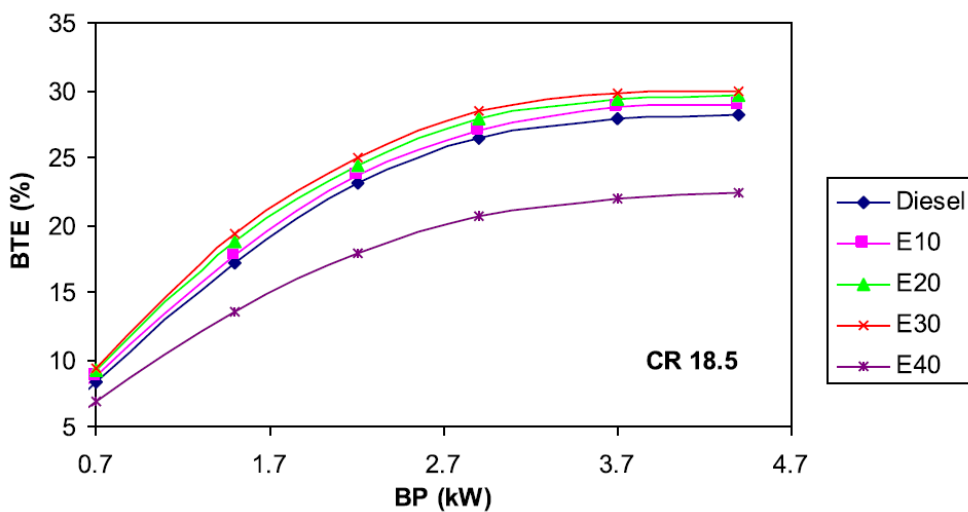
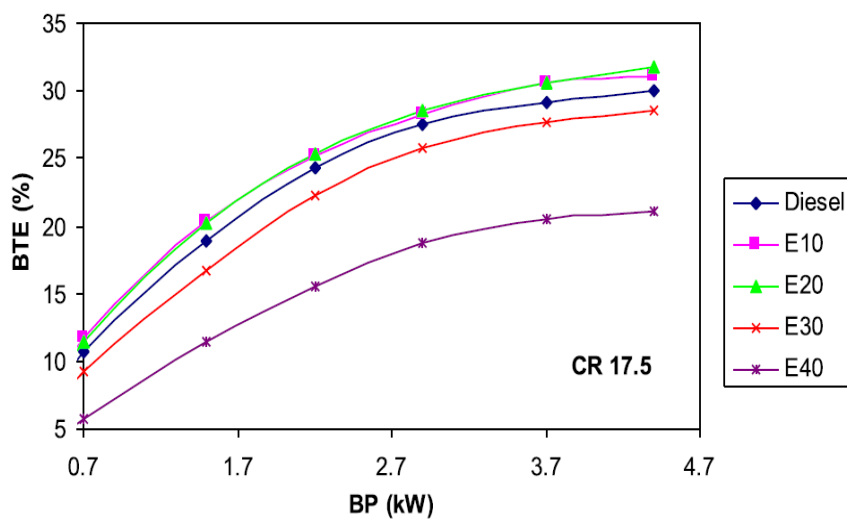
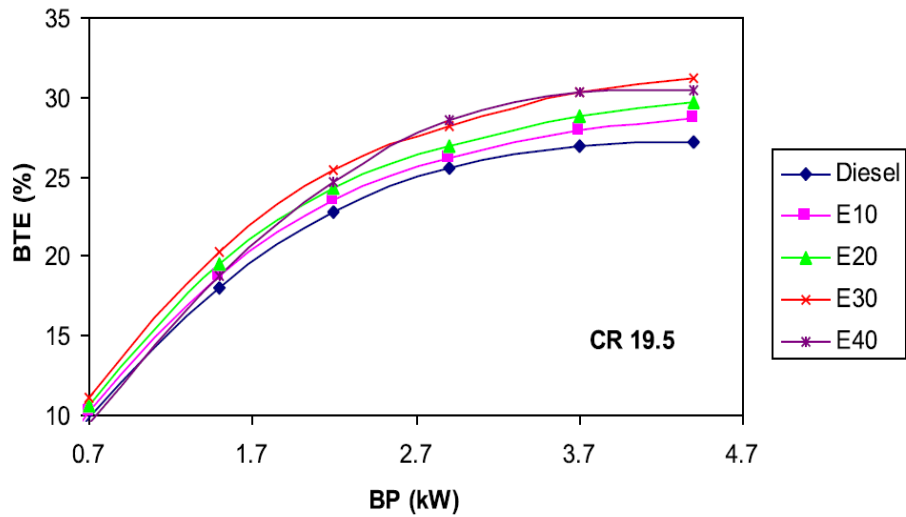


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Gnanamoorthi, et al, (2012) melakukan penelitian pengaruh rasio kompresi terhadap kinerja pembakaran dan karakteristik emisi satu silinder empat langkah mesin diesel. Rasio kompresi pada penelitian ini 17,5: 1, 18,5: 1 dan 19,5: 1 dianggap dan bervariasi dengan mengubah dimensi pada piston dengan menjaga stroke pada volume standar. Pengujian dilakukan dengan lima campuran yang berbeda dari etanol [E0, E10, E20, E30 dan E40]. Untuk menjaga keseragaman dan untuk mencegah pemisahan fasa, 1% dari *Ethyl Acetate* ditambah 1% dietil karbonat ditambahkan untuk etanol campuran diesel. Efisiensi termal brake ditemukan meningkat pada beban penuh dengan persentase yang lebih tinggi dari etanol pada rasio kompresi maksimum. Peningkatan rasio kompresi dan bahan bakar etanol dicampur meningkatkan pembakaran dan meningkatkan kinerja mesin. Selanjutnya terjadi penurunan yang signifikan dalam hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO) dan emisi gas buang namun ada peningkatan Nitrogen oksida (NO_x).

Dalam teori pembakaran, ada tiga mekanisme pembentukan NO_x. Yaitu pembentukan NO_x *Thermal* (Zeldovich mekanisme), pembentukan NO_x *Prompt* dan pembentukan NO_x karena nitrogen dalam bahan bakar. Pembentukan NO_x termal dan pembentukan NO_x *Prompt* terjadi ketika ada peningkatan campuran etanol dan rasio kompresi. Gambar 2.1 menunjukkan emisi NO_x yang meningkat dengan meningkatnya beban mesin dan rasio kompresi. Saat menggunakan campuran etanol dalam emisi NO_x mesin diesel menurun karena panas laten yang lebih tinggi dan nilai pemanasan yang lebih rendah. Jumlah *cetane* rendah menyebabkan campuran etanol untuk meningkatkan keterlambatan pengapian. Akibatnya lebih dari kenaikan tekanan menyebabkan tekanan silinder puncak yang lebih tinggi dan puncaknya suhu pembakaran tinggi. *Net* diesel dan etanol 10% telah menurunkan NO_x sekaligus meningkatkan rasio kompresi karena penghalang utama pembakaran mesin ketukan pada beban yang lebih tinggi.



Gambar 2.1 Variasi emisi NO_x untuk berbagai etanol diesel campuran pada berbagai rasio kompresi.

Sumber : Gnanamoorthi, et al, (2012)

Rajesh, et al, (2014) melakukan penelitian tentang sifat fisika dan kimia campuran etanol, biodiesel, dan diesel (*petroleum*) sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin diesel. Etanol ditambahkan pada campuran sebesar 0% sampai 20% berdasarkan perbandingan volume pada campuran ketiga bahan bakar tersebut. Hasil pencampuran pada penelitian ini mengakibatkan beberapa karakteristik sifat fisika dan kimia yang baru. Ada beberapa yang mengalami peningkatan dan juga ada yang mengalami penurunan temperatur seiring dengan bertambahnya etanol, bilangan setana dan nilai kalor juga menurun seiring dengan bertambahnya etanol.

Botero, et al, (2011) melakukan penelitian tentang pembakaran droplet dari etanol, diesel, castor oil, dan campuran semua bahan bakar. Dari penelitian tersebut dihasilkan bahwa penambahan biodiesel untuk diesel secara substansial mengurangi tingkat pembentukan jelaga, terutama karena berkurangnya aromatik isi campuran dan fungsi oksidasi biodiesel tersebut. Biodiesel minyak jarak tampaknya lebih efektif dalam menekan jelaga dari metil ester yang banyak digunakan, seolah-olah karena kehadiran kelompok fungsi OH ekstra dalam struktur molekul. Selanjutnya Diesel dan biodiesel campuran etanol dengan pencampuran kedua *microexplode* selama pembakaran. *Microexplosion* mengurangi waktu pembakaran secara keseluruhan dan karenanya meningkatkan tingkat konsumsi bahan bakar secara keseluruhan.

2.2 Bahan Bakar

2.2.1 Biodisel 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 2.2 a. Biji jarak pagar b. Biodiesel minyak jarak
Sumber : Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat (Balittas)

1. Ekstraksi minyak

Pada ekstraksi minyak langkah pertama yang dilakukan yaitu mengupas biji dan daging dari tanaman jarak. 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. Esterifikasi

Pembuatan biodiesel 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. Transesterifikasi

Setelah asam lemak bebas dikonversi menjadi metil ester, yang tersisa dalam minyak jarak pagar adalah trigliserida. Proses transesterifikasi dilakukan untuk mengkonversi trigliserida dalam minyak jarak pagar menjadi metil ester (biodiesel). 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 2.1 Sifat fisika dan kimia dari biodiesel dan solar

| Sifat fisik / kimia | Biodiesel | solar |
|-------------------------|------------|------------|
| Densitas (g/ml) | 0.8624 | 0.875 |
| Viskositas (cst) | 5.55 | 4.6 |
| Bilangan setana | 62.4 | 53 |
| <i>Flash point</i> (°C) | 172 | 98 |
| Nilai Kalor (MJ/kg) | 40,1 MJ/kg | 45.3 MJ/kg |

Sumber : Internasional biodiesel (2001)

Sifat fisika dan kimia pada biodiesel dan solar sangat berpengaruh terhadap proses pembakaran bahan bakar tersebut. Propertis yang terdapat pada sifat fisika dan kimia biodiesel maupun solar mempunyai kelebihan dan kekurangan masing – masing.

Dilihat dari viskositas yang dimiliki oleh biodiesel jika dibandingkan solar, nilai viskositas biodiesel lebih besar dari solar. Hal ini mengakibatkan biodiesel lebih sulit diatomisasi dibandingkan dengan solar. *Flash point* yang dimiliki oleh biodiesel jika dibandingkan dengan solar, nilai *flash point* biodiesel lebih besar bila dibandingkan dengan solar. Hal ini mengakibatkan energi aktivasi yang dibutuhkan oleh biodiesel jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan solar. Hal ini dapat berpengaruh untuk melakukan pembakaran pada jumlah bahan bakar yang sama maka dibutuhkan energi aktivasi yang lebih tinggi untuk membakar biodiesel dibanding dengan solar.

2.2.2 Etanol

Etanol yang disebut ethyl alkohol dalam kehidupan sehari-hari mempunyai rumus kimia C_2H_5OH . Etanol diperoleh dari peragian gula atau tepung. Jadi sumber bahan bakar etanol dari tanaman sangat berlimpah seperti lontar, enau, kelapa, tebu, casava dan lain sebagainya. Etanol juga bisa diperoleh dari limbah pertanian yang sangat berlimpah jumlahnya (Wardana. 2008:36).

Etanol banyak digunakan dalam laboratorium dan dalam bidang rekayasa untuk membuat berbagai senyawa organik dan digunakan sebagai bahan bakar. Etanol dapat dikenali dari baunya yang khas. Etanol termasuk mudah terbakar dengan nyala warna biru. Berat molekul etanol adalah 46,07 dengan nilai pembakaran atas (HHV) 30.610 kJ/kg dan titik nyala 170°F (76,67°C) (Wardana.2008:37).

Tabel 2.2 Sifat fisika dan kimia bahan bakar diesel dan etanol

| Sifat fisik / kimia | Bahan Bakar Diesel | Etanol |
|--|--------------------|--------|
| Viskositas pada 40°C, mm ² /s | 2,6 | 1,2 |
| Bilangan setana | 50 | 5-8 |
| Titik didih °C | 180-360 | 78 |
| Nilai Kalor (MJ/kg) | 43 | 26,8 |

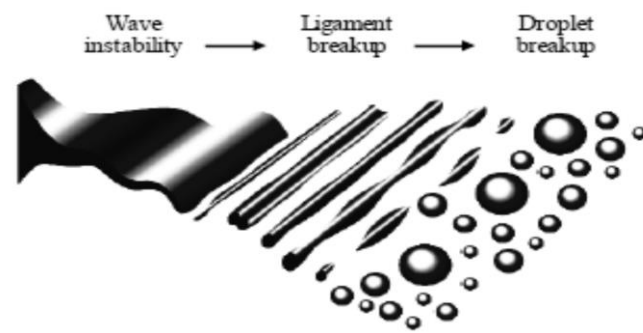
Sumber : Rakopoulos (2008)

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa etanol memiliki sifat fisika yang berbeda dari biodiesel dan solar. Sifat fisika dan kimia yang dimiliki etanol memungkinkan untuk menjadikannya sebagai campuran terhadap biodiesel. Dari campuran ini diharapkan mendapatkan sifat fisika dan kimia yang lebih baik dari sifat fisika dan kimia masing – masing bahan bakar tersebut.

Dari sifat fisika dan kimia yang dimiliki oleh etanol diatas, ketika etanol dicampurkan dengan biodiesel maka diharapkan etanol dapat memicu dan membantu pembakaran pada biodiesel yang memiliki nilai titik nyala api yang cukup tinggi.

2.3 *Twin Fluid Atomizer*

Untuk memecahkan aliran fluida menjadi butiran *droplet*, diperlukan energi. Dalam *twin fluid atomizer*, energi yang biasa digunakan 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*. Dalam *twin fluid atomizer* proses pembentukan droplet dibagi menjadi dua tahap. Pada tahap pertama, fluida cair yang berada pada *mixing chamber* akan kehilangan kestabilannya dan berubah bentuk menjadi lembaran zat cair (*spray sheet*). Tahap kedua, *spray sheet* tersebut akan berkembang menjadi ligamen – ligamen fluida cair, kemudian ligamen tersebut akan pecah dan berubah bentuk menjadi *droplet*. Proses pembentukan *droplet* ini ditunjukkan pada gambar 2.3 dibawah ini.

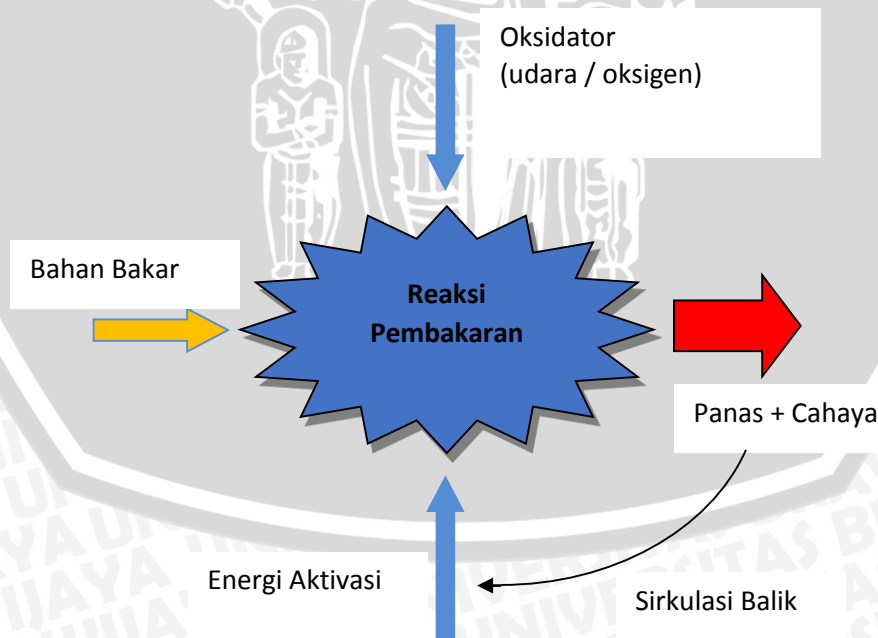


Gambar 2.3 Mekanisme pembentukan *droplet*
 Sumber : Ashgri, N. 2011

Proses pembentukan *droplet* ini dapat terjadi karena adanya tekanan dari fluida gas yang mengakibatkan fluida cair dan fluida gas menjadi bertumbukan, sehingga terjadi turbulensi yang mengakibatkan fluida cair pecah dan berubah bentuk menjadi *droplet*, yang mana *droplet* tersebut akan membentuk *spray*.

2.4 Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dan pengoksidasi (oksigen atau udara) yang menghasilkan panas dan cahaya (Wardana.2008:3). Syarat terjadinya pembakaran adalah bahan bakar, pengoksidasi (oksigen / udara), panas atau energi aktivasi.



Gambar 2.4 Ilustrasi proses pembakaran
 Sumber : Wardana (2008:3)



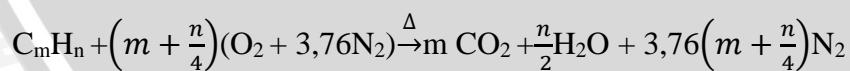
Pembakaran dapat dibedakan menjadi dua macam berdasarkan proses pencampuran bahan bakar dengan udara. Jika bahan bakar dan udara bercampur sebelum zona pembakaran maka pembakaran itu disebut pembakaran *premixed*, sedangkan bahan bakar dan udara yang bercampur pada zona pembakaran disebut dengan pembakaran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

Pada proses pembakaran memerlukan oksidator sebagai pengoksidasi. Oksidator ini dapat berupa 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 reaksi kimia eksotermis. Dengan demikian secara lebih fundamental bisa didefinisikan bahwa pembakaran itu 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 yang kuat dan mampu menghasilkan cahaya dan panas dalam jumlah yang besar (Wardana, 2008:7)

Seperti telah diuraikan sebelumnya, proses pembakaran akan terjadi jika unsur-unsur bahan bakar teroksidasi. Proses ini akan menghasilkan panas sehingga akan disebut sebagai proses oksidasi eksotermis. Jika oksigen yang dibutuhkan untuk proses pembakaran diperoleh dari udara, di mana udara terdiri dari 21% oksigen dan 78% nitrogen, maka reaksi stokiometrik pembakaran hidrokarbon murni C_mH_n dapat ditulis dengan persamaan :



Persamaan ini telah disederhanakan karena cukup sulit untuk memastikan proses pembakaran yang sempurna dengan rasio ekivalen yang tepat dari udara. Jika terjadi pembakaran tidak sempurna, maka hasil persamaan diatas CO_2 dan H_2O tidak akan terjadi, akan tetapi terbentuk hasil oksidasi parsial berupa CO, CO_2 dan H_2O .

Pada temperatur yang sangat tinggi gas-gas pecah atau terdisosiasi menjadi gas-gas yang tak sederhana, dan molekul-molekul dari gas dasar akan terpecah menjadi atom-

atom yang membutuhkan panas dan menyebabkan kenaikan temperatur. Reaksi akan bersifat endotermik dan disosiasi tergantung pada temperatur dan waktu kontak.

2.4.2 Air Fuel Ratio (AFR)

Air Fuel Ratio (AFR) 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.

$$(\text{AFR}) = \left(\frac{M \text{ udara}}{M \text{ bahan bakar}} \right)_{\text{stoic}}$$

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.

2.5 Equivalence Ratio

Equivalence ratio adalah perbandingan antara rasio campuran bahan bakar dengan udara stoikiometri terhadap rasio campuran bahan bakar dengan udara aktual. Apabila *equivalen 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.

$$\Phi = \frac{(AFR)_{stoic}}{(AFR)_{aktual}}$$

Keterangan :

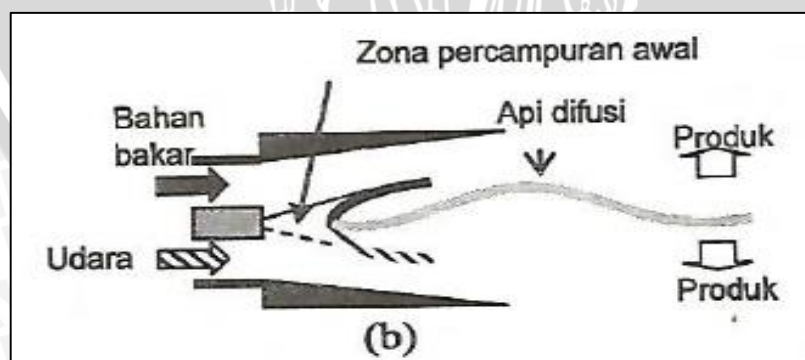
- Φ : Rasio ekuivalen
- $(AFR)_{stoic}$: Rasio oksigen dan bahan bakar dalam kondisi stoikiometri
- $(AFR)_{aktual}$: Rasio oksigen dan bahan bakar dalam kondisi aktual

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.

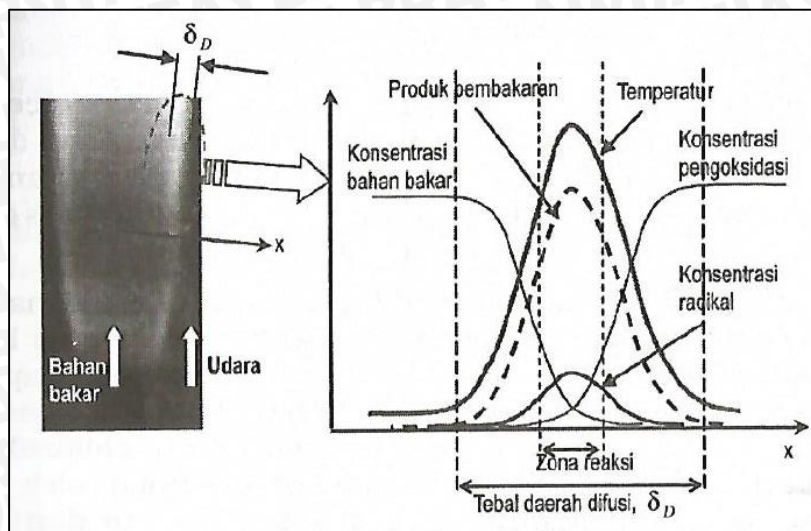
- $\Phi < 1$ merupakan campuran miskin bahan bakar (*fuel lean mixture*)
- $\Phi > 1$ merupakan campuran yang kaya bahan bakar atau kelebihan bahan bakar *fuel rich mixture*
- $\Phi = 1$ merupakan campuran stoikiometri (pembakaran sempurna)

2.5 Pembakaran Difusi

Pembakaran 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 proses pembakaran difusi, bisa dijumpai diberbagai macam proses pembakaran seperti nyala lilin, api kebakaran, dan lain sebagainya.



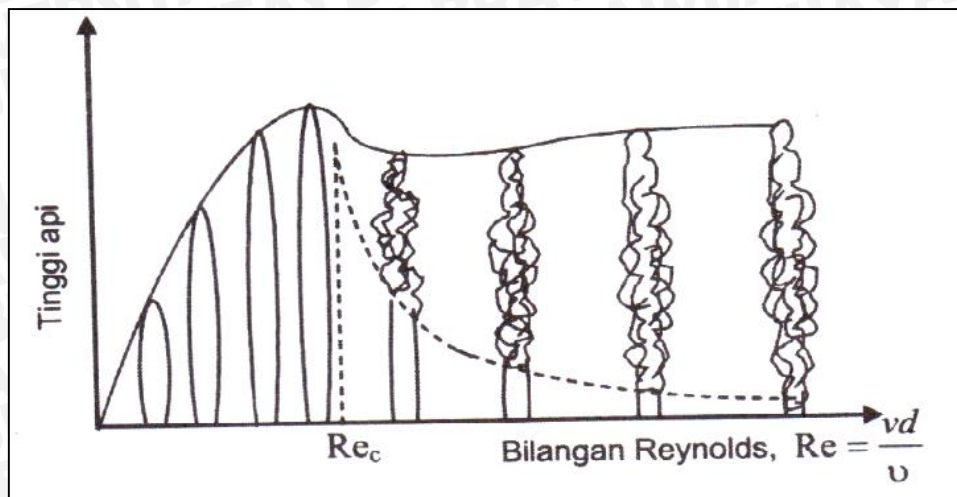
Gambar 2.5 Cara reaktan terbakar pada pembakaran difusi
Sumber : Wardana (2008:149)



Gambar 2.6 Struktur api difusi
Sumber: Wardana (2008:155)

Pada api difusi, panas yang dibangkitkan pada zona reaksi didifusikan keluar sehingga lebar distribusi temperatur hampir sama dengan lebar daerah difusi. Ketika campuran bahan bakar dengan udara sudah mendekati stoikiometri dan sumber panas yang dihasilkan pada daerah pencampuran sudah cukup maka akan berlangsung proses pembakaran. Tetapi ketika udara di daerah pencampuran kurang atau rendah maka api sulit untuk terbentuk.

Seperti pada nyala api *premixed*, nyala api difusi juga terdiri dari api difusi laminar dan difusi turbulen. Perubahan aliran api ini biasanya disebabkan oleh pemanjangan api dan peningkatan kecepatan aliran. Hal ini dapat diilustrasikan seperti pada gambar 2.6. Penambahan aliran udara membuat karakter api laminar berubah menjadi api turbulen. Selama transisi yang terjadi, ujung api berubah menjadi turbulen sedangkan pangkal api tetap laminar.



Gambar 2.7 Transisi aliran api difusi dari laminar ke turbulen
 Sumber : Wardana (2008:190)

Semakin bertambahnya kecepatan aliran akan menghasilkan pengurangan panjang daerah laminar. Titik dimana aliran laminar berubah menjadi turbulen dinamakan *break point*. Jika *break point* mendekati nosel bahan bakar, panjang api dan panjang *break point* di atas nosel kelihatan tidak berubah. Gambar 2.7 menunjukkan perubahan pada panjang dan posisi *break point* dengan penambahan kecepatan aliran. Dapat dilihat di gambar, selama di daerah laminar, panjang api meningkat hampir linier dengan penambahan kecepatan aliran. Panjang api berkurang pada daerah turbulen dan tidak tergantung pada kecepatan aliran.

2.6 Pembakaran Droplet

Proses pembakaran yang juga sering muncul pada aplikasinya adalah proses pembakaran dimana perpindahan massa bahan bakar, udara dan panas didominasi oleh api difusi berbentuk bola di sekeliling sebuah droplet bahan bakar cair. Ada tiga cara umum eksperimen yang dilakukan terhadap proses pembakaran droplet namun satupun tidak ada yang betul-betul ideal membentuk api yang betul-betul ideal menghasilkan api berbentuk bola karena proses pembakaran selalu menginduksi gaya apung yang akan mendorong gas panas keatas sehingga api akan berbentuk lonjong dan bahkan memanjang keatas. Pembakaran droplet mempunyai tiga fase yang berbeda selama proses pembakaran yaitu

1. Fase penyalaan dan pemanasan. Pada fase ini droplet dipanaskan oleh api. Selama fase ini ada dua peristiwa yang hanya menyebabkan perubahan kecil pada droplet. Yang pertama adalah pemuaihan panas droplet. Yang kedua, karena sebagian besar

panas yang ditransfer ke droplet dipakai untuk memanaskan droplet maka tidak terjadi penguapan pada fase pertama ini.

2. Selama fase kedua, droplet telah dianggap mencapai temperatur penguapan. Pada keadaan ini sebenarnya seluruh panas yang ditransfer ke droplet dipakai untuk menguapkan droplet. Fase pembakaran ini menghabiskan waktu 90% dari umur evolusi droplet.
3. Fase ke tiga atau dikenal dengan fase habis terbakar terjadi setelah droplet habis menguap. Selama periode ini uap yang tersisa hampir dilalap habis oleh proses pembakaran.

(Wardana, 2008:203)

2.7 Tinggi Api

Pembakaran bahan bakar akan membentuk nyala api, ketika terbakar dengan oksigen di atmosfer, suatu nyala nyata yang merupakan aliran cahaya dari pijaran semprotan bahan bakar dari *twin fluid atomizer*. Tinggi nyala didefinisikan sebagai jarak aksial nyala api dari mulut tabung pembakar sampai ujung nyala api.

2.8 Kestabilan Nyala Api

Pergerakan perjalanan api dan bentuk dari kestabilan nyala api selalu dipengaruhi oleh kesetimbangan antara laju aliran massa dinamik gas yang melibatkan perhitungan kekekalan massa, kekekalan momentum, dan kekekalan energi.

Ada beberapa ketidakstabilan api pada pembakaran droplet yaitu :

1. Ketidakstabilan sistem, meliputi interaksi aliran pada komposisi reaksi sistem yang berbeda.
2. Ketidakstabilan akustik, meliputi interaksi gelombang suara dengan proses pembakaran.
3. Ketidakstabilan Taylor, meliputi efek gaya apung atau percepatan pada fluida dengan perubahan densitas.
4. Ketidakstabilan Landau, Ketidakstabilan hidrodinamika dari bentuk pembakaran yang diasosiasikan tidak meliputi akustik tetapi hanya meliputi penurunan kerapatan yang dihasilkan oleh pembakaran aliran tak mampu mampat (*incompressible*).
5. Ketidakstabilan diffusivitas termal, meliputi hubungan reaksi difusi dan kalor dengan nyala primer.

Suatu hal yang sangat penting dalam perencanaan pembakaran bahan bakar adalah mencegah terjadinya *flashback* dan *lift-off*. Batas kestabilan nyala berhubungan dengan fenomena flashback, lift-off, blow off, dan warna api pada pembakaran droplet.

2.9 Hipotesis

Semakin besar persentase etanol maka viskositas biodiesel-etanol lebih kecil, sehingga lebih mudah diatomisasi dan droplet yang dihasilkan berukuran lebih kecil, lebih mudah menguap dan bercampur dengan udara dan terbakar. Tetapi karena heating value etanol lebih rendah temperatur nyala api menjadi lebih kecil.

