

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Siswani (2012). Penelitian tersebut bertujuan memperhatikan karakteristik biodiesel yang dihasilkan dari minyak jelantah. Parameter yang diperhatikan antara lain adalah densitas pada suhu 60°F, viskositas pada suhu 40°C, titik tuang, titik nyala, dan kalor pembakaran. Berikut ini adalah analisis parameter biodiesel yang diteliti, terdapat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Data densitas, viskositas, titik tuang, titik nyala, dan kalor pembakaran biodiesel hasil percobaan

Analisis Parameter Biodiesel				
Biodiesel	Densitas pada 60°F (kg/m ³)	Viskositas pada 40°C (mm ² /s)	Kalor Pembakaran (Kalori/gram)	<i>Flash Point</i> (°C)
Bp	888,800	10,48	9889,640	188,5

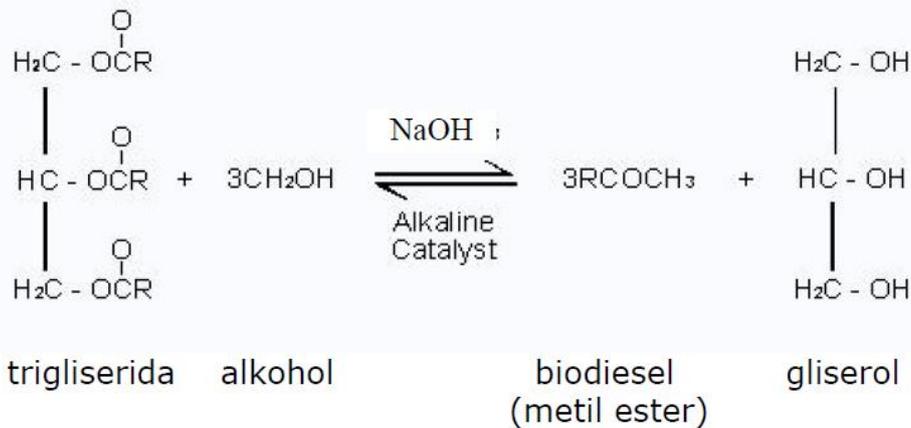
Sumber: Siswani, 2012

Berdasarkan pengujian pada tabel 2.1 yang dilakukan dengan metode ASTM D 93 diperoleh nilai titik nyala untuk biodiesel Bp (minyak jelantah) adalah 188,5°C. ASTM D93 merupakan sebuah standar pengetesan untuk mengetahui nilai *flash point*. *Sample* diletakkan pada bejana tertutup. Setiap kenaikan suhu 1-1,6 °C diberikan percikan api pada ruang kosong di dalam bejana. Apabila *sample* terbakar, suhu dicatat sebagai *flash point*.

Lalu berdasarkan SNI menetapkan nilai titik nyala minimal 100°C, sehingga biodiesel yang dihasilkan telah memenuhi SNI (Siswani, 2012). Sebagai perbandingan, titik nyala yang terjadi pada *crude palm oil* adalah 314°C (Shahidi, 2005).

Sedangkan Kadarohman (2009) menyatakan bahwa minyak atsiri memiliki ketersediaan oksigen yang cukup besar. Bertambahnya kandungan oksigen di dalam bahan bakar dapat meningkatkan *cetane number* (Song, 2001). Teori menunjukkan bahwa semakin tinggi angka *cetane number*, maka akan mempercepat *ignition delay*.

2.2 Biodiesel Minyak Nabati



Gambar 2.1 Reaksi kimia pada proses pembuatan biodiesel

Sumber : Haryanto, 2002

Ide penggunaan minyak nabati sebagai pengganti bahan bakar diesel didemonstrasikan pertama kalinya oleh Rudolph Diesel (\pm tahun 1900). Penelitian di bidang ini terus berkembang dengan memanfaatkan beragam lemak nabati dan hewani untuk mendapatkan bahan bakar hayati (*biofuel*) dan dapat diperbarui (*renewable*). Perkembangan ini mencapai puncaknya di pertengahan tahun 80-an dengan ditemukannya alkil ester asam lemak yang memiliki karakteristik hampir sama dengan minyak diesel fosil yang dikenal dengan biodiesel. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, para ahli telah menyimpulkan bahwa bahan bakar biodiesel memiliki sifat fisika dan kimia yang hampir sama dengan bahan bakar diesel konvensional dan juga memiliki nilai energi yang hampir setara tanpa melakukan modifikasi pada mesin diesel (Haryanto, 2002). Biodiesel didapatkan dari minyak nabati dengan mengonversi trigliserida menjadi metil ester asam lemak. Proses konversi tersebut dilakukan menggunakan katalis pada proses metanolisis/esterifikasi. Seperti pada gambar 2.1, dapat dilihat bahwa senyawa trigliserida minyak nabati direaksikan dengan alkohol menggunakan katalis basa NaOH menghasilkan metil ester & gliserol.

Tabel 2.2 Sifat biodiesel secara umum

Parameter	Nilai
Densitas (g/cm ³)	Min. 0,85
Kalor Pembakaran (kal/gr)	Min. 8760

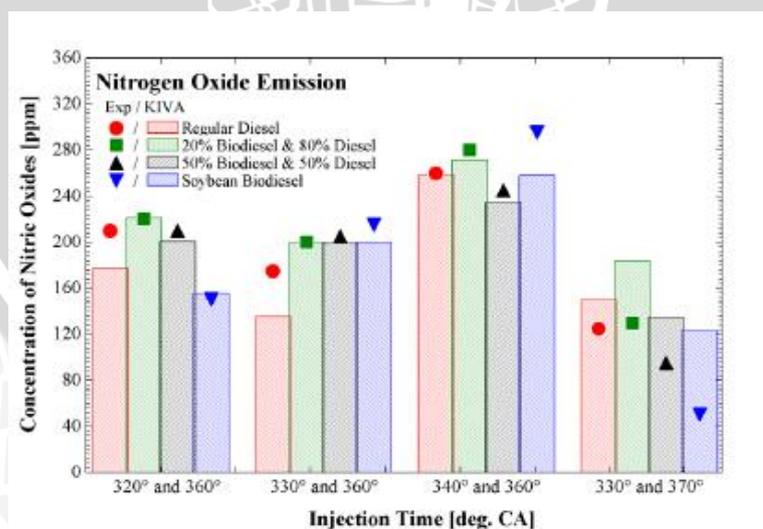
Sumber: Legowo *et al.*, 2002

Tabel 2.3 Standar mutu biodiesel (ASTM D6751-02)

Properti	Nilai	Satuan
Flash Point	Min. 100	°C
Viskositas	Min. 1,9	mm ² /s
Sulfur	Maks. 0,05	%
Bilangan Setana	Min. 40	

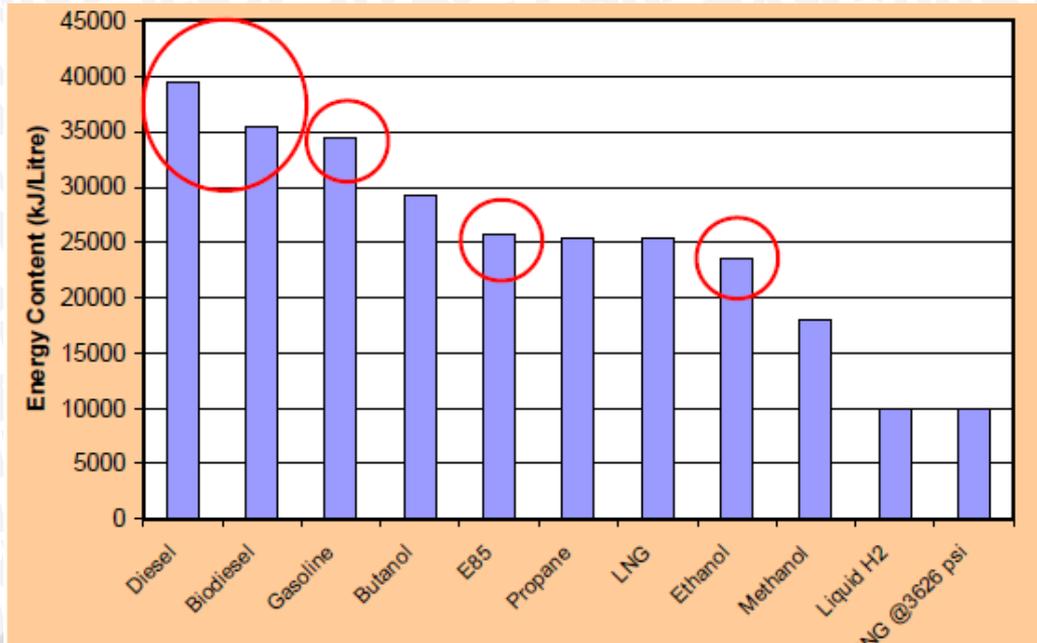
Sumber: Knothe, 2002

Sifat biodiesel secara umum dapat dilihat pada tabel 2.2. Sedangkan data biodiesel dengan standar pengujian ASTM D6751-02 dapat dilihat pada tabel 2.3, terlihat bahwa nilai minimum *flashpoint*, viskositas, *cetane number*, dan lain sebagainya. ASTM D6751-02 merupakan sebuah standar spesifikasi untuk sebuah biodiesel. Lalu, keunggulan bahan bakar ini terletak pada kendali polusi. Biodiesel memiliki gas buangan dengan kadar pengotor yang rendah dan energi yang terkandung di dalam biodiesel tidak jauh berbeda dengan bahan bakar *diesel* fosil (Grafik 2.1 dan Grafik 2.2).



Grafik 2.1 Emisi gas NOx yang dihasilkan

Sumber: Hansen, 2008



Grafik 2.2 *Energy content of fuel*

Sumber: McCormick, 2006

2.2.1 Biodiesel Minyak Jarak

Minyak nabati jarak memiliki viskositas jauh di atas viskositas bahan bakar diesel. Inilah yang menjadi kendala penggunaan langsung minyak nabati jarak sebagai bahan bakar. Salah satu tujuan utama transesterifikasi adalah menurunkan viskositas minyak nabati sehingga memenuhi standar bahan bakar diesel.

Selain viskositas, densitas juga dapat menjadi parameter keberhasilan reaksi transesterifikasi. Densitas biodiesel minimal 0.860 g/cm³. Metil ester minyak jarak pagar dengan kadar ester 99.6 % memiliki densitas sebesar 0.879 g/cm³ pada suhu 15 °C (Sari, 2007).

Hasil penelitian Sumangat (2008) menunjukkan bahwa proses transesterifikasi satu tahap pada suhu 30°C dengan nisbah molar metanol- minyak 5:1 menghasilkan karakteristik metil ester terbaik yaitu densitas 0,88g/cm³. Jumlah persentase senyawa ester asam lemak yang menunjukkan persentase konversi trigliserida menjadi metil ester pada proses satu tahap adalah 100%, sedangkan pada proses dua tahap adalah 99,62%. Sedangkan biodiesel minyak jarak yang digunakan dalam penelitian ini memiliki nilai *flashpoint* 186°C, viskositas 15,085 cSt, *heating value* 9227,544 Kal/gram (tabel 2.6)

Tabel 2.4 *Properties* biodiesel minyak jarak

No	Jenis Pemeriksaan	Biodiesel Minyak Jarak
1	Flash Point (°C)	186
2	Viskositas (cSt)	15,085
3	Densitas (gr/ml)	0,895
4	Heating Value (Kal/gr)	9227,544

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya, 2016

Biodiesel minyak jarak mempunyai kandungan *fatty acid* sebagai berikut:

1. Palmitic (C16:0) sebesar 12,7%
2. Palmitoleic (C16:1) sebesar 0,7%
3. Stearic (C18:0) sebesar 5,5%
4. Oleic (C18:1) sebesar 39,1 %
5. Linoleic (C18:2) sebesar 41,6%
6. Linolenic (C18:3) sebesar 0,2%
7. Arachidic (C20:0) sebesar 0,2%

(Sandford, 2009)

2.2.2 Biodiesel Minyak Kelapa

Biodiesel dari minyak kelapa memiliki titik nyala 106°C, viskositas 9,466 cSt, dan massa jenis 0,887 gr/ml. Hal ini menunjukkan bahwa bahan bakar ini memiliki nilai *flash point* yang rendah. Demikian juga dengan kadar air yang cukup rendah, maka biodiesel yang dihasilkan tidak akan terhidrolisis dan tidak menimbulkan korosif pada mesin diesel.

Angka setana yang tinggi (65,94), menunjukkan bahwa biodiesel minyak kelapa dapat menyala pada temperatur yang relatif rendah sehingga akan mudah terbakar di dalam silinder pembakaran mesin dan tidak terakumulasi (Prihandana et al., 2006). Menurut Diaz dan Galindo (2007), bahan bakar mesin diesel yang ideal adalah bahan bakar yang merupakan rantai hidrokarbon jenuh seluruhnya. Biodiesel minyak kelapa memiliki ikatan asam lemak jenuh lebih dominan.

Tabel 2.5 *Properties* biodiesel minyak kelapa

No	Jenis Pemeriksaan	Biodiesel Minyak Jarak
1	Flash Point (°C)	106
2	Viskositas (cSt)	9,466
3	Densitas (gr/ml)	0,887
4	Heating Value (Kal/gr)	9146,107

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya, 2016

Biodiesel minyak kelapa mempunyai kandungan *fatty acid* sebagai berikut:

1. Caprylic (C8:0) sebesar 6,3%
2. Capric (C10:1) sebesar 6%
3. Lauric (C12:0) sebesar 49,2%
4. Myristic (C14:0) sebesar 18,5 %
5. Palmitic (C16:0) sebesar 9,1%
6. Stearic (C18:0) sebesar 2,7%
7. Oleic (C18:1) sebesar 6,5%
8. Linoleic (C18:2) sebesar 1,7%

(Sandford, 2009)

2.2.3 Biodiesel Minyak Jagung

Minyak jagung memiliki potensi yang tinggi sebagai bahan bakar alternatif. Hal tersebut dikarenakan minyak jagung mudah didapat dan memiliki harga yang relatif murah, khususnya di Indonesia. Namun minyak jagung memiliki viskositas yang tinggi, sehingga sulit untuk diinjeksi atau dikabutkan. Maka dari itu, minyak jagung sebaiknya diubah menjadi biodiesel minyak jagung, agar memiliki sifat fisik yang lebih baik.

Minyak jagung merupakan trigliserida yang disusun oleh gliserol dan asam-asam lemak. Asam lemak yang menyusun minyak jagung terdiri dari asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh. Dalam 100 kg jagung dengan kandungan air 16%, akan menghasilkan sekitar 64 kg tepung butiran dan 3 kg minyak jagung. *Flash point* yang dimiliki biodiesel minyak jagung 120°C. Biodiesel minyak jagung memiliki densitas 0,876g/cm³, dan viskositas 7,731 cSt (tabel 2.8).

Tabel 2.6 *Properties* biodiesel minyak jagung

No	Jenis Pemeriksaan	Biodiesel Minyak Jarak
1	Flash Point (°C)	127
2	Viskositas (cSt)	7,731
3	Densitas (gr/ml)	0,876
4	Heating Value (Kal/gr)	9084,828

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya, 2016

Biodiesel minyak kelapa mempunyai kandungan *fatty acid* sebagai berikut:

1. Palmitic (C16:0) sebesar 12,1%
2. Palmitoleic (C16:1) sebesar 0,1%
3. Margaroleic (C17:1) sebesar 0,1%
4. Stearic (C18:0) sebesar 1,8 %
5. Oleic (C18:1) sebesar 27,2%
6. Linoleic (C18:2) sebesar 56,2%
7. Linolenic (C18:3) sebesar 1,3%
8. Arachidic (C20:0) sebesar 0,4%
9. Behenic (C22:0) sebesar 0,2%
10. Unknown sebesar 0,6%

(Sandford, 2009)

2.2.4 Biodiesel Minyak Biji Bunga Matahari

Biji bunga matahari dapat menghasilkan minyak yang tinggi, rata-rata 600 pon per acre. Minyak ini dapat dihasilkan dengan melakukan pengompresan biji bunga matahari. Minyak bunga matahari memiliki potensi besar untuk mengimbangi penggunaan minyak solar, terutama pada skala pertanian. Minyak bunga matahari sudah digunakan untuk minyak makanan bermutu tinggi. Komposisi minyak mirip dengan minyak nabati lainnya seperti kedelai dan safflower, dan biodiesel dari bunga matahari diharapkan memiliki sifat yang mirip dengan biodiesel dari kedelai.

Tabel 2.7 *Properties* biodiesel minyak biji bunga matahari

No	Jenis Pemeriksaan	Biodiesel Minyak Jarak
1	Flash Point (°C)	128
2	Viskositas (cSt)	7,409
3	Densitas (gr/ml)	0,877
4	Heating Value (Kal/gr)	9071,856

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya, 2016

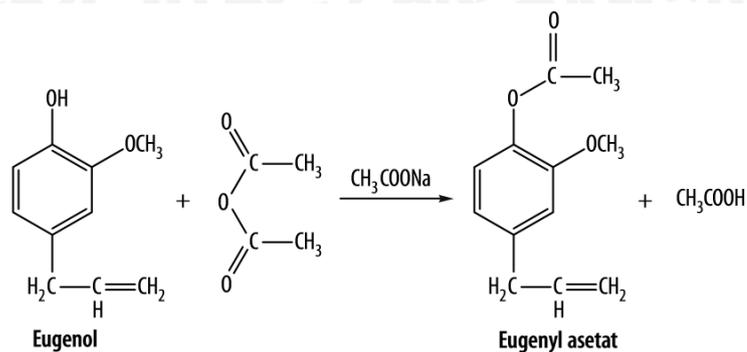
Biodiesel minyak kelapa mempunyai kandungan *fatty acid* sebagai berikut:

1. Palmitic (C16:0) sebesar 4,2%
2. Stearic (C18:0) sebesar 3,3 %
3. Oleic (C18:1) sebesar 63,6%
4. Linoleic (C18:2) sebesar 27,6%
5. Linolenic (C18:3) sebesar 0,2%
6. Behenic (C22:0) sebesar 0,7%
7. Lignoceric (C24:1) sebesar 0,4%

(Sandford, 2009)

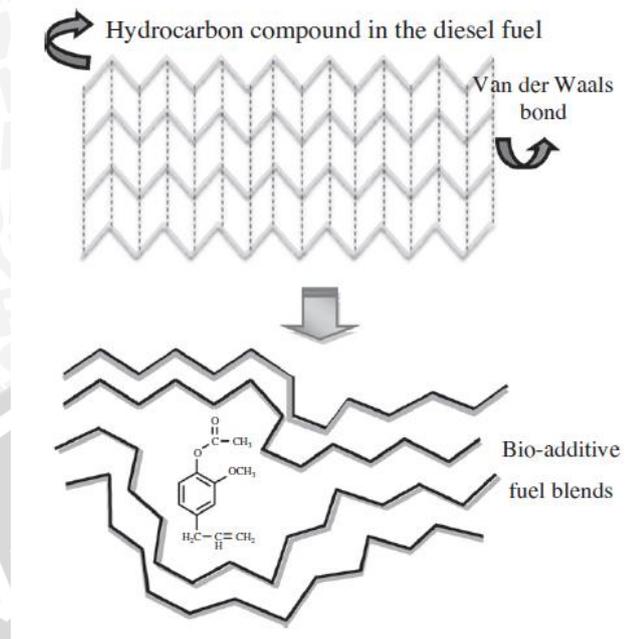
2.3 Minyak Cengkeh

Minyak atsiri dapat diperoleh dengan menggunakan metode destilasi dari daun dan buah cengkeh. Kadarohman (2012) mengatakan bahwa penambahan minyak atsiri dalam bahan bakar dapat mengurangi konsumsi penggunaan bahan bakar pada mesin. Komponen utama dalam minyak atsiri yaitu eugenol. Buah cengkeh mengandung sekitar 80,94% eugenol, sedangkan daun cengkeh mengandung 82,13% eugenol. Eugenol punya struktur molekul 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 (gambar 2.2).



Gambar 2.2 Reaksi esterifikas dari eugenol membentuk eugenyl asetat
Sumber : Kadarohman, 2012

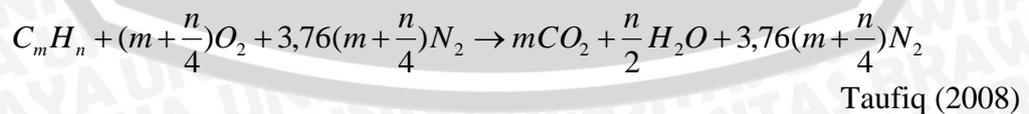
Eugenol dapat memperbaiki karakter fisik bahan bakar, seperti menurunkan viskositas bahan bakar dan meregangkan ikatan unsur-unsur di dalam bahan bakar. Selain itu, eugenol juga memiliki sifat sebagai senyawa aromatik. Hal ini menyebabkan eugenol memiliki sifat yang mudah menguap, sehingga dapat membantu proses penguapan bahan bakar. Kadarohman (2009) menyebutkan bahwa struktur ruang senyawa minyak atsiri ada yang berbentuk siklis dan rantai terbuka dapat menurunkan kekuatan ikatan antar molekul, sehingga dapat mempercepat proses pembakaran. Pada campuran bahan bakar, eugenol tidak berikatan dengan bahan bakar, melainkan hanya menyisip diantara rantai senyawa hidrokarbon (gambar 2.3). *Properties* yang dimiliki oleh minyak cengkeh adalah *flash point* 102 °C, Densitas 1,092 gr/ml, Viskositas 9,623 cSt, dan nilai kalor 5405,545 kal/gr (Laboratorium Teknik Mesin Universitas Brawijaya, 2016).



Gambar 2.3 Bentuk struktur kimia bahan bakar dengan penambahan eugenyl asetat
 Sumber: Kadarohman, 2012

2.4 Pembakaran

Penelitian sebelumnya mengenai bahan bakar telah dilakukan oleh Taufiq (2008). Penelitian tersebut menyatakan bahwa pembakaran adalah suatu proses atau reaksi oksidasi yang sangat cepat antara bahan bakar (*fuel*) dan oksidator, lalu menimbulkan panas dan nyala api. Karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N), dan Sulfur (S) umumnya merupakan beberapa zat yang terkandung di dalam bahan bakar. Bahan bakar adalah segala substansi yang apabila dioksidasi akan melepaskan panas. Sedangkan oksidator merupakan substansi yang di dalamnya terkandung oksigen dan akan bereaksi dengan bahan bakar. Secara umum, udara mengandung 21% oksigen dan 78% nitrogen. Maka reaksi stoikiometri pembakaran dapat ditulis sebagai berikut



Penelitian menyatakan bahwa yang mempengaruhi karakteristik nyala api terdiri dari variable fisik & variabel kimia. Variabel fisik adalah temperature dan tekanan. Sedangkan variabel kimia adalah rasio campuran & struktur hidrokarbon (Taufiq, 2008)



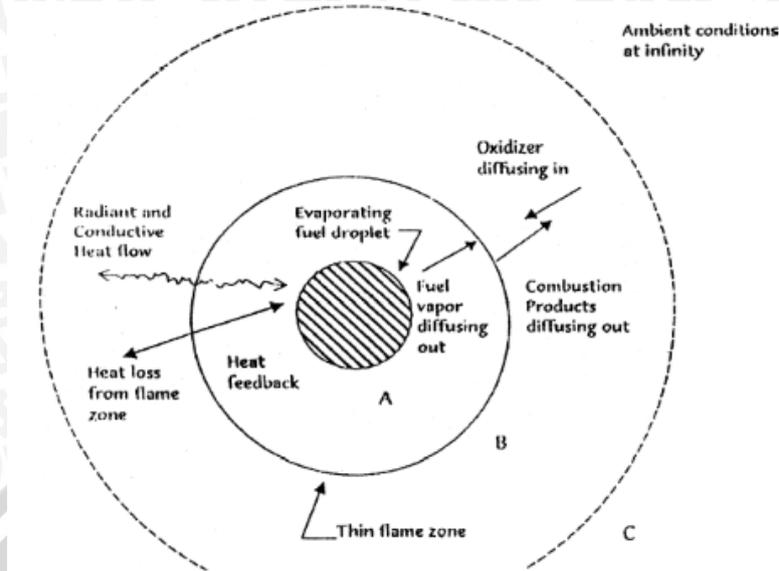
Pembakaran yang terjadi pada ruang bakar sebuah mesin, terjadi melalui beberapa proses. Bahan bakar harus mengalami penguapan agar bisa bercampur dengan oksigen yang ada di udara. Sebagaimana diketahui bahwa proses penguapan ini adalah proses perubahan zat cair menjadi zat gas. Pada kenyataannya sebuah zat memiliki titik didih agar terjadi penguapan, yang nilainya berbeda-beda. Misalnya air murni dalam kondisi tekanan udara 1 atmosfer, titik didih air tsb adalah 100°C. Sedangkan titik didih Methanol sekitar 69°C. Itu menunjukkan bahwa setiap zat yang murni (tunggal), memiliki titik didih yang tersendiri.

Titik didih tersebut dipengaruhi oleh berat molekul yang menyusun zat tsb, semakin berat molekul zat tersebut, cenderung menjadi tinggi titik didih zat tsb. Dengan kata lain, semakin tinggi berat jenis suatu zat, maka semakin tinggi titik didih zat tsb, dan semakin sulit menjadi uap. Tentunya menjadi semakin sulit bereaksi dengan oksigen, dalam arti memerlukan suhu lingkungan yang tinggi untuk terjadi campuran gas dengan oksigen. Campuran gas ini biasa disebut *mixture*.

Pembakaran bahan bakar cair mengalami proses pembakaran dalam fase uap, untuk mempercepat penguapan maka dilakukan perubahan bentuk menjadi partikel-partikel yang lebih kecil atau biasa disebut dengan atomisasi. Atomisasi penting untuk mendistribusikan partikel didalam ruang bakar, pendistribusian ini merupakan hal dasar dalam pencampuran bahan bakar dan udara. Proses atomisasi, penguapan, dan pencampuran bahan bakar dengan udara saling berkaitan satu sama lain. Ketiga proses tersebut memiliki pengaruh penting dalam proses pembakaran.

2.5 Pembakaran *Droplet*

Pembakaran *droplet* merupakan pembakaran difusi. Ketika *droplet* dipanaskan, maka akan terjadi evaporasi dimana uap bahan bakar akan berdifusi dengan oksidator. Sehingga api akan terbentuk pada jarak tertentu dari permukaan *droplet*. Bentuk api akan dipengaruhi oleh kondisi gravitasi di sekitar *droplet* (gambar 2.5).



Gambar 2.4 Model api difusi pada pembakaran *droplet*

Sumber : Alam, 2013

Tujuan dari pembakaran menggunakan *droplet* adalah agar luas bidang kontak bahan bakar dengan oksidator semakin banyak. Diharapkan pembakaran menjadi lebih optimal. Berikut ini adalah bagian dari pembakaran *droplet*. Besarnya energi yang dibutuhkan untuk penguapan *droplet* dapat diketahui dengan persamaan:

$$Q = \Delta h_v + C_{hf}(T_s - T_0) \quad (\text{Kuo, 2005 : 571}) \quad (2-1)$$

Keterangan :

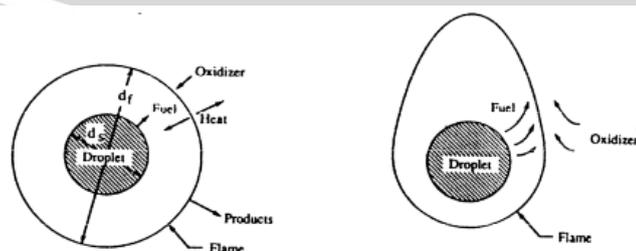
Q = energi total penguapan (kJ/kg)

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)



Gambar 2.5 Model nyala api *droplet*

Sumber : Alam, 2013

2.6 *Microexplosion*

Pecahnya cairan *droplet* karena proses gasifikasi internal yang cukup keras dinamakan *microexplosion* (Zeng, 2001). Perbedaan titik didih pada campuran bahan bakar menyebabkan perbedaan proses penguapan antara bahan bakar satu dengan yang lainnya (Mura, 2011). Hal ini mengakibatkan 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.

2.7 Karakteristik Pembakaran

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

i. *Ignition delay*

Ignition delay adalah waktu jeda antara bahan bakar saat dimasukkan dalam ruang bakar, sampai dengan bahan bakar tersebut mulai terbakar (Siagian, 2013). 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 menimbulkan *knocking* pada mesin menyebabkan pembakaran yang terjadi lambat. *Knocking* berakibat pada rusaknya mesin yang berhubungan dengan piston dan ruang bakar, serta akan mengalami beban kejut yang berlebihan.

ii. *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). *Burning rate* adalah kecepatan dari bahan bakar dari mulai terbakar hingga bahan bakar tersebut habis terbakar (Quintiere, 1997). Nilai *burning rate* didapatkan dengan eksperimen, dapat dihitung dengan persamaan D^2 , yaitu:

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

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)

iii. Temperatur Pembakaran

Temperatur pembakaran adalah temperatur tertinggi yang diukur pada pusat *droplet* saat proses pembakaran terjadi. Yang mempengaruhi temperature pembakaran adalah nilai kalor. Nilai kalor adalah jumlah energi kalor yang dilepaskan bahan bakar saat terjadi oksidasi.

iv. Visualisasi Nyala Api

Nyala api yang dihasilkan oleh *diffusion combustion* disebut juga sebagai *Diffusion Flame*. Yaitu reaksi bahan bakar dan oksigen tanpa pencampuran awal yang baik. Sedangkan *pre-mixed flame* adalah nyala api yang dihasilkan oleh reaksi bahan bakar dengan oksigen 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 umumnya dapat dilihat dari dimensi api yang terbentuk. Nyala api yang lebar dan memanjang, umumnya 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.

2.8 Hipotesis

Proses pembakaran dipengaruhi beberapa hal, seperti nilai *heating value*, hingga titik nyala bahan bakar. Berdasarkan penelitian sebelumnya, pencampuran minyak cengkeh, dapat menurunkan kekuatan ikatan antar molekul bahan bakar dan membantu proses penguapan bahan bakar. Sehingga dapat disimpulkan sementara bahwa pencampuran minyak cengkeh dengan biodiesel minyak nabati akan mempercepat *ignition delay*.