

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. MESIN OTTO

Motor otto merupakan salah satu dari jenis motor pembakaran dalam. Motor ini menggunakan campuran bahan bakar dengan udara yang dikompres di ruang bakar sebelum terjadinya pembakaran. Selanjutnya, energi yang timbul dari proses pembakaran tersebut akan mendorong piston dan diteruskan ke poros untuk digunakan sebagai daya yang berguna.

Motor Otto juga dikenal sebagai motor premium dan dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Motor premium 2 langkah (2 tak)
2. Motor premium 4 langkah (4 tak)

Motor bakar 2 langkah merupakan suatu motor pembakaran dalam yang membutuhkan dua kali gerakan piston pada tiap silindernya untuk mendapatkan satu kali pembakaran (menghasilkan power). Kedua gerakan tersebut adalah satu kali gerakan ke atas dan satu kali gerakan ke bawah atau satu kali putaran poros engkol (360°).

Langkah kerja motor 2 langkah meliputi:

1. Langkah naik (*upward stroke*)
2. Langkah turun (*down stroke*)

Mesin 4 langkah merupakan salah satu jenis motor pembakaran dalam dimana tiap silindernya membutuhkan empat kali gerakan piston untuk memperoleh satu kali pembakaran (Power). Gerakan tersebut adalah dua kali gerakan ke atas dan dua kali gerakan ke bawah atau dua kali putaran poros engkol (720°).

Langkah kerja motor 4 langkah ini adalah :

1. Langkah hisap (*intake stroke*)
2. Langkah tekan atau kompresi (*compression stroke*)
3. Langkah kerja (*power stroke*)
4. Langkah buang (*exhaust stroke*)

2.2. SIKLUS KERJA MESIN OTTO

Pada umumnya mesin mobil dan sepeda motor mempergunakan mesin 4 langkah, dimana proses pembakaran terjadi pada setiap empat langkah gerakan piston atau dua 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 silinder. Bagian atas silinder dinamakan titik mati atas dan bagian bawah disebut titik mati bawah. Panjang atau jarak gerak piston dari TMA hingga ke TMB disebut panjang langkah atau stroke.

Berikut akan dibahas proses pada tiap langkah piston pada kerja mesin empat langkah:

1. Langkah hisap (*intake stroke*)

Langkah ini dimulai ketika piston bergerak dari titik mati atas TMA menuju titik mati bawah TMB, pada saat itu katup isap membuka dan katup buang dalam keadaan tertutup. Melalui katup isap, campuran bahan bakar dan udara masuk ke dalam silinder. Katup akan menutup pada saat piston berada pada titik mati bawah TMB.

2. Langkah tekan atau kompresi (*compression stroke*)

Setelah mencapai TMB piston bergerak kembali menuju TMA, Campuran bahan bakar yang terisap tadi kini terkurung di dalam silinder dan dimampatkan oleh piston yang bergerak menuju TMA. Volume campuran bahan bakar dan udara tersebut menjadi kecil sehingga temperatur dan tekanannya menjadi naik dan mengakibatkan campuran tersebut mudah terbakar. Beberapa saat sebelum piston mencapai TMA, gas yang telah mencapai tekanan optimum tersebut dibakar oleh bunga api yang berasal dari busi. Sementara itu piston masih bergerak menuju TMA berarti volume ruang bakar menjadi semakin kecil sehingga tekanan dan temperatur gas dalam silinder menjadi semakin tinggi.

3. Langkah kerja (*power stroke*)

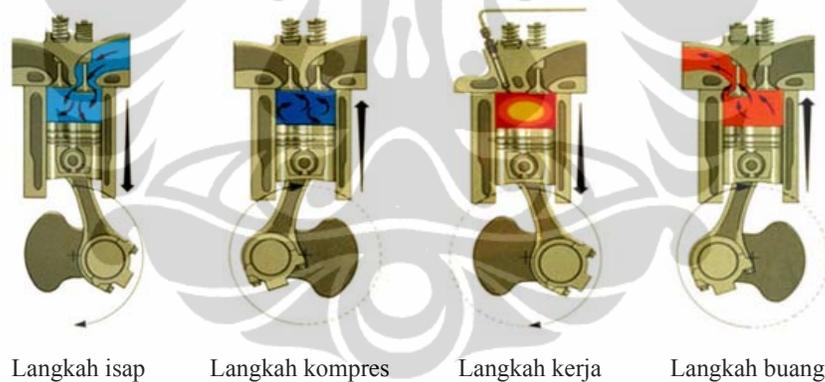
Gas yang merupakan hasil pembakaran yang terjadi memiliki tekanan dan suhu yang tinggi akan mengembang dan mendorong piston ke

bawah, sehingga dengan tenaga yang sangat kuat, piston ditekan dan dipaksa kembali hingga TMB. Pada langkah ini, katup masuk dan katup buang tertutup. Pada saat ini, pertama kali tenaga panas diubah menjadi tenaga mekanis (tenaga mesin). Tenaga ini kemudian disalurkan melalui batang piston (*connecting rod*) dan oleh poros engkol (*crankshaft*) diubah menjadi tenaga putar.

4. Langkah buang (*exhaust stroke*)

Saat piston telah mencapai TMB katup buang mulai terbuka sedangkan katup isap tetap dalam keadaan tertutup. Piston bergerak kembali menuju TMA mendesak gas pembakaran keluar dari dalam silinder melalui katup buang. Langkah tersebut merupakan langkah terakhir dari siklus kerja motor 4 langkah

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 pada motor 4 langkah.



Gambar 2.1 Siklus kerja motor 4 langkah

2.3 PARAMETER KINERJA MESIN

Beberapa parameter yang dicatat selama pengujian unjuk kerja mesin digunakan sebagai data mentah yang kemudian diolah menjadi data hasil pengujian. Dari data hasil pengujian akan terlihat ada tidaknya peningkatan atau penurunan performa mesin yang diuji dengan menggunakan bahan bakar Premium dan campurannya dengan aditif. Hasil pengujian tersebut ditunjukkan dengan parameter Daya, Specific fuel consumption, Effisiensi Thermal dan komposisi gas

buangnya. Hasil akhir dari pengujian bahan bakar Premium dengan zat aditif sebagai campurannya variasi komposisi yang didapat akan dibandingkan dengan Premium sebagai pembanding dan direpresentasikan ke dalam bentuk grafik. Berikut ini akan diuraikan metode perhitungannya, sedangkan tabel data mentah serta tabel hasil perhitungan akan disertakan pada lampiran.

2.3.1. Laju Konsumsi Bahan Bakar (FC)

Konsumsi bahan bakar per satuan waktu (FC) dapat ditentukan melalui persamaan berikut :

$$FC = \frac{3600 \times V_g}{t} \quad [\text{liter/jam}] \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

- dimana :
- FC = Konsumsi bahan bakar [liter/jam]
 - V_g = Volume bahan bakar yang dipergunakan [liter]
 - t = waktu yang dibutuhkan [detik]

2.3.2. Brake Horse Power (BHP)

Brake Horse Power, merupakan daya yang diukur dan diukur pada poros mesin. Daya ini merupakan daya yang dihasilkan mesin kepada beban-beban (inersia mobil, gesekan udara, dll.). Nilai dari *Brake Horse Power* lebih sedikit daripada daya yang dibangkitkan oleh gas pembakaran didalam silinder. Hal ini dikarenakan terjadinya gesekan mekanik dan beban-beban tambahan, seperti pompa oli.

Salah satu cara untuk mengukur *Brake Horse Power* adalah dengan meletakkan suatu alat ukur pada poros mesin. Alat yang digunakan adalah elektrik dinamometer. Dinamometer yang berfungsi untuk mengukur torsi (T) yang dihasilkan oleh mesin pada putaran tertentu. Torsi merupakan besaran yang menyatakan kemampuan mesin untuk melakukan kerja, sedangkan Daya adalah nilai dimana kerja dapat dilakukan.

Besarnya BHP dapat ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$BHP = \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot T}{1000 \cdot 60} \quad [\text{kW}] \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana ; $T = W.g. L [Nm]$

T = torsi [N/m]

W = beban pada dinamometer [kgf]

g = gaya gravitasi = 9.81 [m/s²]

L = panjang lengan torsi [m]

N = putaran mesin [rpm]

2.3.3. Specific Fuel Consumption

Specific Fuel Consumption (SFC) merupakan parameter yang biasa digunakan pada motor pembakaran dalam untuk menggambarkan pemakaian bahan bakar. *Specific Fuel Consumption* didefinisikan sebagai perbandingan antara laju aliran massa bahan bakar terhadap daya yang dihasilkan. Dapat pula dikatakan bahwa *Specific Fuel Consumption* (SFC) menyatakan seberapa efisien bahan bakar yang disuplai ke mesin dapat dijadikan daya output.

Nilai SFC yang rendah mengindikasikan pemakaian bahan bakar yang irit, oleh sebab itu, nilai SFC yang rendah sangat diinginkan untuk mencapai efisiensi bahan bakar.

Persamaan untuk menghitung Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) adalah sebagai berikut :

$$SFC = \frac{FC}{BHP} \quad [\text{liter/kWh}] \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

2.3.4. Efisiensi Thermal

Sumber energi untuk menggerakkan mesin adalah energi kimia yang tersimpan didalam bahan bakar. Fakta yang terjadi adalah piston, bagian mesin yang berfungsi untuk mengkonversikan energi kimia menjadi tenaga, bekerja tidak terlalu efisien untuk mengubah seluruh energi kimia menjadi tenaga (energi mekanik). Lebih kurang sepertiga dari energi bahan bakar tersebut dikeluarkan melalui pipa pembuangan sebagai panas yang hilang, sepertiga lagi hilang ke sistem pendinginan mesin (radiator) dan hanya menyisakan lebih kurang sepertiga untuk digunakan sebagai pembangkit tenaga mesin.

Efisiensi Thermal (η_{th}) menunjukkan seberapa banyak daya yang dihasilkan oleh sejumlah laju panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar. Laju pelepasan panas sendiri merupakan hasil dari laju aliran bahan bakar dan nilai pembakaran bahan bakar. Sehingga untuk meningkatkan efisiensi thermal, daya output mesin dapat ditambah dengan cara meningkatkan laju aliran bahan bakar atau dengan menggunakan bahan bakar dengan nilai pembakaran yang tinggi.

Efisiensi thermal dari motor Otto menyatakan besarnya efektifitas energi bahan bakar yang disuplai ke ruang bakar dalam menghasilkan kerja.

Efisiensi thermal dapat ditentukan melalui persamaan berikut :

$$\eta_{th} = \frac{BHP}{Q_f} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana ; $Q_f = H \times FC \times \rho$

- BHP = Brake Horse Power
- H = Nilai kalor bawah, LHV [kJ/kg]
- ρ = massa jenis bahan bakar [kg/liter]
- FC = fuel consumption [liter/detik]

2.4 BAHAN BAKAR

2.4.1. Bahan Bakar Hidrokarbon

Alasan utama mengapa bahan bakar digolongkan sebagai bahan bakar hidrokarbon disebabkan karena komponen utama yang menyusunnya didominasi oleh unsur Hidrogen dan Karbon.

Hidrokarbon merupakan komponen utama dari pembentukan minyak bumi, senyawa hidrokarbon sebagai pembentuk utama dari minyak bumi dapat digolongkan dalam beberapa hal yaitu:

1. Parafin

Parafin merupakan senyawa hidrokarbon jenuh yang mempunyai rumusan umum C_nH_{2n+2} . Minyak mentah yang disusun dari golongan parafin disebut parafin *base crude*.

2. Naphtenik atau siklo parafin

Naphtenik adalah senyawa hidrokarbon jenuh yang mempunyai sifat siklik, yang mempunyai rumusan umum C_nH_{2n} . Minyak mentah yang disusun dari golongan naphta disebut naphtenik *base crude*.

3. Aromatik

Golongan aromatik merupakan senyawa hidrokarbon tidak jenuh yang tertutup, yang mempunyai rumusan umum C_nH_{2n-6} . sedangkan minyak mentah yang tersusun dari golongan aromatik disebut aromatik *base crude*.

2.4.2. Bahan Bakar Minyak (BBM)

BBM terdiri dari berbagai jenis hidrokarbon yang berasal dari minyak bumi, dan sering pula terdiri dari campuran-campuran lain. Sifat mudah menguap di dalam mesin menentukan jenis hidrokarbon dan campuran yang digunakan pada BBM. Sifat mudah menguap tersebut disebut dengan *volatilitas*. Karena minyak bumi mentah mempunyai kadar volatilitas yang lebih rendah dan tinggi dari BBM, maka BBM harus dipisahkan dari minyak bumi mentah melalui proses destilasi, namun karena dengan proses tersebut jumlah BBM yang diperoleh sangat sedikit maka minyak bumi mentah harus melalui proses penyulingan yang lebih kompleks. Penyulingan minyak bumi mentah tersebut akan mengubah kadar volatilitas hidrokarbon yang lebih rendah atau lebih tinggi dari BBM menjadi sama dengan BBM. Bahan bakar premium memiliki sifat-sifat utama yang berbeda dengan bahan bakar lain. Sifat yang dimiliki oleh premium diantaranya :

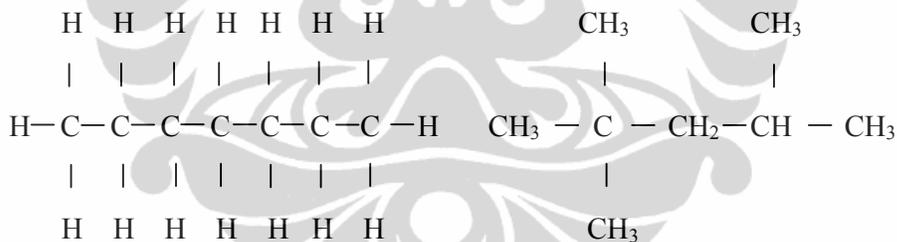
1. Mudah menguap pada temperatur normal.
2. Tidak berwarna, tembus pandang dan berbau.
3. Mempunyai titik nyala rendah (-10 sampai 15°C).
4. Bermassa jenis rendah (0,60 – 0,78 kg/liter).
5. Dapat melarutkan oli dan karet
6. Menghasilkan panas dalam jumlah yang besar (39774,59 – 46054,79 kJ/kg).
7. Sedikit meninggalkan karbon setelah dibakar.

2.5. SENYAWA ADITIF PENINGKAT ANGKA OKTAN

2.5.1. Sejarah dan Pengertian Angka Oktan

Bahan bakar diklasifikasikan berdasarkan mutu antiketuknya atau angka oktannya. Skala oktan yang dijadikan standar diseluruh dunia pertama kali dikembangkan pada tahun 1962 oleh Graham Edgar. Untuk angka 0 (nol) pada skala tersebut, Edgar memilih hidrokarbon rantai lurus n-Heptana (gambar 2.2) yang terbakar dengan *knocking* yang cukup kuat. Sedangkan untuk skala 100, Edgar memilih hidrokarbon rantai panjang 2,2,4 trimetilpentana jenuh iso-oktan (gambar 2.3) yang dapat menghindari timbulnya *knocking*.

Jadi pengertian dari angka oktan suatu bahan bakar adalah bilangan yang menyatakan berapa persen volume iso-oktana dalam campuran yang terdiri dari iso-oktana dan normal-heptana. Contoh sederhana adalah Premium dengan angka oktan 88, yang berarti campuran volume iso-oktana sebanyak 88% dan 12% volume normal-heptana. Bahan bakar yang baik haruslah memiliki angka oktan yang tinggi pada seluruh daerah destilasinya untuk mencegah terjadinya *knocking*.



Gambar. 2.2 normal heptana

Gambar. 2.3 iso-oktana

Untuk mendapatkan mendapatkan bensin dengan angka oktan yang cukup tinggi, dapat dilakukan dengan cara – cara sebagai berikut:

- Memilih minyak bumi yang mempunyai kandungan aromatik tinggi, dalam trayek didih bensin.
- Meningkatkan kandungan aromatik melalui pengolahan reformasi, atau alkana bercabang, atau olefin bertitik didih rendah.
- Menambah aditif peningkat angka oktan seperti timbal alkil, biasanya timbal tetra etil (TEL) dan timbal tetra metil (TML) dan aditif oksigenat.

d. Menggunakan komponen berangka oktan tinggi sebagai ramuan, misalnya alkohol atau eter.

Angka oktan tidak bertujuan menambah kandungan energi bensin, melainkan untuk memanfaatkan semaksimal mungkin energi yang dapat diperoleh pada proses pembakaran dan melindungi mesin terhadap kerusakan akibat detonasi. Premium yang dinaikkan oktannya tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai kalornya

2.5.2. RON, MON , AKI

Dalam menentukan standar referensi bahan bakar, saat ini ada dua macam angka oktan yang umum digunakan, yaitu angka oktan riset atau *Research Octane Number* (RON) yang memberikan gambaran mengenai unjuk kerja dalam kondisi pengendaraan normal dan angka oktan motor atau *Motor Octane Number* (MON) yang memberikan gambaran mengenai unjuk kerja dalam kondisi pengendaraan yang lebih berat, kecepatan tinggi atau kondisi beban tinggi. Kecenderungan bahan bakar untuk mengalami ketukan bergantung pada struktur kimia hidrokarbon yang menjadi penyusun premium. Pada umumnya, hidrokarbon aromatik, olefin dan isoparaffin mempunyai sifat antiketuk yang relatif baik, sedangkan n – paraffin mempunyai angka oktan yang kurang baik, kecuali yang berat molekulnya rendah.

Angka oktan pada dunia otomotif ditentukan dari pengujian pada mesin dengan silinder tunggal dengan rasio kompresi yang bervariasi (4:1 s/d 18:1) yang dikenal sebagai *Cooperative Fuels Research (CFR) engine*, di mana bahan bakar dibandingkan dengan bahan bakar rujukan yang terbuat dari n – heptana (angka oktan 0) dan iso-oktana (angka oktan 100).

Eropa dan Indonesia menggunakan RON, sedangkan di negara lain seperti Amerika digunakan *Anti Knock Index* (AKI). AKI adalah nilai rata-rata dari RON dan MON $\left(\frac{RON + MON}{2} \right)$.

2.6. ADITIF PADA PREMIUM

Bagian ini akan membahas macam aditif peningkat angka oktan yang digunakan selama ini maupun yang akan datang. Hal ini disebabkan kebutuhan akan angka oktan premium yang tinggi semakin meningkat seiring dengan kemajuan perkembangan teknologi kendaraan bermotor dan kebutuhan akan lingkungan yang lebih bersih juga menjadi salah satu penyebab berkembangnya penelitian untuk menemukan aditif-aditif baru yang ramah lingkungan.

2.6.1 Tetraethyl Lead (TEL)

Salah satu zat aditif yang sering digunakan di Indonesia adalah *Tetraethyl Lead* (TEL). Namun penggunaan zat aditif tersebut menimbulkan keberadaan timbal di atmosfer dan sekarang tidak digunakan lagi. Timbal adalah *neurotoksin* racun penyerang syaraf yang dapat mengganggu pertumbuhan dan kesehatan manusia. Kerugian pemakaian timbal pada mesin kendaraan adalah timbulnya deposit sisa pembakaran yang menumpuk pada sistem pembuangan maupun pada ruang bakar, dimana hal ini akan berdampak pada menurunkan kinerja mesin, konsumsi bahan bakar semakin meningkat yang pada gilirannya mendorong tingginya biaya operasional dan pemeliharaan kendaraan.

2.6.2 MMT

Methylcyclopentadienyl Manganese Tricarbonyl (MMT) adalah senyawa organologam yang digunakan sebagai pengganti bahan aditif TEL, dan telah digunakan selama dua puluh tahun terakhir di Kanada, Amerika Serikat serta beberapa negara Eropa lainnya. Penggunaan MMT hingga 18 mg Mn/liter bensin dapat meningkatkan angka oktan bensin sebesar 2 poin, namun masih kurang menguntungkan jika dibandingkan dengan peningkatan angka oktan yang lebih tinggi yang dihasilkan senyawa oksigenat. Dalam penerapannya MMT memiliki tingkat toksisitas yang lebih rendah daripada TEL.

2.6.3 Naphtalene

Naftalena adalah salah satu komponen yang termasuk benzena aromatik hidrokarbon. Naftalena memiliki kemiripan sifat yang memungkinkannya menjadi aditif bensin untuk meningkatkan angka oktan. Sifat-sifat tersebut antara lain: sifat

pembakaran yang baik, mudah menguap sehingga tidak meninggalkan getah padat pada bagian-bagian mesin. Penggunaan Naftalena sebagai aditif memang belum terkenal karena masih dalam tahap penelitian. Sampai saat ini memang belum diketahui akibat buruk penggunaan naftalena terhadap lingkungan dan kesehatan, namun relatif aman untuk digunakan.

2.6.4 Oksigenat

Oksigenat adalah senyawa organik cair yang dapat dicampur ke dalam premium untuk menambah angka oktan dan kandungan oksigennya. Selama pembakaran, oksigen tambahan di dalam premium dapat mengurangi emisi karbon monoksida, CO dan material-material pembentuk ozon atmosferik. Selain itu senyawa oksigenat juga memiliki sifat-sifat pencampuran yang baik dengan premium.

Beberapa senyawa organik beroksigen (oksigenat) yaitu :

1. **Alkohol** (methanol, etanol, isopropil alkohol)

Penggunaan alkohol sebagai zat aditif pengganti TEL masih terbatas karena beberapa masalah antara lain tekanan uap dan daya hidroskopisnya yang tinggi. Alkohol juga dapat mengganggu kesehatan manusia.

2. **Eter** (Metil Tertier Butil Eter (MTBE), Etil Tertier Butil Eter (ETBE) dan Tersier Amil Metil Eter (TAME). MTBE memiliki sifat yang paling mendekati premium ditinjau dari nilai kalor, kalor laten penguapan dan rasio stoikimoetri udara per bahan bakar. Namun Eter dapat menyebabkan pencemaran tanah.

3. **Ozonida**

Sekarang ini telah dikembangkan senyawa oksigenat yang dibuat dengan teknologi ozonisasi. Bahan yang dipakai pada oksigenat ini antara lain campuran :

- minyak kelapa sawit ($C_{16} - C_{18}$) \rightarrow *Mono Unsaturated Fatty Acid* (MUFA) ; minyak kelapa sawit digunakan karena sumber daya yang banyak dan memiliki banyak kandungan C.

- minyak kelapa ($C_9 - C_{12}$) \rightarrow *Middle Chain Fatty Acid* (MCFA) ; minyak kelapa ini digunakan untuk mendekati karakteristik dari premium.
- minyak kedelai ($C_{16} - C_{18}$) \rightarrow MUFA + PUFA (*Poly Chain Fatty Acid*) ; minyak kedelai digunakan karena memiliki ikatan ganda sehingga mudah mengikat ozon (O_3)
- minyak jarak. ($C_{16} - C_{18}$) \rightarrow MUFA + PUFA ; minyak jarak digunakan untuk berfungsi sebagai pelumas

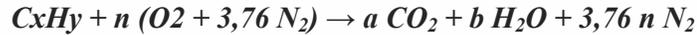
Hasil reaksi transesterifikasi dari minyak nabati tersebut direaksikan dengan Iso Propil Alkohol (IPA) dengan bantuan katalis basa (NaOH) berupa gliserin dan alkil ester. Selanjutnya senyawa alkil ester direaksikan dengan ozon sehingga didapatkan senyawa ozonida yang digunakan sebagai oksigenat.

2.7 EMISI GAS BUANG

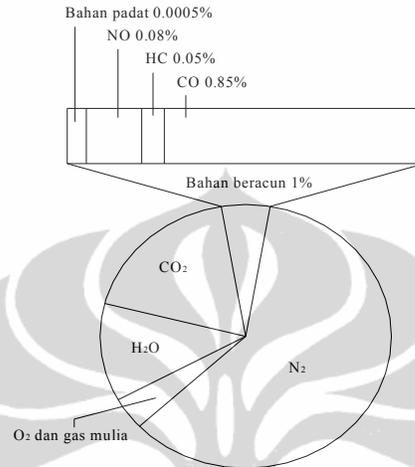
Dalam mendukung usaha pelestarian lingkungan hidup, negara-negara di dunia mulai menyadari bahwa gas buang kendaraan merupakan salah satu polutan atau sumber pencemaran udara terbesar oleh karena itu, gas buang kendaraan harus dibuat sebersih mungkin agar tidak mencemari udara. Pada negara-negara yang memiliki standar emisi gas buang kendaraan yang ketat, ada 5 unsur dalam gas buang kendaraan yang akan diukur yaitu senyawa HC, CO, CO_2 , O_2 dan senyawa NO_x . Sedangkan pada negara-negara yang standar emisinya tidak terlalu ketat, hanya mengukur 4 unsur dalam gas buang yaitu senyawa HC, CO, CO_2 dan O_2 .

2.7.1 PROSES PEMBAKARAN DALAM MESIN OTTO.

Proses pembakaran yang terjadi didalam ruang bakar merupakan serangkaian proses kimia yang melibatkan campuran bahan bakar berupa HC dengan oksigen. Proses pembakaran ini menghasilkan empat macam gas buang, berupa CO_2 , CO, NO_x dan HC. Keempat macam gas buang ini terbentuk pada proses pembakaran sempurna dan tidak sempurna. Pada proses pembakaran sempurna, hasil pembakaran yang terbentuk adalah CO_2 dan H_2O . Proses pembakaran sempurna dapat dinyatakan dalam reaksi berikut :



Komposisi gas buang mesin pada kondisi normal yang digambarkan dalam bentuk diagram akan tampak seperti Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Komposisi gas buang mesin

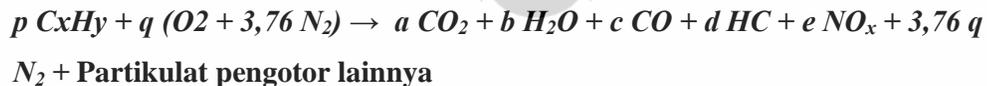
Keterangan gambar :

$N_2 = 71\%$, $CO_2 = 18.1\%$, $H_2O = 9.2\%$, Polutan = 1% dan $O_2 = 0.7\%$

Polutan atau gas beracun terdiri dari :

$CO = 0.85\%$, $NO_x = 0.08\%$, $HC = 0.05\%$ dan Bahan Padat = 0.005%.

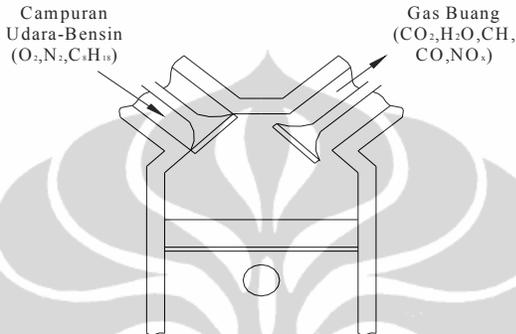
Sedangkan proses pembakaran tidak sempurna menghasilkan gas buang berupa CO, NO_x, HC dan partikulat pengotor lainnya. Proses pembakaran tidak sempurna dapat dituliskan dalam reaksi sebagai berikut :



HC merupakan sisa bahan bakar yang tidak ikut terbakar. CO terbentuk akibat kurangnya kadar O₂ dalam proses pembakaran, sehingga yang terbentuk bukanlah CO₂ melainkan CO karena HC yang ada berikatan dengan O₂. NO_x terbentuk pada temperatur tinggi di saat campuran udara dengan bahan bakar berlebihan.

Proses pembakaran mesin premium tidak terjadi dengan sempurna karena banyak alasan, diantaranya :

1. Waktu pembakaran singkat.
2. Overlapping katup.
3. Udara yang masuk tidak murni hanya oksigen.
4. Bahan bakar yang masuk tidak murni C_8H_{18} .
5. Kompresi tidak terjamin rapat semua.

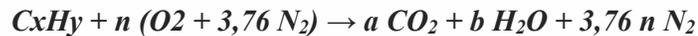


Gambar 2.5 Campuran premium-udara dan gas buang

Berikut emisi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor:

a. Hidrokarbon (HC)

Bensin adalah senyawa hidrokarbon, jadi setiap HC yang didapat di gas buang kendaraan menunjukkan adanya bensin yang tidak terbakar dan terbuang bersama sisa pembakaran. Apabila suatu senyawa hidrokarbon terbakar sempurna (bereaksi dengan oksigen) maka hasil reaksi pembakaran tersebut adalah karbondioksida (CO₂) dan air(H₂O). Proses pembakaran sempurna dapat dinyatakan dalam reaksi berikut :

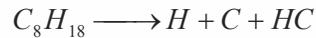


Walaupun rasio perbandingan antara udara dan bensin (AFR=Air-to-Fuel-Ratio) sudah tepat dan didukung oleh desain ruang bakar mesin saat ini yang sudah mendekati ideal, tetapi tetap saja sebagian dari bensin seolah-olah tetap dapat bersembunyi dari api saat terjadi proses pembakaran dan menyebabkan emisi HC pada ujung knalpot cukup tinggi.

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

1. Bahan bakar yang tidak terbakar dan keluar menjadi gas mentah.

2. Bahan bakar terpecah karena reaksi panas berubah menjadi gugusan HC lain yang keluar bersama gas buang.



Sebab utama timbulnya HC adalah sebagai berikut :

1. Sekitar dinding ruang bakar bertemperatur rendah, dimana temperatur itu tidak mampu melakukan pembakaran.
2. Missing (*miss fire*) atau jumlah AFR tidak tepat.
3. Adanya *overlapping* katup (kedua katup sama-sama terbuka)

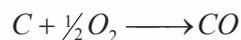
b. Karbon Monoksida (CO)

Karbon Monoksida (CO) merupakan gas yang beracun, tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, dan cenderung bereaksi dengan unsur lain. CO adalah gas yang tidak berwarna, juga tidak ada rasa maupun bau. Meskipun tidak langsung merusak paru-paru, tapi bila terhirup dan masuk kedalam aliran darah, akan terikat secara kimia dengan *hemoglobin* dalam sel-sel darah merah membentuk *carboxyhemoglobin*. Terikatnya *hemoglobin* oleh CO akan melumpuhkan kemampuannya untuk mengangkut oksigen ke otak, jantung dan organ tubuh yang lain karena CO mengikat *hemoglobin* 220 kali lebih kuat dari O₂ (oksigen).

Karbon Monoksida merupakan produk terbanyak yang dihasilkan dari suatu pembakaran yang tidak sempurna. Bila karbon di dalam bahan bakar terbakar dengan sempurna, akan terjadi reaksi yang menghasilkan CO₂ sebagai berikut :



Apabila unsur oksigen (udara) tidak cukup, maka 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 antara udara dengan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar (AFR). AFR terlalu kaya bisa disebabkan antara lain karena masalah di *fuel injection system* seperti *fuel pressure* yang terlalu tinggi, sensor suhu mesin yang tidak normal, air filter yang kotor, karburator yang kotor atau setelahnya yang

tidak tepat. Jadi untuk mengurangi CO, perbandingan campuran ini harus dibuat kurus (*excess air*).

c. Karbon Dioksida (CO₂)

Konsentrasi CO₂ menunjukkan secara langsung status proses pembakaran di ruang bakar. Semakin tinggi maka semakin baik. Saat AFR berada di angka ideal, emisi CO₂ berkisar antara 12% sampai 15%. Apabila AFR terlalu kurus atau terlalu kaya, maka emisi CO₂ akan turun secara drastis. Apabila CO₂ berada dibawah 12%, maka kita harus melihat emisi lainnya yang menunjukkan apakah AFR terlalu kaya atau terlalu kurus.

d. Oksigen (O₂)

Pembakaran yang tidak sempurna dalam mesin menyisakan oksigen ke Udara (O₂). Oksigen yang tersisa ini semakin kecil bilamana pembakaran terjadi makin sempurna. Konsentrasi dari oksigen di gas buang kendaraan berbanding terbalik dengan konsentrasi CO₂. Untuk mendapatkan proses pembakaran yang sempurna, maka kadar oksigen yang masuk ke ruang bakar harus mencukupi untuk setiap molekul hidrokarbon.

e. Nitrogen Oksida (NO_x)

Senyawa NO_x adalah ikatan kimia antara unsur nitrogen dan oksigen. Dalam kondisi normal atmosphere, nitrogen adalah gas inert yang amat stabil yang tidak akan berikatan dengan unsur lain. Jika terdapat unsur N₂ dan O₂ pada temperatur 1800°C s/d 2000°C, akan terjadi reaksi pembentukan gas NO seperti berikut ini :



Senyawa NO_x ini sangat tidak stabil dan bila terlepas ke udara bebas, akan berikatan dengan oksigen untuk membentuk NO₂. Inilah yang amat berbahaya karena senyawa ini amat beracun dan bila terkena air akan membentuk asam nitrat. NO_x di dalam gas buang terdiri dari 95% NO, 3 – 4% NO_x dan sisanya N₂O, N₂O₃ dan sebagainya.

Tingginya konsentrasi senyawa NO_x disebabkan karena tingginya konsentrasi oksigen ditambah dengan tingginya suhu ruang bakar. Untuk menjaga agar konsentrasi NO_x tidak tinggi maka diperlukan kontrol secara tepat terhadap AFR dan suhu ruang bakar harus dijaga agar tidak terlalu tinggi.

2.8 WAKTU PENYALAN (*Ignition timing*)

Variasi waktu penyalaan (*ignition timing*) relative terhadap titik mati atas dipengaruhi oleh tekanan kompresi di dalam silinder. Jika pembakaran terlalu dini dalam suatu siklus, maka kerja yang dihasilkan di dalam silinder pada akhir langkah kompresi juga besar, jika pembakaran terjadi lambat, maka tekanan maksimum di dalam silinder menurun dan kerja yang dihasilkan juga menurun. Terdapat sebuah titik tertentu dari waktu penyalaan yang memberikan torsi maksimum pada mesin pada putaran yang konstan, titik ini disebut sebagai *maximum break torque (MBT)*. Pada titik ini terjadi *break horse power (BHP)* yang maksimum dan *specific fuel consumption (SFC)* minimum.