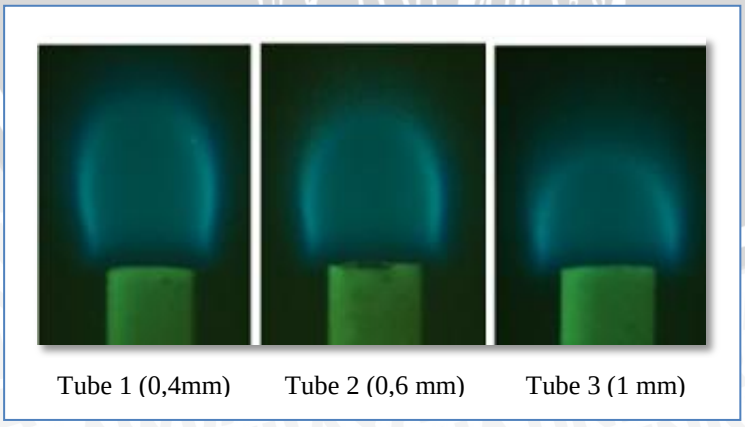
BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

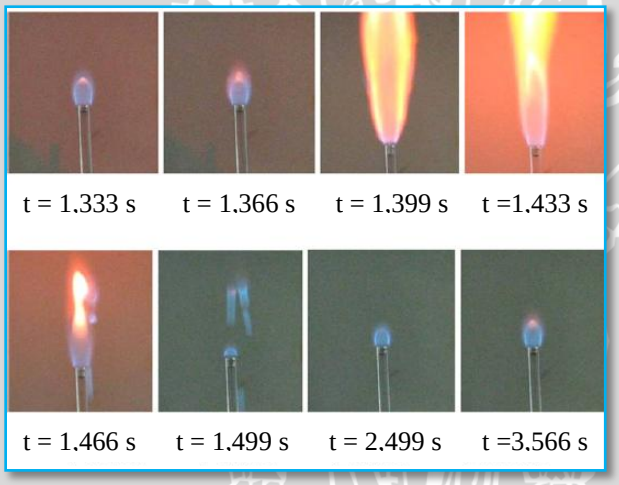
Chen, et al, (2008) telah melakukan penelitian tentang karakteristik pembakaran api difusi dengan bahan bakar etanol pada tabung mini. Pada penelitian tersebut metode untuk mengamati karakteristik pembakaran api difusi dengan memvariasikan diameter dalam tabung mini (*ceramic tube*) yaitu sebesar *tube* 1 (0,4 mm), *tube* 2 (0,6 mm), *tube* 3 (1 mm) dan menggunakan debit bahan bakar yang sama yaitu sebesar 2 ml/jam. Selain itu dalam penelitian tersebut juga mengamati karakteristik pembakaran api difusi dengan menggunakan tabung mini (*quartz glass tube*) yang berdiameter dalam 1,7 mm. Karakteristik pembakaran yang diteliti dalam penelitian tersebut meliputi visualisasi bentuk api, *interface* penguapan bahan bakar etanol selama perubahan fase cair menjadi gas dalam tabung kapiler dan suhu permukaan luar dari tabung mini.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa dengan debit bahan bakar yang sama semakin kecil diameter dalam tabung mini (*ceramic tube*) nyala api semakin tinggi tetapi lebar api semakin kecil begitu pula sebaliknya seiring bertambahnya diameter dalam tabung mini nyala api semakin rendah dan lebar api semakin besar. Dapat dilihat pada Gambar 2.1 bahwa *tube* 1 memiliki bentuk nyala api yang lebih tinggi dengan lebar api yang lebih kecil dibandingkan dengan *tube* 2 dan *tube* 3.



Gambar 2.1 Bentuk nyala api pada tabung mini dengan diameter dalam berbeda dan debit bahan bakar sama
Sumber : Chen, et al (2008)

Sedangkan dengan menggunakan tabung mini (*quartz glass tube*) yang berdiameter dalam 1,7 mm ketika debit bahan bakar meningkat, nyala api menjadi tidak stabil, ketinggian api perlahan-lahan meningkat dan warna api menjadi kuning cerah seperti terlihat Gambar 2.2 yaitu pada t = 1,399 s dan t = 1,433 s terjadi ketidakstabilan nyala api. Kemudian pada t = 1,466 s dan 1,499 s banyak gelembung-gelembung cair dari bahan bakar yang keluar dari mulut tabung. Hal ini dikarenakan semakin tinggi debit bahan bakar, menyebabkan proses penguapan bahan bakar menjadi tidak sempurna. Peningkatan debit bahan bakar menyebabkan kesempatan bahan bakar untuk menguap semakin singkat. Akibatnya ada sebagian bahan bakar yang belum sempat menguap dan naik ke mulut tabung bersama dengan uap sehingga hal ini menyebabkan terjadinya *explosive flame* dan gelembung-gelembung cair dari bahan bakar yang keluar dari mulut tabung tersebut menjadikan api cenderung berwarna kuning cerah. Bentuk nyala api difusi pada tabung mini (*quartz glass tube*) berdiameter dalam 1,7 mm dapat dilihat pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Bentuk nyala api difusi pada tabung mini (*quartz glass tube*) berdiameter dalam 1,7 mm
Sumber : Chen, et al (2008)

Adinegoro (2015) telah meneliti mengenai karakteristik pembakaran difusi campuran biodiesel minyak jarak dan etanol dengan memvariasikan prosentase etanol. Prosentase etanol yang divariasikan yaitu sebesar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Debit bahan bakar yang divariasikan sebesar 1 ml/jam, 2 ml/jam, 3 ml/jam, 4 ml/jam, 5 ml/jam dan pemanasan *burner* untuk menguapkan bahan bakar dibuat konstan. Dalam penelitian tersebut yang diamati yaitu karakteristik pembakaran difusi yang meliputi tinggi api, warna api dan *instability*.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa tinggi api selalu berubah-ubah tetapi pada prosentase etanol 40% perubahan tinggi api relatif kecil sehingga perbedaan tinggi api minimum dengan tinggi api maksimum juga relatif kecil. Hal ini disebabkan karena pemanasan *burner* yang diberikan tepat untuk menguapkan bahan bakar pada prosentase etanol 40%. Sehingga uap yang dihasilkan cukup untuk terjadinya pembakaran yang kontinyu.

Banjari (2015) telah melakukan penelitian tentang karakteristik pembakaran difusi campuran biodiesel minyak jarak pagar dan etanol/metanol pada *mini glass tube*. Pada penelitian tersebut prosentase bahan bakar yang digunakan yaitu minyak jarak pagar (80%) - etanol (20%) dan minyak jarak pagar (80%) – methanol (20%). Debit bahan bakar divariasikan dari 1,5 ml/jam, 3 ml/jam, dan 4,5 ml/jam.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan debit bahan bakar menyebabkan terjadinya ketidakstabilan nyala api dan sering terjadi *explosive flame*. Hal ini disebabkan kecepatan bahan bakar yang masuk ke *burner* lebih besar dari pada laju penguapan bahan bakar sehingga dapat menyebabkan banyaknya bahan bakar cair yang keluar dari *burner* bersama-sama dengan uap bahan bakar sehingga menyebabkan api kehilangan kestabilan dan terjadi *explosive flame.*

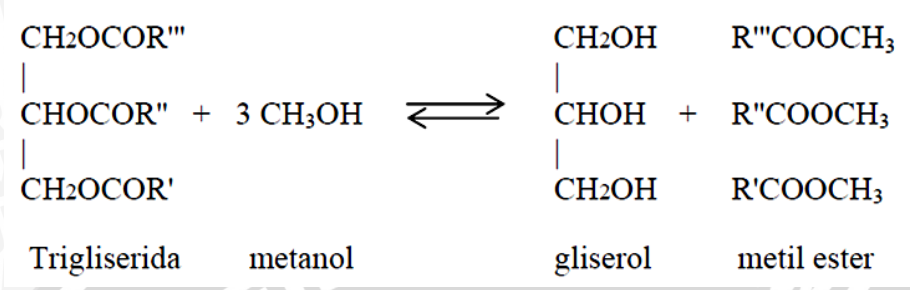
2.2 Biodiesel Minyak Jarak

Minyak jarak merupakan salah satu minyak nabati yang dapat diperoleh dengan cara pengepresan biji jarak yang sudah tua menggunakan alat pengepres minyak. Biji jarak mengandung kadar lemak yang cukup tinggi yaitu sekitar 30 - 50 % (Said, et al, 2010). Sehingga biji dari tanaman jarak ini sangat potensial untuk digunakan sebagai bahan baku pengahasil minyak.

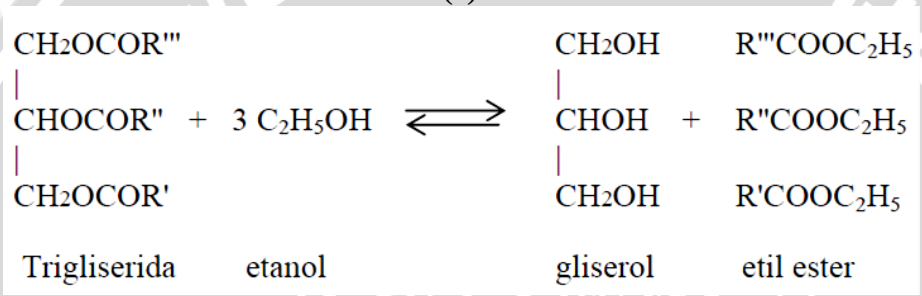
Nilai kalor dari minyak jarak hampir mendekati nilai kalor dari solar. Tetapi dalam pengaplikasiannya untuk dijadikan sebagai bahan bakar secara langsung masih terdapat beberapa kendala. Minyak jarak memiliki viskositas yang jauh lebih besar dibandingkan dengan solar. Hal ini dapat menghambat proses injeksi dan mengakibatkan pembakaran yang terjadi tidak sempurna. Selain itu penggunaan minyak jarak sebagai bahan bakar secara langsung dapat meninggalkan residu karbon pada *injector* (Sari, 2007). Oleh karena itu diperlukan suatu proses untuk memperbaiki *properties* dari minyak jarak sehingga proses pembakaran yang terjadi lebih sempurna.

Properties dari minyak jarak dapat diperbaiki dengan berbagai cara yang salah satunya yaitu melalui proses transesterifikasi. Pada proses ini minyak jarak direaksikan

dengan bahan bakar alkohol (metanol/etanol). Reaksi antara minyak jarak dengan metanol akan menghasilkan metil ester dan gliserol sedangkan reaksi antara minyak jarak dengan etanol akan menghasilkan etil ester dan gliserol. Metil ester dan etil ester inilah yang sering disebut dengan biodiesel. Pada Gambar 2.3 dapat dilihat reaksi pembentukan metil ester dan etil ester.



(a)



(b)

Gambar 2.3 (a) Reaksi pembentukan metil ester, (b) Reaksi pembentukan etil ester
Sumber : Sari (2007)

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif pengganti solar untuk mesin diesel. Biodiesel dapat diproduksi dari minyak nabati maupun lemak hewani. Bahan baku yang sangat potensial untuk dijadikan sebagai sumber biodiesel adalah minyak nabati karena keberadaannya dapat diperbaharui. Minyak nabati yang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk produksi biodiesel antara lain : minyak kelapa, minyak bunga matahari, minyak jagung, minyak kedelai, minyak zaitun dan minyak jarak.

Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif memiliki beberapa keunggulan yaitu biodiesel dapat digunakan baik secara murni maupun dicampur dengan minyak diesel pada mesin kendaraan tanpa memodifikasi mesin, memiliki angka *cetane* yang tinggi sehingga dapat meningkatkan penyalaan bahan bakar, memiliki sifat pelumasan yang lebih baik dibandingkan dengan solar, bersifat ramah lingkungan karena emisi gas buangnya jauh lebih baik dibandingkan dengan solar yaitu bebas sulfur dan tidak beracun (Said, et al 2010). Selain itu penggunaan biodiesel juga akan meningkatkan kualitas udara lingkungan karena dapat mereduksi emisi gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO), ozon (O_3),

nitrogen oksida (NO_x), sulfur dioksida (SO_2), hidrokarbon reaktif lainnya, serta asap partikel yang dapat terhirup (Suharto 2012). *Properties* biodiesel dibandingkan solar dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 *Properties* biodiesel dan solar

Properties Bahan Bakar	Solar	Biodiesel
Densitas 20 ºC (g/cm^3)	0,835	0,882
Angka *Cetane*	51	52
Viskositas 20 ºC (mm^2/s)	3,9	5,9
LHV (MJ/kg)	42,5	38,7
Kandungan oksigen (%)	0	10
Kalor laten penguapan (kJ/kg)	254	254

Sumber : Chen et al (2014)

Meskipun biodiesel memiliki *properties* yang hampir sama dengan solar, tetapi dalam pengaplikasiannya biodiesel memiliki kelemahan. Biodiesel masih sulit untuk dilakukan proses pembakaran tanpa adanya pemanasan awal. Hal ini dikarenakan *flash point* yang dimiliki biodiesel cukup tinggi yaitu 167 ºC (Pan dan Chiu, 2013).

Untuk dapat memperbaiki *properties* dari biodiesel diperlukan suatu bahan bakar yang memiliki *properties* yang lebih baik. Bahan bakar yang dapat digunakan sebagai campuran biodiesel misalnya dari jenis alkohol seperti : metanol, etanol dan 2-propanol.

Pada penelitian ini menggunakan biodiesel minyak jarak yang dicampur dengan etanol dengan prosentase biodiesel 80% dan etanol 20%. Campuran antara biodiesel minyak jarak dan etanol ini diharapkan dapat terbentuk *properties* bahan bakar baru sehingga menghasilkan karakteristik pembakaran difusi yang lebih baik.

2.3 Etanol

Etanol atau sering disebut etil alkohol merupakan salah satu jenis alkohol yang memiliki rumus kimia C_2H_5OH. Etanol merupakan suatu cairan yang mudah menguap dengan aroma yang khas dan tak berwarna. Etanol dapat diperoleh dari proses fermentasi (peragian) gula atau tepung yang terdapat dari hasil pertanian seperti tebu, jagung, gandum, kelapa dan lain sebagainya.

Proses fermentasi (peragian) gula atau tepung untuk menghasilkan etanol memiliki persamaan reaksi sebagai berikut :

$$2(C_6H_{10}O_5)_n + n\ H_2O \longrightarrow n\ C_{12}H_{22}O_{11}$$
pati — maltosa

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \longrightarrow 2C_6H_{12}O_6$$
glukosa

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$
etanol

Dalam pengaplikasiannya etanol sering digunakan untuk penelitian di laboratorium dan dalam bidang rekayasa untuk membuat berbagai senyawa organik. Selain itu, etanol juga digunakan sebagai bahan bakar. Penggunaan etanol sebagai bahan bakar dapat digunakan secara murni maupun dicampur dengan bahan bakar lain.

Menurut Wardana (2008) penggunaan etanol untuk dijadikan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor memiliki beberapa keuntungan dan kerugian. Keuntungan penggunaan etanol sebagai bahan bakar kendaraan bermotor yaitu :

1. Emisi gas buangnya lebih rendah.
2. Kerapatan energinya lebih tinggi dari metanol.
3. Mampu bercampur dengan pelarut organik seperti air, eter, dan gliserol.

Sedangkan kerugian penggunaan etanol sebagai bahan bakar kendaraan bermotor yaitu :

1. Bersifat korosif.
2. Kerapatan energinya lebih rendah dibandingkan bensin dan solar.

Pada mesin diesel penggunaan etanol sebagai bahan bakar campuran memiliki beberapa keuntungan yaitu dapat meningkatkan laju pembakaran, mengurangi pemanasan awal dan mengurangi pembentukan jelaga (Pan dan Chiu, 2013). *Properties* etanol dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 *Properties* etanol

Properties Etanol	Nilai
Titik didih (^oC)	78,4
Densitas 20^o C (g/cm^3)	0,789
Flash point (^oC)	13-14
Viskositas 40^{o}C (mm^2/s)	1,1
Kalor laten penguapan (kJ/kg)	1104
HHV (MJ/kg)	29,7

Sumber : Pan dan Chiu (2013)

Etanol merupakan salah satu bahan bakar yang memiliki karakteristik pembakaran yang baik. Proses pembakaran pada etanol dapat dilakukan dengan mudah dan cepat tanpa adanya pemanasan awal, karena bahan bakar jenis ini mudah menguap dan memiliki *flash point* yang rendah. Menurut Chen, et al (2014) penambahan etanol sangat membantu dalam hal memperbaiki karakteristik bahan bakar campuran biodiesel dan solar dan dapat meningkatkan proses pembakaran.

Oleh karena itu etanol merupakan salah satu bahan bakar yang tepat untuk dimanfaatkan sebagai campuran bahan bakar lain khususnya biodiesel dan pada penelitian ini etanol dimanfaatkan sebagai bahan bakar campuran biodiesel minyak jarak.

2.4 Proses Pembakaran

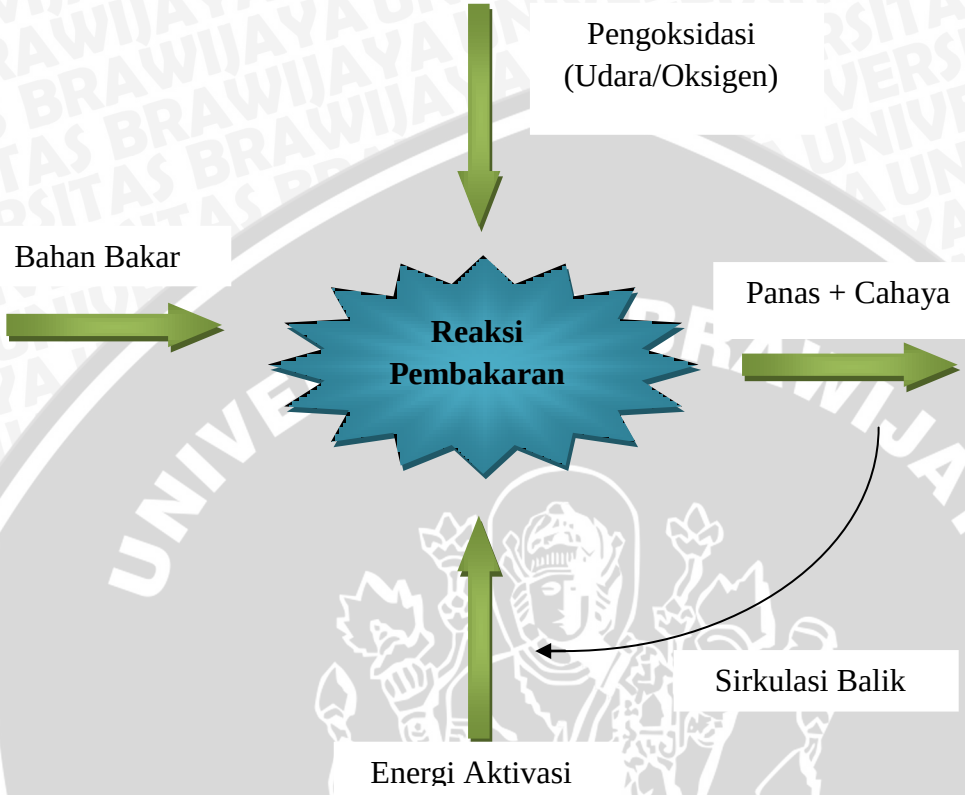
Pembakaran merupakan reaksi kimia antara bahan bakar dengan pengoksidasi (udara atau oksigen) melalui bantuan energi dari luar (energi aktivasi) sehingga menghasilkan panas dan cahaya. Pelepasan panas dari bahan bakar dapat mengakibatkan timbulnya cahaya dalam bentuk nyala api.

Syarat terjadinya proses pembakaran yaitu harus adanya bahan bakar, pengoksidasi dan panas atau yang sering disebut energi aktivasi. Bahan bakar dapat didefinisikan sebagai material yang mampu terbakar untuk menghasilkan energi panas dan umumnya kandungan utama dari bahan bakar adalah senyawa hidrokarbon yang dinotasikan dengan C_nH_m (Cengel, 2006). Pengoksidasi (oksidator) yang sering digunakan dalam proses pembakaran adalah udara yang terdiri dari unsur oksigen (O_2) dan nitrogen (N_2). Unsur nitrogen (N_2) merupakan gas *inert* dimana N_2 tidak ikut bereaksi baik dengan bahan bakar maupun oksigen. Energi aktivasi merupakan energi minimum yang dibutuhkan untuk mengaktifkan molekul - molekul bahan bakar, sehingga molekul - molekul tersebut dapat melepaskan elektron pada kulit terluarnya dan kemudian berikatan membentuk molekul baru dengan oksidator.

Pada awal proses pembakaran dibutuhkan energi dari luar sistem (energi aktivasi) untuk memutuskan ikatan kimia dari bahan bakar seperti melalui korek api, percikan listrik dan sumber panas lainnya. Dari proses pembakaran awal akan menghasilkan energi panas yang akan digunakan sebagai energi aktivasi proses pembakaran bahan bakar berikutnya, sehingga proses pembakaran berikutnya tidak membutuhkan energi dari luar sistem melainkan dari hasil reaksi pembakaran sebelumnya. Berikut ini merupakan persamaan kimia dari reaksi pembakaran :

Bahan bakar + Pengoksidasi (udara) ⟶ Produk Pembakaran

Apabila suatu proses pembakaran dapat menghasilkan produk pembakaran secara sempurna seperti CO_2, H_2O dan N_2 sebagai gas *inert* maka disebut sebagai pembakaran sempurna. Pada Gambar 2.4 menjelaskan ilustrasi proses pembakaran.



Gambar 2.4 Ilustrasi proses pembakaran
Sumber : Wardana (2008)

2.4.1 Reaksi Kimia Pada Proses Pembakaran

Pada proses pembakaran terjadi reaksi kimia antara bahan bakar dengan udara dan disertai adanya energi dari luar (energi aktivasi) untuk mengaktifkan molekul-molekul penyusun dari bahan bakar. Reaksi pembakaran yang sempurna maka akan menghasilkan produk pembakaran yang sempurna juga.

Pembakaran sempurna pada reaksi pembakaran hidrokarbon terjadi apabila semua karbon dalam bahan bakar terbakar menjadi CO_2, semua hidrogen terbakar menjadi H_2O dan semua sulfur (jika ada) terbakar menjadi SO_2. Sedangkan proses pembakaran yang tidak sempurna maka dalam produk pembakaran mengandung beberapa bahan bakar yang tidak terbakar atau terdapat komponen-komponen seperti C, H_2, CO dan OH.

Selama proses pembakaran komponen-komponen yang ada sebelum reaksi disebut dengan reaktan, sedangkan komponen-komponen setelah reaksi disebut dengan produk. Persamaan reaksi pembakaran menganut hukum kekekalan masa, di mana massa suatu zat

sebelum dan sesudah reaksi harus sama meskipun komponen-komponen yang ada pada reaktan dan produk dalam senyawa kimia yang berbeda begitu pula dengan jumlah atom sebelum dan sesudah reaksi haruslah sama (Cengel, 2006).

Stoikiometri merupakan suatu keadaan di mana bahan bakar dan udara berada dalam jumlah yang tepat untuk bereaksi secara keseluruhan dan terjadi pembakaran sempurna ditandai dengan terbentuknya produk pembakaran yang sempurna berupa CO_2, H_2O dan N_2 sebagai gas *inert*.

Persamaan reaksi pembakaran stoikiometri pada hidrokarbon dapat dituliskan sebagai berikut :

$$C_mH_n + (m + \frac{n}{4})(O_2 + 3{,}76\ N_2) \longrightarrow mCO_2 + \frac{n}{2} H_2O + (m + \frac{n}{4})\ 3{,}76N_2$$

Pembakaran sempurna pada kenyataannya sulit terjadi bahkan hampir tidak pernah terjadi. Hal ini dikarenakan proses pembakaran berlangsung secara kompleks. Banyak faktor yang dapat mempengaruhi proses pembakaran diantaranya kondisi dari bahan bakar, oksidator dan juga temperatur (panas) pembakarannya. Misalnya dilihat dari kondisi oksidator, jika dalam proses pembakaran menggunakan udara bebas tentu kandungannya terdiri dari berbagai macam gas, tidak sepenuhnya terdiri dari oksigen saja. Hal ini dapat menjadikan proses pembakaran tidak sempurna.

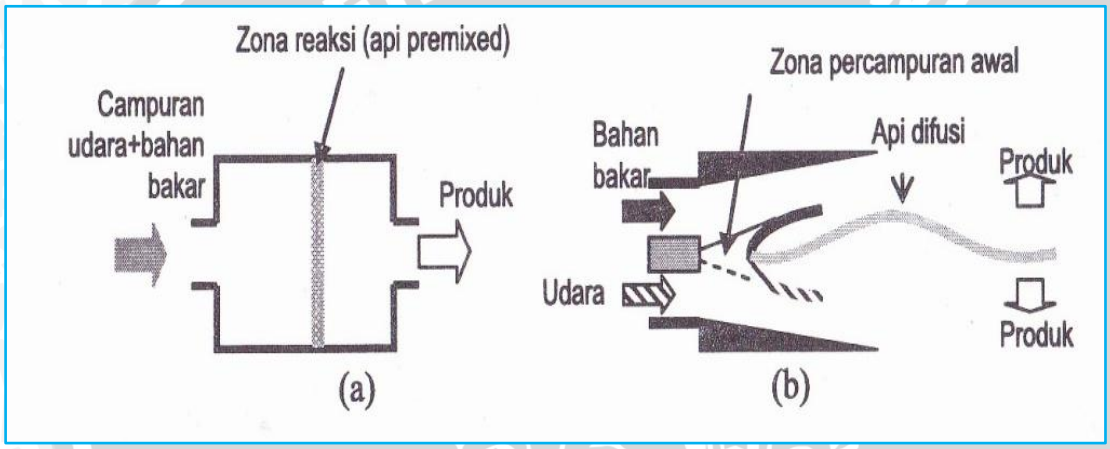
Dalam prosentase volume, kandungan udara kering terdiri dari 20,9 % oksigen (O_2), 78,1 % nitrogen (N_2), 0,9 % argon (Ar) dan sebagian kecil karbondioksida, helium, neon dan hidrogen. Pada analisis proses pembakaran argon dalam udara dianggap seperti nitrogen dan sebagian kecil gas lainnya diabaikan. Sehingga kandungan udara kering dapat diasumsikan hanya terdiri dari 21 % oksigen (O_2) dan 79 % nitrogen (N_2). Oleh karena itu dalam proses pembakaran setiap mol pemasukan oksigen ke dalam ruang bakar disertai dengan 0,79/0,21 = 3,76 mol nitrogen (Cengel, 2006).

Untuk menjadikan pembakaran sempurna maka diperlukan komposisi yang tepat antara bahan bakar dan udara sehingga keduanya dapat bereaksi secara keseluruhan serta dibutuhkan energi aktivasi yang tepat untuk melepaskan ikatan-ikatan molekul penyusun bahan bakar, sehingga proses pembakaran yang berlangsung dapat menghasilkan produk pembakaran secara sempurna.

2.4.2 Klasifikasi Pembakaran

Pembakaran menurut cara reaktan terbakar dapat diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu pembakaran *premixed* dan pembakaran difusi. Pembakaran *premixed* adalah

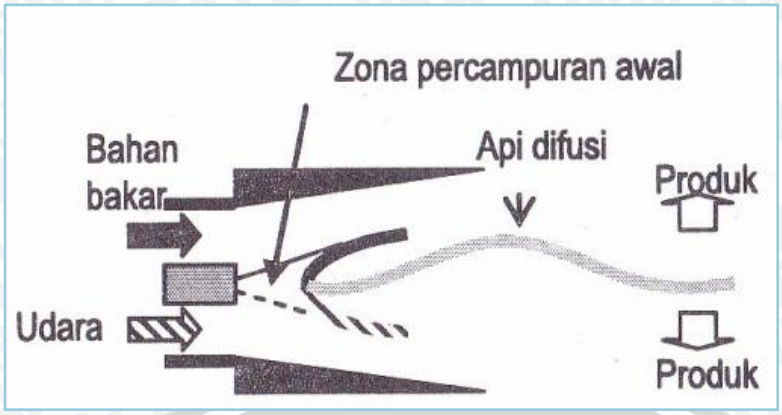
proses pembakaran dimana bahan bakar dan pengoksidasi (udara/oksigen) bercampur terlebih dahulu secara mekanik sebelum dialirkan dan masuk ke ruang bakar (*combustor*). Setelah terjadi percampuran dan masuk ke dalam ruang bakar kemudian akan terbakar. Salah satu contoh pembakaran *premixed* dapat dijumpai pada proses pembakaran motor bensin. Sedangkan pembakaran difusi merupakan proses pembakaran dimana bahan bakar dan pengoksidasi (udara/oksigen) tidak bercampur terlebih dahulu secara mekanik melainkan bercampur sendiri secara difusi di dalam ruang bakar. Setelah terjadi pencampuran secara sempurna antara bahan bakar dan pengoksidasi (udara/oksigen) di dalam ruang bakar kemudian dapat terbakar. Pada Gambar 2.5 dapat dilihat perbedaan anatara pembakaran *premixed* dengan pembakaran difusi.



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

2.4.3 Pembakaran Difusi

Pembakaran difusi adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan pengoksidasi (udara atau O_2) tidak bercampur terlebih dahulu secara mekanik, melainkan bercampur sendiri secara alami dengan proses difusi di dalam ruang bakar. Bahan bakar dan pengoksidasi (udara atau O_2) pada pembakaran difusi memiliki jalur yang berbeda ketika masuk ke dalam ruang bakar. Keduanya akan bercampur secara difusi di dalam zona reaksi yaitu ruang bakar. Setelah terjadi percampuran secara sempurna kemudian langsung terbakar. Contoh proses pembakaran difusi antara lain terjadi pada proses pembakaran nyala lilin, pembakaran mesin diesel, pembakaran di turbin gas dan lain sebagainya. Proses pembakaran difusi dapat dilihat pada Gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6 Pembakaran difusi
Sumber : Wardana (2008)

Pada pembakaran difusi, sebelum terjadi pembentukan api difusi awalnya bahan bakar dan pengoksidasi (udara) bercampur terlebih dahulu di zona percampuran awal dan kemudian terbakar membentuk api *premixed* sebagian. Api *premixed* yang terbentuk terdiri dari api kaya bahan bakar dan api miskin bahan bakar (api kaya akan udara). Api *premixed* kaya bahan bakar berada di bagian sisi bahan bakar. Sementara api *premixed* miskin bahan bakar berada di bagian sisi udara.

Dalam pembakaran difusi, api *premixed* sebagian yang terbentuk memiliki peranan sebagai penyetabil api difusi. Api difusi terletak di daerah campuran antara bahan bakar dan udara stoikiometri. Sehingga api difusi tidak dapat merambat menuju ke bahan bakar dikarenakan kekurangan udara (oksigen) dan juga tidak dapat merambat ke udara dikarenakan kekurangan bahan bakar.

Pembakaran difusi memiliki banyak keuntungan bila dibandingkan dengan pembakaran *premixed*. Salah satu keuntungannya adalah dapat mengontrol api hasil pembakaranya. Sehingga pembakaran difusi banyak dimanfaatkan untuk pembakaran di sektor industri.

2.5 *Stability* dan *Instability* Api Difusi

Kestabilan (*stability*) api dalam proses pembakaran sangatlah diharapkan. Api dapat dikatakan stabil apabila tetap stasioner (tidak berubah) pada posisi tertentu. Kondisi ini dapat terjadi apabila kecepatan reaktan (campuran bahan bakar dan udara) sama dengan kecepatan perambatan api. Kestabilan api difusi berhubungan dengan peristiwa *lift off* dan *blow out.*

Pada saat kecepatan aliran rendah, kondisi api akan laminar dan api menempel pada mulut tabung *burner*. Kemudian pada saat kecepatan aliran ditingkatkan api akan bergerak

menjauh dari mulut tabung *burner*. Peristiwa ini sering disebut dengan *lift off*, terjadi apabila kecepatan aliran lebih besar dari kecepatan perambatan api. Untuk mendapatkan api yang stabil kondisi seperti tersebut haruslah dihindari. Peningkatan kecepatan aliran lebih lanjut dapat menyebabkan api bergerak semakin jauh dengan mulut tabung *burner* dan pada akhirnya api akan padam atau terjadi *blow out* (Wardana, 2008).

Pada proses pembakaran difusi biasanya juga terjadi ketidakstabilan (*instability*) nyala api. Peristiwa *instability* yang sering terjadi yaitu *explosive flame*. Peristiwa *explosive flame* ditandai dengan perubahan ukuran api secara tiba-tiba dan sangat signifikan, baik ketinggian maupun lebar api.

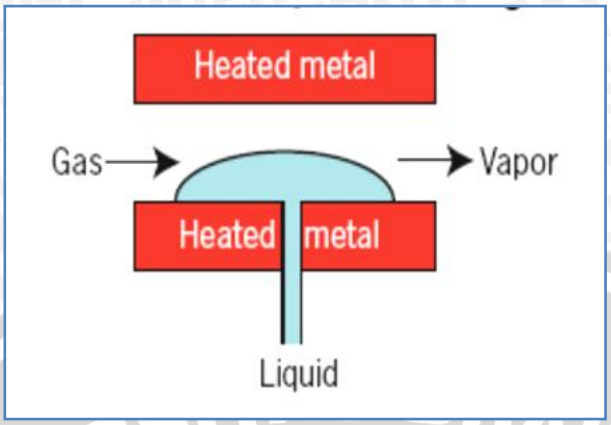
Kondisi ini terjadi pada awalnya *interface* penguapan bahan bakar naik mendekati mulut tabung *burner*, kemudian tinggi api perlahan-lahan meningkat mencapai ketinggian tertentu dan akhirnya terjadi *explosive flame*. Setelah itu *interface* penguapan bahan bakar kembali ke posisi terendahnya dan nyala api kembali stabil di dekat mulut *burner* dan peristiwa ini biasanya terjadi secara berulang-ulang. Terjadinya *explosive flame* dikarenakan kecepatan aliran bahan bakar meningkat sementara kalor yang diberikan untuk pemanasan tidak sebanding dengan kalor yang dibutuhkan untuk penguapan bahan bakar, sehingga proses penguapan bahan bakar menjadi tidak sempurna. Peningkatan kecepatan bahan bakar menyebabkan kesempatan bahan bakar untuk menguap menjadi semakin singkat. Akibatnya sebagian bahan bakar ada yang belum sempat menguap dan ikut naik ke mulut tabung *burner* bersama-sama dengan uap sehingga hal ini menyebabkan terjadinya *explosive flame* (Chen, et al 2008).

2.6 Pembakaran Bahan Bakar Cair

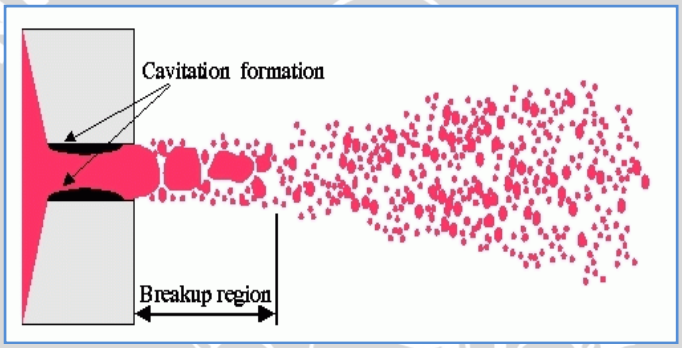
Proses pembakaran pada bahan bakar cair harus diuapkan terlebih dahulu dengan maksud mengubah fase bahan bakar cair menjadi gas. Pembakaran bahan bakar cair dapat dilakukan dengan 2 metode, yaitu dengan memperluas bidang kontak fluida dengan sumber panas (*liquid film*) dan melalui metode atomisasi dengan membuat fluida pada kondisi terpisah-pisah membentuk butiran-butiran kecil.

Prinsip metode *liquid film* yaitu memperluas bidang kontak fluida dengan sumber panas, hal ini 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 sehingga proses penguapan lebih cepat terjadi. Sedangkan prinsip metode atomisasi yaitu dengan membuat fluida pada kondisi terpisah-pisah membentuk butiran-butiran kecil dengan tujuan yaitu memperluas bidang kontak permukaan fluida. Metode

liquid film dan metode atomisasi dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2.7 Pembakaran bahan bakar cair dengan metode *liquid film*
Sumber : Browne (2011)



Gambar 2.8 Pembakaran bahan bakar cair dengan metode atomisasi
Sumber : Tanner (2009)

Banyak sumber panas yang dapat dimanfaatkan untuk pemanasan bahan bakar cair dengan maksud mengubah fase cair menjadi gas diantaranya yaitu melalui *heater,* nyala api atau sumber panas lainnya yang dapat digunakan sebagai pemanas. Namun pada penelitian ini menggunakan sumber panas dari nyala api dengan bahan bakar LPG.

Pemanasan *burner* melalui nyala api selain dimanfaatkan untuk proses penguapan bahan bakar, tetapi juga untuk mengurangi energi aktivasi yang dibutuhkan untuk dapat berlangsungnya proses pembakaran awal. Melalui pemanasan gerakan molekul-molekul bahan bakar menjadi lebih cepat dan tumbukan molekul-molekul menjadi sangat keras. Ketika terjadi tumbukan dapat menyebabkan jarak ikatan molekul tersebut merenggang dan mengkerut secara periodik. Dengan memberikan sedikit energi dari luar (energi aktivasi) pada saat jarak ikatan molekul dalam keadaan merenggang dapat menyebabkan atom-atom dalam molekul terputus dan bermuatan. Akibatnya beberapa atom dengan ikatan lemah lepas sehingga atom-atom tersebut menjadi aktif dan bereaksi dengan

oksidator membentuk ikatan molekul-molekul kuat yang menghasilkan panas dan cahaya (Wardana, 2008).

2.7 Hipotesa

Semakin tinggi pemanasan *burner* yang diberikan, maka kalor yang tersedia untuk proses penguapan bahan bakar akan semakin meningkat, hal ini dapat menjadikan proses penguapan bahan bakar menjadi semakin cepat dan pencampuran bahan bakar dan udara menjadi lebih homogen, sehingga proses pembakaran yang terjadi lebih sempurna dan menghasilkan nyala api yang lebih stabil.