

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Devanta dan Fajar (2009) melakukan penelitian tentang pemakaian *gasohol* sebagai bahan bakar kendaraan bermotor. Penelitian ini menggunakan motor bensin dan memvariasikan kadar *ethanol* dalam setiap campuran *gasoline-ethanol*. Hasil yang didapatkan dari uji emisi dengan parameter NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO dan CO<sub>2</sub> adalah E7.5(72.55ppm; 23.22ppm; 1.37%; 13.9%), E10 (69.34ppm; 16.05ppm; 1.19%; 13.34%), E12.5 (67.33ppm; 14.67ppm; 1.06%; 13.11%). Hasil dari penelitian didapat bahwa penggunaan bahan bakar *gasoline-ethanol* atau *gasohol* pada motor bensin dengan kadar *gasohol* yang lebih tinggi dapat menjadikan pembakaran lebih sempurna dan menurunkan emisi gas buang seperti NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> dan CO. Penurunan ini terjadi dikarenakan karakteristik bahan bakar *gasohol* berbeda dengan bensin dalam kandungannya, dimana bensin tidak memiliki oksigen dalam setiap molekulnya sedangkan *ethanol* mengandung 34% oksigen dalam setiap molekulnya sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna dan menghasilkan emisi gas buang NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> dan CO yang lebih rendah.

Kandungan 34% oksigen dalam kadar *ethanol* dapat dihitung dari massa atom O sebesar 16, sedangkan C dan H masing-masing adalah 12.01 dan 1.008. Jadi persentase O dalam C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned}
 \text{persentase O} &= \frac{mr\ O}{mr\ C_2 + mr\ H_6 + mr\ O} \\
 &= \frac{16}{12.01(2) + 1.008(6) + 16} \\
 &= \frac{16}{46.068} \\
 &= 34.7\%
 \end{aligned}$$

Nicko (2012) melakukan penelitian tentang kajian eksperimental emisi gas buang motor bakar bensin dengan bahan bakar *gasoline* dan campuran *gasoline- bioethanol (gasohol BE -35 dan BE - 40)* yang ramah lingkungan. Kajian menggunakan motor bakar bensin yang menggunakan bahan bakar *gasohol* dengan variasi putaran. Dari hasil penelitian yang dilakukan menyimpulkan bahwa emisi gas buang seperti HC,CO dan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan BE-40 lebih rendah dibandingkan dengan BE-35 dan premium.

## 2.2 Motor Bensin

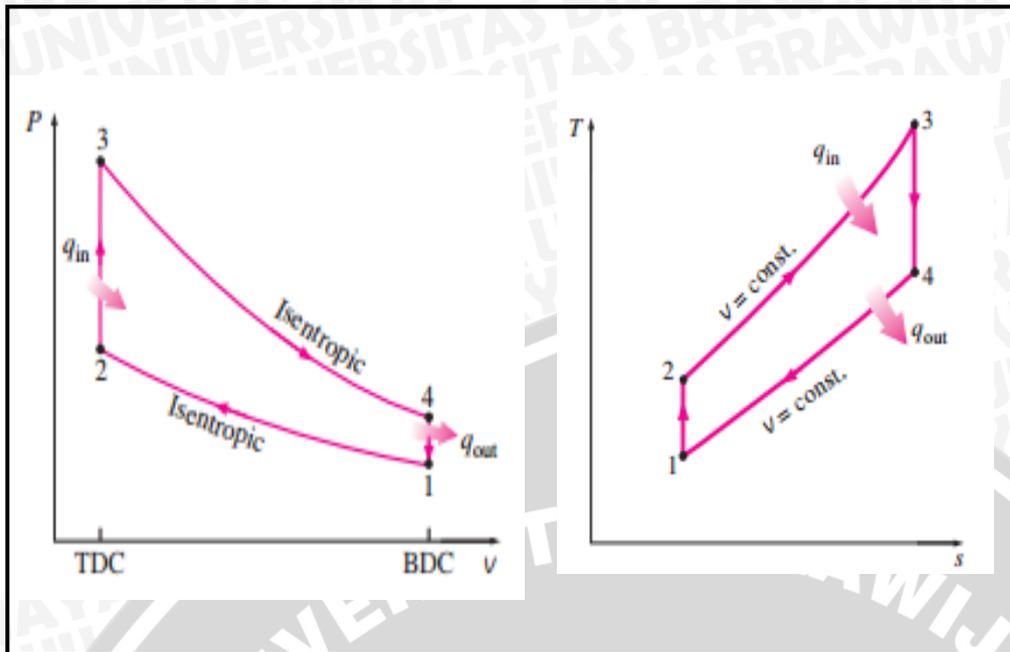
Motor bensin merupakan suatu mesin berjenis pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*) yang berfungsi untuk mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas dengan proses pembakaran yang terjadi di ruang bakar menjadi energi mekanik yaitu dalam bentuk putaran poros. Energi panas yang didapat dari pembakaran atau oksidasi udara dengan bahan bakar yang terjadi di ruang bakar (*Combustion Chamber*) tersebut dapat terjadi dengan bantuan percikan api yang berasal dari busi untuk menghasilkan gas pembakaran (Arismunandar,1998). Gas pembakaran yang bertekanan tinggi akan berekspansi melawan mekanisme gerak mekanik mesin. Untuk menghasilkan putaran poros yang merupakan output dari gerakan ekspansi torak yang diubah dengan mekanisme *link* menjadi putaran *crankshaft*. *Crankshaft* selanjutnya dihubungkan ke sistem transmisi oleh sebuah poros untuk mentransmisikan daya atau energi putaran mekanis yang selanjutnya energi ini dimanfaatkan sesuai dengan keperluan.

### 2.2.1 Siklus Termodinamika Motor Bensin

Siklus termodinamika adalah serangkaian proses termodinamika dimana terjadi proses perpindahan panas dan juga kerja dalam berbagai keadaan tertentu (tekanan, temperatur, dan keadaan lainnya). Siklus aktual dari proses kerja motor bakar sangat kompleks untuk digambarkan, oleh sebab itu pada umumnya siklus motor bakar dilakukan pendekatan dalam bentuk siklus udara standar (*air standar cycle*). Dalam *air standar cycle* fluida kerja menggunakan udara, dan pembakaran bahan bakar diganti dengan pemberian panas dari luar menggunakan pemantik. Pendinginan dilakukan untuk mengembalikan fluida kerja pada kondisi semula. Semua proses yang membentuk siklus udara standar dalam motor bakar adalah proses ideal, yaitu proses *reversibel internal*.

### 2.2.2 Siklus Otto

Siklus udara standar pada motor bensin disebut Siklus Otto, diambil dan diabadikan dari nama penemunya, yaitu Nikolaus August Otto yang merupakan ilmuwan yang berkebangsaan Jerman yang menemukan siklus otto pada tahun 1876. Siklus ini juga disebut dengan siklus volume konstan yang disebabkan oleh pembakaran yang terjadi pada volume konstan. Penambahan panas yang diterima terjadi secara konstan ketika posisi piston berada pada titik mati atas (TMA). Dalam diagram P – V dan diagram T – s pada gambar dibawah ini menggambarkan siklus udara volume konstan.



Gambar 2.1 Siklus Ideal Otto  
Sumber : Cengel (2006 : 494)

Langkah dari Siklus Otto terdiri dari :

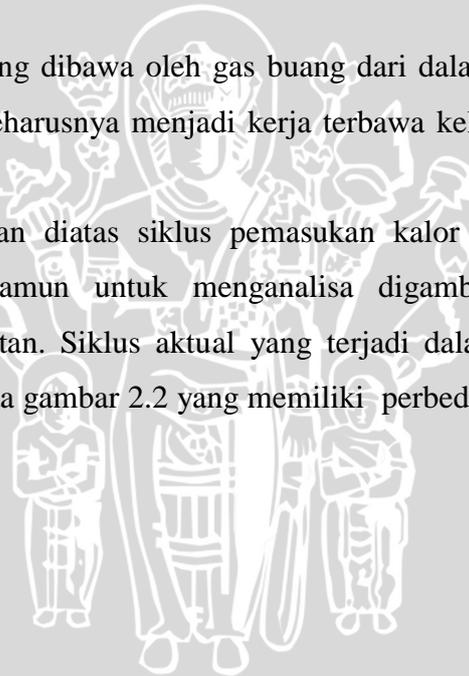
1. Proses 1-2 adalah langkah kompresi pada keadaan entropi konstan (*Isentropic*).
2. Proses 2-3 adalah proses pemasukan kalor pada volume konstan (*Isokhorik*).
3. Proses 3-4 adalah langkah ekspansi pada keadaan entropi konstan (*Isentropic*).
4. Proses 4-1 adalah proses pembuangan panas pada volume konstan (*Isokhorik*).

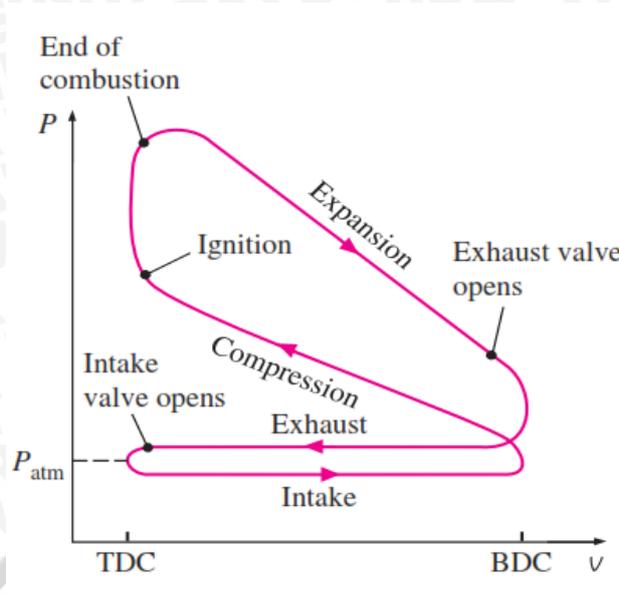
Menurut Arismunandar W. (1988) dalam kenyataannya baik siklus volume konstan, siklus tekanan konstan dan siklus gabungan tidak mungkin dilaksanakan, karena adanya beberapa hal sebagai berikut :

- a. Fluida kerja bukanlah udara yang bisa dianggap sebagai gas ideal, karena fluida kerja disini adalah campuran bahan bakar (premium) dan udara, sehingga tentu saja sifatnya pun berbeda dengan sifat gas ideal.
- b. Kebocoran fluida kerja pada katup (*valve*), baik katup masuk maupun katup buang, juga kebocoran pada piston dan dinding silinder, yang menyebabkan tidak optimalnya proses.
- c. Baik katup masuk maupun katup buang tidak dibuka dan ditutup tepat pada saat piston berada pada posisi TMA dan atau TMB, karena pertimbangan dinamika mekanisme katup. Pada saat putaran yang tinggi kemungkinan terjadinya *over lapping* yang mengakibatkan proses pembakaran tidak berlangsung secara sempurna.

- d. Pada motor bakar torak yang sebenarnya, pada saat torak di TMA tidak terdapat proses pemasukan kalor seperti pada siklus udara. Kenaikan tekanan dan temperatur fluida kerja disebabkan oleh proses pembakaran campuran udara dan bahan bakar dalam silinder.
- e. Proses pembakaran memerlukan waktu untuk perambatan nyala apinya, akibatnya proses pembakaran berlangsung pada kondisi volume ruang yang berubah – ubah sesuai gerakan piston. Dengan demikian proses pembakaran harus dimulai beberapa derajat sudut engkol sebelum torak mencapai TMA dan berakhir beberapa derajat sudut engkol sesudah TMA menuju TMB. Jadi proses pembakaran tidak dapat berlangsung pada volume atau tekanan yang konstan.
- f. Terdapat kerugian akibat perpindahan kalor dari fluida kerja ke fluida pendingin, misalnya oli, terutama saat proses kompresi, ekspansi dan waktu gas buang meninggalkan silinder.
- g. Adanya kerugian energi akibat adanya gesekan antara fluida kerja dengan dinding silinder dan mesin.
- h. Terdapat kerugian energi kalor yang dibawa oleh gas buang dari dalam silinder ke atmosfer sekitarnya sehingga panas yang seharusnya menjadi kerja terbawa keluar oleh gas sisa hasil pembakaran didalam ruang bakar.

Dari penjelasan alasan-alasan diatas siklus pemasukan kalor pada volume konstan (*isokhorik*) tidak dapat terjadi. Namun untuk menganalisa digambarkan dengan proses pemasukan kalor pada volume konstan. Siklus aktual yang terjadi dalam proses pembakaran didalam ruang bakar dapat dilihat pada gambar 2.2 yang memiliki perbedaan dengan siklus ideal yang digunakan untuk menganalisa





Gambar 2.2 Siklus Aktual Otto  
 Sumber : Cengel (2006 : 494)

Untuk menentukan besarnya panas masuk ( $Q_{in}$ ), panas keluar ( $Q_{out}$ ) dan kerja ( $W$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$Q_{in} = Q_{23} = u_3 - u_2 = C_v (T_3 - T_2) \tag{2-1}$$

$$Q_{out} = -Q_{41} = -(u_1 - u_4) = C_v (T_4 - T_1) \tag{2-2}$$

Kerja yang dihasilkan dari siklus tersebut dapat dihitung dengan cara

$$W_{net} = Q_{net} = Q_{in} - Q_{out} \tag{2-3}$$

Dengan :

- Q : Total *heat transfer* (kJ)
- u : Energi dalam spesifik ( kJ/kg)
- $C_v$  : Panas spesifik pada volume konstan (kJ/kg.K)
- T : Temperatur (K)
- W : Kerja total (kJ)

Jika kondisi awal  $T_1$  diketahui maka u dapat di cari dengan melihat *tabel ideal-gas properties of air* ( lampiran 1)

Daya efektif motor bakar adalah proporsional dengan perkalian torsi yang terjadi pada poros output (T) dengan putaran kerjanya (n). Karena putaran kerja poros sering berubah terutama pada mesin kendaraan bermotor, besar torsi pada poros (T) yang dapat dijadikan sebagai indikator kinerja motor bakar. Daya ini dihasilkan oleh poros engkol yang merupakan perubahan kalor di ruang bakar menjadi kerja.

Daya efektif dirumuskan sebagai berikut :



$$N_e = T \cdot n / 716,2 \text{ (PS)} \quad (2-4)$$

dimana :  $N_e$  : Daya Efektif (Ps)

$n$  : putaran (rpm)

untuk mencari besarnya Torsi dapat dihitung dengan cara :

$$T = F \cdot L \text{ [kg.m]} \quad (2-5)$$

Dimana :

$T$  = Torsi (kg.m)

$F$  = Besar gaya putar yang terbaca pada timbangan dynamometer (kg)

$L$  = Panjang lengan dynamometer = 0,358 (m)

### 2.2.3 Prinsip Kerja Motor Bensin 4 Langkah

Dalam motor bakar 4 langkah, dalam 1 siklus kerja memerlukan 4 kali langkah piston atau 2 kali putaran poros engkol. Langkah-langkah piston tersebut akan dijelaskan pada uraian berikut ini:

#### a. Langkah Isap (*Suction Stroke*)

Torak bergerak dari posisi TMA (titik mati atas) ke TMB (titik mati bawah), dengan katup KI (katup isap) terbuka dan katup KB (katup buang) tertutup. Akibat dari pergerakan torak tersebut maka campuran udara dengan bahan bakar pada motor bensin dapat masuk ke ruang bakar.

#### b. Langkah Kompresi (*Compression Stroke*)

Torak bergerak dari posisi TMB ke TMA dengan KI dan KB tertutup. Akibat dari gerakan torak tersebut maka terjadi proses kompresi yang mengakibatkan tekanan dan temperatur di silinder menjadi tinggi.

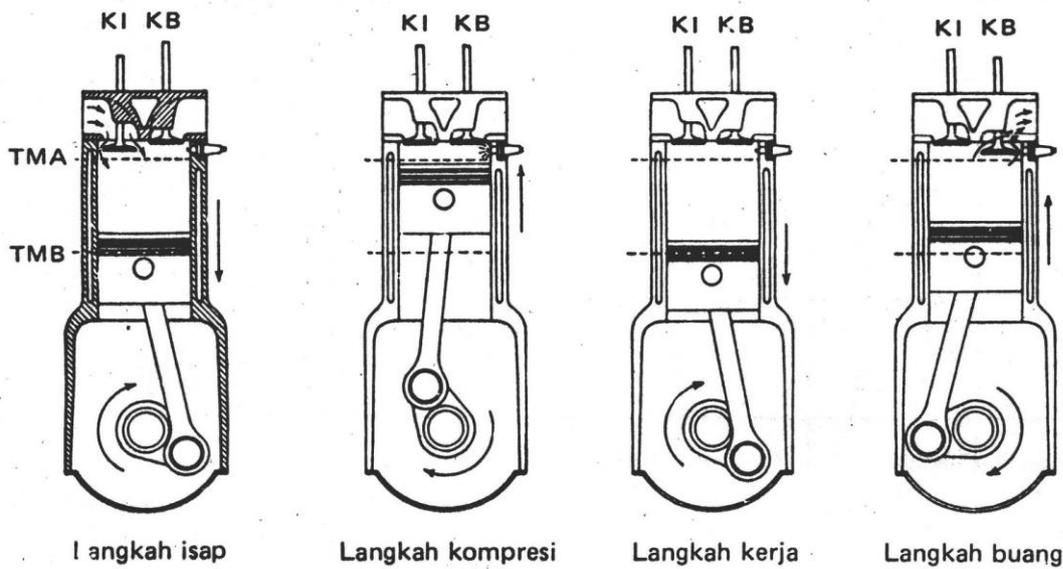
#### c. Langkah Ekspansi (*Expansion Stroke*)

Sesaat sebelum posisi torak mencapai TMA pada langkah kompresi, pada motor bensin busi dinyalakan dan memercikkan bunga api, sehingga terjadi proses pembakaran. Akibatnya tekanan dan temperatur di ruang bakar naik lebih tinggi. Akibatnya torak mampu melakukan langkah ekspansi atau langkah kerja, dimana posisi torak pada TMA dan bergerak menuju posisi TMB saat KB mulai terbuka pada langkah buang.

#### d. Langkah Buang (*Exhaust Stroke*)

Torak bergerak dari posisi TMB ke TMA dimana KI tertutup dan KB terbuka. Akibat gerakan torak tersebut gas sisa hasil pembakaran terbuang ke atmosfer.

Skema dari langkah gerakan torak di dalam silinder motor bakar 4 langkah tersebut dapat ditunjukkan dalam gambar 2.3



Gambar 2.3 Skema Langkah Kerja Motor Bakar 4 Langkah  
Sumber : Arismunandar (2002 : 8)

#### 2.2.4 Teori Pembakaran Pada Motor Bensin

Pembakaran adalah proses lepasnya ikatan-ikatan kimia lemah bahan bakar akibat pemberian energi tertentu dari luar menjadi atom-atom yang bermuatan dan aktif sehingga mampu bereaksi dengan oksigen lalu membentuk ikatan molekul-molekul yang kuat yang mampu menghasilkan cahaya dan panas dalam jumlah yang besar (Wardana, 2008). Syarat terjadinya pembakaran ada 3, yaitu :

1. Bahan bakar
2. Pengoksidasi (oksigen atau udara)
3. Energi aktivasi

Secara umum persamaan reaksi pembakaran dapat dituliskan sebagai berikut:



Dapat dilihat pada gambar 2.4, jika salah satu dari ke 3 unsur tersebut tidak tersedia ataupun ke 3 unsur bergabung dalam komposisi yang tidak tepat maka pembakaran tidak akan terjadi atau api tidak akan muncul.



Gambar 2.4 Ilustrasi Proses Pembakaran  
Sumber : Wardana (2008 : 1)

Pembakaran dalam ruang bakar terjadi saat bahan bakar yang telah dikabutkan oleh *nozzle* injektor dan dicampur dengan udara masuk ke dalam ruang bakar melalui katup hisap. Campuran tersebut kemudian dikompresikan oleh piston saat bergerak dari titik mati bawah (TMB) menuju titik mati atas (TMA). Dengan demikian maka tekanan dalam ruang bakar menjadi tinggi.

Proses pembakaran selanjutnya terjadi dengan pemberian energi aktivasi yang berasal dari percikan listrik busi yang terjadi pada saat beberapa derajat poros engkol (*crankshaft*) sebelum torak mencapai titik mati atas (TMA) dan membakar campuran antara udara dan bahan bakar yang telah dikompresikan oleh gerakan torak dari titik mati bawah menuju titik mati atas. Panas atau energi aktivasi ini digunakan untuk mengaktifkan moleku-molekul bahan bakar (Wardana,2008:3). Dalam proses pembakaran, energi kimia bahan bakar diubah menjadi energi panas dan pada setiap pembakaran selalu dihasilkan gas sisa hasil dari proses pembakaran yang dinamakan emisi gas buang.

Proses pembakaran teoritis bahan bakar bensin (isooktan) dapat dilihat pada reaksi dibawah ini :



Sedangkan untuk proses pembakaran secara teoritis bahan bakar *gasoline* dan *ethanol* (*gasohol*) dapat dilihat pada reaksi dibawah ini :



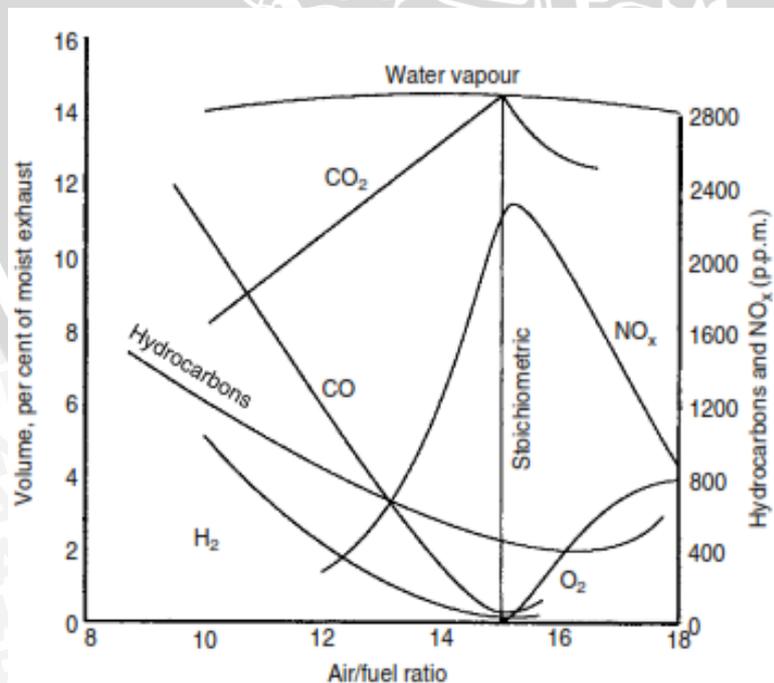
### 2.2.5 AFR (Air Fuel Ratio)

*Air-Fuel Ratio* (AFR) adalah perbandingan jumlah massa atau mol udara dan bahan bakar yang mempengaruhi kesempurnaan proses pembakaran di dalam ruang bakar. AFR dirumuskan sebagai berikut:

$$AFR = \left( \frac{\text{mol}_{\text{udara}}}{\text{mol}_{\text{bahan bakar}}} \right) \quad (2-8)$$

$$AFR = \left( \frac{\text{Massa}_{\text{udara}}}{\text{Massa}_{\text{bahan bakar}}} \right) \quad (2-9)$$

AFR juga dapat dinyatakan dalam perbandingan *volume* karena sebanding dengan perbandingan mol. Nilai AFR stokiometri dari bahan bakar bensin adalah 14.7, sedangkan untuk *ethanol* adalah 9.0. Nilai AFR sangat mempengaruhi emisi gas buang. Pada gambar 2.5 dapat dilihat bahwa saat AFR semakin kecil terhadap nilai stokiometri maka emisi CO dan HC mengalami kenaikan sedangkan CO<sub>2</sub> mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena pembakaran tersebut berlangsung pada saat keadaan bahan bakar terlalu banyak dibandingkan udara. Sebaliknya jika semakin tinggi nilai AFR dari garis stokiometri maka volume dari O<sub>2</sub> semakin naik sedangkan CO<sub>2</sub> menurun, ini dikarenakan pembakaran tersebut berlangsung pada saat keadaan terlalu banyak udara dibandingkan bahan bakarnya. Untuk kadar emisi HC dan CO saat keadaan nilai AFR lebih besar dari titik stokiometri mengalami sedikit kenaikan dikarenakan ketidaksempurnaan dalam pembakaran dan juga suhu pembakaran yang terlalu rendah.



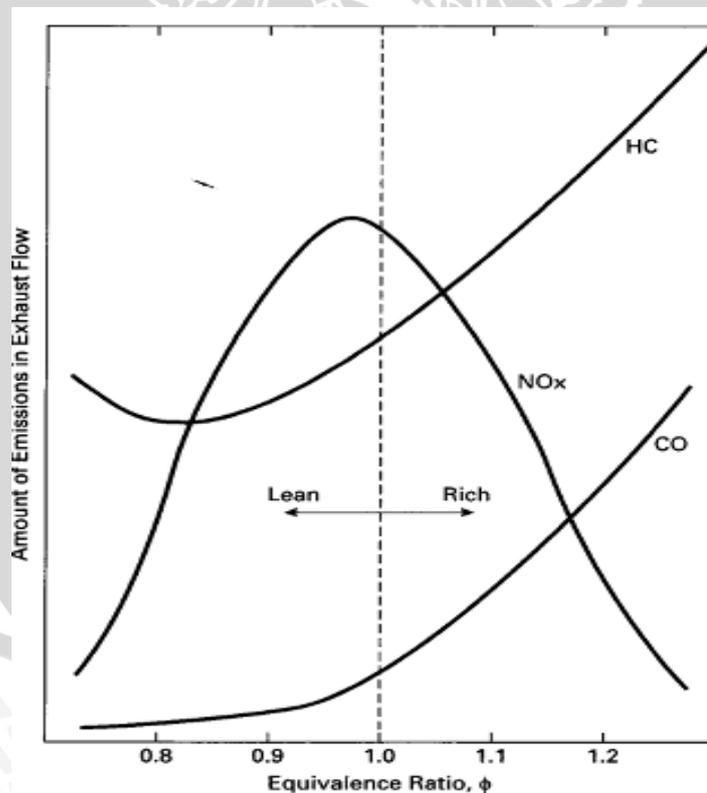
Gambar 2.5 Grafik hubungan antara volume emisi gas buang terhadap AFR  
Sumber : Martyr (2007 : 327)

### 2.2.6 Rasio Ekuivalen (*Equivalent Ratio*, $\Phi$ )

*Equivalent ratio* ( $\Phi$ ) adalah perbandingan antara AFR teoritis dengan AFR aktual, dengan rumus sebagai berikut:

$$\Phi = \frac{\text{AFR stoik}}{\text{AFR aktual}} \quad (2-10)$$

Pada umumnya metode ini digunakan untuk mengetahui pada proses pembakaran campuran udara dan bahan bakar merupakan campuran kaya, miskin, atau stoikhiometri. Campuran kaya (*fuel-rich mixture*) adalah campuran udara dan bahan bakar dimana mengandung lebih banyak bahan bakar dibanding udara. Campuran miskin (*fuel-lean mixture*) adalah kebalikan dari campuran kaya dimana dalam campuran udara dan bahan bakar mengandung lebih sedikit bahan bakar daripada udara. Sedangkan campuran stoikhiometri adalah keadaan dimana campuran tepat pada porsi nya. Cara untuk mengetahuinya adalah dengan melihat nilai *Equivalent ratio* ( $\Phi$ ) nya, jika  $\Phi > 1$ , maka campuran tersebut termasuk campuran kaya. Jika  $\Phi < 1$  maka campuran tersebut termasuk campuran miskin. Campuran tersebut dikatakan campuran stoikhiometri apabila  $\Phi = 1$ .

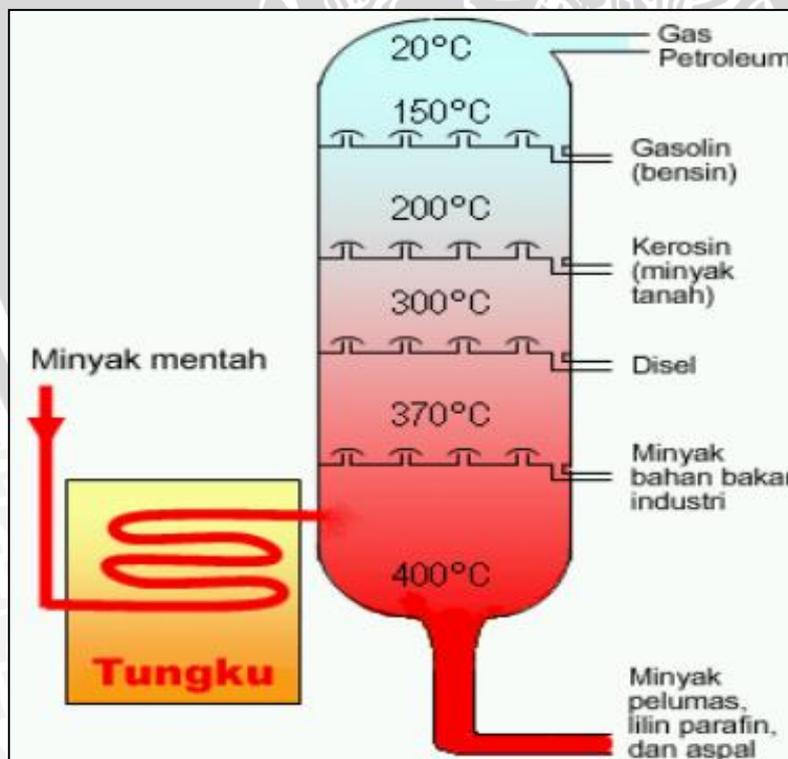


Gambar 2.6 Grafik hubungan emisi gas buang terhadap *Equivalent ratio*  
Sumber : Pulkrabek (1997 : 279)

*Equivalent ratio* ( $\Phi$ ) sangat berpengaruh terhadap emisi pada suatu pembakaran. Dapat dilihat pada gambar 2.6 bahwa  $\Phi > 1$  maka oksigen tidak cukup bereaksi dengan karbon dan hidrogen sehingga akan meningkatkan emisi HC dan CO. Pada saat  $\Phi < 1$  garafik HC mengalami sedikit kenaikan dikarenakan kegagalan dan miskinnya pembakaran

### 2.3 Bahan Bakar Motor Bensin

Bahan bakar adalah suatu zat yang akan diubah menjadi energi panas pada proses pembakaran yang disebut juga dengan reaksi eksotermal. Pada motor bensin umumnya menggunakan bahan bakar yang cair. Kandungan utama dalam bahan bakar adalah karbon (C) dan hidrogen (H). Sedangkan kandungan lainnya adalah nitrogen (N), Sulphur (S), oksigen ( $O_2$ ), karbondioksida ( $CO_2$ ), dan air ( $H_2O$ ) (Wardana, 2008). Sumber utama bahan bakar motor bensin di hasilkan dari proses destilasi minyak bumi yang berasal dari minyak alam yang tidak dapat diperbaharui, dampaknya semakin hari cadangannya semakin menipis berbanding lurus dengan tuntutan kebutuhan energi dunia yang semakin meningkat. Bensin yang merupakan salah satu bahan bakar motor bakar di dapatkan dari proses destilasi bertingkat dari minyak bumi yang dirubah menjadi berbagi jenis bahan bakar seperti bensin, solar, kerosin, minyak diesel, dll.



Gambar 2.7 Destilasi Bertingkat Minyak Bumi  
Sumber : Fatimah (1994)

### 2.3.1 Bahan Bakar Minyak

Bahan bakar minyak (*petroleum*) berasal dari kata-kata: Petro = *rock* (batu) dan leum = *oil* (minyak) adalah sumber daya alam yang merupakan campuran molekul karbon dan hidrogen yang berbentuk mineral cair yang didapatkan dari hasil tambang pengeboran sumur-sumur minyak mentah. Hasil dari pengolahan minyak mentah ini akan menghasilkan berbagai jenis bahan bakar dengan kualitas berbeda-beda. Minyak dan gas terbentuk dari siklus alami yang dimulai dari sedimentasi sisa-sisa tumbuhan dan binatang yang terperangkap selama jutaan tahun. Pada umumnya terjadi jauh dibawah dasar lautan. Material-material organik tersebut berubah menjadi minyak dan gas akibat efek kombinasi temperatur dan tekanan di dalam kerak bumi. Kumpulan dari minyak dan gas tersebut membentuk reservoir-reservoir minyak dan gas.

#### 2.3.1.1 Gasoline

*Gasoline* merupakan salah satu bahan bakar cair yang umum digunakan pada berbagai kendaraan bermotor. Bensin mengandung energi kimia yang akan di ubah menjadi energi panas melalui proses pembakaran (oksidasi) dengan udara di dalam mesin atau motor bakar. Energi panas ini akan meningkatkan temperatur dan tekanan gas pada ruang bakar. Gas bertekanan tinggi tersebut kemudian berekspansi melawan mekanisme mekanik mesin. Ekspansi itu diubah oleh mekanisme *link* menjadi putaran *crankshaft* sebagai output dari mesin tersebut. Selanjutnya, *crankshaft* dihubungkan ke sistem transmisi oleh sebuah poros untuk mentransmisikan daya atau energi putaran mekanis. Energi ini kemudian dimanfaatkan sesuai dengan keperluan misalnya menggerakkan roda motor atau mobil.

Secara sederhana, bensin terdiri dari hidrokarbon rantai lurus dengan rumus kimia  $C_nH_{2n+2}$ , mulai dari  $C_7$  (heptane) sampai  $C_{11}$ . Dengan kata lain bensin hanya terdiri dari hydrogen dan karbon yang saling terikat satu dengan yang lainnya sehingga membentuk rantai.

Bensin dibuat dari minyak mentah yaitu cairan berwarna hitam yang dipompa dari perut bumi dan biasa disebut *crude oil*. Cairan ini mengandung hidrokarbon. Atom-atom karbon dalam minyak mentah saling berhubungan membentuk rantai dengan panjang yang berbeda-beda.

Molekul hidrokarbon dengan panjang rantai berbeda memiliki sifat yang berbeda antara satu dengan yang lainnya.  $CH_4$  (metana) merupakan molekul yang paling ringan. Bertambahnya atom C dalam rantai tersebut membuatnya semakin berat. Bertambah panjangnya rantai hidrokarbon akan menaikkan titik didihnya.

Bensin ( $C_nH_{2n+2}$ ) dapat di campur dengan *ethanol* ( $C_2H_5OH$ ) karena kandungan karbon (C) dan hydrogen (H) pada bensin dan *ethanol* dapat saling terikat, sedangkan oksigen yang

*inheren* di dalam molekul *ethanol* tersebut membantu menyempurnakan pembakaran antara campuran udara dan bahan bakar dalam silinder.

### 2.3.1.2 Ethanol

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

*Ethanol* banyak digunakan dalam laboratorium dan dalam bidang rekayasa untuk membuat berbagai senyawa organik dan digunakan sebagai bahan bakar. *Ethanol* dapat dikenali dari baunya yang khas. *Ethanol* termasuk bahan bakar yang mudah terbakar dengan nyala api warna biru. Berat molekul *ethanol* adalah 46,07 dengan nilai pembakaran atas (HHV) 30,610 kJ/kg dan titik nyala  $170^{\circ}F$  ( $76,67^{\circ}C$ ) (Wardana.2008:37)

*Ethanol* merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui karena dapat diproduksi dari lahan pertanian seperti gandum, jagung, tebu melalui proses biokimia. Selain itu *ethanol* memiliki kandungan oksigen sebesar 34% dari beratnya senyawanya (shahrir,2014) dan jika dicampur dengan bahan bakar *gasoline* dalam silinder akan mengurangi emisi seperti *carbon monoxide* (CO) dan *hidrat carbon* (HC) (Iodice,2013). Hal ini disebabkan karena pembakaran bahan bakar yang mengandung *ethanol* mengarah kepada pembakaran miskin (*lean combustion*) dimana udara yang tersedia lebih banyak daripada udara yang dibutuhkan.

Beberapa keuntungan penggunaan *ethanol* sebagai bahan bakar bermotor adalah:

- Emisi gas buangnya lebih rendah.
- Kerapatan energinya lebih tinggi dari *methanol*.
- Mampu bercampur dengan pelarut organik seperti air, eter dan gliserol.

Sedangkan kerugian kerugiannya adalah :

- Bersifat korosif
- Kerapatan energinya lebih rendah dibandingkan bensin dan solar

(Wardana.2008:37)

Tabel 2.1 Karakteristik berbagai bahan bakar mesin pembakaran dalam

Property	Gasoline	Diesel	Methanol	Ethanol	Propane (LPG)	Methane (CNG)
H/C ratio	1.9	1.88	4.0	3.0	2.7	40
Energy Content (LHV) (Mj/kg)	44.0	42.5	20.0	26.9	46.4	50.0
Liquid Density (kg/l)	0.72-0.78	0.84-0.88	0.792	0.785	0.51	0.422
Liquid Density (Mj/kg)	33.0	36.55	15.84	21.12	23.66	21.13
Boilling Point (°C)	37-205	140-360	65	79	-42.14	-161.6
Research Octane Number	92-98	-25	106	107	112	120
Motor Octane Number	80-90	-	92	89	97	120
Stoichiometric air-fuel ratio	14.7	14.6	6.5	9.0	15.7	17.2
Reid Vapor Pressure (psi)	8-15	0.2	4.6	2.3	208	2400

Sumber : Faiz (1996 : 195)

*Ethanol* dapat digunakan untuk bahan bakar semua jenis mesin pembakaran dalam seperti otto dan disel. Konversi *ethanol* saat ini telah banyak dilakukan di berbagai negara karena dengan semakin meningkatnya harga minyak dan pencemaran emisi racun ke lingkungan yang lebih rendah dari bahan bakar cair cainnya.

*Ethanol* juga memiliki keunggulan lain diantaranya :

- Tingkat keamanan yang lebih jika dibandingkan bahan bakar lainnya karena temperatur nyala apinya lebih tinggi disbanding dengan bensin.
- Merupakan bahan bakar yang dapat diperbaharui dengan sumber yang sangat melimpah di Indonesia.
- Penggunaan *ethanol* dapat mengurangi efek rumah kaca pada atmosfer.

## 2.4 Gasohol

*Gasohol* (*gasoline-alcohol*) merupakan campuran antara *gasoline* dengan alkohol. Campuran ini biasanya di tandai dengan simbol "E". Misalnya E10, maka dapat diartikan bahwa di dalam campurannya terdapat 10% *ethanol* dan 90% *gasoline*. Campuran tersebut diharapkan

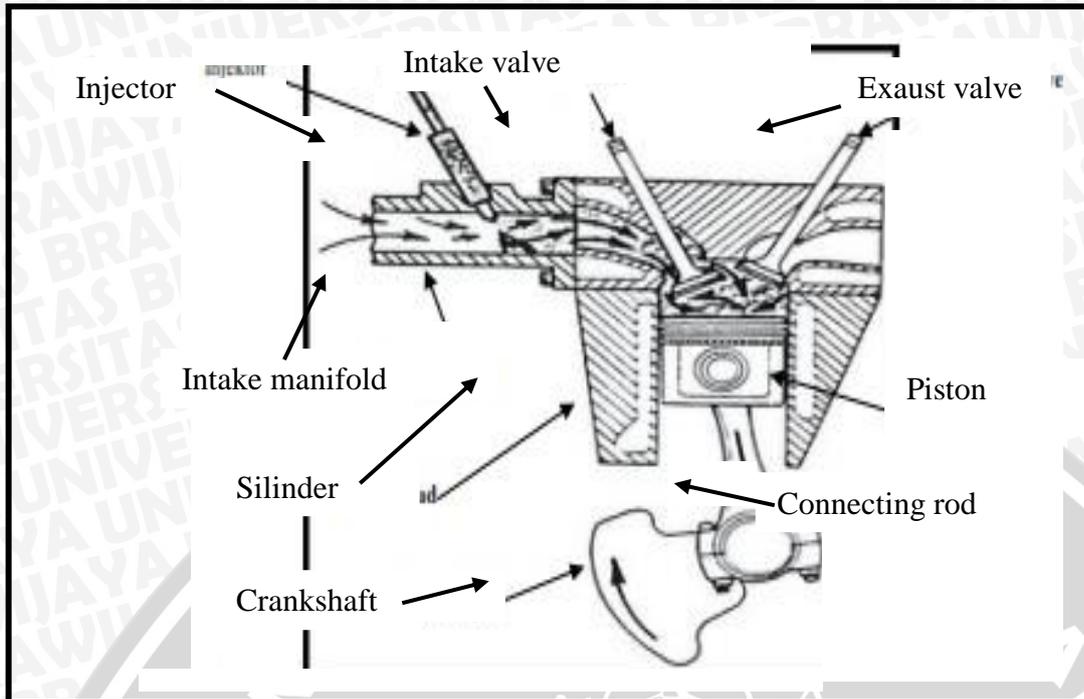
mampu menaikkan bilangan oktan premium sehingga mencegah terjadinya detonasi (*knocking*) dan menjadikan pembakaran lebih sempurna.

Dari penelitian yang telah dilakukan di *General Manager* (GM) Amerika Serikat ternyata *gasohol* dengan campuran 10% *ethanol* dan 90% premium dapat menurunkan pencemar NOx sebesar 22%, pencemar CO sebesar 50% dan pencemar HC sebesar 3% di dibandingkan dengan *gasoline*. Namun kerugian dari penggunaan *gasohol* tersebut adalah terbentuknya Aldehid dimana mengeluarkan bau yang tidak sedap pada hasil pembakarannya.

## 2.5 Sistem Injeksi Bahan Bakar

Injeksi bahan bakar adalah suatu teknologi yang digunakan pada mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) untuk menyuplai bahan bakar dalam proses pencampuran bahan bakar dengan udara sebelum dibakar. Cara kerjanya adalah dengan menentukan jumlah campuran bahan bakar dan udara se-ideal mungkin untuk dimasukkan ke dalam ruang bakar melalui saluran masuk yang jumlahnya diukur oleh sensor aliran udara (*air flow sensor*) yang kemudian diproses oleh ECM (*Electronic Control Module*) sehingga dapat ditentukan jumlah bahan bakar yang dapat disemprotkan oleh injektor yang harus masuk ke dalam silinder mesin. Idealnya untuk setiap 14,7 gram udara masuk diinjeksikan 1 gram bensin dan disesuaikan dengan kondisi panas mesin dan udara sekitar serta beban kendaraan. Bahan bakar bertekanan (2-4 kali tekanan dalam sistem karburator) telah dinaikan tekanannya oleh pompa bahan bakar elektrik dalam sistem dan siap diinjeksikan melalui *injector* elektronik. (Kustoro, 2012)

Ada 2 jenis injeksi bahan bakar yang digunakan dalam kendaraan bermotor, yaitu injeksi langsung ke ruang bakar (*Direct Injection*) dan Injeksi tidak langsung ke ruang bakar (*Indirect Injection*). Penggunaan jenis injeksi bahan bakar dapat dilihat berdasarkan bahan bakarnya, pada bahan bakar bensin yang digunakan adalah tipe injeksi tidak langsung.



Gambar 2.8 : Sistem Injeksi Tidak Langsung  
Sumber : Kustoro (2012 : 8)

## 2.6 Emisi Gas Buang

Emisi gas buang adalah sisa hasil pembakaran mesin yang terjadi karena pembakaran yang tidak sempurna dari sistem pembuangan dan pembakaran mesin yang menghasilkan Karbonmonoksida (CO), Karbondioksida (CO<sub>2</sub>), Oksigen (O<sub>2</sub>), Hidrokarbon (HC), Nitrogen (N<sub>2</sub>), Uap Air (H<sub>2</sub>O), Oksida Nitrogen (NO<sub>x</sub>), Sulfur Oksida (SO<sub>x</sub>), zat debu Timbal (Pb) dan Partikulat. Timbulnya emisi ini dikarenakan kurang tepatnya komposisi bahan bakar dengan udara dalam proses pembakaran.

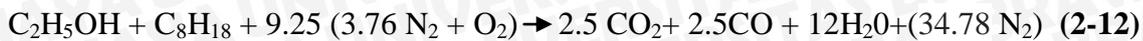
### 2.6.1 Karbon monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) adalah gas yang tidak berasa, tidak berbau, dan sukar larut dalam air. Gas ini akan dihasilkan bila karbon yang terdapat dalam bensin terbakar tidak sempurna karena kekurangan oksigen. Hal ini terjadi apabila campuran udara dan bahan bakar lebih gemuk dari campuran *stoichiometric*, dan dapat terjadi selama *idling*, pada beban rendah dan output maksimum (Soenarta, 1985)

Reaksi terbentuknya gas CO pada ruang bakar di dalam motor berbahan bakar bensin sebagai berikut:



Reaksi terbentuknya gas CO jika menggunakan bahan bakar *gasohol* adalah sebagai berikut :



Reaksi diatas menunjukkan ada CO yang tidak ikut terbakar dan ikut keluar pada saluran pembuangan bersama gas buang, hal ini terjadi karena reaksi kekurangan gas O<sub>2</sub> atau dapat dikatakan terlalu banyak bahan bakar dalam campurannya.

Gas ini bersifat racun bagi tubuh karena jika masuk ke dalam darah, Karbonmonoksida dapat bereaksi dengan Hemoglobin (Hb) yang akan membentuk karboksihemoglobin (COHb). Jika reaksi tersebut terjadi, maka kemampuan darah mengangkut O untuk kepentingan metabolisme dalam tubuh akan menjadi berkurang. Hal ini disebabkan kemampuan Hb untuk mengikat CO jauh lebih besar dibandingkan kemampuan Hb untuk mengikat O. Dampak lainnya juga dapat dilihat pada lingkungan yang mempengaruhi fiksasi nitrogen oleh bakteri bebas yang ada pada lingkungan terutama yang terdapat pada akar tanaman.

### 2.6.2 Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>)

Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) adalah hasil emisi senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen dengan sebuah atom karbon. Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) bersifat tidak berwarna, tidak berbau, tidak mudah terbakar, dan sedikit asam. CO<sub>2</sub> lebih berat daripada udara dan larut dalam air. Terdapatnya gas ini dihasil pembakaran mengindikasikan jika pembakaran yang terjadi tercukupi oksigen.

Reaksi terbentuknya gas CO<sub>2</sub> pada ruang bakar di dalam motor berbahan bakar bensin sebagai berikut:



Reaksi terbentuknya gas CO<sub>2</sub> jika menggunakan bahan bakar *gasohol* adalah sebagai berikut :



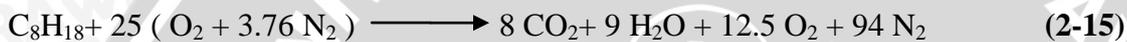
Karbondioksida adalah senyawa yang berbentuk gas pada suhu kamar (25<sup>0</sup>C), tak berbau dan tak berwarna. Gas ini sangat dibutuhkan tumbuhan untuk proses fotosintesis dan digunakan dalam industri minuman berkarbonasi. Efek negatif dari CO<sub>2</sub> jika masuk ke dalam darah akan bereaksi dengan air (H<sub>2</sub>O) membentuk asam karbonat sehingga darah bersifat asam. Didalam atmosfer CO<sub>2</sub> berlebih mengakibatkan efek rumah kaca yang menyerap panas di stratosfer dan diradiasikan kembali ke bumi sehingga suhu atmosfer bumi meningkat. Konsentrasi CO<sub>2</sub>

menunjukkan secara langsung status proses pembakaran di ruang bakar, semakin tinggi maka semakin baik (Bachri, 2009)

### 2.6.3 Oksigen (O<sub>2</sub>)

Oksigen adalah unsur kimia dalam sistem tabel periodik yang mempunyai lambang O dan nomor atom 8 yang tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau. Pada temperatur dan tekanan standar, dua atom unsur ini berikatan menjadi dioksigen, yaitu senyawa gas diatomik dengan rumus O<sub>2</sub>. Konsentrasi dari oksigen di gas buang kendaraan berbanding terbalik dengan konsentrasi CO<sub>2</sub>. Untuk mendapatkan proses pembakaran yang sempurna, maka kadar oksigen yang masuk ke ruang bakar harus mencukupi untuk setiap molekul hidrokarbon, jika tidak maka mesin akan menyisakan oksigen keudara.

Reaksi terbentuknya gas O<sub>2</sub> pada ruang bakar di dalam motor berbahan bakar bensin sebagai berikut:



Reaksi terbentuknya gas O<sub>2</sub> jika menggunakan bahan bakar *gasohol* adalah sebagai berikut



### 2.6.4 Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon (HC) adalah ikatan unsur dari hidrogen dan karbon yang tidak terbakar pada saat proses pembakaran tidak sempurna di ruang bakar dimana hanya sebagian bahan bakar bereaksi dengan oksigen terutama di dekat dinding silinder antara silinder dan torak, hal ini pada umumnya disebabkan karena rendahnya temperatur pembakaran. Hidrokarbon dapat keluar tidak hanya jika campuran udara bahan bakarnya kaya, tetapi bisa saja kalau campurannya miskin. Sumber emisi HC dapat disebabkan juga oleh bahan bakar yang terpecah karena reaksi panas berubah menjadi gugusan HC lain yang keluar bersama gas buang (Syahrani, 2006)

Reaksinya sebagai berikut:



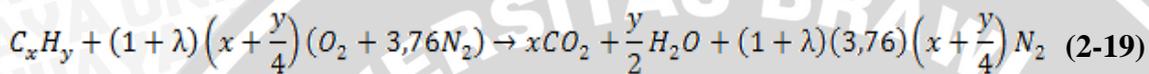
Dampak dari emisi hidrokarbon diantaranya dapat menyebabkan berbagai macam penyakit hingga kematian pada manusia jika terhirup terus-menerus, selain itu dapat juga merusak sel dari tanaman dan perubahan gen pada hewan. Jika suhu pembakaran rendah dan perambatan nyala api lemah serta luasan dinding ruang bakarnya yang bersuhu rendah agak besar, kondisi ini terutama dijumpai pada saat motor baru dihidupkan atau pada putaran bebas

(*idle*) maka secara alamiah motor akan banyak menghasilkan emisi hidrokarbon (Kristanto, 1999).

### 2.6.5 Excess Air ( $\lambda$ )

Udara berlebih (*excess air*) adalah penambahan jumlah udara pada proses pembakaran dengan tujuan menambah kemungkinan agar terjadi proses pembakaran sempurna. Persentase udara berlebih (*excess air*) dilambangkan dengan  $\lambda$ . Udara berlebih (*excess air*) dirumuskan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{AFR_{\text{aktual}} - AFR_{\text{stoik}}}{AFR_{\text{stoik}}} \times 100 \% \quad (2-18)$$



Keterangan :

$\lambda$  = faktor kelebihan udara

$\lambda = 1$  apabila dipergunakan udara *stoichiometry*

$\lambda > 1$  apabila dipergunakan udara berlebih

$\lambda < 1$  apabila kekurangan udara

Nilai AFR dapat dihitung dalam perbandingan jumlah massa maupun perbandingan jumlah mol molekul. Seperti pengertian di atas, persen udara berlebih diberikan untuk menambah jumlah udara lebih besar dari jumlah yang dibutuhkan pada proses pembakaran. Oleh karena itu jumlah persen udara berlebih dengan jumlah persen udara yang dibutuhkan pada proses pembakaran disebut udara teoritis.

Udara teoritis = 100 % + persen udara lebih

= ( 100 +  $\lambda$  ) %

$\lambda$  = udara teoritis – 100

## 2.7 Gas Analyzer

Kesempurnaan pembakaran dapat di analisa dari kandungan gas sisa pembakaran yang di hasilkan oleh suatu motor bakar. Untuk menganalisa gas sisa pembakaran (*exhaust gas*) tersebut dapat dilakukan dengan *gas analyzer*. *Gas analyzer* merupakan suatu alat instrumentasi yang berfungsi untuk mengukur komposisi gas. Dalam penelitian ini alat *gas analyzer* yang digunakan adalah *stargas analyzer* yang mampu mengukur kadar CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>, putaran motor (rpm), temperatur mesin dan juga udara berlebih (*excess air*) yang keluar dari saluran keluar gas buang. Alat ini telah dilengkapi dengan mesin printer, sehingga data hasil pengujian dapat

langsung dicetak. Selain itu, alat ini telah memiliki sistem *auto zero*, sehingga data pengujian dapat lebih akurat.

## 2.7 Hipotesis

Kenaikan kadar *ethanol* dalam campuran *gasoline-ethanol (gasohol)* dalam motor bakar bensin 4 langkah dengan sistem injeksi akan meningkatkan kandungan oksigen ( $O_2$ ) dalam setiap molekulnya sehingga menyebabkan ikatan antara atom C dan O cenderung untuk menghasilkan  $CO_2$ . Dengan meningkatnya  $CO_2$  dalam campuran gasohol akan berbanding terbalik dengan kandungan CO dan HC yang semakin rendah.

