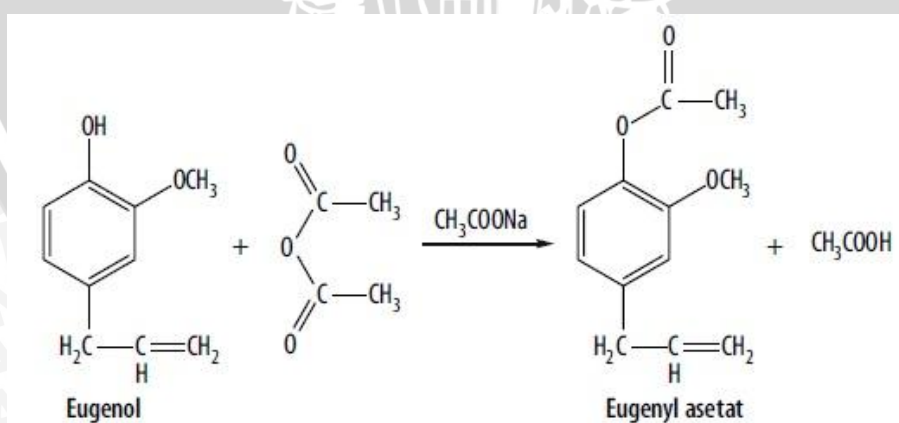


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

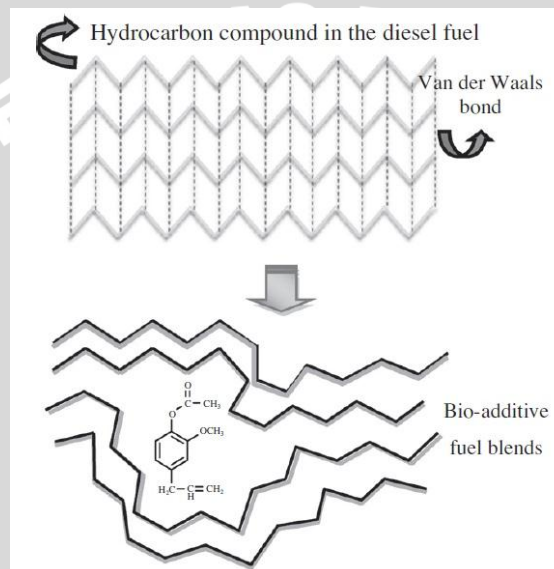
Penelitian mengenai penambahan minyak cengkeh sebagai bioaditif bahan bakar solar dilakukan oleh (Kadarohman *et al*, 2012). Penelitian ini menyimpulkan bahwa minyak cengkeh mempunyai potensi untuk menjadi bioaditif bahan bakar diesel. Hal ini dikarenakan minyak cengkeh mempunyai kandungan oksigen yang tinggi sehingga dapat meningkatkan *cetane number* (Song, 2001) dan (Choi, 1999). Selain itu, kandungan oksigen dalam bahan bakar merupakan salah satu parameter baik atau buruknya kualitas bahan bakar diesel (Kadarohman *et al*, 2010).

Minyak cengkeh memiliki tingkat kelarutan yang tinggi dalam bahan bakar diesel. Tingginya kelarutan menurunkan kekuatan ikatan *Van Der Waals* antar molekul penyusun bahan bakar solar dan meningkatkan reaktifitas juga peningkatan efisiensi pembakaran bahan bakar. Selain itu, adanya dua atom oksigen pada eugenol berperan sebagai penyedia oksigen dari dalam minyak cengkeh itu sendiri (Kadarohman, 2003). Melalui reaksi ester, eugenol membentuk eugenil asetat yang memiliki struktur *bulkier* dan kandungan oksigen lebih tinggi dari eugenol biasa. Oksigen dalam eugenil asetat membantu memaksimalkan proses pembakaran bahan bakar. Pada gambar 2.1 menunjukkan bagaimana reaksi ester yang mengubah eugenol menjadi eugenil asetat.



Gambar 2.1 Reaksi ester yang mengubah eugenol menjadi eugenil asetat
Sumber : Kadarohman *et al* (2010)

Pembakaran yang terjadi pada mesin diesel berbahan bakar solar yang dicampur dengan bioaditif minyak cengkeh sangat dipengaruhi oleh jumlah bioaditif yang dimasukkan. Adanya senyawa terpane yang terdapat didalam minyak cengkeh membuat proses pembakaran berlangsung lebih cepat dan terjadinya *ignition delay* yang lebih singkat (Kadarohman *et al*, 2012). Hal ini membuat campuran minyak cengkeh dengan bahan bakar solar merupakan solusi yang ditemukan untuk memperbaiki karakteristik pembakaran bahan bakar solar didalam mesin diesel. Pada gambar 2.2 menjelaskan bagaimana ikatan hidrokarbon pada solar bereaksi apabila ditambahkan minyak cengkeh.



Gambar 2.2 Struktur kimia bahan bakar solar dengan tambahan bioaditif
Sumber : Kadarohman *et al* (2012)

2.2 Biodiesel Minyak Jarak

Minyak Jarak (*Jathropa oil*) menjadi salah satu pilihan minyak nabati yang diubah menjadi biodiesel. Minyak nabati yang dihasilkan dari biji tanaman jarak ini banyak tumbuh di daerah tropis, salah satunya Indonesia. Tanaman jarak turut dibudidayakan di Indonesia dengan target areal budidaya seluas 2,4 juta hektar pada tahun 2025. Pada gambar 2.2 diperlihatkan bentuk buah dan biji jarak. Pada gambar 2.3 memperlihatkan biji dan buah jarak.



Gambar 2.3 Buah jarak dan biji jarak
Sumber : Zhuanda (2013)

Minyak nabati memiliki nilai kalor yang hampir sama dengan bahan bakar konvensional, namun penggunaan secara langsung sebagai bahan bakar masih menemui kendala. Minyak nabati memiliki viskositas dan titik pijar (*flash point*) jauh lebih besar dari minyak diesel, hal ini menghambat proses injeksi dan mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna. Penggunaan minyak nabati sebagai bahan bakar juga meninggalkan residu karbon pada injektor mesin (Sumangat *et al*, 2008).

Biodiesel adalah bahan bakar yang terdiri dari campuran mono-alkyl ester dari rantai panjang asam lemak yang dipakai sebagai alternatif bahan bakar dan dibuat dari sumber yang dapat diperbaharui seperti minyak nabati. Minyak nabati sebaiknya diubah terlebih dahulu menjadi biodiesel sebelum digunakan sebagai bahan bakar. Hal ini dikarenakan minyak nabati memiliki viskositas tinggi, angka setan yang rendah, flashpoint yang tinggi, adanya asam lemak bebas, dan terjadinya endapan yang tinggi apabila digunakan sebagai bahan bakar secara langsung (Ma, 1999). Pada tabel 2.1 menjelaskan perbedaan masing-masing properti biodiesel minyak jarak (*Jatropha* biodiesel) dengan solar baik menurut standar ASTM maupun eropa.

Tabel 2.1 Properti pembakaran biodiesel minyak jarak

Property	<i>Jatropha</i> Biodiesel	Castor Biodiesel	Petro-Diesel ASTM D 975-98	Standard ASTM D 6751	Standard EN14214
Kinematic Viscosity [mm ² /s]	5.25±0.05	10.75±0.27	1.9-4.1	1.9 - 6.0	3.5-5.0
Flash Point [°C]	166±1.53	160±1.53	60-80	130 min	120 min
Acid Value [mgKOH/g]	0.50±0.03	0.35±0.02	-	0.50 max	0.50 max
Cloud Point [°C]	-6±1.00	<-13±1.00	-15-{-5}	Report	-
Calorific Value [MJ/kg]	42.15±1.30	30.40±0.90	42-46	-	-

Sumber : Okullo *et al* (2011)

Tabel 2.2 Ciri biodiesel secara umum

Parameter	Nilai
Densitas (g/cm ³)	0.85-0.90
Viskositas kinematik (40 °C)	3.5-5.8
Bilangan setana	46-70
Kalor pembakaran (kJ/g)	36.5-41.8

Sumber : Arfan *et al* (2001)

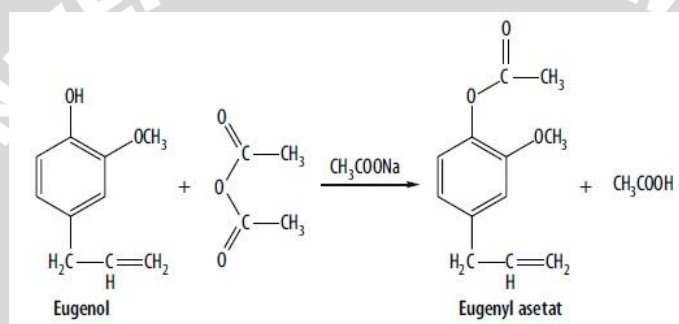
Pada tabel 2.1 dapat dilihat bahwa biodiesel minyak jarak (*Jathropa*) memiliki viskositas yang jauh lebih tinggi dibandingkan solar. Selanjutnya, flash point biodiesel minyak jarak jauh lebih tinggi dibandingkan solar biasa. Itu membuktikan bahwa biodiesel minyak jarak dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel hanya saja viskositas biodiesel minyak jarak yang buruk apabila digunakan sebagai bahan bakar secara langsung. Diharapkan dengan penambahan minyak cengkeh yang merupakan senyawa aromatik dan memiliki viskositas rendah dapat menurunkan viskositas biodiesel minyak jarak. Tabel 2.2 menjelaskan standar biodiesel secara umum.

2.3 Minyak Cengkeh

Minyak cengkeh merupakan minyak atsiri yang berasal dari tanaman cengkeh (*Syzigium aromaticum*), yang termasuk dalam famili *Myrtaceae*, yang banyak ditanam di Indonesia, India dan Madagaskar. Minyak cengkeh dapat diisolasi dari daun (1-4%), batang (5-10%), maupun bunga cengkeh (10-20%). Minyak atsiri dari bunga cengkeh memiliki kualitas terbaik dan harganya mahal karena rendemennya tinggi dan mengandung eugenol mencapai 80-90%.

Minyak atsiri yang dikenal dengan minyak esensial dan minyak aromatik memiliki karakteristik yang khas yaitu mudah menguap dan memberikan aroma yang khas. Dalam hal ini minyak cengkeh digunakan sebagai campuran dalam bahan bakar biodiesel. Sifat minyak atsiri yang mudah menguap dapat memperbaiki karakteristik biodiesel dan apabila dicampurkan dapat memperbaiki volatilitas bahan bakar biodiesel (Kadarohman *et al*, 2012)

Senyawa eugenol mempunyai rumus molekul $C_{10}H_{12}O_2$ mengandung beberapa gugus fungsional yaitu alil ($-CH_2-CH=CH_2$), fenol ($-OH$) dan metoksi ($-OCH_3$). Gugusan yang membentuk senyawa eugenol memungkinkan senyawa ini dapat disintesis menjadi senyawa lain yang bernilai lebih tinggi seperti isoeugenol, eugenol asetat, isoeugenol asetat, benzil eugenol, benzil isoeugenol, metil eugenol, eugenol metil eter, eugenol etil eter, isoeugenol metil eter, vanilin dan sebagainya (Bulan, 2004; Rohman, 2009) menyatakan bahwa turunan eugenol yaitu eugenol asetat dapat dipergunakan sebagai zat bioaditif bahan bakar solar. Senyawa eugenol asetat dapat meningkatkan bilangan setana solar, sehingga dapat meningkatkan kinerja bahan bakar solar. Gambar 2.4 menjelaskan bagaimana eugenol membentuk eugenyl asetat melalui reaksi esterifikasi.



Gambar 2.4 Reaksi esterifikasi Eugenol membentuk Eugenyl asetat
Sumber : Kadarohman (2012)

Penambahan minyak cengkeh kedalam bahan bakar solar dengan jumlah 0,2 % dapat memperbaiki viskositas bahan bakar solar, mengurangi *fuel consumption* dan mengurangi emisi gas buang. Adanya eugenol dan eugenyl asetat dapat menurunkan BSFC bahan bakar solar, CO, HC dan emisi gas buang pada saat proses pembakaran (Kadarohman, 2012). Selain itu, penambahan minyak cengkeh yang bersifat bioaditif menyebabkan menurunnya *specific gravity* bahan bakar dan membuat nilai kalor bahan bakar solar meningkat (Kadarohman, 2009). Pada tabel 2.4 menunjukan komposisi kimia minyak cengkeh, dan pada nomer 34 menunjukan persentase komposisi eugenol pada minyak cengkeh.

Tabel 2.3 Komposisi kimia minyak esensial cengkeh

Nº	Compound ^{a,b}	Kovats index ^c (HP-20M)	Percentage (%)
1	2-Heptanone	1172	0.93232
2	Ethyl hexanoate	1232	0.66098
3	2-Heptanol	1304	tr
4	Menthyl octanoate	1384	tr
5	2-Nonanone	1392	tr
6	Ethyl octanoate	1429	tr
7	α -Cubebene	1459	tr
8	Copaene	1491	tr
9	2-Nonanol	1499	tr
10	Linalool	1548	tr
11	2-Undecanone	1588	tr
12	β -Caryophyllene	1595	1.38830
13	Menthyl benzoate	1619	tr
14	Ethyl benzoate	1647	tr
15	α -Humulene	1668	0.19985
16	Menthyl chavicol	1669	tr
17	α -Amorphene	1675	tr
18	α -Terpinyl acetate	1695	tr
19	α -Muurolene	1711	tr
20	Benzyl acetate	1714	tr
21	Carvone	1731	tr
22	γ -Cadinene	1756	tr
23	2-Phenyethyl acetate	1826	tr
24	(E)-Anethole	1827	tr
25	Calamenene	1828	0.10538
26	Benzyl alcohol	1861	tr
27	Calacorene	1918	0.11437
28	Caryophyllene oxide	1976	tr
29	Menthyl eugenol	1985	tr
30	Humulene oxide	1986	tr
31	Cinnamic aldehyde	2018	tr
32	Ethyl cinnamate	2072	tr
33	Benzyl tiglate	2103	tr
34	Eugenol	2151	88.58535
35	Eugenyl acetate	2263	5.62086
36	Humulenol	2265	0.27527
Total identified		98.2769	98.2769

Sumber : Chaieb *et al* (2007)

Tabel 2.4 Sifat kimia minyak cengkeh

No.	Karakteristik	Minyak cengkeh	Standar SNI
1	Warna	Hitam kecoklatan	-
2	Berat jenis	1,0282	1,0250 – 1,0609
3	Kelarutan dalam alkohol 70%	1:1,5	1:2
4	Kadar Eugenol (%)	80	Min, 78
5	Nilai Kalor (kkal/kg)	4300	

Sumber : Minarwati *et al.* (2005)

Tabel 2.5 Properti solar dan minyak cengkeh

Property Parameters	Diesel	CSO
Density at 20 °C	840	1034
Viscosity at 40 °C	2.2–5.3	4.1
Sulphur content	0.3	0.04
Flash point (°C)	53 min	104
Pour point (°C)		–57
Ash content	0.01 <	Nil
Water content (%)	0.0	3.3
Cetane	51	–
Calorific value	43	33.6

Sumber : Mbarawa (2007)

2.4 Pembakaran

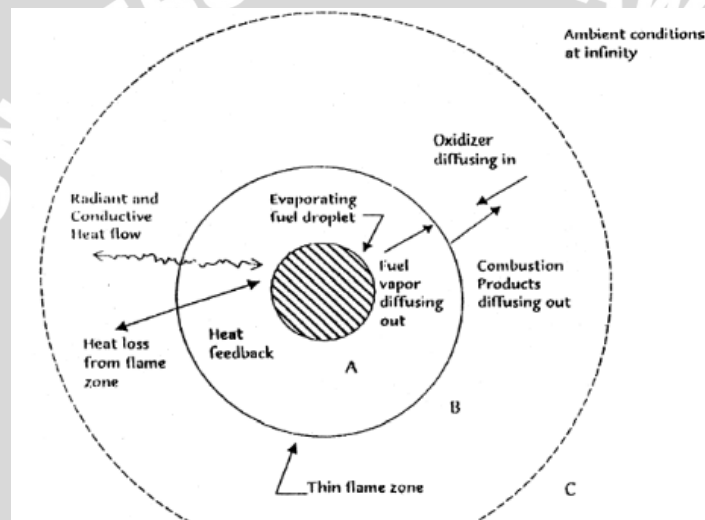
Pembakaran adalah proses reaksi kimia antara oksigen dengan bahan bakar yang menghasilkan produk energi dan cahaya. Api merupakan wujud panas dari sebuah pembakaran. Terdapat tiga hal yang dapat menyebabkan terjadinya pembakaran, antara lain : oksigen, bahan bakar dan pemicu yang berupa energi panas. Energi panas atau energi aktifasi merupakan energi yang paling rendah untuk menggerakkan atom-atom, memecahkan ikatan atom dan nantinya secara otomatis tersusun kembali menjadi ikatan atom baru.

Pembakaran secara umum dibagi menjadi dua, pembakaran *premixed* dan pembakaran difusi.

- Pembakaran *premixed* adalah proses pembakaran dimana proses pencampuran bahan bakar dan udara terjadi secara molekul. Bahan bakar yang mudah menguap dan mudah berubah fasa secara tidak langsung dengan sendirinya dengan mudah menyatu dengan udara.
- Pembakaran difusi adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara tidak tercampur sebelum adanya energi aktifasi yang memulai proses pembakaran. Sebagai contoh pada lilin. Pada awalnya diperlukan api untuk melelehkan lilin. Lilin yang mencair berdifusi secara kapiler menuju sumbu lilin dan menguap, selanjutnya uap tersebut berdifusi dengan udara dan bereaksi sehingga proses pembakaran terjadi.

2.5 Pembakaran *Droplet*

Pada umumnya, pembakaran terjadi apabila bahan bakar dengan jumlah tertentu disemprotkan pada tekanan tertentu sehingga bahan bakar berbentuk kabut. Di dalam kabut semburan bahan bakar terdapat banyak butiran-butiran kecil bahan bakar. Pembakaran *droplet* adalah pembakaran yang bermaksud untuk mengetahui proses pembakaran dalam bentuk butiran bahan bakar / *droplet*. Pembakaran *droplet* dilakukan dengan tujuan memperluas bidang kontak antara bahan bakar dengan oksidator. Pada gambar 2.5 menjelaskan Model api pembakaran *droplet*.



Gambar 2.5 Model api pembakaran *droplet*
Sumber : Alam, 2013

Pada saat *droplet* dipanaskan, partikel-partikel di dalam *droplet* bahan bakar bergerak lebih cepat menuju segala arah. Partikel-partikel tersebut memerlukan ruangan yang lebih besar sehingga volume *droplet* membesar yang menyebabkan densitas *droplet* menurun.

Menurut prinsip Archimedes, daya apung (*buoyancy force*) dari sebuah gas sama dengan berat gas itu sendiri. Pada saat penguapan bahan bakar, densitas uap bahan bakar lebih rendah daripada densitas lingkungan yang berarti daya apung uap bahan bakar lebih besar dari berat bahan bakar tersebut sehingga menyebabkan uap bahan bakar naik dan terbakar.

2.6 Karakteristik Pembakaran *Droplet*

Karakteristik pembakaran adalah hal-hal yang harus diperhatikan pada saat proses pembakaran *droplet* berlangsung, nantinya karakteristik antara bahan bakar satu dengan bahan bakar lainnya akan dibandingkan. Karakteristik pembakaran yang diperhatikan yaitu:

a. *Ignition delay*

Ignition delay pada pembakaran *droplet* adalah rentang waktu antara bahan bakar mulai dipanaskan heater hingga bahan bakar tersebut terbakar.

b. *Burning rate*

Lama bahan bakar *droplet* terbakar merupakan hal yang harus diperhatikan dalam mendesain sistem pembakaran. Bahan bakar harus tetap tersedia untuk terbakar di dalam ruang bakar sampai seluruh bahan bakar tersebut habis terbakar. *Burning rate* adalah kecepatan bahan bakar tersebut habis terbakar. Untuk mendapatkan nilai *burning rate*, dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$D^2(t) = D_0^2 - K_c \cdot t \quad (\text{Mishra, 2014 : 34}) \quad (2-1)$$

Keterangan:

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

D_0 : diameter *droplet* awal (mm)

K_c : *burning rate constant* (mm^2/s)

t : *burning lifetime* (s)

c. Temperatur pembakaran

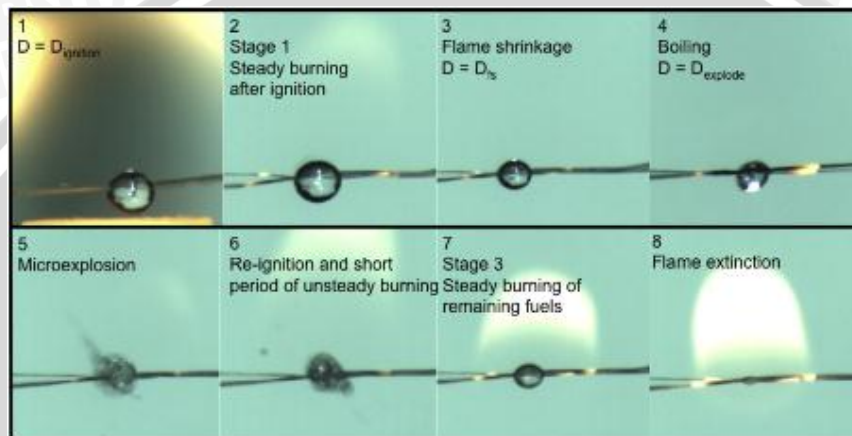
Temperatur tertinggi saat pembakaran terjadi dipengaruhi oleh nilai kalor bahan bakar. Nilai kalor adalah jumlah energi yang dilepaskan bahan bakar saat proses pembakaran berlangsung.

d. Dimensi api

Dimensi api menunjukkan cepat lambatnya reaksi pembakaran. semakin cepat reaksi pembakaran maka nyala api akan kecil, sebaliknya semakin lama reaksi pembakaran maka api cenderung semakin tinggi dan lebar. Semakin lama reaksi pembakaran, maka semakin lama pula waktu yang dibutuhkan bahan bakar untuk beroksidasi dan terbakar.

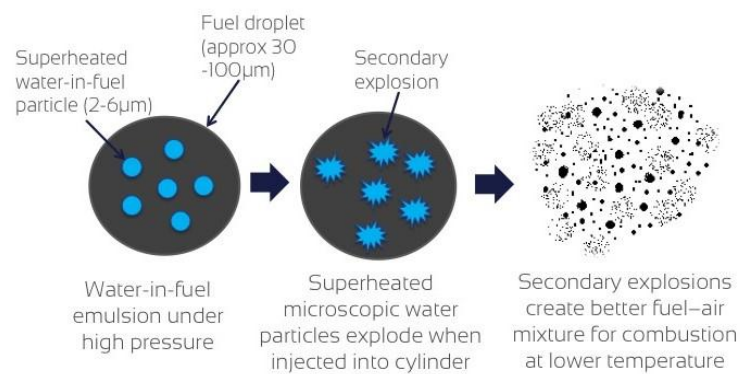
2.7 *Microexplosion*

Microexplosion adalah sebuah fenomena dimana bahan bakar *droplet* mengalami ledakan dalam skala kecil. Perbedaan titik nyala pembakaran, adanya udara yang masuk kedalam bahan bakar saat pembentukan *droplet*, dan perbedaan karakteristik penguapan minyak menjadi penyebab terjadinya *microexplosion*. Gambar 2.6 menjelaskan proses tahapan *microexplosion* yang terjadi pada campuran bahan bakar



Gambar 2.6 Proses tahapan *microexplosion* yang terjadi pada campuran bahan bakar
Sumber : Hoxie, 2013

Peristiwa *microexplosion* berakibat pada meningkatnya proses atomisasi dan *burning rate*. *Burning rate* yang meningkat menunjukkan adanya kandungan oksigen berlebih pada campuran bahan bakar yang berakibat pada berkurangnya gas NO_x yang dihasilkan maupun jelaga hasil pembakaran (Botero *et al*, 2011). Seperti yang dijelaskan pada gambar 2.7 kandungan air yang berada di dalam minyak menyebabkan ledakan kedua.



Gambar 2.7 Skema tahapan *microexplosion*
 Sumber: Blue Ocean Solutions Pte Ltd (2015)

2.8 Hipotesis

Penambahan minyak cengkeh dengan persentase 1%, 2%, 3% dan 4% sebagai campuran kedalam bahan bakar biodiesel minyak jarak pada pembakaran *droplet alan* mengurangi *ignition delay*, meninggikan *burning rate*, menyebabkan terjadinya *microexplosion* dan menaikkan temperatur pembakaran serta mempengaruhi visualisasi nyala api.

