

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Chen, et al, (2008) telah melakukan penelitian dengan mengamati karakteristik pembakaran api difusi pada tabung mini dengan bahan bakar etanol. Karakteristik pembakaran yang diamati meliputi visual dari bentuk api, *interface liquid-uap* selama perubahan dari fase cair ke gas dalam tabung kapiler dan suhu permukaan luar tabung. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa ketika debit bahan bakar meningkat, lokasi *interface* naik ke mulut tabung dan gradien suhu pada permukaan luar tabung meningkat, akibatnya penguapan bahan bakar menjadi lebih kuat dan *interface* cenderung menjadi tidak stabil.

Adinegoro (2015) melakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik nyala api yang berupa tinggi api, warna api, serta *instability* api pada pembakaran difusi biodiesel minyak jarak dan etanol pada mini tube burner. Pada penelitian ini divariasikan prosentase etanol sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%, sedangkan debit bahan bakar yang digunakan sebesar 1 mL/jam, 2 mL/jam, 3 mL/jam, 4 mL/jam, dan 5 mL/jam. Penelitian yang dilakukan menggunakan bantuan *heater* untuk menguapkan bahan bakar pada burner. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa semakin besar debit bahan bakar yang digunakan, maka dimensi (tinggi) api juga semakin tinggi. Tinggi api juga semakin bertambah seiring dengan semakin besar prosentase etanol yang digunakan. Hasil nyala api dalam kondisi stabil pada prosentase etanol sebesar 40%. Terjadinya ledakan pada nyala api bermula saat debit bahan bakar ditingkatkan, maka bahan bakar yang keluar pada burner tidak sepenuhnya berbentuk uap, karena masih ada bahan bakar yang berbentuk cair. Bahan bakar yang berbentuk cair inilah yang kemudian menguap pada daerah nyala api pembakaran. Hasil penguapan itu kemudian akan berdifusi dengan udara dan mengakibatkan peristiwa ledakan pada api.

Banjari (2015) juga meneliti tentang *interface liquid-uap* dan visualisasi karakteristik api dari pembakaran difusi dengan campuran biodiesel (80%)-etanol/metanol (20%). Dari penelitian tersebut didapatkanlah hasil saat terjadi *explosive flame*, *interface* menjadi besar kemudian panjang *interface* menjadi kecil lagi. Ini dikarenakan laju

penguapan lebih kecil daripada debit bahan bakar yang disuplai ke *burner*. Fenomena ini terjadi berulang-ulang baik untuk bahan bakar etanol maupun metanol. Jadi, pada debit 3 mL/jam dan 4,5 mL/jam sering terjadi *explosive flame* yang menyebabkan *instability flame* pada ujung *burner*.

2.2 Biodiesel Minyak Jarak (*Jatropha curcas Linneaus*)

Biodiesel merupakan salah satu alternatif bahan bakar pengganti bahan bakar diesel konvensional yang ramah lingkungan. Biodiesel berasal dari pengolahan minyak nabati atau lemak hewani. Minyak nabati yang berasal dari tumbuh – tumbuhan memiliki potensi yang besar sebagai bahan bakar alternatif yang berbasis petroleum (*petrodiesel*). Tetapi minyak nabati tidak bisa langsung digunakan sebagai bahan bakar diesel, karena mempunyai karakteristik yang tidak memungkinkan bila langsung digunakan sebagai bahan bakar diesel. Contohnya nilai viskositas dari minyak nabati yang terlalu tinggi, hal tersebut bisa mengakibatkan terhambatnya proses injeksi bahan bakar dan terjadinya pembakaran tidak sempurna.

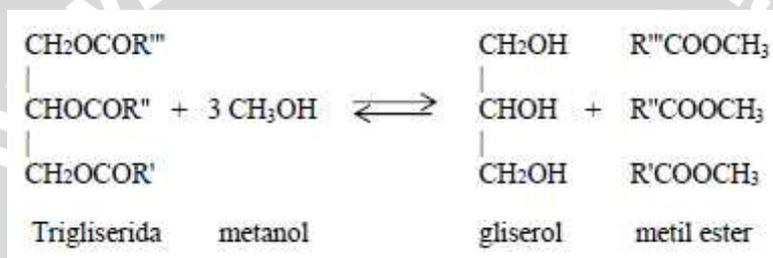


Gambar 2.1 (a) Buah jarak dan (b) biji jarak pagar
Sumber : Sari (2007)

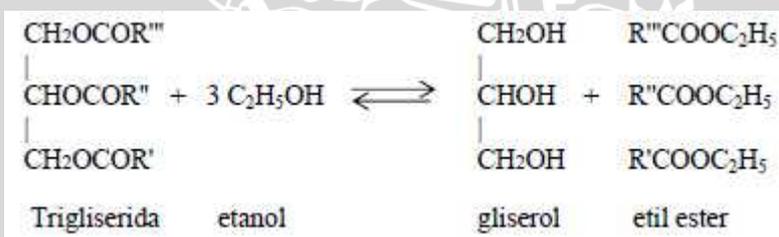
Salah satu contoh dari minyak nabati adalah minyak jarak. Minyak jarak yang mempunyai nama latin *Jatropha curcas Linneaus* merupakan salah satu jenis tanaman semak yang biasanya mempunyai ketinggian 3 – 5 meter dan dapat hidup sampai lebih dari 20 tahun. Untuk mendapatkan minyak nabati dari tanaman jarak perlu dilakukan beberapa proses. Proses pertama adalah melakukan pengeringan pada buah jarak sampai diperoleh kadar air 6%, hal tersebut dilakukan agar dapat mengeluarkan bijinya. Setelah itu dengan bantuan mesin pemisah biji jarak yang telah kering dipisahkan dari buahnya. Kemudian

dilakukanlah proses pengepresan, pengempaan panas, atau ekstraksi pelarut untuk mendapatkan minyak jarak dari biji tanaman jarak.

Minyak nabati mempunyai karakteristik yang tidak sesuai jika langsung digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Oleh karena itu harus melalui suatu proses lanjutan sebelum digunakan sebagai bahan bakar, salah satunya dengan proses transesterifikasi. Proses ini akan mereaksikan minyak nabati dengan alkohol (metanol atau etanol) sehingga menghasilkan biodiesel (*alkyl ester*) dan gliserol sebagai produk sampingannya. Minyak nabati apabila direaksikan dengan metanol, akan diperoleh metil ester dan apabila direaksikan dengan etanol, akan diperoleh etil ester. Pada gambar 2.2 menjelaskan reaksi pembentukan metil ester, sedangkan Gambar 2.3 menjelaskan reaksi pembentukan etil ester.



Gambar 2.2 Reaksi pembentukan metil ester



Gambar 2.3 Reaksi pembentukan etil ester

Tabel 2.1 Sifat Kimia Fisika Biodiesel dan Solar

Sifat fisik / kimia	Biodiesel	Solar
Angka <i>cetane</i>	52	51
Densitas 20°C (g/cm ³)	0,882	0,835
Viskositas 40°C (mm ² /s)	5,9	3,9
LHV (MJ/kg)	38,7	42,5
Kalor laten penguapan (kJ.kg ⁻¹)	254	254
Kandungan oksigen (%)	10	0

Sumber: Chen, et al (2014)

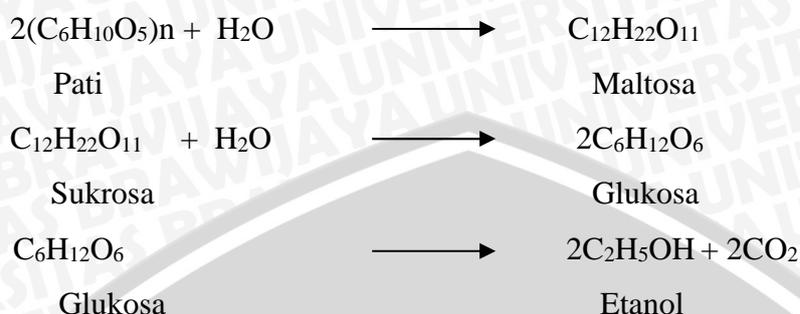
Dari tabel 2.1 di atas dapat dilihat bahwa biodiesel mempunyai nilai densitas dan viskositas yang lebih tinggi dari pada solar. Hal tersebut akan menimbulkan beberapa masalah yang akan membuat pembakaran yang kurang sempurna. Oleh karena itu bahan bakar biodiesel yang telah didapatkan dari proses transesterifikasi perlu dicampurkan dengan etanol agar dapat memperbaiki sifat – sifat fisika pada biodiesel tersebut. Penambahan etanol pada biodiesel dikarenakan etanol mempunyai nilai densitas dan viskositas yang rendah. Dengan demikian diharapkan penambahan etanol pada biodiesel dapat menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna.

2.3 Etanol

Etanol merupakan salah satu jenis dari alkohol, atau biasa disebut dengan *ethyl alcohol*. Etanol merupakan senyawa hidrokarbon berupa gugus *hydroxyl* (-OH) dengan 2 atom karbon (C) yang memiliki rumus kimia C₂H₅OH dan rumus empiris C₂H₆O. Etanol banyak digunakan sebagai pelarut bahan-bahan kimia yang digunakan untuk konsumsi dan kegunaan manusia. Misalnya pada parfum, perasa, pewarna makanan, dan obat-obatan. Dalam kimia, etanol adalah pelarut yang penting sekaligus sebagai stok umpan untuk sintesis senyawa kimia lainnya. Etanol didapat dari proses fermentasi gula atau tepung. Fermentasi etanol atau bisa disebut dengan fermentasi alkohol merupakan proses biologi dimana gula seperti glukosa, sukrosa, dan fruktosa akan diubah menjadi energi seluler serta menghasilkan produk sampingan berupa etanol dan karbondioksida. Proses fermentasi

etanol dapat digolongkan sebagai respirasi anaerob karena proses ini tidak membutuhkan oksigen.

Berikut merupakan proses persamaan reaksi peragian etanol dari gula dan tepung :



Etanol memiliki sifat-sifat fisika yang dipengaruhi oleh keberadaan gugus hidroksil dan rantai karbon etanol yang pendek. Gugus hidroksil akan mempengaruhi ikatan hidrogen, akibatnya akan membuat etanol menjadi cair dan cenderung lebih sulit menguap dari pada senyawa organik lain dengan massa molekul yang sama. Etanol sering digunakan sebagai bahan bakar pada laboratorium dan rekayasa industri. Sifat – sifat yang dimiliki etanol ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sifat – sifat fisika etanol

Karakteristik	Nilai
<i>Boiling point</i> (°C)	78,4
<i>Density</i> 20° C (g/cm ³)	0,789
<i>Flash point</i> (°C)	13-14
<i>Viskositas</i> 40°C (mm ² /s)	1,1
<i>Latent heat of vaporization</i> (kJ/kg)	1104

Sumber: Pan dan Chiu, 2013

Etanol inilah yang akan bercampur dengan minyak nabati melalui proses transesterifikasi sehingga diperoleh bahan bakar biodiesel. Penggunaan etanol pada biodiesel akan mengakibatkan peningkatan sifat-sifat dari biodiesel itu sendiri. Misalnya dapat mengurangi emisi gas buang NO, CO, dan HC yang dapat menyebabkan polusi udara.

2.4 Pembakaran

Pembakaran adalah suatu proses reaksi kimia yang terjadi antara oksidator (udara atau oksigen) dan bahan bakar yang akan menghasilkan cahaya dan panas saat terjadi proses pembakaran. Agar terjadi suatu proses pembakaran harus ada syarat yang dipenuhi yaitu bahan bakar, pengoksidasi (udara atau oksigen), dan panas atau energi aktivasi.

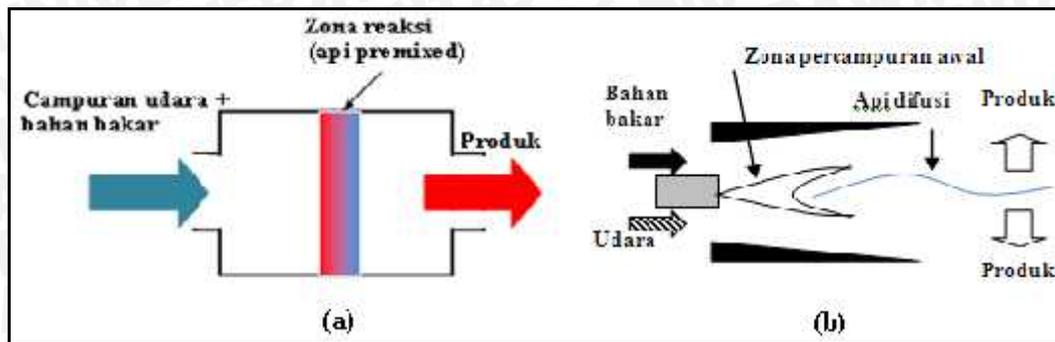
Energi aktivasi berfungsi untuk mengaktifkan molekul – molekul agar dapat terjadi proses pembakaran. Di dalam ruang bakar motor diesel (*Compression Engine*) energi aktivasi didapatkan dari tekanan tinggi pada ruang bakar saat terjadinya proses kompresi. Sedangkan pada motor bensin (*Spark Ignition Engine*) energi aktivasi didapatkan dari loncatan listrik busi yang akan membakar campuran udara dan bahan bakar saat terjadi proses pembakaran. Pada gambar 2.4 dapat dilihat skema dari berlangsungnya proses pembakaran.



Gambar 2.4 Ilustrasi Proses Pembakaran
Sumber: Wardana (2008)

2.4.1 Klasifikasi Pembakaran

Secara umum proses pembakaran dapat dilakukan secara difusi dan secara *premixed*. Pada proses pembakaran difusi bahan bakar dan udara sebagai oksidator tidak bercampur terlebih dahulu secara mekanik, melainkan bercampur secara alami melalui proses difusi. Sedangkan pembakaran *premixed* merupakan pembakaran dimana reaktan (bahan bakar dan udara) bercampur terlebih dahulu sebelum masuk ke dalam ruang pembakaran. Pada gambar 2.5 menunjukkan sistem pembakaran *premixed* dan pembakaran difusi.



Gambar 2.5 (a) Pembakaran *premixed* (b) Pembakaran difusi
Sumber : Wardana (2008)

Pada gambar 2.5 (a) campuran udara dan bahan bakar bercampur terlebih dahulu sebelum masuk ke ruang bakar. Pada zona reaksi akan terjadi pembakaran dengan proses yang sangat cepat, dan setelah melewati zona reaksi maka reaktan akan menjadi produk. Pada gambar 2.5 (b) dapat dilihat bahwa bahan bakar dan udara masuk kedalam ruang bakar melalui saluran yang berbeda kemudian akan bercampur di zona pencampuran awal akibat terjadinya difusi molekul dan kemudian akan terjadi pembakaran. Dalam penelitian ini pembakaran secara difusi yang akan menjadi topik.

2.4.2 Reaksi Kimia Proses Pembakaran

Dalam reaksi kimia pembakaran harus memenuhi kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi. Kesetimbangan massa atau yang lebih dikenal dengan stoikiometri pembakaran. Stoikiometri pembakaran akan melibatkan hubungan kuantitatif antara reaktan maupun produk sebagai hasilnya. Untuk memenuhi kesetimbangan massa atau stoikiometri, maka jumlah atom sebelum dan sesudah reaksi haruslah sama. Pada kesetimbangan energi saat terjadinya proses pembakaran akan menerapkan prinsip – prinsip termokimia. Termokimia pada proses pembakaran menjelaskan tentang hubungan timbal balik kalor dan perubahan fase yang terjadi.

Pembakaran sempurna pada faktanya sulit terjadi, hal itu dikarenakan kebanyakan reaksi pembakaran menggunakan oksigen dari udara bebas. Sedangkan di udara bebas memiliki beberapa gas – gas lain yang terkandung didalamnya. Gas – gas yang terkandung didalam udara bebas dapat dilihat pada tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 komposisi udara bebas

Udara	Proporsi Volume %		Proporsi massa %	
	Aktual	Penggunaan	Aktual	Penggunaan
Nitrogen	78,03	79	75,45	76,8
Oksigen	20,99	21	23,20	23,2
Argon	0,94	0	1,30	0
CO ₂	0,03	0	0,05	0
Gas lainnya	0,01	0	-	0

Sumber : Wardana (2008)

Dari tabel 2.3 di atas dapat dilihat bahwa udara terdiri dari 79% Nitrogen (N₂) dan 21% Oksigen (O₂). Sedangkan gas – gas lain dapat diasumsikan diabaikan karena prosentasenya terlalu kecil. Jadi untuk setiap penggunaan 1 mol O₂ yang terkandung di dalam udara pada reaksi pembakaran akan mencakup penggunaan $\left(\frac{79}{21}\right) = 3,76$ mol N₂.

Maka reaksi stoikiometrik pembakaran hidrokarbon C_xH_y Dapat di tulis dengan persamaan berikut:



Setelah mengetahui persamaan reaksi pembakaran stoikiometrik, maka untuk reaksi pembakaran biodiesel dan etanol dengan asumsi pembakaran pada 100 mL bahan bakar, dengan volume biodiesel 80 mL dan etanol 20 mL. Untuk mereaksikan bahan bakar terlebih dahulu dihitung nilai mol dari biodiesel dan etanol dengan menggunakan persamaan berikut :

- Perhitungan nilai mol etanol (C₂H₅OH)

Untuk menghitung nilai mol dari etanol, terlebih dahulu dilakukan perhitungan massa dari etanol menggunakan persamaan berikut :

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho \times v$$

$$m = 20 \text{ mL} \times 0.789 \text{ g/mL}$$

$$m = 15.9 \text{ g}$$

Setelah diketahui massa etanol sebesar 15.9 gram, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari nilai mol dari etanol.

$$n = \frac{m}{Mr}$$

$$n = \frac{15.9}{46}$$

$$n = 0.3 \text{ mol}$$

- Perhitungan nilai mol biodiesel ($C_{18}H_{34}O_2$)

Untuk menghitung nilai mol dari biodiesel, terlebih dahulu dilakukan perhitungan massa dari etanol menggunakan persamaan berikut :

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho \times v$$

$$m = 80 \text{ mL} \times 0.882 \text{ g/mL}$$

$$m = 70.6 \text{ g}$$

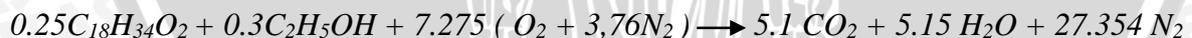
Setelah diketahui massa biodiesel sebesar 70.6 gram, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari nilai mol dari biodiesel.

$$n = \frac{m}{Mr}$$

$$n = \frac{70.6}{282}$$

$$n = 0.25 \text{ mol}$$

Setelah diketahui nilai mol dari biodiesel dan etanol maka persamaan reaksi pembakaran bahan bakar campuran biodiesel dan etanol dapat dituliskan sebagai berikut :

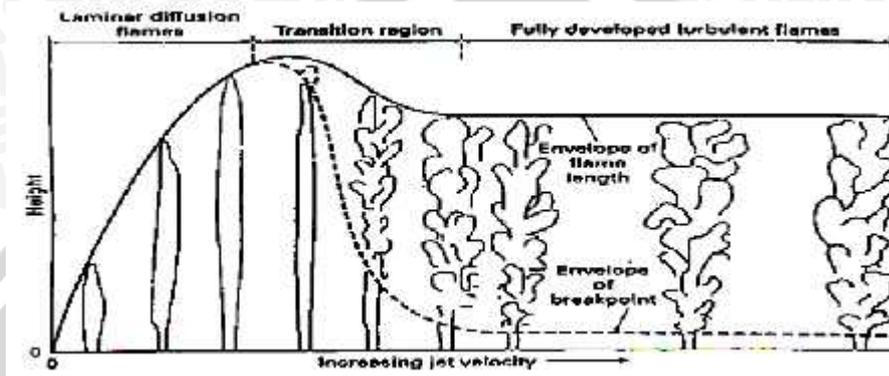


2.4.3 Pembakaran Difusi

Pembakaran difusi merupakan salah satu proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara akan bercampur pada ruang bakar karena terjadi difusi molekul. Pada pembakaran difusi bahan bakar dan udara masuk ke ruang bakar melalui dua saluran yang berbeda kemudian akan bercampur pada zona reaksi. Setelah bahan bakar dan udara bercampur pada zona reaksi, kemudian akan terjadi pembakaran dan membentuk api *premixed* sebagian. Api difusi yang terjadi tidak bisa merambat ke udara karena kekurangan bahan bakar, demikian juga tidak bisa merambat ke bahan bakar karena kekurangan udara. Oleh sebab itu diperlukan api *premixed* sebagian yang berfungsi sebagai

penyetabil api difusi. Jadi posisi api difusi berada pada daerah stoikiometri campuran antara bahan bakar dan udara (Wardana, 2008).

Pada pembakaran difusi terdiri dari api difusi laminar dan turbulen. Kecepatan aliran sangat besar pengaruhnya terhadap perubahan aliran pada api difusi. Pada gambar 2.6 diilustrasikan terjadinya transisi aliran api difusi laminar ke turbulen.



Gambar 2.6 Transisi aliran api difusi dari laminar ke turbulen
Sumber : Wardana (2008)

Dari gambar 2.6 diatas dapat dilihat bahwa aliran api difusi berubah dari laminar ke turbulen seiring dengan bertambahnya kecepatan aliran udara. Api laminar akan berubah menjadi api turbulen pada titik yang dinamakan *break point*. Pada gambar 2.6 juga dapat diketahui bahwa ketika kecepatan bahan bakar meningkat, maka karakter api juga akan berubah. Struktur api laminar terdapat pada kecepatan aliran yang rendah. Panjang api laminar akan meningkat hampir linier seiring dengan adanya peningkatan kecepatan aliran sampai terjadi aliran turbulen. Pada daerah transisi penambahan kecepatan aliran akan membuat panjang dari api laminar semakin berkurang. Kemudian pada daerah turbulen penuh (*fully developed turbulent flame*) peningkatan kecepatan aliran sudah tidak lagi mempengaruhi panjang api. Selain itu dapat diketahui juga bahwa panjang *break point* menjadi konstan setelah sebagian besar kecepatan aliran terus ditambah.

2.4.4 Stability dan Instability Api

Tingkat kestabilan (*stability*) nyala api mempunyai peranan yang sangat penting di dalam suatu proses pembakaran yang terjadi. Kestabilan nyala api dapat terjadi jika nyala api tetap stasioner pada posisi tertentu. Peristiwa tersebut dapat terjadi jika kecepatan perambatan api sebanding dengan kecepatan pada gas reaktan.

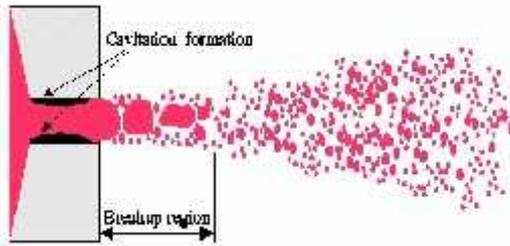
Ada beberapa kondisi yang terjadi pada *instability* nyala api, yaitu *lift off* dan *blow out*. Kondisi tersebut mempunyai hubungan yang sangat erat dengan terjadinya kestabilan (*instability*) nyala api. Api akan menempel pada bibir nosel atau dekat dengan mulut nosel saat kondisi api mempunyai aliran yang cukup rendah. Kemudian jika kecepatan aliran bahan bakar ditingkatkan, maka api akan bergerak menjauhi bibir nosel, peristiwa itulah yang kemudian disebut *lift off*. Apabila kecepatan aliran bahan bakar ditingkatkan lagi, maka akan terjadi kondisi yang biasa disebut dengan *blow out*. Peristiwa atau kondisi *blow out* merupakan suatu keadaan dimana kecepatan pembakaran lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan reaktan yang menyebabkan nyala api menjadi padam.

Pada kondisi *instability* nyala api, selain terjadi fenomena *lift off* dan *blow out* juga terdapat fenomena ledakan (*explosive flame*). Pada fenomena (*explosive flame*) *interface* penguapan bahan bakar naik mendekati mulut *burner*, kemudian perlahan – lahan tinggi api meningkat sampai pada ketinggian tertentu dan terjadi ledakan nyala api. Setelah terjadi ledakan, *interface* penguapan bahan bakar kembali pada posisi terendahnya dan nyala api kembali stabil pada posisi awal di dekat mulut *burner*. Terjadinya *explosive flame* dikarenakan peningkatan kecepatan aliran bahan bakar yang tidak sebanding dengan pemanasan yang dilakukan. Hal tersebut akan mengakibatkan bahan bakar yang belum menguap akan naik ke mulut *burner* bersamaan dengan naiknya uap, sehingga akan menimbulkan fenomena ledakan atau *explosive flame* (Chen, et al, 2008).

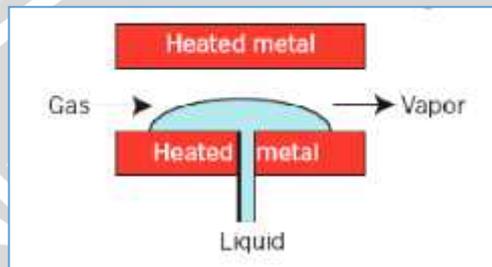
2.5 Pembakaran Bahan Bakar Cair

Pada proses pembakaran yang terjadi, bahan bakar yang berfase cair harus diubah terlebih dahulu menjadi fase gas. Untuk merubah fase dari cair menjadi gas, bahan bakar harus diuapkan terlebih dahulu melalui proses pemanasan. Perubahan fase tersebut dimaksudkan agar bahan bakar dapat bereaksi secara sempurna dengan pengoksidasi yang berfase gas.

Pembakaran bahan bakar cair dapat dilakukan dengan dua buah cara, yaitu dengan memperluas bidang kontak fluida dengan sumber panas (*liquid film*) dengan maksud untuk membuat fluida pada kondisi selebar dan setipis mungkin sehingga bidang kontak fluida dengan sumber panas semakin lebar dan transfer panas dapat terjadi dengan baik dan penguapan lebih cepat terjadi. Cara kedua dapat dilakukan melalui cara atomisasi dengan tujuan yang sama yaitu memperluas bidang kontak permukaan fluida.



Gambar 2.7 Pembakaran bahan bakar cair dengan metode atomisasi
Sumber : Tanner (2009)



Gambar 2.8 Pembakaran bahan bakar cair dengan metode *liquid film*
Sumber : Browne (2011)

Semakin tinggi temperatur pemanasan, maka akan semakin cepat penguapan yang terjadi pada bahan bakar cair. Hal tersebut akan mengakibatkan energi aktivasi yang dibutuhkan pada proses pembakaran semakin kecil. Energi aktivasi merupakan energi yang berfungsi untuk mengaktifkan molekul – molekul bahan bakar sehingga dapat menghasilkan panas atau cahaya.

2.6 Hipotesis

Penambahan etanol pada biodiesel minyak jarak akan menyebabkan biodiesel lebih mudah terbakar karena etanol dapat memicu biodiesel untuk lebih mudah terbakar. Semakin besar prosentase etanol yang dicampur pada biodiesel maka semakin tinggi pula *interface* dan tinggi api yang terjadi di dalam *burner*. Temperatur nyala api akan semakin menurun seiring dengan semakin besar prosentase penambahan etanol, hal itu dikarenakan etanol mempunyai nilai kalor yang lebih rendah dari biodiesel.