

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Motor Bakar Torak

Salah satu jenis penggerak mula yang banyak digunakan adalah mesin kalor, yaitu mesin yang menggunakan energi panas/*thermal* yang kemudian diubah menjadi energi mekanik . Energi itu sendiri dapat diperoleh dengan proses pembakaran yang terjadi dalam suatu silinder mesin. Energi mekanik yang dihasilkan berupa gerakan translasi piston yang diteruskan oleh setang piston (*connecting rods*) menjadi gerak rotasi poros engkol (*crank shaft*) yang selanjutnya dilanjutkan ke system transmisi.

Dilihat dari perolehan energi termalnya mesin kalor dibagi menjadi dua golongan, yakni motor pembakaran luar (*External Combustion Engine*) yaitu mesin di mana media atau fluida kerjanya yang memanfaatkan panas dipisahkan oleh dinding pemisah dengan gas panas hasil pembakaran. Jadi yang dapat digolongkan dalam jenis mesin ini adalah turbin gas siklus tertutup, turbin uap, kondensor, dan pompa yang membentuk sistem uap. Motor pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*) yaitu mesin yang memanfaatkan fluida kerja/gas panas hasil pembakaran, di mana antara medium yang memanfaatkan fluida kerja dengan fluida kerjanya tidak dipisahkan oleh dinding pemisah. Adapun motor bakar torak itu sendiri termasuk mesin dengan pembakaran di dalam, contohnya yaitu motor bensin, motor diesel, dan turbin gas siklus terbuka.

Menurut siklus kerja ideal, motor bakar torak terbagi menjadi tiga yakni :

1. Motor bensin (*otto*) atau yang lebih umum *Spark Ignition Engines (SIE)*.
2. Motor diesel atau yang lebih umum *Compression Ignition Engines (CIE)*
3. Siklus gabungan.

Salah satu perbedaan utama antara motor bensin dan motor diesel adalah bahan bakarnya. Motor bensin menggunakan bahan bakar bensin (premium),

sedangkan motor diesel menggunakan bahan bakar solar^[1]. Selain itu pada motor bensin terdapat karburator dan busi. Sebelum masuk ke dalam silinder, bensin dicampur udara dengan menggunakan karburator. Jadi fungsi karburator adalah untuk mengkondisikan (mengabutkan) campuran bensin dan udara agar bisa terbakar dalam ruang bakar. Untuk selanjutnya campuran tersebut akan terbakar dalam ruang bakar (silinder) melalui percikan api dari busi (*ignition spark*)^[2].

Sedangkan motor diesel, yang tidak menggunakan karburator dan busi, bahan bakar dan udara masuk ke dalam ruang bakar tidak secara bersamaan, pada proses hisap yang masuk hanyalah udara, sedangkan bahan bakar masuk saat proses kompresi. Sehingga campuran tersebut akan terbakar dengan menggunakan kenaikan tekanan melalui proses kompresi yang melebihi titik nyala dari bahan bakar tersebut, sehingga terjadilah proses pembakaran^[2].

2.2 Prinsip Kerja Mesin Bensin

Pada mesin bensin di sebut juga dengan siklus volume konstan (Siklus Otto),dimana pembakaran terjadi pada saat volume konstan. Dalam satu siklus ini untuk menghasilkan tenaga gerak pada mesin bensin dilakukan beberapa proses yang dimulai dari proses pengisapan gas ke dalam silinder, mengkompresikan, membakarnya, kerja dan membuang gas sisa pembakaran ke luar silinder.

Di lihat dari prinsip kerjanya dalam melakukan satu siklus untuk menghasilkan kerja dibagi menjadi dua jenis :

1. Mesin 4 langkah (*four stroke engines*).
2. Mesin 2 langkah (*two stroke engines*).

Untuk mesin 4 langkah terdapat 4 kali gerakan piston atau 2 kali putaran poros engkol (*crank shaft*) untuk tiap siklus pembakaran, sedangkan untuk mesin 2 langkah terdapat 2 kali gerakan piston atau 1 kali putaran poros engkol untuk tiap siklus pembakaran. Sementara yang dimaksud langkah adalah gerakan piston dari TMA (Titik Mati Atas) atau *TDC (Top Death Center)* sampai TMB (Titik Mati Bawah) atau *BDC (Bottom Death Center)* maupun sebaliknya dari TMB ke TMA^[3].

2.2.1 Mesin 4 Langkah

Mesin 4 langkah mempunyai 4 gerakan piston yaitu :

1. Langkah hisap (*suction stroke*)

Pada langkah ini bahan bakar yang telah bercampur dengan udara dihisap oleh mesin. Pada langkah ini katup hisap (*intake valve*) membuka sedang katup buang (*exhaust valve*) tertutup, sedangkan piston bergerak menuju TMB sehingga tekanan dalam silinder lebih rendah dari tekanan atmosfer. Dengan demikian maka campuran udara dan bahan bakar akan terhisap ke dalam silinder.

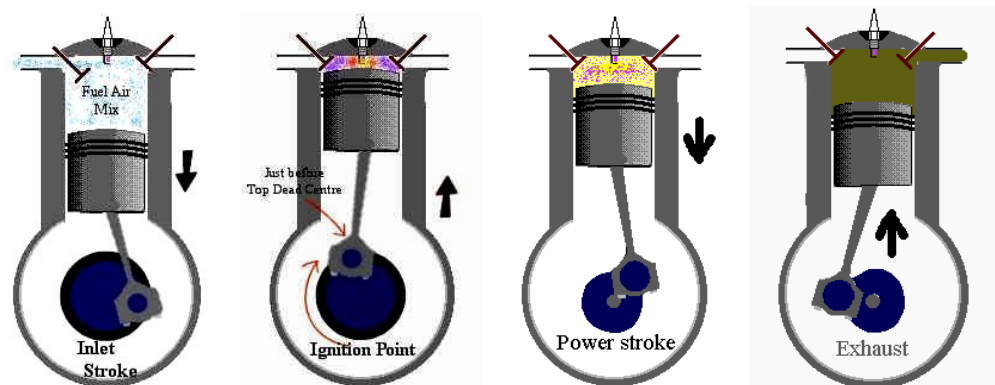
2. Langkah Kompresi (*compression stroke*)

Pada langkah ini kedua katup baik *intake* maupun *exhaust* tertutup dan piston bergerak dari TMB ke TMA. Karena itulah maka campuran udara dan bahan bakar akan terkompresi, sehingga tekanan dan suhunya akan meningkat. Beberapa saat sebelum piston mencapai TMA terjadi proses penyalaan campuran udara dan bahan bakar yang telah terkompresi oleh busi (*spark plug*). Pada proses pembakaran ini terjadi perubahan energi dari energi kimia menjadi energi panas dan gerak.

3. Langkah Ekspansi (*expansion stroke*) Karena terjadi perubahan energi dari energi kimia menjadi energi gerak dan panas menimbulkan langkah ekspansi yang menyebabkan piston bergerak dari TMA ke TMB. Gerakan piston ini akan mengakibatkan berputarnya poros engkol sehingga menghasilkan tenaga. Pada saat langkah ini kedua katup dalam kondisi tertutup.

4. Langkah Buang (*exhaust stroke*)

Pada langkah ini piston bergerak dari TMB ke TMA, sedangkan katup buang terbuka dan katup isap tertutup, sehingga gas sisa pembakaran akan terdorong keluar melalui saluran buang (*exhaust manifold*) menuju udara luar^[11].



Gambar 2.1 Siklus motor bakar pada mesin 4 langkah

2.3 Siklus Ideal

Proses termodinamika dan kimia yang terjadi dalam motor bakar torak amat kompleks untuk dianalisa menurut teori. Untuk memudahkan menganalisanya perlu membayangkan suatu keadaan yang ideal. Makin ideal suatu keadaan makin mudah untuk dianalisa, akan tetapi dengan sendirinya makin jauh menyimpang dari keadaan sebenarnya.

Pada umumnya untuk menganalisa motor bakar torak dipergunakan siklus udara sebagai siklus yang ideal. Siklus udara menggunakan beberapa keadaan yang sama dengan siklus sebenarnya dalam hal sebagai berikut: ^[2]

- a. Urutan proses
- b. Perbandingan kompresi
- c. Pemilihan temperatur dan tekanan pada suatu keadaan
- d. Penambahan kalor yang sama per satuan berat udara

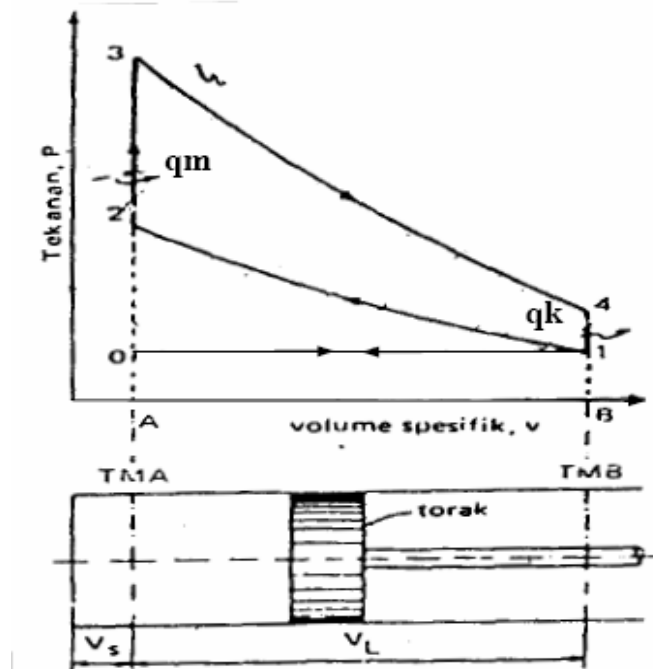
Di dalam analisis udara, khususnya motor bakar torak akan dibahas:

1. Siklus udara volume konstan (siklus otto)
2. Siklus udara tekanan konstan (siklus diesel)

2.3.1 Siklus Udara Volume Konstan

Motor bensin adalah jenis motor bakar torak yang bekerja berdasarkan siklus volume konstan, karena saat pemasukan kalor (langkah pembakaran) dan

pengeluaran kalor terjadi pada volume konstan. Siklus ini adalah siklus yang ideal. Seperti yang terlihat di diagram P – V gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram P – V Siklus Otto (siklus Volume Konstan) [3]

Adapun siklus ini adalah sebagai berikut:^[3]

1. Langkah 0 – 1 adalah langkah hisap, yang terjadi pada tekanan (P) konstan.
2. Langkah 1 – 2 adalah langkah kompresi, pada kondisi isentropik.
3. Langkah 2 – 3 adalah dianggap sebagai proses pemasukan kalor pada volume konstan.
4. Langkah 3 – 4 adalah proses ekspansi, yang terjadi secara isentropik.
5. Langkah 4 – 1 adalah langkah pengeluaran kalor pada volume konstan.
6. Langkah 1 – 0 adalah proses tekanan konstan.

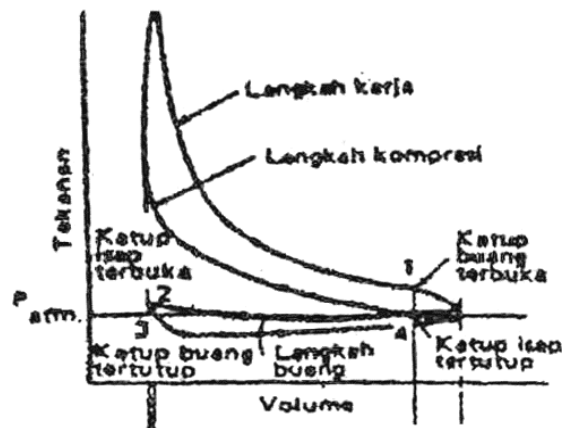
2.3.2 Siklus Aktual Motor Bensin

Siklus udara volume konstan atau siklus otto adalah proses yang ideal. Dalam kenyataannya baik siklus volume konstan, siklus tekanan konstan dan

siklus gabungan tidak mungkin dilaksanakan, karena adanya beberapa hal sebagai berikut: ^[2]

1. Fluida kerja bukanlah udara yang bisa dianggap sebagai gas ideal, karena fluida kerja di sini adalah campuran bahan bakar (premium) dan udara, sehingga tentu saja sifatnya pun berbeda dengan sifat gas ideal.
2. Kebocoran fluida kerja pada katup (*valve*), baik katup masuk maupun katup buang, juga kebocoran pada piston dan dinding silinder, yang menyebabkan tidak optimalnya proses.
3. 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 dan kelembaman fluida kerja. Kerugian ini dapat diperkecil bila saat pembukaan dan penutupan katup disesuaikan dengan besarnya beban dan kecepatan torak.
4. Pada motor bakar torak yang sebenarnya, saat torak berada 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.
5. 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.
6. Terdapat kerugian akibat perpindahan kalor dari fluida kerja ke fluida pendingin, misalnya oli, terutama saat proses kompresi, ekspansi dan waktu gas buang meninggalkan silinder. Perpindahan kalor tersebut terjadi karena ada perbedaan temperatur antara fluida kerja dan fluida pendingin.
7. Adanya kerugian energi akibat adanya gesekan antara fluida kerja dengan dinding silinder dan mesin.

8. Terdapat kerugian energi kalor yang dibawa oleh gas buang dari dalam silinder ke atmosfer sekitarnya. Energi tersebut tidak dapat dimanfaatkan untuk kerja mekanik.



Gambar 2.3 Diagram P – V siklus aktual motor bensin[3]

Berdasarkan kondisi seperti tersebut di atas, maka grafik tekanan (P) vs volume (V) mempunyai bentuk yang sedikit berbeda dengan grafik P-V siklus ideal.

2.4. Teori Pembakaran

2.4.1 Bahan Bakar

Bahan bakar pada umumnya merupakan suatu senyawa yang mengandung unsur hidrokarbon. Hampir semua jenis bahan bakar yang beredar di pasaran berasal dari minyak bumi beserta turunannya yang kemudian diolah menjadi berbagai macam dan jenis bahan bakar. Bahan itu sendiri sangat diperlukan dalam proses pembakaran yang terjadi di ruang bakar. Bahan bakar yang digunakan motor bakar harus memenuhi kriteria sifat fisik dan sifat kimia, antara lain :

- nilai bakar bahan bakar itu sendiri
- densitas energi yang tinggi
- tidak beracun
- stabilitas panas
- rendah polusi

- mudah dipakai dan disimpan

Sedangkan sifat alamiah dari bahan bakar itu sendiri:

- a. *Volatility* (Penguapan) adalah kemampuan menguap dari bahan bakar pada temperatur tertentu dalam proses destilasi.
- b. Titik nyala adalah temperatur tertentu dimana bahan bakar dapat terbakar dengan sendirinya tanpa bantuan percikan api.
- c. Gravitasi spesifik, merupakan perbandingan berat jenis bahan bakar terhadap acuan tertentu (terhadap berat jenis udara ataupun air).
- d. Nilai bakar, merupakan jumlah energi yang terkandung dalam bahan bakar.

Bahan bakar yang digunakan dalam motor bakar dapat dibedakan menurut wujudnya menjadi 3 kelompok, yaitu gas, cair, dan padat. Bahan bakar gas pada saat ini biasanya berasal dari gas alam, sedangkan bahan bakar cair berasal dari hasil penyulingan minyak bumi. Bahan bakar padat biasanya berupa batu bara. Adapun kriteria utama yang harus dipenuhi bahan bakar yang akan digunakan dalam motor bakar adalah sebagai berikut :^[4]

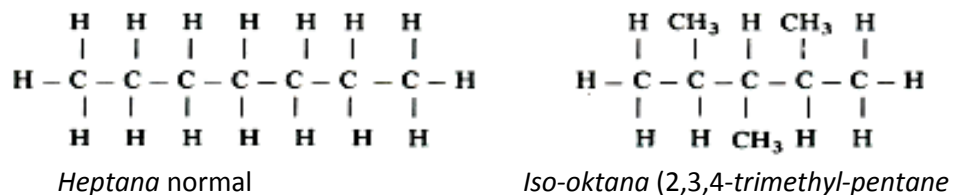
- a. Proses pembakaran bahan bakar dalam silinder harus secepat mungkin dan panas yang dihasilkan harus tinggi.
- b. Bahan bakar yang digunakan harus tidak meninggalkan endapan atau deposit setelah proses pembakaran, karena akan menyebabkan kerusakan pada dinding silinder.
- c. Gas sisa pembakaran harus tidak berbahaya pada saat dilepaskan ke atmosfer.

2.4.1.1 Premium

Bahan bakar bensin adalah senyawa hidrokarbon yang kandungan oktana atau isooktananya tinggi. Senyawa oktana adalah senyawa hidrokarbon yang digunakan sebagai patokan untuk menentukan kualitas bahan bakar bensin yang dikenal dengan istilah angka oktana. Dalam pengertian ini bahan bakar bensin

dibandingkan dengan campuran isooktana atau 2,3,4 trimetilpentana dengan heptana. Isooktana dianggap sebagai bahan bakar paling baik karena hanya pada kompresi tinggi saja isooktana memberikan bunyi ketukan (detonasi) pada mesin. Sebaliknya, heptana dianggap sebagai bahan bakar paling buruk. Angka oktana 100, artinya bahan bakar bensin tersebut setara dengan isooktana murni. Angka oktana 80, artinya bensin tersebut merupakan campuran 80% isooktana dan 20% heptana ^[5].

Gambar di bawah ini merupakan rumus molekul kedua senyawa tersebut.



Gambar 2.4 Struktur kimiawi ikatan hidrokarbon

Heptana Normal Dan Iso-oktana ^[5]

2.4.2 Konsep Reaksi Pembakaran

Reaksi pembakaran adalah reaksi kimia bahan bakar dan oksigen yang diperoleh dari udara yang akan menghasilkan panas dan gas sisa pembakaran yang berlangsung dalam waktu yang sangat cepat. Reaksi pembakaran tersebut akan menghasilkan produk hasil pembakaran yang komposisinya tergantung dari kualitas pembakaran yang terjadi.

Dalam pembakaran proses yang terjadi adalah oksidasi dengan reaksi sebagai berikut :

Karbon + Oksigen = Karbon dioksida + panas

Hidrogen + Oksigen = uap air + panas

Sulfur + oksigen + sulphur dioksida + panas

Pembakaran akan dikatakan sempurna apabila campuran bahan bakar dan oksigen (dari udara) mempunyai perbandingan yang tepat (*stoichiometric*), hingga tidak diperoleh sisa. Bila oksigen terlalu banyak, dikatakan campuran kurus dan hasil pembakarannya menghasilkan api oksidasi. Sebaliknya, bila bahan bakarnya terlalu banyak (tidak cukup oksigen), dikatakan campuran kaya (*rich*) sehingga pembakaran ini menghasilkan api reduksi. Pada motor bensin, campuran udara dan bahan bakar tersebut dinyalakan dalam silinder oleh bunga api dari busi pada akhir langkah kompresi dengan suhu pembakaran berkisar antara 2100°K sampai 2500°K. waktu pembakaran yang teratur lamanya kira-kira 3 mili detik (0,003 s) ^[6].

Oleh karena reaksi pembakaran yang sangat cepat akan mengakibatkan terjadinya gangguan dalam system pembakaran, antara lain terjadi pembakaran sendiri (*self ignition*) oleh karena adanya sisa bahan bakar yang tidak terbakar. Hal ini disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut :

- angka oktan yang terlalu rendah
- penyetelan sudut pengapian yang tidak tepat
- busi terlalu panas
- pendinginan terlalu miskin
- terbakarnya sisa pembakaran sebelumnya
- bentuk ruang bakar yang tidak sesuai

Gangguan-gangguan pada pembakaran ini akan sangat merugikan efektivitas mesin maka mendapatkan untuk pembakaran yang baik maka diperlukan syarat-syarat sebagai berikut^[6] :

- jumlah udara yang sesuai
- temperatur yang sesuai dengan penyalaan bahan bakar
- waktu pembakaran yang cukup
- kerapatan yang cukup untuk merambatkan api dalam silinder.

Reaksi pembakaran baik bahan bakar bensin maupun bahan bakar gas merupakan reaksi oksidasi antara senyawa hidrokarbon dengan oksigen sehingga dihasilkan produk berupa karbon dioksida, uap air, oksida nitrogen atau produk lainnya tergantung pada kualitas pembakaran.

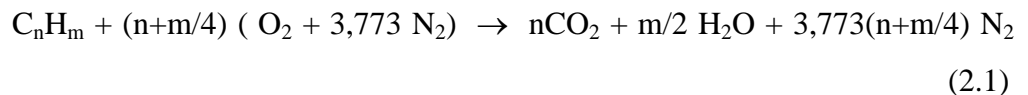
2.4.3 Proses Pembakaran

Pembakaran pada motor bakar torak adalah proses reaksi kimia antara bahan bakar dan oksigen yang terjadi dalam ruang bakar, yang menghasilkan energi kalor. Oksigen ini diperoleh dari campuran bahan bakar dengan udara yang masuk ke dalam mesin. Komposisi dari udara tersebut sebagian besar mengandung Oksigen dan Nitrogen serta sebagian kecil dari udara tersebut mengandung gas yang lain. Seperti terlihat pada tabel 2.3. berikut:

Tabel 2.3 Komposisi udara [11]

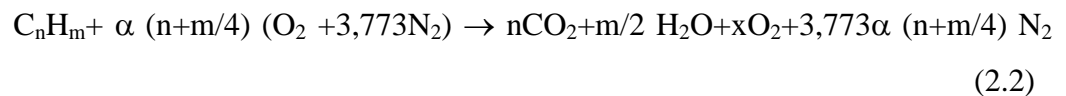
| Nama | Simbol | Mol Berat | Analisa persen, % | | Relatif terhadap O ₂ | | Mol berat per Mol Udara |
|-----------------|-----------------|-----------|-------------------|-------|---------------------------------|-------|-------------------------|
| | | | Volume | Berat | Volume | Berat | |
| Oksigen | O ₂ | 32,0 | 20,99 | 23,2 | 1 | 1 | 6,717 |
| Nitrogen | N ₂ | 28,02 | 78,03 | | | | 21,848 |
| Argon | A | 40,0 | 0,94 | | 3,76 | 3,31 | 0,376 |
| Karbon dioksida | CO ₂ | 44,0 | 0,03 | 76,8 | | | 0,013 |
| | - | - | 0,01 | | | | - |
| Gas Lain | - | 28,95 | 100,00 | 100,0 | 4,76 | 4,311 | 28,95 |
| Total Udara | | | | | | | |

Bahan bakar yang lazim digunakan pada mesin mobil adalah bensin (premium). Rumus kimia dari bensin adalah C_nH_m , dengan perbandingan atom hidrogen dan karbon $1.6 < H/C < 2.1$. Adapun reaksi pembakaran bahan bakar hidrokarbon secara umum adalah:



Persamaan reaksi kimia di atas menunjukkan reaksi pembakaran yang sempurna dari 1 mol bahan bakar. Selama proses pembakaran, senyawa hidrokarbon terurai menjadi senyawa-senyawa hidrogen dan karbon yang masing-masing bereaksi dengan oksigen membentuk CO_2 dan H_2O .

Pada saat proses pembakaran dimana terdapat kelebihan udara, $\alpha > 1$, gas hasil pembakaran akan mengandung O_2 . maka reaksi pembakaran di atas akan berubah menjadi:

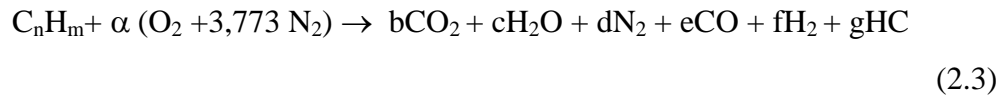


Dimana: $\alpha = koefisien\ kelebihan\ udara$

$x = jumlah\ mol\ pada\ sisa\ oksigen$

$$= 0,5 [2\alpha (n+m/4) - (2n + m/2)]$$

Untuk komposisi campuran bahan bakar dan udara dimana $\alpha < 1$, maka akan terjadi kekurangan O_2 untuk proses pembakaran. Sehingga membuat reaksi pembakaran berlangsung tidak sempurna. Akibat kekurangan ini, akan terbentuk gas CO serta terdapat sisa gas H_2 dan hidrokarbon HC yang belum sempat terbakar. Reaksi ini dapat dinyatakan dengan persamaan reaksi sebagai berikut:

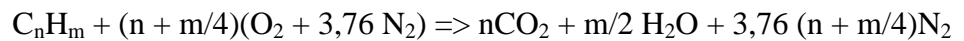


Jumlah mol dari masing-masing gas buang tersebut dapat diketahui melalui pengukuran dan analisa gas buang.

Nitrogen tidak berperan pada proses pembakaran, namun pada temperatur yang tinggi nitrogen akan bereaksi membentuk senyawa NO. setelah proses pembakaran, NO ini masih bereaksi dengan oksigen membentuk NO₂, yang merupakan gas berbahaya bagi kesehatan.

2.4.4 Persamaan Reaksi Pembakaran

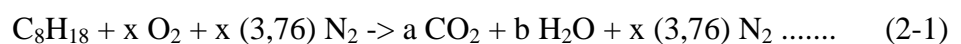
Persamaan reaksi pembakaran teoritis antara hidrokarbon dengan udara adalah sebagai berikut:



Persamaan diatas menyatakan perbandingan stokiometris dari udara-bahan bakar yang tersedia cukup oksigen untuk mengubah seluruh bahan bakar menjadi produk yang bereaksi sempurna AFR stoikometris tergantung komposisi kimia bahan bakar.

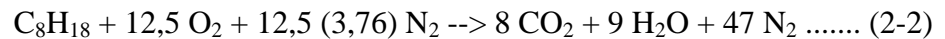
$$\begin{aligned} AFR \text{ Stokiometris} &= \frac{\left(1 + \frac{m}{4}\right) (32 + 3,76 \cdot 28,18)}{(12,011 + 1,008m)} \\ &= \frac{34,56(4+m)}{12,011+1,008m} \end{aligned}$$

Bahan bakar yang digunakan pada mesin yang di uji adalah premium. Rumus kimia premium adalah C₈H₁₈. reaksi pembakaran bahan bakar premium adalah sama dengan persamaan reaksi pembakaran teoritis antara hidrokarbon dengan udara, hal ini disebabkan karena premium merupakan senyawa dari hidrokarbon. Adapun persamaan adalah sebagai berikut :



Angka 3,76 adalah harga perbandingan nitrogen dan oksigen di udara. Berdasarkan kesetimbangan reaksi, harga x , a , dan b dapat dihitung, hasilnya adalah :

$x = 12,5$, $a = 8$, $b = 9$; sehingga reaksi tersebut secara lengkap adalah :



Bila reaksi yang terjadi seperti di atas, maka reaksi pembakarannya disebut proses pembakaran stoikiometris dimana semua atom oksigen bereaksi sempurna dengan bahan bakar. Komposisi produk hasil pembakaran akan berbeda untuk campuran udara-bahan bakar kaya dengan campuran udara bakar miskin dan nilai AFR stoikiometris tergantung komposisi bahan bakar, oleh karena itu parameter yang dipakai untuk menyatakan komposisi campuran yaitu rasio antara AFR actual atau sebenarnya terhadap AFR stoikiometris yang disebut AFR relative (λ)^[3].

$$\lambda = \frac{\text{AFR aktual}}{\text{AFR stokiometris}}$$

untuk campuran miskin $\lambda > 1$

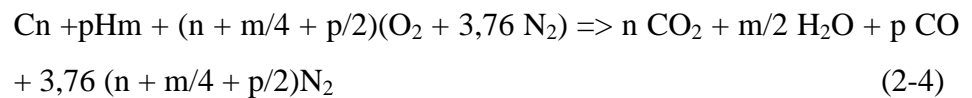
untuk campuran stoikiometris $\lambda = 1$

untuk campuran kaya $\lambda < 1$

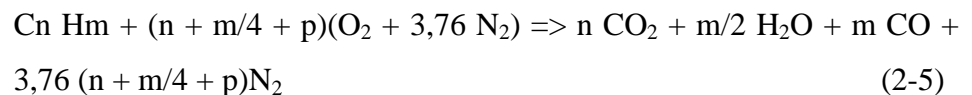
Dalam motor bakar AFR dapat dihitung dari analisa gas buang. Dari analisa prosentase gas yang meliputi CO_2 , O_2 , dan N_2 sedangkan H_2O terkondensasi sehingga tidak ada dalam analisa volumetrik. Sedangkan AFR aktual dihitung dengan mengukur kebutuhan udara dan bahan bakar yang dirumuskan :

$$\text{AFR aktual} = \frac{m_{\text{udara}}}{m_{\text{bahan bakar}}} \quad (2-3)$$

Apabila reaksi pembakaran tersebut berlangsung pada temperatur yang rendah, maka nitrogen dalam udara tidak akan ikut teroksidasi sehingga tidak akan terbentuk produk berupa oksida nitrogen. Pada reaksi pembakaran komposisi campuran udara-bahan bakar sangat menentukan komposisi produk hasil pembakaran. Bila jumlah udara dalam campuran kurang dari yang dibutuhkan, maka karbon yang ada tidak akan terbakar seluruhnya menjadi CO₂, tetapi akan terjadi reaksi yang menghasilkan CO menurut reaksi berikut :



Untuk reaksi pembakaran aktual diusahakan untuk mencegah terbentuknya CO, karena gas tersebut bersifat racun. Untuk itu udara pembakar diusahakan sedikit melebihi standar, sehingga karbon akan terbakar menjadi CO₂, tetapi akan terdapat sisa O₂, pada produk hasil pembakaran menurut reaksi :



2.4.5 Fenomena Pembakaran

Fenomena pembakaran yang terjadi selama proses pembakaran terbagi menjadi dua macam, yaitu pembakaran normal dan pembakaran tidak normal.

2.4.5.1 Pembakaran Normal

Proses ini terjadi bilamana penyalaan campuran udara bahan bakar semata-mata diakibatkan oleh percikan bunga api yang berasal dari busi. Adapun nyala api akan menyebar secara merata dalam ruang bakar dengan kecepatan normal sehingga campuran udara bahan bakar terbakar pada suatu periode yang sama^[7].

Tekanan gas yang diakibatkan oleh proses ini akan merata (tanpa fluktuasi tekanan) dalam ruang bakar. Pembakaran dimulai

sebelum akhir langkah kompresi dan diakhiri sesaat setelah melewati titik mati atas. Suhu dalam ruang bakar akan mencapai kisaran 2100K–2500K (1800-2200^o C)^[8].

2.4.6 Perbandingan Antara Udara dengan Bahan Bakar

Dalam pengujian mesin, pengukuran juga dilakukan terhadap laju aliran massa udara (m_a) dan laju aliran massa bahan bakar (m_f).

Perbandingan antara keduanya berguna dalam mengetahui kondisi operasi mesin.

$$\text{Air /Fuel Ratio (A/F)} = \frac{m_a}{m_f}$$

$$\text{Fuel/Air Ratio (F/A)} = \frac{m_f}{m_a}$$

Untuk *Relative Air/Fuel Ratio* (λ) itu sendiri:

$$\lambda = \frac{(A/F)_{\text{aktual}}}{(A/F)_{\text{stoikiometris}}}$$

Relative Air/Fuel Ratio ini memberikan parameter informasi yang lebih guna menetapkan komposisi campuran udara-bahan bakar yang baik^[7].

Jika: $\lambda > 1$: maka campuran itu miskin akan bahan bakar

$\lambda < 1$: maka campuran itu kaya akan bahan bakar

Jika oksigen yang dibutuhkan tercukupi, bahan bakar hidrokarbon dapat dioksidasi secara sempurna. Karbon di dalam bahan bakar kemudian berubah menjadi karbon dioksida CO₂ dan hidrogen menjadi uap air H₂O.

Jika jumlah udara yang diberikan kurang dari yang dibutuhkan secara stoikiometrik maka akan terjadi campuran kaya bahan bakar. Produk dari campuran kaya bahan bakar adalah CO, CO₂, H₂O, dan HC

(hidrokarbon tidak terbakar). Jika jumlah udara yang diberikan lebih besar dari kebutuhan maka akan terjadi campuran miskin bahan bakar.

2.4.7 Konsumsi Bahan Bakar

Perhitungan konsumsi bahan bakar dihitung berdasarkan jumlah perbandingan antara volume bahan bakar yang dikonsumsi dengan waktu untuk menghabiskan bahan bakar.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Dalam satuan SI, yaitu:

Q = konsumsi bahan bakar (ml/s)

t = waktu untuk menghabiskan bahan bakar (s)

v = volume bahan bakar yang dikonsumsi (ml)

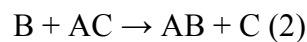
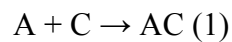
2.5. Katalis

Katalis adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. Suatu katalis berperan dalam reaksi tapi bukan sebagai pereaksi ataupun produk. Katalis memungkinkan reaksi berlangsung lebih cepat atau memungkinkan reaksi pada suhu lebih rendah akibat perubahan yang dipicunya terhadap pereaksi. Katalis menyediakan suatu jalur pilihan dengan energi aktivasi yang lebih rendah. Katalis mengurangi energi yang dibutuhkan untuk berlangsungnya reaksi^[6].

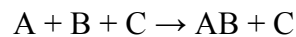
Katalis dapat dibedakan ke dalam dua golongan utama: katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis heterogen adalah katalis yang ada dalam fase berbeda dengan pereaksi dalam reaksi yang dikatalisinya, sedangkan katalis homogen berada dalam fase yang sama. Satu contoh sederhana untuk katalisis heterogen

yaitu bahwa katalis menyediakan suatu permukaan di mana pereaksi-pereaksi (atau substrat untuk sementara terjerap. Ikatan dalam substrat-substrat menjadi lemah sedemikian sehingga memadai terbentuknya produk baru. katan antara produk dan katalis lebih lemah, sehingga akhirnya terlepas^[9].

Katalis homogen umumnya bereaksi dengan satu atau lebih pereaksi untuk membentuk suatu perantara kimia yang selanjutnya bereaksi membentuk produk akhir reaksi, dalam suatu proses yang memulihkan katalisnya. Berikut ini merupakan skema umum reaksi katalitik, di mana C melambangkan katalisnya:

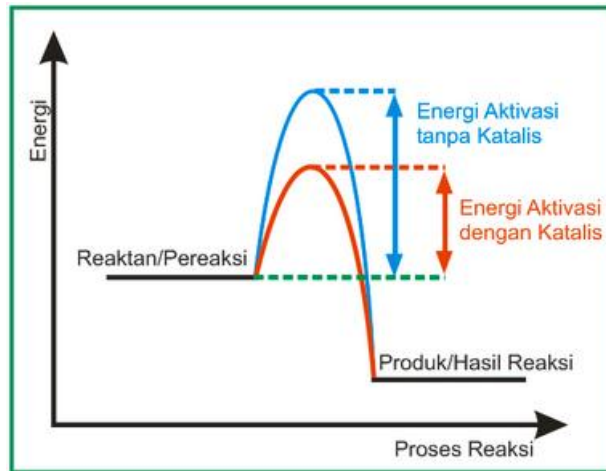


Meskipun katalis (C) termakan oleh reaksi 1, namun selanjutnya dihasilkan kembali oleh reaksi 2, sehingga untuk reaksi keseluruhannya menjadi:^[6]



2.5.1 Tipe Katalis

Ada dua macam katalis, yaitu katalis positif (katalisator) yang berfungsi mempercepat reaksi, dan katalis negatif (inhibitor) yang berfungsi memperlambat laju reaksi. Katalis positif berperan menurunkan energi pengaktifan, dan membuat orientasi molekul sesuai untuk terjadinya tumbukan. Energi pengaktifan reaksi suatu zat tanpa dan dengan katalis ditunjukkan dalam Gambar 2.5

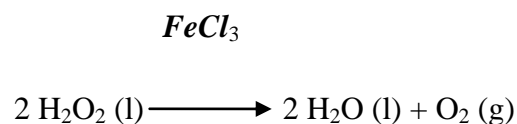


Gambar 2.5 Grafik pengaruh penggunaan katalis terhadap energi pengaktifan reaksi ^[6]

Katalisator dibedakan menjadi dua, yaitu katalisator homogen dan katalisator heterogen :

a. Katalisator homogen

Katalisator homogen adalah katalisator yang mempunyai fasa sama dengan zat yang dikatalisis. Contohnya adalah besi (III) klorida pada reaksi penguraian hidrogen peroksida menjadi air dan gas oksigen menurut persamaan:



b. Katalisator heterogen

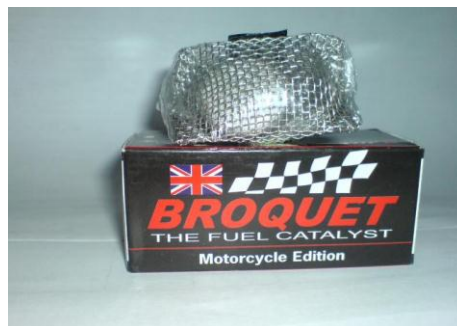
Katalisator heterogen adalah katalisator yang mempunyai fasa tidak sama dengan zat yang dikatalisis. Umumnya katalisator heterogen berupa zat padat. Banyak proses industri yang menggunakan katalisator heterogen, sehingga proses dapat berlangsung lebih cepat dan biaya produksi dapat dikurangi. Banyak logam yang dapat mengikat cukup banyak molekul-molekul gas pada permukannya, misalnya Ni, Pt, Pd dan V. Gaya tarik menarik antara atom logam dengan molekul gas dapat memperlemah ikatan kovalen pada molekul gas, dan bahkan dapat memutuskan ikatan itu.

Akibatnya molekul gas yang terabsorpsi pada permukaan logam ini menjadi lebih reaktif daripada molekul gas yang tidak terabsorpsi. Prinsip ini adalah kerja dari katalis heterogen, yang banyak dimanfaatkan untuk mengkatalisis reaksi-reaksi gas^[6].

2.5.2. Broquet

Broquet merupakan suatu katalisator komersial asal Inggris yang banyak beredar dan dipakai oleh pengguna kendaraan bermotor di Indonesia. Menurut produsennya, *Broquet* adalah katalisator bahan bakar minyak (BBM) yang dibuat dari logam mulia (Platinum, Titanium, Paladium, dan Rodium) dan logam-logam lain dalam prosentase yang kecil yang bekerja untuk meningkatkan proses reaksi kimia, namun senyawa kimia yang berada di dalam *Broquet* sendiri tidak mengalami perubahan. Dengan demikian, karakter dan fungsi alat ini tidak akan berubah seiring dengan perubahan sifat bahan bakar yang diuraikannya^[10].

Salah satu produk *Broquet* yang dipasarkan di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 2.6.



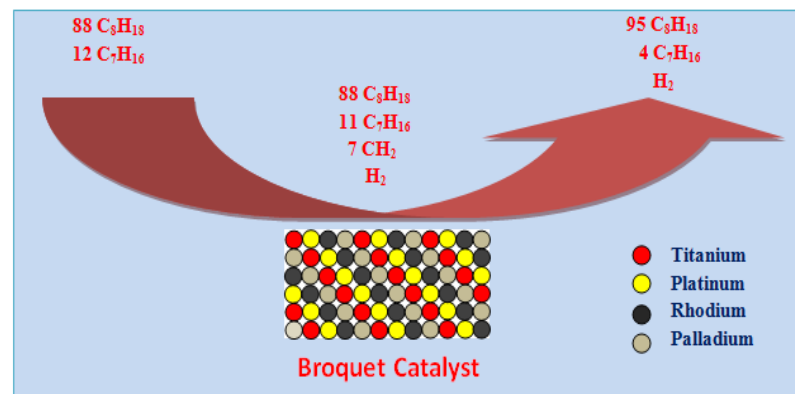
Gambar 2.6 *Broquet*

2.5.3. Cara Kerja *Broquet*

Broquet yang digunakan pada pengujian ini adalah seperti yang terlihat pada gambar 2.6(a) dikenal dengan jenis B8 dimana cara pemakaiannya dicelupkan di dalam tanki. Cara kerja dari *Broquet* yaitu menguraikan secara sempurna ion-ion di dalam premium dalam proses pembakaran. Proses itu

bisa terjadi, karena di dalam permulaan logam mulia yang berbentuk pellet dan dibungkus kawat baja seperti jala itu, terdapat pori-pori yang berfungsi untuk menyerap molekul kimia di dalam premium yaitu *Hydro* dan *Carbon* yang mempunyai ikatan kurang stabil, dan kemudian menguraikannya (memutus dan menyambung) ikatan tersebut secara sempurna. Hasilnya, proses pembakaran terjadi dengan sempurna sehingga performa kerja mesin juga sempurna, tetapi juga menghemat konsumsi bahan bakar. Struktur *Carbon* dan *Hydrogen* di dalam premium distabilkan sehingga dihasilkan struktur kimia baru yang sifatnya mirip dengan bensin beroktan tinggi seperti pertamax atau pertamax plus^[10].

Secara sederhana, dalam kondisi ideal cara kerja dari *Broquet* pada bahan bakar bensin dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Cara kerja *Broquet* pada bahan bakar bensin^[10]

Sedangkan urutan pemutusan dan penyambungan ikatan kimianya adalah sebagai berikut:

1. Bahan bakar bensin dengan oktan 88 (88 % oktana dalam campuran oktana-heptana) diserap melalui pori-pori yang terdapat pada permukaan Broquet, sebagian heptana yang ikatannya tidak stabil diputus menjadi CH₂ dan H₂.
2. Senyawa-senyawa CH₂ tersebut kemudian disambung dengan sebagian senyawa heptana (C₇H₁₆) sehingga terbentuk lebih banyak senyawa oktana (C₈H₁₈) yang mengakibatkan meningkatnya nilai oktan bensin, sedangkan

H₂ tetap menjadi sebuah senyawa yang ikut terbakar dalam ruang bakar sehingga nilai kalor bahan bakar meningkat.

Menurut salah satu sumber yang menjadi distributor di Indonesia, dari hasil penggunaan alat itu yang selama ini dirasakan oleh konsumennya adalah bahan bakar bisa dihemat hingga 15,2 %. Menurutnya hal ini bisa terjadi karena selama ini, tanpa *Broquet* dalam proses pembakaran di mesin, dari bahan bakar yang dikonsumsi hanya 70 persen yang terbakar. Sisanya, 30 persen terbuang. Tetapi dengan alat ini, yang terbakar hingga 90 persen lebih. Sementara itu, tenaga bertambah 5 - 10 % karena pembakaran yang terjadi bisa berlangsung secara sempurna. Dengan kesempurnaan proses pembakaran itu, maka emisi pun berkurang 50 - 70 % sehingga alat tersebut ramah lingkungan karena bisa mengurangi dampak pemanasan global. Produk tersebut diklaim oleh produsennya mampu bekerja secara efektif hingga jarak 40.000 kilometer atau 2 tahun masa pemakaian. Hal itu bisa terjadi, karena karakter dari logam mulia bahan *Broquet* yang tidak mudah terurai atau berubah saat bekerja.

Dengan meninjau kondisi di atas, penggunaan *Broquet* pada kendaraan bermotor tentunya akan menurunkan emisi gas buang sehingga polusi udara dapat diminimalisir. Tetapi masalahnya adalah informasi yang di dapat sebagian besar berasal dari produsen ataupun distributor yang pastinya berkeinginan agar masyarakat yakin dan percaya sehingga produknya tersebut terjual dalam skala besar. Bertolak dari masalah tersebut, maka perlu diuji dan dianalisa seberapa jauh pengaruh perbandingan emisi gas buang mesin bensin tanpa dan dengan menggunakan katalisator *Broquet*.

2.5.4. Sifat Fisis Penyusun *Broquet*

Broquet yang akan digunakan pada proses pengujian, terdiri atas 4 unsur kimia, yaitu: titanium, palladium, uranium, dan rhodium. Unsur- unsur tersebut memiliki sifat fisis sebagai berikut:^[11]

Tabel 2.2 Sifat fisis zat penyusun *Broquet*

| Name | Formula | Formula Weight | Color, Crystalline form and refractive index | Specific gravity | Melting point, °C | Boiling point, °C | Solubility in 100 parts | | |
|-----------|---------|----------------|--|--|-------------------|-------------------|-------------------------|-----------|---|
| | | | | | | | Cold water | Hot water | Other reagents |
| Palladium | Pd | 106.70 | Silv. Met. Cb. | 12.0 ²⁰ 11 ¹⁰⁰ 0 | 1555 | 2200 | i | i | s.aq.reg.,hg.h. H ₂ SO ₄ |
| Platinum | Pt | 195.23 | Silv. Met.,cb | 21.4 5 ²⁰ Lq.1 9 ¹⁷⁰⁰ | 1755 | 4300 | i. | i. | s.aq.reg.,fuse d alk |
| Rhodium | Rh | 102.91 | Gray-wh.,cb. | 12.5 | 1955 | >2500 | i. | i. | sl.s.aq. reg.,a. |
| Titanium | Ti | 47.90 | Dark gray, cb. | 4.50 ¹ 7.5 | 1800 | >3000 | i. | d. | s.a. |

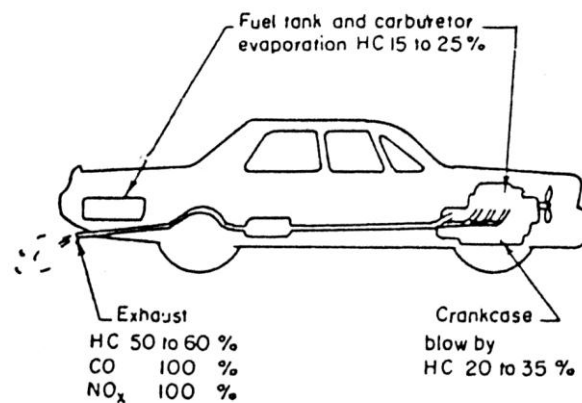
2.6. Emisi Gas Buang

Emisi gas buang yaitu gas yang diemisikan oleh kendaraan bermotor. Gas sisa yang dikeluarkan oleh sistem pembuangan kendaraan bermotor merupakan sumber utama emisi, tetapi sebenarnya ada sumber lain yaitu evaporasi sistem bahan bakar, dan emisi dari dalam tangki bahan bakar. Bahan bakar sendiri terdiri dari beberapa senyawa hidrokarbon yang jika terjadi pembakaran sempurna dengan oksigen akan menghasilkan karbondioksida (CO₂) dan air (H₂O) yang tidak berbahaya bagi kesehatan umat manusia dan lingkungan. Tetapi pada kondisi yang sebenarnya, pembakaran sempurna pada mesin sangat sulit didapatkan, sehingga

dihasilkan gas-gas sisa pembakaran yang berbahaya dan beracun seperti CO, NO_x, HC, dan sebagainya.

Udara yang dibutuhkan untuk pembakaran dalam ruang bakar diambil dari udara bebas, dimana pada udara bebas mengandung 78% nitrogen, sehingga pada gas buang mengandung polutan NO_x. Sebenarnya pada temperatur rendah, nitrogen tidak bereaksi dengan oksigen sehingga polutan NO_x tidak dihasilkan oleh reaksi pembakaran, tetapi pada temperatur lebih dari 1800⁰C, nitrogen akan bereaksi dengan oksigen pada saat pembakaran sehingga menghasilkan polutan NO_x. [12]

Sedangkan untuk polutan karbon monoksida (CO) dapat dihasilkan oleh reaksi pembakaran jika terjadi adanya temperatur yang rendah pada sekeliling dinding silinder (*quenching*) dan ketidakseimbangan campuran antara udara dengan bahan bakar dalam ruang bakar. Dengan adanya temperatur yang rendah disekitar dinding silinder maka pembakaran sulit terjadi karena api sulit mencapai ke dinding silinder.



Gambar 2.8 Sumber emisi gas buang pada kendaraan bermotor[12]

2.6.1. Pembentukan Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna karena kurangnya oksigen dalam ruang bakar atau kurangnya waktu siklus dalam pembakaran. Secara teoritis CO tidak akan terjadi bila perbandingan udara – bahan bakar lebih besar dari 16 : 1 (campuran miskin).

Persentase CO meningkat dalam keadaan stasioner dan berkurang terhadap kecepatan. Konsentrasi CO rendah pada saat kecepatan konstan. CO dapat diubah menjadi CO₂ dengan oksidasi : $2 \text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2$

Dimana reaksi ini termasuk reaksi lambat maka tidak dapat merubah semua CO menjadi CO₂. Konsentrasi CO dalam gas buang ditentukan oleh AFR dan bervariasi dengan perubahan AFR.

2.6.2. Pembentukan Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon yang tidak terbakar merupakan hasil langsung dari pembakaran tidak sempurna. Pada saat bahan bakar dipanaskan pada temperatur tinggi akan teroksidasi dengan cepat, tetapi hasil pembakaran tidak sempurna dan ada bagian bahan bakar yang tidak terbakar. Disamping itu hasil penguapan akan menyebar di atmosfer dalam bentuk gas hidrokarbon (HC). Faktor-faktor yang mempengaruhi HC dalam emisi diantaranya :

1) AFR yang tidak tepat

Kandungan HC dalam gas buang akan bertambah dengan bertambah kayanya campuran udara-bahan bakar. Hal ini akan menyebabkan pembakaran tidak sempurna. Jika campuran dibuat miskin maka konsentrasi akan bertambah besar. Hal ini karena kekurangan bahan bakar menyebabkan pembakaran menurun dan mengakibatkan bahan bakar ikut keluar dari ruang bakar sebelum terbakar sempurna.

2) Rasio kompresi rendah

Ketika kendaraan melaju atau selama perlambatan, katup gas praktis tertutup dan hampir tidak ada tarikan udara masuk dalam silinder. Pada saat bersamaan beberapa bahan bakar sisa dalam sirkuit masuk dalam silinder. Hal ini akan menghasilkan tekanan yang rendah dalam ruang bakar dengan campuran udara-bahan bakar relatif kaya. Tekanan yang rendah dan kekurangan oksigen menyebabkan

penyalaan tidak sempurna dan mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna, sehingga menghasilkan HC dalam gas buang.

3) *Quenching*

Faktor lain yang berpengaruh adalah daerah pemadaman (*quenching*). Pada daerah tersebut temperatur lidah api menurun secara drastis dan pada daerah tersebut penyalaan campuran udara – bahan bakar menjadi terhambat. Daerah pemadaman merupakan temperatur api menurun secara drastis karena penyebaran panas sebelum api mencapai dinding silinder dan karena perpindahan panas ke dinding silinder terlalu besar. Daerah *quenching* lebih kecil pada AFR yang rendah (campuran kaya).

4) *Overlap* katup

Selama periode yang singkat katup hisap dan katup buang keduanya terbuka, sehingga meningkatkan beberapa bahan bakar ikut keluar melalui katup buang sebelum terjadi pembakaran. Hal inilah yang disebut *overlap blow by*.

2.7. Pengaruh Emisi Gas Buang Terhadap Lingkungan

Secara umum pengaruh dari emisi gas buang terhadap lingkungan dapat dikelompokkan ke dalam 5 katagori, yaitu :

1. Pengaruh terhadap kesehatan dan keselamatan manusia.
2. Pengaruh terhadap tumbuhan dan binatang.
3. Pengaruh terhadap material dan bangunan.
4. Pengaruh terhadap gangguan bau dan nilai estetika.
5. Pengaruh terhadap ekosistem (udara, tanah, dan air).

Pengaruh dari zat-zat yang terkandung dalam emisi gas buang pada kesehatan umat manusia dapat dijabarkan sebagai berikut :

a. CO (karbon monoksida)

Senyawa karbon monoksida bila terhisap oleh manusia, maka akan mengakibatkan antara lain gejala kekurangan oksigen dalam darah, terjadinya sesak nafas, dan dalam akumulasi yang cukup tinggi akan mengakibatkan turunnya daya ingat.

b. HC (hidro karbon)

Hidrokarbon dalam tubuh manusia dapat menyebabkan antara lain rusaknya jaringan lemak dalam tubuh dan terganggunya fungsi hati.

c. Pb (timbal atau timah hitam)

Timbal atau timah hitam sangat berbahaya bagi kesehatan manusia, karena timbal merupakan logam berat yang tidak bisa hilang dari dalam tubuh manusia jika sudah terhisap. Pengaruh timbal atau timah hitam pada tubuh antara lain pada anak-anak dapat mengakibatkan turunnya tingkat kecerdasan, melumpuhkan sistem syaraf, megakibatkan rusaknya dan terganggunya fungsi otak dan usus kecil, dan dapat mengganggu proses pembentukan tulang.

d. NO_x (nitrogen oksida)

Nitrogen oksida dalam tubuh manusia dapat mengakibatkan terganggunya kinerja hemoglobin dan darah sehingga dapat menyebabkan lemas atau bahkan kematian dan merusak organ dalam paru-paru.

e. SO_x (sulfur oksida)

Sulfur oksida dalam tubuh manusia dapat mengakibatkan terjadinya gangguan pada sistem pernapasan manusia atau bahkan dapat menyebabkan terjadinya bronchitis.

f. Partikulat

Pengaruh partikulat pada tubuh manusia antara lain dapat memicu terjadinya kanker, terjadinya gangguan pernapasan, dan dapat mengganggu proses metabolisme tubuh.

Adapun pengaruh jumlah bertambahnya kendaraan bermotor baik itu bus, truk, mobil, sepeda motor, dan sebagainya, akan menambah jumlah gas buang/emisi yang ada di lingkungan ini. Pertambahan kuantitas gas buang berbanding lurus dengan jumlah kendaran bermotor. Berikut berbagai efek pencemaran lingkungan terutama polusi udara yang diakibatkan oleh meningkatnya jumlah gas buang di dunia ini:

1. Penipisan lapisan ozon.

Lapisan ozon (O_3) di stratosfer berperan penting dalam mengurangi efek radiasi sinar ultra violet dari matahari. Adanya reaksi kimia antara *Chloro Fluoro Carbon* (CFC), hidrokarbon, dan oksida nitrogen menyebabkan lapisan ozon terserap karena reaksi tersebut memerlukan O_3 sebagai perantaranya. Akibat dari penyerapan tersebut maka akan terjadi penipisan lapisan ozon sehingga intensitas radiasi sinar ultra violet yang sampai ke permukaan bumi menjadi sangat tinggi.

2. Efek rumah kaca (*Green house effect*).

Adanya kabut asap yang terjadi pada permukaan bumi mengakibatkan permukaan bumi seakan-akan diselimuti oleh suatu lapisan yang menyebabkan panas matahari yang masuk bumi tidak dapat dipantulkan kembali keluar karena lapisan tersebut menghalanginya, sehingga terjadi pemanasan global di bumi.

3. Hujan asam (*Acid rain*).

Hujan asam yang terjadi di atmosfer disebabkan oleh reaksi kimia antara NO dan SO_2 yang berasal dari gas buang kendaraan bermotor. SO_2 yang terdapat pada emisi gas buang kendaraan bermotor biasanya disebabkan karena adanya konsentrasi sulfur yang terdapat pada bahan bakar walaupun kadarnya rendah. Konsentrasi asam di atmosfer yang terlalu tinggi akan mengubah keseimbangan pH yang ada sehingga akan menyebabkan kerusakan pada kehidupan tumbuhan, kerusakan struktur bangunan, kerusakan tanah, korosi, dan lain-lain.

4. Kabut Asap (*Smog*).

Reaksi kimia yang terjadi antara unsur nitrogen oksida (NO_x) dengan hidrokarbon (HC) yang dipengaruhi oleh radiasi sinar ultra violet matahari menyebabkan terbentuknya kabut asap di udara, dan biasanya terjadi pada saat cuaca panas atau pada hari-hari saat musim panas. Kabut asap yang terjadi akibat dari emisi gas buang ini sangat merugikan manusia dan lingkungan karena dapat mengakibatkan terjadinya antara lain:

- a. iritasi mata dan gangguan pernapasan.
- b. berkurangnya jarak pandang terutama bagi para pengendara kendaraan.
- c. kerusakan kehidupan tumbuhan karena proses fotosintesa terganggu

Untuk mengurangi resiko terjadinya kabut asap akibat dari emisi gas buang terutama CO dan HC dapat dilakukan dengan cara mengubah unsur-unsur tersebut menjadi lebih ramah bagi lingkungan^[13].