

## BAB III

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental yang dilaksanakan di laboratorium *Thermodynamic Research Group Flame & Combustion* Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia. Penelitian pengaruh sudut injeksi udara terhadap panjang nyala api difusi menggunakan bahan bakar propana (kemurnian 95%) dilakukan dengan 2 (dua) tahap, yaitu :

1. Tahap pertama (tanpa injeksi udara) untuk memperoleh :
  - Pengaruh *Reynolds number* terhadap jarak *lifted flame*, tinggi dan panjang nyala api difusi.
  - Besar laju aliran volume propana, jarak *lifted flame*, tinggi dan panjang nyala api difusi serta temperatur pada kondisi *liftoff*.
  - Pengaruh perubahan panjang nyala api difusi terhadap temperatur ujung nozel dan kecepatan pembakaran (*burning velocity*).
2. Tahap kedua (dengan injeksi udara) menggunakan ring pengarah udara dengan sudut :  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  dan  $75^\circ$  untuk memperoleh :
  - Pengaruh *Reynolds number* campuran udara-propana terhadap jarak *lifted flame*, tinggi dan panjang nyala api difusi.
  - Mengetahui pengaruh perubahan panjang nyala api difusi terhadap temperature ujung nozel dan kecepatan pembakaran (*burning velocity*).

#### 3.1 PERALATAN DAN BAHAN YANG DIGUNAKAN

Peralatan dan bahan utama yang digunakan adalah :

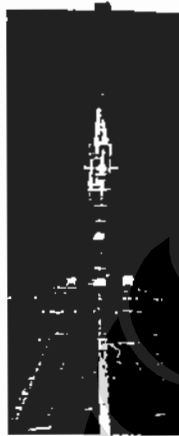
1. *Burner gas tipe ejected combustor*, diameter nozel : 1,8 mm.
2. *Flowmeter* bahan bakar (*Flame Propagation & Stability*, Pabrikan : Unit P.A. Hilton LTD).
3. *Flowmeter* udara (orifice pipa U)
4. Ring pengarah udara dengan sudut :  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $75^\circ$ .
5. Kamera-vidco.
6. *Cover glass* :  $h_{cg} = 1.000$  mm.  $\phi_{in\ cg} = 81,9$  mm dan  $\phi_{out\ cg} = 90,2$  mm.

7. Bahan bakar propana ( $C_3H_8$ ) dengan tingkat kemurnian 95%.

8. *Wet gas meter*, spesifikasi :

- Model : WE-1.5A
- Laju aliran, Max. :  $1.5 \text{ m}^3/\text{h}$  Min.:  $5 \text{ l/h}$
- Pabrikan : *Shinagawa Keisokki Seisakusho CO. LTD*

Gambar peralatan utama untuk penelitian ditunjukkan gambar dibawah ini.



*Burner gas tipe ejected combustor*



*Flowmeter bahan bakar (Rotameter)*



*Flowmeter udara (Orifice)*



*Bahan bakar Propana*



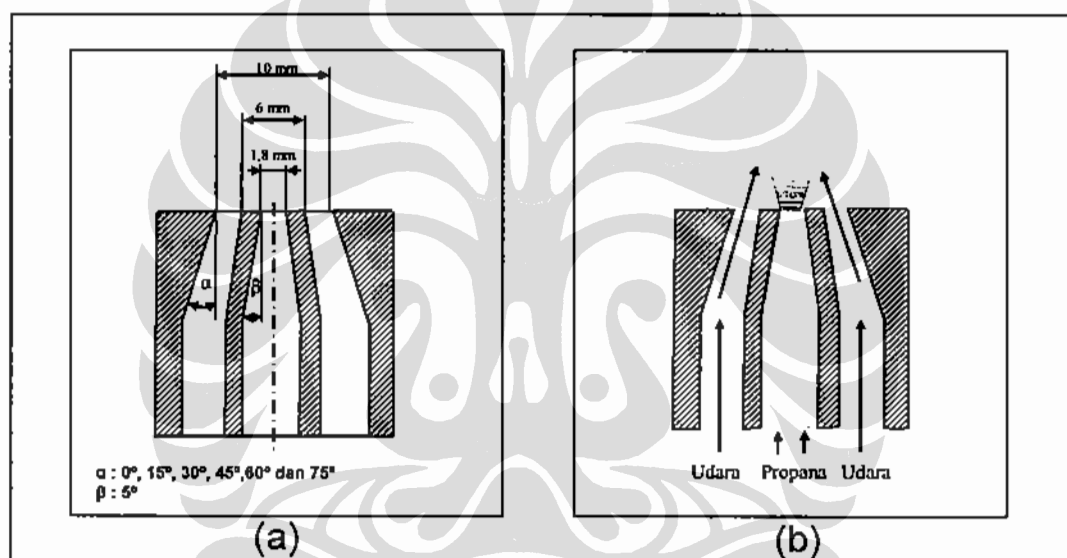
*Ring pengarah udara*

Gambar 3.1. Peralatan dan bahan utama yang digunakan.

### 3.2 SKEMA PENELITIAN

Skema penelitian pengaruh sudut injeksi udara terhadap panjang nyala api difusi terdiri dari dua skema, yaitu : skema aliran udara-propana dan skema peralatan penelitian.

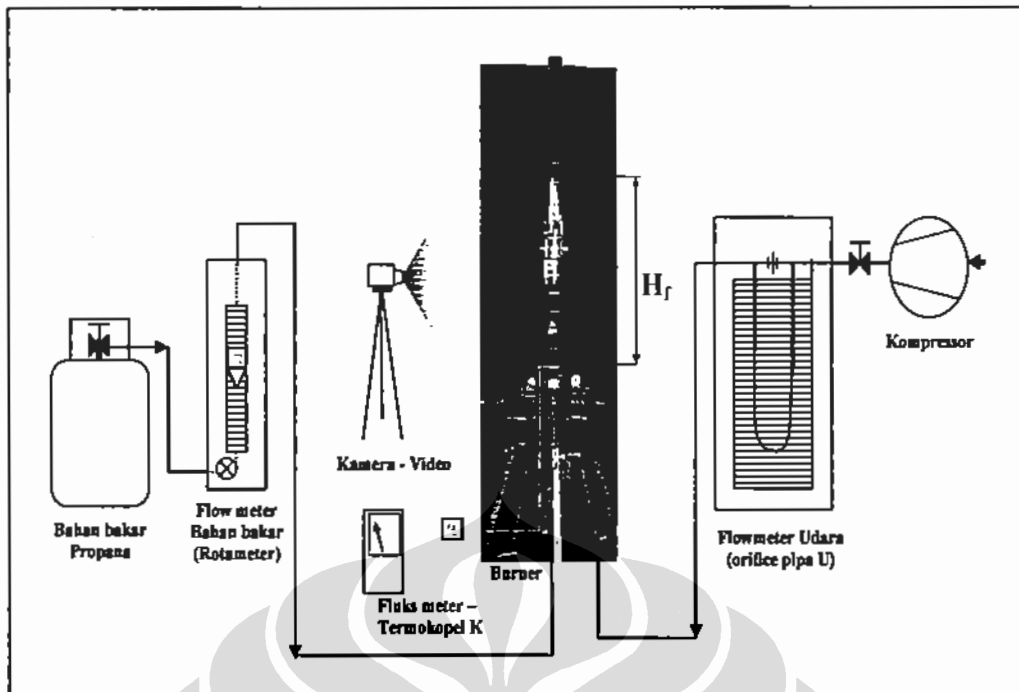
*Burner* yang digunakan pada eksperimen adalah *burner* gas tipe *ejected combustor*, dimana bahan bakar di alirkan melalui nozel tipe *cone* dengan diameter 1,8 mm dan sudut sembur  $5^\circ$  (gambar detail nozel ditunjukkan pada lampiran 1), udara di-injeksikan dengan menggunakan ring pengarah udara dengan diameter 10 mm dan sudut ( $\alpha$ ) :  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  dan  $75^\circ$ . Skema nozel-ring pengarah udara dan skema aliran udara-bahan bakar ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 3.2. (a) Skema nozel-ring pengarah udara

(b) Skema aliran udara-bahan bakar

Sebelum dialirkan ke nozel, propana dari tabung dilewatkan melalui *rotameter* (pengukuran laju aliran propana) dan udara sebelum dialirkan ke ring pengarah udara dilewatkan melalui *orifice* pipa U (pengukuran laju aliran udara). Pembacaan *rotameter* dan *orifice* pipa U disetarakan menggunakan *wet-gas meter*. Skema peralatan penelitian ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 3.3. Skema peralatan penelitian

Penelitian dilakukan dua tahap, tahap pertama tanpa injeksi udara dan tahap kedua dengan injeksi udara.

### 3.2.1 Penelitian Tahap Pertama

Gas propana dari tabung propana dialirkan secara bertahap melalui *rotameter* kemudian diteruskan ke *burner* lalu ke nozel dan selanjutnya diinjeksikan ke dalam ruang bakar *cover glass*. Gas propana yang terdapat pada ruang bakar *cover glass* dinyalakan menggunakan pemantik. Pengaturan laju aliran propana saat penyalaan harus ekstra hati-hati untuk menghindari ledakan di dalam ruang bakar *cover glass*. Laju aliran propana dinaikkan secara bertahap sampai dicapai kondisi nyala api *liftoff* (jarak *lifted flame* konstan terhadap laju aliran *volume* propana). Dalam penelitian tahap pertama digunakan ring pengarah udara sudut  $0^\circ$  dan udara tidak diinjeksikan ke dalam ruang bakar *cover glass*. Setiap perubahan laju aliran propana nyala api difusi diamati dan di-*capture* melalui kamera-video digital (25 fps) serta temperatur nozel di ukur (gambar 3.3). Jarak *lifted flame* dan tinggi nyala api diambil dari jarak *lifted flame* rata-rata dan tinggi rata-rata nyala api difusi hasil *capture* menggunakan *software Adobe Premiere Pro 2.0* dan *software Adobe Photoshop*.

### 3.2.2 Penelitian Tahap Kedua

Data laju aliran *volume* propana, jarak *liftoff* dan tinggi nyala api difusi pada kondisi awal nyala api *liftoff* (penelitian tahap pertama) dipergunakan sebagai referensi pada penelitian tahap dua. Setelah aliran propana diatur sesuai dengan laju aliran kondisi awal *liftoff*, udara dari kompresor dilewatkan ke *orifice* pipa U dan diteruskan ke ring pengarah udara secara bertahap. Setiap perubahan laju aliran udara injeksi, nyala api difusi diamati dan di-*capture* serta temperatur nozel diukur (gambar 3.3). Pada penelitian tahap dua, laju aliran *volume* propana konstan (awal *liftoff*).

### 3.3 DATA PENYETARAAN PEMBACAAN ALAT UKUR *FLOWMETER*

Sebelum pelaksanaan penelitian, dilakukan penyetaraan pembacaan pengukuran peralatan *flowmeter* bahan bakar dan udara untuk memperoleh hasil pengukuran yang presisi.

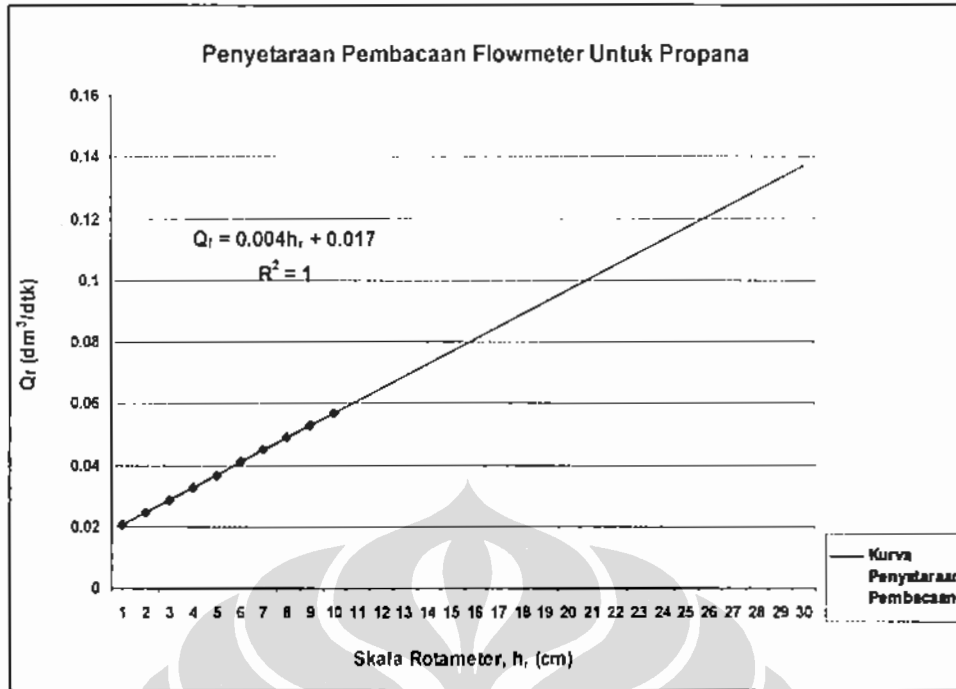
#### 3.3.1 *Flowmeter* Bahan Bakar (*Rotameter*)

*Flowmeter* bahan bakar yang digunakan *Flame Propagation & Stability*, Pabrik : Unit P.A. Hilton LTD, dengan skala menunjukkan dalam cm. Data kalibrasi *flowmeter* ditunjukkan tabel dibawah ini.

Tabel III.1. Penyetaraan pembacaan *rotameter* bahan bakar propana

| Skala Rotameter<br>$h_r$ (cm) | Laju Aliran Volume Propana<br>$Q_r$ (dm <sup>3</sup> /dtk) |
|-------------------------------|--|
| 1                             | 0.021  |
| 2                             | 0.025  |
| 3                             | 0.029  |
| 4                             | 0.033  |
| 5                             | 0.037  |
| 6                             | 0.041  |
| 7                             | 0.045  |
| 8                             | 0.049  |
| 9                             | 0.053  |
| 10                            | 0.057  |

Dari tabel III.1 dapat dibuat kurva dan persamaan penyetaraan pembacaan *flowmeter* untuk bahan bakar propana sebagai berikut :



Gambar 3.4. Penyetaraan pembacaan *rotameter* untuk propana

Persamaan massa aliran propana diperoleh dari gambar 3.4, sebagai berikut :

$$Q_r = 0,004h_r + 0,017 \dots\dots\dots(3.1)$$

### 3.3.2 *Flowmeter* Udara

*Flowmeter* udara yang digunakan adalah tipe pemanfaatan perbedaan ketinggian pada pipa U (*orifice*). Prosedur penyetaraan pembacaan *flowmeter* udara sbb :

1. Posisi *wet gas meter* di *set up*, agar posisi *wet gas meter* setimbang.
2. *Wet gas meter* diisi dengan air sebanyak 5 liter.
3. Pipa U pengukur tekanan udara diisi dengan air secukupnya.
4. Udara dari kompresor dialirkan ke *regulator valve*.
5. Udara dari *regulator valve* diteruskan ke *orifice*.
6. Udara sebelum *orifice* dialirkan ke pipa U.
7. Udara keluaran *orifice* dialirkan ke *wet gas meter*.
8. Akibat tekanan udara, jarum *wet gas meter* berputar yang menunjukkan indikasi laju aliran volume udara (dm<sup>3</sup>/dtk) dan terjadi beda ketinggian air pada pipa U.

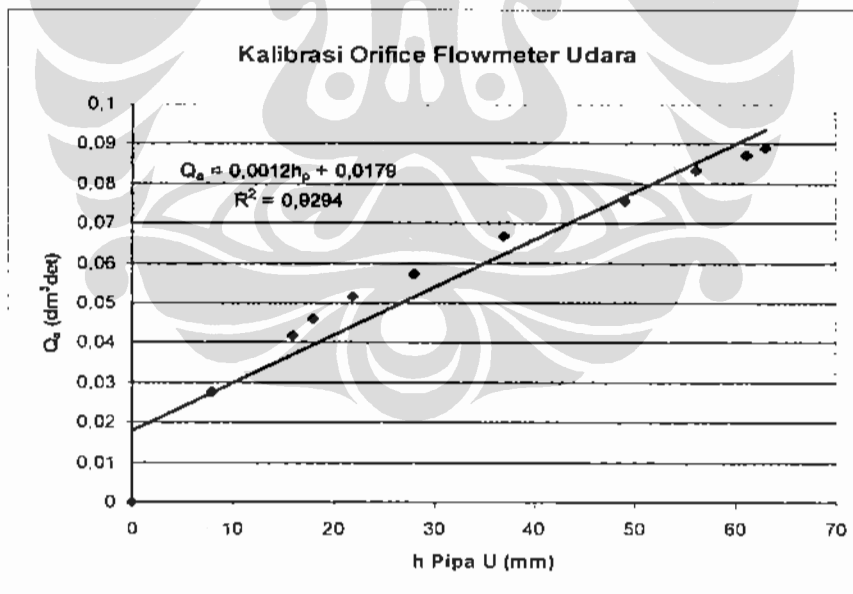
9. Waktu yang dibutuhkan perputaran jarum *wet gas meter* untuk setiap 5 liter dicatat dan beda ketinggian air pada pipa U dicatat.

Data pembacaan *flowmeter* udara ditunjukkan tabel dibawah ini.

Tabel III.2. Data pembacaan *flowmeter* udara

| Skala<br>Pipa U<br>$h_p$ (mm) | Laju Aliran<br>Volume Udara<br>$Q_u$ (dm <sup>3</sup> /dtk) |
|-------------------------------|---|
| 0                             | 0,000   |
| 8                             | 0,028   |
| 16                            | 0,042   |
| 18                            | 0,046   |
| 22                            | 0,052   |
| 28                            | 0,058   |
| 37                            | 0,067   |
| 49                            | 0,076   |
| 56                            | 0,084   |
| 61                            | 0,087   |
| 63                            | 0,089   |

Dari tabel III.2 dapat dibuat kurva dan persamaan pembacaan pipa U (*flowmeter* udara) sebagai berikut :



Gambar 3.5. Penyetaraan pembacaan *flowmeter* udara

Persamaan penyetaraan pembacaan pipa U (*flowmeter* udara) diperoleh dari gambar 3.5, sebagai berikut :

$$Q_u = 0,0012h_p + 0,0179 \dots\dots\dots(3.2)$$

### 3.4 DATA PENELITIAN

Untuk mengetahui pengaruh sudut ring pengarah udara terhadap jarak *lifted flame* dan tinggi nyala api difusi, maka dilakukan penelitian tanpa injeksi udara dan menggunakan injeksi udara (variasi sudut  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  dan  $75^\circ$ ). Jarak *lifted flame*, tinggi dan panjang nyala api difusi, temperatur ujung nozel diukur dengan variasi sebagai berikut :

1. Laju aliran *volume* bahan bakar tanpa injeksi udara.
2. Laju aliran *volume* udara bervariasi dan laju aliran bahan bakar di set konstan.

#### 3.4.1 Penelitian Tahap Pertama (Tanpa Injeksi Udara)

Nyala api difusi hasil *capture* tanpa injeksi udara ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 3.6. Nyala api difusi bahan bakar propana tanpa injeksi udara  
Data laju aliran propana dan temperatur ujung nozel tanpa injeksi udara ditunjukkan tabel dibawah ini.



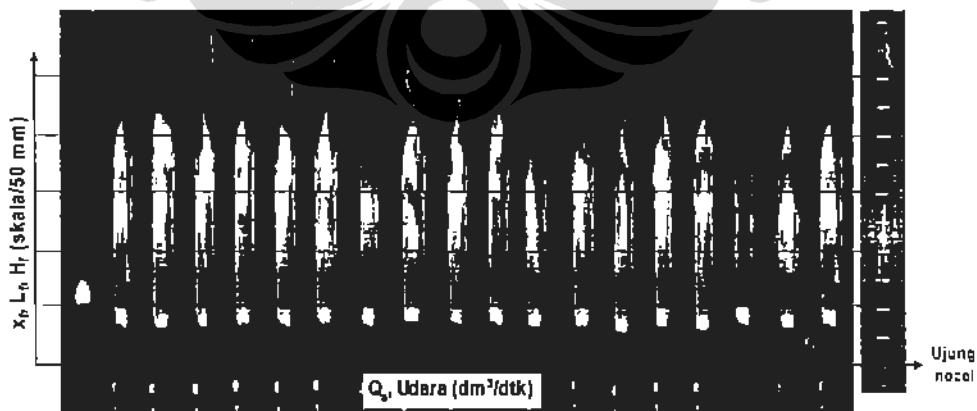
Tabel III.3. Laju aliran *volume* propana dan temperatur ujung nozel nyala api difusi tanpa injeksi udara

| Skala Rotameter (cm) | Laju Aliran Propana (dm <sup>3</sup> /dtk) | Temperatur Ujung Nozel (°C) |
|----------------------|--|-----------------------------|
| 1                    | 0,021                                      | 35,3                        |
| 2                    | 0,025                                      | 36,5                        |
| 3                    | 0,029                                      | 39,0                        |
| 4                    | 0,033                                      | 40,9                        |
| 5                    | 0,037                                      | 42,5                        |
| 6                    | 0,041                                      | 43,6                        |
| 7                    | 0,045                                      | 45,3                        |
| 8                    | 0,049                                      | 46,3                        |
| 9                    | 0,053                                      | 51,2                        |
| 10                   | 0,057                                      | 55,3                        |
| 11                   | 0,061                                      | 57,7                        |
| 12                   | 0,065                                      | 60,0                        |
| 13                   | 0,069                                      | 60,5                        |
| 14                   | 0,073                                      | 61,9                        |
| 15                   | 0,077                                      | 64,0                        |
| 16                   | 0,081                                      | 71,7                        |
| 17                   | 0,085                                      | 72,0                        |
| 18                   | 0,089                                      | 73,5                        |

### 3.4.2 Penelitian Tahap Kedua (Dengan Injeksi Udara)

#### 3.4.2.1 Menggunakan Ring 0°

Nyala api difusi hasil *capture* dengan injeksi udara menggunakan ring 0° ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 3.7. Nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 0° .

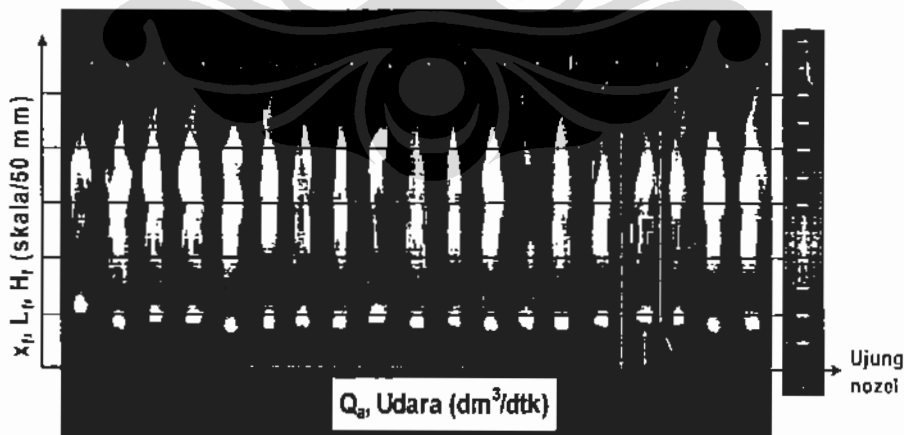
Data laju aliran bahan bakar dan temperature ujung nozel menggunakan ring 0° ditunjukkan tabel dibawah ini.

Tabel III.4. Laju aliran *volume* propana dan temperatur ujung nozel nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 0°

| Skala Pipa U (cm) | Laju Aliran Udara (dm <sup>3</sup> /dtk) | Temperatur Ujung Nozel (°C) |
|-------------------|--|-----------------------------|
| 0                 | 0  | 61                          |
| 1                 | 0,0191                                   | 60                          |
| 2                 | 0,0203                                   | 62                          |
| 3                 | 0,0215                                   | 62                          |
| 4                 | 0,0227                                   | 62                          |
| 5                 | 0,0239                                   | 60                          |
| 6                 | 0,0251                                   | 67                          |
| 7                 | 0,0263                                   | 68                          |
| 8                 | 0,0275                                   | 69                          |
| 9                 | 0,0287                                   | 70                          |
| 10                | 0,0299                                   | 72                          |
| 15                | 0,0359                                   | 77                          |
| 20                | 0,0419                                   | 70                          |
| 25                | 0,0479                                   | 72                          |
| 30                | 0,0539                                   | 74                          |
| 35                | 0,0599                                   | 70                          |
| 40                | 0,0659                                   | 69                          |
| 50                | 0,0779                                   | 70                          |
| 60                | 0,0899                                   | 73                          |

### 3.4.2.2 Menggunakan Ring 15°

Nyala api difusi hasil *capture* dengan injeksi udara menggunakan ring 15° ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 3.8. Nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 15°.

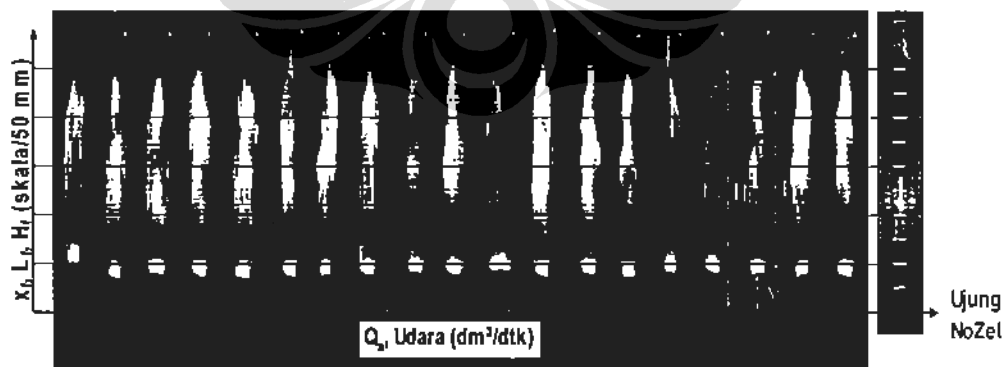
Data laju aliran bahan bakar dan temperature ujung nozel menggunakan ring 15° ditunjukkan tabel dibawah ini.

Tabel III.5. Laju aliran *volume* propana dan temperatur ujung nozel nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 15°

| Skala Pipa U (cm) | Laju Aliran Udara (dm <sup>3</sup> /dtk) | Temperatur Ujung Nozel (°C) |
|-------------------|--|-----------------------------|
| 0                 | 0  | 50,3                        |
| 1                 | 0,0191                                   | 51,7                        |
| 2                 | 0,0203                                   | 54,7                        |
| 3                 | 0,0215                                   | 55,9                        |
| 4                 | 0,0227                                   | 57,7                        |
| 5                 | 0,0239                                   | 58,1                        |
| 6                 | 0,0251                                   | 58,6                        |
| 7                 | 0,0263                                   | 59                          |
| 8                 | 0,0275                                   | 59,5                        |
| 9                 | 0,0287                                   | 58,7                        |
| 10                | 0,0299                                   | 60,1                        |
| 15                | 0,0359                                   | 59,7                        |
| 20                | 0,0419                                   | 61,1                        |
| 25                | 0,0479                                   | 59,9                        |
| 30                | 0,0539                                   | 59,8                        |
| 35                | 0,0599                                   | 59,4                        |
| 40                | 0,0659                                   | 60,3                        |
| 50                | 0,0779                                   | 61,8                        |
| 60                | 0,0899                                   | 60,5                        |

### 3.4.2.3. Menggunakan Ring 30°

Nyala api difusi hasil *capture* dengan injeksi udara menggunakan ring 30° ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 3.9. Nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 30°.

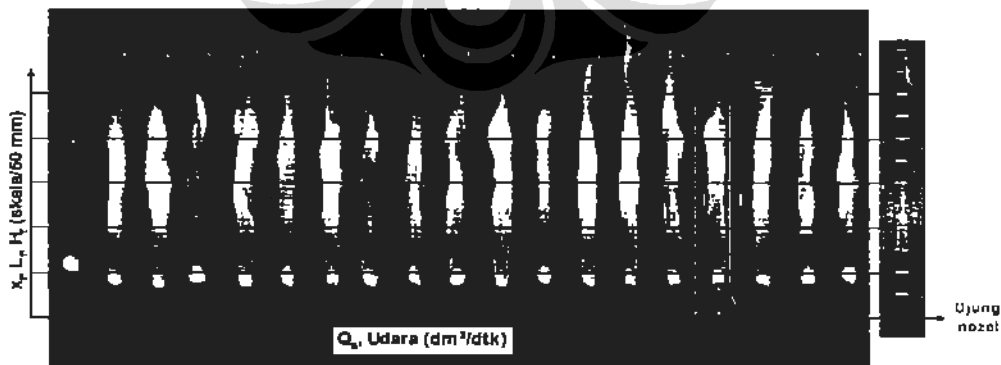
Data laju aliran bahan bakar dan temperature ujung nozel menggunakan ring 30° ditunjukkan tabel dibawah ini.

Tabel III.6. Laju aliran *volume* propana dan temperatur ujung nozel nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 30°

| Skala Pipa U (cm) | Laju Aliran Udara (dm <sup>3</sup> /dtk) | Temperatur Ujung Nozel (°C) |
|-------------------|--|-----------------------------|
| 0                 | 0  | 52,4                        |
| 1                 | 0,0191                                   | 60,2                        |
| 2                 | 0,0203                                   | 64,5                        |
| 3                 | 0,0215                                   | 65,0                        |
| 4                 | 0,0227                                   | 66,2                        |
| 5                 | 0,0239                                   | 66,4                        |
| 6                 | 0,0251                                   | 69,8                        |
| 7                 | 0,0263                                   | 70,6                        |
| 8                 | 0,0275                                   | 72,5                        |
| 9                 | 0,0287                                   | 75,6                        |
| 10                | 0,0299                                   | 77,9                        |
| 15                | 0,0359                                   | 76,3                        |
| 20                | 0,0419                                   | 76,7                        |
| 25                | 0,0479                                   | 75,5                        |
| 30                | 0,0539                                   | 73,8                        |
| 35                | 0,0599                                   | 70,0                        |
| 40                | 0,0659                                   | 72,7                        |
| 50                | 0,0779                                   | 72,9                        |
| 60                | 0,0899                                   | 72,7                        |

#### 3.4.2.4 Menggunakan Ring 45°

Nyala api difusi hasil *capture* dengan injeksi udara menggunakan ring 45° ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 3.10. Nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 45°.

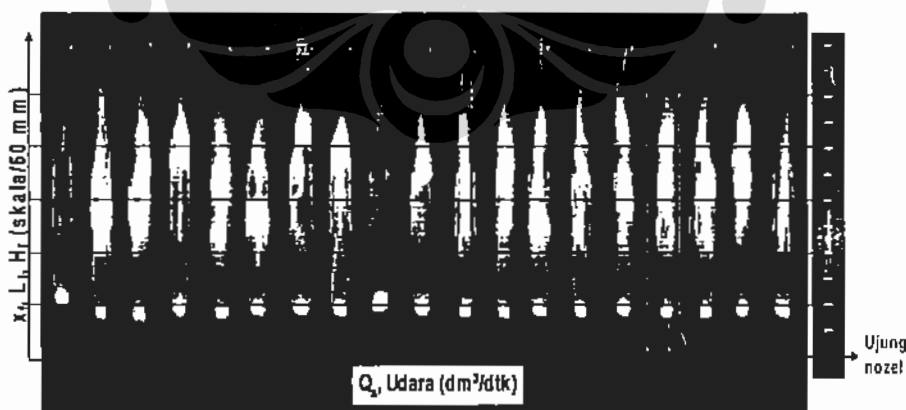
Data laju aliran bahan bakar dan temperature ujung nozel menggunakan ring 45° ditunjukkan tabel dibawah ini.

Tabel III.7. Laju aliran *volume* propana dan temperatur ujung nozel nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 45°

| Skala Pipa U (cm) | Laju Aliran Udara (dm <sup>3</sup> /dtk) | Temperatur Ujung Nozel (°C) |
|-------------------|--|-----------------------------|
| 0                 | 0  | 54,4                        |
| 1                 | 0,0191                                   | 56,3                        |
| 2                 | 0,0203                                   | 56,0                        |
| 3                 | 0,0215                                   | 56,6                        |
| 4                 | 0,0227                                   | 54,6                        |
| 5                 | 0,0239                                   | 57,0                        |
| 6                 | 0,0251                                   | 61,0                        |
| 7                 | 0,0263                                   | 57,4                        |
| 8                 | 0,0275                                   | 57                          |
| 9                 | 0,0287                                   | 58,9                        |
| 10                | 0,0299                                   | 60,2                        |
| 15                | 0,0359                                   | 61,2                        |
| 20                | 0,0419                                   | 60,1                        |
| 25                | 0,0479                                   | 60,1                        |
| 30                | 0,0539                                   | 60,4                        |
| 35                | 0,0599                                   | 60,9                        |
| 40                | 0,0659                                   | 62,9                        |
| 50                | 0,0779                                   | 59,4                        |
| 60                | 0,0899                                   | 58,4                        |

### 3.4.2.5 Menggunakan Ring 60°

Nyala api difusi hasil *capture* dengan injeksi udara menggunakan ring 60° ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 3.11. Nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 60°.

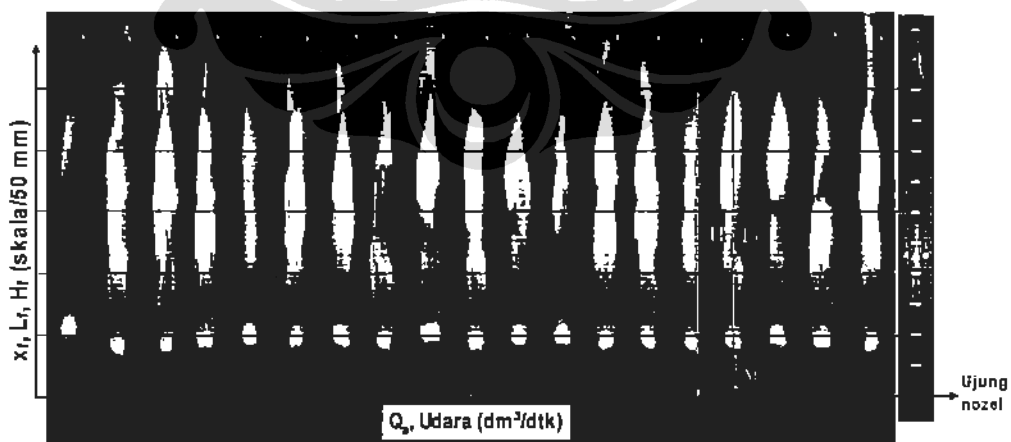
Data laju aliran bahan bakar dan temperatur ujung nozel menggunakan ring 60° ditunjukkan tabel dibawah ini.

Tabel III.8. Laju aliran *volume* propana dan temperatur ujung nozel nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 60°

| Skala Pipa U (cm) | Laju Aliran Udara (dm <sup>3</sup> /dtk) | Temperatur Ujung Nozel (°C) |
|-------------------|--|-----------------------------|
| 0                 | 0  | 51,5                        |
| 1                 | 0,0191                                   | 56,2                        |
| 2                 | 0,0203                                   | 55,7                        |
| 3                 | 0,0215                                   | 55,0                        |
| 4                 | 0,0227                                   | 59,1                        |
| 5                 | 0,0239                                   | 60,5                        |
| 6                 | 0,0251                                   | 57,0                        |
| 7                 | 0,0263                                   | 59,5                        |
| 8                 | 0,0275                                   | 60,1                        |
| 9                 | 0,0287                                   | 61,7                        |
| 10                | 0,0299                                   | 59,0                        |
| 15                | 0,0359                                   | 60,1                        |
| 20                | 0,0419                                   | 59,0                        |
| 25                | 0,0479                                   | 60,6                        |
| 30                | 0,0539                                   | 60,2                        |
| 35                | 0,0599                                   | 61,9                        |
| 40                | 0,0659                                   | 58,6                        |
| 50                | 0,0779                                   | 60,3                        |
| 60                | 0,0899                                   | 61,1                        |

### 3.4.2.6 Menggunakan Ring 75°

Nyala api difusi *visual* dengan injeksi udara menggunakan ring 75° hasil *capture* ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 3.12. Nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 75°.

Data laju aliran bahan bakar dan temperature ujung nozel menggunakan ring 75° ditunjukkan tabel dibawah ini.

Tabel III.9. Laju aliran *volume* propana dan temperatur ujung nozel nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan ring 75°

| Skala Pipa U<br>(cm) | Laju Aliran Udara<br>(dm <sup>3</sup> /dtk) | Temperatur<br>Ujung Nozel (°C) |
|----------------------|---|--------------------------------|
| 0                    | 0   | 51,1                           |
| 1                    | 0,0191                                      | 51,9                           |
| 2                    | 0,0203                                      | 52,8                           |
| 3                    | 0,0215                                      | 55,3                           |
| 4                    | 0,0227                                      | 56,2                           |
| 5                    | 0,0239                                      | 56,9                           |
| 6                    | 0,0251                                      | 54,0                           |
| 7                    | 0,0263                                      | 55,0                           |
| 8                    | 0,0275                                      | 54,3                           |
| 9                    | 0,0287                                      | 57,0                           |
| 10                   | 0,0299                                      | 57,5                           |
| 15                   | 0,0359                                      | 56,8                           |
| 20                   | 0,0419                                      | 58,1                           |
| 25                   | 0,0479                                      | 57,3                           |
| 30                   | 0,0539                                      | 58,6                           |
| 35                   | 0,0599                                      | 59,9                           |
| 40                   | 0,0659                                      | 59,0                           |
| 50                   | 0,0779                                      | 60,3                           |
| 60                   | 0,0899                                      | 60,9                           |

### 3.5 KONDISI LINGKUNGAN

Untuk memperoleh hasil penelitian yang dapat diandalkan maka faktor kondisi lingkungan sekitar *burner* juga diperhitungkan. Kondisi lingkungan saat penelitian dilakukan ditunjukkan tabel dibawah ini.

Tabel III.10. Kondisi lingkungan saat penelitian dilakukan.

| Parameter       | Minimum | Maksimum |
|-----------------|---------|----------|
| Temperatur (°C) | 27      | 36       |
| Kelembapan (%)  | 57      | 88       |