

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Ahmad (2013) Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar diameter *droplet* besar kemungkinan *microexplosion*. Dari pengamatan api membakar dengan *microexplosion* menemukan bahwa semakin besar diameter *droplet*, tinggi dan lebar dari nyala api akan cenderung meningkat. *Microexplosion* membuat api lebih besar. Pembakaran minyak jarak untuk menghasilkan pengapian penundaan waktu *microexplosion* cepat. Pembakaran minyak *microexplosion* castor juga menghasilkan pembakaran dengan tingkat yang baik. Hal ini mendekati karakter minyak diesel, waktu pengapian delay cepat tetapi suhu pembakaran diesel lebih rendah dari minyak jarak murni.

Ramos et al. (2009) melakukan penelitian tentang tanaman kemiri sunan yang akan dijadikan minyak dengan Standar Nasional Indonesia (SNI). Hal itu dikarenakan sampai saat ini biodiesel minyak kemiri sunan masih belum memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI). Hal ini juga bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik biodiesel kemiri sunan. Metode pembuatan biodiesel menggunakan proses transesterifikasi dua tahap. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa rendemen biodiesel kemiri sunan mencapai 88% dari volume minyak. Dari 18 kriteria yang diamati, hanya residu karbon yang belum memenuhi kriteria SNI.

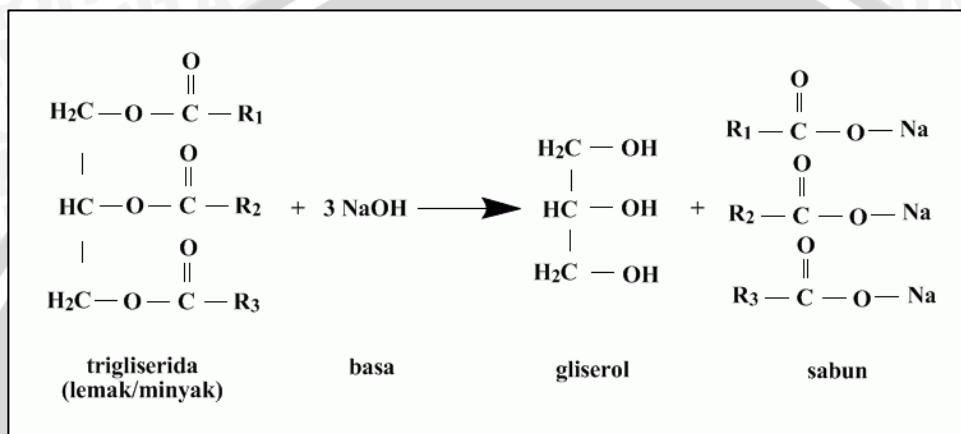
Hashfi (2015) juga telah melakukan penelitian bagaimana pengaruh konsentrasi etanol bila berada di tekanan ruang bakar pada karakteristik pembakaran *droplet* minyak nabati. Hasil dari penelitian itu ialah jika, dalam proses pembakaran *droplet* tekanan dari ruang bakar semakin tinggi maka, nilai *ignition delay* dan *burning rate* akan meningkat, dan dimensi api semakin menurun.

2.2 Minyak Nabati

Minyak Nabati adalah minyak yang disari / diekstrak dari berbagai bagian tumbuhan. Minyak ini digunakan sebagai makanan, bahan penggorengan, pelumas, bahan bakar, pewangi, pengobatan dan berbagai penggunaan industri lainnya. Berdasarkan kegunaannya, minyak nabati terbagi menjadi dua golongan. Pertama, minyak nabati

yang dapat digunakan dalam industri makanan (*edible oils*) dan dikenal dengan nama minyak goreng meliputi minyak kelapa, minyak kelapa sawit, minyak zaitun, minyak kedelai dan sebagainya. Kedua, minyak yang digunakan dalam industri non makanan (*non edible oils*) misalnya minyak kayu putih, minyak jarak (Ketaren, 1986).

Kandungan minyak nabati itu sendiri 95% mengandung trigliserida. Yang berarti gliserol mengikat tiga asam lemak. Sedangkan 5% sisa komponen terdapat mineral, asam lemak, dan lainnya. Hal tersebut dapat kita lihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Ikatan trigliserida.

Sumber : <http://ahlsy.blogspot.co.id/2015/07/komponen-dasar-minyaklemak-alamiah.html>

Asam lemak tidak lain adalah asam alkanoat atau asam karboksilat dengan rumus kimia R-COOH or $\text{R-CO}_2\text{H}$. Karena berguna dalam mengenal ciri-cirinya, asam lemak dibedakan menjadi asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh. Asam lemak jenuh hanya memiliki ikatan tunggal di antara atom-atom karbon penyusunnya, sementara asam lemak tak jenuh memiliki paling sedikit satu ikatan ganda di antara atom-atom karbon penyusunnya.

Asam lemak merupakan asam lemah, dan dalam air terdisosiasi sebagian. Umumnya berfase cair atau padat pada suhu ruang (27° Celsius). Semakin panjang rantai C penyusunnya, semakin mudah membeku dan juga semakin sukar larut. Jenis asam lemak yang terdapat pada minyak nabati umumnya adalah asam stearate, asam palmitate, asam linoleat, dan asam linolenat.

Asam lemak jenuh bersifat lebih stabil (tidak mudah bereaksi) daripada asam lemak tak jenuh. Ikatan ganda pada asam lemak tak jenuh mudah bereaksi dengan oksigen (mudah teroksidasi). Karena itu, dikenal istilah bilangan oksidasi bagi asam lemak.

Tabel 2.1 Rumus kimia asam lemak

Rumus Struktur	Rumus Molekul	Nama Asam Lemak
a. Asam lemak jenuh:		
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	$\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COOH}$	Asam laurat
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	$\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$	Asam palmitat
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	$\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$	Asam stearat
b. Asam lemak tak jenuh:		
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	$\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$	Asam oleat
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	$\text{C}_{17}\text{H}_{31}\text{COOH}$	Asam linoleat
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	$\text{C}_{17}\text{H}_{29}\text{COOH}$	Asam linolenat

Sumber : <http://kimia.upi.edu>

2.3 Kemiri Sunan

Kemiri Sunan merupakan salah satu tanaman prospektif sebagai bahan baku sumber energi terbarukan yakni untuk pembuatan bahan bakar nabati (BBN) biodiesel, sebagai pengganti minyak yang berasal dari fosil yang dapat diperbaharui.

Tanaman ini pertama kali dikembangkan oleh bangsa Cina untuk memenuhi kebutuhan minyak Tung Oil pada abad ke-18 digunakan sebagai pengawetan kayu pada kapal-kapal phinisi. Dalam perkembangannya kemudian menyebar sampai wilayah Indonesia. Kemiri sunan adalah salah satu tanaman yang sangat potensial sebagai penghasil minyak nabati (Heyne, 1987). Biji yang terdapat di dalam buahnya mengandung minyak dengan rendemen sekitar 50% (Vossen dan Umali, 2002; Herman dan Pranowo, 2009). Pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT) tetap menjadi fokus pemerintah sebagai antisipasi persediaan energi di masa datang. Kementerian Pertanian termasuk salah satu kementerian yang mendukung program EBT.

Pemerintah Indonesia, terutama Dinas Pertanian melalui Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Aneka Tanaman Industri (Balittri) sejak tahun 2010 memang sedang gencar mengelukan dan mendukung penanaman pohon kemiri sunan. Dirjen Energi Baru dan Terbarukan Kementrian ESDM, sudah menargetkan bahwa pada tahun 2017 kemiri sunan secara perlahan dapat menggeser kedudukan kelapa sawit sebagai penghasil campuran biodiesel.

Karakteristik Tanaman Kemiri Sunan :

- Pertumbuhan relatif cepat, wilayah pengembangan luas (dari dataran rendah hingga 1.000 m di atas muka laut), kemiri sunan dapat ditemukan pada ketinggian hingga 1000 mdpl.
- Habitus tanaman berbentuk pohon dengan tinggi dapat mencapai 15-20 meter.
- Tanaman kemiri sunan tergolong tanaman menahun dengan mahkota yang sangat rindang, kanopi daun lebar, struktur daun sangat rapat dengan ranting yang banyak sehingga mampu menahan butiran air hujan agar tidak langsung menimpa tanah
- Tanaman ini memiliki perakaran dalam yang berfungsi meningkatkan penyerapan air tanah dan mencegah longsor sehingga sangat baik sebagai tanaman pelindung (tanaman konservasi) untuk mencegah erosi. Merupakan tanaman konservasi, penanaman kemiri sunan yang lestari bisa menghidupkan kembali lahan kritis termasuk area bekas tambang.
- Penanamannya relatif mudah.
- Dapat tumbuh subur di lahan marginal, atau dengan kata lain tanaman ini tidak bersaing dengan tanaman pangan. Berbeda dengan kelapa sawit yang membutuhkan lahan yang subur, kemiri sunan dinilai lebih mudah ditanam di lahan marginal. Dengan demikian pemanfaatan kemiri sunan untuk biodiesel tidak akan mengganggu ketahanan pangan nasional.
- Memiliki produktivitas dan rendemen yang cukup tinggi.
- Masa panen kemiri sunan, sudah mulai berbuah sekitar umur empat (4) tahun dan mulai mencapai puncak berbuah pada umur delapan (8) tahun.
- Tanaman kemiri sunan dapat mencapai umur 50 tahun.
- Kemiri sunan dengan pertajukannya juga dapat menyerap CO₂ cukup banyak sehingga mampu mengatasi masalah *global-warming*.

Dari sisi produktivitas minyak kasar, Balitbang Pertanian Kementan mencatat pencapaian kemiri sunan lebih baik dibandingkan dengan tanaman prospektif untuk biodiesel lainnya, seperti jarak pagar, pongamia, kesambi, atau nyamplung. Tapi belum melewati produktivitas kelapa sawit.

Catatan:

Data seperti dilansir dari Bisnis, sumber Kepala Puslitbang Perkebunan Kementan. Produksi minyak kasar secara umum di atas sesuai kondisi sekarang ini dari potensi varietas yang tersedia dan pola tanam serta teknologi yang ada.

Saat ini Puslitbang telah menghasilkan dua varietas baru kemiri sunan yang jauh lebih unggul dibandingkan dua varietas sebelumnya. Namanya, Kemindo 1 dan 2 yang dihasilkan bulan Agustus 2014. Varietas ini memiliki rendemen yang lebih bagus daripada Sunan 1 dan 2.

Dengan populasi per hektarnya 150 pohon, tanaman kemiri sunan dapat menghasilkan 15 ton produksi kemiri sunan, dengan dengan total yang dapat dihasilkan untuk biodiesel mencapai 6 ton – 8 ton.

Kementan dalam situsnya menyatakan, kadar rendemen kemiri biji sunan mampu menghasilkan minyak mentah (*crude oil*) 40% hingga 50% atau 88% hingga 92% untuk biodiesel.

Kepala Penelitian dan Pengembangan Perkebunan Kementerian Pertanian, Muhammad Syakir, bahwa kualitas minyak yang dihasilkan oleh kemiri sunan mencapai level B100, yang artinya bagus untuk bahan bakar diesel dan tidak memerlukan campuran solar lagi. Hanya dengan menggunakan minyak ini sudah dapat langsung digunakan untuk menyalakan mesin diesel.

Selain menghasilkan minyak nabati, yang dapat diproses menjadi biodiesel, minyak kemiri sunan merupakan trigliserida yang tersusun dari asam palmitat, asam oleat, asam linoleat dan asam α -elaeostearat (Vosen dan Umali, 2002) yang memiliki potensi besar sebagai bahan baku industri oleokimia dan biopestisida (Burkill, 1966).

Limbah biji kemiri sunan masih bisa dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti bahan baku varnis, cat, bahan pengawet, tinta, sabun, briket, pupuk organik, biopestisida, resin, pelumas, bahkan untuk biogas.

Populasi tanaman kemiri sunan yang banyak terkonsentrasi di Kabupaten Garut dan Majalengka, Jawa Barat dan mulai tahun 2008 menyebar ke berbagai tempat yang memiliki agroekosistem beragam seperti Jawa Tengah, Jawa Timur, NTT, NTB, Riau, Jambi, Bangka, dan Kalimantan Timur.

Sumber Staf Khusus Presiden Bidang Pangan dan Energi tahun 2012, menginformasikan, data sebaran pohon kemiri sunan ada di Jakarta sebanyak 3.500 pohon, Bekasi sebanyak 30.000 pohon, Kuningan sebanyak 10.000 pohon, Majalengka sebanyak 10.000 pohon, Jati Gede sebanyak 10.000 pohon, Bandung sebanyak 3.000 pohon, Ngawi sebanyak 40.000 pohon, Lamongan sebanyak 13.000 pohon, Nusa Penida-Bali sebanyak 15.000 pohon, Lombok sebanyak 14.500 pohon dan Timor sebanyak 20.000 pohon.

Metode penanaman kemiri sunan dapat diterapkan secara tumpangsari seperti kopi. Dengan begitu, pembudidayaannya bisa memberdayakan rakyat.



Gambar 2.2 Pohon kemiri sunan

Sumber : http://perkebunan.litbang.pertanian.go.id/wp-content/uploads/2014/01/perkebunan_Wamen-Babel3a.jpg

Klasifikasi tanaman kemiri sunan :

Dunia	: <i>Plantae</i>
Divisi	: <i>Magnoliophyta</i>
Kelas	: <i>Magnoliophyta</i>
Ordo	: <i>Euphorbiales</i>
Famili	: <i>Euphorbiaceae</i>
Genus	: <i>Reutealis Airy Shaw sinonim Aleurites</i>
Spesies	: <i>R. trisperma (Blanco) Airy Shaw</i>

(Sumber:USDA, 2008)

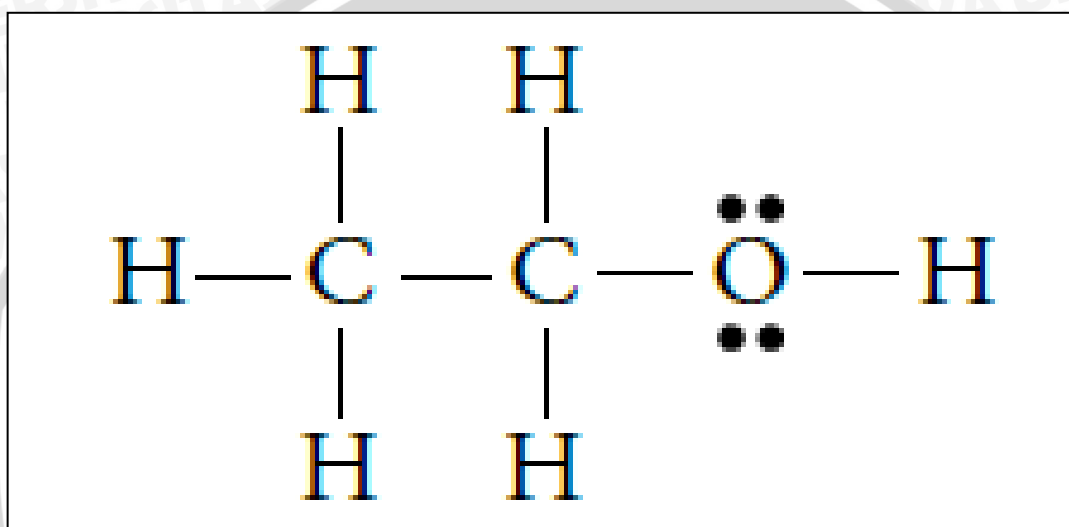


Gambar 2.3 Biji kemiri sunan

Sumber : <http://www.bebeja.com/wp-content/uploads/2014/06/kemiri-sunan2.jpg>

2.4 Etanol

Etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) adalah alkohol yang memiliki golongan senyawa terdiri dari hidroksida $-\text{OH}$ yang diikat oleh atom karbon (C) yang ditunjukkan pada gambar 2.9. Etanol memiliki titik lebur -114.1°C , memiliki titik didih 78.5°C dan densitas sebesar 0.789 g/mL pada suhu 20°C . (Shakashiri, 2009). Etanol merupakan cairan yang mudah menguap, mudah terbakar, tak berwarna dan merupakan alkohol yang paling sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari (Mulyono, 2010).



Gambar 2.4 Rumus Kimia Etanol
Sumber : Bishop (2001: 448)

Rumus kimia etanol dapat kita lihat pada gambar 2.2. Etanol memiliki beberapa keuntungan yaitu merupakan bahan bakar yang dapat diperbaharui karena dapat diproduksi dari lahan pertanian seperti *sugar beet*, gandum, jagung, tebu melalui proses biokimia. Selain itu etanol memiliki kandungan oksigen sebesar 34 % dari beratnya sehingga bila dicampur dengan bahan bakar dalam silinder mesin akan mengurangi emisi dari *carbon monoxide* (CO) dan *hydrat carbon* (HC) (Iodice, 2013).

Hal ini disebabkan karena pembakaran bahan bakar yang mengandung alkohol mengarah pada pembakaran miskin (*lean combustion*) dimana udara yang tersedia lebih banyak daripada udara yang dibutuhkan untuk pembakaran dengan bahan bakar minyak bumi. Pada pembakaran etanol, reaksi kimia etanol yang terbakar di udara akan membentuk karbon dioksida dan air. Adapun reaksi pembakaran etanol sebagai berikut :



2.5 Pembakaran

Pembakaran adalah suatu runtutan reaksi kimia antara suatu bahan bakar dan suatu oksidan, disertai dengan produksi panas yang kadang disertai cahaya dalam bentuk pendar atau api. Bisa juga disebut bahwa pembakaran adalah proses transformasi senyawa kimia menuju energi termal. Dimana hal tersebut terdapat konversi massa dan energi yang terjadi akibat bahan bakar yang bereaksi dengan oksigen yang bertemu dengan produksi panas yang selanjutnya terjadi pelepasan panas dalam bentuk api. Dalam suatu reaksi pembakaran lengkap, suatu senyawa bereaksi dengan zat pengoksidasi, dan produknya adalah senyawa dari tiap elemen dalam bahan bakar dengan zat pengoksidasi.

Komponen utama dalam penyebab terjadinya kebakaran adalah oksigen, api, dan bahan bakar.

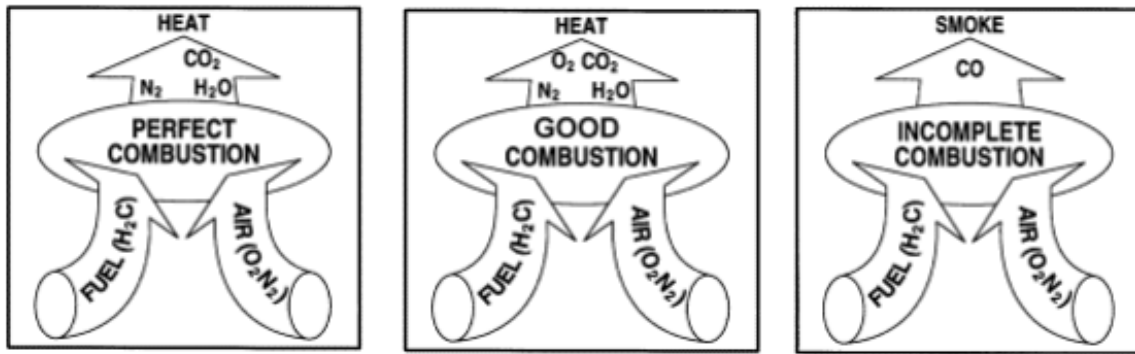
Macam-macam jenis pembakaran, antara lain :

1. Pembakaran sempurna

Pada pembakaran sempurna, reaktan akan terbakar dengan oksigen, menghasilkan sejumlah produk yang terbatas. Pembakaran komplit terjadi jika keseluruhan karbon menjadi CO_2 , hidrogen menjadi H_2O dan sulfur menjadi SO_2 . Jika output masih mengandung bahan C, H_2 dan CO, maka proses pembakaran tersebut adalah tidak komplit (Sihana,2010).

2. Pembakaran tidak sempurna

Pembakaran tidak sempurna umumnya terjadi ketika tidak tersedianya oksigen dalam jumlah yang cukup untuk membakar bahan bakar sehingga dihasilkannya karbon dioksida dan air. Pembakaran yang tidak sempurna menghasilkan zat-zat seperti karbon dioksida, karbon monoksida, uap air dan karbon. Pembakaran yang tidak sempurna sangat sering terjadi, walaupun tidak diinginkan, karena karbon monoksida merupakan zat yang sangat berbahaya bagi manusia. Kualitas pembakaran dapat ditingkatkan dengan perancangan media pembakaran yang lebih baik dan optimisasi proses. Dapat kita lihat pembakaran yang tidak sempurna pada gambar 2.3.



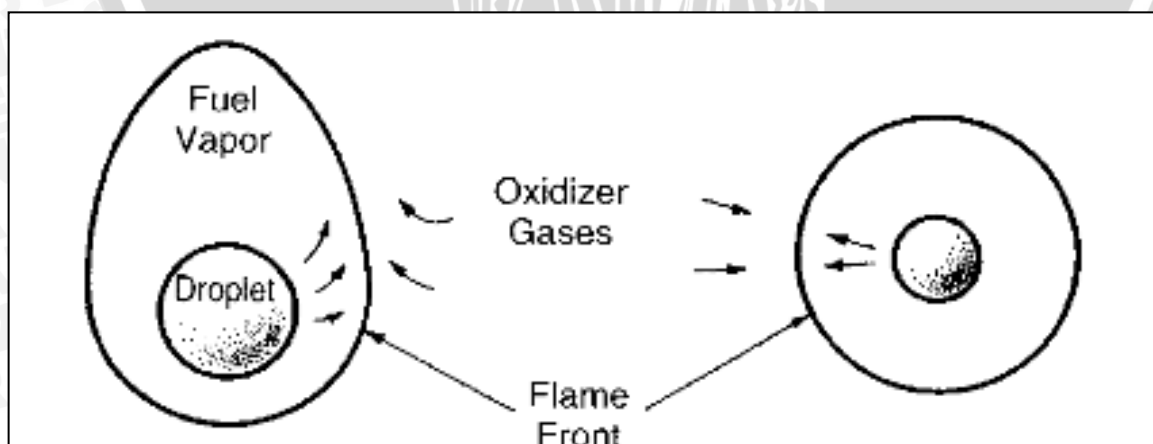
Gambar 2.5 Macam-macam jenis pembakaran.

Sumber : *Bureau of energy efficiency*, 2011.

2.6 Pembakaran pada *Droplet*

Pada pembakaran *droplet* biodiesel minyak kemiri sunan terjadi dengan proses oksidasi udara atmosfer, dimana proses penguapan akan dimulai dari permukaan *droplet* kemudian berdifusi ke permukaan nyala api (*flame front*). Sementara oksigen akan bergerak dan berdifusi dari lingkungan sekeliling *droplet* menuju ke permukaan nyala api.

Bentuk dari nyala api bisa berupa *spherical* (bulat) dan *non-spherical* (tidak bulat) bergantung dari lingkungan sekitarnya dan juga bergantung dari ukuran *droplet* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4. Bentuk nyala api *non-spherical* dapat disebabkan karena kecepatan relatif antara udara sekeliling dengan *droplet* juga oleh karena efek konveksi alami atau gravitasi. Jika ukuran *droplet* dibuat kecil, maka *droplet* ditahan oleh gas sekelilingnya dan kecepatan relatif antara gas dengan *droplet* menjadi sangat kecil. Hal ini menyebabkan nyala api dari *droplet* dapat mendekati *spherical*.



Gambar 2.6 Model nyala api *droplet*

Sumber : Kuo. *Principle of Combustion*, 2005 : 569

Setelah proses pembakaran, akan terjadi perambatan nyala api dari nyala api menuju permukaan *droplet* seperti yang tampak pada gambar 2.6. Temperatur gas hasil pembakaran yang lebih tinggi akan dipindahkan secara konveksi menuju permukaan *droplet*. Panas yang diterima oleh permukaan *droplet* akan digunakan untuk memanaskan *droplet* menuju fase gas. Peristiwa ini disebut dengan penguapan (*evaporation*). Besarnya energi yang dibutuhkan untuk penguapan *droplet* dapat diketahui dengan persamaan :

$$Q = \Delta h_v + C_{hf}(T_s - T_0) \quad (\text{Kuo, 1986 : 373}) \quad (2-1)$$

Keterangan :

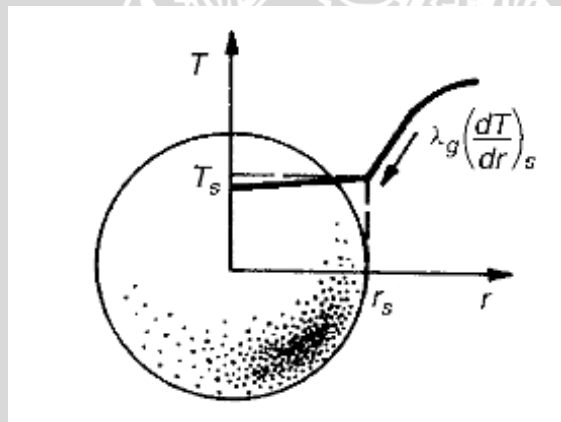
Q = energi total penguapan (kj/kg)

Δh_v = kalor laten (kj/kg)

C_{hf} = kalor jenis bahan bakar (kj/kg $^{\circ}$ C)

T_s = temperatur permukaan *droplet* ($^{\circ}$ C)

T_0 = temperatur awal *droplet* ($^{\circ}$ C)



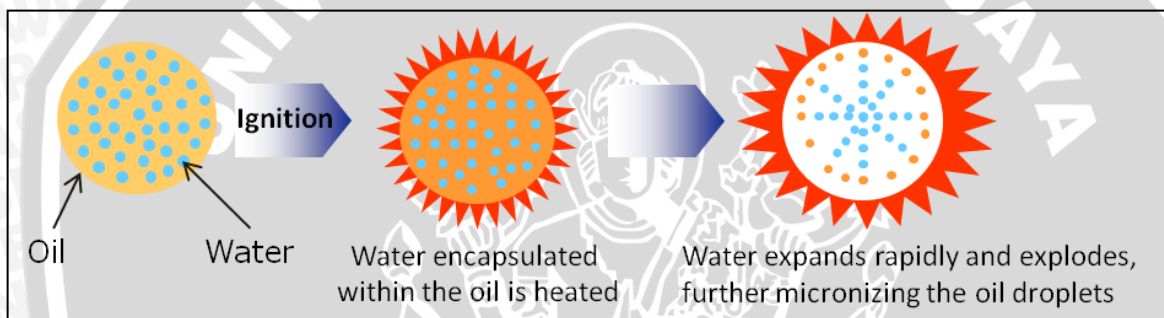
Gambar 2.7 Distribusi temperatur pada penguapan *droplet*

Sumber : Kuo. *Principle of Combustion*, 2005 : 575

2.7 Microexplosion

Microexplosion adalah ledakan *droplet* karena terjadinya penguapan internal di dalam *droplet*. Ledakan tersebut berpotensi meningkatkan *engine performance* karena dapat menjadi atomisasi bahan bakar (Zeng, 2007). *Microexplosion* mengakibatkan *droplet* pecah menjadi butiran-butiran kecil sehingga membantu mempercepat penguapan dan pembakaran. Selain itu kualitas campuran bahan bakar dengan udara akan meningkat sehingga dapat terjadi pembakaran yang lebih sempurna (Dewi, 2012).

Menurut Alam (2013), *Microexplosion* disebabkan karena kecepatan difusi massa yang terbatas dari *droplet*. Komponen yang memiliki volatilitas rendah tidak dapat muncul ke permukaan cukup cepat untuk mengimbangi laju penguapan yang lebih cepat dari komponen yang lain, sehingga fraksi massa dari komponen yang memiliki volatilitas lebih rendah di dalam *droplet* lebih besar daripada di permukaan. Sebagai konsekuensinya, walaupun temperatur permukaan *droplet* tidak melebihi nilai titik didihnya, temperatur di beberapa daerah dalam *droplet* kemungkinan lebih besar daripada nilai *boiling point* sehingga terdapat gas yang terjebak didalam *droplet* menciptakan gelembung-gelembung udara. Ketika temperatur di dalam *droplet* cukup tinggi maka terjadilah ledakan (*Microexplosion*) (Wang, *et al* 1984). Tahapan dari *Microexplosion* ditunjukkan pada ilustrasi gambar 2.6.



Gambar 2.8 Tahapan *Microexplosion*
Sumber : Nanomizer Inc, 2012

2.8 Karakteristik Pembakaran

a. Ignition delay

Ignition delay adalah waktu yang diperlukan antara bahan bakar mulai diinjeksikan sampai terjadinya titik api (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.

b. Burning rate (Kecepatan Pembakaran)

Burning rate atau kecepatan pembakaran merupakan massa dari bahan bakar solid atau cair yang dikonsumsi per unit waktu. Secara umum kecepatan pembakaran diukur berdasarkan massa, sehingga satuannya adalah gram per detik (Quintiere, 1997). Pada pembakaran *droplet* sangat sulit untuk mengukur kecepatan pembakaran berdasarkan massa karena ukuran yang terlalu kecil, sehingga untuk mengukur kecepatan

pembakaran dapat digunakan perbandingan diameter yang ditinjau dari luas permukaan. Sehingga satuannya menjadi milimeter kuadrat (mm^2) per detik.

c. Temperatur Pembakaran

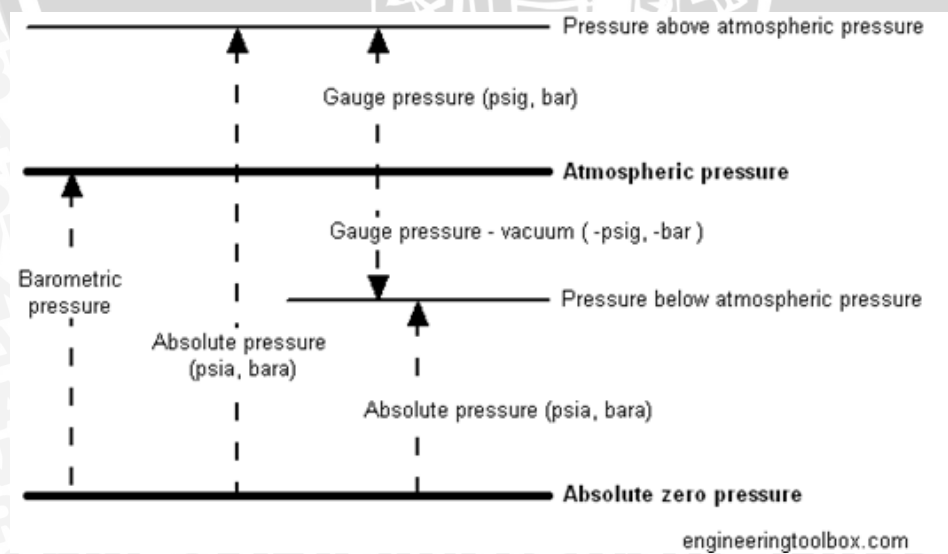
Temperatur pembakaran adalah temperatur tertinggi yang akan diukur saat pembakaran terjadi. Hal ini sangat dipengaruhi oleh nilai kalor bahan bakar.

d. Dimensi Nyala Api

Dimensi nyala api menunjukkan akan panjang pendeknya maupun besar kecilnya nyala api saat terjadi pembakaran. Dari hal tersebut dapat diketahui bila nyala api kecil maka pembakaran berlangsung cepat. Dan, bila nyala api besar maka pembakaran berlangsung lama.

2.9 Tekanan

Pengertian dari tekanan sendiri adalah gaya yang diberikan pada suatu luasan tertentu. Terdapat bermacam-macam satuan dalam tekanan, yaitu : bar, atm, kgf/cm^2 , psi, mmhg, dan sebagainya. Terdapat tiga jenis tekanan, yaitu : tekanan absolut, tekanan gauge dan tekanan vakum. Tekanan absolut merupakan harga tekanan yang sebenarnya dihitung relatif terhadap tekanan nol mutlak, tekanan gauge merupakan tekanan yang diukur relatif terhadap tekanan atmosfer atau selisih tekanan absolut dengan tekanan atmosfer, dan tekanan tekanan yang berada di bawah tekanan atmosfer disebut tekanan vakum



Gambar 2.9 Tekanan absolut, gauge dan vakum

Sumber : Cengel (2005)

2.10 Hipotesa

Ketika konsentrasi campuran etanol pada crude semakin banyak, maka akan menyebabkan penurunan *ignition delay*, *burning rate*, temperatur, dan dimensi api. Dan pada saat tekanan ruang bakar meningkat, maka *ignition delay*, temperatur, dan *burning rate* akan meningkat. Sedangkan dimensi api akan menurun seiring dengan meningkatnya ruang bakar.

