

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada umumnya *generating set* merupakan alat pembangkit tenaga listrik berbahan bakar bensin ataupun solar. Dengan metode pembakaran pada motor yang sama, pembakaran 4 langkah, yaitu langkah hisap, kompres, usaha dan buang. Modifikasi mesin genset berbahan bakar gas merupakan alternatif penggunaan bahan bakar lain selain bensin. Oleh karena itu, mesin genset berbahan bakar gas yang direncanakan ini diharapkan efektif, efisien, dan ekonomis sehingga mesin ini dapat berguna bagi yang membutuhkannya. Topik pembahasan dalam laporan ini meliputi analisa perbandingan bahan bakar bensin dengan gas pada genset, mekanisme kerja mesin genset, dan modifikasi mesin genset berbahan bakar bensin menjadi bahan bakar gas.

2.1 Generator Set

Generator adalah suatu mesin listrik yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, prinsip kerja dari generator adalah gerakan mesin akan diubah secara bersamaan dengan dinamo atau alternator menjadi energi listrik. Energi listrik ini kemudian disimpan dalam baterai untuk digunakan.

2.2Mesin pada Genset

Mesin bensin adalah mesin yang bekerja dengan cara memasukan panas dari percikan bunga api listrik dari busi pada campuran udara dan bahan bakar yang dikompresikan.

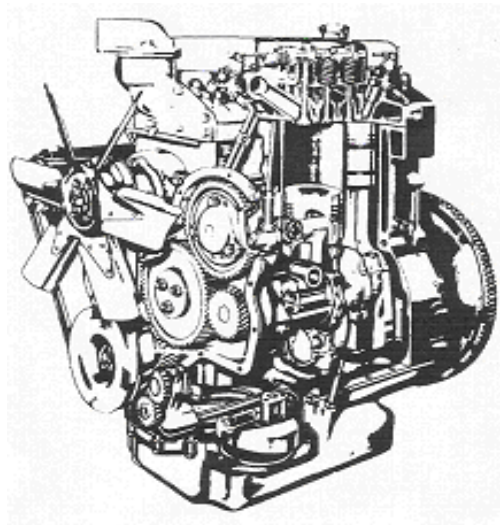
Perbedaan mesin genset dengan mesin pada kendaraan bermotor adalah pada genset RPM stabil secara otomatis. Pada saat penambahan beban maka bahan bakar akan terhisap lebih cepat, sehingga mesin tetap stabil. Akan tetapi, pada genset yang berubah hanyalah komposisi bahan bakar, sedangkan udara tetap.

2.3 Motor Bakar

2.3.1 Pengertian Motor Bakar

Motor bakar adalah salah satu jenis dari mesin kalor, yaitu mesin yang mengubah energi termal untuk melakukan kerja mekanik atau mengubah tenaga kimia bahan bakar menjadi tenaga mekanis. Energi diperoleh dari proses pembakaran, proses pembakaran juga mengubah energi tersebut yang terjadi didalam dan diluar mesin kalor (Kiyaku dan Murdhana, 1998)

Motor bakar torak menggunakan silinder tunggal atau beberapa silinder. Salah satu fungsi torak disini adalah sebagai pendukung terjadinya pembakaran pada motor bakar. Tenaga panas yang dihasilkan dari pembakaran diteruskan torak ke batang torak, kemudian diteruskan ke poros engkol yang mana poros engkol nantinya akan diubah menjadi gesekan putar. Berikut motor bakar torak yang ditampilkan pada gambar 2.1:



Gambar 2.1 Motor Bakar Torak
(Arismunandar, 2002)

Motor bakar terbagi menjadi 2 (dua) jenis utama, yaitu motor diesel dan motor bensin. Perbedaan umum terletak pada sistem penyalan. Penyalan pada motor bensin terjadi karena loncatan bunga api listrik yang dipercikan oleh busi atau juga sering disebut juga *spark ignition engine*, sedangkan pada motor diesel

penyalan terjadi karena kompresi yang tinggi di dalam silinder kemudian bahan bakar disemprotkan oleh *nozzle* atau juga sering disebut juga *Compression Ignition Engine*.

2.3.2Klasifikasi Motor Bakar

Motor bakar dapat diklasifikasikan menjadi 2 (dua) macam. Adapun klasifikasi motor bakar adalah sebagai berikut :

a. Berdasarkan Sistem Pembakarannya

(1) Mesin pembakaran dalam

Mesin pembakaran dalam atau sering disebut sebagai *Internal Combustion Engine* (ICE), yaitu dimana proses pembakarannya berlangsung di dalam motor bakar itu sendiri sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja.

(2) Mesin pembakaran luar

Mesin pembakaran luar atau sering disebut sebagai *Eksternal Combustion Engine* (ECE), yaitu dimana proses pembakarannya terjadi di luar mesin, energi termal dari gas hasil pembakaran dipindahkan ke fluida kerja mesin.

b. Berdasarkan Sistem Penyalan

(1) Motor bensin

Motor bensin dapat juga disebut sebagai motor otto. Motor tersebut dilengkapi dengan busi dan karburator. Busi menghasilkan loncatan bunga api listrik yang membakar campuran bahan bakar dan udara karena motor ini cenderung disebut *spark ignition engine*. Pembakaran bahan bakar dengan udara ini menghasilkan daya. Di dalam siklus otto (siklus ideal) pembakaran tersebut dimisalkan sebagai pemasukan panas pada volume konstan.

(2) Motor diesel

Motor diesel adalah motor bakar torak yang berbeda dengan motor bensin. Proses penyalannya bukan menggunakan loncatan bunga api listrik. Pada waktu torak hampir mencapai titik TMA bahan bakar

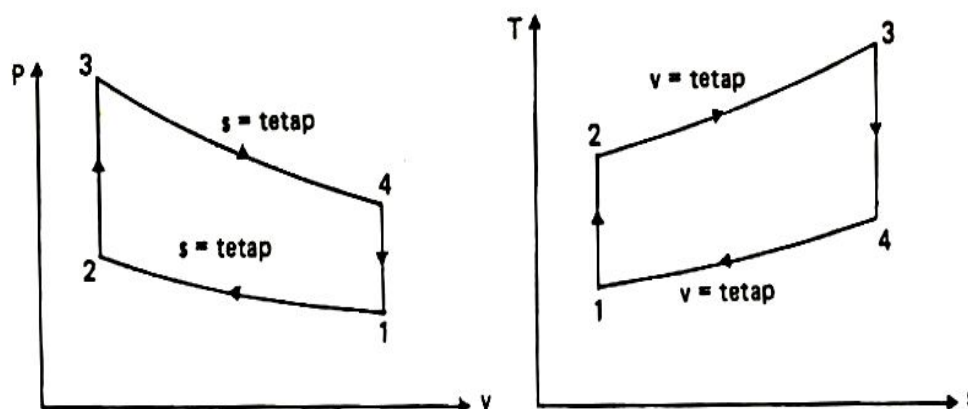
disemprotkan ke dalam ruang bakar. Terjadilah pembakaran pada ruang bakar pada saat udara dalam silinder sudah bertemperatur tinggi. Persyaratan ini dapat terpenuhi apabila perbandingan kompresi yang digunakan cukup tinggi, yaitu berkisar 12-25. (Arismunandar. W, 1988)

2.3.3 Siklus Termodinamika

Konversi energi yang terjadi pada motor bakar torak berdasarkan pada siklus termodinamika. Proses sebenarnya amat kompleks, sehingga analisa dilakukan pada kondisi ideal dengan fluida kerja udara. Idealisasi proses tersebut sebagai berikut :

- Fluida kerja dari awal proses hingga akhir proses.
- Panas jenis dianggap konstan meskipun terjadi perubahan temperatur pada udara.
- Proses kompresi dan ekspansi berlangsung secara adiabatik, tidak terjadi perpindahan panas antara gas dan dinding silinder.
- Sifat-sifat kimia fluida kerja tidak berubah selama siklus berlangsung.
- Motor 2 (dua) langkah mempunyai siklus termodinamika yang sama dengan motor 4 (empat) langkah.

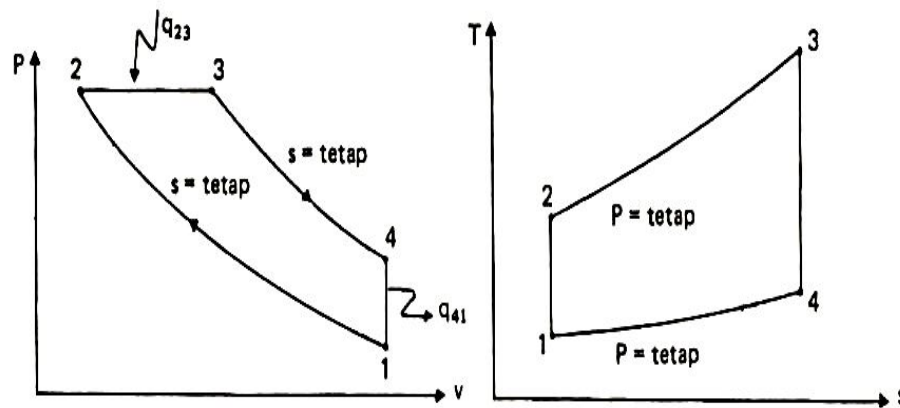
Diagram P-V dan T-S siklus termodinamika dapat dilihat pada gambar 2.2 di bawah, sebagai berikut :



Gambar 2.2 Diagram P-V dan T-S siklus otto
(Cengel & Boles, 1994:451)

2.3.4 Siklus Otto (Siklus udara volume konstan)

Pada siklus otto atau siklus volume konstan proses pembakaran terjadi pada volume konstan, sedangkan siklus otto tersebut ada yang berlangsung dengan 4 (empat) langkah atau 2 (dua) langkah. Untuk mesin 4 (empat) langkah siklus kerja terjadi dengan 4 (empat) langkah piston atau 2 (dua) poros engkol. Adapun langkah dalam siklus otto yaitu gerakan piston dari titik puncak (TMA=titik mati atas) ke posisi bawah (TMB=titik mati bawah) dalam silinder. Diagram P-V dan T-S siklus otto dapat dilihat pada gambar 2.3 dibawah sebagai berikut :



Gambar 2.3 Diagram P-V dan T-S siklus otto
(Cengel & Boles, 1994:458)

Pada gambar mengenai diagram P-V dan T-S siklus otto dapat dilihat Proses siklus otto adalah sebagai berikut :

- Proses 1-2: Proses kompresi *isentropic* (*adiabatic reversible*) dimana piston bergerak menuju (TMA=titik mati atas) mengompresikan udara sampai volume *clearance* sehingga tekanan dan temperatur udara naik.
- Proses 2-3: Pemasukan kalor konstan, piston sesaat pada (TMA=titik mati atas) bersamaan kalor suplai dari sekelilingnya serta tekanan dan temperatur meningkat hingga nilai maksimum dalam siklus.

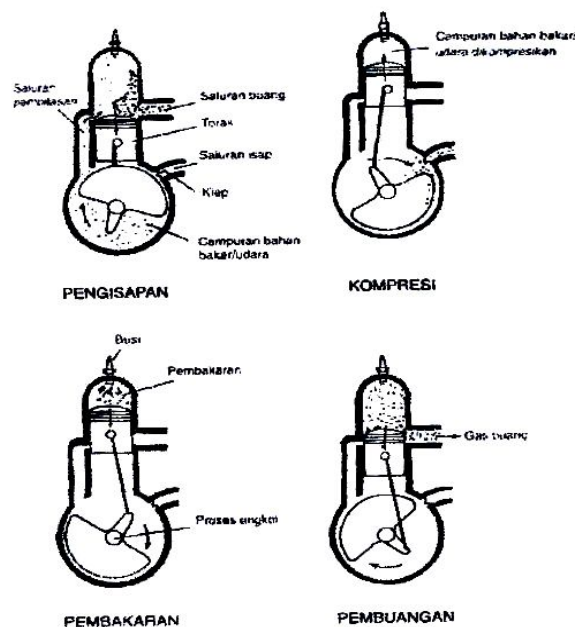
- Proses 3-4: Proses isentropik udara panas dengan tekanan tinggi mendorong piston turun menuju (TMB = titik mati bawah), energi dilepaskan disekeliling berupa internal energi.
- Proses 4-1: Proses pelepasan kalor pada volume konstan piston sesaat pada (TMB = titik mati bawah) dengan mentransfer kalor ke sekeliling dan kembali mlangkah pada titik awal.

2.3.5 Sistem Kerja Motor Bakar

Terdapat 2 jenis motor bakar secara umum, yaitu motor bakar 2 langkah dan motor bakar 4 langkah. Berikut masing-masing penjelasan jenis motor bakar secara umum adalah sebagai berikut:

2.3.5.1 Motor bakar 2 Langkah

Motor bakar 2 langkah adalah mesin yang proses pembakarannya lebih sederhana dari motor 4 langkah yaitu dilakukan pada satu kali putaran poros engkol yang berakibat dua kali langkah piston. Adapun prinsip kerja motor 2 langkah dapat dijelaskan pada gambar 2.4 dibawah ini:



Gambar 2.4 Skema Gerakan Torak 2 Langkah
(Arends BPM; H Berenschot, 1980)

a. Langkah hisap:

- Torak bergerak dari TMA ke TMB.
- Pada saat saluran bilas masih tertutup oleh torak, di dalam bak mesin terjadikompresi terhadap campuran bensin dengan udara.
- Di atas torak, gas sisa pembakaran dari hasil pembakaran sebelumnya sudah mulai terbang keluar saluran buang.
- Saat saluran bilas terbuka, campuran bensin dengan udara mengalir melalui saluran bilas terus masuk kedalam ruang bakar.

b. Langkah kompresi:

- Torak bergerak dari TMB ke TMA.
- Rongga bilas dan rongga buang tertutup, terjadi langkah kompresi dan setelah mencapai tekanan tinggi busi memercikkan bunga api listrik untuk membakar campuran bensin dengan udara tadi.
- Pada saat yang bersamaan, dibawah (di dalam bak mesin) bahan bakar yang baru masuk kedalam bak mesin melalui saluran masuk.

c. Langkah kerja:

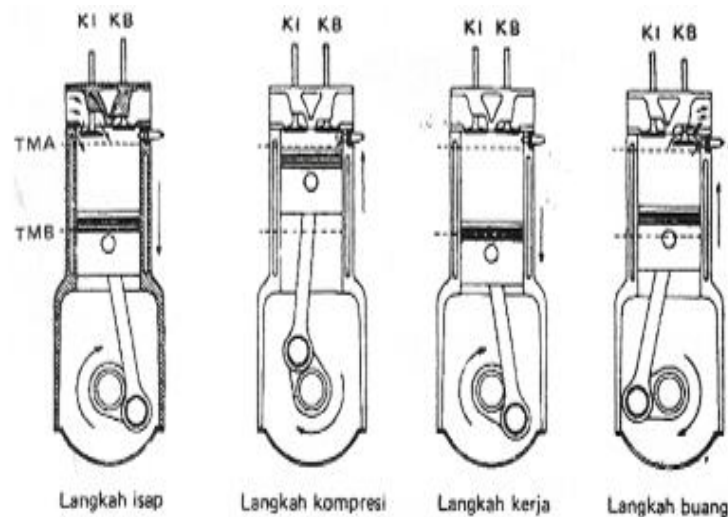
- Torak kembali dari TMA ke TMB akibat tekanan besar yang terjadi pada waktu pembakaran bahan bakar.
- Saat itu torak turun sambil mengkompresi bahan bakar baru didalam bak mesin.

d. Langkah buang:

- Menjelang torak mencapai TMB, saluran buang terbuka dan gas sisa pembakaran mengalir terbang keluar.
- Pada saat yang sama bahan bakar baru masuk ke dalam ruang bahan bakar melalui rongga bilas.
- Setelah mencapai TMB kembali, torak mencapai TMB untuk mengadakan langkah sebagai pengulangan dari yang dijelaskan diatas.

2.3.5.2 Motor bakar 4 langkah

Motor bakar empat langkah adalah motor yang setiap satu kali pembakaran bahan bakar memerlukan 4 langkah dan 2 kali putaran poros engkol. Adapun prinsip kerja motor 4 langkah dapat dilihat pada gambar 2.5 dibawah ini :



Gambar 2.5 Skema Gerakan Torak 4 langkah
(Arismunandar, 2002)

a. Langkah hisap:

- Torak bergerak dari TMA ke TMB.
- Katup masuk terbuka, katup buang tertutup.
- Campuran bahan bakar dengan udara yang telah tercampur didalam karburator masuk kedalam silinder melalui katup masuk.
- Saat torak berada di TMB katup masuk akan tertutup.

b. Langkah kompresi:

- Torak bergerak dari TMB ke TMA.
- Katup masuk dan katup buang kedua-duanya tertutup sehingga gas yang telah diisap tidak keluar pada waktu ditekan oleh torak yang mengakibatkan tekanan gas akan naik.
- Beberapa saat sebelum torak mencapai TMA busi mengeluarkan bunga api listrik.
- Gas bahan bakar yang telah mencapai tekanan tinggi terbakar.

- Akibat pembakaran bahan bakar, tekanannya akan naik menjadi kira-kira tiga kali lipat.

c. Langkah kerja/ekspansi:

- Saat ini kedua katup masih dalam keadaan tertutup.
- Gas terbakar dengan tekanan yang tinggi akan mengembang kemudian menekan torak turun kebawah dari TMA ke TMB.
- Tenaga ini disalurkan melalui batang penggerak, selanjutnya oleh poros engkol diubah menjadi gerak rotasi.

d. Langkah Pembuangan:

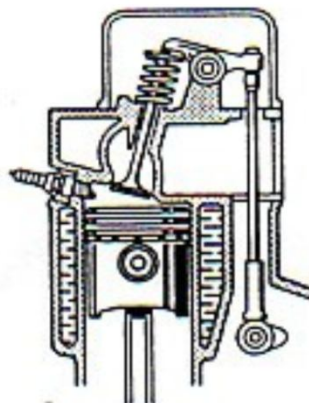
- Katup buang terbuka, katup masuk tertutup.
- torak bergerak dari TMB ke TMA.
- Gas sisa pembakaran terdorong oleh torak keluar melalui katup buang.

2.3.6 Jenis-jenis Motor Bensin

Berdasarkan mekanisme katup jenis katup terdiri dari jenis OHV (*over head valve*) dan OHC (*over head camshaft*).

a. Tipe OHV (Over Head Valve)

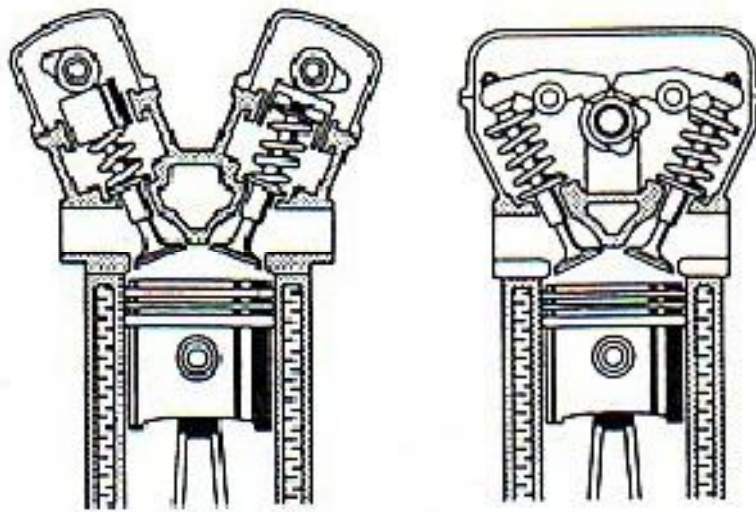
Motor yang menggunakan mekanisme katup jenis ini mempunyai ciri fisik yaitu poros cam berada pada blok silinder dan katup berada pada kepala silinder. Motor dengan mekanisme katup OHV mempunyai perbandingan kompresi yang tinggi dibandingkan dengan katup sisi. Penempatan katup di kepala silinder menyebabkan perbandingan kompresi tinggi sehingga meningkatkan torsi. Berikut gambar motor bensin tipe OHV dilihat pada gambar 2.6:



Gambar 2.6 Motor Bensin Tipe OHV (Over Head Value)

b. Tipe OHC (Over Head Cam Shaft)

Pada jenis OHC poros cam dipasangkan di atas kepala silinder, yang mana rocker arm dan katup-katup digerakkan langsung oleh poros cam. Susunan ini disebut *over headcamshaft system*. OHC mempunyai keuntungan dibanding OHV yaitu proses pembukaan dan penutupan katup lebih cepat, sehingga cocok digunakan oleh motor kecepatan tinggi. Berikut gambar motor bensin tipe OHC dilihat pada gambar 2.7:



Gambar 2.7 Motor Bensin Tipe OHC (Over Head Cam Shaft)

2.3.7 Proses Pembakaran

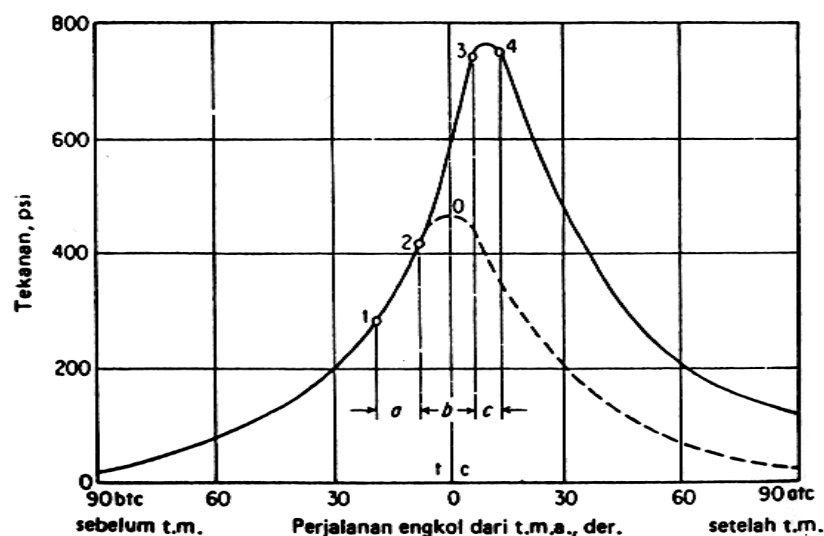
Secara umum pembakaran didefinisikan sebagai reaksi kimia atau reaksi persenyawaan bahan bakar oksigen (O_2) sebagai oksidan dengan temperaturnya lebih besar dari titik nyala. Mekanisme pembakarannya sangat dipengaruhi oleh keadaan dari keseluruhan proses pembakaran dimana atom-atom dari komponen yang dapat bereaksi dengan oksigen yang dapat membentuk produk yang berupa gas. (Sharma, S.P, 1978).

Untuk memperoleh daya maksimum dari suatu operasi hendaknya komposisi gas pembakaran dari silinder (komposisi gas hasil pembakaran) dibuat seideal mungkin, sehingga tekanan gas hasil pembakaran bisa maksimal menekan torak dan mengurangi terjadinya detonasi. Komposisi bahan bakar dan udara dalam silinder akan menentukan kualitas pembakaran dan akan berpengaruh

terhadap *performance* mesin dan emisi gas buang. Sebagaimana telah diketahui bahwa bahan bakar bensin mengandung unsur-unsur karbon dan hidrogen. Terdapat 3 (tiga) teori mengenai pembakaran hidrogen tersebut yaitu :

- Hidrokarbon terbakar bersama-sama dengan oksigen sebelum karbon bergabung dengan oksigen.
- Karbon terbakar lebih dahulu daripada hidrogen.
- Senyawa hidrokarbon terlebih dahulu bergabung dengan oksigen dan membentuk senyawa (*hidrolisasi*) yang kemudian dipecah secara terbakar. (Yaswaki, K, 1994).

Dalam sebuah mesin terjadi beberapa tingkatan pembakaran yang digambarkan dalam sebuah grafik dengan hubungan antara tekanan dan perjalanan engkol seperti pada gambar 2.8 dibawah :



Gambar 2.8 Tingkat pembakaran dalam sebuah mesin
(Maleev.V.L, 1995)

Dari gambar 2.8 diatas dapat dilihat bahwa tingkatan pembakaran dalam sebuah mesin terbagi menjadi empat tingkat atau periode yang terpisah. Periode-periode tersebut adalah :

(1) Keterlambatan pembakaran (*Delay Periode*)

Periode pertama dimulai dari titik 1 yaitu mulai disemprotkannya bahan bakar sampai masuk kedalam silinder, dan berakhir pada titik 2. perjalanan ini sesuai dengan perjalanan engkal sudut a. Selama periode ini berlangsung tidak terdapat kenaikan tekanan yang melebihi kompresi udara yang dihasilkan oleh torak, dan selanjutnya bahan bakar masuk terus menerus melalui nosel.

(2) Pembakaran cepat

Pada titik 2 terdapat sejumlah bahan bakar dalam ruang bakar, yang dipecah halus dan sebagian menguap kemudian siap untuk dilakukan pembakaran. Ketika bahan bakar dinyalakan yaitu pada titik 2, akan menyala dengan cepat yang mengakibatkan kenaikan tekanan mendadak sampai pada titik 3 tercapai. Periode ini sesuai dengan perjalanan sudut engkol b. yang membentuk tingkat kedua.

(3) Pembakaran Terkendali

Setelah titik 3, bahan bakar yang belum terbakar dan bahan bakar yang masih tetap disemprotkan (diinjeksikan) terbakar pada kecepatan yang tergantung pada kecepatan penginjeksian serta jumlah distribusi oksigen yang masih ada dalam udara pengisian. Periode inilah yang disebut dengan periode terkendali atau disebut juga pembakaran sedikit demi sedikit yang akan berakhir pada titik 4 dengan berhentinya injeksi. Selama tingkat ini tekanan dapat naik, konstan ataupun turun. Periode ini sesuai dengan perjalanan engkol sudut c, dimana sudut c tergantung pada beban yang dibawa mesin, semakin besar bebannya semakin besar c.

(4) Pembakaran pasca (*after burning*)

Bahan bakar sisa dalam silinder ketika penginjeksian berhenti dan akhirnya terbakar. Pada pembakaran pasca tidak terlihat pada diagram, dikarenakan pemunduran torak mengakibatkan turunnya tekanan meskipun panas ditimbulkan oleh pembakaran bagian akhir bahan bakar.

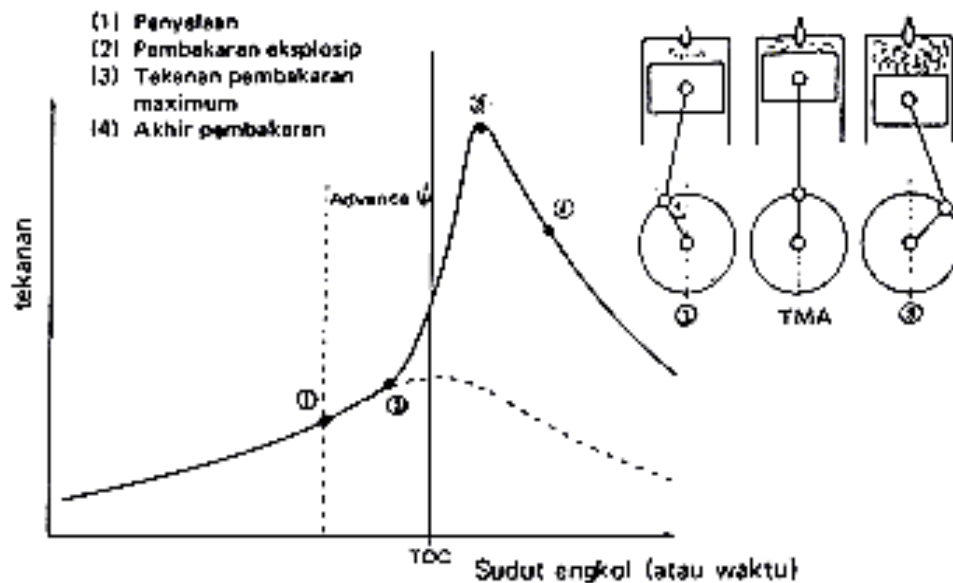
Dalam pembakaran hidrokarbon yang biasa tidak akan terjadi gejala apabila memungkinkan untuk proses *hidrolisasi*. Hal ini hanya akan terjadi

bila pencampuran pendahuluan antara bahan bakar dengan udara mempunyai waktu yang cukup sehingga memungkinkan masuknya oksigen ke dalam molekul hidrokarbon. (Yaswaki. K, 1994)

Bila oksigen dan hidrokarbon tidak bercampur dengan baik maka terjadi proses *cracking* dimana akan menimbulkan asap. Pembakaran semacam ini disebut pembakaran tidak sempurna. Ada 2 (dua) kemungkinan yang terjadi pada pembakaran mesin berbensin, yaitu pembakaran normal dan pembakaran tidak normal.

a. Pembakaran normal

Pembakaran normal terjadi bila bahan bakar dapat terbakar seluruhnya pada saat dan keadaan yang dikehendaki. Mekanisme pembakaran normal dalam motor bensin dimulai pada saat terjadinya loncatan bunga api pada busi, kemudian api membakar gas bakar yang berada di sekitarnya sehingga semua partikelnya terbakar habis. Di dalam pembakaran normal, pembagian nyala api terjadi merata di seluruh bagian. Pada keadaan yang sebenarnya pembakaran bersifat kompleks, yang mana berlangsung pada beberapa *phase*. Dengan timbulnya energi panas, maka tekanan dan temperatur naik secara mendadak, sehingga piston terdorong menuju TMB. Pembakaran normal pada motor bensin dapat ditunjukkan pada gambar grafik 2.9 dibawah sebagai berikut :



Gambar 2.9 Pembakaran campuran udara-bensin dan perubahan tekanan didalam silinder
(Toyota Astra Motor, 1996) Jakarta

Gambar grafik diatas dengan jelas memperlihatkan hubungan antara tekanan dan sudut engkol, mulai dari penyalan sampai akhir pembakaran. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa beberapa derajat sebelum piston mencapai TMA, busi memberikan percikan bunga api sehingga mulai terjadi pembakaran, sedangkan lonjakan tekanan dan temperatur mulai point 2, sesaat sebelum piston mencapai TMA, dan pembakaran point 3 sesaat sesudah piston mencapai TMA.

b. Pembakaran tidak normal

Pembakaran tidak normal terjadi bila bahan bakar tidak ikut terbakar atau tidak terbakar bersamaan pada saat dan keadaan yang dikehendaki. Pembakaran tidak normal dapat menimbulkan detonasi (*knocking*) yang memungkinkan timbulnya gangguan dan kesulitan-kesulitan pada motor bakar bensin. Fenomena-fenomena yang menyertai pembakaran tidak sempurna, diantaranya :

- **Detonasi**

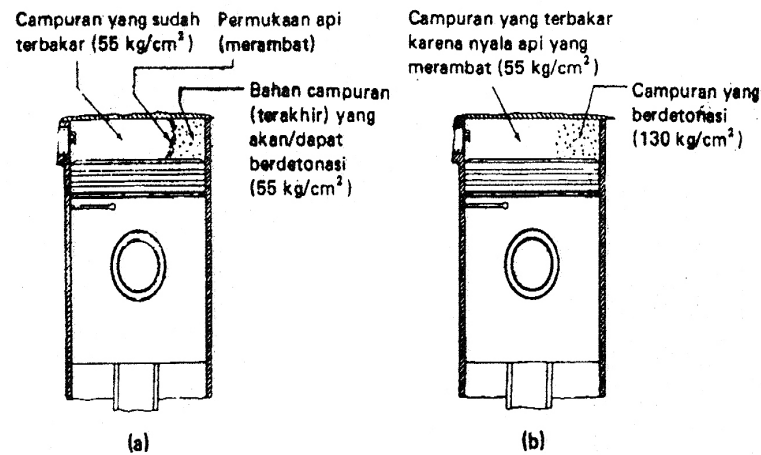
Seperti telah diterangkan sebelumnya, pada peristiwa pembakaran normal api menyebar keseluruh bagian ruang bakar dengan kecepatan konstan dan busi berfungsi sebagai pusat penyebaran. Dalam hal ini gas baru yang belum terbakar terdesak oleh gas yang sudah terbakar, sehingga tekanan dan suhunya naik sampai mencapai keadaan hampir terbakar. Jika pada saat ini gas tadi terbakar dengan sendirinya, maka akan timbul ledakan (*detonasi*) yang menghasilkan gelombang kejutan berupa suara ketukan (*knocking noise*)

- **Detonasi pada motor bensin**

Pada lapisan yang telah terbakar akan berekspansi. Pada kondisi lapisan yang tidak homogen, lapisan gas tadi akan mendesak lapisan gas lain yang belum terbakar, sehingga tekanan dan suhunya naik. Bersamaan dengan adanya radiasi dari ujung lidah api, lapisan gas yang terdesak akan terbakar tiba-tiba. Peristiwa ini akan menimbulkan letupan mengakibatkan terjadinya gelombang tekanan yang kemudian menumbuk piston dan dinding silinder sehingga terdengarlah suara ketukan (*knocking*) yaitu yang disebut dengan detonasi. Hal-hal yang menyebabkan terjadinya detonasi antara lain sebagai berikut :

- a) Perbandingan kompresi yang tinggi, tekanan kompresi, suhu pemanasan campuran dan suhu silinder yang tinggi.
- b) Masa pengapian yang cepat.
- c) Putaran mesin rendah dan penyebaran api lambat.
- d) Penempatan busi dan konstruksi ruang bakar tidak tepat, serta jarak penyebaran api terlampau jauh.

Proses terjadinya detonasi dapat ditunjukkan pada gambar 2.10 dibawah :



Gambar 2.10 Proses terjadinya detonasi
(Arismunandar, 2002)

Gambar di atas menjelaskan bahwa detonasi (*knocking*) terjadi karena bahan bakar terbakar sebelum waktunya. Hal ini terjadi pada saat piston belum mencapai posisi pembakaran, tetapi bahan bakar telah terbakar lebih dahulu.

2.4 Bahan Bakar

2.4.1 Pengertian Bahan Bakar

Bahan bakar (*fuel*) adalah segala sesuatu yang dapat terbakar misalnya : kertas, kain, batu bara, minyak tanah, bensin dan sebagainya. Untuk melakukan pembakaran diperlukan 3 (tiga) unsur, yaitu bahan bakar, udara, dan suhu untuk memulai pembakaran.

Panas atau kalor yang timbul karena pembakaran bahan bakar tersebut disebut hasil pembakaran. Terdapat 3 (tiga) jenis bahan bakar, yaitu bahan bakar padat, bahan bakar cair dan bahan bakar gas.

Kriteria utama yang harus dipenuhi bahan bakar yang akan digunakan dalam motor bakar adalah sebagai berikut:

- Proses pembakaran bahan bakar dalam silinder harus secepat mungkin dan panas yang dihasilkan harus tinggi.

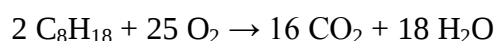
- b. Bahan bakar yang digunakan harus tidak meninggalkan endapan atau deposit setelah pembakaran karena akan menyebabkan kerusakan pada dinding silinder.
- c. Gas sisa pembakaran harus tidak berbahaya pada saat dilepas ke atmosfer.

Pada umumnya, generator set yang beredar dimasyarakat hanya menggunakan bahan bakar cair dan gas sebagai sumber bahan bakarnya, yaitu bensin dan LPG.

2.4.2 Karakteristik Bahan Bakar Bensin (Premium)

Premium berasal dari bensin yang merupakan salah satu fraksi dari penyulingan minyak bumi yang diberi zat tambahan atau aditif, yaitu *Tetra Ethyl Lead* (TEL). Premium mempunyai rumus empiris *Ethyl Benzene* (C_8H_{18}).

Premium adalah bahan bakar jenis disilat berwarna kuning akibat adanya zat pewarna tambahan. Premium pada umumnya digunakan untuk bahan bakar kendaraan bermotor bermesin bensin, seperti mobil, sepeda motor, dan lain lain. Bahan bakar ini juga sering disebut motor *gasoline* atau *petrol* dengan angka oktan adalah 88, dan mempunyai titik didih $30^{\circ}C$ - $200^{\circ}C$. Adapun rumus kimia untuk pembakaran pada bensin premium adalah sebagai berikut:



Pembakaran di atas diasumsikan semua bensin terbakar dengan sempurna. Komposisi bahan bakar bensin, yaitu :

- a. Bensin (*gasoline*) C_8H_{18}
- b. Berat jenis bensin 0,65-0,75
- c. Pada suhu 40° bensin menguap 30-65%
- d. Pada suhu 100° bensin menguap 80-90%

(Sumber: *Encyclopedia Of Chemical Technology, Third Edition*, 1981:399)

Bensin premium mempunyai sifat anti ketukan yang baik dan dapat dipakai pada mesin kompresi tinggi pada saat semua kondisi. Sifat-sifat penting yang diperhatikan pada bahan bakar bensin adalah :

- a) Kecepatan menguap (*volatility*)
- b) Kualitas penketukan (kecenderungan berdetonasi)
- c) Kadar belerang
- d) Titik beku
- e) Titik nyala
- f) Berat jenis

2.4.3 Karakteristik Bahan Bakar gas (LPG)

Adalah campuran dari berbagai unsur hidrokarbon yang berasal dari gas alam. Dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya, gas berubah menjadi cair. Komponennya didominasi propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}). LPG juga mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil, misalnya etana (C_2H_6) dan pentana (C_5H_{12}).

Dalam kondisi atmosfer, LPG akan berbentuk gas. Volume LPG dalam bentuk cair lebih kecil dibandingkan dalam bentuk gas untuk berat yang sama. Karena itu LPG dipasarkan dalam bentuk cair dalam tabung-tabung logam bertekanan. Untuk memungkinkan terjadinya ekspansi panas (*thermal expansion*) dari cairan yang dikandungnya, tabung LPG tidak diisi secara penuh, hanya sekitar 80-85% dari kapasitasnya. Rasio antara volume gas bila menguap dengan gas dalam keadaan cair bervariasi tergantung komposisi, tekanan dan temperatur, tetapi biasanya sekitar 250:1.

Tekanan di mana LPG berbentuk cair, dinamakan tekanan uap-nya, juga bervariasi tergantung komposisi dan temperatur; sebagai contoh, dibutuhkan tekanan sekitar 220 kPa (2.2 bar) bagi butana murni pada 20 °C (68 °F) agar mencair, dan sekitar 2.2 MPa (22 bar) bagi propana murni pada 55 °C (131 °F).

Menurut spesifikasinya, LPG dibagi menjadi tiga jenis yaitu LPG campuran, LPG propana dan LPG butana. Spesifikasi masing-masing LPG

tercantum dalam keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi Nomor: 25K/36/DDJM/1990. LPG yang dipasarkan Pertamina adalah LPG campuran.

2.4.4 Syarat-Syarat Bahan Bakar Untuk Mesin 4 langkah

Untuk dapat menjadi bahan bakar pada mesin 4 langkah haruslah memiliki persyaratan yang dapat dipenuhi, seperti Volatilitas bahan bakar, Angka oktan, serta kestabilan kimia dan kebersihan bahan bakar. Berikut penjelasan masing-masing persyaratan:

2.4.4.1 Volatilitas bahan bakar

Volatilitas bahan bakar didefinisikan sebagai kecenderungan cairan bahan bakar untuk menguap. Pada motor bensin, campuran bahan bakar dan udara yang masuk dalam silinder sebelum dan sesudah selama proses pembakaran diusahakan sudah dalam keadaan campuran uap bahan bakar dan udara, sehingga memudahkan proses pembakaran. Oleh karena itu kemampuan menguapkan bahan bakar untuk motor bensin sangat penting.

2.4.4.2 Angka Oktan

Angka Oktan adalah suatu bilangan yang menunjukkan sifat anti ketukan (denotasi). Dengan kata lain, makin tinggi angka oktan maka semakin berkurang kemungkinan untuk terjadinya denotasi (*knocking*). Dengan berkurangnya intensitas untuk berdenotasi, maka campuran bahan bakar dan udara yang dikompresikan oleh torak menjadi lebih baik sehingga tenaga motor akan lebih besar dan pemakaian bahan bakar menjadi lebih hemat.

Cara menentukan angka oktan bahan bakar ialah dengan mengadakan suatu perbandingan bahan bakar tertentu dengan bahan bakar standar. Yaitu dengan menggunakan mesin CFR (*Coordination Fuel Research*). Mesin CFR merupakan sebuah mesin silinder tunggal dengan perbandingan kompresi yang dapat diukur dari sekitar 4:1 sampai dengan 14:1. Terdapat dua metode dasar yang umum digunakan yaitu *research method* menggunakan mesin motor CFR F-1, yang hasilnya disebut dengan *Research Octane Number* (RON) dan *motor method* yang menggunakan mesin motor CFR F-2 dimana hasilnya disebut dengan *Motor*

Octane Number (MON). *Research method* menghasilkan gejala ketukan lebih rendah dibandingkan motor *research*.

Besar angka oktan bahan bakar tergantung pada presentase *iso-oktana* (C_7H_{18}) dan normal *heptana* (C_7H_{16}) yang terkandung di dalamnya. Sebagai pembanding, bahan bakar yang sangat mudah berdenotasi adalah normal *heptana* (C_7H_{16}) sedang yang sukar berdenotasi adalah *iso-oktana* (C_7H_{18}).

Bensin yang cenderung kearah sifat normal *heptana* disebut bensin dengan nilai oktan rendah (angka oktan rendah) karena mudah berdenotasi, sebaliknya bahan bakar yang lebih cenderung kearah sifat *iso-oktana* dikatakan bensin dengan nilai oktan tinggi atau lebih sukar berdenotasi. Misalnya suatu bensin mempunyai angka oktan 90 akan lebih sukar berdenotasi daripada bensin beroktan 70. Jadi kecenderungan bensin untuk berdenotasi dinilai dari angka oktannya. *Iso-oktana* murni diberi indeks 100, sedangkan normal heptana murni diberi indeks 0. Dengan demikian jika suatu bensin memiliki angka oktan 90 berarti bensin tersebut cenderung berdenotasi sama dengan campuran yang terdiri atas 90% volume *iso-oktana* dan 10% volume normal *heptana*. Nilai oktan yang harus dimiliki oleh bahan bakar ditampilkan dalam tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Nilai Oktan Gasolin Indonesia

No	Jenis	Angka Oktan Minimum
1	Premium 88	88 RON
2	Pertamax	94 RON
3	Pertamax Plus	95 RON
4	LPG	100 RON

(sumber : www.pertamina.com)

2.4.4.3 Kestabilan kimia dan kebersihan bahan bakar

Kestabilan kimia bahan bakar sangat penting, karena berkaitan dengan kebersihan bahan bakar yang selanjutnya berpengaruh terhadap sistem pembakaran dan sistem saluran. Pada temperatur tinggi, sering terjadi polimer yang berupa endapan-endapan *gum* (getah), hal ini menyebabkan pengaruh kurang baik terhadap sistem saluran bahan bakar.

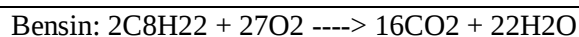
Bahan bakar yang mengalami perubahan kimia, menyebabkan gangguan pada proses pembakaran. Pada bahan bakar juga sering terdapat saluran/senyawa yang menyebabkan korosi, senyawa ini antara lain: senyawa belerang, nitrogen, oksigen, dan lain-lain, kandungan tersebut pada gas solin harus diperkecil untuk mengurangi korosi, korosi dari senyawa tersebut dapat terjadi pada dinding silinder, katup, busi, dan lainnya, hal inilah yang menyebabkan awal kerusakan pada mesin.

2.5 Persamaan Karakteristik Antara Bensin dan LPG

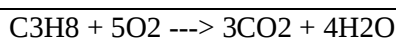
Bahan bakar gas (BBG) diperoleh dari pengolahan gas bumi melalui destilasi bertekanan tinggi. Kemudian diproses kembali dalam proses cyorganik (suhu rendah dan tekanan tinggi), sehingga masing-masing menjadi 3 BBG. Liquefied natural gas (LNG), liquefied petroleum gas (LPG) dan compressed natural gas (CNG).

LPG mempunyai perbandingan atom C dan H yang lebih mendekati bensin dari pada metana. Bahan utama LPG hampir 99% adalah propane (C_3H_8) dan butane (C_4H_{10}) dan tersimpan dalam kondisi cair pada temperatur sekitar (lingkungan) pada tekanan (0,7-0,8 Mpa atau 7-8 bar).

LPG juga dapat dimasukkan ke dalam mesin melalui karburator atau sistem penyemprotan secara elektronik. Karena LPG sudah bertekanan untuk menyalurkan ke dalam ruang bakar mesin tidak memerlukan pompa, dan secara empiris, LPG sangat mendekati bensin (Wiranto: Teori motor bakar, 2008)



Dari reaksi diatas, bensin membutuhkan 27 oksigen dan secara empiris kesetaraan reaksi LPG juga dapat dilihat :



LPG hanya membutuhkan 5 oksigen dan memiliki bilangan angka oktan lebih tinggi dari bensin, yaitu sekitar 100 RON, sangat cocok dengan mesin kompresi tinggi (literatur John Robinson). Namun AFR (*Air Fuel Ratio*) yang

diperlukan untuk menghasilkan tenaga sangat miskin. Angka AFR (*stoichiometric*) untuk LPG adalah 15,5 : 1 sedangkan bensin adalah 14,7 : 1.

2.6 Parameter unjuk kerja mesin 4 langkah

Unjuk kerja adalah indikasi dari derajat keberhasilan dari masing-masing parameter yang diukur dalam suatu pengujian. Dalam pengujian unjuk kerja terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan sebagai parameter, diantaranya yaitu daya, torsi, tekanan efektif rata-rata, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi termal, dan rasio udara bahan bakar AFR (*air fuel ratio*)

1. Daya Mesin

Adapun rumus untuk menghitung daya adalah:

$$P = V.I$$

..... (2, Sularso, 2009: hal . 47)

Keterangan:

P = Daya transmisi (Watt)

v = Tegangan (Volt)

I = Arus Ampere (A)

2. Torsi Mesin

Torsi merupakan ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja. Jadi torsi adalah energi. Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya. Adapun perumusan dari torsi adalah sebagai berikut. Apabila suatu benda berputar dan mempunyai besar gaya sentrifugal sebesar F, benda berputar pada porosnya dengan jari-jari sebesar r, maka besar torsi menurut (1, Sularso, 2009: hal. 47) adalah:

$$P = \frac{2\pi n}{60} T$$

$$T = \frac{60 P}{2 \pi n}$$

Keterangan:

- T = Torsi (N.m)
 P = Beban (Watt)
 n = Putaran mesin(Rpm)

Karena adanya torsi inilah yang menyebabkan benda berputar terhadap porosnya dan benda akan berhenti apabila ada usaha melawan torsi dengan besar yang sama dan arah yang berlawanan.

3. Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (Bfsc)

Pemakaian bahan bakar spesifik adalah perbandingan banyaknya pemakaian bahan bakar setiap am tiap daya yang dihasilkan. Harga pemakaian bahan bakar spesifik yang makin kecil/rendah menunjukkan efisiensi yang main tinggi. Besar pemakaian bahan bakar spesifik menurut (7, Budi H. W, 2012: hal. 1) dihitung dengan rumus :

$$Bsfc = \frac{Gf}{P}$$

Keterangan:

- Bsfc = besar pemakaian bahan bakar (kg/Watt.j am)
 Gf = pemakaian bahan bakar (kg/j am)
 P = daya poros (Watt)

Untuk menghitung jumlah pemakaian bahan bakar secara teoritis menurut (8, Budi H. W, 2012: hal.1) terlebih dahulu dihitung:

- Jumlah udara untuk pembakaran (G_u)
- Perbandingan udara dan bahan bakar (Air Fuel Ratio = AFR)

$$G_u = \frac{P_d \times V_s}{Z \times R \times T_d}$$

Keterangan:

P_d = tekanan udara masuk (N/m^2)

V_s = volume piston (m^3)

Z = faktor kompresibilitas ($0,87 \div 1$)

R = konstanta udara ($8.314472 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$)

T_d = temperatur udara masuk silinder ($^{\circ}\text{C}$)

Perbandingan udara dan bahan bakar (Air Fuel Ratio = AFR) secara teoritis dapat dihitung dengan rumus pendekatan yaitu:

$$AFR = \frac{e (20-40\%)}{n \times m}$$

Keterangan:

AFR = *air fuel ratio*

e = udara lebih (20 -40%)

n, m = jumlah atom karbon dan hidrogen yang terkandung dalam bahan bakar pemakaian bahan bakar secara teoritis dihitung dengan rumus:

$$G_f = \frac{AFR \times G_u}{N} \times Z \times 60$$

Keterangan:

G_u = jumlah udara untuk pembakaran

G_f = pemakaian bahan bakar (kg/jam)

AFR = *Air Fuel Ratio*

N = jumlah putaran (rpm)

Z = 4 tak $Z = 2$

indeks siklus $\rightarrow 2$ tak $Z = 1$

I = jumlah silinder