

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian sebelumnya

Penelitian tentang pembakaran *droplet* pada campuran biodiesel dan solar dilakukan oleh (Botero, *et al.* 2011) dapat mengurangi tingkat pembentukan jelaga dan menurunkan *burning rate*. Terdapat *microexplosion* pada pembakaran *droplet* campuran etanol terhadap solar dan biodiesel. Untuk campuran etanol dengan biodiesel dapat mengurangi tingkat pembentukan jelaga.

Biodiesel minyak jarak mempunyai nilai *burning rate* yang lebih rendah dari solar karena memiliki titik didid yang lebih tinggi. Campuran biodiesel dan diesel dengan etanol menyebabkan terjadinya *microexplosion* saat pembakaran. *Microexplosion* mengurangi waktu pembakaran (*burning rate*) karena meningkatkan tingkat konsumsi bahan bakar. Kadar etanol yang dicampurkan terhadap diesel adalah 25%, 50% dan 75%. Sedangkan untuk kadar campuran etanol dengan biodiesel yakni 20%, 50% dan 80%.

Penelitian tentang pembakaran *droplet* bahan bakar biodiesel dicampur dengan alkana (dodekana dan heksadekana) pada kondisi *microgravity* (Pan, 2009) menunjukkan bahwa pembakaran biodiesel dengan alkana akan menghasilkan bentuk nyala api yang simetris dikarenakan pembakaran dilakukan pada kondisi *microgravity*. Diketahui juga penambahan alkana terhadap biodiesel mengurangi pembentukan jelaga dibandingkan dengan bahan bakar diesel. Mereka menemukan bahwa jelaga tidak selalu muncul pada saat pembakaran biodiesel dengan bahan bakar lain. Ketika terdapat jelaga muncul, itu dianggap sebagai konsekuensi dari reaksi oksidatif yang lebih cepat terhadap partikel jelaga. Penambahan biodiesel terhadap bahan bakar lain menambah kemungkinan oksidasi dari jelaga.

Penelitian tentang pembakaran *droplet* campuran biodiesel/diesel dengan alkohol (Pan, 2013) menyatakan bahwa biodiesel digunakan untuk campuran alternatif terhadap diesel yang bertujuan untuk sebagai perantara pencampuran antara alkohol dengan solar. Penambahan alkohol kedalam campuran biodiesel-diesel dapat meningkatkan laju pembakaran, mengurangi *delay* pada pemanasan awal dan mengurangi partikel jelaga yang terbentuk. Alkohol yang digunakan adalah metanol, etanol dan 2-propanol.

Penambahan alkohol mempengaruhi diameter *droplet*, *burning rate*, diameter jelaga yang terbentuk dan diameter nyala api. Pada kondisi *microgravity*, *burning rate* tidak banyak berhubungan dengan ciri pembakaran bahan bakar, tetapi juga pembentukan jelaga. Peningkatan fraksi massa alkohol akan meningkatkan juga *burning rate*, *delay* untuk pembentukan jelaga dan mengurangi produksi jelaga serta *ignition delay*.

2.2 Alkohol

Merupakan senyawa hidrokarbon yang memiliki gugus hidroksil (-OH) yang terikat pada atom karbon. Alkohol memiliki rumus kimia umum yaitu : $C_nH_{2n+1}OH$. Terdapat 4 macam alkohol yang digunakan pada penelitian ini, yaitu metanol (CH_3OH), etanol (C_2H_5OH), propanol (C_3H_7OH) dan butanol (C_4H_9OH). Molekul alkohol mempunyai 1 atau lebih oksigen, sehingga membantu terjadinya pembakaran menjadi lebih mudah.

Alkohol banyak dimanfaatkan sebagai campuran untuk minuman, cairan anti beku, antiseptik, pelarut dan bahan bakar. Alkohol yang biasa digunakan untuk bahan bakar adalah metanol dan etanol. Alkohol bersifat larut dalam air, dikarenakan gugus hidroksil didalam alkohol mampu membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air.

Titik didih yang dimiliki oleh alkohol tergantung ukuran molekul yang dimilikinya. Semakin besar ukuran susunan molekulnya, maka titik didih nya akan semakin tinggi juga. Hal ini dikarenakan semakin besar ukuran molekulnya, maka semakin kuat juga gaya antar molekul yang terjadi. Sehingga energi panas yang dibutuhkan untuk diserap agar dapat memecah kekuatan antar molekul dengan masing-masing molekul alkohol juga semakin besar. Ketika semakin banyak atom karbon dan jumlah ikatan didalam suatu senyawa alkohol, maka energi yang dibutuhkan untuk memecah ikatan antar atom juga semakin besar.

Tabel 2.1

Perbandingan titik didih antar alkohol

Alkane	Boiling point (°C)	Alcohol	Boiling point (°C)
methane	- 164	methanol	65
ethane	- 89	ethanol	79
propane	- 42	1-propanol	97
butane	- 0,5	1-butanol	117
pentane	36	1-pentanol	138
hexane	69	1-hexanol	156

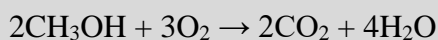
Sumber: Atmanli, 2016

2.2.1 Metanol

Metanol yang juga dikenal dengan metil alkohol merupakan senyawa kimia dengan rumus kimia CH_3OH dan memiliki sifat tidak berwarna, mudah menguap serta terbakar, dan beracun pada keadaan atmosfer. Metanol akan bersifat beracun ketika dikonsumsi secara langsung atau dengan dicampur minuman keras, dihirup secara langsung dan terkena kulit sehingga menyebabkan gatal-gatal hingga iritasi. Bila dibandingkan dengan etanol, metanol jauh lebih beracun, sehingga penggunaannya harus hati-hati jangan sampai terhirup secara langsung, kontak dengan kulit secara langsung, terkena mata dan tertelan karena dapat berbahaya.

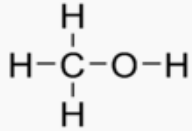
Methanol juga dapat digunakan sebagai bahan pendingin anti beku, pelarut, bahan aditif perindustrian, dan bahan bakar. Metanol sering digunakan untuk campuran bahan bakar dikarenakan bersifat ramah lingkungan, tetapi penggunaan metanol dalam konsentrasi yang tinggi akan menyebabkan korosi pada logam dan juga aluminium.

Hasil dari pembakaran metanol adalah karbon dioksida dan air. Reaksinya sebagai berikut :



Metanol juga berguna untuk campuran pembuatan biodiesel melalui proses transesterifikasi. Transesterifikasi merupakan proses kimiawi perubahan molekul trigliserida dari minyak nabati atau lemak hewani bereaksi dengan metanol sehingga

menghasilkan alkil ester, yang mana molekulnya hampir sama dengan molekul dalam bahan bakar diesel. (Knothe *et al.*, 2005).



Gambar 2.1 Rumus molekul metanol

Sumber : <https://en.wikipedia.org/wiki/Methanol>

Adapun sifat fisik yang dimiliki metanol adalah :

- Rumus molekul : CH_3OH
- Massa molar : 32,04 g/mol
- Densitas : 0,7918 g/cm³
- Titik beku : -97 °C
- Titik didih : 64,7 °C
- Keasaman : 15,5 (pKa)
- Viskositas : 0,59 mPa (20 °C)
- *Flash point* : 10-12 °C
- *Latent heat of vaporization* : 920 kJ/L
- *Heating value* : 22,7 MJ/kg

2.2.2 Etanol

Etanol atau nama lain dari etil alkohol mempunyai rumus molekul $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. Etanol dapat bercampur dengan air, bersifat *volatile* dan tidak berwarna. Etanol yang tidak beracun ini banyak dimanfaatkan untuk menjadi campuran minuman, bahan pelarut, antiseptic, pembangkit listrik hingga bahan bakar kendaraan bermotor. Bila dijadikan bahan bakar, etanol tidak menghasilkan asap, sehingga karbon dioksida yang dihasilkan juga tidak banyak serta oksigen yang digunakan untuk pembakaran juga lebih sedikit. Berikut perbandingan karakter antara bahan bakar etanol, solar dan bensin:

Tabel 2.2

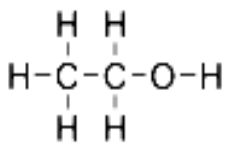
Perbandingan sifat fisik antara etanol, bensin dan solar

Parameter	Bahan bakar		
	Etanol	Bensin	Solar
Titik didih, °C	77,78-78,33	26,67-225	190,56-332,22
Densitas, Kg/L	0,791	0,719-0,779	0,815-0,875
Tekanan uap Reid (RVP), bar	0,16-0,17	0,55-1,03	(1,03-1,52) 10 ⁻³
Tekanan uap Reid pencampuran, bar	1,24-1,52	0,55-1,03	0
Kalor penguapan, kJ/Kg	841,99 - 930,4	325,6-395,4	232,59-604,75
Titik penyalaaan sendiri, °C	365-425		203,89-260
Batas penyalaaan, %	3,3-19,0	1,0 - 8,0	0,6-5,5
Perbandingan udara: bahan bakar, (massa)	8,97-9,0	14,5-14,7	14,6-15,0
Temperatur nyala adiabatik, °C	1930	1977,2	2053,89
Kalor pembakaran netto, MJ/L	18,96-19,03	27,29-29,30	32,23-32,55
Angka oktan, (R+M)/2 ⁽¹⁾	96-113	85-96	Tidak Berlaku
SE, LHV/AF, kJ/Kg ⁽²⁾	6977,9	6791,6	Tidak Berlaku

Sumber: <http://digilib.itb.ac.id/files/disk1/560/jbptitbpp-gdl-widayatnim-27998-3-2001ts-2.pdf>

Etanol juga dapat digolongkan dalam bahan bakar alternatif yang dapat diperbarukan, karena bahan bakunya berasal dari tumbuh-tumbuhan. Pembuatan etanol yang paling umum adalah dengan fermentasi. Untuk pembuatan etanol sendiri dapat diproduksi dari karbohidrat yang didapat melalui tebu, macam-macam sari buah, padi-padian, jagung, gandum dan ubi kayu.

Bila dibandingkan dengan methanol, etanol jauh lebih tidak beracun. Etanol terlihat tidak berwarna dan jernih serta mempunyai sifat kimia seperti mudah menguap, memiliki rasa pedas, dan memiliki bau yang halus (Setyaningsih, 2006).



Gambar 2.2 Rumus molekul etanol

Sumber : <https://en.wikipedia.org/wiki/Ethanol>

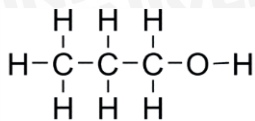
Adapun sifat fisik yang dimiliki oleh etanol :

- Rumus molekul : C_2H_5OH
- Massa molar : 46,06844 g/mol
- Titik beku : $-114,14\text{ }^\circ\text{C}$
- Titik didih : $78,29\text{ }^\circ\text{C}$
- Densitas : $0,7893\text{ g/cm}^3$
- Viskositas : 0,841 cP ($40\text{ }^\circ\text{C}$)
- Keasaman : 15,9 (pKa)
- *Flash point* : $16,60\text{ }^\circ\text{C}$
- *Heating value* : 29,847 MJ/kg
- Nilai *cetane* : 5-8
- *Latent heat of vaporization* : 725 kJ/L

2.2.3 Propanol

Propanol adalah senyawa kimia dengan rumus kimia C_3H_7OH yang berfungsi untuk pelarut pada pelapis, sebagai komposisi dalam zat anti beku, bahan baku cat, kosmetik, pembersih kotoran sisa hasil solder, tinta printer, pemisahan air dengan minyak, pestisida, insektisida dan juga sebagai campuran bahan bakar. Propanol bersifat tidak berwarna pada suhu kamar dan larut dalam air, larutan asam dan alkohol.

Bila dibandingkan dengan metanol, propanol lebih aman digunakan dan mudah menguap. Propanol memiliki nilai *flashpoint* yang cenderung tinggi, jadi tidak mudah terbakar. Untuk penggunaannya sebagai campuran bahan bakar diesel, penambahan propanol dapat menurunkan suhu mesin saat beroperasi dan juga cenderung mengurangi emisi CO dari hasil pembakaran. Dari penelitian (Balamurugan, 2014) juga menunjukkan bahwa bahan bakar diesel yang dicampur dengan propanol akan mengurangi konsumsi energi mesin, suhu pengoperasian mesin, emisi CO dan juga gas NO_x yang berbahaya bagi kesehatan.



Gambar 2.3 Rumus molekul propanol

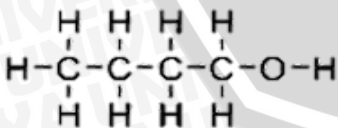
Sumber : https://en.wikipedia.org/wiki/Isopropyl_alcohol

Adapun sifat fisik yang dimiliki oleh propanol adalah :

- Rumus molekul : C₃H₇OH
- Massa molar : 60,1 g/mol
- Densitas : 0,786 g/cm³ (20°C)
- Titik beku : -89°C
- Titik didih : 82,6°C
- Keasaman : 16,2 pKa
- Viskositas : 2,86 cP (15°C)
- *Flash point* : 11,7°C
- *Heat value* : 33,6 MJ/kg
- *Latent heat of vaporization* : 585 kJ/L

2.2.4 Butanol

Butanol dengan rumus kimia C₄H₉OH adalah alkohol primer dengan struktur 4 karbon, memiliki ikatan *hydrogen*, sehingga memiliki titik didih tinggi. Fungsi butanol antara lain: bahan pelarut, pembuatan minyak rem, campuran parfum, pelarut cat, pewarna serta campuran bahan bakar.



Gambar 2.4 Rumus molekul butanol

Sumber : <https://en.wikipedia.org/wiki/Butanol>

Butanol diproduksi dari bahan bentah yang tidak dapat dimakan, sehingga tidak mempengaruhi kebutuhan pangan bila dijadikan sebagai campuran bahan bakar alternatif.

Bila dibandingkan dengan metanol dan etanol, butanol memiliki rantai karbon lebih panjang, nilai *cetane* lebih tinggi, nilai *Latent heat of vaporization* yang lebih rendah dan *heating value* serta *flashpoint* yang lebih mendekati bahan bakar diesel (solar) (Tankai Zhang,2016).

Dibandingkan dengan etanol, butanol memiliki keunggulan seperti *volatility* dan *hidrophilicity* yang lebih rendah, yang berarti kemungkinan terjadinya korosi lebih rendah terhadap sistem bahan bakar. Berikut perbandingan sifat fisik butanol, solar dan alkohol yang lain :

Tabel 2.3
Perbandingan sifat fisik solar dengan macam-macam alkohol

	Methanol	Ethanol	Isobutanol	n-Butanol	2-Ethylhexanol	n-Octanol	Diesel
Oxygen content (wt.%)	49.93	34.73	21.62	21.62	12.31	12.31	0
Density (g/ml)	0.787	0.785	0.802	0.810	0.836	0.830	0.837
Heating value (MJ/kg)	20.1	26.9	33.17	33.21	34.7	38.4	42.8
Cetane number	3.8	5-8	<15	17-25	23.2	37.5	52
Flash point (°C)	12	13	28	35	81	81	82
Viscosity @ 40 °C (mm ² /s)	0.58	1.13	2.62	2.63	5.2	5.5	3.04
Boiling point (°C)	65	79	108	118	184	195	193-357
Lubricity (µm)	1100	1057	-	590	-	236	315
Vaporization latent heat (kJ/kg)	1109	904	566	582	-	562	270
Solubility in water	Miscible	Miscible	Immiscible	Immiscible	Immiscible	Immiscible	Immiscible

Sumber: Reitz,2016

Adapun sifat fisik yang dimiliki oleh butanol adalah :

- Rumus kimia : C₄H₉OH
- Massa molar : 74,12 g/mol
- Densitas : 0,81 g/cm³
- Titik beku : -89,8°C
- Titik didih : 117,7°C
- Keasaman : 16,1 pKa
- Viskositas : 2,573 cp (25°C)
- Flash point : 35°C
- *Heat value* : 26,7 MJ/kg
- *Latent heat of vaporization* : 474 kJ/L

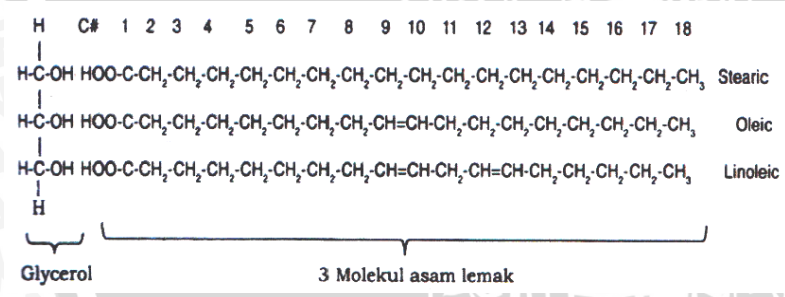
Tabel 2.4
Perbandingan sifat fisik dari alkohol

Sifat Alkohol	Metanol	Etanol	Propanol	Butanol
Rumus molekul	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	C ₃ H ₇ OH	C ₄ H ₉ OH
Massa molar	32,04 g/mol	46,06844 g/mol	60,1 g/mol	74,12 g/mol
Densitas	0,7918 g/cm ³	0,7893 g/cm ³	0,786 g/cm ³ (20°C)	0,81 g/cm ³
Titik beku	-97 °C	-114,14 °C	-89°C	-89,8°C
Titik didih	64,7 °C	78,29 °C	82,6°C	117,7°C
Keasaman	15,5 (pKa)	15,9 (pKa)	16,2 pKa	16,1 pKa
Viskositas	0,59 mPa (20 °C)	0,841 cP (40 °C)	2,86 cP (15°C)	2,573 cp (25°C)
Flash point	10-12 °C	16,60 °C	11,7°C	35°C
Latent heat of vaporization	920 kJ/L	725 kJ/L	585 kJ/L	474 kJ/L
Heating value	22,7 MJ/kg	29,847 MJ/kg	33,6 MJ/kg	26,7 MJ/kg

Sumber : Data pribadi

2.3 Minyak Jarak Pagar

Minyak jarak adalah salah satu jenis dari minyak nabati yang dapat di jadikan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Minyak nabati adalah triester asam-asam lemak dengan gliserol atau trigliserida.



Gambar 2.5 Susunan ikatan molekul trigliserida

Sumber : Wardana (2008:3)

Tabel 2.5
Tanaman Penghasil Minyak Nabati serta Produktivitasnya

Nama Indonesia	Nama Inggris	Nama Latin	Kg/ha/tahun
Sawit	Oil palm	<i>Elaeis guineensis</i>	5000
Kelapa	Coconut	<i>Cocos nificera</i>	2260
Alpokot	Avocado	<i>Persea americana</i>	2217
K.Brazil	Brazil nut	<i>Bertholletia excelsa</i>	2010
K.Makadam	Macadamia nut	<i>Macadamia ternif</i>	1887
Jarak Pagar	Physic nut	<i>Jatropha curcas</i>	1590
Jojoba	Jojoba	<i>Simmondsia califor</i>	1528
K.Pekan	Pecan nut	<i>Carya pecan</i>	1505
Jarak Kaliki	Castor	<i>Ricinus communis</i>	1188
Zaitun	Olive	<i>Olea europea</i>	1019
Kanola	Rapeseed	<i>Brassica napus</i>	1000
Opium	Poppy	<i>Papaver somniferum</i>	978

Sumber: Soerawidjaja,2006

Minyak jarak murni sebenarnya bisa langsung digunakan pada mesin diesel, baik sebagai campuran maupun pengganti solar, tetapi perlu dilakukan modifikasi mesin. Sehingga perlu diubah terlebih dahulu menjadi biodiesel agar bisa langsung digunakan pada mesin diesel tanpa harus dilakukan modifikasi mesin. Berikut spesifikasi minyak jarak untuk pembuatan biodiesel dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.6
Spesifikasi Minyak Jarak Pagar untuk Biodiesel

Parameter	Spesifikasi
Asam lemak bebas	< 2,0 % berat
Kandungan air	<1000 ppm
P(fosfor)	<20 ppm berat
S(sulfur)	<50 ppm
Bilangan iodium	< 120 mgI ₂ /100g
Angka penyabunan	>190 mg KOH/g
Specific gravity	0,840 – 0,920
Asam miristat	0,38 %
Asam palmitat	16,0 % maksimal
Asam palmitoleat	1 – 3,5 %
Asam stearat	6 – 7,0 %
Asam oleat	42 – 43,5 %
Asam linoleat	33 – 34,4 %
Asam linolenat	>0,80 %
Asam arakhidat	0,20 %
Asam gadoleat	0,12 %

Sumber: Lele,2005

Keuntungan minyak jarak pagar sebagai biodiesel antara lain tidak termasuk kategori minyak makan (*edible oil*) sehingga pemanfaatannya tidak mengganggu penyediaan kebutuhan minyak makan dan dapat dikembangkan di daerah kering dan lahan marginal. Disamping itu terdapat manfaat lain yang dapat dikembangkan yaitu sebagai bahan untuk pembuatan sabun, obat-obatan, bahan kimia dan bungkil/ampasnya untuk pupuk organik karena mengandung zat Nitrogen (N) dan bahan-bahan organik lainnya.

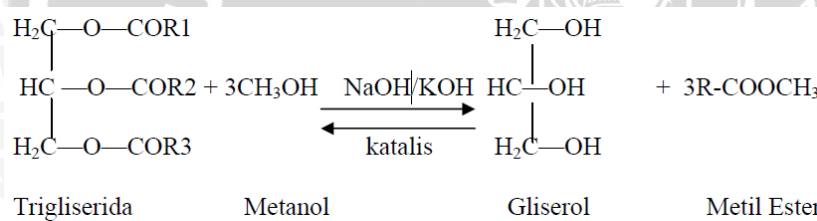
2.4 Biodiesel

Biodiesel adalah bahan bakar alternatif untuk diesel yang terdiri atas ester alkil dari asam-asam lemak yang didapatkan dari pengolahan minyak nabati atau hewani. (Soerawidjaja,2006). Biodiesel menjadi alternatif bahan bakar karena dapat diperbaharui,

contoh seperti jarak pagar yang menghasilkan minyak jarak, kelapa sawit, kemiri dan lain sebagainya.

Biodiesel juga salah satu bahan bakar alternatif yang penggunaannya tidak perlu memodifikasi mesin, bisa langsung digunakan dengan dan tanpa campuran solar. Selain itu, biodiesel juga bersifat ramah lingkungan, mengurangi emisi, mengurangi tingkat CO₂ di atmosfer dan juga menghilangkan emisi sulfur dioksida sehingga tidak berpotensi menyebabkan hujan asam. Mesin diesel yang menggunakan campuran biodiesel juga cenderung lebih awet karena biodiesel mempunyai sifat melumasi yang lebih baik dari solar.

Untuk mendapatkan biodiesel, minyak dengan asam lemak bebas yang tinggi harus melewati proses transesterifikasi terlebih dahulu. Transesterifikasi adalah reaksi ester untuk menghasilkan ester baru yang mengalami pertukaran posisi asam lemak (Sontag,1982).



Gambar 2.6 Reaksi proses transesterifikasi dari Trigliserida dengan metanol

Sumber : Widyawati, 2007

Transesterifikasi adalah proses dimana pembentukan biodiesel terjadi. Di proses ini, ester dari asam lemak atau trigliserida direaksikan dengan metanol dan katalis basa berupa NaOH atau KOH. Dari reaksi ini akan dihasilkan *metil ester/etil ester* biodiesel dan produk samping berupa gliserol.

Tabel 2.7

Perbedaan Sifat Biodiesel dan Minyak Diesel (Solar)

No.	Sifat Bahan Bakar	Diesel	Biodiesel	Satuan
1	Standar Bahan Bakar	ASTM D975	ASTM D6751	-
2	LHV	~129.050	~118.170	Btu/gal
3	Viskositas Kinematik (Pada Suhu 40 ⁰ C)	1,3 – 4,1	1,9 – 6,0	mm ² /s
4	<i>Spesific Gravity</i> (Pada Suhu	0,85	0,88	kg/l

	60 ⁰ C)			
5	Densitas	7,079	7,328	lb/gal
6	Air dan Sedimen	0,05 max	0,05 max	% volume
7	Karbon	87	77	%
8	Hidrogen	13	12	%
9	Oksigen	0	11	%
10	Sulfur	0,0015	0,0 sampai 0,0024	%
11	Titik Didih	180 sampai 340	315 sampai 350	⁰ C
12	Titik Nyala Api	60 sampai 80	130 sampai 170	⁰ C
13	Titik Kabut	-15 sampai 5	-3 sampai 12	⁰ C
14	Titik Cair	-35 sampai -15	-15 sampai 10	⁰ C
15	Nomor <i>Cetane</i>	40 sampai 55	47 sampai 65	-
16	<i>Lubricity</i> SLBOCLE	2000 sampai 5000	>7000	Gram
17	<i>Lubricity</i> HFRR	300 sampai 600	<300	mikron

Sumber: U.S. Department of Energy, *Biodiesel Handling and Use Guidelines* (2006)

Pada tabel diatas menjelaskan bahwa biodiesel dapat digunakan langsung secara murni yaitu 100% biodiesel atau sebagai campuran solar. Hal ini bisa terjadi karena viskositas yang tinggi dibandingkan minyak solar. Selain itu juga sifat biodiesel sebagai pelumas juga membuat mesin halus dan lebih awet.

2.4.1 Biodiesel minyak jarak

Sebelum di gunakan, sebaiknya minyak jarak diubah terlebih dahulu menjadi biodiesel. Hal itu dikarenakan minyak jarak yang belum diubah memiliki viskositas serta *flashpoint* yang tinggi, terdapat asam lemak bebas, banyak endapan yang tersisa ketika pembakaran langsung, dan angka *cetane* yang rendah. *Flashpoint* yang di maksud adalah suhu terendah dimana bahan bakar akan menghasilkan api (terbakar) jika dikenai sumber api. Angka *cetane* sendiri digunakan sebagai pengukuran kualitas pembakaran bahan bakar diesel selama kompresi pengapian.

Menurut tabel 2.7 diatas, viskositas biodiesel minyak jarak lebih besar dari viskositas solar. *Flashpoint* biodiesel minyak jarak juga lebih besar dari solar. Ini membuktikan bahwa biodiesel minyak jarak dapat dan mampu dijadikan pengganti solar, tetapi dengan dilakukan penambahan alkohol terlebih dahulu pada biodiesel minyak jarak guna menurunkan viskositas dan meningkatkan nilai *cetane*.

Tabel 2.8

Properti pembakaran biodiesel minyak jarak

Property	Jatropha 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 [$^{\circ}\text{C}$]	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 [$^{\circ}\text{C}$]	-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

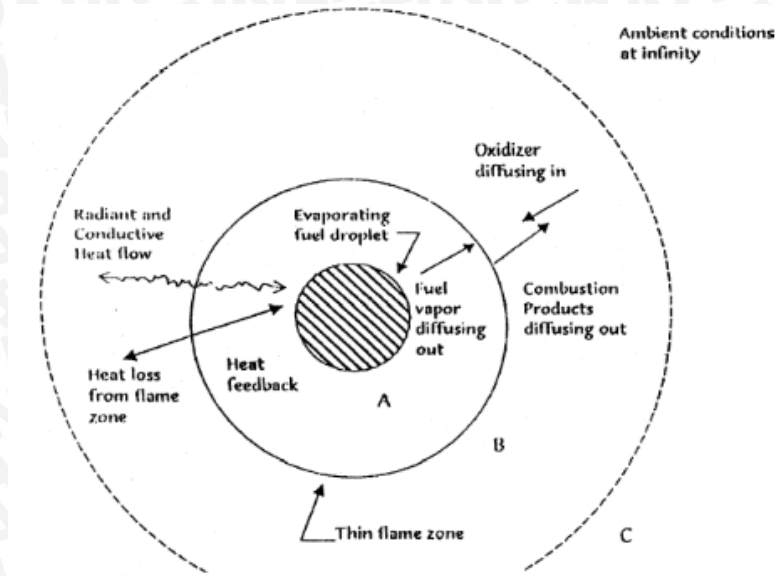
2.5 Pembakaran

Pembakaran ialah sebuah reaksi kimia antara bahan bakar dengan udara (O_2) dan menghasilkan energi dan cahaya. Pada dasarnya komponen terjadinya pembakaran adalah bahan bakar, oksigen, dan energi panas yang digunakan sebagai pemicu. Berdasarkan teorinya, energi panas akan mudah menggerakkan atom dan memecah ikatan atom yang nantinya akan menyatu lagi dan membuat ikatan atom yang baru kembali. Terdapat 2 macam pembakaran, yaitu *premixed* dan pembakaran difusi.

- Pembakaran *premixed* adalah pembakaran yang terjadi antara bahan bakar dan udara yang sudah tercampur terlebih dahulu secara mekanik sebelum terjadinya pembakaran (Wardana, 2008).
- Pada pembakaran difusi, proses pembakaran bahan bakar dan udara sebagai pengoksida tidak tercampur secara mekanik, melainkan dibiarkan bercampur secara alami melalui proses difusi dalam ruang bakar/proses pembakaran (Wardana, 2008).

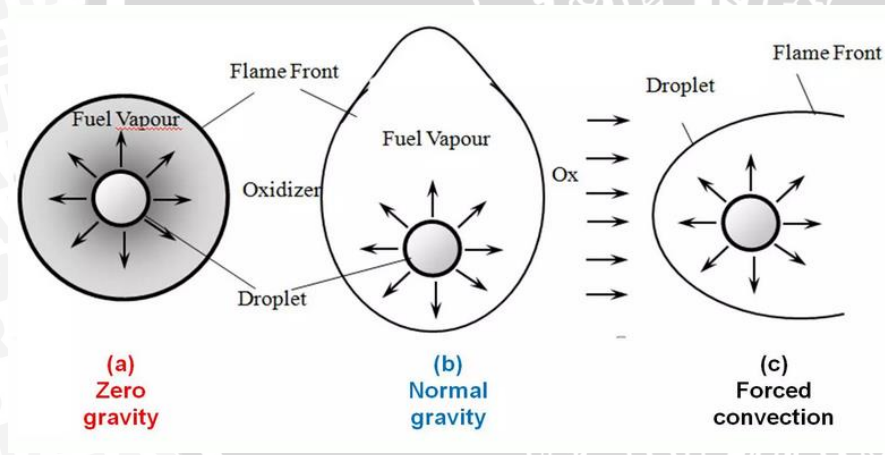
2.5.1 Pembakaran *Droplet*

Pada dasarnya pembakaran *droplet* adalah pembakaran butiran kecil bahan bakar (*droplet*) dan termasuk ke dalam pembakaran difusi karena oksigen serta bahan bakarnya tidak tercampur sebelum mendapat energi aktivasi. Pada saat dipanaskan, *droplet* akan terjadi penguapan dimana akan terjadi difusi antara uap bahan bakar dengan oksidator, sehingga akan terbentuk api pada permukaan *droplet*.



Gambar 2.7 Model api difusi pada pembakaran *droplet*

Sumber : Alam, 2011



Gambar 2.8 Bentuk nyala api pada pembakaran *droplet*

Sumber : Virtual Combustion and Automation Laboratory (ITT Kanpur), 2008

Dari hasil yang didapat, bentuk api tidak selalu berbentuk bulat (*spherical*) tapi juga bisa tidak bulat (*non-spherical*) seperti gambar diatas. Pada keadaan *zero gravity*, bentuk nyala api akan cenderung bulat dan juga dikarenakan kecepatan relatif (*relative velocity*) yang tidak muncul diantara permukaan *droplet* dengan gas disekelilingnya, yang mana dalam fase gas pada bilangan *Reynold* berdasarkan diameter *droplet* adalah 0 (Alam, 2011).

Sedangkan bentuk nyala api tidak bulat terjadi dalam keadaan normal akibat efek gravitasi bumi (daya apung) dan konveksi alami (*natural convection*) dimana nyala api cenderung memanjang keatas. Bisa juga terjadi karena konveksi paksa (*force convection*) dimana nyala api mengikuti arah aliran. Serta kecepatan relatif antara udara sekeliling dengan *droplet* dapat juga menyebabkan bentuk api memanjang ke atas.

2.5.2 Karakteristik Pembakaran *Droplet*

Karakteristik disini akan membandingkan sifat bahan bakar yang satu dengan yang lainnya. Karakteristik yang diamati yaitu :

a. *Ignition delay*

Ignition delay adalah interval atau tenggang waktu antara bahan bakar ketika mulai dipanaskan sampai bahan bakar mulai terbakar.

b. *Burning rate*

Burning rate merupakan kecepatan reaksi kimia bahan bakar dengan oksigen sampai bahan bakar habis terbakar. Mencari *burning rate* dapat menggunakan perbandingan diameter *droplet* yang ditinjau dari luas permukaan, dikarenakan masa *droplet* yang kecil sehingga sulit bila digunakan untuk mencari *burning rate*. Untuk mencari *burning rate* pada pembakaran *droplet* digunakan rumus seperti berikut :

$$d^2 = d_0^2 - \beta_0 t \quad (\text{McAllister, 2011:163}) \quad (2-1)$$

keterangan:

d_0 : diameter awal *droplet* (mm)

d : diameter *droplet* dalam waktu t (mm)

β_0 : *burning rate constant* (mm²/s)

t : waktu (detik)

c. Temperatur pembakaran

Temperatur pembakaran adalah panas maksimum pada proses pembakaran. Temperatur pembakaran dipengaruhi beberapa hal, seperti *heating value*, kecepatan pembakaran, *volumetric heat release* (pelepasan kalor yang terjadi per satuan volume)

dan jumlah pengoksidasi dalam bahan bakar. Untuk jumlah pengoksidasi, ketika terlalu banyak juga akan membuat panas maksimum tidak optimal.

d. Visualisasi nyala api

Untuk mengetahui visualisasi nyala api, dapat terlihat dari kecepatan pembakaran bahan bakar (*burning rate*), kecepatan penguapan, dan kecepatan difusi. Pada reaksi pembakaran yang cepat, nyala api akan kecil, begitu juga sebaliknya. Ketika reaksi pembakaran lama, waktu yang di butuhkan oleh bahan bakar tersebut untuk menjadi terbakar dan beroksidasi juga akan semakin lama. Jumlah oksigen dan bahan bakar mempengaruhi dimensi api yang dihasilkan.

2.6 *Microexplosion*

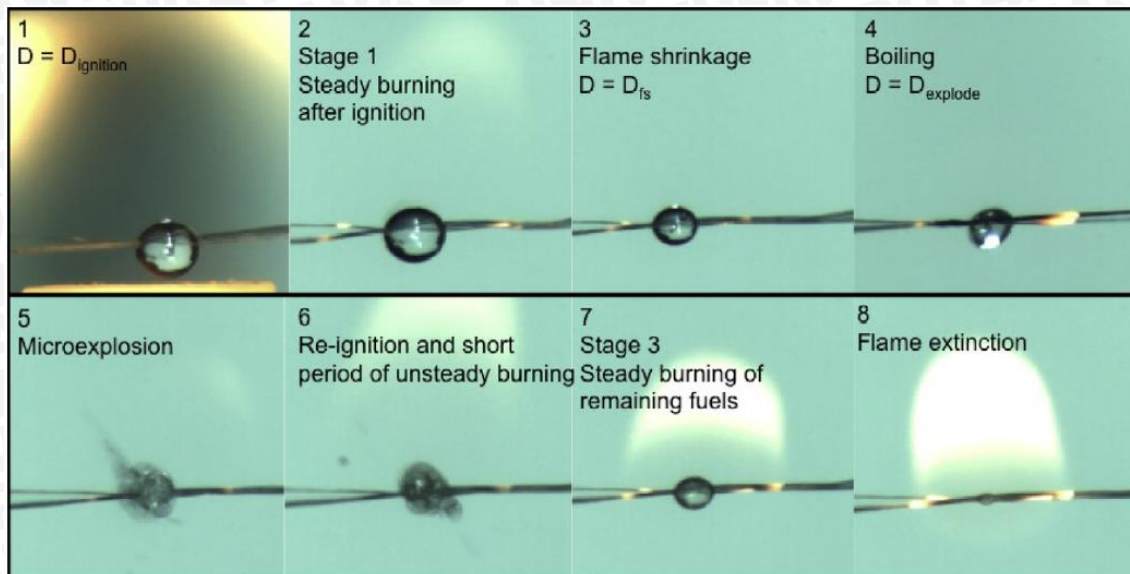
Microexplosion adalah suatu fenomena ledakan yang timbul dari hasil proses pembakaran akibat campuran dua atau lebih bahan bakar yang memiliki titik didih yang berbeda. Penyebab lain terjadinya *microexplosion* adalah perbedaan karakteristik dan adanya udara yang masuk kedalam bahan bakar saat proses pembakaran.

Perbedaan titik didih bahan bakar yang berbeda bukan hanya salah satu faktor terjadinya *microexplosion*, perbedaan dari karakteristik penguapan minyak (volatil dan nonvolatil) juga berperan penting dalam menjelaskan terjadinya *microexplosion* (Lasheras *et al.*) selain itu komposisi campuran juga dapat menjadi faktor terjadinya *microexplosion*, *microexplosion* dapat terjadi pada campuran bahan bakar *droplet* karena adanya kemungkinan udara yang masuk kedalam *droplet* pada saat pembentukan *droplet* (Wang, *et al.*, 2012).

Tahapan terjadinya *microexplosion* diawali dengan *droplet* yang dipanaskan dan komponen didalam *droplet* yang memiliki titik didih terendah akan mulai menguap. Seiring dengan terus menguapnya komponen tersebut, komponen tersebut juga terus mengembang dan volumenya juga terus bertambah. Maka akan timbul tekanan karena komponen tersebut masih berada didalam komponen *droplet* yang lain. Komponen lain tidak dapat menahan tekanan tersebut, sehingga lama kelamaan akan meledak dan menimbulkan *microexplosion*.

Terjadinya *microexplosion* berakibat pada meningkatnya proses atomisasi dan *burning rate*, *burning rate* yang meningkat menandakan adanya peningkatan campuran

bahan bakar dengan oksidator, yang pada akhirnya berakibat kepada berkurangnya gas NO_x yang dihasilkan maupun jelaga hasil pembakaran (Botero *et al.*)



Gambar 2.9 Proses tahapan *microexploison*

Sumber : Hoxie, 2013

2.7 Hipotesa

Penambahan alkohol terhadap biodiesel minyak jarak akan mengakibatkan *ignition delay* yang lebih rendah sehingga lebih mudah dan cepat terbakar, *burning rate* lebih tinggi sehingga bahan bakar akan lebih cepat untuk habis terbakar, temperatur pembakaran yang lebih kecil dan dimensi api yang juga lebih kecil.

Ditinjau dari karakteristik yang dimiliki masing-masing alkohol, propanol dapat digolongkan menjadi alkohol yang baik karena memiliki *flashpoint* rendah, *latent heat vaporization* yang rendah (mudah menguap) dan *heating value* yang tinggi.