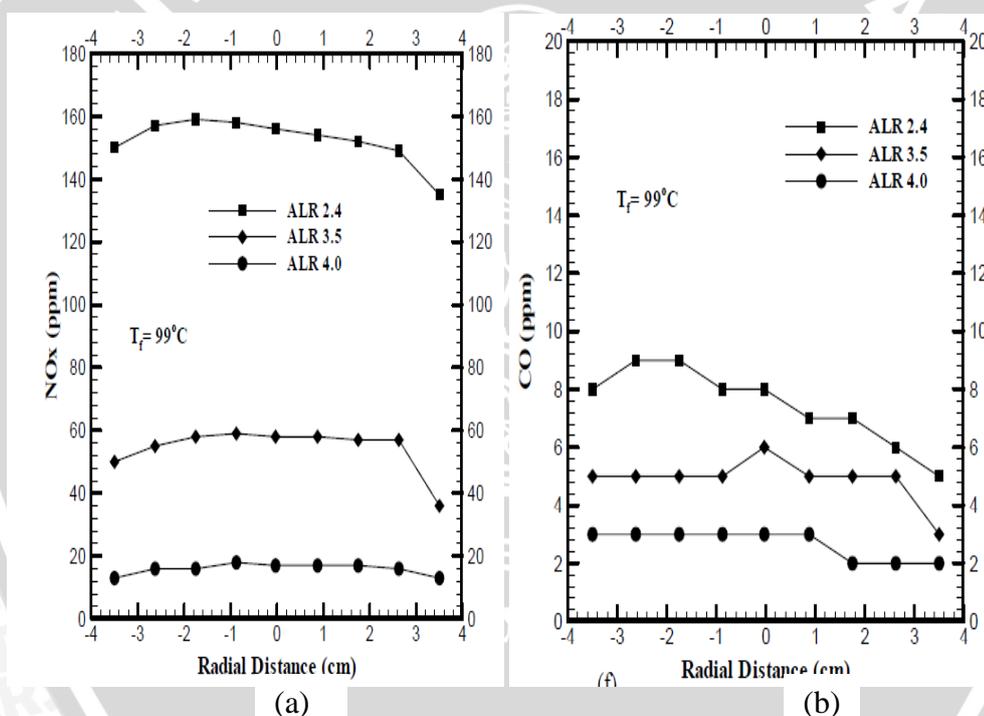


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Panchasara, et.al, (2010) meneliti pengaruh *air to liquid ratio biofuel* kacang kedelai terhadap emisi gas hasil pembakarannya. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa pada temperatur pemanasan bahan bakar yang sama dengan ALR berbeda, kadar emisi CO dan NO<sub>x</sub> semakin meningkat apabila ALR semakin kecil. Dari gambar 2.1 dapat disimpulkan bahwa pada setiap titik *radial distance*, ALR 2.4 memiliki kadar NO<sub>x</sub> tertinggi, sedangkan kadar NO<sub>x</sub> terendah ada pada ALR 4.0. Tidak hanya itu kadar CO juga menunjukkan hal yang sama pada setiap *titik radial distance*. Kadar CO tertinggi terjadi pada ALR 2.4 dan terendah terjadi pada ALR 4.0.



Gambar 2.1 : (a) Kadar NO<sub>x</sub> *radial distance* pada ALR yang berbeda.  
 : (b) Kadar CO *radial distance* pada ALR yang berbeda.  
 Sumber : Panchasara, et.al, (2010:62)

Visualisasi api pembakaran pada ALR 4.0 menunjukkan warna api yang lebih biru dibandingkan dengan ALR 2.4. Hal ini terjadi karena pada ALR 4.0 butiran droplet yang dihasilkan lebih kecil bila dibandingkan dengan butiran droplet pada ALR 2.4, sehingga butiran droplet pada ALR 4.0 lebih cepat bercampur dengan udara. Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa pembakaran biofuel kacang kedelai pada

ALR 4.0 lebih sempurna dibandingkan pada ALR 2.4 karena kadar CO dan NO<sub>x</sub> pada ALR 4.0 lebih rendah daripada kadar CO dan NO<sub>x</sub> pada ALR 2.4.



(a)

(b)

Gambar 2.2 : (a) Visualisasi api ALR4.0. (b) Visualisasi api ALR 2.4

Sumber : Panchasara, et.al, (2010: 52)

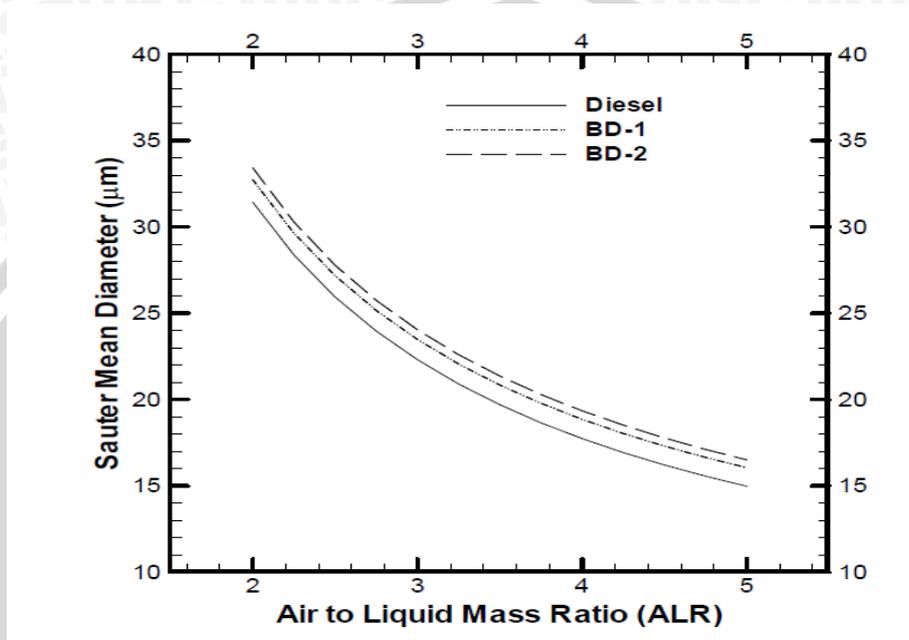
Panchasara juga meneliti pengaruh ALR terhadap *sauter mean diameter droplet* (SMD) pada bahan bakar dengan properti yang berbeda yaitu *diesel fuel*, biodiesel kacang kedelai (BD-1) dan biodiesel olahan dari lemak ayam (BD-2). Perbedaan properti tersebut ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbedaan properti antara *diesel fuel*, biodiesel 1 dan biodiesel 2

Property	Fuel		
	Diesel	BD-1	BD-2
Mol. Weight kg/kmol	142.2	291.45	289.06
Density at 25 °C, kg/m <sup>3</sup>	834.0 ± 8.3	880.0 ± 8.8	868.0 ± 8.6
Viscosity at 25 °C, mm <sup>2</sup> /s	3.88 ± 0.016	5.61 ± 0.016	6.14 ± 0.016
Surface Tension at 25 °C mN/m	28.2 ±0.6	31.1 ±0.6	30.7 ±0.6
LHV, kJ/kg	44601.7	38002.3	37659.7
LHV, MJ/m <sup>3</sup>	37,198 (Turns, S.R.,2000)	33,442	32,689

Sumber : Panchasara, (2010:26)

Hasil dari penelitian tersebut adalah semakin tinggi ALR, maka SMD akan semakin kecil, dan perbedaan properti pada bahan bakar mempengaruhi ukuran dari SMD yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Diesel fuel memiliki SMD terendah pada setiap penambahan ALR sedangkan SMD tertinggi terjadi pada biodiesel ke-2 dari olahan lemak hewan (ayam). Panchasara menyimpulkan bahwa perbedaan SMD yang terjadi dipengaruhi oleh viskositas dari bahan bakar itu sendiri.



Gambar 2.3 : Pengaruh ALR bahan bakar berbeda terhadap SMD  
Sumber : Panchasara, (2010: 39)

## 2.2 Biodiesel Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas Linneaus*)

Minyak jarak berasal dari tanaman jarak pagar yang mempunyai nama latin *Jatropha curcas Linneaus*. Sebelum menjadi biodiesel minyak jarak biji tanaman ini diolah melalui 3 tahap yaitu :



Gambar 2.4 : Biodiesel minyak jarak  
Sumber : BALLITAS Malang

### 1. Ekstraksi minyak.

Biji jarak pagar dikupas dan dikeluarkan daging bijinya dengan cara manual. Daging biji yang diperoleh digiling sampai halus dan selanjutnya dikeringkan di oven pada suhu 105°C selama 2 jam. Untuk memperoleh minyak jarak daging biji halus kering dimasukkan ke dalam alat kempa hidrolik manual berkekuatan 20 ton. Alat kempa dipanaskan sampai mencapai suhu 60°C, kemudian dilakukan pengempaan menggunakan tuas hidrolik dan minyak akan keluar melalui lubang-lubang yang terdapat di bagian pinggir blok piston. Minyak ditampung dalam gelas piala, sedangkan bungkilnya dikeluarkan, digiling dan dikempa kembali dengan cara yang sama.

### 2. Proses tahap 2 (Esterifikasi).

Pembuatan biodisel pada umumnya cukup dilakukan dengan proses transesterifikasi satu tahap, tetapi berdasarkan hasil penelitian terdahulu ternyata menunjukkan bahwa minyak jarak pagar sebelum dilakukan proses transesterifikasi terlebih dahulu harus dilakukan proses esterifikasi untuk menghilangkan asam lemak bebas dengan cara mengkonversinya menjadi metil ester. Katalis yang digunakan adalah katalis asam yaitu  $H_2SO_4$  bukan katalis basa (KOH), dengan maksud untuk menghindarkan terjadinya reaksi asam lemak dengan KOH yang akan membentuk sabun (*saponifikasi*). Pereaksi yang digunakan adalah metanol teknis .

### 3. Proses tahap 3 (Transesterifikasi).

Proses transesterifikasi dilakukan untuk mengkonversi trigliserida dalam minyak jarak pagar menjadi metil ester (biodisel). Proses transesterifikasi menggunakan katalis basa yaitu KOH agar reaksi transesterifikasi cenderung lebih cepat dibandingkan menggunakan katalis asam. Pereaksi yang digunakan adalah metanol teknis dengan konsentrasi yang bervariasi (Sudrajat dkk,2003).

Tabel 2.2 Sifat kimia dan fisika biodiesel

Sifat fisik / kimia	Biodiesel
Densitas (g/ml) 40°C	0.85-0.89
Viskositas ( mm <sup>2</sup> /s ) 40°C	2.3-6.0
Bilangan setana	Min 51
Flash point (°C)	Min 100

Sumber : Biodiesel SNI

Tabel 2.3 Kandungan metil ester pada biodiesel minyak jarak pagar

Metil ester	Rumus Kimia	Mr	Komposisi %
Oleat	C <sub>19</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	296	47.46
Palmitoleat	C <sub>17</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	268	1.11
Metil palmitat	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	270	18.93
Metil lignoserat	C <sub>25</sub> H <sub>50</sub> O <sub>2</sub>	382	0.30
Asam linoleat	C <sub>19</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	294	32.20

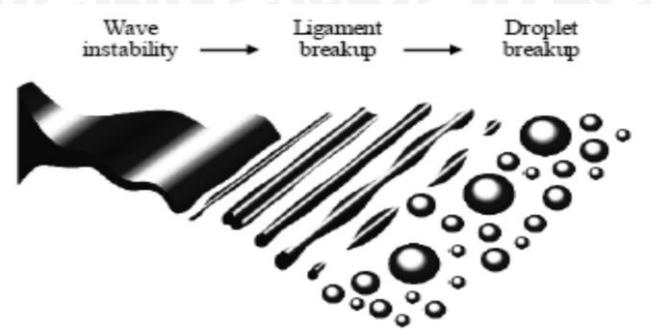
Sumber : Sumangat, (2008:5)

### 2.3 *Twin Fluid Atomizer*

*Twin fluid atomizer* adalah alat yang berfungsi untuk menghasilkan butiran butiran droplet kecil (*spray*) dengan menggunakan dua fluida, yaitu fluida cair (bahan bakar) dan udara. Dalam *twin fluid atomizer* udara digunakan sebagai pemecah stabilitas dari fluida cair (bahan bakar). Udara akan menumbuk fluida cair (bahan bakar) sehingga fluida cair (bahan bakar) akan terpecah menjadi butiran-butiran *droplet* bahan bakar. Butiran-butiran *droplet* bahan bakar tersebut yang nantinya akan membentuk *spray* bahan bakar .

Diperlukan energi untuk memecahkan aliran fluida menjadi *droplet*. Pada *twin fluid atomizer*, biasanya energi ini berbentuk energi tekanan dari pompa dan kompresor. Energi tekanan dikonversikan menjadi energi kecepatan dengan mengalirkan fluida melalui saluran masing-masing fluida. Dalam *twin fluid atomizer* proses pembentukan droplet dibagi menjadi beberapa tahap. Pada tahap awal, fluida cair akan kehilangan kestabilannya dan berubah bentuk menjadi lembaran zat cair (*spray sheet*). Tahap berikutnya, *spray sheet* tersebut akan terpecah menjadi ligamen – ligamen fluida cair,

kemudian ligamen tersebut akan pecah dan berubah bentuk menjadi *droplet*. Proses pembentukan *droplet* ini ditunjukkan pada gambar berikut:

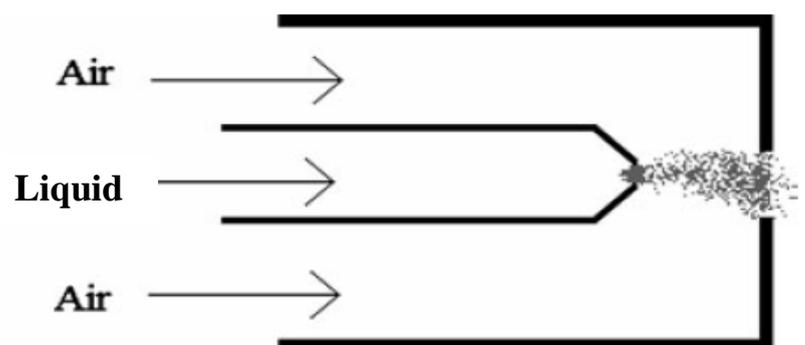


Gambar 2.5 : Mekanisme pembentukan *droplet*  
 Sumber : Ashagriz, (2011: 83)

Salah satu faktor yang mempengaruhi api pembakaran pada *twin fluid atomizer* adalah ALR. ALR adalah perbandingan massa alir antara udara dan bahan bakar. Dirumuskan sebagai berikut.

$$ALR = \frac{\dot{m} \text{ udara}}{\dot{m} \text{ bahan bakar}} \quad (2-1)$$

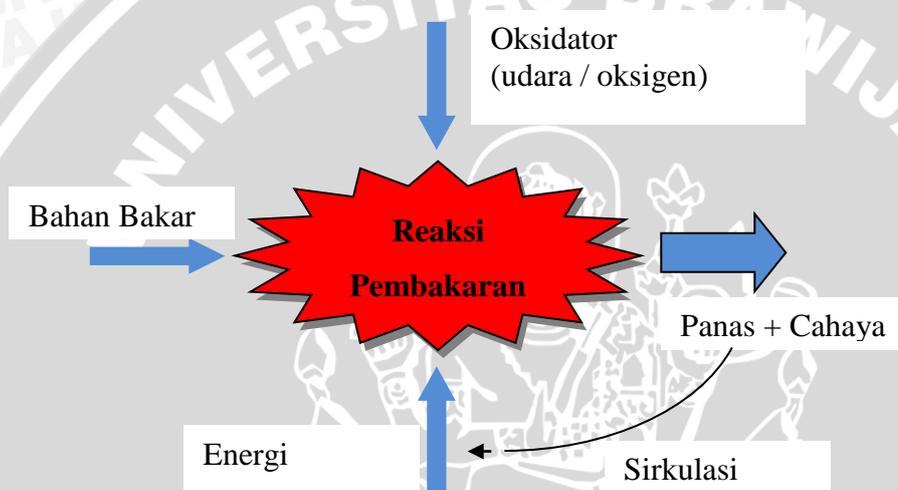
Semakin banyak massa udara yang mengalir, butiran droplet bahan bakar yang dihasilkan akan semakin kecil sehingga luas permukaan bidang kontak dengan udara akan semakin luas. Akibatnya udara lebih mudah bercampur dengan bahan bakar. Pada *twin fluid atomizer*, sebagian udara untuk proses atomisasi digunakan sebagai udara pembakaran, tetapi sebagian udara juga terlepas ke lingkungan saat proses pembakaran.



Gambar 2.6 : Skema prinsip kerja twin fluid atomizer.  
 Sumber : Liu.H, (2011:40).

## 2.4 Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dan pengoksidasi (oksigen atau udara) yang menghasilkan panas dan cahaya (Wardana, 2008:3). Pembakaran akan terjadi apabila ada bahan bakar, pengoksidasi (oksigen/udara), dan panas atau energi aktifasi sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2.7. Energi panas diperlukan untuk mengaktifasi molekul – molekul bahan bakar. Panas yang dipakai untuk mengaktifasi molekul bahan bakar disebut energi aktivasi. Energi aktifasi ini didapat dari berbagai sumber. Umumnya energi aktivasi diambil dari panas hasil pembakaran lewat radiasi atau lewat konveksi. Dalam beberapa mesin pembakaran energi aktivasi diperoleh dari pemantik tegangan tinggi atau kompresi dengan perbandingan tekanan yang tinggi.



Gambar 2.7 : Ilustrasi proses pembakaran.

Sumber : : Wardana, (2008:3).

Pembakaran dapat dibedakan menjadi dua macam berdasarkan pencampuran bahan bakar dengan udara. Jika bahan bakar dan udara bercampur sebelum zona pembakaran maka pembakaran itu disebut pembakaran premiks, sedangkan bahan bakar dan udara yang bercampur pada zona pembakaran disebut dengan pembakaran difusi.

Pada proses pembakaran memerlukan oksidator sebagai pengoksidasi. Oksidator ini merupakan oksigen atau udara, tetapi jika pada proses pembakaran tersebut kekurangan jumlah oksigen atau udara maka akan terjadi proses pembakaran yang tidak sempurna. Pembakaran tidak sempurna ini dapat mengakibatkan tidak terbakarnya bahan bakar serta dapat terbentuk CO, sedangkan jika jumlah oksigen atau udara sesuai dengan jumlah bahan bakarnya maka terjadi pembakaran sempurna.

### 2.4.1 Reaksi Pembakaran

Pembakaran adalah proses lepasnya ikatan – ikatan kimia lemah bahan bakar akibat pemberian energi tertentu dari luar menjadi atom – atom bermuatan yang aktif kemudian bereaksi dengan oksigen membentuk ikatan molekul – molekul kuat yang mampu menghasilkan cahaya dan panas dalam jumlah yang besar (Wardana, 2008:7).

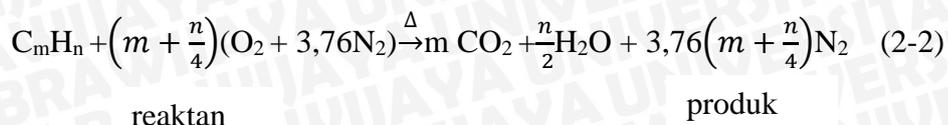
Pada proses pembakaran ada dua hal penting yang harus dipenuhi agar proses pembakaran dapat berlangsung yakni dengan adanya kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi. Kesetimbangan massa yang diperlukan dalam pembakaran tersebut oleh para ahli kimia disebut stoikiometri. Pembakaran stoikiometri adalah pembakaran dimana semua atom dari pengoksidasi bereaksi secara kimia untuk menjadi berbagai produk. Dalam proses pembakaran, umumnya pengoksidasi yang paling sering digunakan adalah udara. Udara mengandung campuran 21% oksigen dan 79% nitrogen (fraksi mol atau volume). Oleh karena itu, pada reaksi pembakaran dengan udara, penggunaan 1 mol O<sub>2</sub> akan melibatkan 3,76 mol N<sub>2</sub>. Komposisi dari udara dapat dilihat dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Komposisi udara

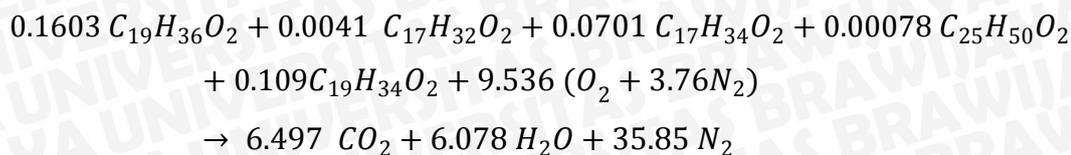
Udara	Proporsi Volume %		Proporsi Massa %	
	Aktual	Penggunaan	Aktual	Penggunaan
Nitrogen	78,03	79	75,45	76,8
Oksigen	20,99	21	23,20	23,2
Argon	0,94	0	1,30	0
CO <sub>2</sub>	0,03	0	0,05	0
Gas lainnya	0,01	0	-	0

Sumber: Wardana, (2008:55)

. Untuk dapat mencapai pembakaran yang sempurna semua atom C diharapkan dapat terbakar menjadi CO<sub>2</sub> dan semua atom H<sub>2</sub> dapat terbakar menjadi H<sub>2</sub>O. Reaksi pembakaran bahan bakar hidrokarbon yang terdiri dari karbon dan hidrogen adalah sebagai berikut sebagai berikut:



Pembakaran stoikiometri dari 100 gram biodiesel minyak jarak pagar adalah



Jumlah mol udara = 8.035. Massa udara =  $n \times m_f$  udara

Massa udara =  $9.536 \times (32 + 3.76 \times 28) = 1309$  gram

Dari perhitungan diatas, udara yang dibutuhkan untuk pembakaran 100 gram biodiesel agar stoikiometri sebesar 1309 gram. Massa reaktan dan masa produk berada pada kondisi setimbang, massa udara yang digunakan sebagai pengoksidasi jumlahnya tepat dan tidak menghasilkan gas CO pada produk Akan tetapi dalam kondisi sebenarnya pembakaran sempurna hampir tidak dapat terjadi. Hal ini dikarenakan pembakaran berlangsung secara kompleks, tidak hanya bergantung pada model ruang bakarnya tetapi juga bergantung pada kondisi bahan bakar, udara, bahkan temperatur pembakarannya.

#### 2.4.2 Air Fuel Ratio (AFR)

Air Fuel Rasio merupakan parameter yang paling sering digunakan dalam mendefinisikan campuran. AFR merupakan perbandingan antara massa dari udara dengan bahan bakar pada suatu titik tinjau. AFR dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$AFR = \frac{m \text{ udara}}{m \text{ bahan bakar}} \quad (2-3)$$

Dengan :

$m \text{ udara}$  : massa molekul udara

$m \text{ bahan bakar}$  : massa molekul bahan bakar

Bila nilai aktual lebih besar daripada AFR stoikiometri maka terdapat udara yang jumlahnya berlebih dari pada yang dibutuhkan sistem dalam proses pembakaran maka dapat dikatakan campuran tersebut miskin bahan bakar. Tetapi bila nilai aktual lebih kecil dari AFR stoikiometri maka tidak terdapat cukup udara pada sistem dapat disimpulkan bahwa campuran tersebut kaya bahan bakar.

### 2.4.3 Equivalence Ratio

*Equivalence ratio* adalah perbandingan antara rasio campuran bahan bakar dengan udara stoikiometri terhadap rasio campuran bahan bakar dengan udara aktual. Apabila *equivalence ratio* lebih besar dari satu maka menunjukkan bahwa campuran tersebut merupakan kaya bahan bakar atau kelebihan bahan bakar, sedangkan rasio kurang dari satu menunjukkan bahwa terdapat oksidator yang berlebih dalam campuran, persamaan untuk menghitung *equivalence ratio* adalah sebagai berikut.

$$\Phi = \frac{(AFR)_{stoic}}{(AFR)_{aktual}} \quad (2-4)$$

Keterangan :

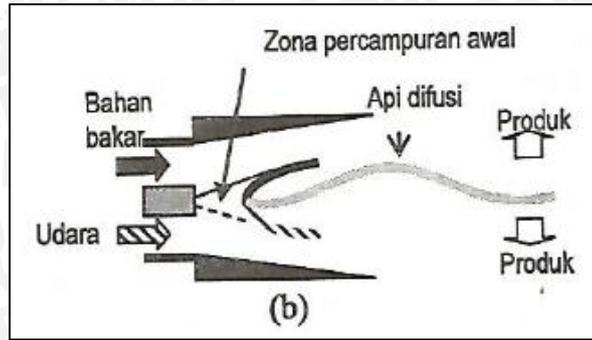
- $\Phi$  : Rasio ekuivalen.
- $(AFR)_{stoic}$  : Rasio oksigen dan bahan bakar dalam kondisi stoikiometri.
- $(AFR)_{aktual}$  : Rasio oksigen dan bahan bakar dalam kondisi aktual.

AFR aktual adalah perhitungan AFR yang didapatkan dari hasil penelitian yaitu dengan cara membagi massa alir udara dengan massa alir bahan bakar. Massa alir udara didapatkan dari debit aliran dikalikan dengan densitas udara. Sedangkan masa alir bahan bakar didapatkan dari debit aliran bahan bakar dikalikan dengan densitas bahan bakar itu sendiri.

- $\Phi < 1$  merupakan campuran miskin bahan bakar (*fuel lean mixture*).
- $\Phi > 1$  merupakan campuran yang kaya bahan bakar atau kelebihan bahan bakar *fuel rich mixture*.
- $\Phi = 1$  merupakan campuran stoikiometri.

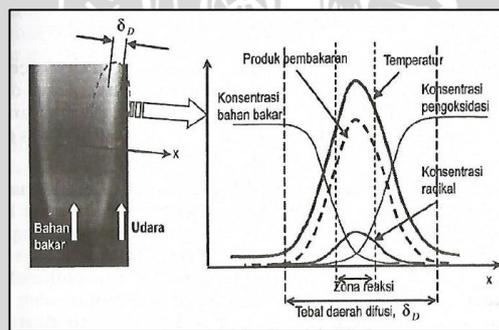
### 2.4.4 Pembakaran Difusi

Pembakaran dengan cara difusi adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara atau  $O_2$  tidak dicampur secara mekanik, melainkan bercampur dengan sendirinya secara alami dengan proses difusi. Pada pembakaran difusi, bahan bakar dan udara masuk ke dalam ruang bakar pada saluran yang berbeda dan keluar dalam bentuk produk setelah terbakar di zona reaksi seperti pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Cara reaktan terbakar pada pembakaran difusi  
 Sumber : Wardana, (2008:149)

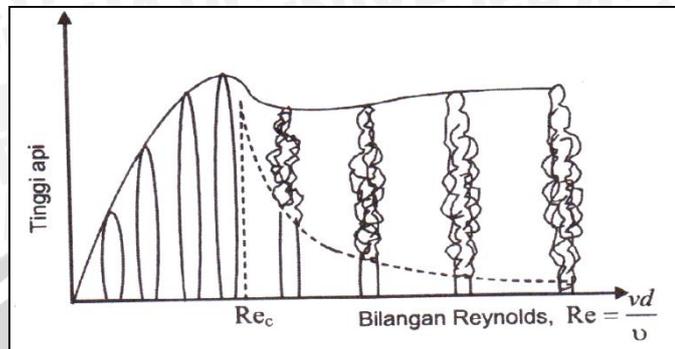
Pada pembakaran difusi, bahan bakar tersebut bercampur di zona reaksi akibat dari difusi molekul. Setelah bercampur secara sempurna kemudian langsung terbakar. Sebelum api difusi terbentuk terlebih dahulu bahan bakar dan udara bercampur di daerah percampuran awal dan terbakar membentuk api premix sebagian. Api premix pada sisi bahan bakar menjadi api kaya bahan bakar dan yang ada pada sisi udara keluar menjadi api kaya udara atau miskin bahan bakar. Peran api premix sebagian ini adalah sebagai penyetabil api difusi. Api difusi tidak bisa merambat menuju ke bahan bakar karena kekurangan oksigen demikian juga sebaliknya tidak bisa merambat ke udara karena kekurangan bahan bakar. Struktur api difusi dapat dilihat pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 : Struktur api difusi.  
 Sumber : Wardana (2008:155).

Penambahan kecepatan pancaran bahan bakar pada api difusi, membuat karakter api laminar berubah menjadi api turbulen. Selama periode transisi, daerah di ujung api menjadi turbulen sedangkan pangkalnya bertahan laminar. Semakin besar kecepatan pancaran bahan bakar akan menghasilkan pengurangan panjang pada daerah laminar. ketidakstabilan api apabila kecepatan pancaran bahan bakar ditambah semakin

menyebar mendekati nosel sampai panjang api menjadi stabil. Apabila panjang api stabil maka dapat dikatakan api tinggi api tersebut sudah tidak bergantung pada kecepatan pancaran bahan bakar.



Gambar 2.10 Transisi aliran api difusi dari laminar ke turbulen  
Sumber : Wardana, (2008:190).

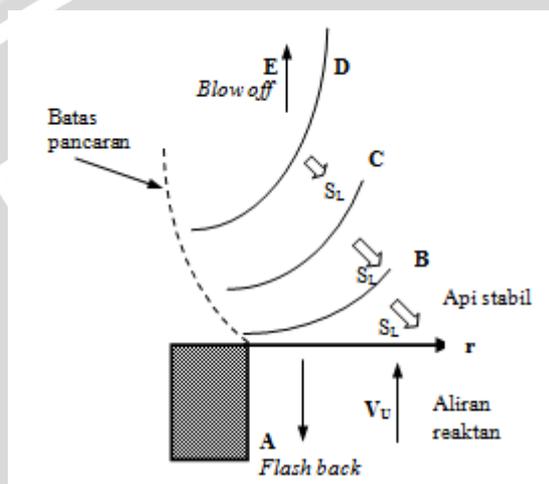
#### 2.4.5 Pembakaran Droplet.

Proses pembakaran yang juga sering muncul pada aplikasinya adalah proses pembakaran di mana perpindahan massa bahan bakar, udara dan panas didominasi oleh api difusi berbentuk bola di sekeliling sebuah droplet bahan bakar cair. Pada pembakaran droplet tidak menghasilkan api berbentuk bola yang ideal, karena proses pembakarannya menginduksi gaya apung yang akan mendorong panas ke atas sehingga api berbentuk lonjong dan memanjang ke atas. Ada 3 fase pada pembakaran droplet. Adapun fase tersebut adalah

1. Fase penyalaan dan pemanasan. Pada fase ini droplet dipanaskan oleh api. Selama fase ini terdapat dua peristiwa yang hanya menyebabkan perubahan kecil pada droplet. Yang pertama adalah pemuaihan panas droplet. Yang kedua adalah sebagian besar panas yang di transfer ke droplet dipakai untuk menaikkan temperatur droplet maka tidak terjadi penguapan pada fase pertama ini.
2. Selama fase ke dua droplet telah dianggap mencapai temperatur penguapan. Pada keadaan ini seluruh panas yang ditransfer ke droplet dipakai untuk menguapkan droplet. Fase pembakaran ini menghabiskan waktu 90% umur evolusi droplet.
3. Fase ke tiga adalah fase droplet habis menguap atau fase droplet habis terbakar.

## 2.5 Kestabilan Nyala Api

Di dalam proses pembakaran, kestabilan memegang peranan yang sangat besar. Api dikatakan stabil jika tetap stasioner pada posisi tertentu. Peristiwa ini bisa terjadi apabila kecepatan gas reaktan sama dengan kecepatan rambatan api. Seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.10, nosel dibelah dua dan ditempatkan pada posisi rebah sehingga terlihat berbagai kondisi pada distribusi kecepatan dan gelombang pembakaran.

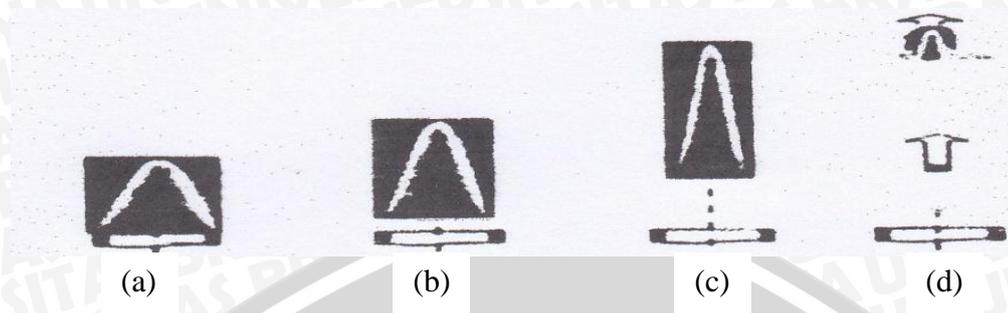


Gambar 2.11 Mekanisme kestabilan api.  
Sumber : Wardana, (2008:171).

Dari gambar terlihat bahwa jika kecepatan api lebih besar dari kecepatan gas reaktan maka api akan bergerak mendekati mulut nosel sedangkan jika kecepatan api lebih kecil dari kecepatan gas reaktan maka api akan bergerak meninggalkan mulut nosel. Kestabilan nyala api berhubungan erat dengan fenomena *flashback*, *lift off*, *blow off*, dan warna nyala pada tabung pembakar (*burner*).

Kestabilan nyala api pada pembakaran difusi terdiri dari berbagai kondisi, yakni api stabil menyentuh bibir nosel, *lift off* dan *blowoff*. Kondisi api yang mempunyai massa alir udara cukup rendah akan menyentuh atau menempel pada bibir nosel atau dekat dengan mulut nosel. Ketika massa alir udara ditingkatkan api akan bergerak menjauh dari bibir nosel yang disebut dengan *lift off*. *Lift off* adalah suatu kondisi dimana posisi api tidak menyentuh bibir nosel, tetapi stabil pada jarak tertentu dari bibir nosel. Dan jika peningkatan laju massa alir udara ditingkatkan lebih lanjut maka akan terjadi kondisi yang disebut dengan *blowoff*. *Blowoff* adalah suatu keadaan

dimana nyala api padam akibat dari batas kecepatan aliran lebih besar dari laju nyala atau kecepatan pembakaran.



Gambar 2.12 (a) Api stabil (b) Api *lifted* (c) Api *lift off* (d) *Blow off*  
Sumber: Wardana, (2008 :169)

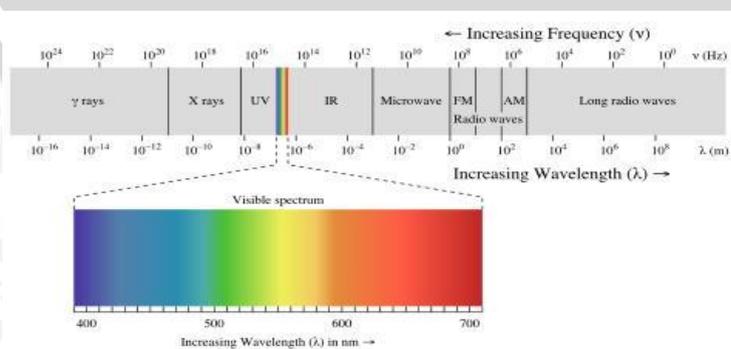
## 2.6 Warna Api .

Pembakaran akan menimbulkan panas dan cahaya. Cahaya yang Nampak adalah suatu adalah bagian dari spektrum elektromagnetik yang tampak oleh mata manusia.. Tidak ada batasan yang tepat dari spektrum optik. Mata normal manusia akan dapat menerima panjang gelombang dari 400 sampai 700 nm, meskipun beberapa orang dapat menerima panjang gelombang dari 380 sampai 780 nm (atau dalam frekuensi 790-400 terahertz). Tabel berikut memberikan batas kira-kira untuk warna-warna spektrum.

Tabel 2.4 Spektrum cahaya tampak

ungu	380-450 nm
biru	450-495 nm
hijau	495-570 nm
kuning	570-590 nm
jingga	590-620 nm
merah	620-750 nm

Sumber Marsellina,Ria (2013:3)



Gambar 2.13 Spektrum Gelombang  
Sumber Marsellina,Ria (2013:3)

## 2.7 Hipotesa

Penambahan ALR pada pembakaran spray biodiesel minyak jarak akan menghasilkan warna api yang semakin biru, Panjang api semakin pendek dan temperaturnya semakin tinggi. Hal ini terjadi karena pada penambahan ALR butiran butiran droplet yang terbentuk semakin kecil sehingga luas penampang bidang kontak udara semakin besar. Luas bidang kontak yang semakin besar mengakibatkan udara dan bahan bakar lebih mudah bercampur, sehingga proses pembakarannya terjadi lebih cepat dan mendekati sempurna

