

BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada pembakaran *premixed* minyak jarak dengan variasi ketebalan *circular tube burner* diperoleh data yang akan dijelaskan dalam bentuk tabel. Data hasil penelitian yang berupa tinggi api dan sudut api (Θ) dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan untuk temperatur api dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Data hasil penelitian tinggi api dan sudut api

| No. | Q _{udara} (ml/menit) | Tinggi api (mm) | | | Sudut api ($^{\circ}$) | | |
|-----|-------------------------------|-----------------|----------------|----------------|--------------------------|----------------|----------------|
| | | B ₁ | B ₂ | B ₃ | B ₁ | B ₂ | B ₃ |
| 1 | 20 | 10,15 | 10,02 | 7,66 | 23,06 | 27,57 | 29,85 |
| 2 | 40 | 8,78 | 8,65 | 7,74 | 23,24 | 27,16 | 30,92 |
| 3 | 60 | 8,42 | 8,35 | 8,26 | 23,55 | 29,53 | 32,56 |
| 4 | 80 | 8,16 | 7,61 | 8,06 | 28,47 | 30,75 | 33,02 |
| 5 | 100 | 8,12 | 7,92 | 7,22 | 27,69 | 30,66 | 36,34 |
| 6 | 120 | 7,47 | 5,97 | 5,88 | 26,29 | 33,16 | 36,31 |
| 7 | 140 | 7,21 | 5,67 | 5,33 | 26,93 | 30,27 | 34,08 |
| 8 | 160 | 5,67 | 4,75 | 4,68 | 27,88 | 35,94 | 37,54 |
| 9 | 180 | 5,13 | 4,9 | 4,38 | 35,6 | 36,18 | 38,18 |
| 10 | 200 | 3,94 | 4,36 | 4,06 | 42,26 | 44,5 | 44,96 |
| 11 | 220 | 3,79 | 3,92 | 3,69 | 44,52 | 45,67 | 48,6 |
| 12 | 240 | 3,49 | 4,07 | 3,3 | 44,64 | 46,07 | 51,16 |
| 13 | 260 | - | 3,29 | 3,43 | - | 41,98 | 48,77 |
| 14 | 280 | - | 3,18 | 4,4 | - | 45,17 | 49,04 |
| 15 | 300 | - | - | 3,34 | - | - | 50,7 |
| 16 | 320 | - | - | 2,62 | - | - | 50,03 |
| 17 | 340 | - | - | 3,12 | - | - | 51,4 |
| 18 | 360 | - | - | 3,09 | - | - | 46,23 |

Keterangan:

B₁ = *Burner* dengan ketebalan 0,5 mm

B₂ = *Burner* dengan ketebalan 1 mm

B₃ = *Burner* dengan ketebalan 2 mm

Tabel 4.2 Data hasil penelitian temperatur api

| No | Kondisi | Temperatur api B ₁ (°C) | | | Temperatur api B ₂ (°C) | | | Temperatur api B ₃ (°C) | | |
|----|------------|---------------------------------------|----------------|----------------|---------------------------------------|----------------|----------------|---------------------------------------|----------------|----------------|
| | | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₁ | T ₂ | T ₃ |
| 1. | Api difusi | 383 | 617 | 693 | 401 | 632 | 804 | 421 | 830 | 811 |
| 2. | Φ = 2,129 | 490 | 620 | 702 | 536 | 714 | 810 | 696 | 860 | 851 |
| 3. | Φ = 1,891 | 510 | 621 | 721 | 581 | 723 | 808 | 791 | 924 | 857 |
| 4. | Φ = 1,419 | 472 | 653 | 742 | 601 | 783 | 812 | 798 | 925 | 968 |
| 5. | Φ = 1,217 | - | - | - | 632 | 769 | 843 | 776 | 927 | 992 |
| 6. | Φ = 0,947 | - | - | - | - | - | - | 753 | 911 | 988 |

Keterangan:

T₁ = Temperatur api pada bagian tengah (°C)

T₂ = Temperatur api pada bagian puncak (°C)

T₃ = Temperatur api pada bagian samping (°C)

4.2 Perhitungan Data

Pada persamaan (2-2) tentang pembakaran stoikiometri 100 gram minyak jarak dan Tabel 2.2 didapatkan,

$$(AFR)_{stoic} = \left(\frac{M_{udara}}{M_{bahan bakar}} \right) = \frac{1236,769 \text{ gram udara}}{100 \text{ gram bahan bakar}} = 12,36769 \frac{\text{gram udara}}{\text{gram bahan bakar}}$$

4.2.1 Perhitungan Rasio Ekuivalen (Φ)

Rasio ekuivalen (Φ) merupakan perbandingan antara rasio udara-bahan bakar (AFR) stoikiometri dengan rasio udara-bahan bakar (AFR) aktual.

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

Untuk menghitung rasio ekuivalen dapat dilakukan dengan cara berikut:

- Menentukan AFR aktual dapat dicari dengan menggunakan perbandingan massa alir udara dan bahan bakar.

$$(AFR)_{aktual} = \left(\frac{\dot{m}_{udara}}{\dot{m}_{bahan bakar}} \right) = \left(\frac{\rho_{udara} \cdot Q_{udara}}{\rho_{minyak jarak} \cdot Q_{penguapan minyak jarak}} \right)$$

Dengan:

\dot{m}_{udara} = massa alir udara (gram/s)

$\dot{m}_{bahan bakar}$ = massa alir bahan bakar (gram/s)

ρ_{udara} = massa jenis udara (gram/ml)

$\rho_{\text{minyak jarak}}$ = massa jenis minyak jarak (gram/ml)

Q_{udara} = debit udara (ml/menit)

$Q_{\text{penguapan minyak jarak}}$ = debit penguapan minyak jarak (ml/menit)

Misalkan berdasarkan tabel 4.1 pada baris nomor 12 debit udara 240 ml/menit dan debit penguapan minyak jarak 0,0464 ml/menit (konstan), maka:

$$\begin{aligned} (AFR)_{\text{aktual}} &= \left(\frac{\rho_{\text{udara}} \cdot Q_{\text{udara}}}{\rho_{\text{bahan bakar}} \cdot Q_{\text{bahan bakar}}} \right) \\ &= \left(\frac{0,0012 \frac{\text{gram}}{\text{ml}} \cdot 240 \frac{\text{ml}}{\text{menit}}}{0,712 \frac{\text{gram}}{\text{ml}} \cdot 0,0464 \frac{\text{ml}}{\text{menit}}} \right) \\ &= 8,7104 \end{aligned}$$

- Menentukan rasio ekuivalen sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Phi &= \frac{AFR_{\text{stoic}}}{AFR_{\text{act}}} \\ &= \frac{12,3677}{8,7104} \\ &= 1,4199 \end{aligned}$$

4.2.2 Perhitungan Kecepatan Pembakaran

Kecepatan pembakaran dapat dihitung dengan rumus

$$S_L = v_u \sin \theta$$

Dengan:

S_L = kecepatan pembakaran (cm/detik)

v_u = kecepatan reaktan (cm/detik)

θ = sudut antara api dengan sumbu *burner* ($^{\circ}$)

Untuk menghitung kecepatan pembakaran dapat dilakukan dengan cara berikut:

- Menentukan kecepatan reaktan dapat dicari dengan rumus perbandingan:

$$v_u = \left(\frac{Q_{\text{bahan bakar}} + Q_{\text{udara}}}{A} \right)$$

Dengan:

A = luas lubang *burner* (mm^2)

$Q_{\text{bahan bakar}}$ merupakan debit uap minyak jarak pagar. Untuk menentukan debit uap minyak jarak pagar, kita tentukan volumenya uap minyak jarak pagar. Pada kondisi STP (*Standard Temperature and Pressure*), 1 mol = 22,4 L. Mol dari minyak jarak pagar adalah 0,36 mol = 8024 mL. Jadi volum dari uap minyak jarak pagar adalah 8024

mL. Massa minyak jarak pagar yaitu 100 gram. Sehingga nilai dari massa jenis uap minyak jarak pagar adalah

$$\rho_{uap} = \frac{m}{V}$$

$$\rho_{uap} = \frac{100 \text{ gr}}{8064 \text{ mL}}$$

$$\rho_{uap} = 0,0124 \text{ g/mL}$$

Massa jenis uap di atas adalah massa jenis pada temperatur ruang (27°C). Untuk massa jenis uap pada saat menguap ($278,8^{\circ}\text{C}$) adalah

$$P = \rho RT$$

Pada P dan R konstan maka

$$\rho_1 T_1 = \rho_2 T_2$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

$$\frac{300 \text{ K}}{551,8 \text{ K}} = \frac{\rho_2}{0,0124 \text{ gram/mL}}$$

$$\rho_2 = 0,0067 \text{ gram/mL}$$

Dari hukum kontinuitas

massa alir minyak jarak = massa alir uap minyak jarak

$(\rho \times Q) \text{ minyak} = (\rho \times Q) \text{ uap minyak}$

$$0,71 \frac{\text{gram}}{\text{mL}} \times 0,0464 \frac{\text{mL}}{\text{menit}} = 0,0067 \frac{\text{gram}}{\text{mL}} \times Q$$

$$Q = 4,917 \text{ mL/menit}$$

Misalkan berdasarkan tabel 4.1 pada baris nomor 12 debit udara 240 ml/menit, maka:

$$v_u = \left(\frac{240 \frac{\text{cm}^3}{\text{menit}} + 4,917 \frac{\text{cm}^3}{\text{menit}}}{3,14 \cdot (0,15 \text{ cm})^2} \right) = 3466,624 \text{ cm/menit} = 57,78 \text{ cm/detik}$$

- Menentukan sudut api (θ)

Sudut api (θ) merupakan sudut antara api dengan sumbu *burner*. Pada penelitian ini, θ didapat dari pengolahan foto visualisasi api pada **Lampiran 2**. Pada **Lampiran 2**, pada saat debit udara 240 ml/menit dan debit bahan bakar 0,0464 ml/menit pada *burner* dengan tebal 0,5 mm didapati $\theta = 51,16^{\circ}$.

Gambar 4.1 Pengukuran sudut api (θ)

- Menentukan kecepatan pembakaran sebagai berikut:

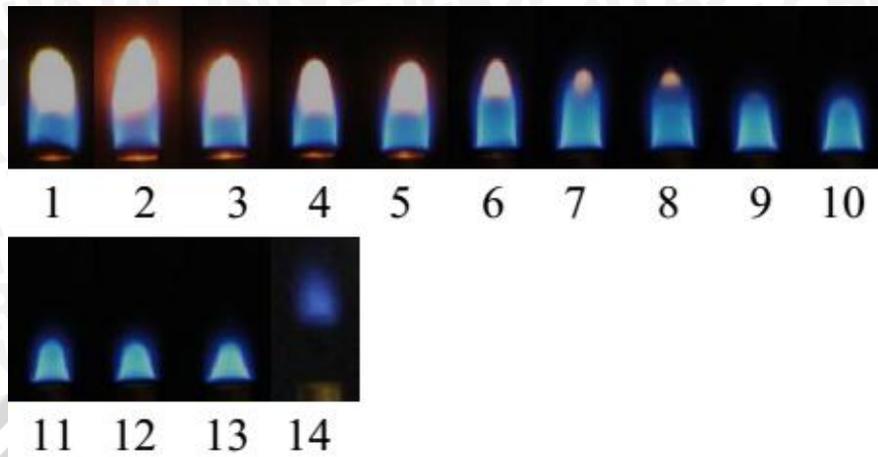
$$\begin{aligned}
 S_L &= v_u \sin \theta \\
 &= 57,78 \text{ cm/detik} \cdot \sin 51,16^\circ \\
 &= 45,0048 \text{ cm/detik}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Data hasil perhitungan

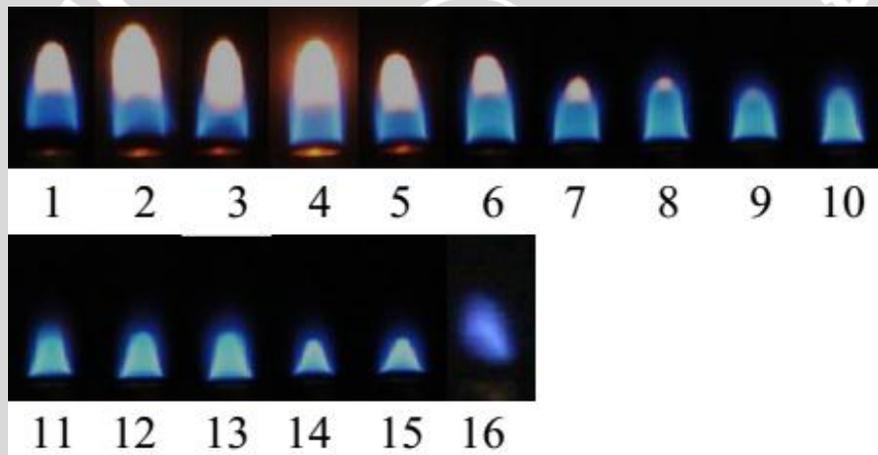
| No. | Q_{bb} (ml/mnt) | Q_{ud} (ml/mnt) | v_u (cm/dtk) | AFR_{stoic} | AFR_{Aktual} | Φ | S_L (cm/detik) | | |
|-----|----------------------|----------------------|-------------------|---------------|----------------|--------|------------------|---------|---------|
| | | | | | | | B1 | B2 | B3 |
| 1 | 4,917 | 20 | 5,8780 | 12,3676 | 0,7259 | 17,038 | 2,3027 | 2,7209 | 2,9260 |
| 2 | 4,917 | 40 | 10,5961 | 12,3676 | 1,4517 | 8,5192 | 4,1816 | 4,8375 | 5,4454 |
| 3 | 4,917 | 60 | 15,3142 | 12,3676 | 2,1776 | 5,6795 | 6,1195 | 7,5490 | 8,2428 |
| 4 | 4,917 | 80 | 20,0323 | 12,3676 | 2,9035 | 4,2596 | 9,5505 | 10,2436 | 10,9175 |
| 5 | 4,917 | 100 | 24,7504 | 12,3676 | 3,6293 | 3,4077 | 11,5026 | 12,6228 | 14,6681 |
| 6 | 4,917 | 120 | 29,4685 | 12,3676 | 4,3551 | 2,8397 | 13,0536 | 16,1205 | 17,4518 |
| 7 | 4,917 | 140 | 34,1866 | 12,3676 | 5,0811 | 2,4341 | 15,4850 | 17,2346 | 19,1586 |
| 8 | 4,917 | 160 | 38,9047 | 12,3676 | 5,8069 | 2,1298 | 18,1948 | 22,8372 | 23,7078 |
| 9 | 4,917 | 180 | 43,6228 | 12,3676 | 6,5328 | 1,8931 | 25,3967 | 25,7545 | 26,9677 |
| 10 | 4,917 | 200 | 48,3409 | 12,3676 | 7,2587 | 1,7038 | 32,5125 | 33,8860 | 34,1618 |
| 11 | 4,917 | 220 | 53,0590 | 12,3676 | 7,9845 | 1,5489 | 37,2065 | 37,9583 | 39,8040 |
| 12 | 4,917 | 240 | 57,7771 | 12,3676 | 8,7104 | 1,4199 | 40,6012 | 41,6145 | 45,0068 |
| 13 | 4,917 | 260 | 62,4952 | 12,3676 | 9,4362 | 1,3106 | - | 41,8056 | 47,0053 |
| 14 | 4,917 | 280 | 67,2133 | 12,3676 | 10,1621 | 1,2170 | - | 47,6726 | 50,7622 |
| 15 | 4,917 | 300 | 71,9314 | 12,3676 | 10,8880 | 1,1359 | - | - | 55,6686 |
| 16 | 4,917 | 320 | 76,6494 | 12,3676 | 11,6138 | 1,0649 | - | - | 58,7482 |
| 17 | 4,917 | 340 | 81,3675 | 12,3676 | 12,3397 | 1,0023 | - | - | 63,5963 |
| 18 | 4,917 | 360 | 86,0856 | 12,3676 | 13,0656 | 0,9466 | - | - | 62,1706 |

4.3 Pembahasan

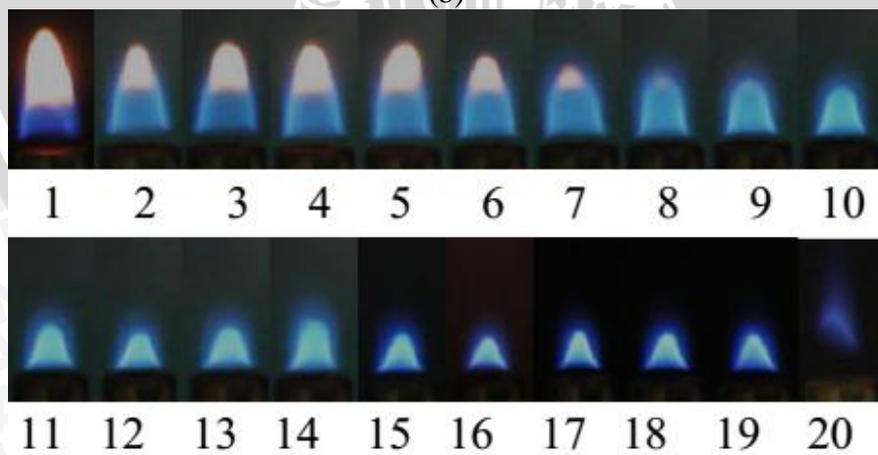
4.3.1 Visualisasi Nyala Api



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2 Visualisasi api dari pembakaran *premixed* minyak jarak pada *burner* dengan ketebalan berbeda, a. 0,5 mm, b. 1 mm, c. 2 mm

Gambar 4.2 menunjukkan visualisasi nyala api pada *burner* yang memiliki ketebalan yang berbeda. *Equivalence ratio* untuk api pada Gambar 4.2 berturut – turut adalah api difusi, 17,0384; 8,5192; 5,6795; 4,2596; 3,4077; 2,8397; 2,4341; 2,1298; 1,8931; 1,7038; 1,5489; 1,4199; 1,3106; 1,2170; 1,1359; 1,0649; 1,0023; 0,9466; 0,8968.

Pada *burner* dengan ketebalan 0,5 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 3a, api mulai mengalami *lift off* pada $\phi = 1,4199$ dan nyala api mengalami *blow off* saat $\phi = 1,3106$ (no. 14). Untuk *burner* dengan ketebalan 1 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2b, api mulai mengalami *lift off* pada $\phi = 1,2170$ dan *blow off* saat $\phi = 1,1359$ (no. 16). Sedangkan pada *burner* dengan ketebalan 2 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2c, api mulai mengalami *lift off* pada $\phi = 1,0023$ dan *blow off* saat $\phi = 0,8968$ (no. 20).

Pada api difusi di atas nampak bahwa nyala api didominasi warna kuning dan biru. Warna kuning ini menunjukkan adanya pembakaran difusi dan terjadinya pembentukan jelaga. Pada bagian tengah api biru berwarna gelap. Daerah ini merupakan zona pemanasan awal pada api difusi. Daerah ini biasa disebut api *premixed* sebagian. Pada daerah ini hampir tidak ada pembakaran dan merupakan daerah kaya bahan bakar. Pada api difusi, bahan bakar dan udara bercampur di zona reaksi akibat difusi molekul dan setelah bercampur sempurna kemudian langsung terbakar. Sebelum api difusi terbentuk terlebih dahulu bahan bakar dan udara bercampur di daerah pencampuran awal dan terbakar membentuk api *premixed* sebagian. Peran api *premixed* sebagian ini adalah sebagai penyetabil api difusi. Api difusi tidak bisa merambat menuju ke bahan bakar karena kekurangan oksigen demikian juga sebaliknya tidak bisa merambat ke udara karena kekurangan bahan bakar. Jadi posisi api difusi adalah pada daerah campuran udara dan bahan bakar stoikiometri.

Pada Gambar 4.2a-4.2c nampak kecenderungan bahwa dari nyala api difusi sampai $\phi = 2,4341$ tampak bahwa masih ada warna kuning dalam api tersebut. Dari $\phi = 2,1298$ (no.9) sampai nyala api menjelang *blow off* memiliki kecenderungan api berwarna biru. Hal ini dikarenakan semakin kecil *equivalence ratio* maka kadar udara semakin besar dan menyebabkan api cenderung berwarna biru. Pada api yang berwarna biru ini terlihat 2 lapis kerucut. Pada kerucut bagian dalam berwarna biru terang dan dibatasi warna biru putih merupakan api *premixed*. Bagian kedua adalah kerucut bagian

luar. Bagian ini berwarna biru tipis dan cenderung samar yang merupakan api difusi dari lingkungan.

Pada Gambar 4.2a-4.2c menunjukkan seiring berkurangnya *equivalence ratio* dan mendekati $\phi = 1$ api semakin pendek, kerucut semakin runcing dan warna api semakin terang (biru dengan sedikit putih). Hal ini dikarenakan semakin berkurangnya *equivalence ratio* maka udara dalam reaktan akan semakin besar yang mana akan mempengaruhi terjadinya reaksi pembakaran. Hal ini akan menyebabkan warna api cenderung lebih biru dengan sedikit putih (lebih terang) karena sebagian besar bahan bakar telah terbakar dengan oksidator udara sampai terbakar semuanya. Warna api ini (biru terang dengan sedikit putih) akan cenderung memiliki temperatur lebih tinggi seperti tampak pada Gambar 4.5 tentang hubungan *equivalence ratio* terhadap temperatur api.

Pada Gambar 4.2a-4.2c menunjukkan kecenderungan dimensi api mengecil seiring bertambah kecilnya *equivalence ratio* pada semua ketebalan *burner*. Hal ini dikarenakan semakin berkurangnya *equivalence ratio* maka reaktan tersebut semakin miskin bahan bakar dan kaya udara. Dimana kadar udara yang semakin besar mempengaruhi reaksi pembakaran sehingga mempengaruhi dimensi api. Peningkatan kadar udara ini akan mengakibatkan bahan bakar yang terbakar semakin banyak, sehingga pembakaran mendekati pembakaran sempurna yang pada akhirnya menyebabkan dimensi api mengecil karena kecepatan pembakaran bertambah sampai terjadi pembakaran stoikiometri.

Jika dibandingkan antar ketebalan *burner* pada *equivalence ratio* yang sama, menunjukkan kecenderungan *burner* yang lebih tipis cenderung memiliki dimensi api lebih besar dibanding *burner* yang lain. Hal ini dikarenakan bahwa dengan bertambah kecilnya ketebalan *burner* maka resirkulasi panas dari nyala api ke reaktan menjadi lebih kecil.

Pada masing – masing *burner* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2, memiliki kondisi *blow off* yang berbeda - beda. Pada $\phi = 1,3106$ api dalam kondisi *blow off* untuk *burner* dengan tebal 0,5 mm. Sedangkan untuk *burner* dengan tebal 1 mm dan 2 mm, kondisi *blow off* terjadi pada $\phi = 1,1359$ dan $\phi = 0,84968$. Hal ini menunjukkan bahwa ketebalan *burner* mempengaruhi kestabilan api. Dimana *burner* yang lebih tebal cenderung tidak mudah *blow off* (lebih stabil). Penyebab dari terjadinya *blow off* adalah karena kecepatan reaktannya lebih besar daripada kecepatan pembakarannya. Semakin

tebal *circular tube burner* maka luas daerah kontak antara api dan *burner* semakin besar, dengan bertambah tebalnya *burner* maka resirkulasi panas dari nyala api ke reaktan menjadi lebih besar, sehingga kecepatan pembakarannya semakin bertambah. Dengan bertambah besarnya kecepatan pembakaran maka akan menyebabkan kestabilan api semakin besar.

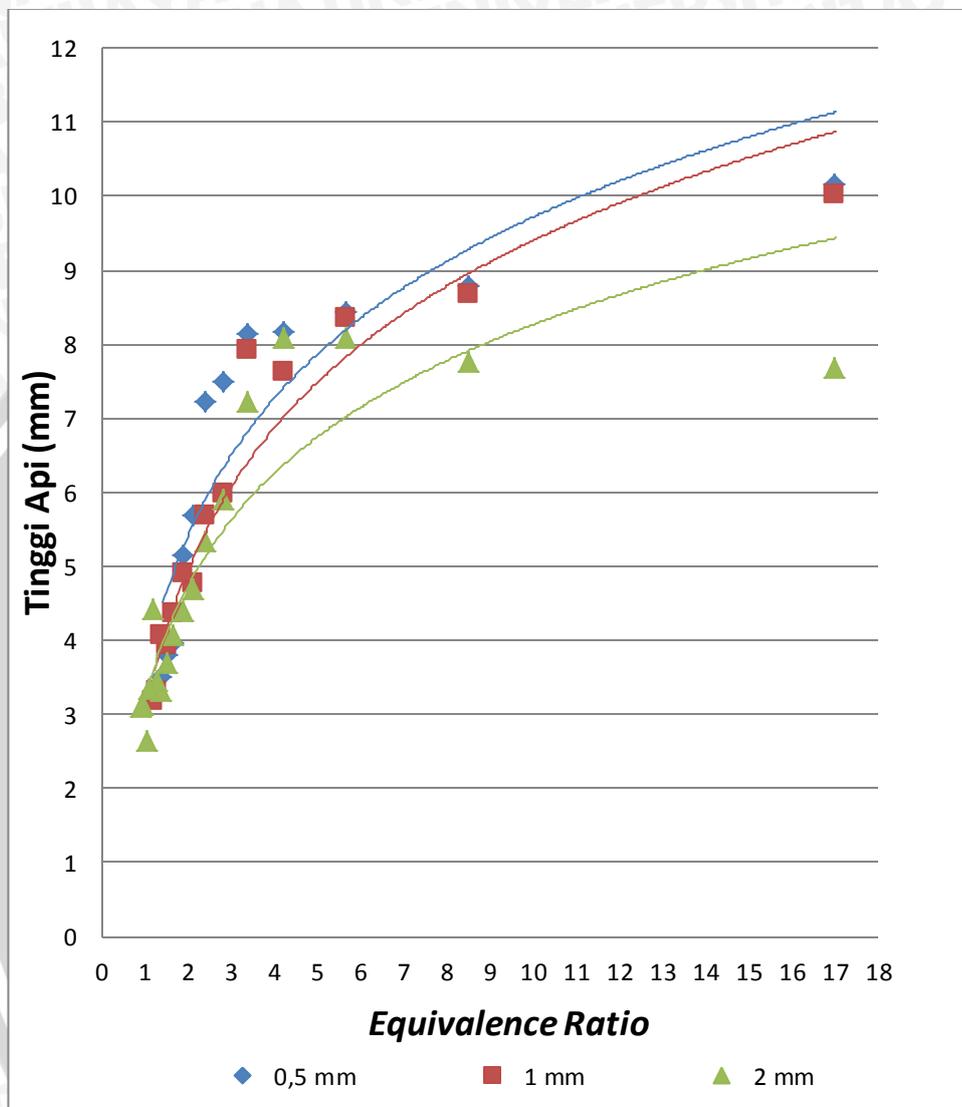
Pada penelitian ini nampak bahwa pembakaran terjadi pada kondisi kaya bahan bakar yang tampak pada nilai *equivalence ratio* (ϕ) yang cenderung besar. Dimana *equivalence ratio* terbesar adalah pada $\phi = 17,0384$ (no. 2) pada semua ketebalan *burner*. Penyimpangan ini dimungkinkan terjadi karena pembakaran yang terjadi bukan murni pembakaran *premixed* saja, akan tetapi pembakaran ini mendapat pengaruh yang cukup besar dari udara lingkungan yang berdifusi terhadap api tersebut. Hal ini dibuktikan pada api difusi yang mana tidak mendapat suplai udara dari kompresor pun, api mampu menyala.

Selain hal tersebut, fenomena difusi udara lingkungan ini akan mengakibatkan perbedaan nilai *equivalence ratio* hasil perhitungan dan *equivalence ratio* sesungguhnya. Pada *equivalence ratio* hasil perhitungan akan lebih besar nilainya daripada *equivalence ratio* sesungguhnya karena *equivalence ratio* hasil perhitungan tidak menghitung pengaruh udara lingkungan yang berdifusi ke dalam api sehingga mempengaruhi komposisi udara dalam api tersebut. Pengaruh yang cukup besar dari udara lingkungan terhadap api pembakaran ini terjadi karena pembakaran terjadi pada lingkungan yang terbuka.

Pada Gambar 4.2 nampak bahwa pada $\phi = 1,3106$ api dalam kondisi *blow off* untuk *burner* dengan tebal 0,5 mm. Sedangkan untuk *burner* dengan tebal 1 mm dan 2 mm, kondisi *blow off* terjadi pada $\phi = 1,1359$ dan $\phi = 0,84968$. Penyimpangan terjadi jika dilihat pada kondisi *blow off*nya dimana api sudah mengalami *blow off* sebelum *equivalence ratio* mencapai kondisi stoikiometri ($\phi = 1$). Hal ini kemungkinan terjadi karena perhitungan dari penelitian ini ditinjau dari pengurangan volume minyak jarak. Pada saat proses penguapan minyak jarak (mendidih) terdapat gelembung uap di dalam minyak tersebut. Gelembung uap tersebut akan mempengaruhi volume minyak jarak, dalam hal ini volume minyak jarak terlihat lebih banyak. Hal tersebut pada akhirnya akan mempengaruhi hasil perhitungan *equivalence ratio* menjadi lebih besar dari nilai sebenarnya. Selain itu, kondisi *blow off* ini juga dipengaruhi dari dimensi *burner* seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

4.3.2 Hubungan Variasi *Equivalence Ratio* terhadap Tinggi Api

Grafik hubungan variasi *equivalence ratio* terhadap tinggi api pada ketebalan *burner* yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut:



Gambar 4.3 Hubungan variasi *equivalence ratio* terhadap tinggi api pada ketebalan *burner* yang berbeda

Pada Gambar 4.3 menunjukkan kecenderungan tinggi api meningkat seiring bertambahnya *equivalence ratio* pada semua ketebalan *burner*. Tinggi api tertinggi terjadi pada *burner* dengan tebal 0,5 mm sebesar 10,15 mm pada $\phi = 17,0384$ sedangkan tinggi api terendah terjadi pada *burner* dengan tebal 2 mm sebesar 2,62 mm pada $\phi = 1,0649$. Hal ini disebabkan semakin tinggi *equivalence ratio* maka reaktan tersebut lebih kaya bahan bakar dan miskin udara. Dimana kadar udara yang semakin kecil mempengaruhi reaksi pembakaran sehingga mempengaruhi tinggi api. Penurunan

kadar udara ini akan mengakibatkan bahan bakar yang belum terbakar sempurna semakin banyak sehingga bahan bakar yang terbakar secara difusi dengan udara sekitar meningkat menyebabkan api lebih tinggi.

Jika dibandingkan tinggi api pada *burner* yang memiliki ketebalan berbeda. Maka *burner* dengan ketebalan 0,5 mm (paling tipis) cenderung memiliki tinggi api lebih tinggi dibanding *burner* yang lain. Hal ini dikarenakan bahwa dengan bertambah tipisnya *burner* maka resirkulasi panas dari nyala api ke reaktan menjadi lebih kecil. Seperti kita ketahui bahwa resirkulasi panas ini akan mempercepat terjadinya reaksi pembakaran. Pada *burner* yang lebih tipis reaksi pembakarannya akan terjadi lebih lambat daripada *burner* yang lebih tebal. Hal ini akan menyebabkan bahan bakar yang belum terbakar sempurna lebih banyak pada *burner* yang lebih tipis sehingga bahan bakar yang terbakar secara difusi dengan udara sekitar meningkat menyebabkan api lebih tinggi.

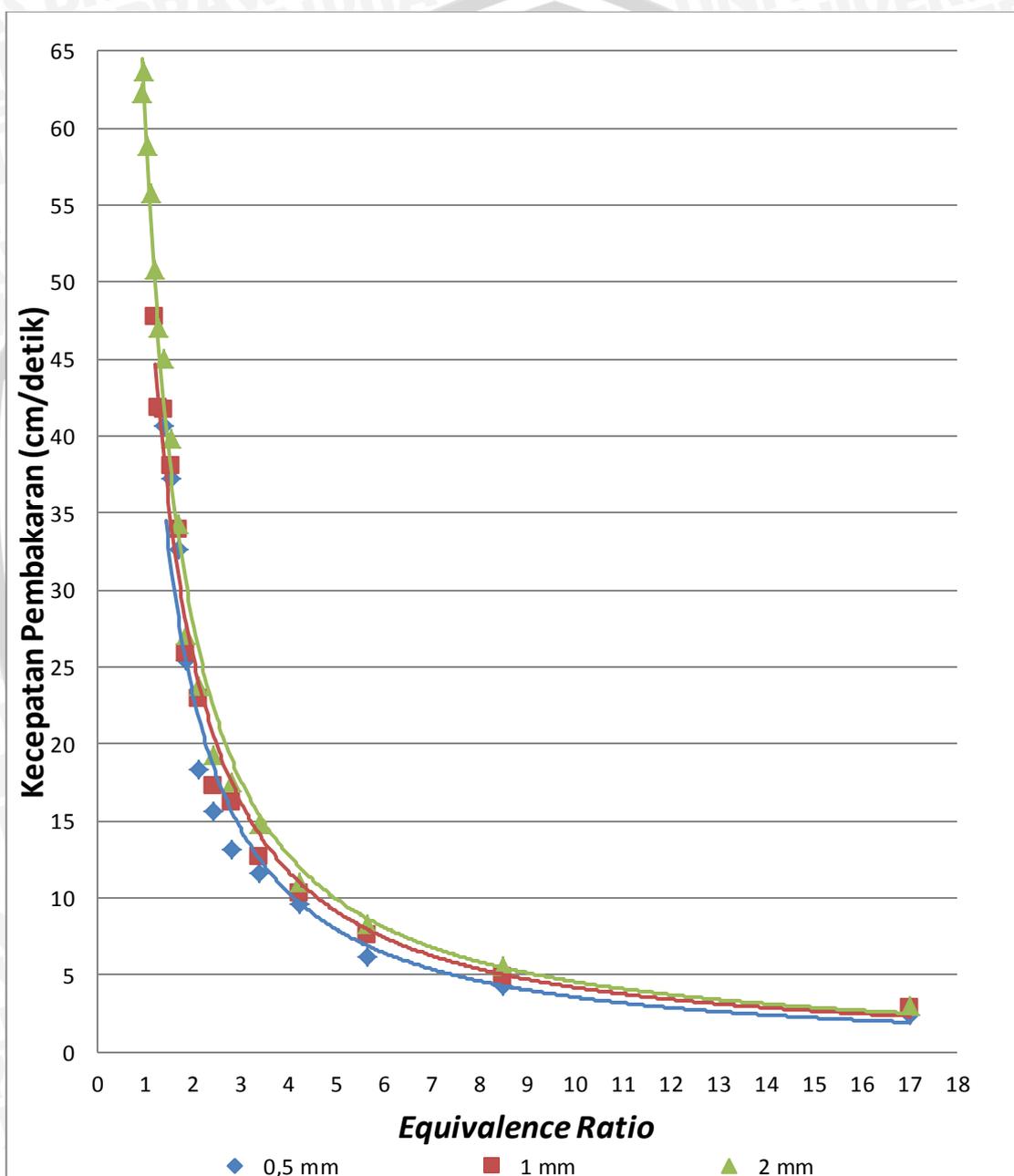
Pada Gambar 4.3 tampak bahwa mendekati kondisi stoikiometri dan *blow off* ketinggian api mengalami penyimpangan dimana *burner* dengan ketebalan 1 mm dan 0,5 mm memiliki ketinggian yang lebih kecil dibandingkan dengan *burner* yang lebih tebal (*burner* dengan ketebalan 2 mm). Hal ini kemungkinan disebabkan api cenderung mengecil mendekati kondisi *blow off*nya karena luas daerah kontak antara *burner* dan api kecil dimana hal ini akan mempengaruhi dimensi apinya. Selain itu api cenderung tidak stabil saat mendekati kondisi *blow off*nya.

Pada Gambar 4.3 nampak bahwa pembakaran bahwa pembakaran terjadi pada kondisi kaya bahan bakar dimana tampak pada nilai *equivalence ratio* (ϕ) yang cenderung besar. Penyimpangan ini terjadi karena pengaruh yang cukup besar dari udara lingkungan yang berdifusi ke dalam api. Hal ini sudah dijelaskan secara rinci pada subbab 4.3.1

4.3.2 Hubungan Variasi *Equivalence Ratio* terhadap Kecepatan Pembakaran

Grafik hubungan variasi *equivalence ratio* terhadap kecepatan pembakaran pada ketebalan *burner* yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 4.4. Berdasarkan Gambar 4.4 di bawah ini dapat dilihat kecenderungan kecepatan pembakaran menurun pada semua ketebalan *burner* dengan nilai *equivalence ratio* yang semakin tinggi. Kecepatan pembakaran tertinggi terjadi pada *burner* dengan tebal 2 mm sebesar 63,5963 cm/detik pada $\phi = 1,0023$ sedangkan kecepatan pembakaran terendah terjadi pada *burner* dengan

tebal 0,5 mm sebesar 2,3027 cm/detik pada $\phi = 17,0384$. Hal ini disebabkan semakin tinggi *equivalence ratio* maka reaktan tersebut lebih kaya bahan bakar dan miskin udara. Dimana kadar udara akan mempercepat reaksi pembakaran sehingga mempengaruhi kecepatan pembakaran yang terjadi menjadi lebih tinggi sampai kondisi stoikiometri.



Gambar 4.4 Hubungan variasi *equivalence ratio* terhadap kecepatan pembakaran pada ketebalan *burner* yang berbeda

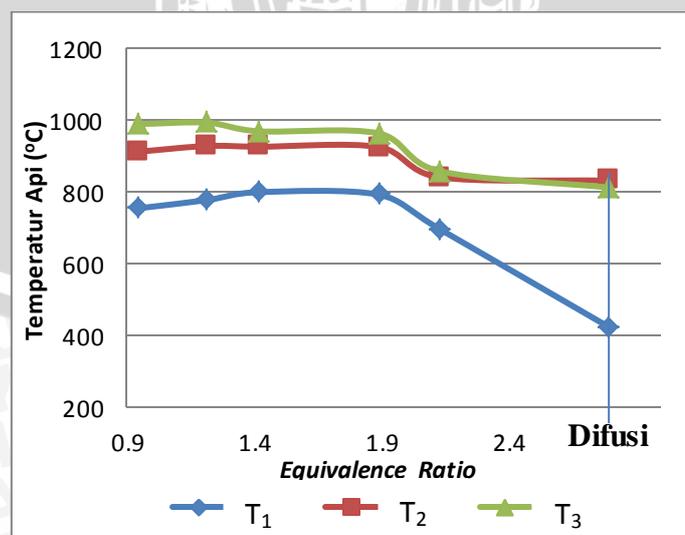
Jika dibandingkan kecepatan pembakaran pada *burner* yang memiliki ketebalan berbeda. Maka *burner* dengan ketebalan 2 mm (paling tebal) cenderung memiliki

kecepatan pembakaran lebih tinggi dibanding *burner* yang lain. Hal ini dikarenakan, sesuai dasar teori, bahwa dengan bertambah tebalnya *burner* maka resirkulasi panas dari nyala api ke reaktan menjadi lebih besar, sehingga kecepatan pembakarannya semakin bertambah.

Dari Gambar 4.4, pada masing – masing *burner* memiliki kondisi *blow off* yang berbeda - beda. Pada $\phi = 1,3106$ api dalam kondisi *blow off* untuk *burner* dengan ketebalan 0,5 mm. Sedangkan untuk *burner* dengan ketebalan 1 mm dan 2 mm, kondisi *blow off* terjadi pada $\phi = 1,1359$ dan $\phi = 0,84968$. Penyebab dari terjadinya *blow off* adalah karena kecepatan reaktannya lebih besar daripada kecepatan pembakarannya. *Burner* yang tebal cenderung tidak mudah *blow off*, dengan bertambah tebalnya *burner* maka resirkulasi panas dari nyala api ke reaktan menjadi lebih besar, sehingga kecepatan pembakarannya semakin bertambah. Dengan bertambah besarnya kecepatan pembakaran maka akan menyebabkan kestabilan api semakin besar.

4.3.3 Hubungan Variasi *Equivalence Ratio* terhadap Temperatur Api

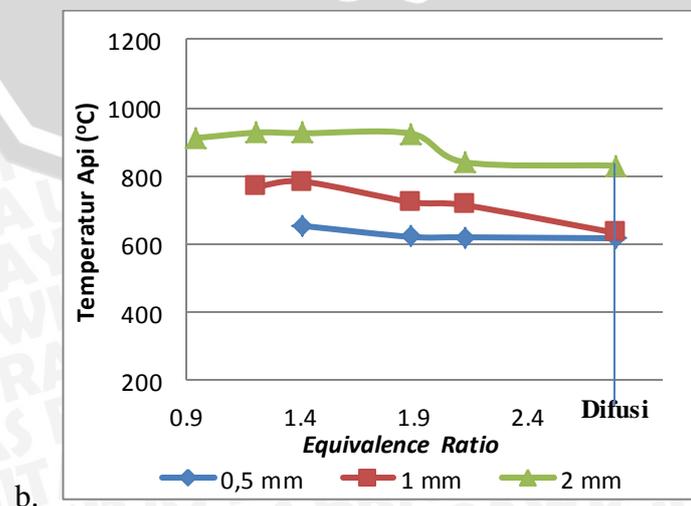
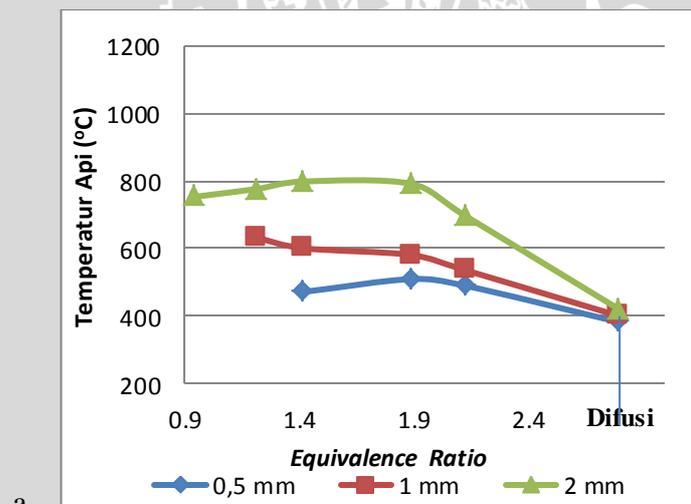
Grafik hubungan *equivalence ratio* terhadap temperatur api dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan 4.6 berikut. Pada grafik berikut ini dibandingkan temperatur api pada beberapa titik pengukuran api, yaitu T_1 yang merupakan temperatur api di bagian titik tengah nyala api, T_2 yang merupakan temperatur api di bagian puncak nyala api dan T_3 yang merupakan temperatur api di bagian samping nyala api (untuk lebih detail tentang titik pengukuran api dapat dilihat pada Gambar 3.3).

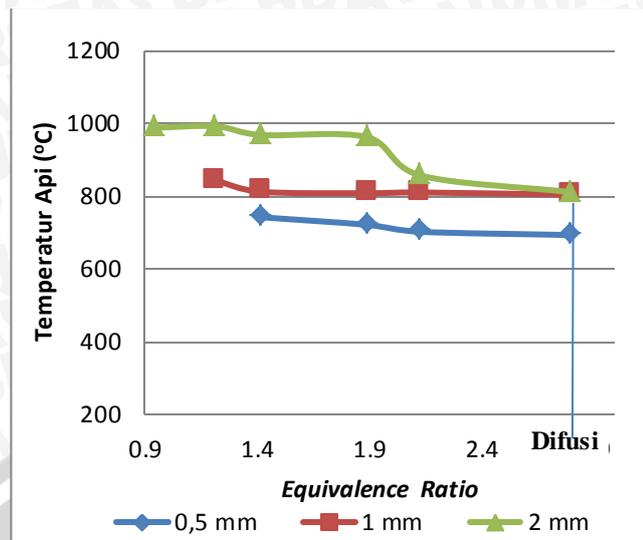


Gambar 4.5 Hubungan *equivalence ratio* terhadap temperatur api pada *burner* dengan ketebalan 2 mm.

Pada Gambar 4.5 di atas nampak bahwa temperatur api pada ketiga titik memiliki kecenderungan yang sama pada tiap *burner* dimana T_1 (temperatur api di bagian tengah nyala api) secara umum memiliki temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan T_2 dan T_3 . Hal ini dikarenakan zona reaksi pembakaran diawali pada tepi *burner* lalu menuju tengah *burner*. Karena hal tersebut temperatur api di bagian tengah nyala api cenderung lebih rendah daripada di tepi nyala api.

Pada semua ketebalan *burner* maka tampak bahwa semakin kecil *equivalence ratio* maka temperatur cenderung meningkat sampai mendekati kondisi stoikiometri ($\phi=1$). Hal ini dikarenakan semakin kecil *equivalence ratio* maka udara dalam reaktan akan semakin besar yang mana akan mempengaruhi terjadinya reaksi pembakaran. Karena hal tersebut maka akan mempercepat reaksi pembakaran yang menyebabkan temperatur api meningkat sampai mendekati kondisi stoikiometri ($\phi=1$). Setelah melewati kondisi stoikiometri dimana reaktan kaya udara, temperatur api akan cenderung mulai menurun seperti tampak pada kecenderungan grafik di atas.





c.

Gambar 4.6 Hubungan *equivalence ratio* terhadap temperatur api pada burner dengan ketebalan berbeda pada beberapa titik pengukuran. a. T_1 , b. T_2 , c. T_3

Pada Gambar 4.6, jika dibandingkan ketiga burner pada semua titik pengukuran temperatur api maka nampak kecenderungan bahwa burner dengan ketebalan 2 mm (paling tebal) cenderung memiliki temperatur api yang lebih besar dibandingkan dengan burner yang lain. Hal ini dikarenakan burner yang lebih tebal memiliki resirkulasi panas dari nyala api ke reaktan yang lebih besar, sehingga kecepatan pembakarannya semakin bertambah. Seperti kita ketahui bahwa resirkulasi panas ini akan mempercepat terjadinya reaksi pembakaran dimana hal ini akan mempengaruhi temperatur api menjadi lebih besar.

Jika dibandingkan temperatur api pada 3 kondisi yaitu api difusi, api *premixed* (warna api mulai biru, $\phi < 2,1$) dan api sebelum *blow off* nampak bahwa api difusi memiliki temperatur yang paling rendah pada semua ketebalan burner. Hal ini karena pada api difusi, udara dalam reaktannya sangat kecil (udara dalam api difusi berasal dari difusi molekul udara sekitar dengan api) dibandingkan api *premixed*. Selain itu temperatur terendah (383 °C) berada pada T_1 (temperatur api di bagian tengah nyala api) pada api difusi pada burner dengan ketebalan 0,5 mm. Hal ini karena pada api difusi, pada bagian tengah api berwarna biru gelap. Daerah ini merupakan zona pemanasan awal pada api difusi yang temperaturnya rendah. Daerah ini biasa disebut api *premixed* sebagian. Pada daerah ini hampir tidak ada pembakaran dan merupakan daerah kaya bahan bakar.