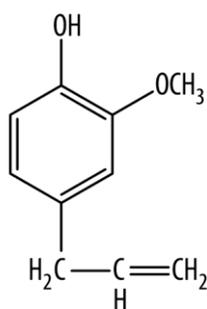


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya mengenai pengaruh penambahan minyak cengkeh sebagai zat bioaditif telah dilakukan oleh Kadarohman, *et al.* (2012). Hasil dari penelitian ini adalah penambahan minyak cengkeh sebagai zat bioaditif terhadap minyak solar dapat menaikkan efisiensi pembakaran. Hal ini dikarenakan minyak cengkeh memiliki komponen utama yaitu eugenol yang memiliki kandungan oksigen (eugenol memiliki kandungan 2 atom oksigen) dan struktur molekul yang dapat melemahkan ikatan van der Waals dari bahan bakar solar maupun ikatan hidrokarbon lainnya.

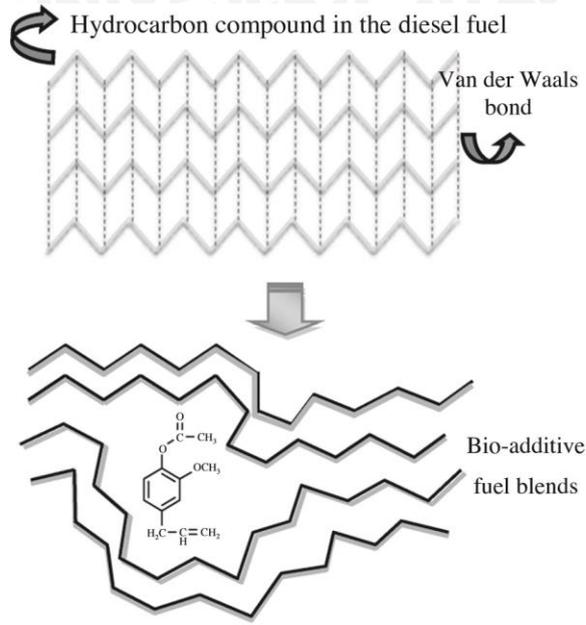


Gambar 2.1 Struktur Eugenol
Sumber : Kadarohman (2010, p.67)

Pencampuran minyak cengkeh terhadap bahan bakar berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Kadarohman, *et al.* (2012) menunjukkan bahwa pencampuran minyak cengkeh sebagai campuran dapat mengurangi *ignition delay* dari suatu bahan bakar. Hal tersebut dikarenakan reaksi kimia dari eugenol sebagai komponen utama minyak cengkeh menghasilkan berat molekul komponen yang lebih rendah. Berat molekul yang lebih rendah mengakibatkan bahan bakar lebih mudah terbakar yang berkontribusi kepada berkurangnya *ignition delay*.

Komponen terpena yang terdapat didalam minyak cengkeh saat dicampurkan sebagai campuran kedalam bahan bakar bertugas dalam meningkatkan pencampuran antara minyak campuran dan bahan bakar dengan udara menjadi semakin baik. Peningkatan pada proses pencampuran ini membuat pembakaran berlangsung secara terus menerus sehingga menaikkan *burning rate* dari bahan bakar (Kadarohman, 2012)





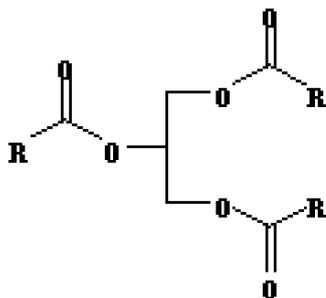
Gambar 2.2 Model dari struktur bahan bakar (diesel) dengan inklusi bioaditif
 Sumber : Kadarohman (2012, p.78)

Penelitian sebelumnya juga pernah dilakukan Sutrisno (2015), dari penelitian ini didapatkan bahwa penambahan minyak cengkeh kedalam bahan bakar bensin sebanyak 3% mengurangi pemakaian bahan bakar dengan efisiensi tertinggi.

2.2 Minyak Nabati

Minyak Nabati adalah cairan *viscous* yang diperoleh dengan proses ekstraksi dari tumbuh-tumbuhan. Komponen utama dari minyak nabati adalah asam lemak trigliserida, dengan komponen lainnya adalah asam lemak bebas (Free Fatty Acid atau sering disingkat FFA), digliserida, monogliserida, mineral, vitamin, dan fosfolipid.

Trigliserida merupakan komponen pembentuk minyak nabati yang paling banyak, yakni sekitar 95% dan 5% sisanya merupakan komponen lain (O'Brien, 1998). Komponen ini merupakan komponen yang terlibat langsung dalam reaksi pembentukan ester alkil asam lemak. Struktur molekul dari trigliserida merupakan triester dari gliserol dengan asam lemak, struktur molekul trigliserida dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 2.3 Struktur molekul trigliserida
 Sumber : Soerawidjaja, (2006,p. 68)

Komponen lainnya dari minyak nabati adalah *Free Fatty Acid* (FFA) atau asam lemak bebas. Asam lemak bebas merupakan asam lemak yang gugus karboksilatnya bebas yang artinya gugusnya tidak terikat dalam bentuk ester, garam maupun komponen lain.

Asam lemak yang terdapat pada minyak nabati berbeda-beda menurut sumber darimana asam lemak tersebut diambil. Perbedaan kandungan asam lemak terdapat pada konsentrasi asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh dan dari presentase kandungan lemak didalamnya. Jenis-jenis asam lemak dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 2.1 *Jenis asam lemak yang terkandung dalam minyak nabati*

Jenis Asam Lemak	Nama Sistematis	Struktur	Formula
Asam laurat	Dodekanoat	12:00	C ₁₂ H ₂₄ O ₂
Asam Miristat	Tetradekanoat	14:0	C ₁₄ H ₂₈ O ₂
Asam Palmitat	Heksadekanoat	16:0	C ₁₆ H ₃₂ O ₂
Asam Stearat	Oktadekanoat	18:0	C ₁₈ H ₃₆ O ₂
Asam Arakidat	Eikosanoat	20:0	C ₂₀ H ₄₀ O ₂
Asam Behenat	Dokosanoat	22:0	C ₂₂ H ₄₄ O ₂
Asam Lignoserat	Tetrakosanoat	24:0	C ₂₄ H ₄₈ O ₂
Asam Oleat	cis-9-Oktadekanoat	18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂
Asam Linoleat	cis-9-,cis-12-Oktadekatrienoat	18:2	C ₁₈ H ₃₂ O ₂
Asam Linolenat	cis-9-,cis-12,cis-15-Oktadekatrienoat	18:3	C ₁₈ H ₃₀ O ₂
Asam Erukak	cis-13-Dokosenoat	22:1	C ₂₂ H ₄₂ O ₂

Sumber : Wijayanti, 2008

Sifat karakteristik dari minyak nabati yang dianggap lebih penting dari sifat karakteristik lainnya adalah viskositasnya. Viskositas dianggap karakteristik yang lebih penting oleh karena efek yang dapat ditimbulkan terlihat dengan cepat apabila nilai viskositasnya sebagai sebuah parameter tidak sesuai.

Nilai viskositas yang tinggi dari minyak nabati akan berpengaruh terhadap pembakaran. Pembakaran yang dihasilkan menjadi tidak sempurna (*incomplete combustion*) dan dapat membentuk endapan didalam ruang pembakaran. Apabila digunakan untuk jangka waktu pemakaian yang lama akan menimbulkan kerusakan berupa keausan pada mesin (Giuseppe, *et al.* 2007)

Viskositas dari minyak nabati sendiri dipengaruhi oleh tingkat kejenuhan dan panjang rantai dari asam lemak bebas (FFA). Nilai Viskositas dari minyak nabati cenderung mengalami penurunan apabila rantai hidrokarbonnya semakin panjang menurut tingkat polimerisasinya.

Minyak nabati yang digunakan haruslah diproses terlebih dahulu dengan proses *degumming* untuk menghilangkan kotoran maupun getah yang terkandung didalam minyak.

2.2.1 Minyak Jarak

Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L) merupakan tanaman yang tumbuh di lingkungan tropis. Tanaman Jarak Pagar dapat tumbuh sampai dengan ketinggian 15 kaki atau 4,57 meter. Memiliki ciri batang bawahnya yang berwarna keputihan dan dahan serta rantingnya memiliki warna kemerahan.

Minyak Jarak dapat diperoleh dari tanaman pohon jarak dengan cara pengepresan atau ekstraksi pelarut dari biji tanaman jarak, minyak ini dalam dunia farmasi sering disebut sebagai minyak kastoli. Minyak yang memiliki karakteristik khas secara fisik ini pada temperatur ruangan akan berfasa cair dan tetap stabil pada suhu rendah maupun tinggi.

Minyak Jarak dapat dibedakan dengan trigliserida lainnya karena massa jenis, kekentalan dan kelarutannya dalam alkohol yang tinggi. Minyak jarak merupakan trigliserida dari berbagai asam lemak yang memiliki dari 87% risinoleat, 7% Oleat, 3% linoleate, 2% palmitate, 1% stearate serta sejumlah kecil kandungan dihidrosistearat (Marlina, 2004). Asam yang paling banyak terkandung dalam minyak jarak adalah Asam resinoleat yang memiliki struktur molekul asam cis-12-hidrosioktadeka-9-enoat ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$) dengan satu gugus fungsi hidroksi. Minyak Jarak memiliki karakteristik dan sifat seperti sebagai berikut,

Tabel 2.2 *Karakteristik minyak jarak*

Karakteristik Minyak Jarak	
Kerapatan (<i>Density</i>), kg/m ³	0,9157
Bilangan penyabunan, mg KOH/gr	96,7
Bilangan iodin, gr/100 gr	108,5
Indeks bias, 25°C	1,4655
<i>Viscosity index</i>	0,05
Viskositas (<i>viscosity</i>), 100°C, cSt	7,95
Viskositas (<i>viscosity</i>), 40°C, cSt	34,17
Titik tuang (<i>pour point</i>) °C	0
Titik nyala (<i>flash point</i>) °C	270

Sumber : Sudrajat, R. (2007,p.146)

Minyak Jarak juga digunakan sebagai pengganti bahan bakar untuk motor bakar internal seperti mesin diesel. Penggunaan minyak jarak (minyak nabati) sebagai bahan bakar pengganti mesin internal digunakan dengan pertimbangan bahwa minyak nabati merupakan minyak yang ramah lingkungan dan mudah didapatkan, mudah terurai dan merupakan sumber energi yang terbarukan. Namun, penggunaan minyak jarak sebagai pengganti bahan bakar harus melalui proses penambahan bahan lain sebagai solusi untuk viskositas minyak yang tinggi, ataupun dengan menggunakan katalis yang dicampurkan bersama-sama dengan minyak Jarak.

2.2.2 Minyak Jagung

Minyak jagung adalah minyak nabati yang didapat dari proses ekstraksi biji jagung, minyak jagung memiliki warna kekuningan dan bersifat setengah kering maksudnya adalah minyak jagung memiliki daya mengering yang lambat. Minyak jagung dipilih sebagai salah satu minyak nabati yang digunakan sebagai bahan bakar alternatif karena minyak jagung relatif murah dan mudah didapatkan, khususnya di Indonesia dimana masyarakatnya banyak yang mengkonsumsi jagung.

Sebelum digunakan minyak jagung terlebih dahulu diproses dengan proses *degumming* dimana proses *degumming* ini berguna untuk menghilangkan kotoran yang terdapat pada minyak jagung dan menetralkan asam lemak bebas (Free Fatty Acid / FFA).

Komponen penyusun minyak jagung yang paling banyak adalah trigliserida, trigliserida sendiri terdiri dari asam lemak yang berikatan dengan gliserol.

Minyak jagung terdiri dari asam lemak jenuh dan tidak jenuh, komposisi asam lemak pada minyak jagung dapat dilihat pada gambar tabel berikut ini

Tabel 2.3 *Komponen asam lemak minyak jagung*

<i>Fatty Acid Composition</i>	<i>No. of C atoms : No. of double bonds</i>	<i>% in corn oil</i>
Palmitic acid	C16:0	11
Stearic acid	C18:0	2
Oleic acid	C18:1	28
Linoleic acid	C18:2	58
Linolenic acid	C18:3	1

Sumber : Savant (2012, p.17)

Asam lemak stearat dan palmitat merupakan asam lemak jenuh sedangkan asam lemak linoleat, linolenic dan oleat merupakan asam lemak tidak jenuh (Savant, 2012)

Minyak jagung sendiri merupakan minyak yang memiliki potensi sebagai bahan bakar alternatif, namun masih memiliki kendala akibat dari karakteristik minyak jagung sendiri, beberapa kendala itu seperti misalnya kemampuan menguap minyak jagung yang relatif lambat hal ini dikarenakan minyak jagung merupakan minyak berjenis setengah kering seperti yang telah disebutkan sebelumnya, selain itu minyak jagung juga memiliki viskositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar cair yang biasa digunakan seperti bensin ataupun solar, karena nilai viskositasnya yang tinggi inilah minyak jagung akan memiliki kendala dalam proses atomisasi saat dikabutkan/diinjeksikan, yang berakibat pada lambatnya proses pembakaran. Karakteristik dari minyak jagung sendiri dapat dilihat pada tabel dibawah ini,

Tabel 2.4 *Karakteristik minyak jagung*

Karakterisasi kimia	(%)	Karakterisasi fisik	
Trigliserida	98,8	Indeks refraksi	1,47
Kejenuhan:		Angka lod	125-128
- Saturates (S)	12,9	Titik padat	-20 s/d -10
- Mono-unsaturates	24,8	Titik cair	-16 s/d -11
- Polyunsaturates (P)	61,1	<i>Smoke point</i>	221 s/d 260
- Rasio P/S	4,8	<i>Flash point</i>	302 s/d 338
Profil asam lemak trigliserida		<i>Fire point</i>	310 s/d 371
- Palmitat (16:0)	11,1-12,8	Spesific gravity	0,918-0,925
- Stearat (18:0)	1,4-2,2	Berat jenis (kg/l)	0,92
- Oleat(18:1)	22,6-36,1	Viskositas (cp)	15,6
- Linoleat(18:2)	49,0-61,9	Warna	-
- Linolenat(18:3)	0,4-1,6	- Kuning	20-35
- Arasidat(20:0)	0,0-0,2	- Merah	2,5-5,0
Fosfolipid	0,04	Panas pembakaran	-
Asam lemak bebas (% oleat)	0,02-0,03	(cal/g)	9,42
Waxes	0	-	-
Kolesterol	0	-	-
Fitosterol	1,1	-	-
Tokoferol	0,09	-	-
karotenoid	td	-	-

Sumber : Suarni (2005, p.391)

Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk memperbaiki sifat dan karakteristik minyak jagung tersebut adalah dengan mencampurkan minyak jagung dengan komponen lain.

2.2.3 Minyak Kelapa

Minyak kelapa merupakan minyak yang didapat dari proses penyulingan dari buah kelapa segar, penyulingan ini berakibat kandungan esensial dari buah kelapa tersebut tetap utuh, salah satunya adalah kandungan asam lemaknya.

Minyak kelapa berpotensi menjadi salah satu bahan bakar alternatif karena mudah didapatkan dan mudah untuk dibuat namun memiliki kekurangan pada harganya yang relatif mahal jika dibandingkan dengan bahan bakar solar, namun demikian minyak kelapa memiliki emisi gas buang yang rendah sehingga lebih ramah lingkungan (Kalam *et al.* 2003)

Di negara-negara Asia Tenggara minyak kelapa menjadi fokus utama dari pengembangan dan pembuatan menjadi bahan bakar alternatif, salah satunya adalah dalam pembuatan biodiesel (Kinoshita *et al* 2006). Di Indonesia sendiri minyak kelapa merupakan bahan yang mudah didapatkan karena tersedia di pasar dan memiliki harga

yang terjangkau, karakteristik minyak kelapa sendiri dapat dilihat pada gambar berikut ini.

Tabel 2.5 *Properties minyak kelapa*

Jenis Minyak (<i>Kinds of Oils</i>)	Viskositas (<i>Viscosity</i>) 40°C cSt	Viskositas (<i>Viscosity</i>) 100°C cSt	Indeks Viskositas (<i>Viscosity</i> <i>index</i>)	Titik nyala (<i>Flash</i> <i>Point</i>) °C
Minyak Kelapa (<i>coco oil</i>)	27,7	6,1	1,75	150

Sumber : Sudrajat (2007, p.148)

Tabel 2.6 *Komposisi asam lemak minyak kelapa*

Komposisi Asam Lemak Minyak Kelapa (Persen berat)	
jumlah karbon : jumlah ikatan ganda	
Lauric Acid (12 : 0)	47,0 %
Myristic Acid (14 : 0)	18,0 %
Palmitic Acid (16 : 0)	9,0 %
Stearic Acid (18 : 0)	3,0 %
Oleic Acid (18 : 1)	7,0 %
Linoleic Acid (18 : 2)	2,0 %

Sumber : Sudrajat (2007, p.148)

Minyak kelapa sendiri merupakan minyak dengan karakteristik viskositas yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan solar, hal ini tentu mengakibatkan minyak kelapa sulit untuk berubah fase menjadi gas pada saat proses pengkabutan atau yang lebih dikenal dengan proses atomisasi.

2.2.4 Minyak Biji Bunga Matahari

Minyak biji bunga matahari adalah minyak nabati yang dihasilkan dari biji bunga matahari yang berasal dari tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L.*), minyak ini merupakan minyak non volatile (susah menguap) yang diambil dengan proses pengkompresan biji bunga matahari

Budidaya bunga matahari dipisahkan menurut kegunaannya yaitu kelompok penghasil minyak, kelompok pakan ternak, kelompok tanaman hias, dan kelompok penghasil kuaci.

Minyak biji bunga matahari dewasa ini sering digunakan sebagai minyak untuk menggoreng dan sebagai bahan dasar dari bahan baku kosmetik, untuk memenuhi kebutuhan energi dewasa ini minyak dari biji bunga matahari dapat juga dirubah menjadi biodiesel

Minyak biji bunga matahari sendiri adalah minyak nabati dengan komponen utama trigliserida dan dengan kandungan asam lemak yang dominan adalah asam oleat dan asam linoleat yang merupakan asam tidak jenuh dan dengan kandungan asam jenuh asam palmitat dan asam stearate

Komposisi asam lemak dan karakteristik minyak biji bunga matahari dapat dilihat pada tabel berikut ini

Tabel 2.7 *Komposisi asam lemak minyak biji bunga matahari*

Komposisi Asam Lemak Minyak Biji Bunga Matahari (persen berat)	
Jumlah karbon : jumlah ikatan ganda	
Palmitic Acid (16 : 0)	6,7 %
Stearic Acid (18 : 0)	3,7 %
Oleic Acid (18 : 1)	19,0 %
Linoleic Acid (18 : 2)	69,9 %
Linoleic Acid (18 : 3)	0,7 %

Sumber : Sudrajat. (2007, p.147)

Tabel 2.8 *Karakteristik minyak biji bunga matahari*

Karakteristik Minyak Biji Bunga Matahari	
Viscosity, 40°C cSt	39,9
Viscosity, 100°C cSt	8,6
Indeks viskositas (<i>viscosity index</i>)	206
Titik tuang (<i>pour point</i>)	-12
Titik nyala (<i>flash point</i>)	252

Sumber : Sudrajat (2007, p.147)

Tabel 2.9 Karakteristik kimia minyak biji bunga matahari

Karakteristik Fisik Minyak Biji Bunga Matahari	
Free Fatty Acid (FFA)	1,35
Bilangan penyabunan	188-194
Bilangan iodin	130-144
Moisture	0,2
Impuritis	0,05

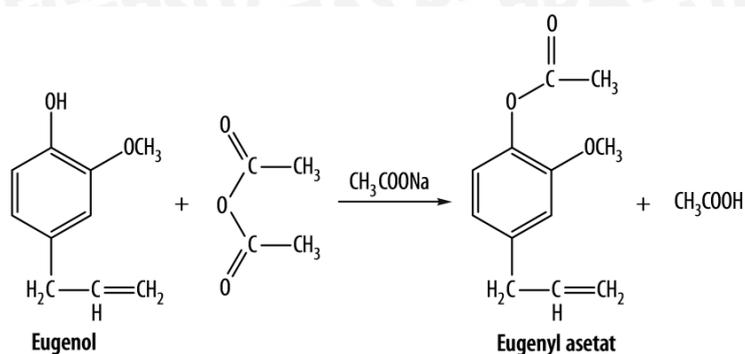
Sumber : Bailey's (1976, p.40)

2.2.5 Minyak Cengkeh

Minyak Cengkeh (*Eugenia caryophyllata* Tumberg) adalah salah satu jenis minyak atsiri. Minyak cengkeh didapatkan dengan metode destilasi uap dari buah maupun daun cengkeh yang telah gugur. Buah cengkeh mengandung eugenol sebesar 80,94% berbeda dengan daun cengkeh yang mengandung eugenol 82,13 % (Agusta, 2000), minyak atsiri sendiri dapat diperoleh dengan menggunakan metode destilasi maupun ekstraksi dari daun dan buah cengkeh.

Senyawa yang terdapat pada minyak cengkeh terbagi menjadi dua kelompok yakni senyawa fenolat dan eugenol serta senyawa nonfenolat (Sastrohamidjojo, 2004)

Komponen utama dalam minyak cengkeh yaitu eugenol memiliki struktur molekul yang tebal dan memiliki dua atom oksigen sehingga penambahan minyak cengkeh (eugenol) kedalam bahan bakar dapat meningkatkan proses pembakaran. Eugenol sendiri dapat mengalami proses esterifikasi menjadi eugenyl asetat dimana struktur molekul yang dihasilkan lebih tebal dan mengandung lebih banyak oksigen yang berpengaruh terhadap semakin optimalnya proses pembakaran bahan bakar apabila eugenyl asetat ini ditambahkan kedalam bahan bakar.



Gambar 2.4 Reaksi esterifikasi dari Eugenol membentuk Eugenyl asetat
 Sumber : Kadarohman (2010, p.67)

Berikut ini adalah tabel karakteristik minyak cengkeh

Tabel 2.10 *Karakteristik fisik minyak cengkeh*

Karakteristik Fisik Minyak Cengkeh	
Berat Jenis	1,0651
Indeks Bias	1,5410 (20°C)
Titik Didih	253°C
Flash Point	110°C
Kelarutan dalam alcohol	1:5

Sumber : Ketaren S (1986, p.24)

Penambahan Minyak cengkeh kedalam bahan bakar sebagai campuran tentu mempengaruhi karakteristik dari bahan bakar tersebut. Penambahan minyak cengkeh kedalam bahan bakar diesel misalnya, membuat campuran bahan bakar memiliki nilai *specific gravity* yang lebih rendah dan nilai *API Gravity* meningkat. Semakin rendah nilai *specific gravity* maka semakin tinggi nilai kalor bahan bakarnya. Penambahan minyak cengkeh kedalam bahan bakar juga dapat memperbaiki nilai viskositas atau kekentalan dari bahan bakar tersebut. Selain itu penambahan minyak cengkeh juga dapat memperkecil pemakaian bahan bakar (*fuel consumption*) dan mengurangi polusi dari hasil pembakaran bahan bakar (Butkus, 2007)

2.3 Pembakaran

Pembakaran adalah suatu proses reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen, yang menghasilkan produk energi panas dan cahaya. Pembakaran biasanya sering diasumsikan sebagai pembakaran sempurna (*complete combustion*)

Pembakaran merupakan suatu proses perubahan energi kimia menjadi energi panas, untuk merubah energi kimia menjadi energi panas dibutuhkan adanya energi aktivasi (biasanya berupa energi panas) energi aktivasi ini berguna untuk melepaskan ikatan antara molekul bahan bakar dengan oksigen.

Proses pembakaran dikatakan sempurna (*complete combustion*) apabila seluruh atom karbon didalam bahan bakar terbakar dan menjadi CO_2 , seluruh atom hidrogen terbakar menjadi H_2O dan sulfur dikatakan (bila terdapat didalam bahan bakar) terbakar menjadi SO_2 . Sebaliknya, pembakaran tidak sempurna (*incomplete combustion*) apabila pada hasil/produk pembakaran terdapat komponen lain seperti C, H_2 , CO atau OH.

Oksigen adalah komponen penting didalam pembakaran, kekurangan oksigen dalam pembakaran merupakan faktor penyebab pembakaran yang terjadi tidak sempurna (*incomplete combustion*). Kelebihan oksigen didalam proses pembakaran nyatanya menjadi faktor pembakaran tersebut tidak sempurna.

Atom oksigen didalam pembakaran cenderung lebih mudah tertarik dengan atom hidrogen bila dibandingkan dengan atom karbon, oleh karena itulah hidrogen biasanya terbakar (bereaksi) seluruhnya namun tidak dengan atom karbon sehingga pada produk pembakaran biasanya terdapat CO maupun atom karbon C yang tidak berikatan.

Kandungan udara minimal untuk memperoleh pembakaran sempurna sering disebut sebagai udara stoikiometri atau udara teoritis, yang dimaksud dengan udara teoritis adalah saat bahan bakar terbakar seluruhnya dengan udara teoritis tidak ada oksigen bebas yang akan dihasilkan pada gas hasil pembakaran. Didalam pembakaran aktual, biasanya udara yang bereaksi dengan bahan bakar memiliki kandungan berlebih (*excess air*) dari udara teoritis, hal ini berfungsi sebagai usaha peningkatan pembakaran sempurna maupun untuk menjaga temperature dari ruang bakar (pada motor bakar internal)

Pembakaran dibagi menjadi dua secara umum yaitu pembakaran premixed dan pembakaran difusi

a. Pembakaran *premixed* adalah pembakaran yang proses pencampuran bahan bakar dan udara terjadi secara molekular (pencampuran terjadi antar molekul) yakni sebelum

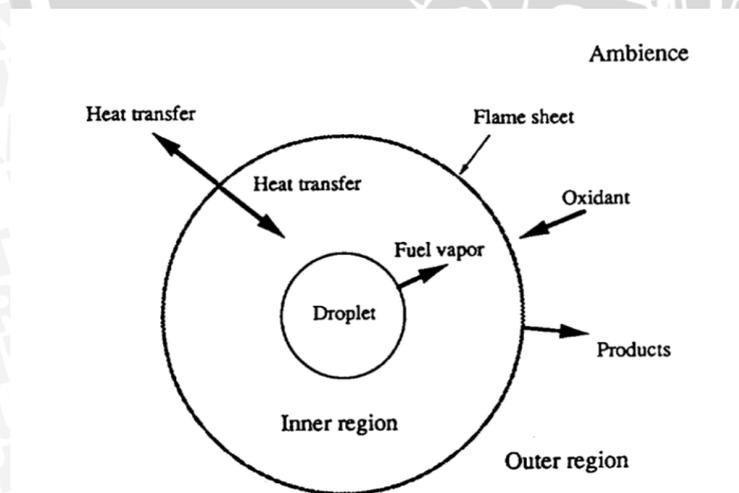
terjadinya proses pembakaran, contoh dari pembakaran *premixed* adalah pada mesin pembakaran internal dimana pada mesin pembakaran ini udara dan bahan bakar dicampur terlebih dahulu sebelum akhirnya dibakar.

- b. Pembakaran difusi, adalah pembakaran yang pencampuran bahan bakar dan oksigen sebagai oksidator tidak terjadi secara molekular melainkan terjadi pada permukaan api itu sendiri, dimana proses pencampuran ini terjadi secara alami melalui proses difusi/ proses pembakaran (Wardana, 2008)

2.3.1 Pembakaran *Droplet*

Proses pembakaran dari bahan bakar cair yang terjadi pada ruang bakar adalah dalam bentuk *droplet* atau butiran kecil, proses pembentukan ini sering disebut sebagai proses pengkabutan atau lebih dikenal dengan proses atomisasi. Tujuan dari proses atomisasi ini tentunya agar luas bidang kontak dari bahan bakar dengan udara sebagai oksidator semakin banyak, sehingga diharapkan pembakaran menjadi lebih optimal.

Fenomena pembakaran droplet dijelaskan dengan asumsi keadaan stagnan dan tidak ada gravitasi (tidak adanya gaya apung) sehingga api akan berbentuk bulat (spherical) disekitar droplet dengan jarak tertentu, skematik dari pembakaran droplet sendiri dapat dilihat seperti pada gambar berikut ini



Gambar 2.5 Skematik pembakaran droplet
Sumber : Yang (1993, p.164)

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa oksidator dalam hal ini oksigen dan uap dari bahan bakar terdifusi secara radial kedalam dan keluar droplet secara berkesinambungan. Pada batas permukaan api, uap bahan bakar dengan oksidator

bereaksi dengan reaksi stoikiometri dan berlangsung cepat sehingga menghasilkan lapisan api dengan profil tipis (*flame sheet*), pada lapisan inilah kandungan dari oksidator dan uap bahan bakar diasumsikan tidak ada atau dengan kata lain tidak terdapat komponen oksidator di bagian dalam dari lapisan api dan sebaliknya, atau dengan kata lain tidak ada oksidator maupun uap bahan bakar cair yang dapat menembus lapisan api yang terbentuk.

Panas yang terbentuk dari reaksi pembakaran berpindah menuju keluar (ke lingkungan) dan sebagian lagi berpindah menuju droplet, panas yang berpindah ke droplet ini berfungsi sebagai energi aktivasi agar bahan bakar cair yang berbentuk droplet dapat menguap kembali.

2.4 Karakteristik Pembakaran Droplet

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:

a. *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 (Raslavicus, 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.

b. *Burning rate*

Untuk mendesain suatu sistem pembakaran, maka hal yang harus diperhatikan adalah *burning lifetime* karena waktu tinggal *droplet* bahan bakar harus lebih lama daripada 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). Untuk mendapatkan nilai *burning rate* melalui eksperimen dapat dihitung dengan persamaan D^2 , yaitu:

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

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 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.

d. 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.

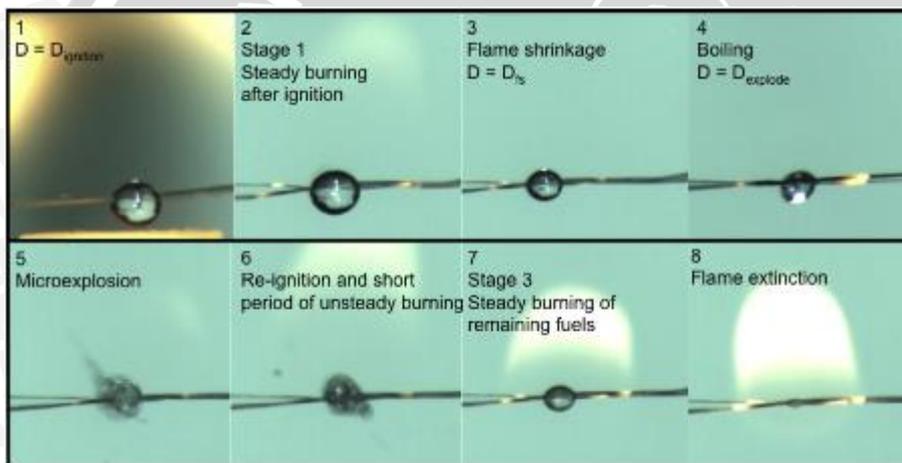
2.5 *Microexplosion*

Microexplosion adalah fenomena dimana bahan bakar cair yang telah berbentuk droplet mengalami ledakan dalam skala kecil yang diakibatkan oleh adanya perbedaan titik didih (*boiling point*) dari campuran bahan bakar, *microexplosion* hampir selalu terjadi pada campuran bahan bakar dengan titik didih (*boiling point*) yang berbeda.

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*

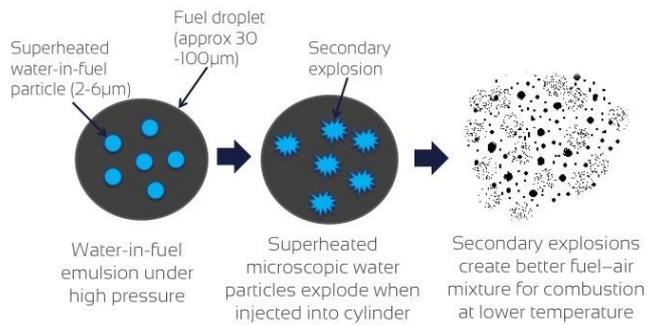
(Lasheras *et al.*) selain itu komposisi campuran juga dapat menjadi faktor terjadinya *microexplosion*, *microexplosion* dapat terjadi pada campuran bahan bakar *droplet* karena adanya kemungkinan udara yang masuk kedalam *droplet* pada saat pembentukan *droplet* (Wang, *et al.* 2012)

Microexplosion terjadi dalam tiga tahap, pada tahap pertama terjadi reaksi yang berlangsung konstan dari komponen dengan kemampuan penguapan yang lebih cepat diikuti melemahnya nyala api dalam waktu yang singkat, serta ditandai dengan adanya komponen yang memiliki kemampuan penguapan lebih tinggi yang mendominasi permukaan *droplet*. Pada tahap akhir seiring dengan terus meningkatnya suhu mendekati titik nyala api dari komponen yang lebih *volatil* terjadilah pembakaran dari komponen yang lebih *volatil*, yang menyebabkan *microexplosion* diikuti pembakaran dari bahan bakar yang tersisa.



Gambar 2.6 Proses tahapan *microexplosion* yang terjadi pada bahan bakar campuran
Sumber : Hoxie (2013, p.24)

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 2.7 Skema tahapan *microexplosion*

Sumber: Blue Ocean Solutions Pte Ltd, 2015

2.6 Hipotesis

Penambahan Minyak Cengkeh sebanyak 3 % sebagai campuran kedalam bahan bakar minyak nabati yaitu minyak jagung, minyak jarak, minyak kelapa, dan minyak biji bunga matahari pada pembakaran *droplet* akan mengurangi *ignition delay*, menaikkan *burning rate*, dan menaikkan temperatur pembakaran serta mempengaruhi visualisasi nyala api. Selain itu penambahan minyak cengkeh akan menimbulkan *microexplosion* pada pembakaran *droplet*.

