

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Swaminathan (2005) melakukan penelitian tentang pengaruh medan magnet terhadap karakteristik api mikro difusi. Variasi yang digunakan adalah kekuatan magnet dan kecepatan api. Pada penelitian ini didapatkan bahwa dengan adanya medan magnet dapat mempengaruhi struktur api, panjang api juga berkurang seiring berkurangnya gradient medan magnet secara vertical. Pada kondisi yang sama temperatur nyala api juga akan semakin meningkat.

Barmina, et al, (2010) melakukan penelitian mengenai efek gradient medan magnet terhadap karakteristik *swirling flame*. Penelitian ini didapatkan bahwa medan magnet dapat mempengaruhi komposisi profil api, menghasilkan pembakaran diluar zona reaksi yang disebut ekspansi radil, dan mengganggu kecepatan tangensial dan aksial.

Gonzales (2008) melakukan penelitian mengenai pengaruh dari medan magnet pada pembakaran difusi. Pada penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa dengan adanya medan magnet meningkatkan kecepatan aliran oksigen secara paramagnetik dan mempengaruhi struktur dan bentuk dari api.

Gilard, et al, (2009) melakukan penelitian tentang pengaruh medan magnet terhadap stabilitas api *lifted* difusi. Dari penelitian ini didapat bahwa akibat adanya gradient magnetik, maka tinggi *lift-off* pada api difusi menurun. Efek yang terjadi dihasilkan dari kuatnya medan magnet yg terdapat di udara sehingga mempengaruhi oksigen secara paramagnetik.

2.2 Pembakaran

Pembakaran adalah proses reaksi kimia dari ikatan molekul bahan bakar lemah yang lepas dan membuat atom-atom tersebut menjadi bermuatan kemudian bereaksi dengan oksigen dapat menghasilkan panas dan cahaya dalam jumlah besar. Sesuai pada gambar 2.1, untuk melakukan suatu proses pembakaran, maka diperlukan tiga komponen yaitu:

1. Bahan Bakar
2. Oksigen
3. Panas (energi aktivasi)



Gambar 2.1 Proses Pembakaran
Sumber Wardana (2008:3)

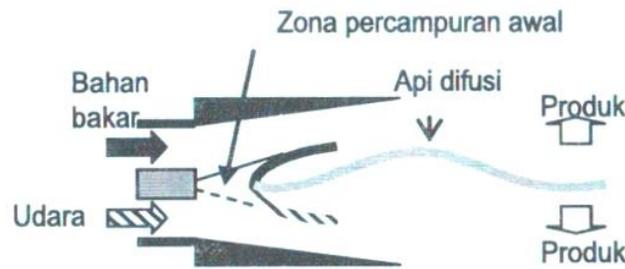
Energi yang diperlukan untuk melepas ikatan molekul bergantung pada besar kecilnya energi ikatan atom dalam molekul. Kekuatan suatu ikatan kimia ditentukan oleh energi disosiasi, yaitu jumlah energi yang dibutuhkan untuk memutuskan satu mol ikatan kimia suatu spesies dalam fase gas (Wardhana, 2008:7). Dalam setiap proses pembakaran ada dua yang pasti terjadi, antara lain:

1. Komposisi spesies campuran berubah terhadap waktu dan perubahan ini disebabkan oleh proses pada tingkat molekuler.
2. Ikatan-ikatan molekul yang lemah terlepas, kemudian digantikan oleh ikatan yang lebih kuat kelebihan energi ikat dilepas ke dalam sistem yang biasanya menyebabkan kenaikan temperatur. (Wardhana, 2008:55)

Peristiwa diatas menunjukkan bahwa terdapat dua hal yang harus dipenuhi dalam melakukan proses pembakaran berlangsung yaitu kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi. Terjadinya peristiwa pembakaran dapat terjadi dalam dua kondisi yaitu pembakaran difusi dan pembakaran *premix*.

2.3 Pembakaran difusi

Pembakaran difusi adalah suatu proses pembakaran bahan bakar dan pengoksidasi bercampur secara alami (bercampur sendiri). Pembakaran difusi akan terjadi apabila bahan bakar dan pengoksidasi tercampur secara alami dengan mencapai kondisi mendekati stokiometrik dan panas yang dilepas pada api pada daerah pencampuran sudah cukup.



Gambar 2.2 Proses Pembakaran Difusi
Sumber Wardana (2008:149)

Gambar 2.2 menunjukkan bahwa pada pembakaran difusi bahan bakar dan udara melalui saluran yang berbeda dan di campur dalam zona pencampuran awal. Dalam pencampuran awal, terjadi proses difusi yang akan membentuk permukaan api.

2.4 Pembakaran *Premix*

Pembakaran *premix* adalah suatu proses pembakaran yang terjadi dimana bahan bakar dengan pengoksidasi bercampur secara mekanis dahulu kemudian dibakar. Pembakaran *premix* ini biasa diaplikasikan pada las karbit dan pembakaran roket. Bentuk api *premix* pada tabung berbentuk lembar datar tipis dan merambat tegak lurus menuju arah reaktan. Terbentuknya kerucut pada bagian luar adalah efek dari bahan bakar yang belum terbakar habis pada api *premix* sehingga bercampur kembali pada udara sekitar. Pada pembakaran *premix* ini terdapat perilaku aliran reaktan saat melintasi zona reaksi yaitu laminar dan turbulen.

- Pembakaran *Premix* Turbulen

Pada *premix* turbulen ini tidak bergantung pada jenis propert dari gas yang digunakan untuk melihat kecepatan pembakarannya. Nyala api *premix* turbulen bergantung pada jenis alirannya, dalam hal ini terdapat beberapa struktur api yang dapat terjadi pada pembakaran *premix* turbulen yaitu api laminar keriput, terdapat gumpalan api dalam vortex, dan reaksinya menyebar. Dengan aliran turbulen ini maka dapat meningkatkan rambatan api yang terjadi pada pembakaran.

- Pembakaran *Premix* Laminar

Api *premix* laminar ini sangat khas bentuk apinya yaitu api bunsen dan api *premix* yang merambat dalam tabung. Proses campuran dan produk penjalaran panas maupun raktan berlangsung secara molekuler pada pembakaran laminar. Api pada *premix* laminar ini biasa terdapat api bunsen yaitu api yang berbentuk kerucut dengan dinding kerucut

merupakan permukaan dari api premix dengan api yang berbentuk lembar datar tipis yang terjadi di dalam tabung sesuai pada gambar 2.3.

2.5 Kecepatan Pembakaran Api *Premixed* Laminer

Vektor kecepatan pembakaran api premixed (S_L) dengan vector kecepatan lainnya yaitu vector kecepatan reaktan (V_u) dan vektor kecepatan produk (V_b) sejajar di dalam tabung seperti yang terlihat pada gambar 2.3 (a). Karena sifat fluida yang mengalir ke kerapatan yang lebih rendah, garis reaktan membelok di dekat api dan mengalir tegak lurus dengan permukaan api. Hal ini dikarenakan adanya perubahan densitas gas reaktan yang menurun 10 kali akibat kenaikan suhu api sekitar 3000K. Sehingga, komponen vektor kecepatan V_u pada api seperti yang ditampilkan pada gambar 2.3 (b).

Pada api bunsen dalam kondisi stasioner, kecepatan api sama dengan kecepatan gas reaktan, sehingga

$$S_L = V_u \sin \theta \quad (2-1)$$

S_L = kecepatan api *premixed* (cm/s)

V_u = kecepatan reaktan (cm/s)

θ = sudut antara api dengan sumbu nosel

Kecepatan reaktan dapat dihitung dengan rumus:

$$V_u = \frac{\dot{m}}{\rho_u A} \quad (2-2)$$

\dot{m} = massa alir reaktan (kg/menit)

ρ_u = densitas reaktan (kg/m³)

A = luas penampang lintang nosel (m²)

Metode lain untuk mengetahui kecepatan pembakaran *premixed* laminer yaitu dengan menggunakan hukum kekekalan masa di dalam tabung. Dalam hukum kekekalan massa dapat diketahui bahwa massa alir reaktan sama dengan massa alir produk.

$$\begin{aligned} \dot{m}_u &= \dot{m}_b = \text{tetap} \\ \rho_u A V_u &= \rho_b A V_b \end{aligned} \quad (2-3)$$

ρ_b = densitas produk (kg/m³)

V_b = kecepatan produk (cm/s)

Karena luas penampang pada tabung sama sebesar A maka

$$V_u = V_b \left(\frac{\rho_b}{\rho_u} \right) \quad (2-4)$$

Jika api *premixed* dalam tabung stasioner, maka kecepatan api laminar sama dengan kecepatan reaktan yaitu $S_L = V_u$, sehingga kecepatan api laminar dalam tabung adalah

$$S_L = V_b \left(\frac{\rho_b}{\rho_u} \right) \quad (2-5)$$

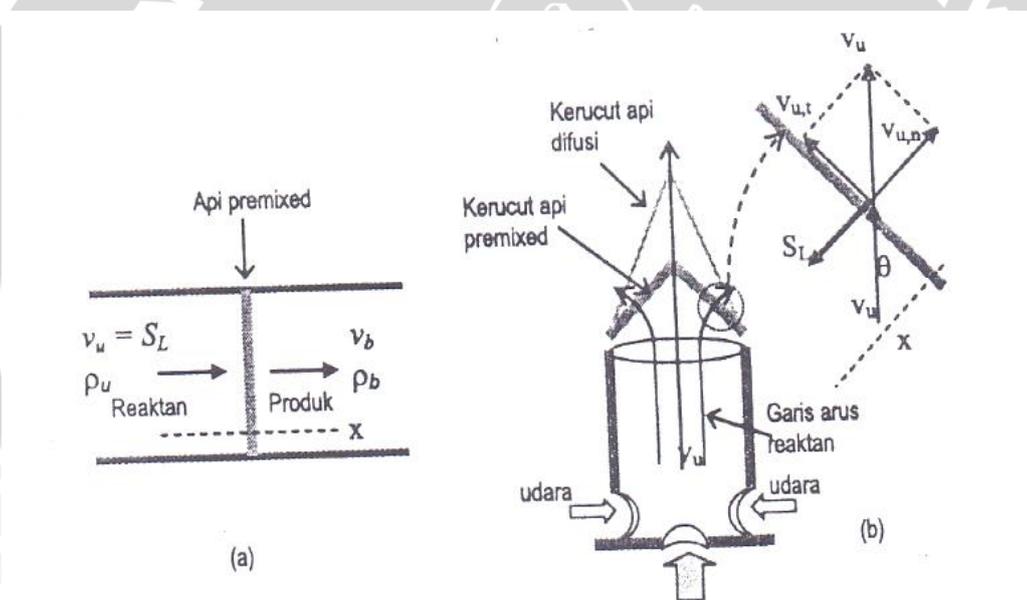
Pada rumus diatas maka dapat terlihat bahwa yang mempengaruhi kecepatan pembakaran yaitu;

- Kecepatan reaktan

Kecepatan reaktan adalah kecepatan gas reaktan (campuran dari bahan bakar dan pengoksidasi) menuju zona reaksi.

- Sudut api

Sudut api yang mempengaruhi kecepatan pembakaran api *premix* adalah kerucut sebelah dalam dengan posisi yang terdekat pada mulut nosel sesuai pada gambar 2.3.



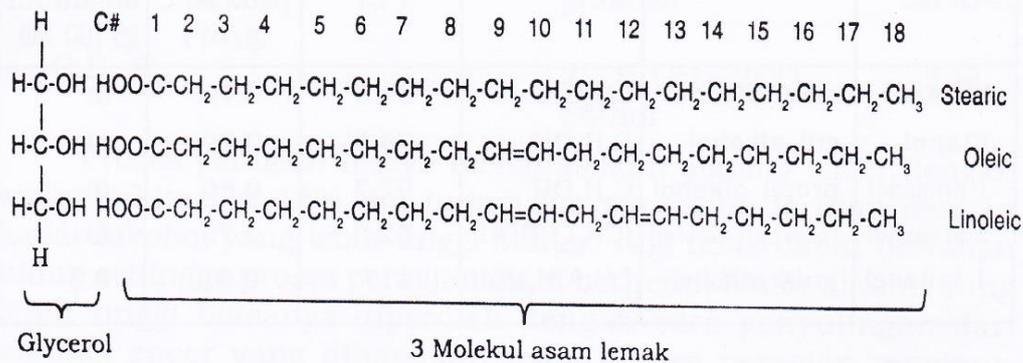
Gambar 2.3 (a) Struktur api premix dalam tabung (b) Struktur api premix pada nosel bunsen

Sumber Wardana (2008:152)

2.6 Bahan Bakar Nabati

Bahan bakar nabati biasanya didapat dari hasil ekstrak tumbuh-tumbuhan yang dapat menghasilkan minyak yang terdapat di dalam biji tanaman. Minyak nabati mengandung molekul triglyceride atau yang disebut juga dengan triglycerol (TAG), yaitu salah satu bahan kimia yang terbentuk dari satu molekul glycerol dan tiga asam lemak. Asam lemak bisa jenuh dengan ikatan tunggal pada rantai karbonnya, atau bisa tak jenuh mono dengan ikatan

rangkap pada rantai karbonnya, atau bisa tak jenuh poly dengan ikatan rangkap lebih dari satu pada rantai karbonnya (Wardhana 2008:39).



Gambar 2.4 Susunan ikatan atom tryhgliceride

Sumber Wardana (2008:38)

Triglyceride mengandung atom karbon dan hydrogen yang mirip dengan hidrokarbon yang terdapat pada bensin, yaitu memiliki enam atom oksigen tiap molekul. Hal ini dapat menyatakan bahwa minyak nabati dapat menggantikan penggunaan petrol. Setiap minyak nabati memiliki sifat fisik yang hampir sama sesuai pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat fisik dari bebrapa jenis minyak nabati

Sifat Fisik	Minyak Biji Lobak	Minyak Bunga Matahari	Minyak kedelai	Minyak Sawit
Densitas (gr/ml)	0,871	0,873	0,870	0,842
Viscositas (cSt)	4,43	4,30	4,12	5,15
Titik Nyala (°C)	178	182	18	179
Titik alir (°C)	-13	-5	-2	12
Titik Kabut (°C)	-4	1	1	1

Sumber Wardana (2008:42)

2.7 Minyak Jarak

Minyak jarak berasal dari tanaman pohon jarak yang termasuk spesies *Jatropha Curcas L. A.* Tumbuhan ini banyak ditemukan di daerah tropis dan merupakan tanaman semak yang tumbuh dengan cepat hingga 1-7 m. Tanaman ini dikenal sebagai salah satu bahan pengobatan dan saat ini minyak jarak juga menjadi pusat perhatian sebagai sumber bahan bakar nabati. Buah dari tanaman jarak berupa buah kotak berbentuk bulat telur, dengan diameter 2-4 cm, dan panjang buah 2 cm dengan ketebalan 1 cm. Dalam satu buah

jarak terdapat tiga ruang yang masing-masing berisi satu biji. Biji yang terkandung dalam buah jarak berbentuk bukat lonjong yang mengandung minyak sebesar 30-50% tiap biji.

Proses untuk mendapatkan minyak dari tumbuhan jarak yaitu dengan cara pengepresan mekanik pada biji jarak. Cara ini sangat sesuai untuk memisahkan biji dengan minyaknya yang kadar minyaknya diatas 10%. Sebelum minyak jarak digunakan sebagai biodiesel, minyak ini dimurnikan dahulu untuk menghilangkan getah atau lendir, asam lemak bebas dan senyawa pengotor lainnya.

Pada komposisi asam lemak yang terkandung pada setiap tempat tidak sama, bergantung pada daerah tersebut. Kandungan asam lemak dan sifat- sifat yang dimiliki pada minyak jarak pagar dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi Asam Lemak Minyak Jarak BALITAS Malang

Asam Lemak	Rumus Kimia	Prosentasi Massa (%)
Asam-Asam Miristat	$C_{14}H_{28}O_2$	0,06
Asam-7heksadekenoat	$C_{16}H_{30}O_2$	0,04
Asam Palmitoleat	$C_{16}H_{30}O_2$	0,75
Asam Palmitat	$C_{16}H_{32}O_2$	16,04
Asam Heptadekanoat	$C_{17}H_{34}O_2$	0,08
Asam Linoleat	$C_{18}H_{32}O_2$	28,71
Asam Oleat	$C_{18}H_{34}O_2$	43,8
Asam-7oktadekenoat	$C_{18}H_{34}O_2$	1,7
Asam Stearat	$C_{18}H_{36}O_2$	8,64
Asam Eikosanoat	$C_{20}H_{40}O_2$	0,18

Sumber Hardiyansyah (2014)

Tabel 2.3 Sifat Fisik Pada Minyak Jarak

Specification	Standard Specification of <i>Jatropha Curcas Oil</i>
Specific Gravity	0,9186
Flash point	110 °C
Carbon Residue	0,64
Cetane Value	51,0
Distillation point	295 C
Kinematics Viscosity	50,73 cs
Sulfur %	0,13%
Caloric Value	9,470 kcal/kg
Pour Point	8 °C
Colour	4,0

Sumber Forson, et al (2003)

2.8 Rasio Udara-Bahan Bakar (*Air Fuel Ratio / AFR*)

Rasio udara-bahan bakar adalah salah satu parameter penting dalam pembakaran yang membandingkan antara massa udara dan bahan bakar yang ada. Adapun perumusan rasio udara-bahan bakar / AFR adalah sebagai berikut:

$$(AFR)_{\text{stoik}} = \left(\frac{N_{\text{udara}}}{N_{\text{bahan bakar}}} \right)_{\text{stoik}} \quad (2-6)$$

$$(AFR)_{\text{stoik}} = \left(\frac{M_{\text{udara}}}{M_{\text{bahan bakar}}} \right)_{\text{stoik}} \quad (2-7)$$

Keterangan :

AFR = *Air Fuel Ratio*

N = jumlah mol

M = jumlah massa

Metode lain untuk mengetahui rasio udara dan bahan bakar yang terjadi yaitu menggunakan massa molar langsung. Avogadro menyatakan bahwa setiap satu gram zat apa saja mengandung $6,022 \times 10^{23}$ satuan massa atom (sma). Avogadro juga menerangkan bahwa volume gas yang sama mempunyai jumlah molekul yang sama dengan massa molekul atau massa atom zat tersebut dinyatakan dalam gram atau kilogram.

Atom-atom yang biasa terlibat dalam suatu reaksi pembakaran hidrokarbon dan udara adalah C, H, O₂, dan N₂. Massa molar dari atom-atom tersebut dapat dilihat dari tabel 2.4.

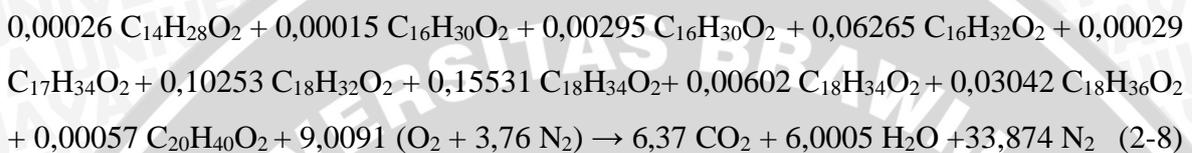
Tabel 2.4 Massa Molar Unsur

Atom/molekul	Massa Molekul (sma)	Massa Molar (gram)
C	12,01	12,01
H	1,01	1,01
O ₂	32	32
N ₂	28,02	28,02

Sumber Wardana (2008:59)

Berikut ini merupakan AFR dari minyak jarak:

Reaksi kimia pembakaran stoikiometri pada massa 100 gr minyak jarak, yaitu:



$$\begin{aligned} \text{Berat molekul udara} &= \text{mol udara} (n_{\text{oksigen}} \cdot \text{Mr}_{\text{oksigen}} + 3,76 \cdot n_{\text{nitrogen}} \cdot \text{Mr}_{\text{nitrogen}}) \\ &= 9,0091 \cdot (2 \cdot 16 + 3,76 \cdot 2 \cdot 14) \\ &= 1236,769 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{AFR massa stoikiometri minyak jarak} &= \frac{M_{\text{udara}}}{M_{\text{bahan bakar}}} \\ &= \frac{1236,769 \text{ gr}}{100 \text{ gr}} \\ &= 12,37 \text{ gram udara/gram bahan bakar} \end{aligned}$$

Pada perhitungan AFR aktual dari pembakaran minyak jarak menggunakan bukaan udara sebesar 1, 1,5; 2; 2,5; dan 3 l/min. Contoh perhitungan AFR aktual yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \bullet \quad (\text{AFR})_{\text{aktual}} &= \frac{Q_{\text{udara}} \times \rho_{\text{udara}}}{\dot{m}_{bb}} \\ (\text{AFR})_{\text{aktual}} &= \frac{1,5 \frac{\text{l}}{\text{menit}} \times 1,184 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1,69 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{menit}}} \\ &= \frac{1,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{menit} \times 1,184 \text{ kg}/\text{m}^3}{1,69 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{menit}}} = 45,86 \frac{\text{kg udara}}{\text{kg bahan bakar}} \end{aligned}$$

Keterangan:

Q_{udara} = Debit aliran udara (m^3/menit)

ρ_{udara} = massa jenis udara pada 1 atm pada suhu 25 °C = 1,184 kg/m³

\dot{m}_{bb} = Massa alir bahan bakar (kg/menit)

2.9 Rasio Ekuivalen (*Equivalence Ratio*, ϕ)

Rasio ekuivalen merupakan perbandingan rasio udara-bahan bakar (AFR) stoikiometri dengan rasio udara-bahan bakar (AFR) aktual. Persamaan rasio ekuivalen adalah sebagai berikut:

$$\phi = \frac{AFR \text{ stoik}}{AFR \text{ aktual}} \quad (2-9)$$

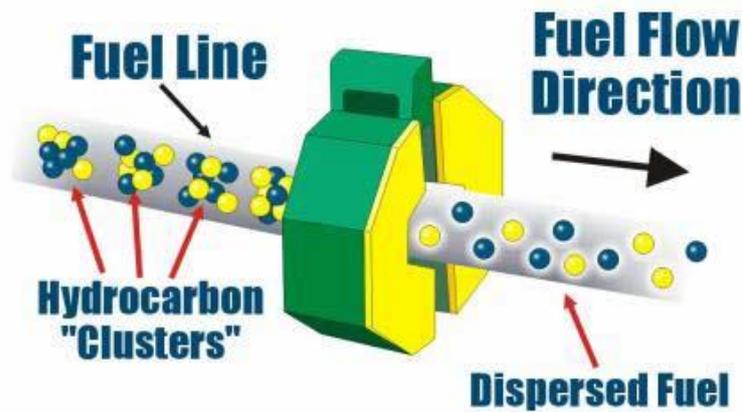
Rasio ekuivalen ini bertujuan untuk mengetahui kandungan yang terdapat pada campuran udara-bahan bakar, apakah campuran tersebut termasuk campuran kaya, miskin atau stoikiometri. Campuran kaya (*fuel-rich mixture*) yaitu campuran lebih banyak mengandung bahan bakar. Campuran miskin (*fuel-lean mixture*) berarti campuran lebih banyak mengandung udara. Sedangkan campuran stoikiometri berarti campuran udara-bahan bakar berada pada konsentrasi yang tepat.

- $\phi = 1$, merupakan campuran stoikiometri
- $\phi > 1$, merupakan campuran kaya bahan bakar (*fuel-rich mixture*)
- $\phi < 1$, merupakan campuran miskin bahan bakar (*fuel-lean mixture*)

2.10 Medan Magnet

Magnetisme berawal dari kata *magnesia*. Pada tahun 1802, Oersted menemukan bahwa arus listrik pada sebuah kawat mampu menghasilkan efek magnetik, dimana arus tersebut mampu mengubah arah orientasi dari sebuah jarum kompas.

Medan magnet adalah suatu daerah atau ruangan yang dapat menghasilkan gaya partikel bermuatan listrik. Garis medan magnet yang dihasilkan dari magnet selalu merupakan lingkaran tertutup. Medan magnet tidak dapat dihalangi dengan benda yang tidak permeabel yaitu seperti bangunan, tanah, dan pepohonan. Pada kawat yang dialiri oleh arus listrik, garis medan magnetnya merupakan lingkaran tertutup yang berpusat pada penghantar tersebut. Medan magnet yang cukup kuat dapat mengganggu ikatan molekul bahan bakar. Terdapatnya medan magnet menyebabkan molekul hidrokarbon menolak antar molekul, sehingga terbentuk jarak yang optimal antar hidrokarbon dan akan lebih mudah bereaksi dengan oksigen.



Gambar 2.5 Efek kuat medan magnet pada bahan bakar
Sumber Chalid, et al (2005:36-42)

Pada saat ini ditemukan peralatan magnetik di pasaran yang dipercaya dapat membuat pembakaran sempurna yang akan menurunkan konsumsi bahan bakar dan juga menghasilkan emisi gas CO dan HC yang rendah. Pada penelitian yang dilakukan oleh Farrag et al mengenai efek dari medan magnet terhadap performa dan emisi dari suatu *engine* diperoleh kesimpulan bahwa efek dari medan magnet pada konsumsi bahan bakar dapat tereduksi sebesar 15%, kadar gas CO berkurang sebesar 7%, gas NO berkurang sebesar 30%, dan CH₄ sebesar 40%. Selain itu magnet juga dapat mempengaruhi laju aliran oksigen berdasarkan arah medan magnet yang dihasilkan.

2.11 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah semakin kuat gradien medan magnet yang dihasilkan dari magnet maka oksigen akan ditarik menuju zona reaksi sehingga campuran mendekati stoikiometri, kecepatan pembakarannya akan meningkat pada campuran kaya.

