

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Dalam penelitian ini penulis memaparkan dua penelitian sebelumnya yang relevan dengan permasalahan yang akan diteliti tentang karakteristik pembakaran *droplet* biodiesel minyak nabati dengan penambahan katalis rhodium (Rh).

Dewi (2012) melakukan penelitian tentang Pengaruh Daya Penyinaran Gelombang Mikro Terhadap Karakteristik Pembakaran *droplet* Minyak Jarak Pagar. Beberapa penelitian tentang pembakaran droplet menggunakan minyak sebagai variasinya. Berikut merupakan penelitian dengan variasi minyak jarak dan didapatkan hasil penelitian terdiri dari 9 macam yaitu perubahan visualisasi api, temperatur pembakaran, dimensi api, probabilitas terjadinya *microexplosion*, *burning rate*, *ignition delay time*, waktu evaporasi kedua dan waktu kemunculan *microexplosion*.

Adapun beberapa penelitian tentang pembakaran menggunakan rhodium sebagai katalis sudah sering dilakukan. Mukhlisin (2010) melakukan eksperimen tentang pengaruh penambahan Rhodium pada motor diesel. Adapun hasil yang didapat yaitu dengan penambahan katalis Rhodium dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar motor diesel hingga mencapai 22.2%. Studi eksperimental motor diesel tersebut mengalami penghematan bahan bakar sebesar 8.88% akibat penambahan katalis Rhodium. Dari penelitian tersebut penambahan katalis Rhodium terbukti mampu mempercepat reaksi dalam proses pembakaran.

2.2 Biodiesel dari Minyak Nabati

Mesin diesel yang menggunakan bahan bakar solar dapat digantikan dengan biodiesel yang adalah monoalkil ester yang memiliki asam-asam lemak dari rantai panjang dalam minyak nabati. (Krawczyk, 1996)

Biofuel atau yang biasa dikenal dengan bahan bakar nabati (BBN) memiliki bahan dasar dari berbagai tanaman alam yang memiliki minyak dan lemak seperti sawit, kacang tanah, kemiri, jarak pagar, kelapa dan tanaman-tanaman lain yang mengandung trigliserida didalamnya. Ketika minyak nabati diolah menjadi biodiesel maka terjadi perubahan karakteristik baik fisika dan kimia. Teknologi asam lemak bebas dipisahkan dari trigliserida melalui proses transesterifikasi dan dikonversi menjadi biodiesel. Minyak nabati dan biodiesel tergolong ke dalam kelas senyawa-senyawa organik, yaitu kelas ester

asam lemak. Meskipun demikian, minyak nabati adalah triester asam-asam lemak dengan gliserol, atau trigliserida, sedangkan biodiesel adalah monoester asam-asam lemak dengan metanol. Perbedaan wujud molekuler ini memiliki karakter yang berbeda dalam penggunaannya sebagai baha bakar mesin diesel:

1. Minyak nabati yaitu trigliserida dengan berat molekul yang lebih besar dari biodiesel (metil ester), sehingga trigliserida mudah mengalami perengkahan (*cracking*) menjadi molekul kecil, jika terpanaskan tanpa kontak dengan udara (oksigen).
2. Minyak nabati memiliki kekentalan (viskositas) yang lebih besar dari minyak diesel/solar maupun biodiesel, sehingga pompa injeksi bahan bakar di mesin diesel tidak mampu menghasilkan pengkabutan (*atomization*) yang baik ketika minyak nabati disemprotkan ke dalam ruang bakar.
3. Molekul minyak nabati relatif lebih bercabang dibanding metil ester asam-asam lemak, sehingga angka setana minyak nabati lebih rendah daripada angka setana biodiesel. Angka setana adalah angka yang menunjukkan mudah atau tidaknya bahan bakar menyala/terbakar di dalam mesin diesel.

Sifat biodiesel mirip dengan sifat minyak diesel, sehingga biodiesel menjadi bahan utama pengganti bahan bakar diesel. Metil ester yang dikonversi dari trigliserida menggunakan proses transesterifikasi akan menghasilkan 2/3 berat molekul dari aslinya, mengurangi nilai viskositas 1/8, dan meningkatkan *flash point*. Viskositas biodiesel hampir menyerupai minyak diesel dimana senyawa ester mengandung 10-11% berat oksigen. Dimana minyak biodiesel ini memiliki pembakaran yang lebih baik dibandingkan hidrokarbon dari minyak diesel. Bahan bakar nabati umumnya memiliki sifat menyerupai minyak solar, sehingga sangat berpeluang untuk dikembangkan. Biodiesel memiliki manfaat diantara lainnya:

1. Biodiesel lebih ramah lingkungan dikarenakan memiliki nilai emisi rendah.
2. Nilai pada *cetane number* (>57) sehingga pembakaran lebih efisien.
3. Pada piston mesin bisa berfungsi sebagai pelumas, serta dapat terurai.
4. Bahan bakar yang dapat diperbaharui karena bahan baku dari alam yang dapat diperbaharui.
5. Dapat diproduksi secara lokal.

Untuk menghasilkan biodiesel sangat sederhana, biodiesel dapat dihasilkan melalui proses transesterifikasi minyak dengan menggunakan alkohol dengan katalis NaOH atau KOH.

Pada Tabel 2.1 dibawah ini dapat karakteristik biodiesel secara umum dan Tabel 2.2 ASTM D6751-02 merupakan standar mutu biodiesel di Amerika Serikat:

Tabel 2.1 Karakteristik Biodiesel Secara Umum

Parameter	Nilai
Densitas (g/cm^3)	0.85-0.90
Viskositas kinematik ($40\text{ }^\circ\text{C}$)	3.5-5.8
Bilangan setana	46-70
Kalor pembakaran (kJ/g)	36.5-41.8
Titik pijar ($^\circ\text{C}$)	120-191
Titik tuang ($^\circ\text{C}$)	-15-13
Titik awan ($^\circ\text{C}$)	-11-16

Sumber: Legowo *et al.*, 2001

Tabel 2.2 Standar Mutu Biodiesel (ASTM D6751-02)

Properti	Metode ASTM	Nilai	Satuan
Flash point	93	Min. 100.0	$^\circ\text{C}$
Air dan sedimen	1796	Maks. 0.050	% volume
Residu karbon	4530 ^b	Maks. 0.050	% ^{b/b}
Abu tersulfat	874	Maks. 0.020	% ^{b/b}
Viskositas kinematik (40°C)	445	1.9-6.0	mm^2/s
Sulfur	2622	Maks. 0.05	% ^{b/b}
Bilangan setana	613	Min. 40	
Bilangan asam	664	Maks. 0.80	mg KOH/g
Gliserol bebas	GC ^c	Maks. 0.20	% ^{b/b}
Gliserol total	GC ^c	Maks. 0.40	% ^{b/b}

Sumber: Knothe, 2002

Ketahanan bahan bakar untuk mengalir disebut juga kekentalan (Viskositas). Pada ASTM D445 memiliki viskositas kinematis sebesar 1.9-6.0 mm/s pada suhu $40\text{ }^\circ\text{C}$. Bahan bakar yang mampu membentuk partikulat halus saat proses injeksi diperlukan dalam sistem pembakaran. Nilai viskositas bahan bakar yang terlalu rendah akan mengakibatkan kebocoran dan berpengaruh pada daya pembakaran. Sebaliknya jika viskositas tinggi akan mempersulit suplai keruang pembakaran yang akan berakibat berkurangnya daya pembakaran (Van Gerpen, 2004b)

2.3.1. Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar

Jatropha atau disebut jarak pagar mengandung minyak sekitar 30-50%, serta mengandung 16-18 atom karbon. Minyak jarak pagar memiliki kandungan atom karbon yakni 16-18 sehingga mengakibatkan viskositasnya lebih tinggi dibandingkan dengan minyak bumi yang memiliki kandungan 8 -10 atom karbon. Minyak jarak pagar memiliki daya pembakaran yang rendah jika digunakan sebagai bahan bakar. Proses transfersikasi merupakan solusi untuk menurunkan viskositas minyak jarak pagar dan dapat meningkatkan daya pembakaran, sehingga memenuhi standar minyak diesel pada

umumnya. Proses transesterifikasi minyak jarak pagar menggunakan alkohol dan bantuan katalis NaOH untuk mengubah trigliserida menjadi metil ester dan gliserol (said, 2010). Pada biodiesel minyak jarak pagar memiliki nilai titik nyala sebesar 165 °C (Suhartanta, 2008).

Tabel 2.3 Karakteristik Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar

REG		Biodiesel Certificate of Analysis			REG	
Feedstock: Jatropha			Product Type: B100			
ASTM D 6751 Analysis of Biodiesel						
Test Parameter	Result	ASTM Limit	Units	Test Method (current revision)		
Cloud point:	2.7 (36.86)	Report	°C (°F)	D 2500		
CFPP ¹ :	0	N/A	°C	D 6371		
Free Glycerin:	0.006	0.020 max.	% Mass	D 6584		
Total Glycerin:	0.100	0.240 max.	% Mass	D 6584		
Monoglycerides ² :	0.291	N/A	% Mass	D 6584		
Diglycerides ³ :	0.104	N/A	% Mass	D 6584		
Triglycerides ⁴ :	0.022	N/A	% Mass	D 6584		
Water & Sediment:	< 0.005	0.050 max.	% Volume	D 2709		
Acid Number:	0.156	0.50 max.	mg KOH/g	D 664, Test Method A		
Visual Inspection:	1	N/A	Haze	D 4176, Procedure 2		
Relative Density at 60 °F:	0.8795	N/A	N/A	D 1298		
Oxidative Stability (110 °C):	2.3	3 min.	hrs	EN 14110		
Flashpoint (closed cup):	>160	93 min.	°C	D 93		
Moisture ⁵ :	0.022	N/A	% Mass	E 203		
Cold Soak Filtration:	286	360	seconds	D 6751 Annex		
Sulfur:	1.2	15	ppm	D 7039		
Calcium:	<0.1	5 max. Ca + Mg	ppm (ug/g)	EN 14638		
Magnesium:	0.3	5 max. Ca + Mg	ppm (ug/g)	EN 14638		
Phosphorus:	<0.1	0.001 max.	% Mass	D 4951		
Carbon Residue:	0.026	0.050 max.	% Mass	D 524		
Sulfated Ash:	0.009	0.020 max.	% Mass	D 874		
Kinematic Viscosity at 40 °C:	4.253	1.9-6.0	mm ² /sec.	D 445		
Copper Corrosion (3 hrs at 50 °C):	1a	No. 3 max.	N/A	D 130		

^{1,2,3,4,5} These are not ASTM D 6751 specification requirements.

Sumber: Shannon D. Sanford, 2009



Tabel 2.4 Komposisi Asam Lemak Biodiesel Dalam Minyak Jarak

Fatty Acid Profile Analysis of Biodiesel				
Test Parameter	Name	Result	Units	Test Method
C8:0	Caprylic		%	AOCS Ce1c-89
C10:0	Capric		%	AOCS Ce1c-89
C12:0	Lauric		%	AOCS Ce1c-89
C14:0	Myristic		%	AOCS Ce1c-89
C15:0	Pentadecanoic		%	AOCS Ce1c-89
C16:0	Palmitic	12.7	%	AOCS Ce1c-89
C16:1	Palmitoleic	0.7	%	AOCS Ce1c-89
C17:0	Margaric		%	AOCS Ce1c-89
C17:1	Margaroleic		%	AOCS Ce1c-89
C18:0	Stearic	5.5	%	AOCS Ce1c-89
C18:1	Oleic	39.1	%	AOCS Ce1c-89
C18:1-9c,12(OH)	Ricinoleic		%	AOCS Ce1c-89
C18:2	Linoleic	41.6	%	AOCS Ce1c-89
C18:3	Linolenic	0.2	%	AOCS Ce1c-89
C18:3-9c,11t,13t	α -Eleostearic		%	AOCS Ce1c-89
C20:0	Arachidic	0.2	%	AOCS Ce1c-89
C20:1	Gadoleic		%	AOCS Ce1c-89
C20:1-11c,14(OH)	Lesquerolic		%	AOCS Ce1c-89
C20:2	Eicosadienoic		%	AOCS Ce1c-89
C20:5	Timnodonic		%	AOCS Ce1c-89
C22:0	Behenic		%	AOCS Ce1c-89
C22:1	Erucic		%	AOCS Ce1c-89
C24:0	Lignoceric		%	AOCS Ce1c-89

Sumber: Shannon D. Sanford, 2009

2.3.2. Biodiesel dari Minyak Jagung

Minyak jagung memiliki gliserol dan asam – asam lemak, Persentase trigliserida yakni sekitar 98,6% dan sisanya merupakan bahan non minyak seperti zat warna dan abu. Minyak jagung cocok digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel dikarenakan pada komposisi trigliserida yang tinggi. Pada minyak jagung terdapat senyawa non trigliserida dalam jumlah yang kecil, senyawa tersebut antara lain diglisrida, motibgliserida, karbohidrat, fosfatida, turunan karbonidrat, protein dan getah (gum) (Sidabutar, 2013).

Tabel 2.5 Karakteristik Biodiesel dari Minyak Jagung

REG		Biodiesel Certificate of Analysis			REG	
Feedstock: Com			Product Type: B100			
ASTM D 6751 Analysis of Biodiesel						
Test Parameter	Result	ASTM Limit	Units	Test Method (current revision)		
Cloud point:	-2.8 (26.96)	Report	°C (°F)	D 2600		
CFPP ¹ :	-3	N/A	°C	D 8371		
Free Glycerin:	0.001	0.020 max.	% Mass	D 6584		
Total Glycerin:	0.066	0.240 max.	% Mass	D 6584		
Monoglycerides ² :	0.197	N/A	% Mass	D 6584		
Diglycerides ³ :	0.080	N/A	% Mass	D 6584		
Triglycerides ⁴ :	0.021	N/A	% Mass	D 6584		
Water & Sediment:	< 0.005	0.050 max.	% Volume	D 2709		
Acid Number:	0.283	0.50 max.	mg KOH/g	D 664, Test Method A		
Visual Inspection:	1	N/A	Haze	D 4176, Procedure 2		
Relative Density at 60 °F:	0.8850	N/A	N/A	D 1298		
Oxidative Stability (110 °C):	2.2	3 min.	hrs	EN 14110		
Flashpoint (closed cup):	> 160	93 min.	°C	D 93		
Moisture ⁵ :	0.032	N/A	% Mass	E 203		
Cold Soak Filtration:	131	360	seconds	D 6751 Annex		
Sulfur:	4.6	15	ppm	D 7039		
Calcium:	0.6	5 max. Ca+Mg	ppm (ug/g)	EN 14538		
Magnesium:	1.0	5 max. Ca+Mg	ppm (ug/g)	EN 14538		
Phosphorus:	<0.1	0.001 max.	% Mass	D 4951		
Carbon Residue:	0.020	0.050 max.	% Mass	D 524		
Sulfated Ash:	<0.005	0.020 max.	% Mass	D 874		
Kinematic Viscosity at 40 °C:	4.382	1.9-6.0	mm ² /sec.	D 445		
Copper Corrosion (3 hrs at 50 °C):	1a	No. 3 max.	N/A	D 130		

^{1,2,3,4,5} These are not ASTM D 6751 specification requirements.

Sumber: Shannon D. Sanford, 2009

Tabel 2.6 Komposisi Asam Lemak Biodiesel Dalam Minyak Jagung

Fatty Acid Profile Analysis of Biodiesel				
Test Parameter	Name	Result	Units	Test Method
C8:0	Caprylic		%	AOCS Ce1c-89
C10:0	Capric		%	AOCS Ce1c-89
C12:0	Lauric		%	AOCS Ce1c-89
C14:0	Myristic		%	AOCS Ce1c-89
C15:0	Pentadecanoic		%	AOCS Ce1c-89
C16:0	Palmitic	12.1	%	AOCS Ce1c-89
C16:1	Palmitoleic	0.1	%	AOCS Ce1c-89
C17:0	Margaric		%	AOCS Ce1c-89
C17:1	Margaroleic	0.1	%	AOCS Ce1c-89
C18:0	Stearic	1.8	%	AOCS Ce1c-89
C18:1	Oleic	27.2	%	AOCS Ce1c-89
C18:1-9c,12(OH)	Ricinoleic		%	AOCS Ce1c-89
C18:2	Linoleic	56.2	%	AOCS Ce1c-89
C18:3	Linolenic	1.3	%	AOCS Ce1c-89
C18:3-9c,11t,13t	α -Eleostearic		%	AOCS Ce1c-89
C20:0	Arachidic	0.4	%	AOCS Ce1c-89
C20:1	Gadoleic		%	AOCS Ce1c-89
C20:1-11c,14(OH)	Lesquerolic		%	AOCS Ce1c-89
C20:2	Eicosadienoic		%	AOCS Ce1c-89
C20:5	Timnodonic		%	AOCS Ce1c-89
C22:0	Behenic	0.2	%	AOCS Ce1c-89
C22:1	Erucic		%	AOCS Ce1c-89
C24:0	Lignoceric		%	AOCS Ce1c-89
C24:1	Nervonic		%	AOCS Ce1c-89
UNKNOWN S		0.6	%	AOCS Ce1c-89

Sumber: Shannon D. Sanford, 2009

2.3.3. Biodiesel dari Minyak Biji Bunga Matahari

Bunga matahari (*Helianthus annuus L.*) adalah tumbuhan semusim dari suku kenikir-kenikiran (Asteraceae) yang populer, baik sebagai tanaman hias maupun tanaman penghasil minyak. Bunga matahari memiliki cangkang biji tipis. Biji tersebut mengandung minyak berkisar 48% sampai 52%. Untuk menghasilkan satu liter minyak diperlukan biji 60 tandan bunga matahari majemuk. Minyak biji bunga matahari berdasarkan kandungan asam lemak tak jenuh mengandung 88%, kandungan asam linoleatnya (44-72%) paling besar dibandingkan asam lemaknya.

Tabel 2.7 Karakteristik Biodiesel dari Minyak Biji Bunga Matahari

REG		Biodiesel Certificate of Analysis			REG	
Feedstock: Sunflower			Product Type: B100			
ASTM D 6751 Analysis of Biodiesel						
Test Parameter	Result	ASTM Limit	Units	Test Method (current revision)		
Cloud point:	3.4 (38.12)	Report	°C (°F)	D 2500		
CFPP ¹ :	-3	N/A	°C	D 6371		
Free Glycerin:	0.007	0.020 max.	% Mass	D 6584		
Total Glycerin:	0.121	0.240 max.	% Mass	D 6584		
Monoglycerides ² :	0.387	N/A	% Mass	D 6584		
Diglycerides ³ :	0.092	N/A	% Mass	D 6584		
Triglycerides ⁴ :	0.000	N/A	% Mass	D 6584		
Water & Sediment:	< 0.005	0.050 max.	% Volume	D 2709		
Acid Number:	0.027	0.50 max.	mg KOH/g	D 664, Test Method A		
Visual Inspection:	1	N/A	Haze	D 4176, Procedure 2		
Relative Density at 60 °F:	0.8800	N/A	N/A	D 1298		
Oxidative Stability (110 °C):	0.9	3 min.	hrs	EN 14110		
Flashpoint (closed cup):	>160	93 min.	°C	D 93		
Moisture ⁵ :	0.032	N/A	% Mass	E 203		
Cold Soak Filtration:	107	360	seconds	D 6751 Annex		
Sulfur:	0.2	15	ppm	D 7039		
Calcium:	<0.1	5 max. Ca + Mg	ppm (ug/g)	EN 14538		
Magnesium:	0.3	5 max. Ca + Mg	ppm (ug/g)	EN 14538		
Phosphorus:	<0.1	0.001 max.	% Mass	D 4951		
Carbon Residue:	0.035	0.050 max.	% Mass	D 524		
Sulfated Ash:	<0.005	0.020 max.	% Mass	D 874		
Kinematic Viscosity at 40 °C:	4.439	1.9-6.0	mm ² /sec.	D 445		
Copper Corrosion (3 hrs at 50 °C):	1a	No. 3 max.	N/A	D 130		

^{1,2,3,4,5} These are not ASTM D 6751 specification requirements.

Sumber: Shannon D. Sanford, 2009

Tabel 2.8 Komposisi Asam Lemak Biodiesel Dalam Minyak Biji Bunga Matahari

Fatty Acid Profile Analysis of Biodiesel				
Test Parameter	Name	Result	Units	Test Method
C8:0	Caprylic		%	AOCS Ce1c-89
C10:0	Capric		%	AOCS Ce1c-89
C12:0	Lauric		%	AOCS Ce1c-89
C14:0	Myristic		%	AOCS Ce1c-89
C15:0	Pentadecanoic		%	AOCS Ce1c-89
C16:0	Palmitic	4.2	%	AOCS Ce1c-89
C16:1	Palmitoleic		%	AOCS Ce1c-89
C17:0	Margaric		%	AOCS Ce1c-89
C17:1	Margaroleic		%	AOCS Ce1c-89
C18:0	Stearic	3.3	%	AOCS Ce1c-89
C18:1	Oleic	63.6	%	AOCS Ce1c-89
C18:1-9c,12(OH)	Ricinoleic		%	AOCS Ce1c-89
C18:2	Linoleic	27.6	%	AOCS Ce1c-89
C18:3	Linolenic	0.2	%	AOCS Ce1c-89
C18:3-9c,11t,13t	α -Eleostearic		%	AOCS Ce1c-89
C20:0	Arachidic		%	AOCS Ce1c-89
C20:1	Gadoleic		%	AOCS Ce1c-89
C20:1-11c,14(OH)	Lesquerolic		%	AOCS Ce1c-89
C20:2	Eicosadienoic		%	AOCS Ce1c-89
C20:5	Timnodonic		%	AOCS Ce1c-89
C22:0	Behenic	0.7	%	AOCS Ce1c-89
C22:1	Erucic		%	AOCS Ce1c-89
C24:0	Lignoceric	0.4	%	AOCS Ce1c-89
C24:1	Nervonic		%	AOCS Ce1c-89
UNKNOWN S			%	AOCS Ce1c-89

Sumber: Shannon D. Sanford, 2009

2.3.4. Biodiesel dari Minyak Kelapa

Biodiesel dari minyak kelapa disebut dengan cocodiesel (Balai Besar Kimia & Kemasan, 2006). Cocodiesel merupakan salah satu jenis industri hilir yang memiliki potensi cukup besar untuk dikembangkan di daerah penghasil kelapa, khususnya Indragiri Hilir (Direktorat Pengolahan Hasil Pertanian, 2008). Selain untuk meningkatkan pendapatan petani kelapa, pengembangan cocodiesel juga sangat berguna untuk mengatasi cadangan minyak fosil yang semakin menipis serta dapat menurunkan harga eceran BBM di daerah terpencil (Allorerung, 2006).

Titik nyala biodiesel minyak kelapa adalah 110°C (Wahyuningsih, 2010). Dengan nilai titik nyala demikian, biodiesel minyak kelapa dianggap aman baik dalam kemudahan penyimpanan dan penanganan. Dengan jumlah kadar air yang cukup rendah, maka biodiesel yang dihasilkan tidak akan terhidrolisis dan tidak menimbulkan korosif pada mesin diesel.

Dengan angka setana yang tinggi (65.94), menunjukkan bahwa biodiesel minyak kelapa dapat terbakar di temperatur relatif rendah yang berarti mudah terbakar di dalam silinder pembakaran mesin dan tidak terakumulasi (Prihandana et al., 2006). Angka iod biodiesel yang dihasilkan juga sangat kecil, hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar biodiesel disusun oleh asam lemak dengan rantai hidrokarbon jenuh. Menurut (Diaz dan Galindo, 2007), bahan bakar mesin diesel yang ideal adalah bahan bakar yang merupakan

rantai hidrokarbon jenuh. Biodiesel minyak kelapa memiliki angka asam yang sangat rendah, hal ini berarti biodiesel mengandung asam lemak bebas yang sedikit. Dengan demikian, biodiesel tersebut tidak bersifat korosif dan tidak membahayakan injektor mesin diesel.

Tabel 2.9 Karakteristik Biodiesel dari Minyak Kelapa

Test Parameter		Result	ASTM Limit	Units	Test Method (current revision)
Cloud point:	0.0 (32)	Report		°C (°F)	D 2500
CFPP ¹ :	-4	N/A		°C	D 6371
Free Glycerin:	0.025	0.020 max.		% Mass	D 6584
Total Glycerin:	0.065	0.240 max.		% Mass	D 6584
Monoglycerides ² :	0.130	N/A		% Mass	D 6584
Diglycerides ³ :	0.040	N/A		% Mass	D 6584
Triglycerides ⁴ :	0.000	N/A		% Mass	D 6584
Water & Sediment:	< 0.005	0.050 max.		% Volume	D 2709
Acid Number:	0.106	0.50 max.		mg KOH/g	D 664, Test Method A
Visual Inspection:	1	N/A		Haze	D 4176, Procedure 2
Relative Density at 60 °F:	0.8073	N/A		N/A	D 1298
Oxidative Stability (110 °C):	35.5	3 min.		hrs	EN 14110
Flashpoint (closed cup):	114.8	93 min.		°C	D 93
Moisture ⁵ :	0.034	N/A		% Mass	E 203
Cold Soak Filtration:	49	360		seconds	D 8751 Annex
Sulfur:	3.2	15		ppm	D 7039
Calcium:	<0.1	5 max.		ppm (ug/g)	EN 14538
Magnesium:	0.3	5 max.		ppm (ug/g)	EN 14538
Phosphorus:	<0.1	0.001 max.		% Mass	D 4951
Carbon Residue:	0.010	0.050 max.		% Mass	D 524
Sulfated Ash:	0.006	0.020 max.		% Mass	D 874
Kinematic Viscosity at 40 °C:	2.726	1.9-8.0		mm ² /sec.	D 445
Copper Corrosion (3 hrs at 50 °C):	1b	No. 3 max.		N/A	D 130

^{1,2,3,4,5} These are not ASTM D 6751 specification requirements.

Sumber: Shannon D. Sanford, 2009

Tabel 2.10 Komposisi Asam Lemak Biodiesel Dalam Minyak Kelapa

Fatty Acid Profile Analysis of Biodiesel				
Test Parameter	Name	Result	Units	Test Method
C8:0	Caprylic	6.3	%	AOCS Ce10-89
C10:0	Capric	6	%	AOCS Ce10-89
C12:0	Lauric	49.2	%	AOCS Ce10-89
C14:0	Myristic	18.5	%	AOCS Ce10-89
C15:0	Pentadecanoic		%	AOCS Ce10-89
C16:0	Palmitic	9.1	%	AOCS Ce10-89
C16:1	Palmitoleic		%	AOCS Ce10-89
C17:0	Margaric		%	AOCS Ce10-89
C17:1	Margaroleic		%	AOCS Ce10-89
C18:0	Stearic	2.7	%	AOCS Ce10-89
C18:1	Oleic	6.5	%	AOCS Ce10-89
C18:1-9c,12(OH)	Ricinoleic		%	AOCS Ce10-89
C18:2	Linoleic	1.7	%	AOCS Ce10-89
C18:3	Linolenic		%	AOCS Ce10-89
C18:3-9c,11t,13t	α -Eleostearic		%	AOCS Ce10-89
C20:0	Arachidic		%	AOCS Ce10-89
C20:1	Gadoleic		%	AOCS Ce10-89
C20:1-11c,14(OH)	Lesquerolic		%	AOCS Ce10-89
C20:2	Eicosadienoic		%	AOCS Ce10-89
C20:5	Timnodonic		%	AOCS Ce10-89
C22:0	Behenic		%	AOCS Ce10-89
C22:1	Erucic		%	AOCS Ce10-89
C24:0	Lignoceric		%	AOCS Ce10-89
C24:1	Nervonic		%	AOCS Ce10-89
UNKNOWN S			%	AOCS Ce10-89

Sumber: Shannon D. Sanford, 2009

2.3 Katalis

Katalis merupakan senyawa yang mampu meningkatkan laju reaksi tanpa adanya perubahan kimia yang permanen pada senyawa katalis tersebut. Katalis berperan dalam meningkatkan laju reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi. Katalis bekerja dengan membentuk senyawa antara (*intermediate compound*) pada zat-zat yang direaksikan. Katalis dapat berasal dari logam mulia contohnya Platinum, Palladium, Ruthenium, Rhodium, Aurum, baik dalam bentuk tunggal atau kombinasi dengan unsur lain. Keuntungan menggunakan katalis dari logam mulia yakni tingkat aktivitas dan selektifitas yang tinggi serta daya tahan yang baik sehingga jangka waktu pengantiannya lebih lama (Mukhlisin, 2010).

2.3.1. Rhodium

Rhodium merupakan logam mulia golongan 9 dengan nomor atom 45 yang dapat dimanfaatkan sebagai katalis karena memiliki aktivitas tinggi dalam hidrogenasi senyawa aromatik. Rhodium berwarna putih keperakan namun bila diletakkan di udara perlahan-lahan akan berubah menjadi resquioksida. Katalis ini juga memiliki aktivitas lebih tinggi dibanding katalis logam Palladium yang biasa dipergunakan dalam hidrogenasi olefin. Efek dari Rhodium (Rh) adalah dapat mencegah terjadinya pencampuran antara molekul

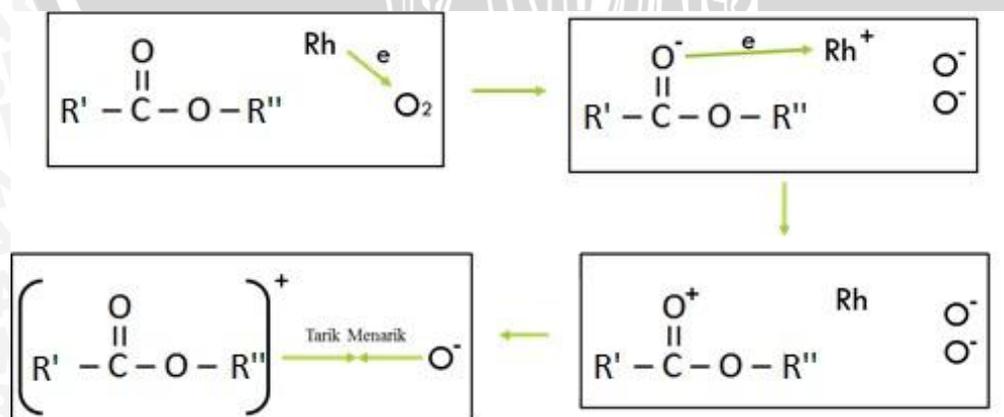
nitrogen dan oksigen. Logam ini memiliki titik cair yang tinggi dan bobot jenis yang lebih rendah dari platina.

Pada penelitian ini Rhodium dimanfaatkan sebagai katalis pembakaran droplet biodiesel minyak nabati yang bertujuan untuk mempercepat reaksi pembakaran. Biodiesel minyak nabati memiliki viskositas yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar diesel sehingga dalam reaksi pembakaran memerlukan energi aktivasi yang tinggi juga. Oleh karena itu salah satu cara untuk mempercepat reaksi pembakaran atau untuk menurunkan energi aktivasi dari biodiesel minyak nabati adalah dengan cara membuat molekul bermuatan. Katalis akan merangsang putusnya elektron yang mengikat atom-atom dalam molekul sehingga molekul tersebut pecah dan bermuatan (Wardana, 2008:8)

Rhodium mempunyai elektron valensi 1 dengan protonnya berjumlah 45. Hal ini membuat Rhodium tidak stabil dan cenderung untuk melepaskan elektron. Rhodium akan cenderung memberikan elektron ke atom lain yaitu oksigen yang mempunyai potensial positif sehingga oksigen kelebihan elektron dan bermuatan negatif. Rhodium akan kelebihan proton dan akan bermuatan positif karena Rhodium telah memberikan elektronnya ke oksigen.

Rhodium yang mengalami kelebihan proton dan kekurangan elektron akan menarik ikatan elektron pada gugus karboksil (COO^-) biodiesel minyak nabati sehingga ikatan rangkap dari karboksil yang mempunyai potensial negatif akan tertarik oleh Rhodium yang mempunyai potensial positif.

Gugus karboksil biodiesel minyak nabati akan kekurangan elektron dan bermuatan positif sementara oksigen kelebihan elektron dan bermuatan negatif maka biodiesel minyak nabati dan oksigen akan saling tarik menarik.



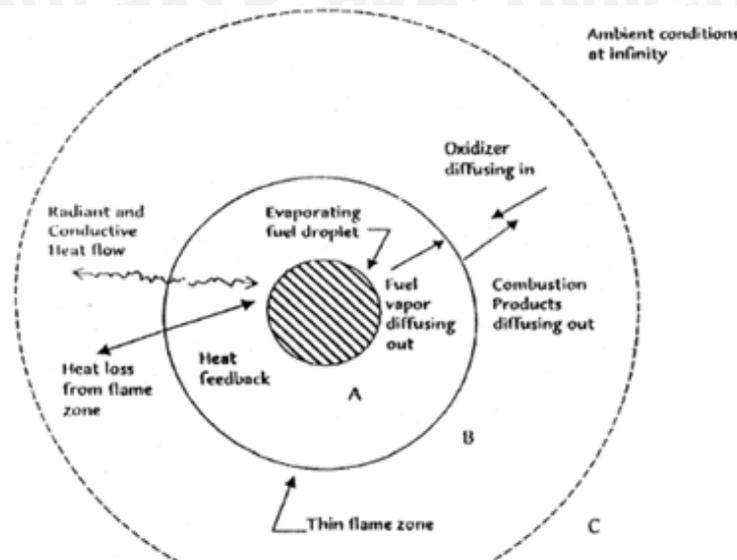
Gambar diatas menjelaskan mekanisme kerja dari Rhodium yang dimana membuat ikatan rangkap menjadi lebih lemah (Hudlicky, Milos 1984) sehingga rhodium akan menurunkan energi aktivasi dan mempercepat reaksi pembakaran dari biodiesel. Ikatan

rangkap mempunyai energi disosiasi yang tinggi maka dengan adanya Rhodium ikatan rangkap menjadi lebih lemah sehingga energi disosiasinya akan rendah dan energi aktivasinya pun akan ikut menurun. Apabila energi aktivasi turun maka karakteristik pembakarannya akan berubah, reaksinya berlangsung lebih cepat dan *ignition delay* semakin turun. Dimensi api meliputi tinggi dan lebarnya akan semakin turun juga dikarenakan molekulnya saling tarik menarik dan semakin tinggi tumbukan antar molekul. *Burning rate* akan tinggi dikarenakan semakin cepatnya pembakaran biodiesel minyak nabati.

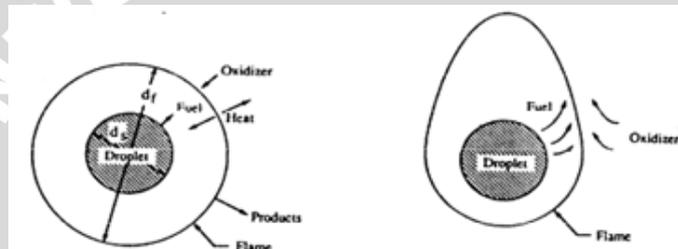
2.4 Pembakaran Droplet

Pembakaran pada bahan bakar cair secara langsung kurang efektif kecuali diubah terlebih dahulu menjadi bentuk kumpulan *droplet* yang disebut *spray*. Pembakaran *droplet* memiliki tujuan untuk mengetahui secara fisik proses apa yang terjadi saat bahan bakar *droplet* terbakar. Sehingga dapat diketahui karakteristik pembakaran dari susunan terkecil pada pembakaran *spray*.

Pembakaran droplet merupakan pembakaran difusi, hal ini dikarenakan pencampuran bahan bakar dengan oksidator terjadi saat droplet terbakar. Ketika droplet dipanaskan, maka akan terjadi evaporasi dimana uap bahan bakar akan berdifusi dengan oksidator menuju *flame front*. Sehingga api akan terbentuk pada jarak tertentu dari permukaan droplet (Gambar 2.1). Bentuk api akan dipengaruhi oleh kondisi gravitasi di sekitar droplet. Pada kondisi gravitasi yang rendah atau *microgravity*, api akan berbentuk lingkaran yang disebabkan oleh tidak adanya gaya apung. Namun pada keadaan gravitasi normal, api akan berbentuk memanjang keatas dikarenakan efek dari konveksi alami (Gambar 2.2).



Gambar 2.1 Model Api Difusi pada Pembakaran *Droplet*
 Sumber: Alam, 2013



Gambar 2.2 Model Nyala Api *Droplet*
 Sumber: Alam, 2013

Saat proses pembakaran, panas yang dihasilkan nyala api akan merambat keluar daerah *flame front* yang merupakan *heat loss*. Kemudian ada sebagian panas api yang merambat menuju permukaan droplet. Temperatur hasil pembakaran akan berpindah menuju permukaan droplet secara konveksi. Temperatur ini digunakan untuk memanaskan droplet dan digunakan untuk mengubah fase droplet cair menjadi gas. Menurut Kuo (2005:571) besarnya energi yang dibutuhkan untuk penguapan droplet dapat diketahui dengan persamaan:

$$Q = \Delta h_v + C_{hf}(T_s - T_0) \tag{2-1}$$

Keterangan:

Q = energi total penguapan (kj/kg)

C_{hf} = kalor jenis bahan bakar (kj/kg°C)

T_0 = temperatur awal *droplet* (°C)

T_s = temperatur permukaan *droplet* (°C)

Δh_v = kalor laten penguapan (kj/kg)

2.5 *Microexplosion*

Microexplosion menurut Zeng (2001) merupakan pecahnya cairan *droplet* karena proses gasifikasi internal yang cukup keras. Selain itu Mura (2011) mengatakan Perbedaan titik didih pada campuran bahan bakar menyebabkan perbedaan proses penguapan antara bahan bakar satu dengan yang lainnya. Hal ini menyebabkan bagian dari bahan bakar yang memiliki titik didih lebih rendah menguap terlebih dahulu di dalam *droplet* bahan bakar yang mempunyai titik didih lebih tinggi, sehingga saat tekanan gas di dalam *droplet* meningkat dan akhirnya *droplet* pecah.

2.6 Karakteristik Pembakaran

Karakteristik pembakaran yang dimaksud merupakan hal-hal yang diperhatikan pada proses pembakaran, yang nantinya akan saling dibandingkan antara karakteristik suatu bahan bakar dengan bahan bakar lain. Karakteristik pembakaran yang diperhatikan yaitu:

1. *Ignition delay*

Ignition delay merupakan waktu jeda antara bahan bakar saat dimasukkan dalam ruang bakar, hingga bahan bakar tersebut mulai terbakar (Siagian, 2013). Pada jeda waktu antara injeksi bahan bakar ke dalam ruang bakar dengan munculnya titik api, jika dianalisa lebih mendalam, maka bahan bakar akan mengalami proses kimia maupun fisika yang kompleks contohnya adalah atomisasi dan evaporasi bahan bakar (Raslavicius, 2010). Namun untuk pembakaran *droplet*, *ignition delay* merupakan waktu jeda antara bahan bakar mulai dipanaskan, hingga bahan bakar tersebut mulai terbakar atau muncul nyala api.

Ignition delay merupakan faktor penting yang perlu dipertimbangkan terutama pada bahan bakar diesel. Karena semakin lama waktu *ignition delay* maka bahan bakar akan semakin sulit untuk terbakar, sehingga akan mengakibatkan terjadi pembakaran yang lambat. Yang akan mengakibatkan rusaknya mesin, terutama dengan bagian yang berhubungan dengan piston dan ruang bakar, akan terjadi hentakan atau beban kejut yang berlebihan.

2. *Burning rate*

Untuk mendesain suatu sistem pembakaran, maka hal yang harus diperhatikan adalah *burning lifetime* karena waktu tinggal *droplet* bahan bakar harus lebih lama dari pada lama waktu *droplet* terbesar pada ruang bakar habis terbakar (Mishra, 2014). Sedangkan *burning rate* merupakan kecepatan dari bahan bakar terbakar hingga bahan bakar tersebut habis (Quintiere, 1997). Menurut Mishra (2014:34) untuk mendapatkan nilai *burning rate* melalui eksperimen dapat dihitung dengan persamaan D^2 , yaitu:

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

Keterangan:

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

D_0 = diameter *droplet* awal (mm)

K_c = *burning rate constant* (mm²/s)

t = *burning lifetime* (s)

3. Temperatur pembakaran

Temperatur pembakaran merupakan temperatur tertinggi yang diukur pada pusat *droplet* saat pembakaran terjadi. Temperatur pembakaran dipengaruhi oleh nilai kalor bahan bakar. Nilai kalor merupakan jumlah energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut.

4. Dimensi api

Dimensi api memiliki peran dalam menentukan secara kasat mata apakah pembakaran yang terjadi merupakan pembakaran dengan reaksi yang cepat atau lambat. Semakin cepat reaksi bahan bakar untuk terbakar, maka dimensi api akan semakin kecil dan sebaliknya, jika reaksi pembakaran terjadi dengan lambat, maka api akan cenderung semakin panjang dan lebar. Hal ini dikarenakan semakin lama reaksi pembakaran akan semakin lama pula waktu yang dibutuhkan oleh bahan bakar untuk beroksidasi dan terbakar.

5. Visualisasi Nyala Api

Diffusion combustion menghasilkan nyala api atau disebut *Diffusion flame*. *Diffusion Flame* merupakan reaksi bahan bakar dan oksigen tanpa pencampuran awal yang kurang baik. *Pre-mixed flame* adalah nyala api yang dihasilkan oleh reaksi bahan bakar dengan oksigenn yang telah melalui pencampuran awal yang baik. Nyala api, umumnya adalah paduan antara *diffusion flame* dan *pre-mixed flame*, karena ada bagian tertentu yang dimana bahan bakar dan udara tercampur dengan baik, dan pada bagian lainnya tidak tercampur dengan baik. Penentuan sebuah pembakaran cepat ataupun lambat dapat dilihat dari dimensi api yang terbentuk. Nyala api yang lebar dan memanjang, cenderung dikategorikan sebagai pembakaran yang berlangsung lambat, begitu pula sebaliknya. Hal ini karena lamanya reaksi pembakaran berbanding lurus dengan bahan bakar untuk teroksidasi hingga terbakar.

2.7 Hipotesis

Penambahan katalis rhodium pada minyak nabati akan menurunkan energi aktivasi, bahan bakar dapat menjadi lebih reaktif dan proses pembakaran menjadi lebih cepat sehingga *ignition delay* lebih singkat, *burning rate* lebih tinggi, *flame temperature* lebih tinggi.

