

## **BAB II**

### **KAJIAN TEORI**

#### **2.1 Motor Bensin 4 Langkah**

Pada motor bensin 4 langkah, dimana setiap silindernya membutuhkan empat kali gerakan *piston* untuk mendapatkan satu kali pembakaran, yaitu : dua kali gerak ke titik mati atas (TMA) dan dua kali gerak ke titik mati bawah (TMB) atau dua kali putaran poros engkol ( $720^\circ$ ).

Langkah kerja motor 4 langkah ini adalah :

##### **A. Langkah hisap (*intake stroke*)**

Langkah ini dimulai ketika *piston* bergerak dari titik mati atas (TMA), dimana katup masuk mulai membuka, dan campuran bahan bakar serta udara yang telah dicampur di dalam karburator masuk dan dihisap ke dalam silinder. Katup akan menutup pada saat *piston* berada pada titik mati bawah (TMB).

##### **B. Langkah kompresi (*compression stroke*)**

Langkah ini dimulai ketika *piston* bergerak dari TMA, dimana katup masuk dan katup buang dalam keadaan tertutup, sehingga gas yang telah dihisap di dalam silinder mesin tidak dapat keluar pada saat ditekan oleh *piston*. Hal tersebut mengakibatkan tekanan gas meningkat dan mencapai tekanan optimum. Beberapa saat sebelum *piston* mencapai TMA, gas yang telah mencapai tekanan optimum tersebut dibakar oleh bunga api berasal dari busi.

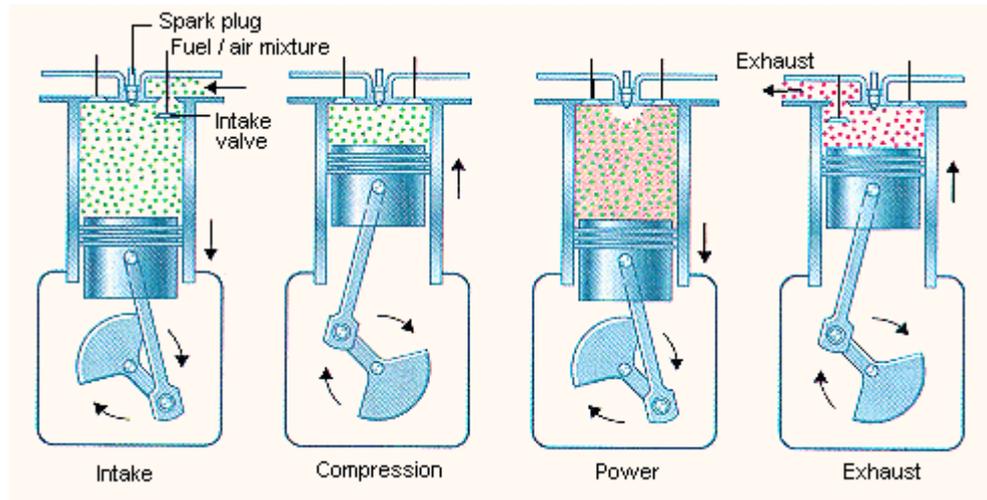
### **C. Langkah kerja (*power stroke*)**

Gas hasil pembakaran yang terjadi memiliki tekanan dan suhu yang tinggi akan mengembang dan mendorong *piston* kebawah, sehingga dengan tenaga yang sangat kuat, *piston* ditekan dan dipaksa untuk kembali hingga TMB. Pada saat ini, pertama kali tenaga panas diubah menjadi tenaga mekanis (tenaga mesin). Tenaga ini kemudian disalurkan melalui batang torak (*connecting rod*) dan oleh poros engkol (*crankshaft*) diubah menjadi tenaga putar. Pada langkah ini, katup masuk dan katup buang dalam keadaan tertutup.

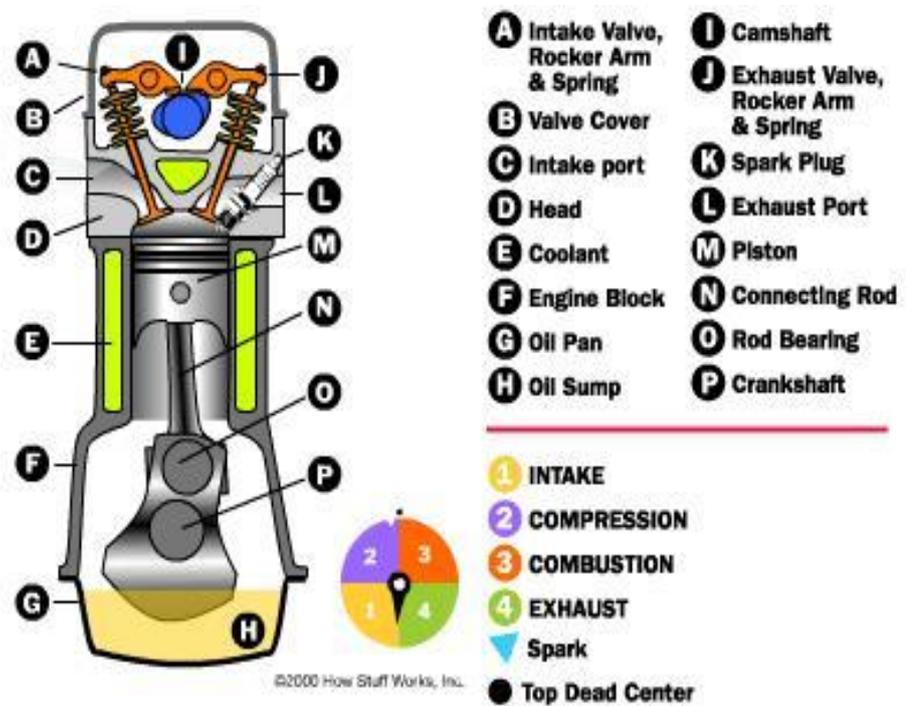
### **D. Langkah buang (*exhaust stroke*)**

Langkah ini merupakan langkah terakhir dari siklus kerja motor 4 langkah, dimana *piston* bergerak dari TMB menuju TMA dan katup buang mulai terbuka. Dengan demikian, gas sisa hasil pembakaran akan terdorong oleh *piston* dan dikeluarkan melalui saluran *exhaust* menuju udara bebas.

Dengan terbuangnya gas sisa hasil pembakaran ke udara bebas, maka kerja dari motor 4 langkah telah selesai untuk satu siklus kerja. Berikut adalah gambar dari langkah kerja motor 4 langkah :



**Gambar 2.1 :** Gambar langkah kerja motor 4 langkah.



**Gambar 2.2 :** komponen dalam motor 4 langkah.

### 2.1.1 Prinsip kerja motor bensin 4 langkah

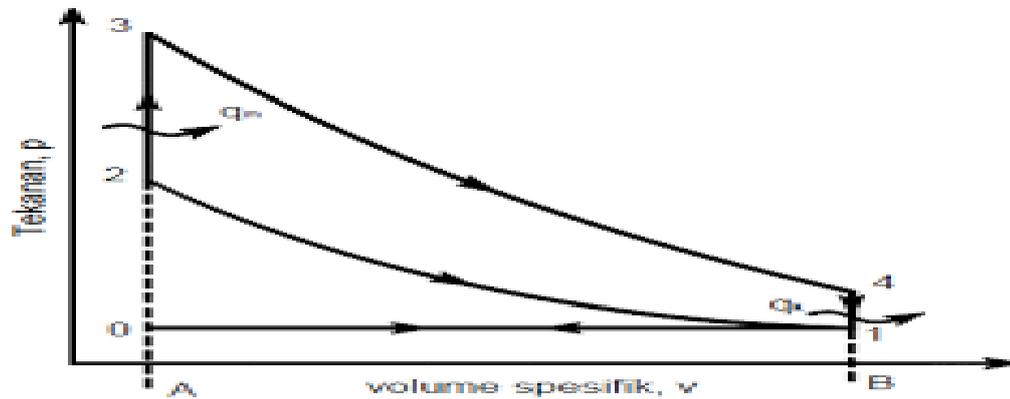
Pada umumnya mesin mobil dan sepeda motor mempergunakan mesin 4 langkah, dimana proses pembakaran terjadi pada setiap 4 langkah gerakan *piston* atau 2 kali putaran poros engkol. Dengan anggapan bahwa katup masuk dan katup keluar terbuka dan tertutup tepat pada saat *piston* berada pada titik mati atas (TMA) dan titik mati bawah (TMB). *Piston* bergerak di antara bagian atas dan bagian bawah disebut titik mati bawah. Panjang atau jarak gerak piston dari TMA hingga TMB disebut panjang langkah atau *stroke*.

Pada motor bensin, campuran udara dan bensin dari karburator yang dihisap masuk ke dalam silinder oleh piston, kemudian di kompresi sampai titik mati atas yang mengakibatkan tekanan dan temperatur meningkat. Bersamaan dengan itu, busi dinyalakan sehingga terjadi proses pembakaran di dalam silinder (ruang bakar). Dengan terbakarnya campuran bensin dan udara tersebut, tekanan dan temperatur di dalam ruang bakar semakin meningkat sehingga *piston* akan terdorong kebawah dan menghasilkan langkah usaha (*power stroke*) akibat tekanan tinggi yang dihasilkan.

### 2.1.2 Siklus ideal

Siklus motor bensin yang ideal proses kompresi dan ekspansi diumpamakan isentropik sedangkan selama langkah-langkah pemasukan dan pengeluaran tekanan dalam silinder diandaikan sama dengan tekanan atmosfer. Kerja oleh torak terhadap gas di dalam silinder selama langkah pembuangan secara eksak sama dengan kerja yang dilakukan oleh gas terhadap torak selama langkah

hisap, sehingga keluaran kerja berguna dihasilkan semata-mata oleh kelebihan kerja yang dilakukan terhadap gas selama kompresi.



**Gambar 2.3** : diagram P-v dari siklus ideal kerja motor otto

Proses siklus pada diagram P-V adalah sebagai berikut :

- 1-2 : langkah kompresi yang berlangsung secara isentropis, dimana tekanan dan temperatur meningkat secara tajam.
- 2-3 : proses pembakaran pada volume konstan yang di anggap sebagai proses pemasukan kalor ( $Q_{in}$ ) pada volume konstan.
- 3-4 : langkah kerja yang terjadi secara isentropis
- 4-1 : proses pembuangan yang di anggap sebagai proses pengeluaran kalor pada volume konstan.
- 1-0 : Langkah buang dengan proses tekanan konstan (isobarik)

## 2.2 Bahan Bakar Bensin

Bahan bakar motor bensin adalah bensin itu sendiri. Motor bakar bensin, sebenarnya salah satu bagian utama motor torak. Motor torak yang jenis lainnya adalah motor diesel. Perbedaan pokok adalah pada sistem penyalaan dan

penggunaan bahan bakar. Pada motor bakar diesel bahan bakarnya adalah solar sedangkan pada motor bensin adalah bensin.

Sementara dalam motor diesel, bahan bakar yang disemprotkan ke ruang bakar akan terbakar dengan sendirinya oleh udara yang bertekanan dan suhu yang tinggi di ruang bakar. Dalam motor bensin, bahan bakar (bensin) terbakar oleh percikan bunga api yang dihasilkan busi di dalam ruang bakar.

### 2.2.1 Sifat Bahan Bakar Bensin

Bahan bakar bensin merupakan campuran ikatan hidrokarbon. Jumlah karbon yang terkandung dalam bensin adalah  $C_4$  sampai  $C_{10}$  yang memiliki titik didih antara  $35^0$  sampai  $200^0$  C. Tidak berwarna bening, tetapi peraturan di negara barat, bensin yang mengandung Pb yang memberikan indikasi ada racunnya diberi warna merah *orange*, seperti halnya bensin premix. Bahan bakar bensin yang digunakan untuk mesin dengan pengapian busi.

Bahan bakar bensin memiliki sifat sebagai berikut : mudah menguap pada temperatur normal, tidak berwarna tembus pandang dan berbau, mempunyai titik nyala rendah ( $-10^0$  C sampai  $-15^0$  C), berat jenis yang rendah 0,60 sampai 0,78 dapat melarutkan oli dan karet, menghasilkan jumlah panas yang besar, sedikit syarat-syarat bensin untuk pembakaran adalah sebagai berikut : mudah terbakar, mudah menguap, tidak beroksidasi atau berubah kualitasnya selama dalam penyimpanan serta bersifat pembersih.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Training center, New Step I, (Jakarta: Toyota Astra Motor, 2003) h.(1)-41

### 2.2.2 Nilai Oktan (*Octane Number*) Bahan Bakar

Nilai oktan adalah tingkatan dari bahan bakar dengan ukuran daya tahan bahan bakar bensin terhadap *knocking*. Bensin dengan nilai oktan tinggi akan tahan terhadap timbulnya *knocking* pada mesin dibanding bensin dengan nilai oktan rendah.

**Tabel 2.1 Nilai Oktan Bahan Bakar.**

Bahan Bakar	Nilai Oktan	Ketentuan Kompresi
Pertamina – Premium	88	7:1 s/d 8:1
Pertamina – Pertalite	90	8:1 s/d 9:1
Pertamina – Pertamax	92	9:1 s/d 10:1
Pertamina – Pertamax Turbo	98	10:1 s/d 12,1:1
Pertamina – Pertamax Racing	100	12,1 ke atas
Shell – Super	92	9:1 s/d 10:1
Shell – V-Power	95	10:1 s/d 11:1

Nilai oktan atau tingkatan dari bahan bakar adalah mengukur bahan bakar bensin terhadap anti *knock characteristic*. Bensin dengan nilai oktan, tinggi akan tahan terhadap timbulnya *engine knocking* dibanding dengan nilai oktan yang rendah. Ada dua cara yang digunakan untuk mengukur nilai oktan, dengan istilah “RON” (*Research Octane Number*) dan *motor method*. *Research method* digunakan untuk bensin dengan nilai oktan tinggi, sedangkan *motor method* untuk bensin dengan nilai oktan rendah. Bensin dengan nilai oktan 88 umumnya disebut

bensin biasa dan yang nilai oktannya 95 disebut oktan tinggi, atau super premium. Untuk mesin dengan perbandingan kompresi tinggi diperlukan bahan bakar dengan nilai oktan yang tinggi untuk menghindari terjadinya *knocking* atau detonasi dan putaran yang lembut.

### 2.2.3 Pengaruh karakteristik bensin terhadap proses pembakaran

Bensin bukanlah zat tunggal, melainkan campuran dari beberapa zat yang mempunyai sifat fisik dan kimia tertentu. Bensin diperoleh dengan 4 metode utama yaitu : (*Maleev, V.L1964*)

1. Destilasi dari minyak mentah (*crude oil*)
2. Pemecahan (*cracking*) dari minyak residu.
3. Polimerisasi dari gas dengan proses *cracking* yang menghasilkan bensin dengan oktan tinggi.
4. Ekstraksi dari gas alam dengan absorpsi, destilasi dan pencampuran dengan beberapa hidrokarbon.

Sebenarnya tidak ada bensin murni melainkan campuran dari beberapa hidrokarbon, seperti parafin, olefin, naphthena dan aromatik. Komposisi bensin berubah-ubah, tergantung dari proses pembuatannya.

Sifat-sifat bensin ideal yang diperlukan dalam proses pembakaran di asumsikan sebagai berikut :

- Mudah bercampur dengan udara
- Mencegah timbulnya *knocking*
- Tidak mudah terjadi penyalaan awal (*preignation*)
- Cenderung tidak menurunkan efisiensi volumetrik dari bensin.

- Pembakarannya sempurna dan tidak menimbulkan korosi serta pengaruh negatif lainnya pada komponen mesin.
- Memiliki nilai kalor tinggi
- Tidak membentuk zat lengket dari minyak rengas.
- Harus mudah menggunakannya.
- Harus murah dan mudah didapatkannya.

Bensin harus mempunyai kondisi operasi yang luas seperti variasi sistem bahan bakar, temperatur mesin, pompa bahan bakar dan tekanan bahan bakar.

Adapun karakteristik-karakteristik bensin yang mempengaruhi unjuk kerja mesin adalah sebagai berikut :

1. Kualitas oktan dan bilangan oktan yang diperlukan (*RON*).
2. Penguapan (*volatility*)
3. Batas nyala (*ignition limit*)
4. Temperatur *dew point*
5. Titik tuang (*pour point*)
6. Sifat korosif

Bensin harus mempunyai kondisi operasi yang luas seperti variasi sistem bahan bakar, temperatur mesin, pompa bahan bakar dan tekanan bahan bakar. Adapun karakteristik-karakteristik bensin yang mempengaruhi unjuk kerja mesin (*sharma, R.P. 1980; maleev, V.L 1964*) adalah kualitas oktan dan bilangan oktan yang diperlukan (*RON*), penguapan (*volatility*), batas nyala (*ignition limit*), temperatur *dew point*, titik tuang (*pour point*), abu, air dan endapan, dan sifat korosif. Berikut antara lain spesifikasi bahan bakar (premium) :

STANDAR DAN MUTU (SPESIFIKASI) BAHAN BAKAR MINYAK  
JENIS BENSIN 88 YANG DIPASARKAN DI DALAM NEGERI

**Tabel 2.2 Spesifikasi Bahan Bakar Premium**

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji	
			Min.	Maks.	ASTM	Lain
1.	Bilangan Oktana Angka Oktana Riset (RON)	RON	88.0	-	D 2699	
	Angka Oktana Motor (MON)	MON	Dilaporkan		D 525	
2.	Stabilitas Oksidasi	Menit	360		D 525	
3.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0.05 <sup>1)</sup>	D 2622 atau D 4294 atau D 7039	
4.	Kandungan Timbal (Pb)	g/l	- Injeksi timbal tidak dijijinkan - Dilaporkan		D 3237	
5.	Kandungan Logam (Mangan, Besi)	mg/l	Tidak terdeteksi *)		D 3631 atau	IP 74
6.	Kandungan Oksigen	% m/m	-	27 <sup>2)</sup>	D 4815	
7.	Kandungan Olefin	% v/v	Dilaporkan		D 1319	
8.	Kandungan Aromatik	% v/v			D 1319	
9.	Kandungan Benzena	% v/v			D 4420	
10.	Distilasi :				D 86	
	10% vol. Penguapan	°C	-	74		
	50% vol. Penguapan	°C	75	125		
	90% vol. Penguapan	°C	-	180		
	Titik didih akhir	°C	-	215		
Residu	% vol	-	2.0			
11.	Sedimen	mg/l	-	1	D 5452	
12.	<i>Unwashed gum</i>	mg/100 ml	-	70	D 381	
13.	<i>Washed gum</i>	mg/100 ml	-	5	D 381	
14.	Tekanan Uap	KPa	45	69	D 5191 atau D 323	
15.	Berat Jenis (pada suhu 15 C)	kg/m <sup>3</sup>	715	770	D 4052 atau D 1298	
16.	Korosi bilah tembaga	menit	Kelas I		D 130	
17.	Sulfur Mercaptan	% massa	-	0.002	D 3227	

				3)		
18.	Penampilan visual		Jernih dan			
19.	Bau		Dapat			
20.	Warna		Dipasarkan			
21.	Kandungan pewarna	g/100l	Kuning			
				0.13		

*\*Sumber data dari Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi. Jakarta*

\*) tidak ada penambahan sengaja berbasis aditif logam, atau di bawah batas kuantitas metode uji yang digunakan.

### CATATAN UMUM

1. Aditif harus kompatibel dengan minyak mesin (tidak menambah kekotoran mesin/kerak)
2. Aditif yang mengandung komponen pembentuk abu (ash forming) tidak diijinkan.  
Pemeliharaan secara baik untuk mengurangi kontaminasi (debu, air, bahan bakar lain, dll)

### CATATAN KAKI

CATATAN 1 : Batasan 0.05% m/m setara dengan 500ppm

CATATAN 2 : Bila digunakan oksinegat jenis ether lebih disukai. Penggunaan etanol diperbolehkan sampai dengan maksimum 10% volum (sesuai ASTM 4086 dan Ph 7-9)  
Alkohol berkarbon lebih tinggi (C>2) dibatasi maksimal 0.1% volum penggunaan metanol tidak diperbolehkan.

CATATAN 3 : Batasan 0,002% m/m setara dengan 20 ppm.

## **2.3 Pengaruh Aditif Terhadap Karakteristik Pembakaran**

Beberapa zat kimia yang dikenal sebagai aditif digunakan untuk memperbaiki kinerja bahan bakar dalam proses pembakaran. Masalah utama pembakaran yang timbul jika kondisi operasi menjadi tidak baik adalah timbulnya *knocking* awal (pranyala). Masalah ini bisa diatasi dengan beberapa alternatif, yaitu :

- Memperbaiki desain ruang pembakaran
- Material penyusun
- Kualitas bahan bakar dan oli, dll.
- Penambahan aditif hanyalah salah satu cara mengatasi masalah pembakaran diruang bakar agar tidak terjadi *knocking*.

Syarat-syarat aditif yang diperlukan adalah :

1. Efektif dalam reaksi sesuai yang diinginkan, misal mencegah *knock*, mencegah penyalaan awal atau keduanya.
2. Mudah larut dalam bahan bakar pada semua kondisi.
3. Stabil dalam penyimpanan, tidak mempunyai efek merugikan stabilitas bahan bakar
4. Tidak menghasilkan kerak (deposit)
5. Daya larut terhadap air harus minimum.

Adapun jenis-jenis aditif yang umum dipergunakan dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 2.3 Beberapa Jenis Aditif dan Fungsinya.**

<b>Jenis</b>	<b>Fungsi Utama</b>
1. <i>Anti knocking</i>	Mencegah terjadinya <i>knocking</i> .
2. Pembersih/pengontrol deposit. <i>(Detergent/Deposit control additives)</i>	Membersihkan ruang bakar.
3. Anti beku ( <i>Anti-icers</i> )	Mencegah pembekuan pada jalur

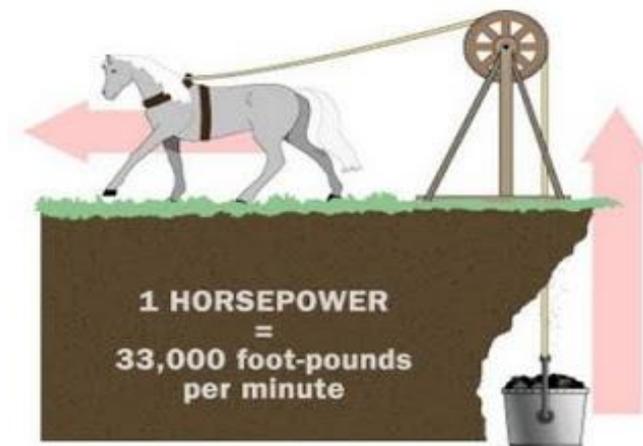
	pipa bahan bakar
4. <i>Fluidizer oil</i>	Mencegah timbulnya kerak pada katup masuk ruang bakar. ( <i>intake valve</i> )
5. Pencegah korosi ( <i>corrosion Inhibitor</i> )	Mencegah korosi pada sistem saluran bahan bakar.
6. <i>Anti oxidant (anti-Oxidant additives)</i>	Mencegah terbentuknya zat lengket akibat oksidasi bahan bakar pada penyimpanan bensin.
7. <i>Metal deactivator</i>	Meminimalisir efek dari logam-logam yang terdapat pada bakar bensin, agar tidak berbahaya.
8. <i>Tetraethyl lead (TEL)</i>	Menaikan bilangan oksidasi sehingga kemungkinan terjadi detonasi dapat dihindari.
9. <i>Octane Booster</i>	Menaikan temperatur nyala bahan bakar sehingga bahan bakar tidak akan terbakar sebelum penyalaan dimulai, dan memperbaiki struktur bahan bakar sehingga bahan bakar dapat terbakar secara sempurna

## 2.4 Karakteristik Unjuk Kerja Mesin

### 1. Daya Mesin

Tujuan utama dari menjalankan sebuah mesin adalah tenaga mekanik. Keluaran daya (*power*) didefinisikan sebagai laju kerja yang dilakukan dan sama perkalian gaya dengan kecepatan linier atau perkalian antara torsi dengan kecepatan putar (*angular*)<sup>2</sup>. Semakin besar kemampuan operasi mesin tersebut, maka dapat dikatakan mesin tersebut memiliki daya yang semakin besar.

Dengan pengertian bahasa teknik dapat disimpulkan bahwa semakin besar beban yang mampu diangkat mesin, maka semakin besar kemampuan mesin tersebut. Hal ini dapat dibuktikan bahwa daya yang berkaitan dengan beban dan waktu. Jadi yang dimaksud yaitu daya mesin adalah besarnya kerja mesin selama waktu tertentu.



**Gambar 2.4** Seekor kuda dapat mengangkat 33.000 ft.lb sejauh ft per menit.<sup>3</sup>

<sup>2</sup>Astu Pudjanarsa & Djati Nursuhud, *Mesin Konversi Energi*, (Yogyakarta: Andi 2013), h. 67

<sup>3</sup>William H. Crouse and Donald Anglin, *Automotive Engine Eight Edition*, (New York: Mc Graw-Hill International 1994), h. 110

Daya mesin adalah daya yang bekerja pada *crank shaft*. Hampir semua istilah dari ukuran untuk daya adalah *horse power* (HP). Satu *horse power* adalah sebuah ukuran dari tingkat dimana seekor kuda dapat mengangkat beban sebesar 200 lb permenit sejauh 165 ft. Gambar di atas menunjukkan seekor kuda berjalan sejauh 165 feet dalam waktu 1 menit mampu mengangkat beban 200 pound. Kemampuan kerja yang dihasilkan 33.000 ft.lb (165 x 200 pounds). Waktu yang diperlukan adalah 1 menit. Seekor kuda telah melakukan pekerjaan 2 menit, ia dapat dikatakan hanya setengah bekerja. Kuda itu hanya menghasilkan  $\frac{1}{2}$  *horse power*.

Rumus *horse power* :

$$\text{HP} = \frac{\text{ft. lb.per menit}}{33000} = \frac{L \cdot W}{33000} \quad (2.1)$$

Keterangan :

Hp = *Horse Power*

L = Jarak dalam meter (m)

T = waktu dalam menit

L = gaya dalam jarak

Dalam satuan metrik, daya mesin menggunakan dalam satuan kilowatt (kW). 1 *Horse Power* adalah 0,745 kW, maka daya mesin dapat dihitung jika diketahui daya putar dari mesin dalam lbf.ft dan rpm nya. Rumus yang dipakai adalah sebagai berikut.<sup>4</sup>

$$\text{HP} = \frac{\text{Torsi x rpm}}{5252} \quad (2.2)$$

---

<sup>4</sup>John B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamental*, (New York: Mc Graw Hill Book Company, 1988), h. 45

### 2.4.1 Tekanan Efektif Rata-rata dan Torsi Mesin

Tekanan efektif rata-rata adalah tekanan hipotetik yang dapat dipikirkan bekerja pada piston selama langkah kerja . Tekanan efektif rata-rata diperoleh dari membagi kerja siklus dengan volume langkah tiap siklus, maka dirumuskan<sup>5</sup> :

$$HP = \frac{P_m \cdot L \cdot A \cdot n \cdot i}{4500 \times a} \quad (2.3)$$

Keterangan :

Hp = *Horse power*

$P_m$  = tekanan efektif rata-rata (kgf/cm<sup>2</sup>)

L = panjang langkah torak (m)

A = luas penampang silinder (cm<sup>2</sup>)

i = jumlah silinder

n = putaran mesin (rpm)

a = jumlah putaran yang diperlukan untuk melengkapi satu siklus mesin.

○ dua langkah a = 1

○ empat langkah a = 2

Torsi mesin yang dihasilkan dari tekanan pembakaran akan mendorong piston menuju titik mati bawah (TMB). Ketika piston bergerak ke bawah pada langkah usaha, piston tersebut menerapkan torsi pada *connecting rod* ke poros engkol (*crank shaft*) mesin.

Semakin tinggi jumlah efisiensi volumetrik dan tekanan pembakaran, akan menaikkan torsi sebuah mesin. Efisiensi volumetrik adalah merupakan

---

<sup>5</sup>Astu Pudjanarsa & Djati Nursuhud, *Mesin Konversi Energi*, (Yogyakarta: Andi 2013), h. 68-69

ukuran seberapa lengkap silinder terpenuhi oleh campuran udara dan bahan bakar pada langkah isap. Efisiensi volumetrik dapat tercapai 100% jika silinder dapat terisi penuh oleh gas udara dan bahan bakar. Akan tetapi, ada beberapa hal yang dapat mencegah hal itu terjadi, yaitu saat langkah *overlapping* (pembilasan). Pada langkah *overlapping*, katup isap dan katup buang akan terbuka, maka akan ada gas yang akan terbangun bersama gas buang. Juga selama mesin berputar dalam kecepatan tinggi, katup isap akan terbuka dalam waktu cepat, sehingga pengisian gas dalam silinder pada langkah ini tidak akan penuh terisi.

Besarnya tekanan pembakaran dipengaruhi oleh sempurna tidaknya pembakaran tersebut. Ada beberapa hal yang mempengaruhi suatu proses pembakaran menjadi sempurna, antara lain : percikan bunga api busi yang kuat, nilai oktan bahan bakar, kondisi ruang bakar, dan bentuk ruang bakar.

## 2.4.2 Konsumsi Bahan Bakar

### a. Pemakaian Bahan Bakar Spesifik dan Efisiensi Bahan Bakar

Karakteristik konsumsi bahan bakar dari suatu mesin umumnya dinyatakan dalam konsumsi bahan bakar dalam gram tiap satuan daya-jam dari mesin [gram/Hp-jam]. Jika daya berbasis bhp disebut *brake specific fuel consumption* (bsfc) dalam [gram/ bhp-jam], dan bila berbasis daya indikatif disebut *indicated specific fuel consumption* (isfc) dalam [gram/ ihp-jam].

Bahan bakar spesifik ( $Be$ ) atau *specific fuel consumption* ( $sfc$ ) dapat dihitung dengan persamaannya berikut :<sup>6</sup>

$$sfc = \frac{\dot{m}f}{H_p} \quad (2.4)$$

Keterangan :

$sfc$  = bahan bakar spesifik (g/hp-jam)

$\dot{m}f$  = massa bahan bakar (g/jam)

$H_p$  = daya atau *power* (hp)

Dengan demikian kerja mesin dapat diindikasikan dengan istilah efisiensi bahan bakar ( $\eta_f$ ) yang digunakan yaitu perbandingan energi dalam daya terhadap energi bahan bakar.

Persamaannya dapat dihitung dengan<sup>7</sup> :

$$\eta_f = \frac{P}{\dot{m}f \cdot Q_{HV}} \quad (2.5)$$

Keterangan :

$\eta_f$  = efisiensi bahan bakar (g/jam)

$P$  = daya atau *power* (hp)

$\dot{m}f$  = massa bahan bakar (g/jam)

$Q_{HV}$  = nilai kalor bahan bakar

#### **b. Perbandingan Bahan Bakar Udara (F/A) atau (A/F)**

Bagian relatif bahan bakar dan udara dalam mesin sangat penting sehubungan dengan pembakaran dan efisiensi mesin. Hal ini dinyatakan dalam perbandingan massa bahan bakar terhadap udara atau sebaliknya. Suatu campuran yang mengandung udara dan hanya cukup untuk

---

<sup>6</sup>Ibid, hal. 52

<sup>7</sup>Ibid, h. 71

pembakaran bahan bakar sempurna disebut perbandingan bahan bakar stoikiometrik. Suatu campuran yang mempunyai bahan bakar lebih dari stoikiometrik disebut campuran kaya dan bila mempunyai bahan bakar lebih kecil dari stoikiometrik disebut campuran miskin. Maka perbandingan yang seimbang dapat disimpulkan adalah perbandingan bahan bakar udara relatif, dinotasikan dengan Fr.

$$Fr = \frac{\text{Perbandingan bahan bakar udara aktual}}{\text{Perbandingan bahan bakar udara stoikiometrik}} \quad (2.6)$$

### c. Nilai Kalor (NK)

Merupakan energi yang dibebaskan tiap jumlah satuan bahan bakar, ketika bahan yang mudah terbakar tersebut terbakar. Produk pembakaran didinginkan kembali ke temperatur awal bahan yang terbakar tersebut. Dengan nama lain nilai kalor adalah *calorific value* atau panas pembakaran.

Bila produk pembakaran didinginkan ke 25°C (77°F), semua air yang terbentuk dari pembakaran akan terkondensasi. Nilai kalor yang diperoleh disebut Nilai Kalor Atas (NKA) bahan bakar. Nilai Kalor Bawah (NKB) adalah panas yang dibebaskan bila H<sub>2</sub>O produk pembakaran tidak dikondensasi dan tetap dalam bentuk uap.<sup>8</sup>

### 2.4.3 Siklus Kerja Mesin dan Daya

Selama siklus berlangsung, temperatur dan tekanan selalu mempengaruhi besarnya daya mesin. Oleh karena tekanan silinder yang

---

<sup>8</sup>ibid, h.72-73

berubah-ubah, maka dicari tekanan rata-rata dalam silinder selama langkah kerja. Maka daya yang dihasilkan oleh sebuah mesin, dapat pula dihitung dengan persamaan sebagai berikut<sup>9</sup> :

$$P_{rata-rata} = \frac{\text{kerja persiklus}}{\text{volumelangkahtorak}} \quad (2.7)$$

$$\text{Kerja per siklus} = P_{rata-rata} \times V_L$$

Dengan demikian yang dihasilkan oleh sebuah mesin dapat juga dihitung dengan mempergunakan persamaan<sup>10</sup> :

$$N = P_{rata-rata} \times V_L \times z \times n \times a \times \frac{1}{60 \times 100 \times \text{torak}} \text{ PS} \quad (2.8)$$

N = daya mesin, PS

$P_{rata-rata}$  = tekanan efektif rata-rata, kg/cm<sup>2</sup>

$V_L$  = jumlah silinder

Z = putaran poros engkol, rpm

N = jumlah siklus putaran, siklus perputaran.

A = 1, untuk motor 2 langkah

= 1/2, untuk motor 4 langkah

1 PS = 75 kg m/detik = 0,735 kW = 0,986 HP

<sup>9</sup> Arismunandar, Wiranto, *Motor Bakar Torak*, (Bandung: Institut Teknologi Bandung, 1980) h. 35

<sup>10</sup> *Ibid*, h. 39

#### 2.4.4 Pengukuran Daya Mesin

*Brake horse power* (BHP) adalah daya yang berasal dari *crank shaft* mesin yang bekerja. Disebut "*brake*" *horse power* karena *brake* tersebut diukur dengan beberapa jenis *brake* yang membebani *crank shaft*. Selain pengukuran yang membebani *crank shaft* ada pula pengukuran yang membebani roda kendaraan.

**a. IHP (*Indicated Horsepower*)**

IHP adalah besar daya mesin yang dihasilkan dalam ruang bakar selama terjadi pembakaran. IHP selalu lebih besar dari BHP (*brake horse power*).

**b. BHP (*Brake Horsepower*)**

BHP adalah daya yang ada untuk bekerja atau daya yang dihitung sesudah dikurangi gesekan. Disebut *brake horse power* karena pengukuran daya dengan mem-*braking* mesin pada dinamometer.

$$\text{bhp} = \frac{T \cdot n}{5252} \quad (2.9)$$

**c. FHP (*Friction Horsepower*)**

*Friction horse power* adalah daya yang diserap oleh gesekan antar komponen mesin yang bergerak. Besar FHP adalah sekitar 5%.

**d. Hubungan BHP, IHP, FHP**

BHP adalah daya yang ada untuk bekerja. Jadi BHP adalah daya yang dihasilkan mesin sesudah dihitung karena kerugian gesekan. IHP

adalah yang dihasilkan oleh pembakaran dalam silinder. Sedangkan FHP adalah daya yang hilang karena terjadi gesekan di dalam mesin.

$$\mathbf{BHP = IHP - FHP}$$

## **2.5 Dinamometer (*Dynotest*)**

*Dynotest* atau dinamometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur besarnya daya yang dihasilkan oleh sebuah putaran mesin yang sedang berputar. Dinamometer ada dua jenis yaitu dinamometer mesin dan dinamometer chasis.

### **a. Dinamometer Chasis**

Proses pengukuran yang dilakukan pada *dynotest* adalah dengancara meletakkan posisi roda belakang pada chasis *dynotest*. Saat mesin dihidupkan dan roda gigi percepatan dimasukkan, maka roda akan memutar *roller* pada *chasis dynotest* tersebut. *Dynotest* memiliki layar indikator yang berfungsi untuk menunjukkan besarnya daya dan torsi mesin, yang dikeluarkan oleh mesin tersebut.

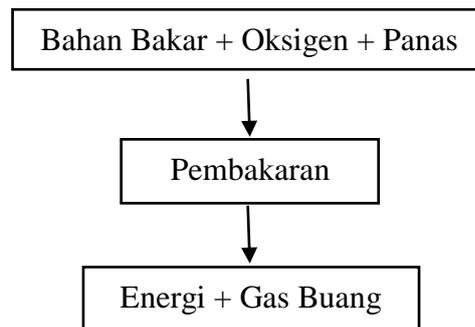
### **b. Dinamometer Mesin**

Jenis dinamometer ini adalah jenis *dynotest* yang banyak digunakan oleh pabrik-pabrik otomotif, yang melakukan banyak pengembangan pada jenis mesin yang diproduksi pabrik tersebut. Dinamometer mesin ini merupakan salah satu metode yang secara *international* dikenal untuk menentukan daya dan torsi dari suatu mesin yang diuji. Namun jenis dinamometer mesin ini sudah

dianggap tidak praktis, maka beberapa ahli mulai mencari alternatif dinamometer jenis yang lain.

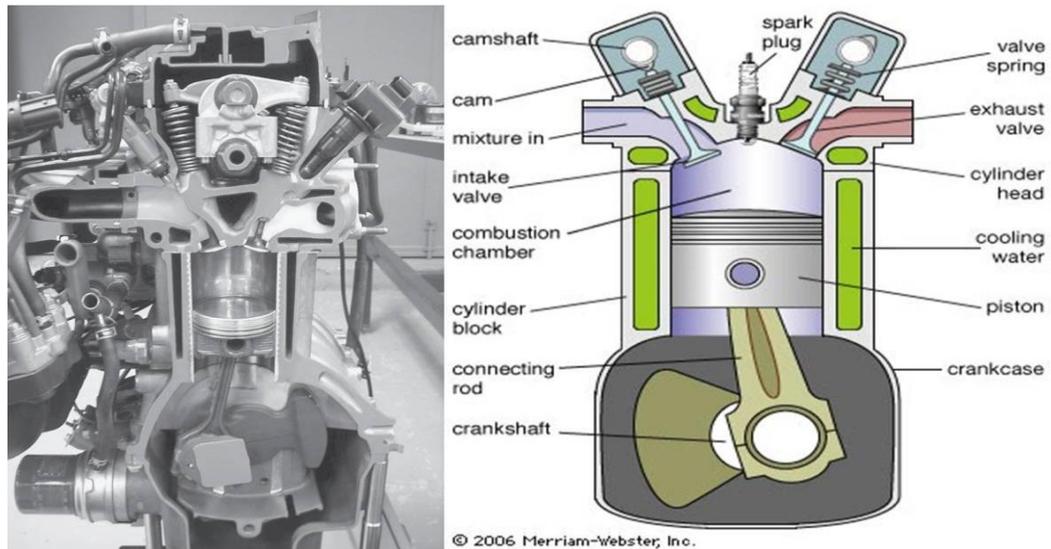
## 2.6 Pembakaran dan Gas buang

Pembakaran terjadi karena ada tiga komponen yang bereaksi yaitu bahan bakar, oksigen dan panas. Jika salah satu komponen tidak ada maka tidak akan timbul reaksi pembakaran.



### 2.6.1 Proses pembakaran dalam mesin bensin

Pada prakteknya, pembakaran dalam mesin tidak pernah terjadi dengan sempurna meskipun sudah dilengkapi dengan control system yang canggih. Berikut contoh reaksi pembakaran dalam mesin bensin :



**Gambar 2.5 Proses Pembakaran dan Gas Buang**

Dalam mesin, bensin terbakar karena tiga hal berikut :

- A. Bensin dan udara homogen dengan perbandingan berat 1:14,7.
- B. Campuran tersebut dimampatkan oleh gerakan piston hingga tekanan dalam silinder 12 bar sehingga menimbulkan panas.
- C. Kemudian campuran tersebut bereaksi dengan panas yang dihasilkan oleh percikan api busi dan terjadilah pembakaran pada tekanan tinggi timbul ledakan.

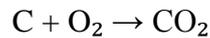
Karena pembakaran diawali oleh percikan api busi maka bensin jenis ini disebut juga *spark-ignition engine* atau mesin pengapian busi. Proses pembakaran mesin bensin tidak terjadi dengan sempurna karena 4 alasan berikut ini :

- A. Waktu pembakaran singkat.
- B. *Overlapping* katup.
- C. Udara yang masuk tidak murni oksigen.
- D. Kompresi tidak terjamin rapat semua.

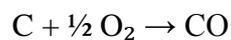
## 2.7 Proses Terbentuknya Gas Buang

### 2.7.1 CO (Karbon Monoksida)

Bila karbon di dalam bahan bakar terbakar dengan sempurna akan terjadi reaksi yang menghasilkan CO<sub>2</sub> sebagai berikut :



Apabila unsure oksigen (udara) tidak cukup, terjadi pembakaran tidak sempurna sehingga karbon di dalam bahan bakar terbakar dalam suatu proses sebagai berikut :



Dengan kata lain, emisi CO dari kendaraan banyak dipengaruhi oleh perbandingan campuran bahan bakar dan udara yang masuk ke ruang bakar (AFR). Jadi, untuk mengurangi CO, perbandingan campuran ini harus dibuat kurus (*excess air*). Namun, akibat lain HC dan NO<sub>x</sub> lebih mudah timbul serta output mesin menjadi kurang.

### 2.7.2 HC (Hidrokarbon)

Sumber emisi HC dapat dibagi menjadi dua bagian, sebagai berikut :

- A. Bahan bakar yang tidak terbakar dan keluar, menjadi gas mentah.
- B. Bahan bakar terpecah karena reaksi panas berubah menjadi HC lain yang keluar bersama gas buang.

Sebab utama timbulnya HC, Karena :

- A. Sekitar dinding-dinding ruang bakar bertemperatur rendah, dimana temperature itu tidak mampu melakukan pembakaran.
- B. *Missing (misfire)*
- C. Adanya *overlapping* katup (kedua katup sama-sama terbuka) sehingga merupakan gas pembilas/pembersih.

### 2.7.3 SO<sub>x</sub> ( Sulfur Oksida)

Bahan bakar bensin mengandung belerang = S (Sulfur). Pada saat terjadi pembakaran, S akan bereaksi dengan H dan O untuk membentuk senyawa sulfat dan sulfur oksida.



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

Pembakaran yang tidak sempurna dalam mesin menyisakan oksigen ke udara. Oksigen yang tersisa ini semakin kecil bilamana pembakaran yang terjadi makin sempurna.

### 2.7.5 H<sub>2</sub>O ( Hidrogen )

H<sub>2</sub>O merupakan hasil reaksi pembakaran dalam ruang bakar, dimana kadar air yang dihasilkan tergantung dari mutu bahan bakar. Makin banyak uap air dalam pipa gas buang, mengindikasikan pembakaran semakin baik. Semakin

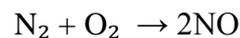
besar uap air yang dihasilkan, pipa knalpot tetap kelihatan bersih dan ini sekaligus menunjukkan makin bersih emisi yang dihasilkan.

### **2.7.6 N<sub>2</sub> ( Nitrogen )**

Udara yang digunakan untuk pembakaran dalam mesin, sebagian besar terdiri dari inert gas yaitu N<sub>2</sub>. Pada saat terjadi pembakaran sebagian kecil N<sub>2</sub> akan bereaksi dengan O<sub>2</sub> membentuk NO<sub>2</sub>, sebagian besar lainnya tetap berupa N<sub>2</sub> hingga keluar dari mesin.

### **2.7.7 NO ( Nitrogen Oksida )**

Jika terdapat unsure N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> pada temperature 1800° s/d 2000° C, akan terjadi reaksi pembentukan gas NO seperti berikut ini :



Di udara, NO mudah berubah menjadi NO<sub>2</sub>. NO<sub>x</sub> di dalam gas buang terdiri dari 95% NO, 3-4% NO<sub>2</sub> dan sisanya N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> dan sebagainya.

### **2.7.8 Pb ( plumbum/timbal )**

Timah hitam dalam bensin tidak bereaksi dalam proses pembakaran sehingga setelah pembakaran akan keluar sebagai timah hitam (Pb).

### **2.7.9 Partikulat**

Partikulat terdiri dari unsur C (karbon) yang masih berupa butiran partikel dan residu atau kotoran lain dihasilkan oleh pembakaran pada motor diesel. Partikulat sebagian besar dihasilkan adanya residu dalam bahan bakar. Residu tersebut tidak ikut terbakar dalam ruang bakar, tetapi terbang melalui

pipa gas buang. Pembakaran mesin diesel paling banyak menghasilkan partikulat karena bahan bakar diesel mengandung banyak residu dengan kadar C yang banyak. Hal ini mengakibatkan setelah selesai proses pembakaran, karbon/arang yang tidak terbakar akan terbang melalui pipa gas buang.

## 2.8 Interpelasi Uji Emisi

**Tabel 2.4 Interpelasi Uji Emisi**

No	Emisi	Idle	1000 rpm	2500 rpm	Catatan	Jenis Kerusakan	Keterangan
1.	CO	>	>	>	tinggi pada semua rpm	- campuran kaya/gemuk	- asap hitam knalpot
	HC	=	=	=	rata-rata normal	- tutup karburator longgar	- konsumsi bahan bakar tinggi
	CO <sub>2</sub>	<	<	<	selalu rendah	- filter udara kotor	
	O <sub>2</sub>	=	=	=	selalu normal	- choke tertutup - karburator rusak - setelan pelampung ketinggian	
2.	CO	>	>	=	tinggi pada rpm rendah	- campuran kaya/gemuk	- asap hitam
	HC	>	=	=	tinggi pada rpm idle	- penyetelan karburator salah	- konsumsi tinggi
	CO <sub>2</sub>	<	=	=	rendah pada rpm idle	- idle jet bermasalah	- rpm idle kasar
	O <sub>2</sub>	=	=	=	selalu minimum		
3.	CO	<	=	=	tinggi pada rpm idle	- campuran kaya/gemuk	- konsumsi tinggi
	HC	=	=	=	rata-rata normal	- penyetelan IMAS salah	- rpm idle tidak teratur
	CO <sub>2</sub>	<	=	=	rendah pada rpm idle	- idle jet kotor	

No	Emisi	Idle	1000 rpm	2500 rpm	Catatan	Jenis Kerusakan	Keterangan
	O2	=	=	=	selalu minimum		
4	CO	<	=	=	rendah pada rpm idle	- campuran kurus - penyetelan karburator salah - pasokan udara berlebih	- rpm idle tak teratur - rpm akselerasi tidak teratur - suara ledakan di knalpot
	HC	>	=	=	tinggi pada rpm idle		
	CO2	<	=	=	rendah pada rpm idle		
	O2	>	=	=	tinggi pada rpm tinggi		
5	CO	=	=	=	rata-rata normal	- pengapian terganggu - kontak point tidak baik - kabel busi rusak - busi salah/rusak - kapasitor rusak - kabel busi terbalik	- konsumsi tinggi - rpm idle tak teratur - tenaga kurang
	HC	>	>	>	selalu tinggi		
	CO2	<	<	<	rendah pada rpm idle		
	O2	>	>	>	selalu tinggi		
6	CO	=	=	=	rata-rata normal	- kompresi rendah - seat valve rusak - silinder rusak - intake manifold bocor - ring piston rusak	- kompresi rendah
	HC	>	>	=	tinggi pada rpm idle		
	CO2	=	=	<	rendah pada rpm idle		
	O2	>	>	=	tinggi pada rpm tinggi		
7	CO	=	=	=	rata-rata normal	- pengapian terganggu - timing terlalu maju - pengapian terganggu rpm tinggi - coil rusak - gap busi	- konsumsi tinggi - tenaga kurang
	HC	=	=	>	tinggi pada rpm tinggi		
	CO2	=	=	<	tinggi pada rpm tinggi		
	O2	=	=	=	tinggi pada rpm tinggi		

No	Emisi	Idle	1000 rpm	2500 rpm	Catatan	Jenis Kerusakan	Keterangan
						terlalu kecil	
8	CO	>	>	<	tinggi pada rpm rendah	- campuran kaya/gemuk - nozle karburator menjadi rusak	- konsumsi tinggi - tenaga kurang
	HC	>	=	=	tinggi pada rpm idle		
	CO2	<	<	<	selalu rendah		
	O2	=	=	>	tinggi pada rpm tinggi		

*\*sumber data dari Swiss Contact Clean air Project. Jakarta*

## 2.9 Standar Penilaian Uji Emisi Kendaraan di Indonesia.

Untuk menilai hasil pengukuran uji emisi kendaraan memenuhi atau tidak, maka dilakukan pengujian menggunakan standar emisi kendaraan yang sesuai dengan Peraturan Lalu Lintas Indonesia Nomor 22/2009. Berikut nilai standar emisi kategori kendaraan berbahan bakar bensin:

**Tabel 2.5 Standar Emisi Kendaraan bensin di Indonesia**

Klasifikasi Kendaraan	Model Kendaraan (tahun)	CO (%)	HC (ppm)
Kendaraan Karburator	Pre- 1985	4,0	1000
	1986-1995	3,5	800
	1996 dan Baru	3,0	700
Kendaraan Injeksi	1986-1995	3,0	600
	1996 dan Baru	2,5	500

*\*sumber: Peraturan Lalu Lintas Indonesia No. 22/2009*

### 2.10 Batasan baik dan Buruknya Emisi Gas Buang dalam Pembakaran

Dampak buruk bagi kesehatan, apabila kadar emisi gas buang melebihi batas yang sudah ditentukan oleh pemerintah yaitu akan menimbulkan gangguan kesehatan dan menimbulkan pencemaran udara.

**Tabel 2.6 Batasan baik dan buruknya Emisi gas buang**

	CO	HC	CO <sub>2</sub>
Kadar Baik Emisi Gas Buang dalam Pembakaran	<b>3,5%</b>	<b>2400ppm</b>	<b>6%</b>
Kadar Buruk Emisi Gas Buang dalam Pembakaran	<b>5,5%</b>	<b>12.000ppm</b>	<b>15%</b>

*\*Sumber Kementerian Negara Lingkungan Hidup.*