,7	560,3	584,4	618,1	641	685,1	741,7	787	846,5	898,5	936,5	995	1066	1104
85	163,7	94,4	140,8	439,3	471,6	506,4	560,2	585	618,2	641,2	685,2	741,9	783,6	846,4	898,3	936,6	995,2	1066	1104
86	163,7	94,5	140,9	439,6	474,2	508,2	560,5	585,2	618,5	641,3	685,2	742,1	780,1	846,5	898,1	936,9	995,6	1066	1104
87	163,8	94,5	141	439,5	475,8	509,7	560,8	585,7	619	641,5	685,3	742,1	778,8	846,5	898,1	937	995,8	1066	1103
88	164	94,7	141,1	439,2	476,9	510,1	560,8	586,3	619,5	641,9	685,4	742	778	846,5	898,1	936,7	995,7	1066	1103
89	164,1	94,8	141,4	439	476,9	509,7	561	586,9	619,6	642,1	685,9	741,7	777,8	846,9	898,1	935	995,9	1066	1102
90	164,2	94,8	141,4	438,7	476,8	509,3	561	587,3	620	642,2	686,6	741,6	777,7	847,1	898,2	932	996	1066	1102
91	164,3	94,9	141,7	438,6	473,8	509,1	560,6	587,5	620,1	642,6	687,3	741,4	777,6	847,1	898,3	927,2	996,5	1066	1101

# Digital Repository Universitas Jember

detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
92	164,4	95,1	141,9	438,6	473,1	508,8	560,5	587,6	620	642,7	687,7	741,2	777,9	847,3	898,3	929,6	996,8	1066	1101
93	164,4	95,2	142,1	438,7	473,7	509	560,7	587,8	620	642,6	688,5	741,3	778,5	847,3	898,3	928,5	996,9	1066	1101
94	164,5	95,1	142,3	439,2	475,2	509,3	560,6	588,1	620,2	642,2	688,8	741,3	779	847,4	898,5	929,8	996,9	1066	1100
95	164,5	95,4	142,5	439,6	475,8	510	560,9	588,1	620,5	642	689,3	741,6	778,9	847,7	898,6	931,1	997	1066	1100
96	164,5	95,5	142,6	439	477,5	510,5	561,1	587,6	620,7	641,9	689,6	741,7	778,5	847,7	898,5	933	997,1	1066	1100
97	164,7	95,5	142,7	438,3	479	511,1	560,8	586,8	621	642,1	689,7	741,8	778,4	847,7	898,5	933,5	997,4	1066	1099
98	165	95,5	142,8	438,1	479,7	511,1	560,2	586,5	621,1	642,3	690	741,9	778,2	847,4	898,3	933,6	997,7	1066	1098
99	165	95,6	143	438,3	478,9	511,1	559,8	586,4	621,3	642,8	690,3	741,7	778,1	847,1	898,4	934	998	1066	1098
100	165,1	95,6	143	438,5	478,5	511	559,6	587	621,4	643	690,7	741,7	778,1	846,5	898,2	934	998	1066	1097
101	165,1	95,7	143,1	439	478,5	511,2	559,5	587,2	621,6	643,2	690,8	741,8	778,4	846	898	934,1	998,1	1066	1096
102	165,3	95,7	143,3	439,6	477,8	511	559,5	587,3	621,6	643,4	690,7	741,7	778,4	845,8	898	934,2	998,3	1066	1099
103	165,4	95,7	143,3	440	476,4	510,8	559,6	586,7	621,7	643,3	690,6	741,8	778,5	845,7	897,9	934	998,3	1066	1103
104	165,7	95,7	143,4	440,4	474,1	510,9	560,2	586,2	621,9	643,4	690,4	741,8	778,8	845,6	898,1	933,9	998,3	1066	1103
105	165,8	95,9	143,4	440,5	471,7	512	560,9	585,8	622	643,2	690	742,1	779,3	845,5	898,2	933,8	998,6	1066	1103
106	165,9	96	143,5	440,6	470,2	512,9	561,3	585,6	622	643	689,7	742,5	779,4	845,2	898,2	933,8	998,9	1066	1104
107	166	95,9	143,6	440,5	469,4	513,3	562	585,3	621,8	642,7	689,4	742,7	779,5	844,9	898,2	933,7	999,2	1066	1104
108	166,1	96	143,6	440,5	468	513,3	562,4	584,9	621,8	642,5	688,9	742,9	779,7	844,6	898,2	933,7	999,4	1066	1105
109	166,1	95,9	143,4	440,7	467,3	513,1	562,6	584,8	621,8	642,4	688,5	743	779,8	844,2	898,3	934	999,7	1066	1104
110	166,1	95,8	143,4	441,3	466,5	512,8	562,9	585,2	622	642,3	688,1	743	780	844,2	898,2	934,3	999,8	1066	1104
111	166,1	96	143,6	441,8	465,4	512,6	563	586,3	622,2	642,2	687,4	743	780,1	844,2	898,1	934,5	1000	1066	1103
112	166,1	96	143,7	443,1	464,8	512,5	563,3	587,5	622,3	642,1	687,1	743	780,4	844,5	898,1	934,9	1000	1066	1102
113	166,2	95,8	143,5	443,9	464,8	512,7	563,3	588,4	622,7	642	687	742,9	780,7	844,5	898,3	935	1001	1066	1101
114	166,4	95,8	143,5	444,1	465,1	513	563,4	588,8	623	641,8	686,9	742,7	780,9	844,5	898,3	935,2	1000	1066	1101

# Digital Repository Universitas Jember

detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
115	166,6	96	143,6	443,7	465,6	513,6	563,7	588,7	623,1	641,6	686,7	742,2	781,1	844,5	898,3	935,4	1000	1066	1101
116	166,7	96	143,7	443	465,6	514	564	588,6	623,1	641,1	686,5	741,8	781,4	844,5	898,5	935,5	1000	1066	1100
117	166,8	96,1	143,9	442,1	465,8	514,2	564,3	588,4	623	641,1	686,6	741,3	781,4	844,8	898,5	935,8	1000	1066	1100
118	166,9	96,2	144	442	465,4	514,4	564,3	588,3	623	641,2	686,9	740,8	781,8	844,8	898,7	935,8	1000	1066	1099
119	167	96,3	144,1	442,1	465,3	514,4	564,2	588,2	622,8	641,3	687	740,8	782,1	845,1	898,7	935,8	1001	1066	1099
120	167	96,3	144,2	442,3	465,1	514,6	564,4	588,3	623	641,3	687	741,2	782,2	845,6	899	935,8	1001	1066	1098
121	167	96,4	144,3	442,4	465	514,8	564,4	588,3	623,1	641,5	685,1	741,6	782,2	845,7	899	935,9	1001	1066	1098
122	166,8	96,5	144,5	443,8	464,6	515	564,8	588,2	623,4	641,8	682,5	741,6	782,4	845,7	899,1	936	1001	1066	1097
123	166,7	96,6	144,6	445	464,2	515,4	565,1	588	622,9	642	679,5	741,7	782,5	845,8	899,1	936,3	1001	1066	1096
124	166,5	96,7	144,8	445,1	464	515,8	565,1	587,8	622,4	642,1	678,2	741,7	782,5	846	899,1	936,3	1001	1066	1096
125	166,6	97	145,1	444,2	464,2	515,7	565	587,6	621,9	641,9	678,1	741,5	782,5	846,1	899,2	936,3	1001	1067	1095
126	166,6	97	145,3	441	464,7	515,2	564,6	587,5	621,5	641,7	678,7	741,2	782,5	846,2	899,2	936,1	1001	1067	1095
127	166,6	97,1	145,5	439,9	465,3	514,8	564,5	587,5	621,3	641,8	679	741	782,6	846,2	899,2	936,3	1002	1067	1095
128	166,6	97,1	145,6	439,6	465,7	514,3	565,1	587,7	621,1	641,9	680,2	740,4	782,9	846,1	899	936,1	1002	1067	1053
129	166,8	97,2	145,6	440,9	466	514	565,7	587,6	621,2	642,3	681,2	740,3	783,1	845,8	898,8	936	1002	1067	1036
130	166,8	97,1	145,7	442	466,1	513,7	566,3	587,6	621,5	642,5	681,7	740,2	783,1	845,7	898,7	935,9	1002	1067	1024
131	166,8	97,2	145,5	444,3	466,3	513,7	566,5	587,7	622,1	642,5	682,4	740,2	783,4	845,7	898,6	935,8	1002	1067	1014
132	166,8	97,2	145,5	446,3	466,4	513,7	566,4	587,7	622,5	642,5	682,6	740,4	783,5	845,7	898,6	935,8	1002	1067	1008
133	166,9	97,2	145,5	448,4	467	513,6	565,8	587,6	622,8	642,5	682,7	740,5	783,5	845,5	898,8	935,8	1002	1067	993,6
134	167	97,3	145,7	448	467,3	513,1	565,3	587,8	622,9	642,5	682,8	740,6	783,5	844,7	898,8	935,7	1002	1067	980
135	167,2	97,4	145,5	446,5	467,6	512,6	564,8	587,7	622,8	642,2	683,2	740,6	783,7	844,6	899	935,5	1002	1067	970,4
136	167,7	97,1	145,4	446,1	467,4	512,1	564,1	587,2	622,5	642,1	683,6	740,8	783,8	845,2	899,1	935,2	1002	1064	958,1
137	167,6	97,1	145,5	445	467,2	512	563,3	586,7	622,1	641,7	684,5	740,8	784	845,2	899,2	935	1002	1061	949,5

# Digital Repository Universitas Jember

detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
138	167,7	97,1	145,6	444,3	467,1	512	563,1	586,6	621,6	641,4	685,2	740,6	784,2	844,8	899,3	934,8	1002	1058	943,1
139	167,7	97,1	145,6	445,2	467	512,1	562,9	586,6	621	641,1	686	740,2	784,5	843,7	899,4	934,5	1002	1057	934,9
140	167,9	97,1	145,4	445,8	466,8	512	562,8	586,8	620,6	640,9	686,6	740	784,6	840,5	899,7	934,9	1002	1057	927,4
141	168	97,2	145,5	445,1	466,7	512,1	563,1	587,1	620,5	640,6	687,4	739,7	784,8	839,1	899,7	935,1	1002	1057	923
142	167,9	97,2	145,6	444,6	466,8	512,6	563,2	587,3	620	640,4	687,6	739,8	785,1	840,7	899,6	935,4	1003	1057	917
143	167,7	97,2	145,8	445,5	466,7	513,5	563,5	587,6	619,7	640,3	687,7	740,3	785,1	843,5	899,5	935,8	1003	1057	913,3
144	167,8	97,3	146	446,3	466,8	514,7	563,5	587,7	619,7	640,5	687,7	741	785,4	845,3	899,4	936,1	1003	1057	907,7
145	167,5	97,4	146,2	449,4	466,8	515,7	563,8	587,8	619,5	640,9	687,8	741,2	785,6	846,5	899,4	936,7	1003	1057	907,7
146	167,5	97,4	146,3	452,2	466,8	516,5	564,1	587,8	619,3	641,2	688,1	741,8	785,7	847	899,5	937,2	1003	1057	939,8
147	167,5	97,5	146,5	453,8	467	516,3	564,4	587,6	619,3	641,8	688,5	741,7	785,8	847,1	899,5	937,1	1003	1057	1003
148	167,8	97,7	146,7	455,4	467,4	515,7	565	587,4	619,4	642,2	688,7	741,5	785,9	847,2	899,6	936,7	1003	1057	1031
149	168,1	97,6	146,5	456	467,7	515,3	565,6	587,3	619,5	642,6	689	740,8	785,9	847,1	899,7	936	1003	1057	1039
150	168,1	97,6	146,8	456	468,2	514,6	565,8	587,3	619,6	643,3	689	740	785,9	847,1	899,7	935,8	1003	1057	1043
151	168,2	97,7	147	455,1	468,8	513,5	566,2	587,7	619,8	643,5	688,9	739,5	786,2	847,1	899,5	935,8	1004	1057	1042
152	168,5	97,7	147	453,2	469,1	512,9	566,3	587,8	620,1	644,2	688,8	739,2	786,3	847,2	897,9	935,8	1004	1057	1044
153	168,4	97,7	147	451,1	469,4	513	562,3	587,7	620,2	641,7	688,7	739	786,3	847,5	895,5	936	1004	1057	1050
154	168,4	97,7	146,9	449,6	470	513,1	557,7	587,8	620,4	641,3	688,6	738,6	786,5	847,7	893,8	936,3	1004	1057	1053
155	168,4	97,7	147	448,5	470,1	513,1	557,7	587,8	620,5	641,3	688,6	738,8	786,6	847,7	892,9	936,8	1004	1057	1053
156	168,4	97,7	147	448,1	471	513,8	557,7	588,2	620,5	641	688,6	738,9	786,8	847,5	892,4	937	1004	1057	1051
157	168,4	97,7	147	447,7	471,7	513,8	557,7	588,6	620,4	640,8	688,5	739,5	787,1	846,7	892,1	937,1	1004	1057	1050
158	168,2	97,8	147,1	446,2	472	513,6	557,8	588,7	620,4	640,3	688	739,8	787,3	845,4	892,2	937,4	1004	1057	1048
159	167,8	97,7	147,2	445,5	472,4	513,6	557,7	588,6	620,6	640	687,7	740,2	787,5	845,8	892,2	937,5	1004	1057	1045
160	167,6	97,8	147,4	444,1	472,5	513,6	557,5	588,2	621	639,8	687,7	740,3	787,8	846,1	892,1	937,7	1004	1057	1043

# Digital Repository Universitas Jember

detik	T <sub>w</sub> (°C)			T <sub>i</sub> (°C)															
	w1	w2	w3	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
161	167,8	97,9	147,4	443,5	472,9	513,9	556,4	588,1	621,4	639,7	687,7	740,1	788	846,4	892,1	937,8	1004	1058	1040
162	167,7	97,9	147,2	441,6	473	513,8	555,9	588,1	622,1	639,4	688,1	739,6	788,2	846,5	892,2	938	1004	1057	1037
163	167,7	97,8	147,1	438,5	472,7	513,6	556	588,2	622,2	639	688,2	739,3	788,4	846,5	892,3	938,1	1004	1057	1031
164	167,8	98	147,1	433,6	470,8	513,4	556	588,3	622	638,7	689,2	737,4	788,6	846,5	892,2	938	1004	1057	1029
165	167,6	97,8	147	428,8	468,2	513,7	556	588,1	621,6	638,7	689,7	733,2	788,7	846,5	892,2	938,1	1004	1057	1036
166	167,2	97,7	146,8	426,5	467	514,2	556,1	587,6	621,3	638,8	690,1	731,8	788,8	846,5	892,4	938,2	1004	1057	1056
167	166,9	97,7	146,8	425,8	467	514,7	556,2	586,1	621,3	639	690,8	730	788,9	846,5	892,4	938,5	1004	1057	1083
168	166	97,4	146,7	424,8	467,1	515,1	556,6	585	621,3	639,5	691,1	727,8	789	846,7	892,4	938,7	1004	1057	1088
169	165,5	97,2	146,5	428,7	467,8	515,7	556,8	583,6	621,4	639,7	691,3	727,4	789,2	846,8	892,7	938,8	1004	1057	1058
170	165,8	97,3	146,5	433	468,5	517,3	557	583,3	621,5	639,5	691,2	727,9	789,4	846,7	892,6	938,8	1004	1057	1030
171	166	97,4	146,9	437,6	468,9	518,8	556,9	583,4	621,6	639,2	691,2	728,6	789,4	846,8	892,5	939	1005	1055	1020
172	166,8	97,5	147	440,4	469,2	520	556,6	583,1	621,7	638,8	691,2	730	789,3	847	892,4	939	1005	1048	1017
173	167,1	97,5	147,1	441	469,7	521	556,4	582,6	621,7	638,8	691,1	731,6	789,3	846,9	892,4	939,1	1005	1042	1016
174	166,9	97,5	147,1	442,5	469,7	521,8	556,3	582,3	621,7	638,9	690,8	732,6	789,3	846,9	892,4	939	1006	1040	1016
175	167,1	97,5	147,1	444	469,7	521,4	556,1	581,8	621,6	639,3	690,4	733,7	789,2	846,8	892,5	939	1006	1038	1016
176	167,1	97,5	146,9	446,2	469,8	520,5	555,8	581,8	621,5	639,5	690	734,2	789,2	846,8	892,5	938,8	1006	1038	1016
177	167,2	97,5	146,8	447,6	471	519,1	555,7	581,8	621,6	639,7	689,2	734,9	789,1	846,8	892,4	938,6	1006	1038	1016
178	167,2	97,6	146,7	447,6	471,4	517,9	555,8	581,8	621,8	639,8	688,7	735,2	789	846,8	892,2	938,4	1006	1037	1016
179	167,1	97,6	146,7	448,1	472,1	516,7	556	581,7	622,1	639,8	688,8	735,2	788,8	846,7	892,2	938,5	1006	1037	1016
180	167,4	97,7	146,5	448,5	472,3	515,6	556	581,5	622,3	639,7	689,2	734,8	788,8	846,6	892,4	938,5	1006	1036	1017
Rata rata	167,4	97,8	145,7	437,5	469,7	509,5	557,5	585	614,7	641,3	686,6	738,3	786,3	844,6	897,4	935	996,1	1063	1069
	137			742,6															