

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data visualisasi nyala api dan temperatur api hasil pembakaran dengan maksud untuk mengetahui karakteristik pembakaran difusi campuran biodiesel minyak jarak dan etanol yang meliputi warna api, tinggi api, temperatur api dan *instability* api. Dalam penelitian ini menggunakan variasi pemanasan *burner* yaitu dengan cara mengatur temperatur *burner* sebesar 360 °C, 390 °C, 415 °C dan 435 °C. Bahan bakar yang digunakan adalah campuran biodiesel minyak jarak 80% dan etanol 20% dalam prosentase volume.

Dalam penelitian ini menggunakan *burner* yang terbuat dari tembaga dengan diameter dalam 1 mm. Dalam pengambilan data visualisasi nyala api menggunakan debit bahan bakar 2 ml/jam dan 4 ml/jam. Dengan demikian terdapat perbedaan kecepatan bahan bakar ketika melewati *burner* pada saat proses penguapan. Berikut ini contoh perhitungan untuk kecepatan bahan bakar ketika melewati *burner* dengan diameter dalam 1 mm pada debit 2 ml/jam.

$$\begin{aligned}
 Q &= A \times v \\
 v &= \frac{Q}{A} \\
 v &= \frac{2 \text{ ml/jam}}{\frac{\pi}{4} \times 1 \text{ mm}^2} \\
 v &= \frac{2 \times \frac{10^{-6} \text{ m}^3}{3600 \text{ s}}}{\frac{\pi}{4} \times 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2} \\
 v &= \frac{5,555 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{s}}{0,785 \times 10^{-6} \text{ m}^2} \\
 v &= 0,0007077 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat besarnya kecepatan bahan bakar ketika melewati *burner* untuk setiap debit bahan bakar.

Tabel 4.1 Kecepatan bahan bakar pada tiap debit

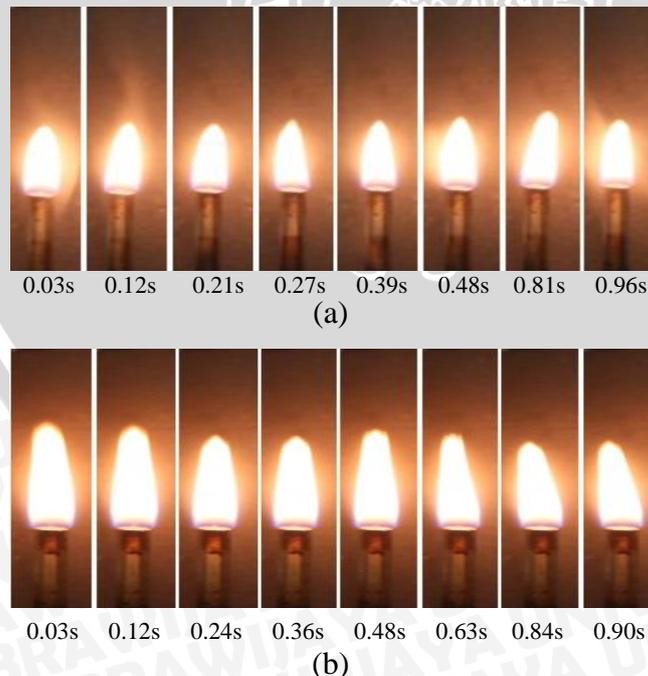
Debit bahan bakar (ml/jam)	Kecepatan bahan bakar (m/s)
2	0,0007077
4	0,001415

4.2 Visualisasi Nyala Api

4.2.1 Visualisasi Nyala Api Biodiesel

Pada proses pembakaran difusi biodiesel murni dibutuhkan pemanasan yang lebih tinggi untuk dapat terjadinya penguapan bahan bakar. Hal ini dikarenakan biodiesel memiliki temperatur penguapan yang tinggi sehingga dibutuhkan energi panas yang lebih tinggi dan waktu yang lebih lama untuk terjadinya proses penguapan.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan untuk pembakaran biodiesel murni visualisasi nyala api yang dihasilkan memiliki nyala api yang stabil dan perubahan ukuran api relatif kecil. Ketinggian nyala api pada debit 4 ml/jam lebih tinggi dari pada debit 2 ml/jam. Peningkatan debit bahan bakar menyebabkan kecepatan bahan bakar ketika melewati *burner* meningkat, sehingga hal ini menyebabkan kecepatan uap bahan bakar yang keluar dari *burner* semakin tinggi. Meningkatnya kecepatan uap bahan bakar berpengaruh terhadap ketinggian api yang dihasilkan. Ketinggian api meningkat seiring dengan kenaikan debit bahan bakar.



Gambar 4.1 Visualisasi nyala api biodiesel murni dengan debit bahan bakar sebesar (a) 2 ml/jam, (b) 4 ml/jam

4.2.2 Visualisasi Nyala Api Pada Setiap Variasi Pemanasan *Burner*

Pada proses pembakaran difusi campuran biodiesel minyak jarak dan etanol dengan variasi pemanasan *burner* memiliki visualisasi nyala api yang berbeda. Besar kecilnya pemanasan *burner* sangat berpengaruh terhadap proses penguapan bahan bakar di dalam *burner*. Dari pemanasan *burner* terjadi perpindahan panas melalui energi yang dilepaskan bahan bakar LPG ke dinding *burner*. Dengan demikian proses penguapan tergantung pada besar kecilnya energi panas yang diterima *burner* melalui pemanasan *burner* yang diberikan. Sehingga hal ini mempengaruhi cepat atau tidaknya bahan bakar untuk menguap dan jumlah uap yang dihasilkan. Apabila dari hasil penguapan bahan bakar menghasilkan jumlah uap yang cukup untuk mendukung terjadinya pembakaran yang kontinyu, maka nyala api yang dihasilkan dari proses pembakaran dapat terjadi dengan lebih stabil. Nyala api dapat dikatakan stabil apabila stasioner (tidak berubah) pada posisi tertentu. Kondisi ini dapat terjadi apabila kecepatan reaktan sama dengan kecepatan perambatan api.

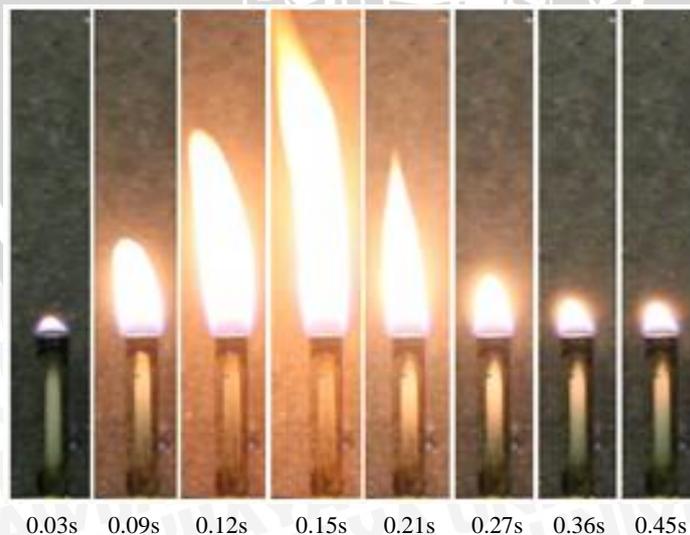
Dari hasil penelitian pada proses pembakaran difusi campuran biodiesel minyak jarak dan etanol dengan variasi pemanasan *burner* pada temperatur *burner* 360 °C, 390 °C, 415 °C dan 435 °C visualisasi nyala api yang dihasilkan memiliki ukuran api yang selalu berubah-ubah, yang terjadi secara berulang-ulang dan membentuk seperti sebuah siklus secara periodik. Ukuran api berubah-ubah dikarenakan biodiesel dan etanol memiliki *properties* yang sangat berbeda. Biodiesel memiliki temperatur penguapan yang tinggi, tetapi kalor laten penguapannya lebih rendah dari pada etanol. Sementara etanol memiliki temperatur penguapan yang rendah dan kalor laten penguapannya yang sangat tinggi. Ketika keduanya bercampur dan diberikan pemanasan yang sama untuk proses penguapan maka etanol menguap terlebih dahulu dan kemudian disusul penguapan biodiesel. Perbedaan proses penguapan ini berpengaruh terhadap proses pembakaran yang terjadi. Dengan demikian proses pembakaran yang terjadi terlebih dahulu pada etanol kemudian disusul nyala api biodiesel dan peristiwa ini terjadi secara berulang-ulang seperti membentuk sebuah siklus yang periodik. Sehingga menyebabkan nyala api yang dihasilkan dari pembakaran difusi campuran biodiesel minyak jarak dan etanol memiliki ukuran yang selalu berubah-ubah.

Perubahan ukuran api yang terjadi diawali dari ketinggian api minimum dan api terus bertambah tinggi mencapai ketinggian api maksimum. Dalam proses perubahan ukuran api, terdapat perubahan ukuran yang signifikan secara cepat. Fenomena *instability* api ini sering disebut dengan *explosive flame* yang ditandai dengan perubahan ukuran api secara signifikan baik ketinggian maupun lebar api. Dari pembakaran campuran biodiesel

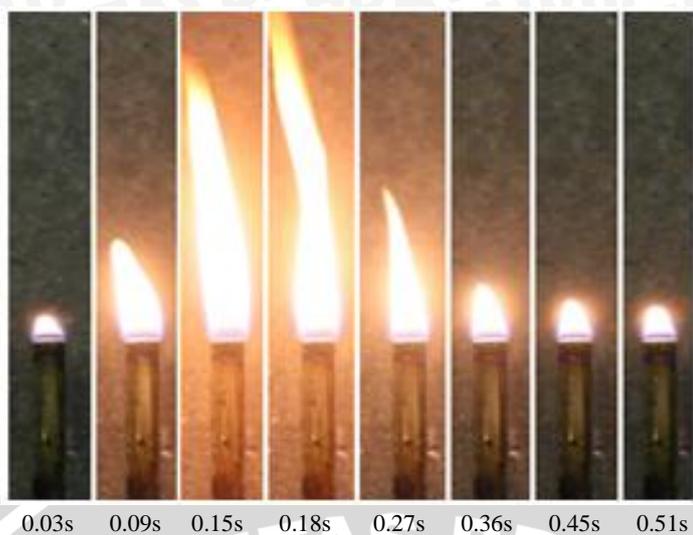
minyak jarak dan etanol didapatkan semakin tinggi pemanasan *burner* yang diberikan yaitu pada temperatur *burner* 435 °C nyala api dapat terjadi dengan lebih stabil. Hal ini dikarenakan seiring dengan meningkatnya pemanasan *burner* maka bahan bakar lebih cepat menguap dan percampuran bahan bakar dan udara terjadi lebih homogen. Sehingga pembakaran lebih cepat terjadi dan menghasilkan nyala api yang lebih stabil.

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa semakin tinggi pemanasan *burner* nyala api yang terjadi lebih stabil. Hal ini dapat dilihat dari waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu siklus perubahan ukuran api lebih lama. Semakin tinggi pemanasan *burner*, kalor yang tersedia untuk proses penguapan bahan bakar semakin meningkat. Dengan demikian kalor yang dibutuhkan untuk proses penguapan bahan bakar terpenuhi sehingga uap yang dihasilkan cukup untuk terjadinya pembakaran yang kontinyu.

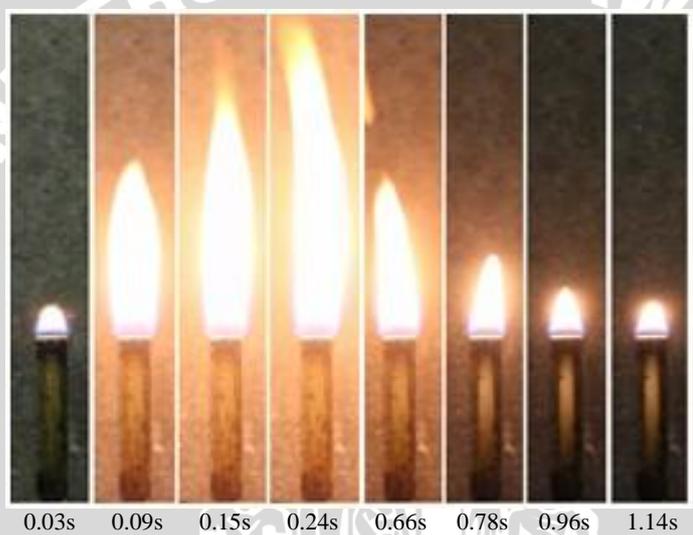
Seiring dengan menurunnya pemanasan *burner* yang diberikan, peristiwa *instability* api lebih sering terjadi dan waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya satu siklus perubahan ukuran api sangat singkat. Hal ini dikarenakan pemanasan *burner* yang diberikan tidak sebanding dengan pemanasan yang diperlukan untuk proses penguapan bahan bakar. Akibatnya bahan bakar yang menguap lebih sedikit. Dengan demikian uap yang dihasilkan tidak dapat mendukung terjadinya pembakaran yang kontinyu sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu siklus perubahan ukuran api semakin singkat dan lebih sering terjadi *explosive flame*. Visualisasi nyala api pada setiap variasi pemanasan *burner* ditunjukkan pada Gambar 4.2.



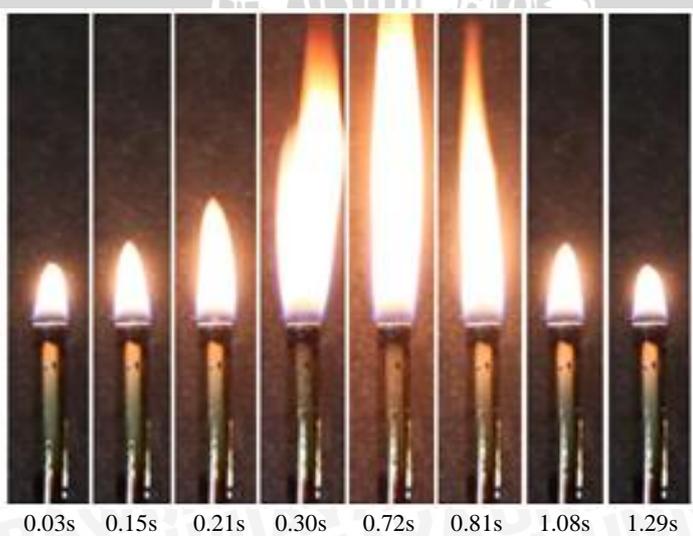
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.2 Visualisasi nyala api pada debit 4 ml/jam dengan temperatur burner sebesar (a) 360 °C, (b) 390 °C, (c) 415 °C, (d) 435 °C

Dari visualisasi nyala api terlihat bahwa pada pembakaran campuran biodiesel minyak jarak dan etanol warna api didominasi warna kuning dan sedikit warna biru di bagian bawah api. Dalam hal ini, warna kuning pada api menandakan proses pembakaran dalam kondisi campuran kaya bahan bakar dan terjadi pembentukan jelaga. Sedangkan warna biru di bagian bawah api menandakan proses pembakaran dalam kondisi mendekati campuran stoikimometri atau miskin bahan bakar.

4.2.3 Visualisasi Nyala Api Pada Debit Bahan Bakar Yang Berbeda

Pada pembakaran campuran biodiesel minyak jarak dan etanol dengan debit yang berbeda memiliki visualisasi nyala api yang berbeda pula. Debit bahan bakar berpengaruh terhadap kecepatan bahan bakar ketika melewati *burner* dan suplai bahan bakar untuk dilakukan proses penguapan. Dengan demikian pada pemanasan *burner* yang sama dan dengan debit bahan bakar yang berbeda, ketinggian api dan kesatbilan api yang dihasilkan dari proses pembakaran juga berbeda.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pemanasan *burner* dengan temperatur *burner* sebesar 435 °C menggunakan debit bahan bakar 2 ml/jam dan 4 ml/jam memiliki visualisasi nyala api yang berbeda. Pada debit 4 ml/jam ketinggian api minimal dan api maksimal meningkat. Nyala api yang dihasilkan pada debit 4 ml/jam juga lebih stabil dari pada debit 2 ml/jam, hal ini dapat dilihat dari perubahan ukuran api yang relatif kecil.

Peningkatan debit bahan bakar menyebabkan kecepatan bahan bakar ketika melewati *burner* meningkat sehingga hal ini menyebabkan kecepatan uap bahan bakar yang keluar dari *burner* semakin tinggi. Oleh karena itu ketinggian api minimal dan ketinggian api maksimal yang dihasilkan meningkat.

Visualisasi nyala api pada debit 4 ml/jam menghasilkan nyala api yang lebih stabil. Dapat dilihat bahwa perubahan ukuran api relatif lebih kecil, hal ini dapat dilihat dari waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu siklus perubahan ukuran api lebih lama. Sedangkan pada debit 2 ml/jam nyala api yang dihasilkan lebih tidak stabil. Perubahan ukuran api lebih signifikan, hal ini dapat dilihat dari waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu siklus lebih singkat. Ketika debit bahan bakar kecil, suplai bahan bakar untuk dilakukan proses penguapan pun sedikit sehingga berpengaruh terhadap jumlah uap yang dihasilkan. Dengan semakin sedikitnya suplai bahan bakar untuk diuapkan maka jumlah uap yang keluar dari *burner* juga sedikit. Hal ini menyebabkan uap yang dihasilkan tidak dapat mendukung untuk terjadinya proses pembakaran yang lebih stabil.

Pada visualisasi nyala terlihat bahwa warna api yang lebih dominan adalah warna kuning dan di bagian bawah api terdapat warna biru. Warna kuning menandakan bahwa proses pembakaran dalam kondisi campuran kaya bahan bakar dan terjadi pembentukan jelaga. Sedangkan warna biru menandakan bahwa proses pembakaran berada dalam kondisi mendekati campuran stoikiometri atau miskin bahan bakar. Dengan meningkatnya debit bahan bakar maka ketinggian api pun meningkat yang berpengaruh juga terhadap warna api yang dihasilkan. Pada Gambar 4.3 menunjukkan visualisasi nyala api dengan debit bahan bakar 2 ml/jam dan 4 ml/jam.



0.03s 0.12s 0.18s 0.24s 0.27s 0.42s 0.51s 0.66s

(a)



0.03s 0.15s 0.21s 0.30s 0.72s 0.81s 1.08s 1.29s

(b)

Gambar 4.3 Visualisasi nyala api dengan temperatur *burner* 435 °C pada debit bahan bakar sebesar (a) 2 ml/jam (b) 4 ml/jam

4.3 Tinggi Api

4.3.1 Tinggi Api Pada Setiap Variasi Pemanasan *Burner*

Dengan pemanasan *burner* yang berbeda ketinggian api minimal dan api maksimal relatif sama, namun waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu siklus perubahan ukuran api berbeda-beda.

Tabel 4.2 Tinggi api pada temperatur *burner* 360 °C dengan debit bahan bakar 4 ml/jam

Temperatur <i>Burner</i> 360 °C	
Tinggi Api (mm)	Waktu (s)
2,033	0,03
12,233	0,09
26,214	0,12
40,387	0,15
23,118	0,21
7,939	0,27
4,457	0,36
4,011	0,45

Tabel 4.3 Tinggi api pada temperatur *burner* 390 °C dengan debit bahan bakar 4 ml/jam

Temperatur <i>Burner</i> 390 °C	
Tinggi Api (mm)	Waktu (s)
3,006	0,03
12,732	0,09
35,278	0,15
40,918	0,18
18,87	0,27
7,087	0,36
5,225	0,45
4,046	0,51

Tabel 4.4 Tinggi api pada temperatur *burner* 415 °C dengan debit bahan bakar 4 ml/jam

Temperatur <i>Burner</i> 415 °C	
Tinggi Api (mm)	Waktu (s)
4,046	0,03
23,11	0,09
32,252	0,15
41,264	0,24
20,845	0,66
10,8	0,78
6,326	0,96
4,526	1,14

Tabel 4.5 Tinggi api pada temperatur *burner* 435 °C dengan debit bahan bakar 4 ml/jam

Temperatur <i>Burner</i> 435 °C	
Tinggi Api (mm)	Waktu (s)
7,613	0,03
10,5	0,15
16,251	0,21
39,282	0,30
42,3	0,72
39,259	0,81
10,401	1,08
7,518	1,29

4.3.2 Tinggi Api Pada Setiap Debit Bahan Bakar

Debit bahan bakar berpengaruh terhadap kecepatan bahan bakar ketika melewati *burner* dan suplai bahan bakar untuk dilakukan proses penguapan. Sehingga hal ini berhubungan dengan kecepatan uap ketika keluar dari *burner* dan jumlah uap yang dihasilkan pada proses penguapan. Kecepatan uap berpengaruh terhadap ketinggian api yang dihasilkan dan jumlah uap yang dihasilkan mempengaruhi kestabilan nyala api. Pada

Tabel 4.6 menunjukkan perbandingan tinggi api terhadap waktu pada debit 2 ml/jam dan 4 ml/jam.

Tabel 4.6 Tinggi api pada debit bahan bakar 2 ml/jam dan 4 ml/jam

Temperatur <i>Burner</i> 435 °C			
Debit 2 ml/jam		Debit 4 ml/jam	
Tinggi Api (mm)	Waktu (s)	Tinggi Api (mm)	Waktu (s)
6,936	0,03	7,613	0,03
16,717	0,12	10,5	0,15
33,819	0,18	16,251	0,21
41,469	0,24	39,282	0,30
34,621	0,27	42,3	0,72
24,097	0,42	39,259	0,81
10,759	0,51	10,401	1,08
5,869	0,66	7,518	1,29

4.4 Temperatur Nyala Api

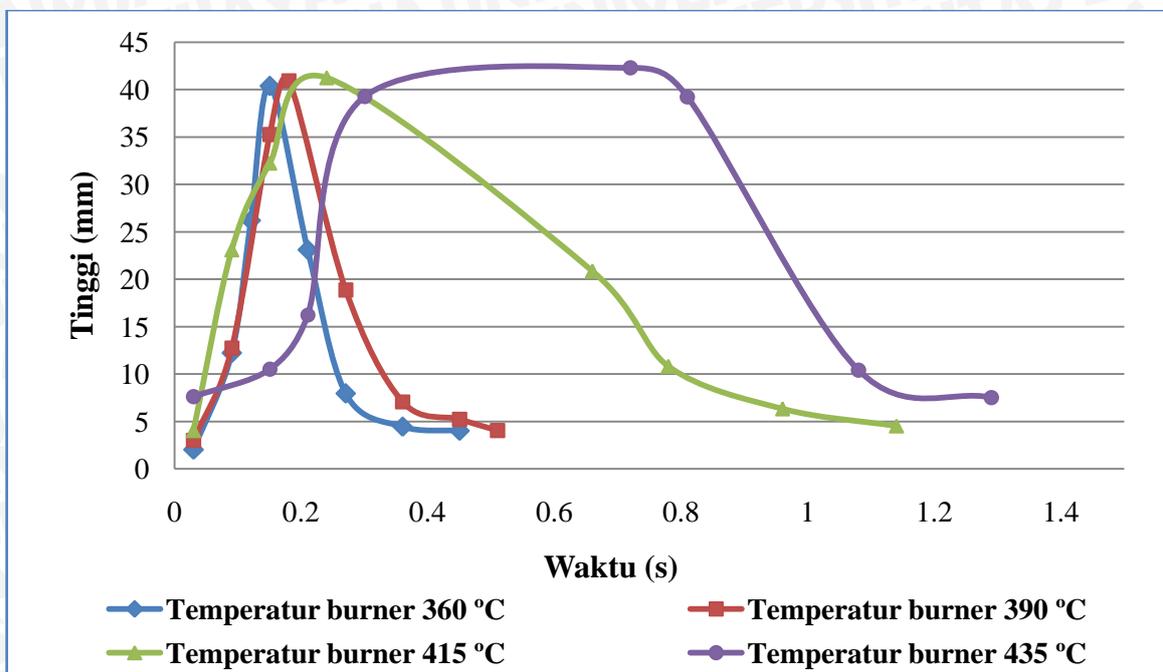
Pemanasan *burner* berpengaruh terhadap temperatur api yang dihasilkan. Dengan meningkatnya pemanasan *burner* menyebabkan kalor yang dilepaskan bahan bakar LPG semakin meningkat sehingga temperatur dinding *burner* juga meningkat. Hal ini berpengaruh terhadap temperatur uap bahan bakar dan temperatur api yang dihasilkan. Selain itu pada jarak 1 cm dan 3 cm memiliki temperatur api yang berbeda.

Tabel 4.7 Temperatur api pada setiap pemanasan *burner*

Temperatur <i>Burner</i> (°C)	Temperatur Api (°C)	
	Jarak 1 cm	Jarak 3 cm
360	626	768
390	676	789
415	706	824
435	780	895

4.5 Hubungan Tinggi Api Terhadap Waktu Pada Setiap Pemanasan *Burner*

Pada Gambar 4.4 ditunjukkan hasil penelitian pemanasan *burner* terhadap tinggi api yang dihasilkan.



Gambar 4.4 Hubungan tinggi api terhadap waktu pada setiap pemanasan *burner*

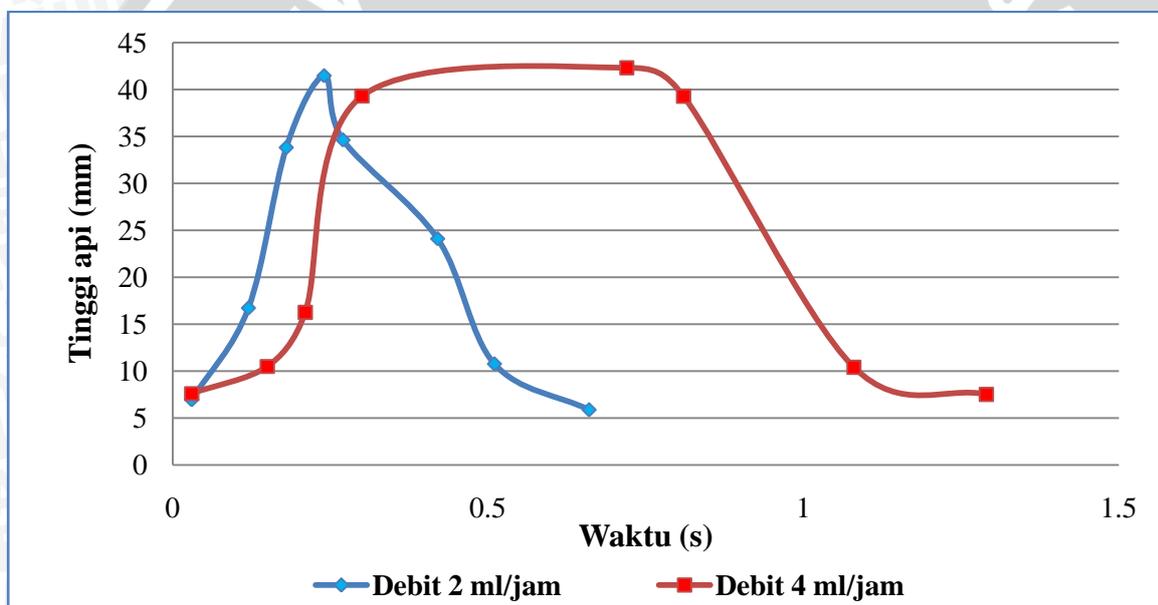
Seiring dengan meningkatnya pemanasan *burner* tinggi api yang dihasilkan relatif sama. Namun waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu siklus perubahan ukuran api, dari ketinggian api minimal mencapai ketinggian api maksimal hingga kembali ke ketinggian api minimal lagi membutuhkan waktu yang lebih lama. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya pemanasan *burner* yang diberikan maka bahan bakar lebih cepat untuk menguap dan uap yang dihasilkan meningkat. Dengan semakin mudahnya bahan bakar untuk menguap dan meningkatnya jumlah uap bahan bakar maka pembakaran dapat terjadi dengan lebih stabil dan mendukung terjadinya pembakaran yang kontinyu. Sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu siklus perubahan ukuran api lebih lama.

Sementara pada pemanasan *burner* yang lebih kecil menyebabkan bahan bakar di dalam *burner* sulit untuk menguap karena pemanasan yang diberikan tidak sebanding dengan panas yang dibutuhkan untuk proses penguapan. Sehingga bahan bakar yang menguap lebih sedikit. Dengan demikian jumlah uap yang keluar dari *burner* lebih sedikit dan tidak dapat mendukung terjadinya pembakaran yang kontinyu sehingga menyebabkan pembakaran tidak dapat terjadi dengan stabil yang berpengaruh terhadap waktu yang

dibutuhkan untuk mencapai satu siklus perubahan ukuran api lebih singkat dan terjadi *explosive flame* yang ditandai dengan perubahan ukuran api yang sangat signifikan baik ketinggian maupun lebar api, misalnya pada pemanasan *burner* dengan temperatur *burner* sebesar 360 °C pada $t = 0,03$ s tinggi api 2 mm, kemudian pada $t = 0,09$ s tinggi api berubah sampai 12 mm dan pada $t = 0,15$ s perubahan tinggi api sangat signifikan mencapai ketinggian 40,3 mm.

4.6 Hubungan Tinggi Api Terhadap Waktu Pada Setiap Debit Bahan Bakar

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi debit bahan bakar maka perubahan ketinggian api lebih stabil dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu siklus perubahan ukuran api lebih lama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Hubungan tinggi api terhadap waktu pada setiap debit bahan bakar dengan temperatur *burner* 435 °C

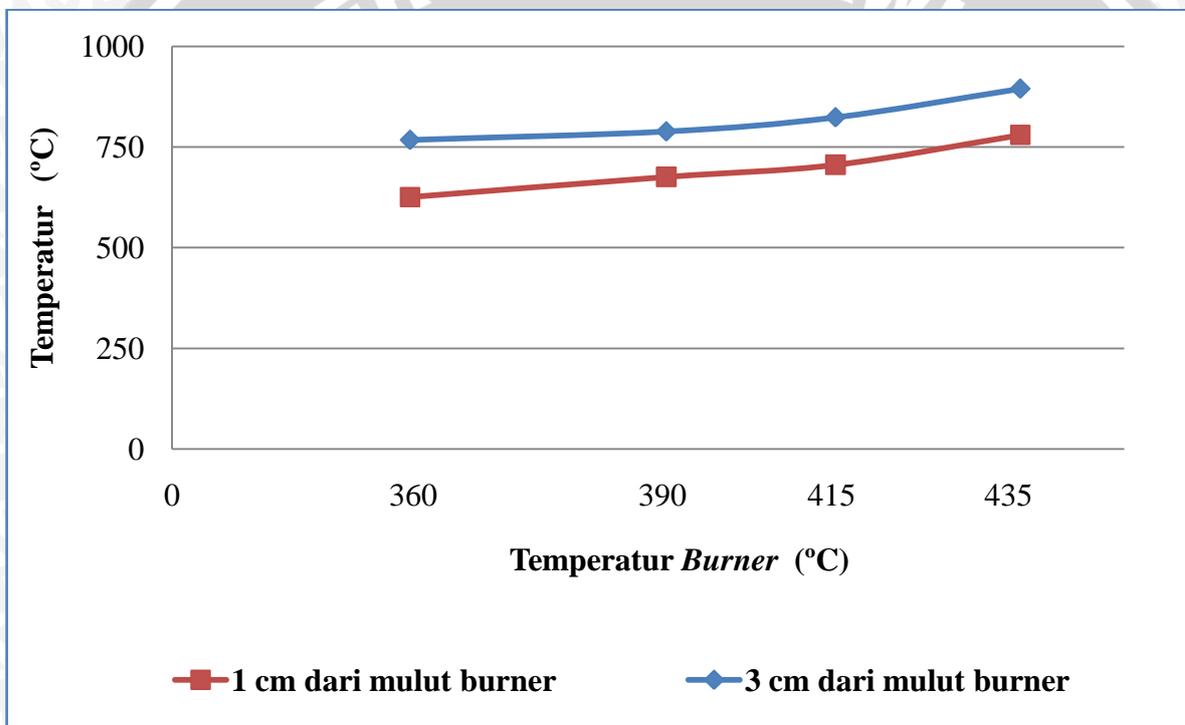
Peningkatan debit bahan bakar berpengaruh terhadap perubahan ketinggian api. Dengan meningkatnya debit bahan bakar maka untuk mencapai satu siklus perubahan ukuran api membutuhkan waktu yang lebih lama dan nyala api yang dihasilkan lebih stabil. Hal ini dikarenakan seiring dengan meningkatnya debit bahan bakar maka suplai bahan bakar untuk dilakukan proses penguapan semakin meningkat. Sehingga uap bahan bakar yang dihasilkan juga meningkat.

Pada debit 4 ml/jam perubahan ukuran api relatif kecil dan nyala api yang dihasilkan lebih stabil. Hal ini dapat dilihat dari waktu yang dibutuhkan untuk mencapai

satu siklus perubahan api lebih lama. Pada debit 4 ml/jam suplai bahan bakar meningkat sehingga jumlah uap yang dihasilkan lebih banyak dari pada debit 2 ml/jam. Dengan demikian pada debit 4 ml/jam jumlah uap yang dihasilkan cukup untuk terjadinya pembakaran yang lebih stabil yang menjadikan perubahan ketinggian api relatif kecil dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu siklus lebih lama.

4.7 Hubungan Pemanasan *Burner* Terhadap Temperatur Api

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi pemanasan *burner* maka temperatur api yang dihasilkan semakin meningkat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 berikut ini



Gambar 4.6 Hubungan pemanasan *burner* terhadap temperatur nyala api

Temperatur *burner* yang digunakan sebagai variasi pemanasan *burner* yaitu sebesar 360 °C, 390 °C, 415 °C dan 435 °C. Untuk penempatan *thermocouple* yaitu pada jarak 1 cm dan 3 cm di atas mulut *burner*. Pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa peningkatan temperatur *burner* dalam pemanasan *burner* menjadikan temperatur api yang dihasilkan semakin meningkat. Dapat dilihat bahwa temperatur api tertinggi yaitu pada pemanasan *burner* dengan temperatur *burner* sebesar 435 °C sedangkan temperatur api terendah pada temperatur *burner* sebesar 360 °C.

Seiring dengan meningkatnya pemanasan *burner* maka kalor yang dilepaskan bahan bakar LPG semakin meningkat. Hal ini berpengaruh terhadap temperatur dinding *burner* yang semakin meningkat pula. Dengan meningkatnya temperatur dinding *burner* menjadikan bahan bakar lebih cepat untuk menguap dan energi panas yang ditransfer dari dinding *burner* ke bahan bakar meningkat. Sehingga uap yang dihasilkan memiliki temperatur yang tinggi yang berpengaruh terhadap temperatur api yang dihasilkan. Seiring dengan meningkatnya temperatur uap bahan bakar menjadikan temperatur api yang dihasilkan menjadi lebih tinggi. Dengan demikian semakin tinggi pemanasan *burner* temperatur api yang dihasilkan juga semakin tinggi.

Temperatur api pada jarak 1 cm dari mulut *burner* memiliki temperatur yang lebih rendah dari pada temperatur api pada jarak 3 cm dari mulut *burner*. Hal ini dikarenakan pada jarak 1 cm berada dalam daerah *preheated zone*, dimana pada daerah tersebut tidak terjadi reaksi pembakaran. Pada daerah *preheated zone* kondisi reaktan hanya terdiri dari bahan bakar saja dan hampir tidak terdapat udara sehingga proses pembakaran tidak dapat berlangsung. Dengan demikian temperatur api pada daerah tersebut memiliki temperatur yang lebih rendah.

