

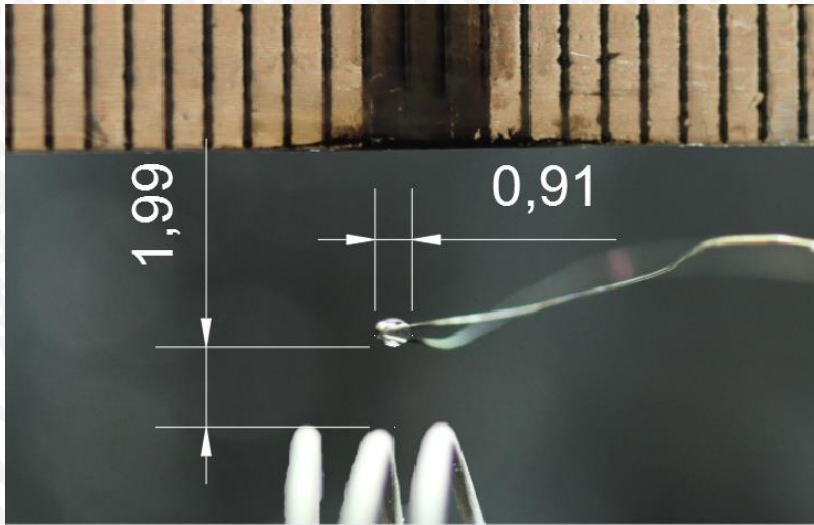
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Data yang diambil pada penelitian kali ini adalah data karakteristik pembakaran *droplet* minyak jarak dengan variasi campuran alkohol, yaitu metanol, etanol, propanol, dan butanol. Data diperoleh dari *data logger* dan perekaman nyala api selama proses pembakaran. Pada proses perekaman, digunakan kamera dengan *frame per second* (fps) sebesar 50 atau 0,02 s. Data *ignition delay* didapatkan dari *frame* pertama ketika *heater* tepat dibawah *droplet* hingga *frame* pertama ketika munculnya nyala api, dimana data *ignition delay* yang diambil merupakan nilai rata-rata dari lima kali pengujian dari masing-masing variasi. Visualisasi nyala api dan *burning lifetime* didapatkan menggunakan perekaman kamera, dimana data *burning lifetime* dilihat pada *frame* awal ketika muncul api hingga *frame* terakhir ketika api padam, lalu nilai dari *burning lifetime* dapat digunakan untuk menghitung nilai *burning rate* dengan cara memasukkan nilai diameter *droplet* dan *burning lifetime* pada persamaan 2-1. Untuk nilai *burning rate* juga diambil nilai rata-rata dari masing-masing variasi, lalu untuk dimensi api diambil nilai yang terbesar dari masing-masing variasi percobaan. Sedangkan temperatur nyala api didapatkan melalui pengukuran dengan menggunakan *thermocouple* yang direkam oleh *data logger*. Untuk temperatur diambil nilai yang tertinggi dari masing-masing variasi

4.1.1 Diameter Droplet

Pada penelitian kali ini, *droplet* dibentuk oleh alat pembentuk *droplet* yang memiliki volume maksimal sebesar 1 mL. *Droplet* diletakkan pada *thermocouple*, dengan jarak *droplet* dengan *heater* sebesar 1,99 mm. Pada gambar 4.1 dapat dilihat jarak *droplet* dengan *heater*.



Gambar 4.1 Jarak antara *droplet* dengan *heater*

Pada penelitian kali ini terdapat empat variasi percobaan, dimana masing-masing variasi dilakukan lima kali percobaan. Dari empat variasi didapatkan diameter *droplet* dengan menghitung rata-rata dari ke lima percobaan, untuk rata-rata diameter *droplet* dari masing-masing variasi dapat dilihat pada tabel 4.1. Untuk data hasil penelitian dari masing-masing percobaan dapat dilihat pada tabel 4.2. Pada tabel 4.2 nilai *ignition delay*, *burning lifetime*, dan dimensi api yang meliputi tinggi dan lebar api didapatkan dari perekaman kamera, sedangkan temperatur didapatkan pada pengukuran menggunakan *thermocouple* yang direkam oleh *data logger*. Lalu untuk menghitung nilai dari *burning rate* dilakukan perhitungan dengan menggunakan diameter *droplet* dan *burnig lifetime*, dan dimasukkan kedalam persamaan 2-1.

Tabel 4.1

Data diameter *droplet*

Percobaan	Diameter <i>droplet</i> (mm)
Minyak jarak + Metanol	0,98
Minyak jarak + Etanol	0,96
Minyak jarak + Propanol	1,02
Minyak jarak + Butanol	0,96
Minyak jarak tanpa campuran	1,03

Pada pengujian, nilai *ignition delay*, visualisasi nyala api, dan *burning lifetime* didapatkan dari perekaman kamera, dimana nilai dari *ignition delay* didapatkan dari *frame* pertama ketika *heater* tepat dibawah *droplet* hingga *frame* pertama ketika munculnya nyala api. Untuk nilai *burning lifetime* didapatkan dari *frame* awal ketika muncul api hingga *frame* terakhir ketika api padam. Lalu nilai *burning lifetime* dapat digunakan untuk mendapatkan *burning rate* sesuai persamaan 2-1. Contoh perhitungan :

$$D^2_{(t)} = D_o^2 - K_c \cdot t$$

Keterangan :

$D_{(t)}$: Diameter *droplet* pada waktu tertentu (mm)

D_o : Diameter awal *droplet* (mm)

K_c : *Constant Burning rate* (mm²/s)

t : *Burning lifetime* (s)

$$K_c = \frac{D_o^2 - D^2}{t}$$

$$K_c = \frac{1^2 - 0^2}{0,54}$$

$$K_c = 1,85$$

Lalu untuk temperatur nyala api didapatkan dari didapatkan melalui pengukuran dengan menggunakan *thermocouple* yang direkam oleh *data logger*. Lalu dalam pembahasan grafik nilai *ignition delay* dan *burning rate* diambil nilai rata-rata, lalu untuk dimensi dan temperatur api diambil nilai tertinggi.

4.2

Data Hasil Penelitian

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Metanol	1	1,09	1,54	0,72	1,38	631,99	4,72	14,04
	2	1,00	2,00	0,54	1,85	638,05	4,10	12,58
	3	0,96	1,68	0,62	1,61	656,90	4,63	15,33
	4	0,90	1,98	0,99	1,01	656,49	4,98	16,62
	5	0,95	1,78	0,44	2,27	697,41	4,12	10,35
Etanol	1	0,94	0,58	0,88	1,13	619,92	4,95	12,84
	2	0,91	0,52	0,78	1,28	610,97	5,00	14,33
	3	0,93	0,70	0,82	1,21	626,31	4,81	14,13
	4	0,94	0,54	0,72	1,38	617,97	4,86	13,03
	5	1,08	0,46	1,04	0,96	619,78	4,58	13,73
Propanol	1	0,97	0,72	0,72	1,38	616,41	5,07	16,20
	2	1,003	0,94	0,80	1,25	627,76	4,84	16,53
	3	0,94	0,54	0,72	1,38	708,71	4,86	13,03
	4	1,10	0,78	1,42	0,70	733,03	4,17	10,33
	5	1,09	0,54	1,28	0,78	725,06	4,53	13,27
Butanol	1	0,95	0,86	0,62	1,61	606,52	5,08	14,33
	2	0,91	0,52	0,78	1,28	613,10	5,00	11,64
	3	1,07	0,64	0,66	1,51	617,93	4,58	16,29
	4	0,93	0,70	0,82	1,21	645,99	4,81	14,13
	5	0,94	0,66	0,98	1,02	613,61	4,10	12,57
Tanpa Campuran	1	0,93	7,61	1,81	0,51	607,94	6,46	20,47
	2	1,05	6,45	1,98	0,53	594,14	6,46	21,31
	3	1,08	7,23	1,80	0,60	542,19	6,21	20,20
	4	1,02	8,98	1,47	0,69	548,81	6,18	22,15
	5	1,06	8,15	1,53	0,69	651,94	6,26	20,56

Keterangan :

A	: Jenis campuran	F	: <i>Constant burning rate</i> (mm ² /s)
B	: Pengujian ke-	G	: Temperatur (°C)
C	: Diameter <i>droplet</i> (mm)	H	: Lebar api (mm)
D	: <i>Ignition delay</i> (s)	I	: Tinggi api (mm)
E	: <i>Burning life time</i> (s)		

4.2 Analisa dan Pembahasan

4.2.1 Pengaruh Variasi Penambahan Alkohol Terhadap *Ignition Delay Time Droplet* Minyak Jarak



Gambar 4.2 Grafik pengaruh variasi campuran minyak jarak terhadap *ignition delay time droplet* minyak jarak

Pada gambar 4.2 menunjukkan grafik pengaruh variasi campuran minyak jarak terhadap *ignition delay droplet* minyak jarak. Di mana nilai *ignition delay* sebesar 1,8 s untuk minyak jarak yang dicampur dengan metanol, 0,56 s untuk minyak jarak yang dicampur dengan etanol, 0,7 s untuk minyak jarak yang dicampur dengan propanol, 0,68 s untuk minyak jarak yang dicampur dengan butanol, dan 7,68 s untuk minyak jarak tanpa campuran alkohol.

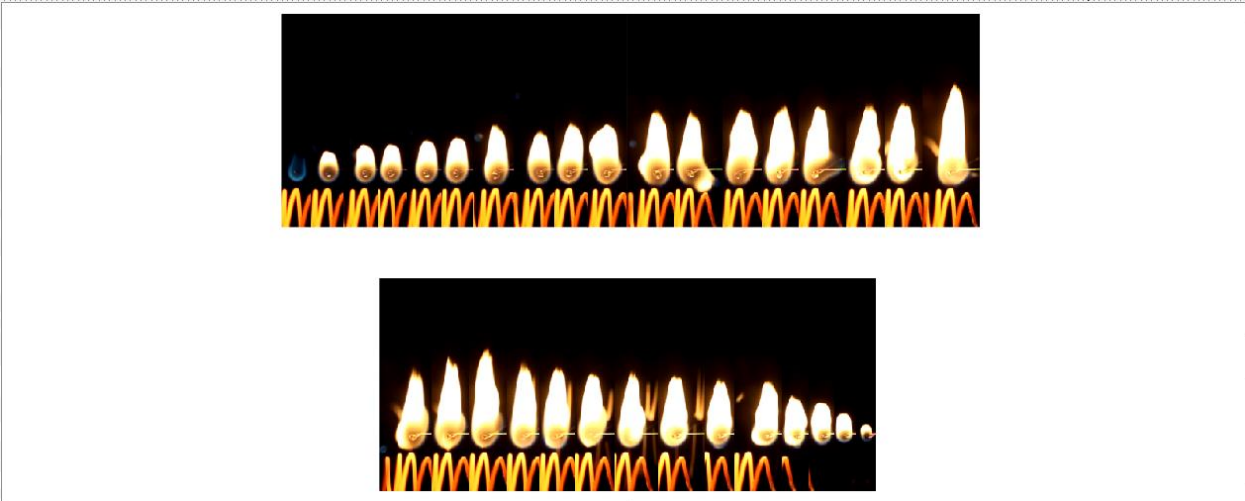
Nilai dari *ignition delay* sendiri terpengaruh karena nilai karakteristik dari masing – masing alkohol. Salah satu karakteristik alkohol yang mempengaruhi *ignition delay* adalah nilai *flash point*. *Flash point* merupakan suhu minimal dimana bahan bakar akan menguap dan terjadi

pembakaran. Semakin tinggi nilai *flash point* maka nilai *ignition delay* akan semakin tinggi atau semakin sulit untuk terbakar. Pada lampiran 6 dapat dilihat bahwa nilai *ignition delay* dari jenis alkohol murni berbeda cukup signifikan, dimana nilai rata-rata *ignition delay* dari alkohol berkisar 0,3 s dan minyak jarak murni sebesar 7,68 s. Dapat dilihat bahwa penambahan alkohol pada minyak jarak dapat menurunkan nilai *ignition delay* yang dapat dilihat pada gambar 4.2, hal ini dikarenakan nilai *flash point* dari alkohol memiliki nilai jauh lebih kecil dari minyak jarak yang dapat dilihat pada tabel 2.1.

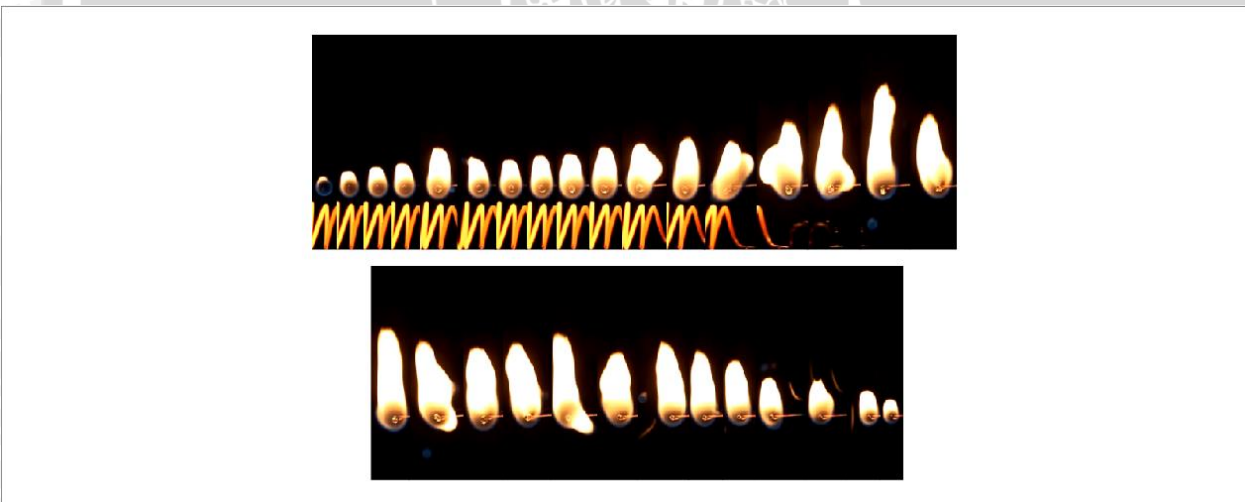
Dapat dilihat pada gambar 4.2, bahwa *droplet* minyak jarak tanpa campuran memiliki nilai *ignition delay* yang paling tinggi dan berbeda sangat jauh dengan *droplet* minyak jarak dengan campuran beberapa variasi alkohol. Hal ini disebabkan karena *droplet* minyak jarak tanpa campuran memiliki nilai *flash point* yang sangat tinggi.

Namun disini terjadi penyimpangan, di mana metanol yang mempunyai nilai *flash point* yang rendah memiliki nilai *ignition delay* yang tinggi, begitupun dengan butanol, yang memiliki nilai *flash point* yang tinggi namun nilai *ignition delay* lebih rendah dari metanol. Hal ini disebabkan karena metanol memiliki nilai *latent heat vaporization* yang tinggi. Jadi meskipun nilai *flash point* paling rendah, namun nilai *latent heat vaporization* paling tinggi, jadi metanol akan sulit untuk menguap dan terjadinya pembakaran, karena pembakaran dari bahan bakar cair akan terjadi ketika uap dari bahan bakar dan udara menyatu dengan komposisi yang tepat dan diberi energi aktivasi (dalam hal ini energi aktivasi berasal dari *heater*), jadi ketika nilai *latent heat vaporization* tinggi, bahan bakar tersebut akan susah untuk menguap dan juga lama untuk memiliki komposisi yang tepat untuk terjadi pembakaran. Begitupun dengan butanol, meskipun memiliki nilai *flash point* yang tinggi, namun butanol memiliki nilai *latent heat vaporization* yang rendah, yang menyebabkan butanol akan mudah menguap.

4.2.2 Pengaruh Variasi Penambahan Alkohol Terhadap Visualisasi Nyala Api *Droplet* Minyak Jarak

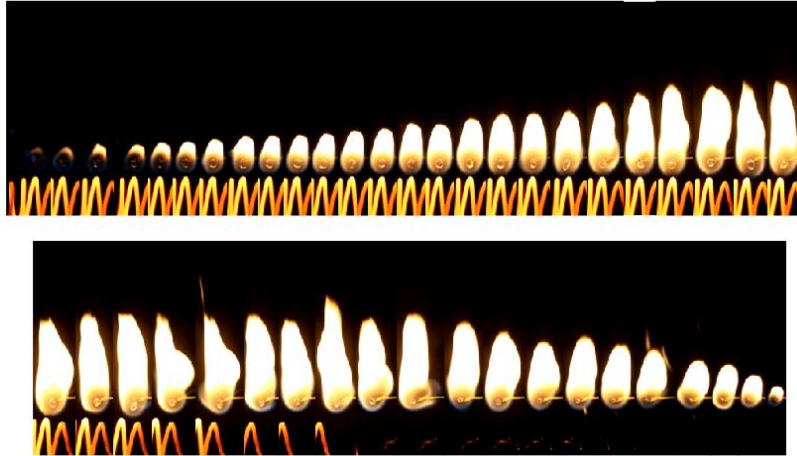


Gambar 4.3 Visualisasi pembakaran *droplet* minyak jarak dengan campuran metanol



Gambar 4.4 Visualisasi pembakaran *droplet* minyak jarak dengan campuran etanol





Gambar 4.5 Visualisasi pembakaran *droplet* minyak jarak dengan campuran propanol



Gambar 4.6 Visualisasi pembakaran *droplet* minyak jarak dengan campuran butanol

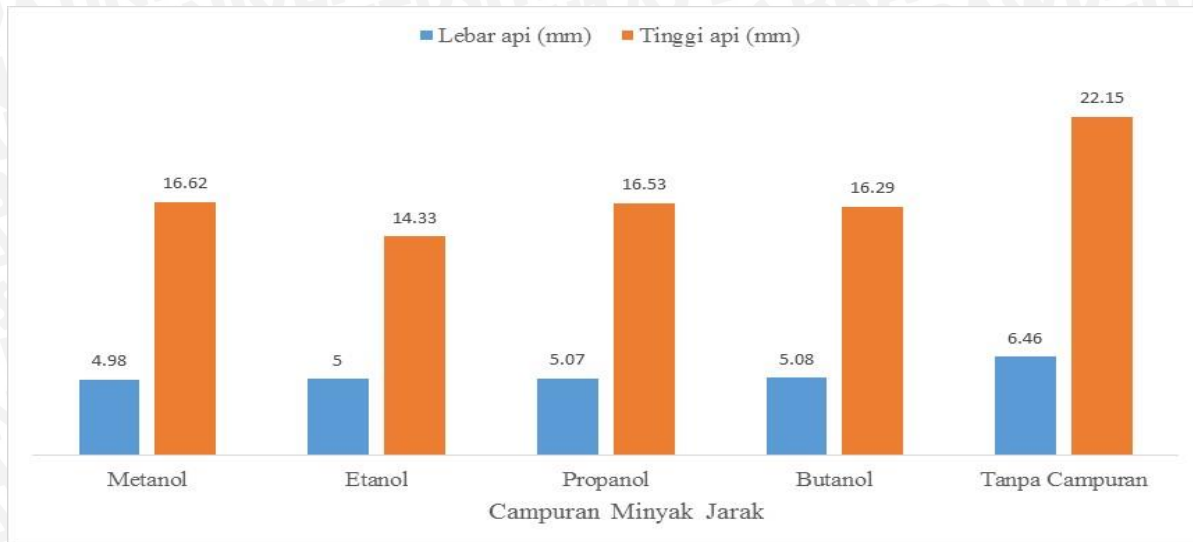
Pada gambar 4.3, 4.4, 4.5, dan 4.6 merupakan evolusi pembakaran *droplet* minyak jarak dengan berbagai variasi campuran alkohol. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa evolusi nyala api pada *droplet* minyak jarak dengan metanol dan *droplet* minyak jarak dengan etanol memiliki nyala api yang relatif besar, bahkan dari pertama api muncul dan ketika api ingin padam, ukuran api relatif besar. Sedangkan untuk pembakaran *droplet* minyak jarak dengan campuran propanol memiliki evolusi yang teratur, dilihat ketika api pertama muncul hingga mencapai maksimal lalu kemudian api padam, ukuran api naik dan turun secara teratur. Berbeda dengan perbakaran *droplet* minyak jarak dengan campuran butanol, ketika api mulai muncul, api sulit untuk membesar, dapat dilihat pada gambar 4.6 bahwa ketika api muncul api

berukuran relatif sama, kemudian membesar, ketika pada kondisi maksimal api pun dengan cepat langsung padam, tidak perlahan-lahan mengecil lalu padam.

Pada gambar 4.5 ukuran api ketika sudah membesar hingga maksimal, ukuran api cenderung stabil, hal ini bisa dikarenakan *heating value* yang besar, dengan *heating value* yang tinggi maka pelepasan kalor ke udara juga tinggi, hal ini menyebabkan bentuk api yang cenderung besar.

Pada gambar 4.3, 4.4, 4.5, dan 4.6 juga dapat dilihat bahwa penambahan alkohol terhadap *droplet* minyak jarak banyak timbul fenomena *microexplosions*. *Microexplosions* terjadi karena terdapat dua bahan bakar atau lebih yang dicampur, dimana bahan bakar yang memiliki titik didih yang lebih rendah akan menguap terlebih dahulu lalu tekanan semakin tinggi dan timbul ledakan.

Pada gambar evolusi nyala api, dapat dilihat bahwa pembakaran *droplet* minyak jarak dengan campuran metanol (dapat dilihat pada gambar 4.3) dan pembakaran *droplet* minyak jarak dengan campuran etanol (dapat dilihat pada gambar 4.4) banyak terjadi fenomena *microexplosions* dari awal muncul api hingga api padam, berbeda dengan pembakaran *droplet* minyak jarak dengan campuran propanol (dapat dilihat pada gambar 4.4) dan pembakaran *droplet* minyak jarak dengan campuran butanol (dapat dilihat pada gambar 4.6) terjadi fenomena *microexplosions* pada pertengahan pembakaran, ketika api mulai mencapai ukuran maksimal. Fenomena *microexplosions* dapat berpengaruh pada *burning lifetime*, karena *microexplosions* menyebabkan bagian *droplet* terpental keluar dari pusat *droplet* sehingga diameter *droplet* menjadi lebih kecil, sehingga *burning lifetime* menjadi lebih kecil, dengan *burning lifetime* yang kecil menyebabkan burning menjadi lebih besar, dikarenakan *burning lifetime* berbanding terbalik dengan *burning rate* sesuai rumus pada persamaan 2-1.



Gambar 4.7 Grafik pengaruh variasi campuran minyak jarak terhadap lebar dan tinggi api *droplet* minyak jarak

Pada gambar 4.7 menunjukkan grafik pengaruh variasi campuran minyak jarak terhadap lebar dan tinggi api *droplet* minyak jarak, didapatkan nilai lebar dan tinggi api sebesar 4,98 mm dan 16,62 mm untuk campuran metanol, 5 mm dan 14,33 mm untuk campuran etanol, 5,07 mm dan 16,53 untuk campuran propanol, 5,08 mm dan 16,29 mm untuk campuran butanol, dan 6,46 mm dan 22,15 untuk minyak jarak tanpa campuran.

Pada dimensi api yang dihasilkan salah satu faktor yang berpengaruh adalah *latent heat vaporization*, dimana *latent heat vaporization* yang tinggi akan menyebabkan sulit terbakar dan dimensi api yang dihasilkan akan lebih kecil. Pada lampiran 7 dapat dilihat bahwa dimensi api yang dihasilkan dari minyak jarak murni terlihat lebih besar dibandingkan dengan alkohol murni, dimana alkohol murni memiliki nilai *latent heat vaporization* yang lebih kecil dibandingkan dengan minyak jarak (dapat dilihat pada tabel 2.1). Oleh karena itu penambahan alkohol pada minyak jarak dapat menyebabkan api yang dihasilkan akan lebih mengecil.

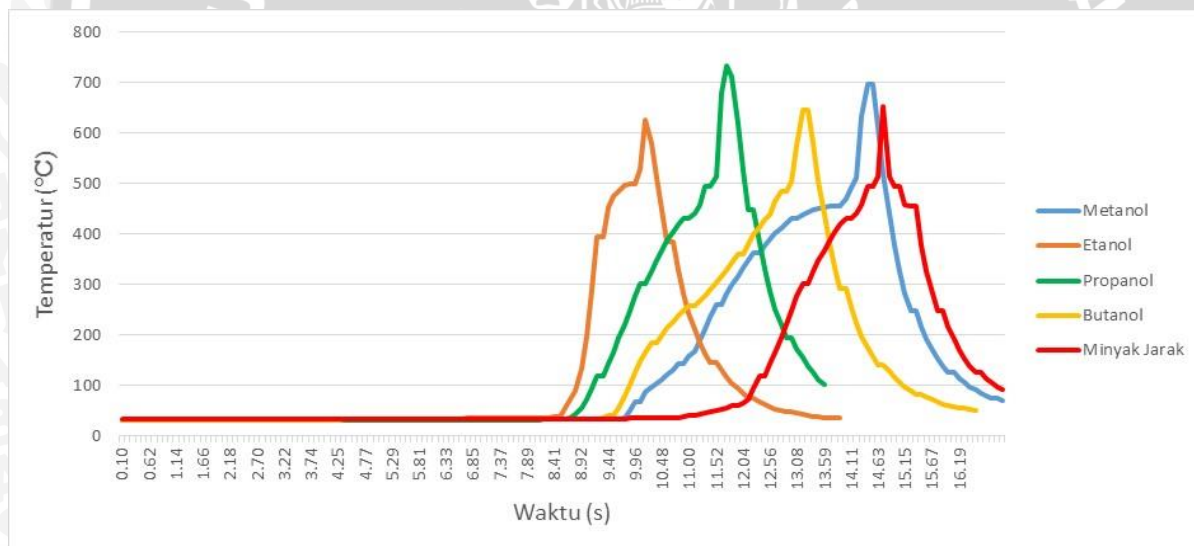
Pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa penambahan alkohol jenis metanol terhadap *droplet* minyak jarak dapat membuat lebar api yang kecil dan tinggi api yang besar dibandingkan dengan variasi alkohol yang lain. Hal ini disebabkan karena nilai *latent heat vaporization* yang tinggi, *latent heat vaporization* yang tinggi dapat menyebabkan bahan bakar sulit untuk menguap, jadi bentuk api akan tidak terlalu besar dalam hal lebar.

Selain itu *burning rate* dari campuran *droplet* minyak jarak dengan alkohol juga berpengaruh, dimana nilai *burning rate* yang besar (dapat dilihat pada gambar 4.3) akan

menyebabkan bentuk api yang kecil. *Burning rate* dari campuran *droplet* minyak jarak dengan metanol memiliki nilai *burning rate* yang paling besar, sehingga menyebabkan lebar api memiliki dimensi yang paling kecil.

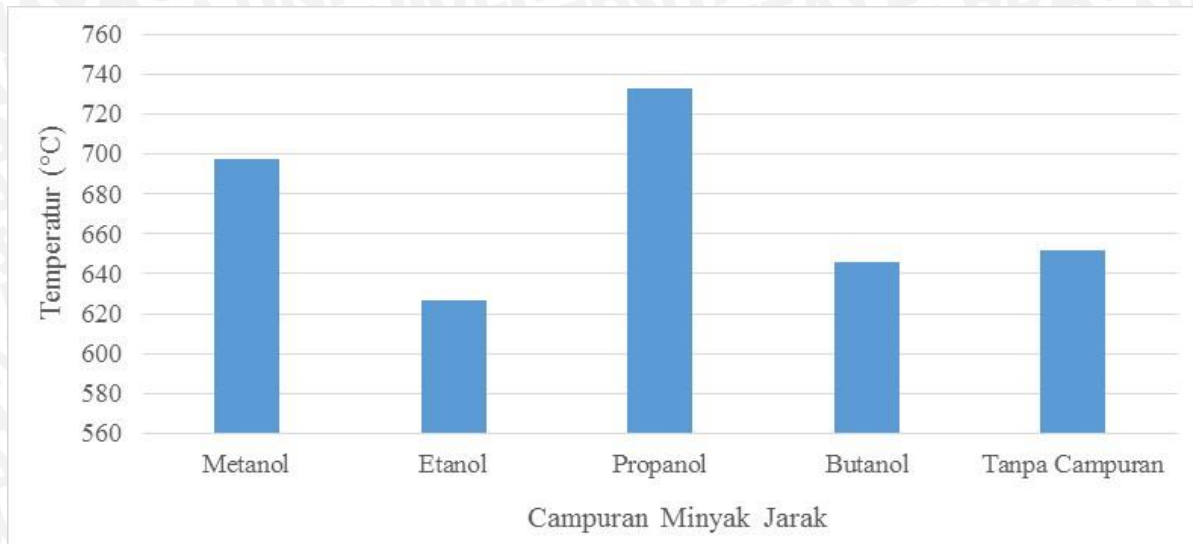
Pada penyebaran uap api dipengaruhi oleh kecepatan difusi, kecepatan difusi sendiri kecepatan bahan bakar menguap dan menyatu dengan udara disekitar. Namun penyebaran difusi sendiri merata ke semua arah, yang membedakan tinggi adalah gaya apung atau gaya buoyancy yang menyebabkan api lebih menjulur ke atas. Hal ini dapat dikarenakan gaya buoyancy yang dimiliki lebih besar dari pada kecepatan difusinya, jadi api lebih bergerak ke atas dibandingkan ke samping.

4.2.3 Pengaruh Variasi Penambahan Alkohol Terhadap Temperatur *Droplet* Minyak Jarak



Gambar 4.8 Grafik hubungan temperatur dan waktu pada pembakaran *droplet* minyak jarak dengan variasi campuran

Pada gambar 4.8 menunjukkan grafik hubungan temperatur dengan waktu pada pembakaran *droplet* minyak jarak dengan variasi campuran. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa untuk temperatur yang paling tinggi dimiliki oleh *droplet* minyak jarak dengan campuran propanol, dan juga untuk nilai *ignition delay* sesuai dengan pembahasan sebelumnya, dimana untuk nilai *ignition delay* yang paling tinggi dimiliki oleh *droplet* minyak jarak dengan campuran metanol dibandingkan dengan yang lain.



Gambar 4.9 Grafik pengaruh variasi campuran minyak jarak terhadap temperatur *droplet* minyak jarak

Pada gambar 4.9 menunjukkan grafik pengaruh variasi campuran minyak jarak terhadap temperatur *droplet* minyak jarak. Di mana didapatkan nilai sebesar $697,41^{\circ}\text{C}$ untuk campuran minyak jarak dengan metanol, $626,31^{\circ}\text{C}$ untuk campuran minyak jarak dengan etanol, $733,03^{\circ}\text{C}$ untuk campuran minyak jarak dengan propanol, $645,99^{\circ}\text{C}$ untuk campuran minyak jarak dengan butanol, dan $651,94^{\circ}\text{C}$ untuk *droplet* minyak jarak tanpa campuran.

Pada temperatur hasil pembakaran, salah satu faktor yang mempengaruhi adalah heating value, dimana heating value yang tinggi akan menyebabkan temperatur yang dihasilkan akan tinggi. Pada lampiran 8 alkohol murni memiliki temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan minyak jarak, dikarenakan alkohol memiliki nilai heating value yang lebih tinggi dibandingkan dengan minyak jarak, yang dapat dilihat pada tabel 2.1. Lalu pada gambar 4.9 didapatkan penambahan alkohol pada minyak jarak dapat meningkatkan nilai temperatur pembakarannya, meskipun ada beberapa campuran yang memiliki temperatur pembakaran dibawah minyak jarak murni.

Pada gambar 4.9 dapat dilihat bahwa untuk nilai temperatur yang paling tinggi dimiliki oleh *droplet* minyak jarak dengan campuran propanol sebagai alkoholnya. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor, yaitu *heating value*, *burning rate*, dan ukuran api. Jika dilihat dari nilai *heating value*, campuran *droplet* minyak jarak dengan alkohol jenis propanol memiliki nilai *heating value* yang lebih besar dari jenis alkohol yang lain, dengan nilai *heating value* yang

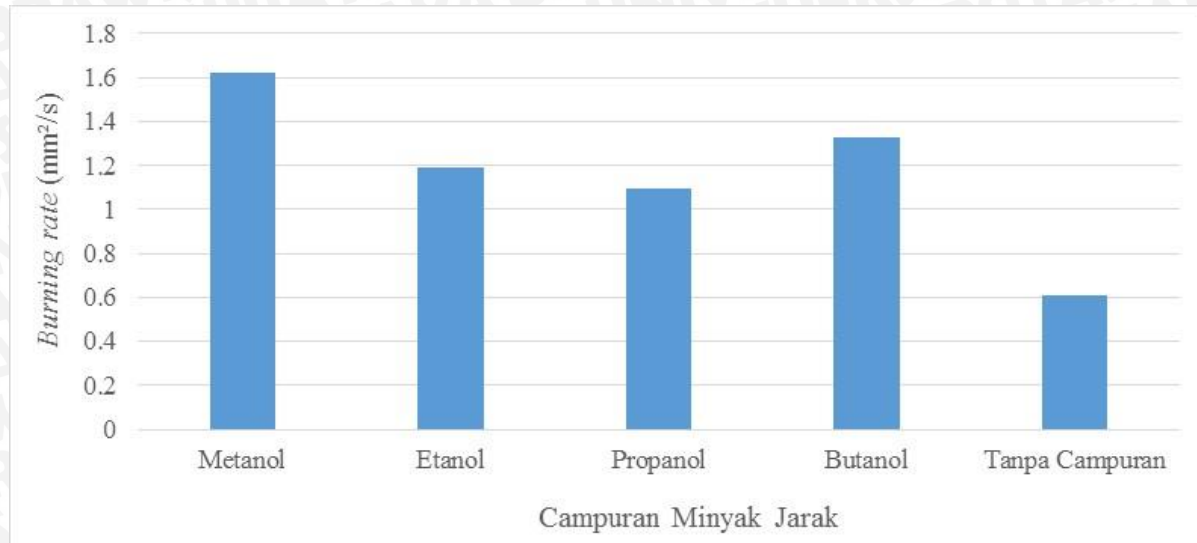
tinggi, maka temperaturnya juga akan ikut tinggi. Hal ini dikarenakan nilai *heating value* yang tinggi dapat menyebabkan nilai kalor yang dikeluarkan semakin besar, apabila nilai kalor yang dikeluarkan besar, maka temperatur pun akan ikut meningkat

Selanjutnya jika ditinjau dari nilai *burning rate*, nilai *burning rate* yang meningkat seharusnya temperatur juga ikut meningkat. Namun pada gambar 4.10 *burning rate* yang paling tinggi adalah *droplet* minyak jarak dengan campuran metanol, namun pada grafik temperatur *droplet* minyak jarak dengan campuran propanol lah yang memiliki temperatur yang paling tinggi.

Lalu jika ditinjau dari ukuran api, seharusnya *droplet* minyak jarak dengan campuran etanol yang mempunyai temperatur yang paling tinggi, dikarenakan *droplet* minyak jarak dengan campuran etanol memiliki ukuran api yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan *droplet* minyak jarak dengan campuran alkohol lainnya. Namun, pada data temperatur *droplet* minyak jarak dengan campuran propanol lah yang memiliki temperatur yang paling tinggi meskipun *droplet* minyak jarak dengan campuran propanol memiliki ukuran api yang relatif besar, hal ini bisa saja terjadi dikarenakan pada pembakaran *droplet* minyak jarak dengan campuran propanol terdapat fenomena *microexplosions*, namun *microexplosions* yang terjadi tidak sampai keluar dari api, namun masih di dalam api pembakarannya, hal inilah yang dapat menyebabkan ukuran api yang masih tetap relatif besar.



4.2.4 Pengaruh Variasi Penambahan Alkohol Terhadap *Burning rate Droplet Minyak Jarak*



Gambar 4.10 Grafik pengaruh variasi penambahan alkohol terhadap *burning rate droplet* minyak jarak

Pada gambar 4.10 menunjukkan grafik pengaruh variasi terhadap *burning rate droplet* minyak jarak. Di mana nilai *burning rate* minyak jarak sebesar 1,624 mm²/s untuk campuran metanol, 1,192 mm²/s untuk campuran etanol, 1,098 mm²/s untuk campuran propanol, 1,326 mm²/s untuk campuran butanol, dan 0,61 mm²/s untuk *droplet* minyak jarak tanpa campuran.

Pada lampiran 9 dapat dilihat nilai *burning rate* dari alkohol murni relatif lebih tinggi dibandingkan dengan minyak jarak murni, hal ini dikarenakan alkohol murni memiliki nilai *heating value* yang lebih tinggi (dapat dilihat pada tabel 2.1). Lalu pada gambar 4.10 dapat dilihat bahwa penambahan alkohol pada minyak jarak menyebabkan meningkatnya nilai *burning rate*.

Untuk mendapatkan nilai *burning rate*, kita membutuhkan nilai diameter *droplet* dan *burning lifetime*. Contoh perhitungan *burning rate* dilakukan pada campuran minyak jarak dengan metanol.

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

Keterangan :

$D_{(t)}$: Diameter *droplet* pada waktu tertentu (mm)

D_0 : Diameter awal *droplet* (mm)

K_c : *Constant Burning rate* (mm²/s)

t : *Burning lifetime* (s)

$$K_c = \frac{D_0^2 - D^2}{t}$$

$$K_c = \frac{1^2 - 0^2}{0,54}$$

$$K_c = 1,85$$

Nilai *burning rate* dapat dipengaruhi oleh diameter *droplet* dan *burning lifetime*, dimana *burning lifetime* yang meningkat akan menyebabkan *burning rate* yang menurun, dikarenakan *burning lifetime* dan *burning rate* berbanding terbalik sesuai persamaan 2-1.

Pada gambar 4.10 *droplet* minyak jarak tanpa campuran memiliki nilai *burning rate* memiliki nilai jauh lebih kecil dibandingkan dengan *droplet* minyak jarak dengan variasi penambahan alkohol. Hal ini disebabkan karena minyak jarak murni memiliki nilai *heating value* yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan variasi alkohol tersebut, dimana *heating value* yang tinggi menyebabkan temperatur yang tinggi pula, dengan temperatur yang tinggi dapat menyebabkan nilai *burning rate* yang tinggi juga. Maka dari itu penambahan alkohol dapat meningkatkan nilai *burning rate*.

Selain itu juga nilai *burning rate* juga dapat dipengaruhi juga karena fenomena *microexplosion*, yang telah dijelaskan secara detail pada subbab sebelumnya, yaitu visualisasi nyala api.