

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode eksperimental (*experimental research*) dimana dilakukan pengamatan secara langsung pada objek yang diteliti. Data - data yang diperoleh nantinya diolah dan dibandingkan hasilnya dengan hipotesa.

3.1. Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Proses penelitian dilakukan sejak bulan April 2015 sampai dengan selesai, bertempat di Laboratorium Mesin - Mesin Fluida Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

3.2. Variabel Penelitian

Variabel - variabel yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi 3 jenis yaitu variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol.

1. Variabel bebas (*independent variable*)

Pada penelitian ini variabel yang divariasikan sebagai variabel bebas adalah :

- Debit bahan bakar (Q_f)
- Debit udara (Q_a)

2. Variabel terikat (*dependent variable*)

Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya tergantung pada variasi variabel bebas, pada penelitian ini yang berperan sebagai variabel terikat antara lain :

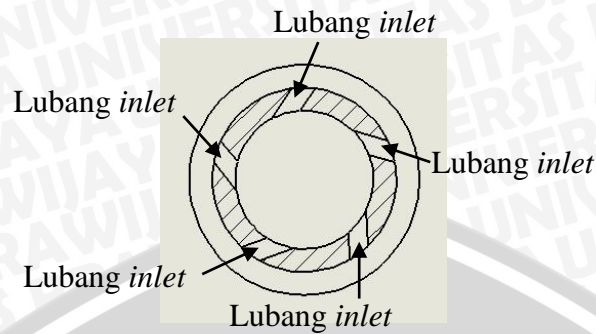
- Batas stabilitas nyala api (*flammability limit*)
- Visualisasi bentuk nyala api
- Temperatur nyala api

3. Variabel kontrol (*control variable*)

Variabel kontrol merupakan variabel yang nilainya dijaga konstan selama proses penelitian, fungsinya sebagai pemberi batasan masalah agar penelitian tidak terlalu luas. Berikut adalah variabel kontrol yang nilainya dijaga tetap selama proses penelitian:

- Material *meso-scale combustor* menggunakan tembaga

- Kedalaman saluran *annular* pada dinding *meso-scale combustor* 0,5 mm
- Jumlah lubang *inlet* uap heksana 5 buah terdapat pada posisi berikut

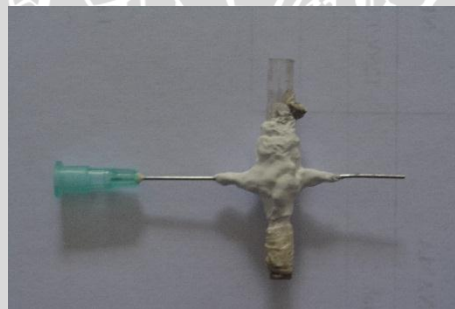


Gambar 3.1 Posisi lubang *inlet* uap heksana (tampak depan)

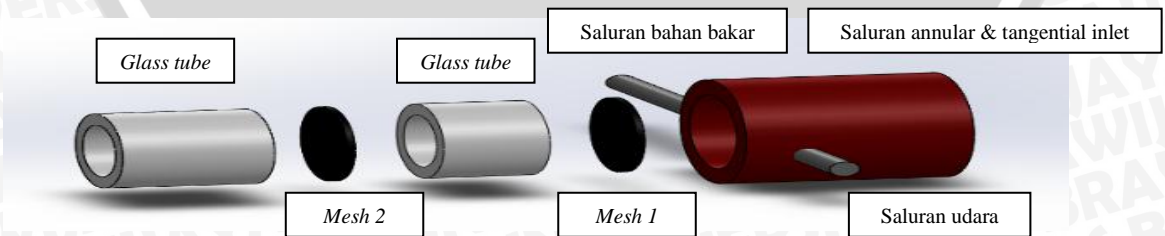
3.3. Peralatan Penelitian

1. *Meso-scale combustor* dengan *preheated multiple tangential fuel inlet*

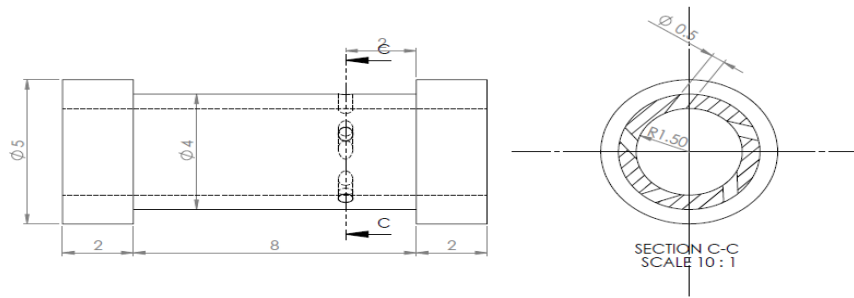
Meso-scale combustor merupakan alat utama yang digunakan pada penelitian ini, pada *meso-scale combustor* terjadi proses pembakaran dan api yang diamati. Foto dan konfigurasi *meso-scale combustor* secara detail dapat dilihat pada Gambar 3.2, 3.3 dan 3.4.



Gambar 3.2 Foto *meso-scale combustor*



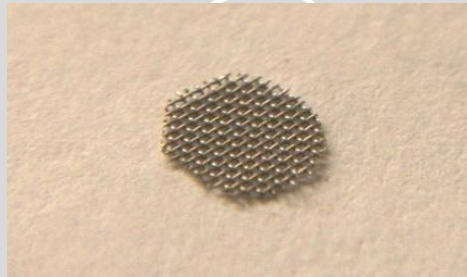
Gambar 3.3 *Assembly meso-scale combustor*



Gambar 3.4 Detail saluran annular dan tangential inlet

2. Wire mesh

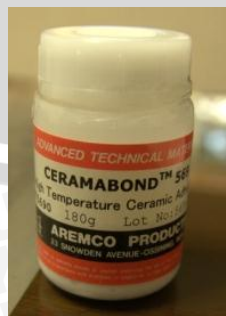
Wire mesh berfungsi sebagai flame holder dan meningkatkan heat recirculation ke reaktan yang belum terbakar. Wire mesh tersebut terbuat dari stainless steel dengan spesifikasi 60 mesh ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Wire mesh

3. Lem keramik

Lem keramik berfungsi sebagai penyambung antara quartz glass tube dan tembaga pada meso-scale combustor, selain itu lem keramik juga berfungsi sebagai isolator untuk meminimalisir heat loss dari dinding combustor ke lingkungan, ditunjukkan pada gambar 3.6



Gambar 3.6 Lem keramik

4. Syringe pump

Syringe pump berfungsi untuk mengatur debit bahan bakar (heksana) pada *meso-scale combustor*, ketelitian alat ini mencapai 0,01 ml/hr ditunjukkan pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Syringe pump

Spesifikasi:

<i>Syringe sizes</i>	: Up to 60 mL (140 mL partially filled)
<i>Number of syringes</i>	: 1
<i>Motor type</i>	: Step motor
<i>Motor steps per revolution</i>	: 400
<i>Motor to drive screw ratio</i>	: 15/28
<i>Drive screw pitch</i>	: 20 revolutions
<i>Dimensions</i>	: 8 3/4" x 5 3/4" x 4 1/2"
	High (22.86 cm x 14.605 cm x 11.43 cm)
<i>Weight</i>	: 3.6 lbs. (1.63 kg)

5. Syringe 2 ml

Berfungsi sebagai wadah bahan bakar *meso-scale combustor* (heksana), ketika dipasangkan pada *Syringe pump*, ditunjukkan pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Syringe 2 ml

6. Combustor holder

Digunakan sebagai penyangga *meso-scale combustor*, ditunjukkan pada gambar 3.9



Gambar 3.9 Combustor holder

7. Kompresor

Kompresor merupakan penyuplai udara pembakaran (*oxidizer*) pada *meso-scale combustor* maupun *burner*, udara yang digunakan adalah udara bebas (*ambient air*). Kompresor ditunjukkan pada gambar 3.10



Gambar 3.10 Kompresor

Spesifikasi:

- Merk : Wipro
- Series No : 121105802
- Power : 1 HP
- Voltage : 220 V
- Nett Weight : 22 kg
- Outlet pressure : 0,8 Mpa
- Kapasitas tangki : 24 liter
- Rated speed : 2850 rpm

8. Heksana

Digunakan sebagai bahan bakar pada *meso-scale combustor*. Heksana ditunjukkan pada gambar 3.11



Gambar 3.11 Heksana

9. Flowmeter

Digunakan untuk mengukur debit udara pada *burner*, debit bahan bakar (*LPG*) pada *burner* serta debit udara yang masuk pada *meso-scale combustor*. *Flowmeter* ditunjukkan pada gambar 3.12



Gambar 3.12 *Flowmeter*

Spesifikasi:

Flowmeter udara

- Merk : Kofloc
- Series : RK-1250
- Jenis : Flowmeter udara
- Tekanan kerja : 0,1 Mpa
- *Maximum flow* : 500 ml/min
- *Minimum flow* : 50 ml/min

- Skala terkecil : 5 ml/min

Flowmeter Bahan bakar

- Merk : Kofloc
- Series : RK-1250
- Jenis : Flowmeter propana (C_3H_8)
- Tekanan kerja : 0,1 Mpa
- *Maximum flow* : 20 ml/min
- *Minimum flow* : 2 ml/min
- Skala terkecil : 0,5 ml/min

10. *Pisco tube* dan *Y connector*

Pisco tube berfungsi sebagai saluran pengalir udara dan bahan bakar, warna putih digunakan untuk udara dan warna merah untuk bahan bakar (LPG). Sedangkan *Y connector* berfungsi untuk percabangan yang mempertemukan udara dan bahan bakar. *Pisco tube* dan *Y connector* ditunjukkan pada gambar

3.11



Gambar 3.13 *Pisco tube* dan *Y connector*

15. Regulator LPG

Digunakan untuk mengalirkan bahan bakar keluar dari tabung LPG.



Gambar 3.14 Regulator LPG

16. Kamera dan Lensa makro

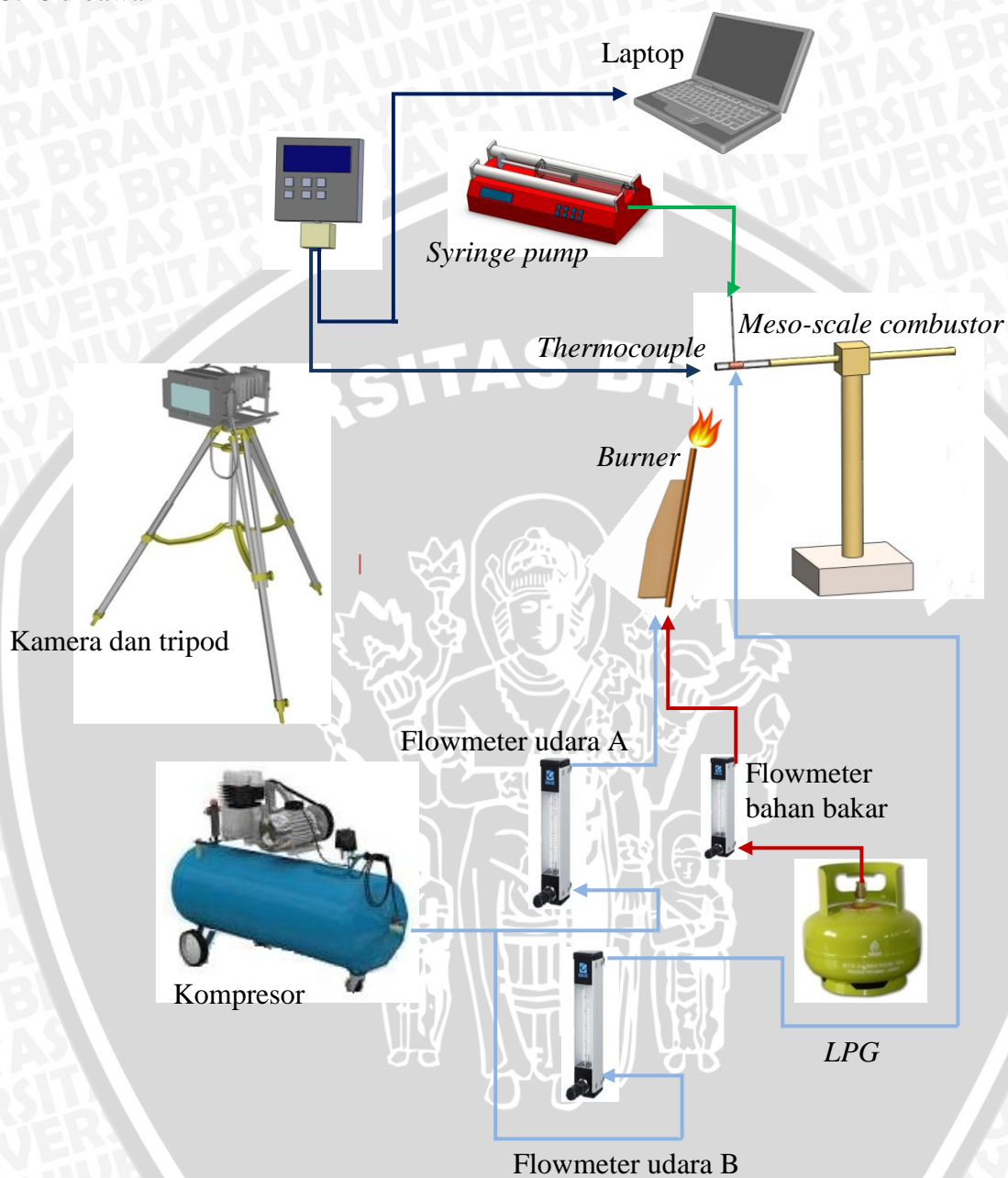
Kamera berfungsi untuk mengambil gambar visualisasi nyala api. Sedangkan lensa makro berfungsi untuk memperbesar objek yang tertangkap oleh lensa kamera agar visualisasi nyala api bisa tampak lebih jelas.



Gambar 3.15 Kamera dan lensa makro

3.4. Skema Instalasi Penelitian

Rangkaian peralatan penelitian dapat digambarkan dalam skema seperti gambar 3.16 dibawah ini



Gambar 3.16 Skema instalasi alat penelitian

Keterangan :

- — Kabel elektrik
- — Saluran bahan bakar Heksana
- — Saluran bahan bakar LPG
- — Saluran Udara (*oxidizer*)

Dari skema diatas ditunjukkan rangkaian peralatan yang digunakan pada penelitian ini. Bahan bakar *meso-scale combustor* menggunakan heksana dialirkan ke *combustor* menggunakan *syringe pump*, pada *syringe pump* dapat diatur debit bahan bakar yang memasuki *combustor* hingga ketelitian 0,01 ml/hr. Sedangkan udara sebagai oksidator disuplai ke *combustor* melalui kompresor, debit udara dapat diatur menggunakan *flowmeter* udara B.

Sedangkan untuk *burner* suplai udaranya sama dengan *meso-scale combustor* yaitu dari kompresor, bedanya debit udara untuk *burner* diatur menggunakan *flowmeter* udara A. Sedangkan bahan bakar *burner* menggunakan LPG yang debitnya diatur menggunakan *flowmeter* bahan bakar. Pencampuran udara dan bahan bakar pada *burner* terjadi di *Y connector*.

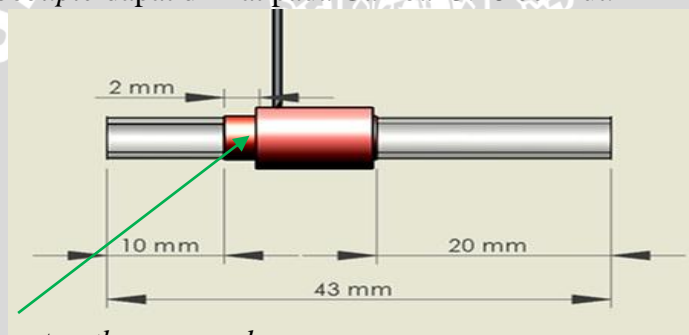
Kamera pada skema tersebut berfungsi sebagai pengambil gambar visualisasi bentuk nyala api yang diletakkan sejauh 10 cm di depan mulut *combustor*. Sedangkan untuk pengambilan data temperatur nyala api menggunakan rangkaian *thermocouple* tipe K, rangkaian tersebut terdiri dari *thermocouple*, *data logger* dan laptop. *Data logger* berfungsi untuk mengolah data mentah temperatur yang terbaca oleh *thermocouple* agar dapat ditampilkan dalam bentuk digital.

3.5. Metode Pengambilan Data

Urutan langkah - langkah untuk pengambilan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan *meso-scale combustor* dan memastikan tidak ada cacat fisik pada *meso-scale combustor*.
2. Melakukan *setting* peralatan sesuai dengan skema pada Gambar 3.16
3. Membuka katup pada regulator LPG dan katup pada kompresor.
4. Menyalakan api pada *burner* sekaligus mengatur rasio campuran LPG dan udara menggunakan *flowmeter* hingga kondisi stoikiometri.
5. Mengatur debit udara yang memasuki *meso-scale combustor* menggunakan *flowmeter*.
6. Mengatur debit bahan bakar (heksana) menggunakan *Syringe pump*.

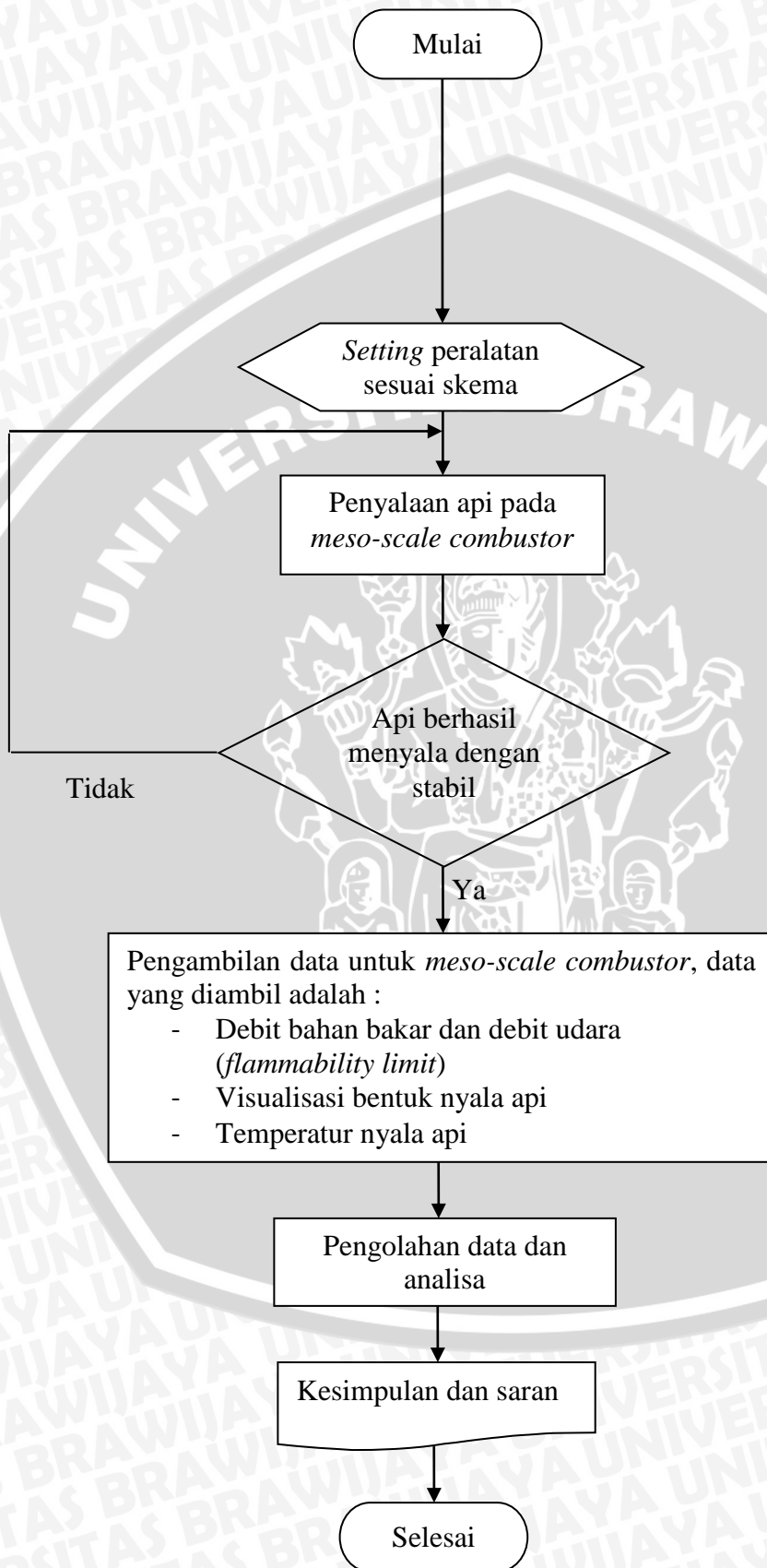
7. Melakukan *preheating* dengan memanaskan *meso-scale combustor* kemudian menyalakan api dengan cara mendekatkan *burner* ke depan mulut *meso-scale combustor*.
8. Untuk pengambilan data *flammability limit* diamati apakah api bisa menyala stabil lebih dari 3 menit atau tidak.
9. Catat nilai - nilai debit udara dan bahan bakar ketika api pada *meso-scale combustor* mampu menyala dengan stabil serta tetap menempel pada *mesh* selama 3 menit atau lebih.
10. Untuk pengambilan gambar visualisasi bentuk nyala api dilakukan dengan menggunakan kamera berlensa makro. Sudut pengambilan gambar diambil dari depan mulut *combustor*.
11. Untuk pengambilan data temperatur nyala api, tempelkan *thermocouple* pada api yang menyala dan baca data yang ditampilkan pada laptop. Titik penempatan *thermocouple* dapat dilihat pada Gambar 3.18 berikut.



titik penempatan *thermocouple*

Gambar 3.17 Titik penempatan *thermocouple* pada *meso-scale combustor*

3.6. Diagram Alir penelitian



Gambar 3.18 Diagram alir penelitian

3.7. Rencana Pengambilan Dan Pengolahan Data

Rencana pengambilan data pada penelitian ini dimulai dari pengambilan data flammability limit yaitu mencatat nilai debit bahan bakar (Q_f) dan debit udara (Q_a) ketika api pada *mesoscale combustor* mampu stabil selama 3 menit atau lebih. Nilai debit bahan bakar dan udara tersebut dicatat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut

Tabel 3.1 Rencana pengambilan data *flammability limit* untuk Q_f konstan

Q_f konstan (ml/hr)	Q_a min (ml/hr)	Q_a max (ml/hr)	Trial Q_a (ml/hr)			
			Min			
			Max			
			Min			
			Max			
			Min			
			Max			
dst	dst	dst	dst			

Tabel 3.2 Rencana pengambilan data *flammability limit* untuk Q_a konstan

Q_a konstan (ml/hr)	Q_f min (ml/hr)	Q_f max (ml/hr)	Trial Q_f (ml/hr)			
			Min			
			Max			
			Min			
			Max			
			Min			
			Max			
dst	dst	dst	dst			

Rencana pengambilan data visualisasi bentuk nyala api dilakukan dengan menggunakan kamera berlensa makro. Bentuk nyala api akan dianalisa secara visual. Sudut pengambilan foto visualisasi dilakukan dari depan mulut *combustor*.

Sedangkan untuk rencana pengambilan data temperatur nyala api dilakukan menggunakan rangkaian *thermocouple* – data logger – laptop. Data temperatur yang ditampilkan pada laptop dicatat pada Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Rencana pengambilan data temperatur nyala api

NO	Q _f (ml/hr)	Q _a (ml/hr)	Temperatur Api (°C)
1			
2			
3			
dst			

Untuk rencana pengolahan data *flammability limit* data Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 diatas diolah menggunakan rumus-rumus berikut:

a. Konversi Q_f (liquid) menjadi Q_f (vapor)

$$1. \dot{m} = \left(\frac{Q_f(\text{liquid})}{60} \right) \times \rho_f(\text{liquid})$$

$$2. Q_f(\text{vapor}) = \frac{\dot{m}f}{\rho_f(\text{vapor})}$$

b. Rumus pengolahan data Tabel 3.1

$$1. \text{lower limit} = \frac{Q_f(\text{vapor}) \times AFR \text{ stoic}}{Q_a(\text{max})}$$

$$2. \text{upper limit} = \frac{Q_f(\text{vapor}) \times AFR \text{ stoic}}{Q_a(\text{min})}$$

$$3. v \text{ total } (\text{min}) = \frac{\left(\frac{Q_f(\text{vapor}) + Q_a(\text{min})}{60} \right)}{\frac{(3,16 \times r^2)}{100}}$$

$$4. v \text{ total } (\text{max}) = \frac{\left(\frac{Q_f(\text{vapor}) + Q_a(\text{max})}{60} \right)}{\frac{(3,16 \times r^2)}{100}}$$

c. Rumus pengolahan data Tabel 3.2

$$1. \text{lower limit} = \frac{Q_f(\text{vapor}) \times AFR \text{ stoic}}{Q_a(\text{max})}$$

$$2. \text{upper limit} = \frac{Q_f(\text{vapor}) \times AFR \text{ stoic}}{Q_a(\text{min})}$$

$$3. v_{\text{total}} (\text{min}) = \frac{(Q_f (\text{vapor}) + Q_a (\text{min}))}{\frac{60}{(3,16 \times r^2)}} \times 100$$

$$4. v_{\text{total}} (\text{max}) = \frac{(Q_f (\text{vapor}) + Q_a (\text{max}))}{\frac{60}{(3,16 \times r^2)}} \times 100$$

Keterangan:

r = jari-jari dalam *meso-scale combustor* (mm)

AFR_{stoic} = rasio udara dan bahan bakar stoikiometri

Q_a = debit udara (ml/hr)

$Q_f (\text{liquid})$ = debit bahan bakar pada fase cair (ml/hr)

$Q_f (\text{vapor})$ = debit bahan bakar pada fase uap (ml/hr)

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

$\rho_f (\text{liquid})$ = densitas bahan bakar pada fase cair (mg/ml)

$\rho_f (\text{vapor})$ = densitas bahan bakar pada fase uap (mg/ml)

lower limit = nilai rasio ekuivalen terendah

upper limit = nilai rasio ekuivalen tertinggi

$V_{\text{total}} (\text{min})$ = kecepatan minimal reaktan di dalam *meso-scale combustor* (cm/s)

$V_{\text{total}} (\text{max})$ = kecepatan maksimal reaktan di dalam *meso-scale combustor* (cm/s)

Hasil dari perhitungan rumus-rumus diatas kemudian dirubah pada bentuk seperti Tabel 3.4 dan Tabel 3.5 dibawah ini

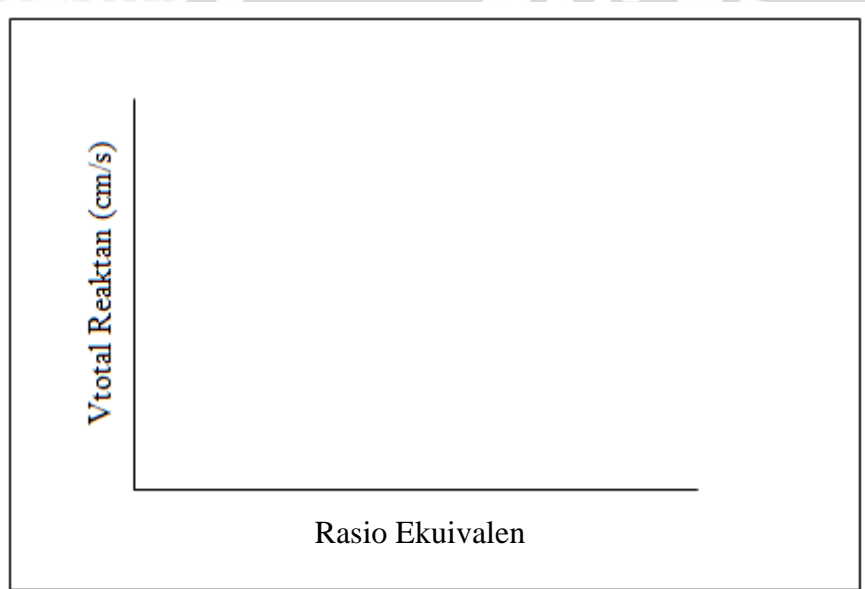
Tabel 3.4 Rencana pengolahan data *flammability limit* untuk Q_f konstan

NO	$Q_f (\text{vapor})$ (ml/hr)	$Q_a (\text{min})$ (ml/min)	$Q_a (\text{max})$ (ml/min)	<i>Lower limit</i>	<i>Upper limit</i>	V_{total} (min)	V_{total} (max)
1							
2							
3							
dst							

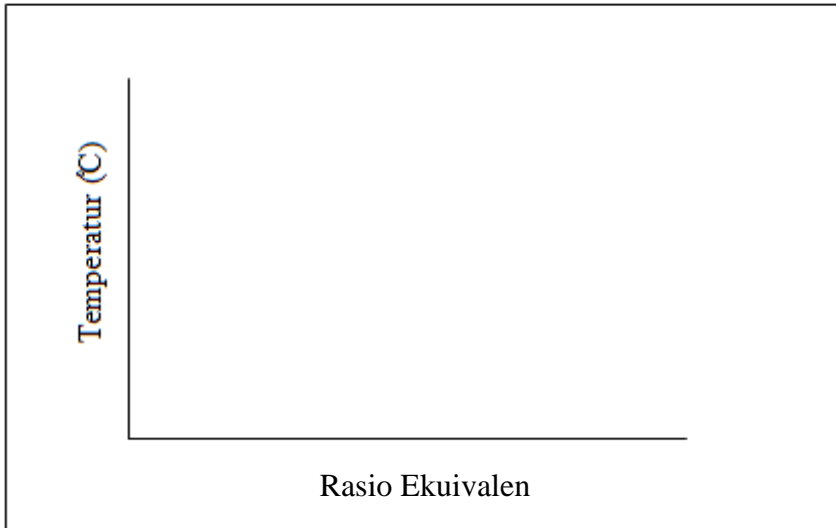
Tabel 3.5 Rencana pengolahan data *flammability limit* untuk Q_a konstan

NO	Q_a (ml/min)	Q_f (vapor) (ml/hr)	Q_f (vapor) (ml/hr)	<i>Lower limit</i>	<i>Upper limit</i>	V_{total} (min)	V_{total} (max)
1							
2							
3							
dst							

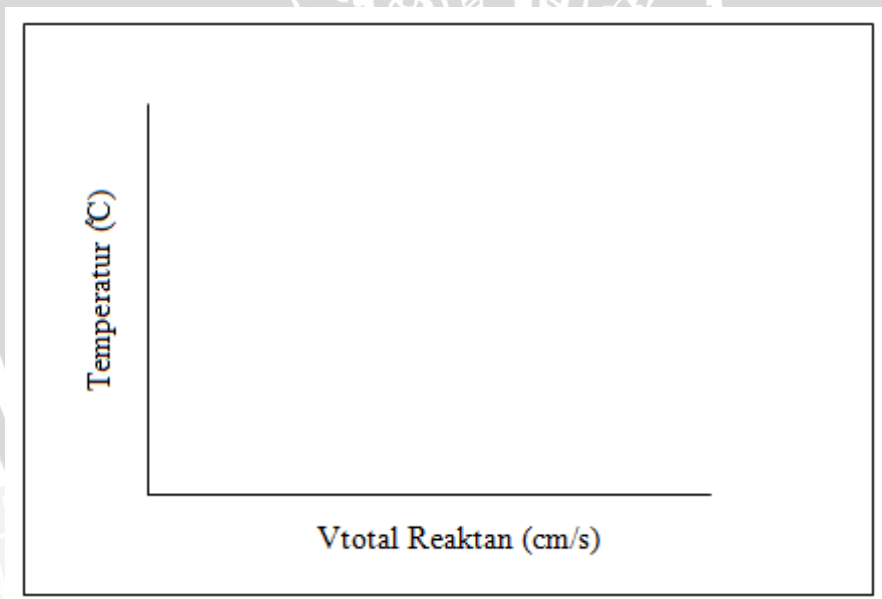
Dari Tabel 3.4 dan Tabel 3.5 dibuat grafik *flammability limit* yang terdiri dari hubungan antara rasio ekuivalen dan kecepatan reaktan

Gambar 3.19 Rencana grafik *Flammability limit*

Selanjutnya untuk rencana pengolahan data temperatur nyala api. Dari data yang telah diperoleh terdapat dua buah variasi bentuk grafik temperatur, yaitu variasi rasio ekuivalen dan kecepatan reaktan. Berikut merupakan tampilan kedua grafik



Gambar 3.20 Rencana grafik hubungan rasio ekuivalen dengan temperatur nyala api dalam *combustor*



Gambar 3.21 Rencana grafik hubungan kecepatan reaktan dengan temperatur nyala api dalam *combustor*