

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

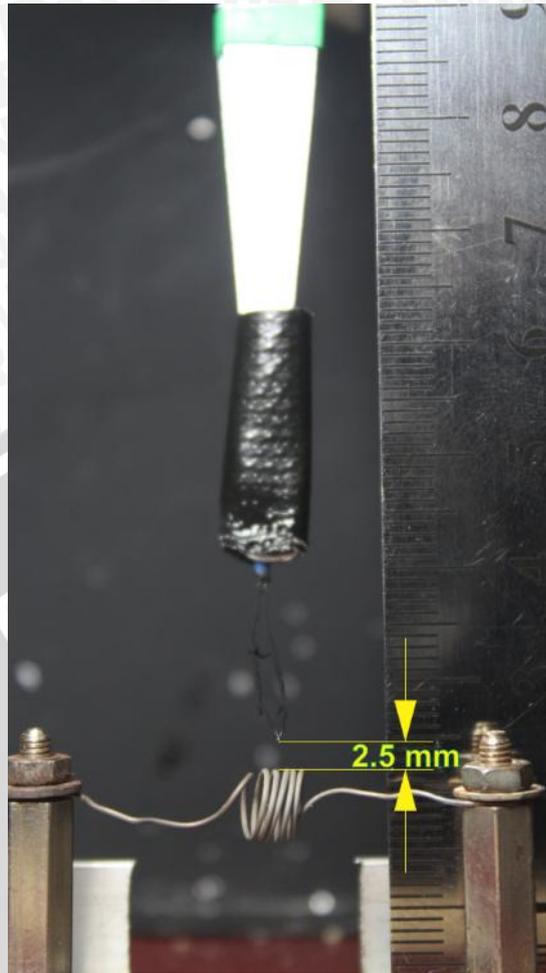
### 4.1 Hasil Penelitian

Bahan bakar nabati merupakan salah satu langkah yang bisa diambil untuk menjadi energi alternatif. Penambahan cengkeh diharapkan dapat memperbaiki karakteristik pembakaran pada minyak nabati. Untuk mengetahui karakteristik pembakaran yang dihasilkan dapat dilakukan dengan cara pembakaran *droplet*. Bahan bakar diubah menjadi *droplet* dan dipanaskan sehingga menghasilkan api. Pembakaran *droplet* merupakan pembakaran difusi yaitu pencampuran bahan bakar dengan udara terjadi secara alami. Pada pembakaran *droplet*, karakteristik pembakaran yang dapat diamati seperti *ignition delay time*, *burning rate*, temperatur pembakaran, dan dimensi api.

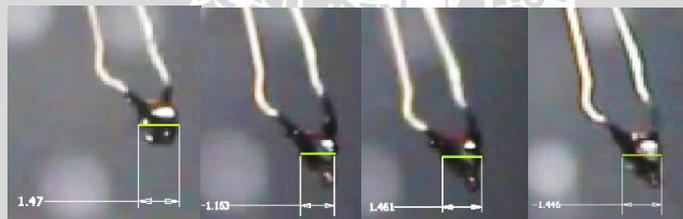
Pada penelitian ini, data yang diambil pada saat pengujian merupakan data karakteristik dari campuran minyak jarak dengan berbagai persentase minyak cengkeh, yaitu sebesar 1%, 2%, 3%, dan 4%. Data diperoleh dari video nyala api dan data *logger* selama proses pembakaran berlangsung. Dari video nyala api, dapat diperoleh data *ignition delay time* atau jeda waktu hingga *droplet* terbakar, *burning lifetime* atau kecepatan pembakaran, dan visualisasi nyala api meliputi tinggi api. Sedangkan dari data *logger* dapat diketahui temperatur pembakaran yang dihasilkan.

#### 4.1.1 Dimensi Droplet

Untuk membuat *droplet*, menggunakan alat pembuat *droplet* yang bervolume 1.25 $\mu$ l. Menurut perhitungan teoritis, *droplet* yang terbentuk dengan volume tersebut yaitu berukuran 1.33mm. Pada penelitian ini, *droplet* aktual yang terbentuk dari alat pembentuk *droplet* berukuran 1.05 – 1.6mm. *Droplet* digantungkan pada *thermocouple* yang berjarak 2.5mm di atas *heater*. Gambar 4.1 menunjukkan jarak antara *thermocouple* dan *heater*. Bentuk *droplet* pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.1 Jarak antara *thermocouple* dan *heater*



Gambar 4.2 Ukuran *droplet* (a) 1%, (b) 2%, (c) 3%, (d) 4%

#### 4.1.2 Data Penelitian

Berikut merupakan data hasil dari penelitian yang telah dilakukan.

Tabel 4.1 Hasil penelitian

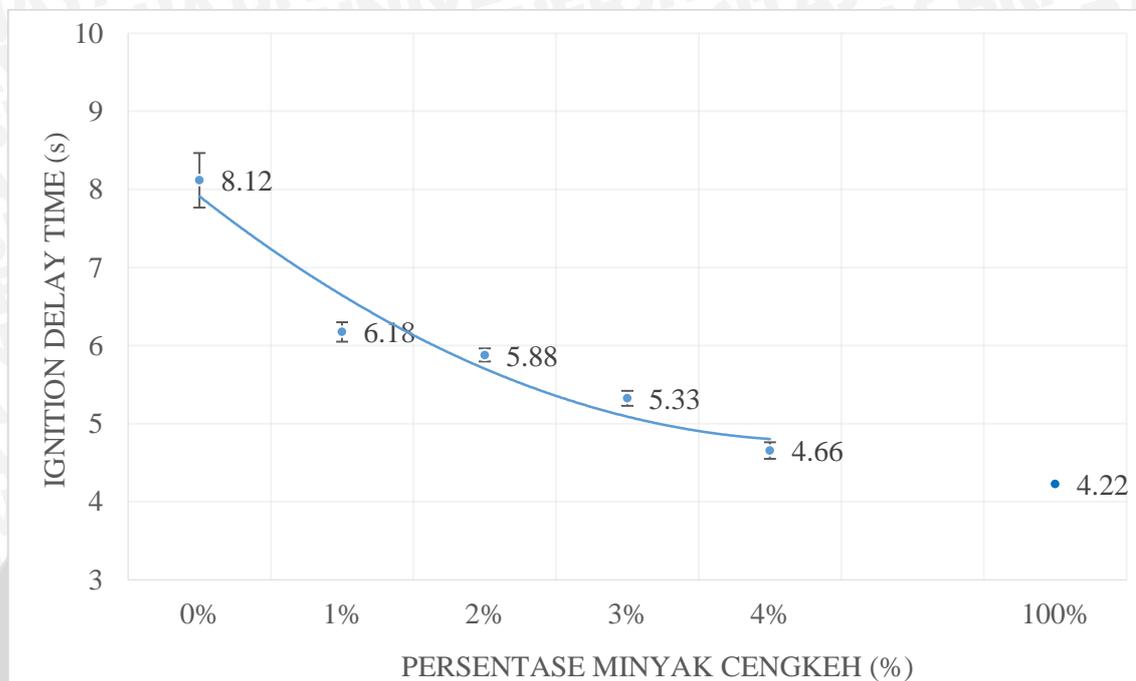
Persentase Minyak Cengkeh (%)	Karakteristik Pembakaran			
	<i>Ignition Delay Time</i> (s)	<i>Burning rate</i> (mm <sup>2</sup> /s)	Temperatur Pembakaran Maksimum (°C)	Dimensi Tinggi Api (mm)
0%	8.12	1.09	610.57	38.93
1%	6.18	1.17	641.08	37.72
2%	5.88	1.21	646.77	37.31
3%	5.33	1.27	654.14	36.43
4%	4.66	1.22	593.14	35.27
100%	4.22	1.20	435.49	26.34

#### Keterangan:

- 0% = Minyak jarak murni tanpa pencampuran minyak cengkeh
- 1% = Minyak jarak dengan pencampuran minyak cengkeh sebesar 1%
- 2% = Minyak jarak dengan pencampuran minyak cengkeh sebesar 2%
- 3% = Minyak jarak dengan pencampuran minyak cengkeh sebesar 3%
- 4% = Minyak jarak dengan pencampuran minyak cengkeh sebesar 4%
- 100% = Minyak cengkeh murni tanpa dicampur ke dalam minyak jarak

## 4.2 Analisa dan Pembahasan

### 4.2.1 Pengaruh Persentase Penambahan Minyak Cengkeh Terhadap *Ignition Delay Time* Pembakaran *Droplet* Minyak Jarak



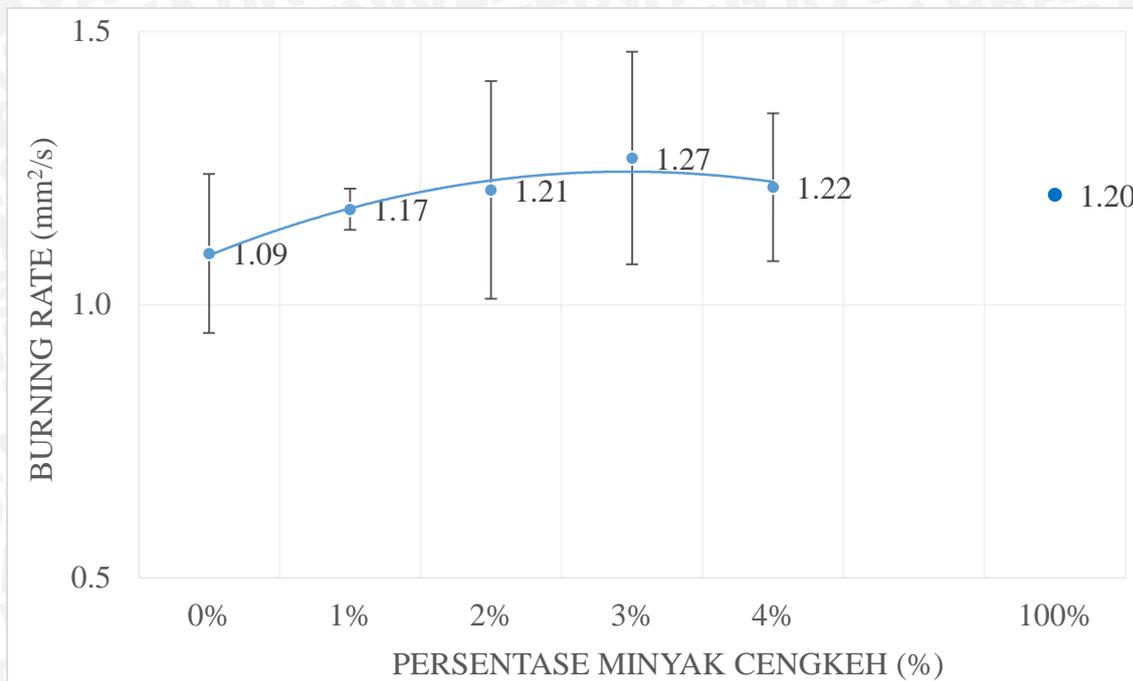
Gambar 4.3 Pengaruh persentase minyak cengkeh terhadap *ignition delay time*

Gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara persentase penambahan minyak cengkeh terhadap *ignition delay time*. Secara urut, nilai *ignition delay time* dari 0% hingga 100% yaitu 8.12s, 6.18s, 5.88s, 5.33s, 4.66s, dan 4.22s.

*Ignition delay time* merupakan waktu jeda saat *heater* mulai dipanaskan hingga *droplet* mulai terbakar. Penambahan minyak cengkeh akan mengakibatkan berkurangnya *ignition delay time*. Hal ini dikarenakan adanya eugenol pada kandungan minyak cengkeh yang melemahkan ikatan *van der Waals* pada minyak jarak. Saat minyak jarak bercampur dengan minyak cengkeh, eugenol yang ada pada minyak cengkeh akan menyisip di antara rantai karbon minyak jarak. Struktur kimia minyak jarak yang berupa rantai lurus akan merenggang akibat penyisipan eugenol tersebut. Akibatnya rantai karbon akan lebih mudah terlepas dan mengakibatkan campuran lebih reaktif. Sehingga *ignition delay time* yang dihasilkan juga lebih rendah. Ilustrasi pemodelan campuran minyak cengkeh pada minyak jarak dapat dilihat pada gambar 2.2.

Selain itu, nilai *ignition delay time* pada campuran 4% lebih rendah bila dibandingkan dengan 1%, 2%, dan 3%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan persentase minyak cengkeh akan mengurangi nilai *ignition delay time*.

#### 4.2.2 Pengaruh Persentase Penambahan Minyak Cengkeh Terhadap *Burning Rate* Pembakaran *Droplet* Minyak Jarak



Gambar 4.4 Pengaruh persentase minyak cengkeh terhadap *burning rate*

Gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara variasi penambahan minyak cengkeh terhadap karakteristik pembakaran *burning rate*. Secara urut dari 0% hingga 100%, nilai *burning rate* yang dihasilkan yaitu 1.09 mm<sup>2</sup>/s, 1.17 mm<sup>2</sup>/s, 1.21 mm<sup>2</sup>/s, 1.27 mm<sup>2</sup>/s, 1.22 mm<sup>2</sup>/s, dan 1.20 mm<sup>2</sup>/s.

Untuk menghitung *burning rate*, perlu diketahui *burning lifetime* dan diameter *droplet*. Contoh perhitungan *burning rate* dapat dilihat sebagai berikut. Contoh perhitungan dilakukan pada pembakaran *droplet* minyak jarak dengan variasi minyak cengkeh sebesar 1%.

$$D^2(t) = D_0^2 - K_c \cdot t$$

Keterangan:

$D$  : diameter *droplet* pada waktu tertentu (mm)

$D_0$ : diameter *droplet* awal (mm)

$K_c$ : *burning rate constant* (mm<sup>2</sup>/s)

$t$  : *burning lifetime* (s)

$$K_c = -\left(\frac{D^2 - D_0^2}{t}\right)$$

$$K_c = -\left(\frac{0^2 - 1,18^2}{1,2}\right)$$

$$K_c = 1.17 \text{ mm}^2/\text{s}$$

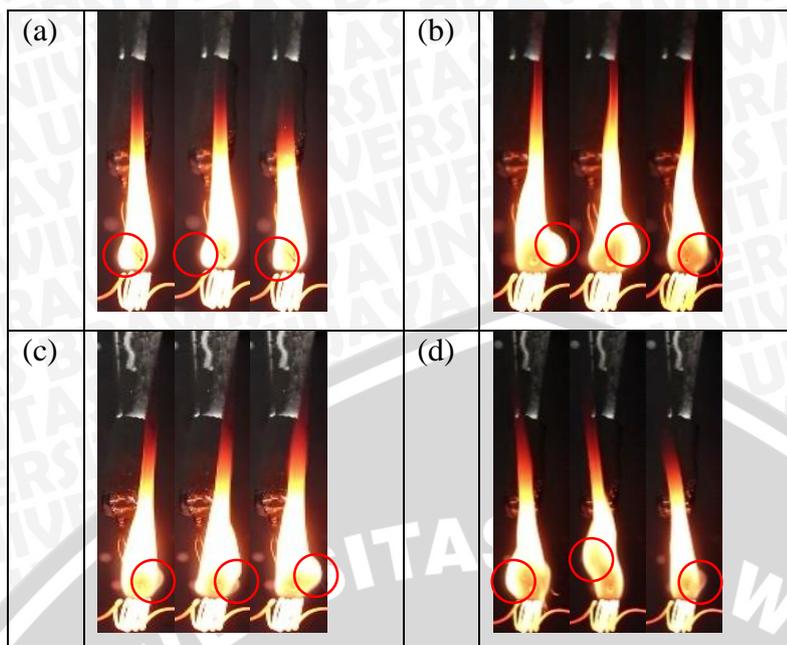
*Burning rate* merupakan ukuran kecepatan pembakaran dalam suatu bahan bakar. Dengan adanya penambahan minyak cengkeh memungkinkan untuk memperbaiki salah satu karakteristik pembakaran yaitu nilai *burning rate*, sehingga nilai *burning rate* meningkat. Semakin tinggi *burning rate*, bahan bakar lebih cepat terbakar dan penguapan yang terjadi lebih cepat.

Bertambahnya persentase minyak cengkeh akan meningkatkan *burning rate*. Hal ini dikarenakan minyak cengkeh memungkinkan untuk menyempurnakan pembakaran pada minyak jarak. Selain itu peningkatan nilai *burning rate* dikarenakan adanya fenomena *microexplosion*.

Komponen asam lemak dari minyak nabati akan terbakar pada tahap pertama dan gliserol akan terbakar pada tahap kedua. Antara pembakaran tahap pertama dan kedua adalah saat dimana asam lemak mulai habis namun gliserol mulai menguap. Lalu asam lemak menyusup kedalam gliserol dan terjebak didalamnya. Saat terjadi pemanasan terus menerus, asam lemak akan menguap terlebih dahulu. Namun karena asam lemak terjebak didalam gliserol, maka tekanan asam lemak meningkat dan terjadi ledakan *micro*, atau yang disebut dengan *microexplosion*.

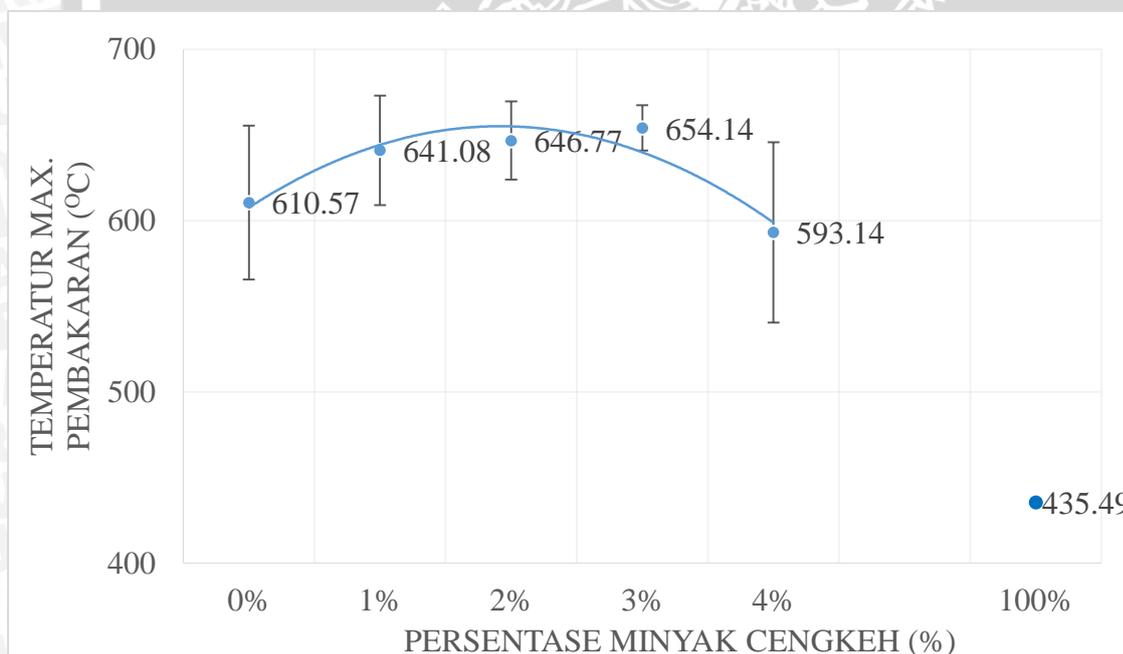
Terjadinya *microexplosion* juga disebabkan adanya perbedaan pada *boiling point* minyak cengkeh dan minyak jarak. Nilai *boiling point* minyak cengkeh sebesar 254°C dan minyak jarak sebesar 286°C. Minyak cengkeh memiliki *boiling point* yang lebih rendah bila dibandingkan dengan minyak jarak. Minyak cengkeh dan minyak jarak sama-sama menerima kalor dari luar. Namun karena minyak cengkeh memiliki *boiling point* yang lebih rendah daripada minyak jarak, volume dan tekanan minyak cengkeh lebih cepat meningkat dan akhirnya terjadi ledakan yang disebut *microexplosion*.

Selain itu dengan adanya *microexplosion*, *droplet* akan terpecah menjadi ukuran yang lebih kecil sehingga pembakaran akan terjadi lebih cepat. Pembakaran terjadi lebih cepat akibat luas bidang kontak semakin besar. Fenomena *microexplosion* pada campuran minyak cengkeh pada minyak jarak dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Fenomena *microexplosion* pada (a) 1%, (b) 2%, (c) 3%, (d) 4%

### 4.2.3 Pengaruh Persentase Penambahan Minyak Cengkeh Terhadap Temperatur Maksimal Pembakaran *Droplet* Minyak Jarak



Gambar 4.6 Pengaruh persentase minyak cengkeh terhadap temperatur *max.* pembakaran

Gambar 4.6 menunjukkan hubungan antara persentase penambahan minyak cengkeh terhadap temperatur pembakaran. Dari hasil penelitian, didapatkan nilai

temperatur pembakaran secara urut dari 0% hingga 100% yaitu sebesar 610.57°C, 641.08°C, 646.77°C, 654.14°C, 593.14°C, dan 435.49°C.

Temperatur pembakaran merupakan temperatur pada saat terjadinya proses pembakaran antara bahan bakar dengan udara. Salah satu yang mempengaruhi nilai temperatur pembakaran yaitu *heating value*.

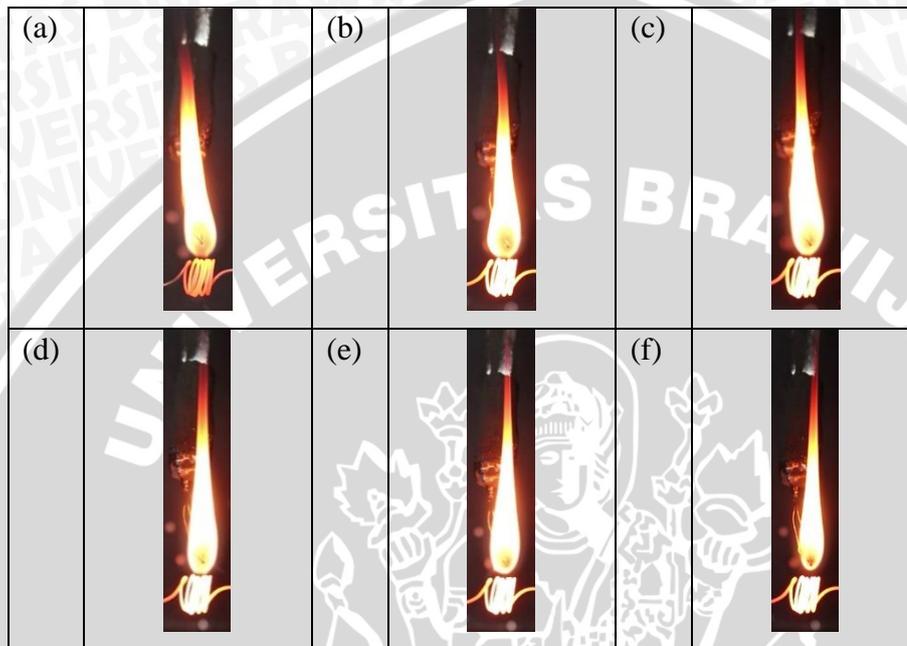
Semakin tinggi *heating value* maka temperatur pembakaran pun semakin tinggi. Semakin tinggi *heating value* suatu bahan bakar maka semakin ekonomis bahan bakar tersebut. *Heating value* minyak jarak yaitu sebesar 8953.293 kcal/kg, sedangkan *heating value* minyak cengkeh yaitu sebesar 5404.545 kcal/kg. Temperatur pembakaran 0% lebih besar daripada 100% karena 0% memiliki *heating value* yang lebih besar dibandingkan 100%.

Dari gambar 4.6 dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan minyak cengkeh akan menyempurnakan pembakaran dari minyak jarak. Namun akibat terlalu banyak penambahan minyak cengkeh, temperatur pembakaran campuran minyak cengkeh dan minyak jarak menjadi turun, karena nilai kalor minyak cengkeh lebih rendah daripada minyak jarak. Dalam penelitian ini, nilai temperatur tertinggi yaitu pada penambahan minyak cengkeh sebesar 3%.

Temperatur tinggi merupakan salah satu parameter yang menunjukkan bahwa pembakaran tersebut terjadi secara sempurna. Pembakaran sempurna terjadi saat bahan bakar melepaskan kalor yang besar dan menghasilkan temperatur yang tinggi. Hal ini didukung oleh penelitian sebelumnya, Kadarohman (2010) meneliti bahwa penambahan minyak cengkeh akan mengurangi emisi gas buang CO.

#### 4.2.4 Pengaruh Persentase Penambahan Minyak Cengkeh Terhadap Dimensi Api Pembakaran *Droplet* Minyak Jarak

Dari penelitian ini juga dapat diketahui dimensi api yang dihasilkan. Dimensi api tersebut meliputi tinggi api. Dimensi api yang dihasilkan diukur menggunakan *software Autodesk Inventor 2014*. Gambar 4.7 merupakan visualisasi nyala api yang dihasilkan, selengkapnya dapat dilihat di lampiran.



Gambar 4.7 Contoh dimensi api pada (a) 0%, (b) 1%, (c) 2%, (d) 3%, (e) 4%, (f) 100%



Gambar 4.8 Pengaruh persentase minyak cengkeh terhadap dimensi tinggi api

Gambar 4.8 menunjukkan hubungan antara persentase penambahan minyak cengkeh terhadap dimensi tinggi api yang dihasilkan. Dari hasil penelitian, didapatkan dimensi tinggi api dari 0% hingga 100% sebesar 47.17mm, 44.76mm, 41.31mm, 40.27mm, 37.42mm dan 26.34mm.

Menurut hasil penelitian, dimensi api tertinggi terjadi pada 0% dan dimensi api paling rendah terjadi pada 100%. Dimensi api menunjukkan daerah reaksi bahan bakar. Apabila bahan bakar cepat terbakar maka penguapannya pun semakin cepat dan mengakibatkan dimensi api yang dihasilkan kecil.

Menurut hasil penelitian diatas, dengan adanya penambahan minyak cengkeh menghasilkan dimensi api yang lebih kecil. Hal ini terjadi karena dengan adanya penambahan minyak cengkeh maka minyak akan cepat terbakar sehingga api belum sempat meninggi dan dimensi api yang dihasilkan menjadi lebih pendek.

