

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Droplet dibentuk dan ditetaskan menggunakan alat khusus pembentuk *droplet* dengan volume 1,25 mikroliter. Secara teoritis, diameter *droplet* yang terbentuk adalah 1,336325 mm. Lalu diperoleh data karakteristik pembakaran *droplet* biodiesel minyak nabati (biodiesel minyak jarak, biodiesel minyak kelapa, biodiesel minyak biji bunga matahari, dan biodiesel minyak jagung) yang sudah dilakukan pencampuran minyak cengkeh dengan kadar 3%. Selain itu, didapatkan pula data pembakaran biodiesel dari keempat minyak nabati tersebut, sebagai pembandingan. Data yang diperoleh adalah video nyala api dan temperatur pembakaran. Dari data tersebut, diperoleh karakteristik pembakaran *droplet* biodiesel minyak nabati, yaitu *ignition delay*, durasi nyala api pembakaran, temperatur pembakaran, dan visualisasi nyala api (lebar & tinggi api). Dalam penelitian ini, menggunakan beberapa istilah penamaan bahan bakar, diantaranya adalah:

- B Jr : Biodiesel Minyak Jarak
- B Jr C : Biodiesel Minyak Jarak dengan penambahan Minyak Cengkeh
- B K : Biodiesel Minyak Kelapa
- B K C : Biodiesel Minyak Kelapa dengan penambahan Minyak Cengkeh
- M C : Minyak Cengkeh
- B M : Biodiesel Minyak Biji Bunga Matahari
- B M C : Biodiesel Minyak Biji Bunga Matahari dengan penambahan Minyak Cengkeh
- B Jg : Biodiesel Minyak Jagung
- B Jg C : Biodiesel Minyak Jagung dengan penambahan Minyak Cengkeh

4.1.1 Dimensi *Droplet*

Saat pengambilan data, *droplet* dibentuk menggunakan alat pembentuk *droplet* sehingga menghasilkan ukuran diameter awal *droplet* 1,05 mm hingga 1,6 mm. Bentuk *droplet* yang telah tergantung pada *thermocouple* dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Ukuran *Droplet* Biodiesel Minyak Nabati dengan Campuran Minyak Cengkeh 3%, (a) Biodiesel Minyak Jarak, (b) Biodiesel Minyak Kelapa, (c) Biodiesel Minyak Biji Bunga Matahari, (d) Biodiesel Minyak Jagung

4.1.2 Tabel Data

Tabel 4.1 Data biodiesel minyak nabati & minyak cengkeh

Jenis Minyak	Percobaan ke	Temp. Pemb. Maks. [C]	Waktu Api [s] (Ignition Delay)	Mati	Durasi Api [s]	Dimensi Api [mm] Lebar	Tinggi	Diameter Droplet [mm]	Burning Rate [mm.mm/s]	Diameter Droplet awal [mm]
B Jr	1	533,567	5,92	8,1	2,18	5,64	38,63	1,65	1,248853211	1,42
	2	515,95	6,62	8,3	1,68	6	38,1	1,52	1,375238095	1,33
	3	597,979	6,44	8,74	2,3	6	40,92	1,75	1,331521739	1,51
	4	529,602	5,86	8,4	2,54	6,17	44,27	1,8	1,27590551	1,63
	Average	544,2745	6,21	8,385	2,175	5,9525	40,48	1,68	1,307800899	1,4725
B K	1	556,338	4,89	6,66	1,77	4,55	14,39	1,14	0,734237288	1,05
	2	513,192	4,84	6,38	1,54	5,4	20	1,23	0,982402597	0
	3	540,269	4,78	6,54	1,76	5,71	13,76	1,43	1,161875	1,35
	4	549,423	4,7	6,46	1,76	5,4	15,98	1,43	1,161875	1,3
	Average	539,8055	4,8025	6,51	1,7075	5,265	16,0325	1,3075	1,010097471	1,233333333
B M	1	521,586	5,62	6,88	1,26	6,24	38,52	1,55	1,906746032	1,3
	2	519,293	5,76	6,96	1,2	6,14	41,28	1,43	1,704083333	1,3
	3	507,922	5,74	7,14	1,4	5,82	40,11	1,47	1,5435	1,4
	4	428,49	5,88	7,5	1,62	7,3	43,6	1,55	1,483024691	1,39
	Average	494,32275	5,75	7,12	1,37	6,375	40,8775	1,5	1,659338514	1,3475
B Jg	1	473,331	5,7	6,86	1,16	5,61	38,74	1,53	2,018017241	1,3
	2	475,775	4,8	6,02	1,22	5,93	40	1,52	1,893770492	1,25
	3	479,692	4,74	5,86	1,12	5,71	36,94	1,3	1,508928571	1,21
	4	576,49	5,28	6,62	1,34	5,4	32,17	1,53	1,746940299	1,26
	Average	501,322	5,13	6,34	1,21	5,6625	36,9625	1,47	1,791914151	1,255
M C	1	426,16	3,763	5,448	1,685	5,837	28,841	1,352	1,084809496	1,35
	2	404,902	3,798	6,27	2,472	7,275	22,21	1,835	1,362146036	1,61
	3	439,141	4,449	6,319	1,87	5,923	28,391	1,392	1,036183957	1,46
	4	471,752	4,882	6,222	1,34	5,665	25,923	1,33	1,320074627	1,42
	Average	435,48875	4,223	6,0648	1,84175	6,175	26,34125	1,47725	1,200803529	1,46

Tabel 4.2 Data biodiesel minyak nabati dengan penambahan minyak cengkeh

Jenis Minyak	Percobaan ke	Temp. Pemb. Maks. [C]	Waktu Api [s]		Durasi Api [s]	Dimensi Api [mm]		Diameter Droplet [mm]	Burning Rate [mm.mm/s]	Diameter Droplet awal [mm]
			(Ignition Delay)	Mati		Lebar	Tinggi			
B Jr C	1	457,68	3,3	5,2	1,9	6,99	37,89	1,53	1,232052632	1,35
	2	534,791	4,22	5,94	1,72	5,82	35,67	1,48	1,273488372	1,31
	3	532,289	4,6	6,48	1,88	6,67	43,18	1,53	1,245159574	1,32
	4	524,214	3,92	5,3	1,38	6,03	37,25	1,32	1,262608696	1,18
	Average	512,2435	4,01	5,73	1,72	6,3775	38,4975	1,465	1,253327318	1,29
B K C	1	528,601	4,96	6,16	1,2	5,82	19,69	1,11	1,02675	1,16
	2	518,923	3,66	5,64	1,98	5,4	21,38	1,69	1,442474747	1,44
	3	523,004	4,42	6,02	1,6	6,35	20,53	1,43	1,2780625	1,32
	4	521,744	4,36	5,72	1,36	5,93	22,23	1,14	0,955588235	1,34
	Average	523,068	4,35	5,885	1,535	5,875	20,9575	1,3425	1,175718871	1,315
B M C	1	454,952	3,86	5,58	1,72	7,51	48,89	1,59	1,469825581	1,44
	2	485,467	3,78	5,16	1,38	6,67	45,93	1,51	1,652246377	1,33
	3	441,221	3,98	5,3	1,32	6,77	42,02	1,4	1,484848485	1,32
	4	397,687	4,34	6,2	1,86	8,36	52,6	1,75	1,646505376	1,52
	Average	444,83175	3,99	5,56	1,57	7,3275	47,36	1,5625	1,563356455	1,4025
B Jg C	1	512,138	3,68	4,9	1,22	6,46	44,13	1,27	0,80645	1,19
	2	532,231	3,52	4,98	1,46	6,46	46,99	1,53	1,17045	1,43
	3	420,419	3,38	4,74	1,36	6,88	44,87	1,43	1,02245	1,26
	4	550,785	3,86	5,44	1,58	7,94	45,08	1,53	1,17045	1,37
	Average	503,89325	3,61	5,015	1,405	6,935	45,2675	1,44	1,04245	1,3125

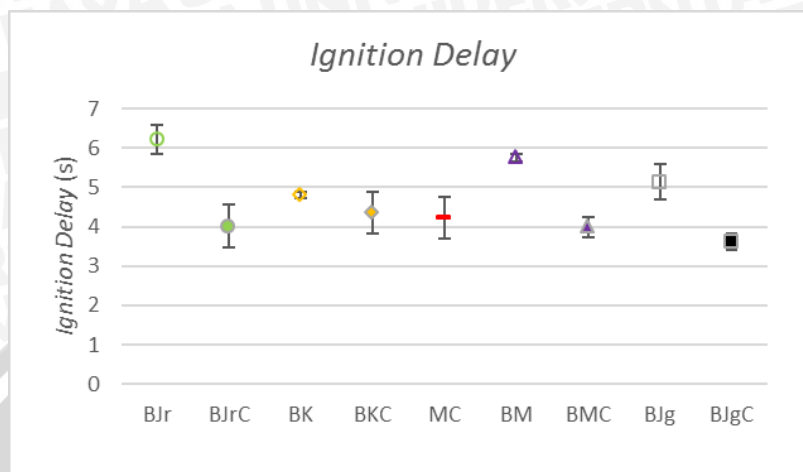
Tabel 4.3 Properties masing-masing biodiesel minyak nabati

Jenis Bahan	Flash Point	Viskositas	Densitas	Heating
Bakar	(°C)	(cSt)	(gr/ml)	Value (kal/gr)
Bio. M Jarak	186	15,085	0,895	9227,544
Bio. M Kelapa	106	9,466	0,887	9146,107
Bio. M Biji Bunga Matahari	128	7,409	0,877	9071,856
Bio. M Jagung	127	7,731	0,876	9084,828
Minyak Cengkeh	102	9,623	1,092	5405,545

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya, 2016

4.2 Analisa dan Pembahasan

4.2.1 Pengaruh Penambahan Minyak Cengkeh terhadap *Ignition Delay* Biodiesel Minyak Nabati



Grafik 4.1 *Ignition Delay* Biodiesel Minyak Nabati, Minyak Cengkeh, dan Campuran Biodiesel Minyak Nabati dengan Minyak Cengkeh

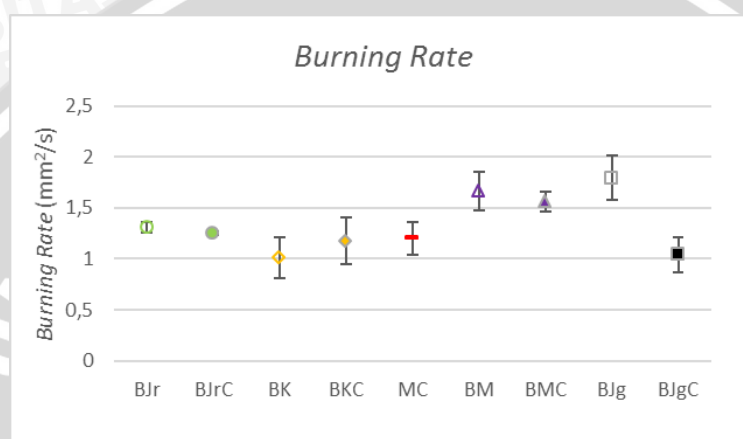
Ignition delay adalah durasi waktu yang dibutuhkan bahan bakar hingga menyala terjadi pembakaran. Semakin rendah nilai sebuah *ignition delay*, maka proses pembakaran akan semakin baik, karena bahan bakar dapat lebih cepat bereaksi. Pada data di atas, terlihat bahwa *ignition delay* minyak cengkeh lebih rendah daripada biodiesel minyak nabati. Hal tersebut menyebabkan campuran biodiesel minyak nabati dengan minyak cengkeh 3% memiliki *ignition delay* yang lebih rendah, dimana biodiesel minyak jarak cengkeh 3% 4,01s, biodiesel minyak kelapa cengkeh 3% 4,35s, biodiesel minyak matahari cengkeh 3% 3,99s, dan biodiesel minyak jagung cengkeh 3% 3,61s.

Lalu berdasarkan data *flash point*, yang terendah adalah biodiesel minyak kelapa. Hal ini akan mempengaruhi *ignition delay* yang terjadi. Semakin rendah nilai *flash point*, maka akan semakin rendah nilai *ignition delay*. Hal ini terbukti pada data di atas.

Nilai massa jenis minyak cengkeh adalah sekitar 1 g/ml. Hal ini menunjukkan bahwa minyak cengkeh memiliki densitas paling besar diantara biodiesel-biodiesel yang digunakan dalam pengujian. Hal tersebut akan menyebabkan pada sebuah campuran biodiesel dengan minyak cengkeh, minyak cengkeh berada pada posisi di bawah. Sehingga akan menyebabkan penyalaan api dipicu oleh penyalaan minyak cengkeh. Dapat dilihat pada grafik 4.1 bahwa nilai *ignition delay* biodiesel campuran minyak cengkeh tidak berbeda jauh dengan nilai *ignition delay* minyak cengkeh.

Selain itu, Zhu (2015) juga menyatakan bahwa *ignition delay* dipengaruhi beberapa faktor selain faktor-faktor di atas. Penelitian yang dilakukan Zhu (2015) menemukan bahwa *ignition delay* dipengaruhi oleh ukuran *droplet* dan juga kandungan air. Nilai *ignition delay* berbanding lurus dengan ukuran *droplet* dan juga kandungan air.

4.2.2 Pengaruh Penambahan Minyak Cengkeh terhadap *Burning Rate* Biodiesel Minyak Nabati



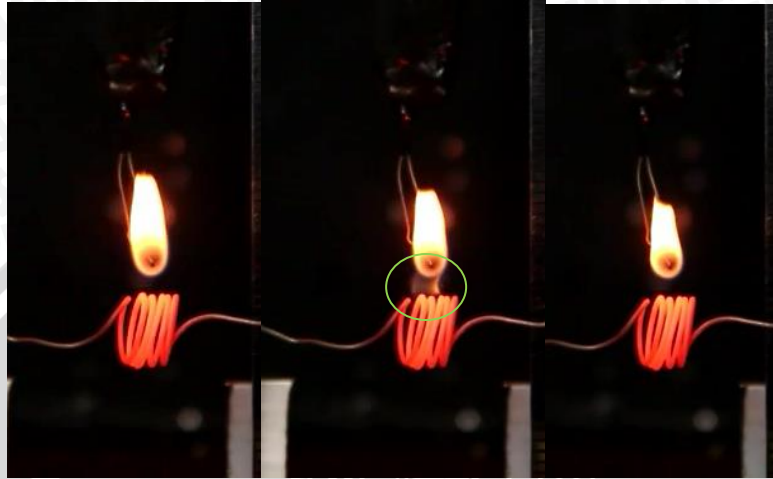
Grafik 4.2 *Burning Rate* Biodiesel Minyak Nabati, Minyak Cengkeh, dan Campuran Biodiesel Minyak Nabati dengan Minyak Cengkeh

Burning rate adalah kemampuan sebuah bahan bakar mulai dari terbakar hingga terbakar habis, memiliki satuan mm^2/s . Semua data pengujian menunjukkan penurunan *burning rate* setelah dicampurkan minyak cengkeh, kecuali pada biodiesel minyak kelapa. Biodiesel minyak kelapa memiliki laju pembakaran yang lambat. Sehingga, apabila ditambahkan minyak cengkeh yang memiliki laju pembakaran lebih baik, menghasilkan *burning rate* yang lebih tinggi.

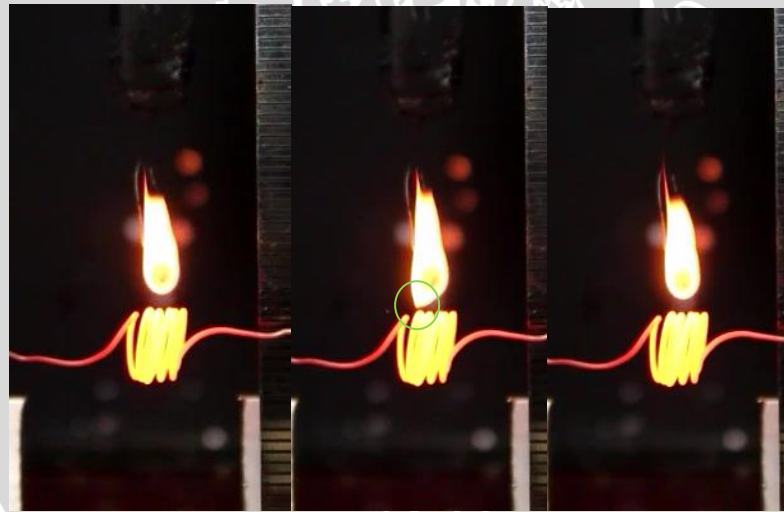
Penelitian yang dilakukan oleh Saputro (2013) mengatakan bahwa kemampuan berdifusi oksigen terhadap bahan bakar akan mempengaruhi durasi waktu pembakaran. Hal ini senada dengan penelitian yang dilakukan oleh Zhu (2015) yang menyatakan bahwa *burning rate* dipengaruhi oleh *diffusion rate of oxygen* dan kandungan air sebuah bahan bakar. Sehingga data yang ditunjukkan mengindikasikan bahwa kemampuan bereaksi biodiesel kelapa terhadap oksigen paling rendah diantara ketiga bahan bakar lainnya.

Selain itu, dalam proses pembakaran ini terdapat fenomena *microexplosion*. Fenomena ini adalah terjadinya ledakan atau muntahan saat berlangsungnya proses pembakaran. Hal ini disebabkan karena perbedaan titik didih pada campuran bahan bakar,

sehingga dapat menyebabkan bahan bakar terbuang akibat ledakan tersebut. *Microexplosion* tersebut juga mempengaruhi *burning rate*, karena dapat menyebabkan konsentrasi bahan bakar berkurang dan menyebabkan proses pembakaran berlangsung lebih cepat.

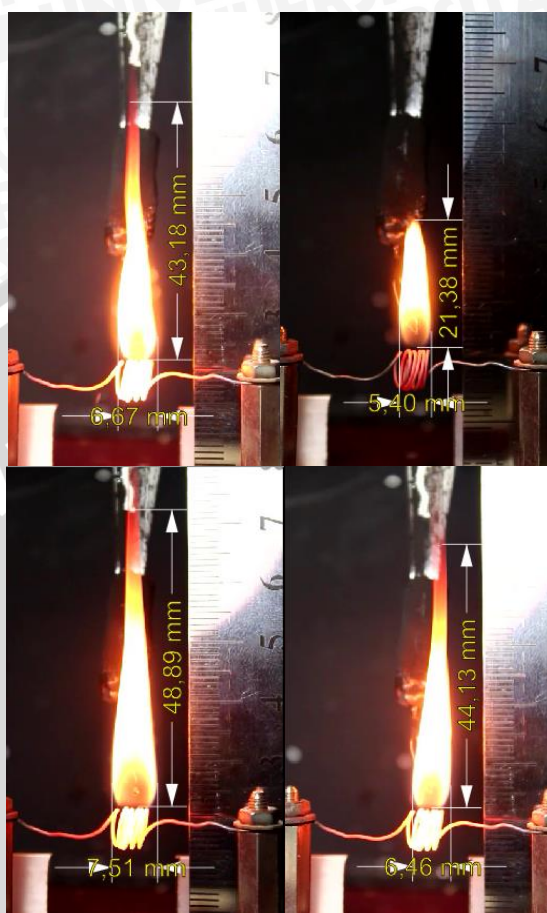


Gambar 4.2 *Microexplosion* pada biodiesel minyak biji bunga matahari

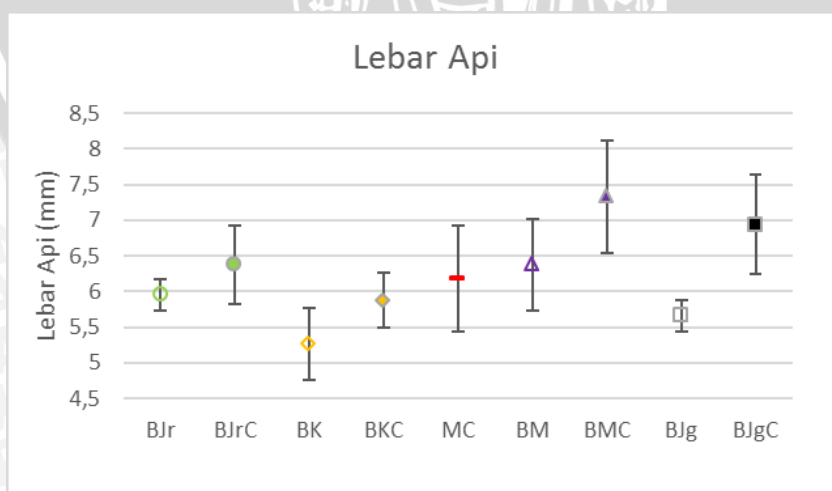


Gambar 4.3 *Microexplosion* pada biodiesel minyak jagung

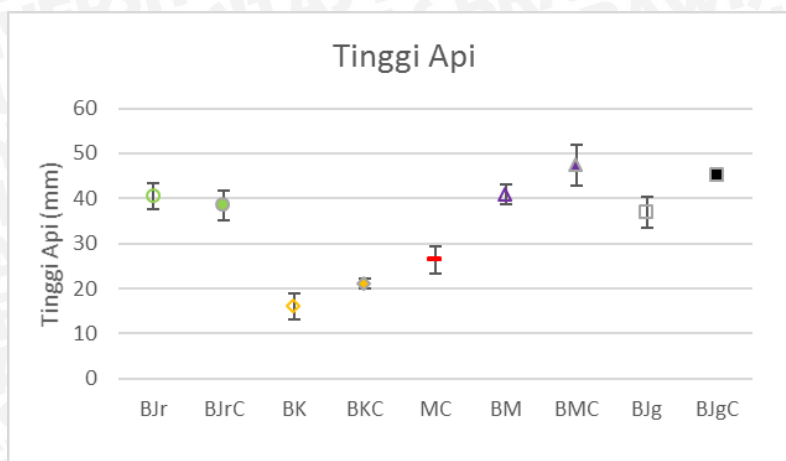
4.2.3 Pengaruh Penambahan Minyak Cengkeh terhadap Dimensi Api Biodiesel Minyak Nabati



Gambar 4.4 Dimensi Api Campuran Biodiesel Minyak Nabati dengan Minyak Cengkeh (a) Biodiesel Minyak Jarak + CGK, (b) Biodiesel Minyak Kelapa + CGK, (c) Biodiesel Minyak Matahari + CGK, (d) Biodiesel Minyak Jagung + CGK



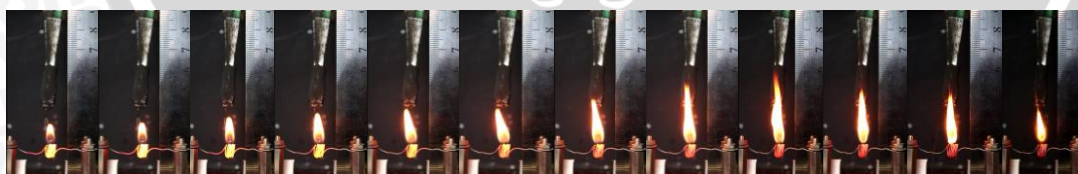
Grafik 4.3 Lebar Api Biodiesel Minyak Nabati, Minyak Cengkeh, dan Campuran Biodiesel Minyak Nabati dengan Minyak Cengkeh



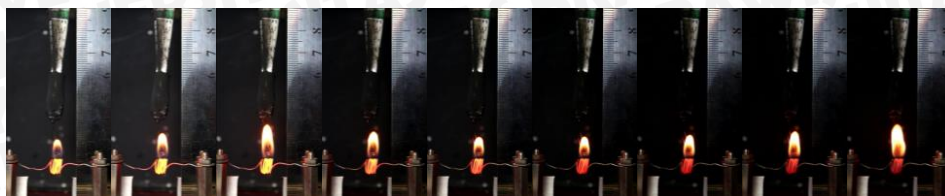
Grafik 4.4 Tinggi Api Biodiesel Minyak Nabati, Minyak Cengkeh, dan Campuran Biodiesel Minyak Nabati dengan Minyak Cengkeh

Pengukuran tinggi dan lebar api dilakukan pada saat api menunjukkan ketinggian maksimal. *Software* yang digunakan untuk menentukan dimensi api tersebut adalah Corel Draw X7. Dimensi api menunjukkan kemampuan penyebaran, serta seberapa rektif bahan bakar untuk bereaksi dengan oksidator pada lingkungannya.

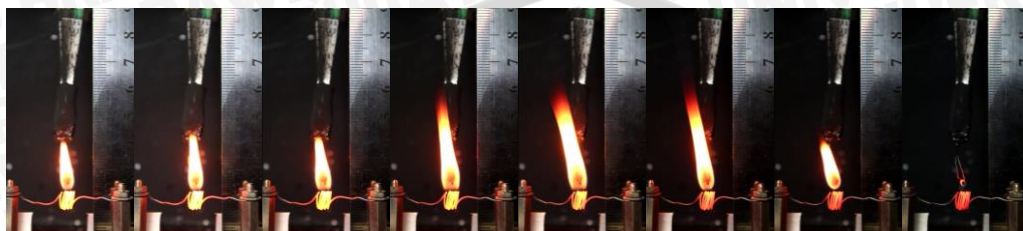
Penambahan minyak cengkeh terhadap semua jenis bahan bakar, kecuali biodiesel minyak jarak, menunjukkan bertambahnya dimensi api, baik lebar maupun tinggi api. Namun apabila dikalkulasi luas berupa panjang dikalikan lebar, semua bahan bakar mengalami pertambahan dimensi setelah ditambahkan campuran minyak cengkeh. Hal ini dikarenakan sifat minyak cengkeh sebagai senyawa aromatik yang mudah menguap. Sehingga apabila ditambahkan pada bahan bakar, maka bahan bakar tersebut saat terbakar akan lebih mudah penyebarannya ke lingkungan, menyebabkan tinggi api dan lebar api yang lebih besar.



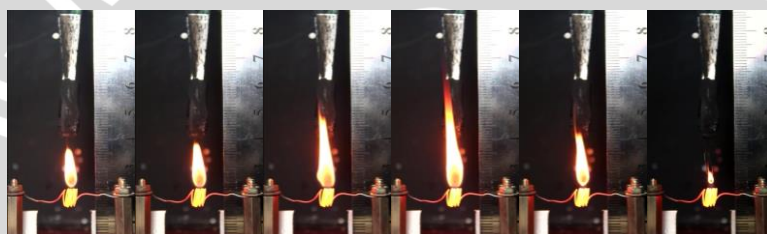
Gambar 4.5 Perubahan dimensi api biodiesel minyak jarak setiap 0,2 detik



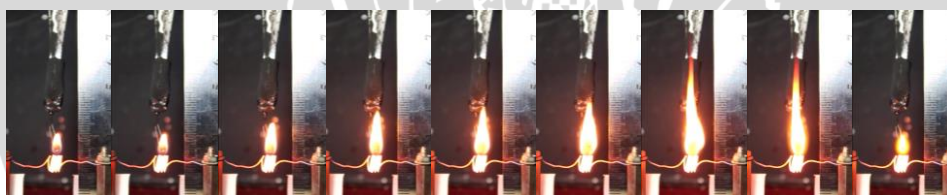
Gambar 4.6 Perubahan dimensi api biodiesel minyak kelapa Setiap 0,2 detik



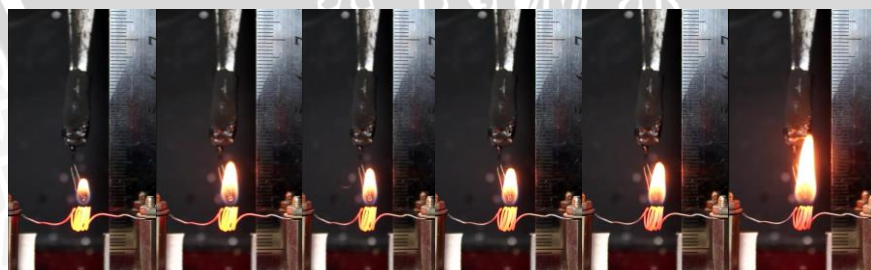
Gambar 4.7 Perubahan dimensi api biodiesel minyak biji bunga matahari Setiap 0,2 detik



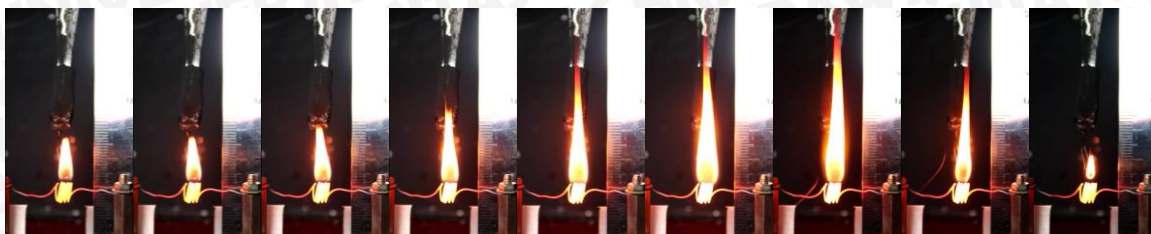
Gambar 4.8 Perubahan dimensi api biodiesel minyak jagung Setiap 0,2 detik



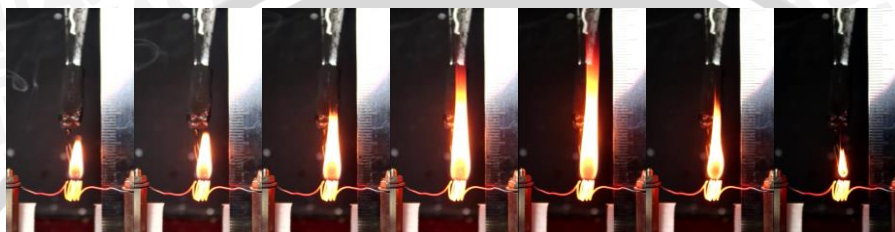
Gambar 4.9 Perubahan dimensi api campuran biodiesel minyak jarak dengan penambahan minyak cengkeh Setiap 0,2 detik



Gambar 4.10 Perubahan dimensi api campuran biodiesel minyak kelapa dengan penambahan minyak cengkeh Setiap 0,2 detik



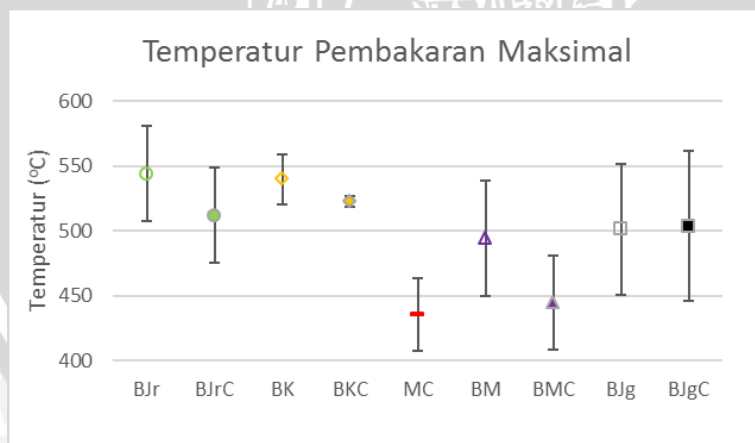
Gambar 4.11 Perubahan dimensi api campuran biodiesel minyak biji bunga matahari dengan minyak cengkeh setiap 0,2 detik



Gambar 4.12 Perubahan dimensi api campuran biodiesel minyak jagung dengan minyak cengkeh setiap 0,2 detik

Pada biodiesel minyak kelapa, dapat dilihat bahwa kenaikan dimensi api terjadi dua kali. Ketinggian api meningkat, menurun, lalu meningkat kembali.

4.2.4 Pengaruh Penambahan Minyak Cengkeh terhadap Temperatur Pembakaran Maksimal Biodiesel Minyak Nabati



Grafik 4.5 Temperatur Pembakaran Maksimal Biodiesel Minyak Nabati, Minyak Cengkeh, dan Campuran Biodiesel Minyak Nabati dengan Minyak Cengkeh

Dari data di atas, dapat dilihat bahwa temperatur pembakaran maksimal biodiesel minyak nabati murni lebih tinggi daripada biodiesel minyak nabati yang sudah mendapatkan campuran minyak cengkeh. Hal ini sesuai dengan *heat value* yang dimiliki oleh jenis minyak-minyak di atas, dimana *heat value* biodiesel minyak nabati murni lebih

tinggi daripada minyak cengkeh. Sehingga apabila dicampurkan, akan menghasilkan temperatur pembakaran maksimal yang lebih rendah.

Urutan temperatur pembakaran maksimal pada data di atas, mulai dari yang tertinggi hingga yang terendah adalah biodiesel minyak kelapa, biodiesel minyak jarak, biodiesel minyak jagung, dan biodiesel minyak matahari. Urutan temperatur seperti ini tidak hanya berlaku untuk biodiesel minyak nabati yang belum mengalami campuran minyak cengkeh, tapi juga biodiesel minyak nabati yang telah dicampurkan minyak cengkeh. Hal ini dikarenakan nilai *heating value* yang dimiliki oleh masing-masing minyak, yang tertinggi adalah biodiesel minyak jarak 9227,544kal/gr dan biodiesel minyak kelapa 9146,107kal/gr. Sedangkan *heating value* biodiesel minyak jagung hanya 9084,828kal/gr, biodiesel minyak biji bunga matahari 9071,856kal/gr, dan minyak cengkeh 5405,545kal/gr.

