

**ANALISIS UNJUK KERJA MOTOR BENSIN DENGAN MENGGUNAKAN
BAHAN BAKAR PERTAMAX DAN GAS HHO SEBAGAI ADITIF**

*ANALYSIS ON FUEL ENGINE PERFORMANCE USING PERTAMAX
FUEL OIL AND HHO'S GAS AS ADDITIVE*

HARMAN



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2013

**ANALISIS UNJUK KERJA MOTOR BENSIN DENGAN
MENGUNAKAN BAHAN BAKAR PERTAMAX DAN GAS HHO
SEBAGAI ADITIF**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Mesin

Disusun dan diajukan oleh

HARMAN

kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2013

TESIS

ANALISIS UNJUK KERJA MOTOR BENSIN DENGAN MENGUNAKAN BAHAN BAKAR PERTAMAX DAN GAS HHO SEBAGAI ADITIF

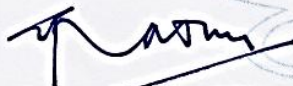
Disusun dan diajukan oleh

HARMAN
Nomor Pokok P2201211401

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 28 Oktober 2013
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasehat,



Prof. Dr. Ir. Duma Hasan, DEA
Ketua



Prof. Dr. Ir. Effendy Arif, ME
Anggota

Ketua Program Studi
Teknik Mesin,



Rafiuddin Syam, ST., M.Eng., Ph.D

Direktur Program Pascasarjana
Universitas Hasanuddin,



Prof. Dr. Ir. Mursalim, M.Sc.

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Harman

Nomor mahasiswa : P2201211401

Program studi : Magister Teknik Mesin

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 28 Oktober 2013

Yang menyatakan



Harman

PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan kehadiran ALLAH SWT, oleh karena atas berkah, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

Penelitian yang berjudul “*Analisis Unjuk Kerja Motor Bensin Dengan Menggunakan Bahan Bakar Pertamina dan Gas HHO Sebagai Additive*” ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam rangka menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar magister pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin.

Pada kesempatan ini penghargaan dan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada orang tua penulis, serta istri Penulis yang tercinta, Irna Ariyani SE. Terima kasih atas doa, dorongan semangat, dan sumber inspirasinya, sehingga Penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.

Penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah meluangkan waktu dan pikirannya guna memberikan bimbingan dan petunjuk, terutama kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Duma Hasan, DEA, selaku Pembimbing I
2. Prof. Dr. Ir. Effendy Arif, ME, selaku Pembimbing II

3. Rafiuddin Syam, ST, M. Eng, Ph.D, selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin
4. Ir. Amrullah, MT selaku kepala Laboratorium Prestasi mesin Universitas Muslim Indonesia
5. Mastam Maharding, ST,MPd selaku Direktur Akademi Teknik Soroako
6. Kepada seluruh teman-teman Pascasarjana Teknik Mesin 2011 atas bantuan dan doa selama melaksanakan penelitian.

Semoga Penelitian ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan oleh karena itu, masukan dan kritikan sekalian kiranya dapat membantu pengembangan penelitian ini selanjutnya

Makassar, Oktober 2013

Penulis

ABSTRAK

HARMAN. *Analisis Unjuk Kerja Motor Bensin dengan Menggunakan Bahan Bakar Pertamaks dan Gas HHO sebagai Aditif (dibimbing oleh Duma Hasan dan Effendi Arif).*

Penelitian ini bertujuan mengetahui (1) kinerja generator HHO dengan bervariasi arus masuk, dan (2) perbandingan unjuk kerja dan emisi gas buang yang dihasilkan oleh motor bensin yang berbahan bakar pertamaks ditambah dengan gas HHO dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar pertamaks murni.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Prestasi Mesin Jurusan Teknik Mesin Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan. Mesin uji yang digunakan adalah mesin empat langkah 195 cc tipe Enduro XL dan generator HHO yang digunakan adalah generator HHO buatan sendiri tipe sel basah dengan elektrode berbahan *stainless steel*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa generator HHO mampu menghasilkan gas HHO sebesar 0,13 L/menit pada arus 8A, sedangkan prestasi mesin dengan pengujian menggunakan bahan bakar pertamaks dan gas HHO yang diperoleh dari generator HHO dengan konsumsi daya *battery* sebesar 96 watt, lebih baik jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari pengujian dengan hanya menggunakan bahan bakar pertamaks. Daya efektif (Ne) lebih tinggi 95,7%, pemakaian bahan bakar spesifik lebih rendah 54,5%, dan efisiensi thermal lebih besar 144,7%. Emisi gas buang (HC dan CO) yang dihasilkan dari mesin yang ditambahkan dengan gas HHO lebih baik dibandingkan dengan emisi gas buang yang dihasilkan dari mesin yang hanya menggunakan pertamaks. Untuk HC, lebih rendah 37,15% dan CO lebih rendah 17,38%.

Kata kunci: gas, HHO, pertamaks, unjuk kerja, emisi gas buang, motor bensin



ABSTRACT

HARMAN. *Analysis on Fuel Engine Performance Using Pertamina Fuel Oil and HHO's Gas as Additive* (supervised by Duma Hasan and Effendi Arif).

The research aimed at investigating: (1) the HHO's generator performance by varying the inflowing current, (2) the engine performance and the exhausted gas emission generated by the fuel engine having the Pertamina fuel which was added with the HHO's gas compared with the one using the pure Pertamina fuel.

The research used the experimental method conducted in the Engine Achievement Testing Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Indonesian Muslim University, Makassar City, South Sulawesi Province. The testing machine used was a 4 stroke engine type 195cc Enduro XL and the HHO's generator used was a wet cell type homemade HHO's generator with the electrode having the *Stainless Steel* material.

The research result indicates that the HHO's generator can generate HHO's gas as much as 0.13L/minute on the 8A current. Whereas the engine achievement with the testing using the Pertamina fuel and HHO's gas obtained from the HHO's generator with the *battery* power consumption of 96 watt is better than the result obtained on the testing which only uses the Pertamina fuel. The effective power (N_e) is higher 95.7%, the use of the specific fuel is lower 54.5%, the thermal efficiency is greater 144.7%. The exhausted gas emission (HC and CO) produced in the machine that is added with the HHO's gas is better than the exhausted gas emission produced in the machine which only uses the Pertamina. HC is lower 37.15% and CO is lower 17.38%.

Key-words: Gas, HHO, Pertamina, performance, exhausted gas emission, fuel engine.



DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Batasan Masalah	4
E. Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Bahan Bakar	6
1. Syarat-Syarat Bahan Bakar Untuk Motor Bensin	7
2. Pertamina Dan Pertamina Plus	9
3. Hidrogen	11
4. Hidrogen Dari Proses Elektrolisa	13
5. Parameter Performa Generator HHO	17
B. Gambaran Umum Motor Bakar	21
1. Klasifikasi Motor Bakar	22
2. Siklus Termodinamika	25
3. Prinsip Kerja Motor Bakar 4 Langkah	27
4. Proses Pembakaran	29
C. Parameter Pestaasi Mesin	36
III. METODE PENELITIAN	
A. Tempat Penelitian	42
B. Waktu Penelitian	42
C. Pelaksanaan Penelitian	42
1. Pra eksperimen	42
2. Eksperimen dan Pengambilan data	53
D. Diagram Alir	56
IV. PERHITUNGAN DAN ANALISIS	
A. Perhitungan dan Analisis Performa Generator HHO	58
1. Perhitungan Performa Generator HHO	58
2. Analisis Performa Generator HHO	60
B. Perhitungan dan Analisis Unjuk Kerja Motor Bensin	61
1. Perhitungan Unjuk Kerja	61

1.1.	Perhitungan pada Pengujian Standar	63
1.2.	Perhitungan pada Pengujian dengan menggunakan Generator HHO.....	68
2.	Analisis Grafik Unjuk Kerja	73
a.	Analisis Daya Efektif.....	73
b.	Anailisis SFC	76
c.	Analisis Efisiensi Termis.....	78
3.	Analisi Emisi Gas Buang	80
a.	Kandungan HC pada Gas Buang	80
b.	Kandungan CO pada Gas Buang.....	83
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	
A.	Kesimpulan	86
B.	Saran-saran	87
	Daftar Pustaka.....	89
	Lampiran.....	91

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1. Angka Oktan Bensin Pertamina.....	9
2. Karakteristik Pertamax	10
3. Perbandingan Nilai Kalor Beberapa Jenis Bahan Bakar	13
4. Perbandingan Nilai Oktan Beberapa Jenis Bahan Bakar	13

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1. Sumber Perolehan Hidrogen.....	12
2. Proses Elektrolisa Air	14
3. Tampilan <i>HHO Calculator</i>	15
4. Siklus Otto.....	26
5. Proses Kerja Torak	28
6. Grafik Tingkat Pembakaran.....	30
7. Grafik Pembakaran Normal.....	33
8. Prose Terjadinya Detonasi	35
9. Grafik Swiss Contact.....	39
10. Hasil Kalkulasi Produksi gas <i>HHO</i>	43
11. Instalasi Generator HHO	45
12. ACCU.....	45
13. <i>Battery Charger</i>	46
14. Regulator Arus	46
15. <i>Flow Meter</i>	47
16. <i>Thermocouple</i>	47
17. Gelas Ukur	48
18. Timbangan Digital	48
19. Mesin <i>Enduro XL</i>	50
20. Papan Instrumen Pengukuran.....	51
21. Alat Uji Emisi Gas Buang untuk MotornBensin	52
22. Instalasi Generator HHO pada Mesin	52
23. Produksi HHO vs Arus	60
24. Performa Generator HHO vs Arus	61
25. Grafik Daya vs Putaran pada berbagai pembebanan	74
26. Grafik SFC vs Beban Pada berbagai Putaran.....	76
27. Grafik Efisiensi Thermal vs Beban pada variasi Putaran.....	79
28. Grafik HC vsPutaran pada berbagai pembebanan.....	82
29. Grafik CO vs Putaran pada berbagai pembebanan	84

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Halaman
1.	Skema Pemasangan Alat Uji..... 91
2.	A. Gambar Detail Generator <i>Oxyhydrogen</i> 92
	B. Gambar Detail Kotak Elektrolizer 93
	C. Gambar Detail Sel Elektrolisis 94
	D. Gambar Detail Penyimpan Gas 95
3.	A. Tabel Data Pengamatan Pengujian Standar..... 96
	B. Tabel Data Pengamatan Pengujian Pertamina+HHO 6A 97
	C. Tabel Data Pengamatan Pengujian Pertamina +HHO 8A, 10A dan 12A 98
4.	A. Tabel Hasil Perhitungan Pada Pengujian Standar 100
	B. Tabel Hasil Perhitungan Pengujian Pertamina+HHO 6A 101
	C. Tabel Hasil Perhitungan Pengujian Pertamina+HHO 8A 102
	D. Tabel Hasil Perhitungan Pengujian Pertamina+HHO 10A 103
	E. Tabel Hasil Perhitungan Pengujian Pertamina+HHO 12A 104
5.	A. Grafik Hubungan antara Torsi dengan Putaran 105
	B. Grafik Hubungan antara Daya Efektif dengan Putaran..... 106
	C. Grafik Hubungan antara Konsumsi bahan bakar dengan Putaran..... 107
	D. Grafik Hubungan antara Konsumsi bahan bakar spesifik dengan Putaran..... 108
	E. Grafik Hubungan antara Efisiensi Termis dengan Putaran ... 109
	F. Grafik Hubungan antara Emisi Gas Buang CO dengan Putaran 110
	G. Grafik Hubungan antara Emisi Gas Buang HC dengan Putaran..... 111
	H. Grafik <i>Swisscontact</i> 112
6.	Diagram Manometer reading..... 113
7.	Tabel Sifat-sifat Udara..... 114
8.	Surat Ijin Penelitian 115
9.	Surat Ijin Peminjaman Alat 116
10.	Foto-foto Kegiatan..... 117

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dengan meningkatnya inovasi teknologi transportasi yang demikian pesat, maka kebutuhan akan bahan bakar minyak dan atau gas menjadi suatu kebutuhan yang harus dipenuhi oleh pemerintah dalam rangka stabilitas yang berkaitan dengan perekonomian masyarakat. Energi Baru dan Energi Baru Terbarukan terus diupayakan oleh Pemerintah guna mengatasi kebutuhan diatas dengan mensosialisasikan penggunaan energi yang hemat dan ramah lingkungan.

Sementara itu harga minyak bumi dunia yang terus meningkat dan diikuti dengan meningkatnya kebutuhan bahan bakar fosil serta isu lingkungan global yang menuntut tingkat kualitas lingkungan yang lebih baik, mendorong pemerintah diharuskan mengambil kebijakan baik jangka pendek, menengah maupun jangka panjang. Saat ini pemerintah masih memberikan subsidi BBM hingga 10% dari APBN. Angka ini tergolong sangat besar karena nilainya kurang lebih 137 trilyun rupiah (Wartowardoyo, 2012), terlebih lagi ditengarai banyak dinikmati oleh golongan menengah ke atas. Dalam jangka pendek Pemerintah berencana melakukan pembatasan BBM subsidi yaitu bagi pemilik kendaraan yang berkapasitas 1500 CC ke atas diharuskan menggunakan BBM nonsubsidi yang salah satunya adalah Pertamina

dan dalam jangka panjang Pemerintah akan mencabut sepenuhnya subsidi BBM. Sehingga jika harga Premium sudah sama dengan harga Pertamina, maka dibanding menggunakan Premium (nilai oktan 87) lebih baik menggunakan Pertamina (nilai oktan 92). Rencana ini membuat berbagai kalangan risau karena dikuatirkan akan berdampak pada kenaikan harga-harga kebutuhan pokok di pasaran akibat adanya spekulasi pengusaha. Namun cepat atau lambat program tersebut akan terlaksana dan mau tidak mau, suka tidak suka harus dimulai untuk menuju era dimana semua harus menggunakan energi terbarukan (Winarno, 2011).

Meskipun pada saat ini telah mulai dikembangkan mobil listrik sebagai kendaraan yang paling ramah lingkungan namun permasalahan mengenai baterai penyimpan yang tahan lama belum bisa teratasi serta waktu yang dibutuhkan untuk melakukan *recharge* masih cukup lama sehingga menjadi hambatan. Demikian halnya dengan konversi ke BBG yang masih terkendala dengan infrastruktur. Sehingga sampai saat ini pilihan pada bahan bakar minyak masih lebih tinggi.

Guna mengatasi hal diatas, salah satu solusinya yaitu memanfaatkan adanya energi listrik yang tersimpan didalam gas HHO (Oxyhydrogen) yang juga berasal dari air (H_2O) yang kini dapat digunakan energinya melalui proses Elektrolisa (Emmanuel dkk). Perlu diketahui bahwa proses seperti ini adalah proses secara konvensional dan pernah dikomersialkan 80 tahun lalu, jadi bukan merupakan proses

baru lagi, tetapi sekarang pengembangannya lebih bervariasi mulai dari bahan, proses, design untuk alat tertentu dan modifikasi-modifikasi teknis untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal, maka hal ini dapat dilakukan lebih nyata melalui perolehan data akurat hasil penelitian teknis.

Beberapa penelitian serupa telah dilakukan sebelumnya diantaranya:

- Dhika Ramdhanny Putra (2010) melakukan studi experimental pengaruh gas HHO pada prestasi mesin diesel dengan bahan bakar utama MDO (Marine diesel oil) di Laboratorium Teknik Perkapalan – ITS. Pada penelitian tersebut hasilnya adalah pada putaran 2200 rpm diperoleh penghematan MDO sebesar 5,21%.
- Muhammad Iskandar Musa (2010) Melakukan pengujian Kinerja mesin berbahan bakar Premium Pada mesin ENDURO XL dan setelah ditambahkan generator HHO dengan arus 5A diperoleh peningkatan daya sebesar 27.02% dan penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 27.70%
- Ir. Ajat Sudrajat,MT (2011) salah seorang dosen UNAS-Jakarta juga telah menemukan alat penghemat kendaraan bermotor bernama EcoPowerBosster (EPB). Dan setelah diuji langsung pada motor bensin (Premium+HHO) ditengarai dapat menghemat BBM sebesar 40%.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka penelitian ini dilakukan dalam bentuk uji laboratorium yang dititik beratkan pada :

1. Bagaimana mengubah air menjadi gas HHO yang akan digunakan sebagai additiv bahan bakar Pertamina
2. Bagaimana pengaruh laju aliran gas HHO terhadap kinerja mesin pada putaran serta beban yang bervariasi
3. Bagaimana komposisi emisi gas buang hasil pembakaran

C. Tujuan penelitian

1. Membuat alat proses elektrolisa air sederhana untuk menghasilkan gas HHO dari H₂O
2. Mengetahui kinerja mesin dengan menggunakan bahan bakar Pertamina dan gas HHO sebagai additiv serta membandingkannya jika tanpa menggunakan additiv pada putaran dan beban yang bervariasi
3. Mengetahui komposisi emisi gas buang hasil pembakaran

D. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini peneliti membatasi masalah yang akan diteliti yaitu :

1. Mesin yang digunakan adalah mesin ENDURO berkapasitas 195 cc type XL (spesifikasi terlampir)

2. Analisis dilakukan terhadap hasil uji laboratorium motor bakar bensin dengan menggunakan Pertamax produksi Pertamina dan gas HHO hasil elektrolisis
3. Analisis dilakukan pada putaran mesin 1200 rpm, 1600 rpm, ,2000 rpm, 2500 rpm dan 30000 rpm serta pada beban pengereman 3 kg dan 4 kg
4. Variasi laju aliran gas HHO diperoleh dengan bervariasi arus yang digunakan pada generator elektrolisis yaitu 6 A, 8 A, 10 A dan 12 A

E. Manfaat penelitian

1. Bagi kalangan masyarakat dan pemerintah
Selain dalam menyiasati kenaikan harga BBM dari pemerintah, juga diharapkan dapat menurunkan konsumsi BBM pada kendaraan bermotor sebagai bagian dari program penghematan Nasional
2. Bagi kalangan akademisi
menjadi referensi bagi kalangan mahasiswa dan dosen khususnya menjadi perbandingan dalam melakukan penelitian-penelitian yang berkaitan dengan Teknologi energi terbarukan untuk bahan bakar

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. 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 :

- a. Bahan bakar
- b. Udara
- c. Suhu untuk memulai pembakaran (Reaksi kimia)

Panas atau kalor yang timbul karena pembakaran bahan bakar tersebut disebut hasil pembakaran.

Terdapat 3 (tiga) jenis bahan bakar, yaitu :

1. Bahan bakar padat
2. Bahan bakar cair
3. Bahan bakar gas

Akan tetapi semua jenis bahan bakar tersebut akan terbakar setelah berada pada fase gas (Sudrajat, 2011).

Kriteria utama yang harus dipenuhi bahan bakar yang akan digunakan dalam motor bakar adalah sebagai berikut (Arismunandar, 1988):

- 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 pembakaran karena akan menyebabkan kerusakan pada dinding silinder.
- c. Gas sisa pembakaran harus tidak berbahaya pada saat dilepas ke atmosfer.

1. Syarat-Syarat Bahan Bakar Untuk Motor Bakar Bensin

a. 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.

b. 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* (C₇H₁₈) dan normal *heptana* (C₇H₁₆) yang terkandung didalamnya. Sebagai pembanding, bahan bakar yang sangat mudah berdenotasi adalah normal *heptana* (C₇H₁₆) sedang yang sukar berdenotasi adalah *iso-oktana* (C₇H₁₈).

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 berikut :

Tabel 1. Angka Oktan Bensin PERTAMINA

No	Jenis	Angka Oktan Minimum
1	Premium 88	88 RON
2	Pertamax	94 RON
3	Pertamax Plus	95 RON
4	Bensol	98 RON

(sumber : www.pertamina.com)

2. Pertamax dan Pertamax plus

Bahan bakar minyak merupakan suatu senyawa organik yang dibutuhkan dalam suatu pembakaran dengan tujuan untuk mendapatkan energi yang diperoleh dari hasil distilasi minyak bumi menjadi fraksi-fraksi yang digunakan.

Bensin merupakan salah satu jenis yang umum digunakan untuk mesin dengan pembakaran dan pengapian. Di Indonesia terdapat beberapa jenis bahan bakar bensin yang memiliki nilai mutu

pembakaran yang berbeda. Nilai mutu ini dihitung berdasarkan nilai RON (*Research Octane Number*). Berdasarkan RON maka bahan bakar bensin dibedakan menjadi beberapa jenis yang diproduksi PERTAMINA yaitu Premium, Pertamax dan Pertamax plus.

Dari sisi sifat fisika atau properties bahan baku Pertamax dan Pertamax Plus memiliki stabilitas oksidasi yang lebih tinggi dari destilasi atau titik didih yang lebih rendah. Kemudian kandungan olefin, aromatik dan benzenenya telah dibatasi. Hasilnya, bahan baku Pertamax pembakarannya lebih sempurna. Dan untuk memenuhi kebutuhan dan perkembangan teknologi otomotif, angka oktanpun disesuaikan, Pertamax memiliki oktan RON (Research Octane Number) 92 dan Pertamax Plus memiliki oktan RON 95. Keunggulan lainnya, Pertamax dan Pertamax Plus dilengkapi dengan aditif generasi 5 atau aditif generasi terakhir. Aditif yang berfungsi menyempurnakan proses kimia pada pembakaran didalam mesin ini telah memperoleh sertifikasi dan laboratorium independen berstandar international di Houston, Texas Amerika Serikat. Houston Texas sudah lama dikenal sebagai pusat riset bahan bakar dan motorgas dunia.

Tabel 2. Karakteristik Pertamax (Sumber: www.power-maker.com)

No	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min	Maks
1	Angka Oktan Riset	RON	91,0	
2	Stabilitas oksidasi (Periode induksi)	Menit	480	-
3	Kandungan belerang	% m/m	-	0,05
4	Kandungan timbal	gr/liter	-	0,015

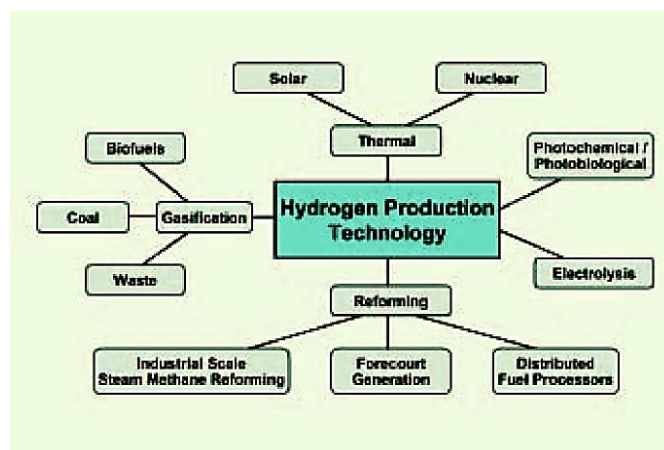
5	Kandungan fosfor	mg/liter	-	-
6	Kandungan logam (Mn, Fe, dll)	mg/liter	-	-
7	Kandungan silikon	mg/kg	-	1
8	Kandungan oksigen	% m/m	-	2,7
9	Kandungan olefin	% v/v		20,0
10	Kandungan Aromatik	% v/v		50,0
11	Kandungan Benzena	% v/v		5,0
12	Distilasi			
	10% vol. penguapan	°C		70
	50% vol. penguapan	°C		110
	90% vol. penguapan	°C		180
	Titik didih akhir	°C		215
13	Sediman	mg/liter		f
14	Unwashed Gum	mg/100ml		70
15	Washed Gum	mg/100ml		5
16	Tekanan uap	kPa	45	60
17	Berat jenis (pada suhu 15°C)	kg/m ³	715	770
18	Korosi bilah tembaga	Menit	kelas 1	
19	Uji Doctor		negatif	
20	Belerang mercaptan	% massa	-	0,002
21	Penampilan visual		Jernih dan terang	
22	Warna		Biru	
23	Kandungan pewarna	g/100	-	0,13
24	Nilai bahan bakar (LHV)	kkal/kg	10473	

3. Hidrogen

Berawal dari penemuan seorang Ilmuan Perancis bernama Jules Verne 1830 ketika meng-elektrolisa Air murni (*Aquades atau Air-distilasi*), ternyata menghasilkan gas H₂ dan gas O₂. Gas H₂ yang dihasilkan mempunyai sifat mirip dengan bahan bakar bensin, alkohol, solar (*diesel*) atau bahan bakar sejenisnya. Karakteristik H₂ tersebut mudah terbakar (*flammable*) pada suhu ruangan (*room temperature*) dan tahan tekanan (*compressible*).

Di akhir tahun 1970-an, di Amerika diramaikan penggunaan H₂ dicampurkan dengan bahan bakar pada kendaraan bermotor, yang menunjukkan hasilnya cukup baik dalam penghematan bahan bakar (*efficient*) dan menambah tenaga mesin (*engine power*) serta mengurangi emisi gas buang (*less emission*), saat itu masalah yang masih harus diatasi adalah hasil elektrolisa gas H₂ belum maksimal.

Dari sisi produksi, selama ini produksi hidrogen lebih mengandalkan proses berbahan baku gas alam atau bahan bakar fosil lain. Diperkirakan 95% produksi hydrogen diperoleh melalui proses *steam reforming* gas alam dan bahan bakar fosil. Isu lingkungan global dan semakin menipisnya cadangan bahan bakar fosil mendorong berbagai litbang produksi hidrogen dengan bahan baku air. Produksi hidrogen berbahan baku air menguntungkan dari segi lingkungan dan ketersediaan bahan baku yang melimpah. Sampai saat ini, elektrolisis merupakan satu-satunya proses produksi hidrogen dari air yang sudah komersial.

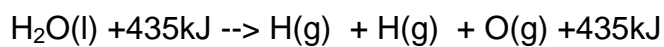


Gambar 1. Sumber perolehan Hydrogen

4. Hidrogen dari proses elektrolisa

Oxyhydrogen (HHO) adalah campuran gas H₂ (Hydrogen) dan gas O₂ (Oxygen) dalam perbandingan 1:2 umumnya yang dihasilkan dari proses elektrolisa. Elektrolisa adalah proses pemecahan molekul H₂O (air) menjadi H₂ dan O₂ dengan pengaruh energi listrik. Oxyhydrogen mempunyai energi yang tinggi apabila terbakar hingga mencapai 3 kali lipat energi bahan bakar premium per satuan berat.

Persamaan reaksi :



Perbandingan energi dapat dilihat dari tabel berikut (Sunnyoto, 2011):

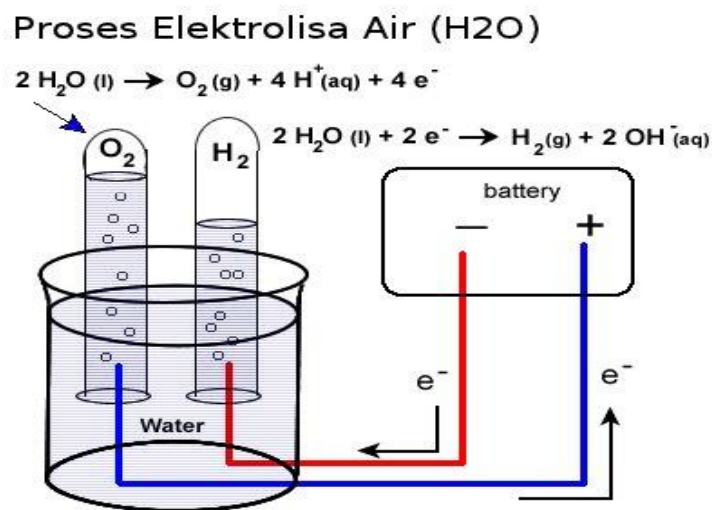
Tabel 3. Perbandingan nilai kalor beberapa jenis bahan bakar

Fuel	Higher Heating Value (at 25 °C and 1 atm)	Lower Heating Value (at 25 °C and 1 atm)
Hydrogen	61,000 Btu/lb (141.86 kJ/g)	51,500 Btu/lb (119.93 kJ/g)
Methane	24,000 Btu/lb (55.53 kJ/g)	21,500 Btu/lb (50.02 kJ/g)
Propane	21,650 Btu/lb (50.36 kJ/g)	19,600 Btu/lb (45.6 kJ/g)
Gasoline	20,360 Btu/lb (47.5 kJ/g)	19,000 Btu/lb (44.5 kJ/g)
Diesel	19,240 Btu/lb (44.8 kJ/g)	18,250 Btu/lb (42.5 kJ/g)
Methanol	8,580 Btu/lb (19.96 kJ/g)	7,760 Btu/lb (18.05 kJ/g)

Tabel 4. Perbandingan nilai oktan beberapa jenis bahan bakar

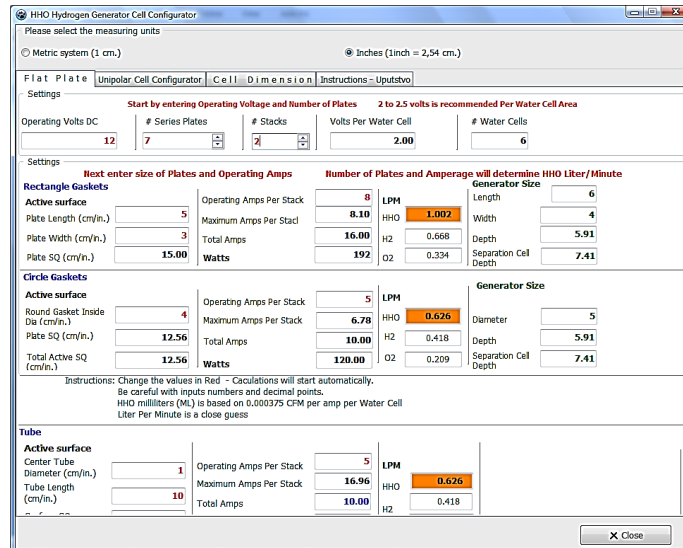
Fuel	Octane Number
Hydrogen	130+ (lean burn)
Methane	125
Propane	105
Octane	100
Gasoline	87
Diesel	30

Pada prinsipnya, hidrogen bisa diperoleh dengan memecah senyawa yang paling banyak mengandung unsur hidrogen. Sampai saat ini, produksi hidrogen skala komersial yang paling maju adalah produksi hidrogen berbasis bahan bakar fosil dan air. Untuk produksi hidrogen dengan bahan baku bahan bakar fosil, *steam reforming* metana merupakan proses yang paling maju di dunia. Lebih dari 85% kebutuhan hidrogen dunia dipasok dengan sistem produksi *steam reforming* metana. Produksi hidrogen dengan bahan baku air yang sudah komersial adalah proses elektrolisis. Sayangnya, karena proses elektrolisis membutuhkan listrik dalam jumlah besar sebagai pemicu terjadinya reaksi, sehingga proses ini memberikan efisiensi termal total yang relatif rendah. Proses elektrolisis hanya bisa ekonomis jika tersedia listrik dalam jumlah besar dengan harga murah



Gambar 2. Proses elektrolisa air

Dengan menggunakan program *HHO calculator* yang di publikasikan David Biggs dalam website: www.hho4free.com diperoleh informasi dalam menentukan konfigurasi sel serta besar produksi gas yang diinginkan.



Gambar 3 Tampilan *HHO Calculator*

Dasar dari perhitungan diatas bahwa dari hukum Faraday, satu ampere arus selama satu jam akan menghasilkan 0,0147 meter kubik hydrogen. Ini setara dengan, $\text{amp} \times 0,000245 = \text{hidrogen CFM}$, dan $\text{amp} \times 0,0001229 = \text{oksigen CFM}$. Satuan yang gunakan untuk sel HHO ini adalah LPM (liter per menit). Untuk mengkonversi CFM gas ke LPM kalikan dengan 28,3.

Setiap aliran elektron menghasilkan panas dan dalam hal ini panas harus dibatasi. Setiap inci persegi dari permukaan pelat, di satu sisi pelat, efisien melewati 0,54 ampere arus listrik (densitas Arus). Arus yang lebih tinggi, per inci persegi, meningkatkan produksi HHO, tetapi juga menyebabkan panas yang berlebihan. Perlu ada luas permukaan

yang cukup untuk menangani arus yang akan digunakan. Ini merupakan faktor utama dalam efisiensi sel. Ukuran pelat tidak meningkatkan produksi HHO, tapi menetapkan densitas arus maksimum yang efisien (operasi ampere maksimum). Jika luas permukaan yang cukup tidak tersedia untuk menangani arus listrik yang melintasi pelat, aliran elektron akan menumpuk di perlintasan air terdekat dan daerah itu akan panas. Elektron perlu ruang yang cukup untuk bergerak bebas di seluruh pelat, agar panas tidak berlebih. Jumlah gas HHO yang dihasilkan adalah dalam proporsi langsung dengan jumlah daya yang digunakan, ($\text{Volts} \times \text{Amps} = \text{Daya dalam Watts}$). Dengan demikian, luas permukaan yang lebih besar akan meningkatkan densitas arus maksimum (atau optimal) dari operasi ampere yang akan digunakan.

Jumlah Stacks merupakan hal yang sangat penting. Jumlah ini menyebabkan beberapa total ampere yang terpakai. Konfigurasi sel dapat berupa $+--++$ atau $+nn-nn+nn-$. Jumlah stack masing-masing adalah 3 tetapi jumlah pelat yang berbeda. Tujuan pelat netral sebenarnya adalah untuk menurunkan panas yang berlebih.

Ada banyak parameter yang terlibat ketika merancang sel, jumlah gas yang diinginkan, ketersediaan arus, dan ruang yang diperlukan untuk pemasangan. Ketika merancang untuk kebutuhan ruang, perlu dipertimbangkan berapa besar arus akan melewati setiap lempengan pelat. Panas dibangkitkan dari hasil kombinasi tegangan dan arus.

Tegangan dapat dikontrol dengan jumlah pelat yang digunakan dalam setiap sel. Arus dapat dikontrol melalui sarana eksternal dengan menggunakan catu daya. Untuk efektifitas produksi gas HHO, maka tegangan setiap sel sebaiknya antara 2 volt sampai 2.5 volt. [David Biggs]

5. Parameter Performa Generator HHO

Pemasangan generator HHO pada kendaraan bermotor harus memperhatikan beberapa hal, seperti beberapa daya yang di butuhkan oleh generator HHO. sehingga dengan pemasangan generator HHO pada kendaraan tidak menyebabkan sistem kelistrikan di kendaraan terganggu. Selain itu yang paling penting adalah tujuan utama dari pemasangan HHO, yaitu untuk menghemat bahan bakar. Dengan pemasangan generator HHO pada kendaraan diharapkan bahwa kendaraan akan irit dalam pemakaian bahan bakar sehingga anggaran belanja bahan bakar akan berkurang. Tentunya besarnya pengurangan anggaran belanja bahan bakar haruslah lebih besar dari biaya instalasi dan perawatan dari generator HHO, sehingga pemilik kendaraan akan memperoleh keuntungan yang maksimal. Untuk memperoleh biaya instalasi dan perawatan generator HHO yang seminimum mungkin akan sangat dipengaruhi oleh performa dari generator HHO tersebut. Adapun parameter performa dari generator HHO yang diperhatikan adalah:

1. Daya yang dibutuhkan generator HHO
2. Laju produksi gas HHO (flow rate)

3. Performa generator HHO

Daya yang dibutuhkan Generator HHO (P_{HHO}). [watt]

Untuk menghasilkan gas HHO dengan menggunakan proses elektrolisis air dibutuhkan energi listrik. Jika generator HHO dipasang pada kendaraan bermotor, sumber energi listrik diambil dari baterai aki. Setiap aki pada kendaraan bermotor umumnya mempunyai beda potensial (voltase) yang sama (12 volt) namun arusnya berbeda-beda sesuai dengan besar kecilnya ukuran mesin sehingga daya baterai aki tersebut juga berbeda-beda. Semakin besar ukuran mesin kendaraan, energi listrik yang dihasilkan dari engine akan semakin besar, sehingga arus yang dialirkan ke baterai aki juga semakin besar.

Energi listrik pada baterai aki dipergunakan untuk sistem kelistrikan di kendaraan (seperti lampu, dan AC). Namun masih ada sisa energi listrik yang dapat dipergunakan sebagai sumber tegangan untuk generator HHO. Energi listrik tersebut jumlahnya terbatas, sehingga generator HHO yang dipasang pada kendaraan dayanya harus dibatasi. Oleh karena itu harus diketahui seberapa besar daya yang dibutuhkan oleh generator HHO. Perumusan untuk mencari daya yang dibutuhkan adalah sebagai berikut (Purnomo, 2010):

$$P = V.I \quad (\text{watt}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

Dimana: P = Daya yang dibutuhkan generator HHO (watt)

V = Beda potensial/voltase (volt)

I = Arus listrik (Ampere)

Laju Produksi/flowrate Gas HHO(v_{HHO}). [ml/s]

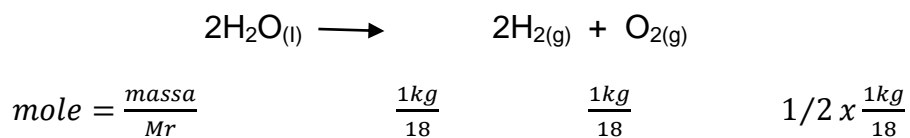
Produk utama proses elektrolisa air dengan menggunakan generator HHO adalah gas HHO (Brown's gas). Sehingga untuk mengetahui seberapa baik kinerja generator HHO, perlu diketahui seberapa banyak gas HHO yang dihasilkan oleh generator HHO tersebut. Secara aktual untuk mengetahui seberapa besar volume gas HHO yang dihasilkan dari proses elektrolisis dapat dilakukan dengan pengukuran menggunakan flowmeter.

Performa Dari Generator HHO (η_{HHO}), [%]

Performa dari generator merupakan perbandingan antara energi yang berguna dengan energi yang diberikan pada suatu sistem. Adapun kegunaan perhitungan performa suatu alat-alat konversi energi adalah untuk mengetahui seberapa optimal alat tersebut dapat bekerja.

Pada generator HHO hasil yang berguna adalah produk elektrolisis air berupa gas HHO. Gas HHO yang terdiri dari gas H_2 dan O_2 mempunyai nilai kalor, sehingga dapat dimanfaatkan energi yang terkandung didalamnya untuk meningkatkan pembakaran pada motor bakar. Karakteristik gas HHO yang cenderung memiliki karakteristik yang hampir sama dengan gas penyusunnya (gas H_2), karena kandungan H_2 sebesar $\frac{2}{3}$ volume gas HHO, Namun nilai kalor pada umumnya mempunyai satuan energi persatuan massa. Gas H_2 mempunyai nilai kalor sebesar 119,93 kJ/gram (Purnomo, 2010). Sehingga untuk menghitung nilai kalor gas HHO harus diketahui

terlebih dahulu perbandingan massa gas H₂ dalam gas HHO. Dari persamaan kimia reaksi elektrolisis air berikut ini dapat dihitung seberapa besar kandungan massa H₂ dalam gas HHO. Jika massa H₂O yang dielektrolisis sebanyak 1 kg, maka massa produk total H₂ dan O₂ juga 1 kg, sehingga jika diketahui Mr H₂O=18, Mr H₂=2, Mr O₂=32, maka didapatkan mol H₂:



Dari perbandingan mole pada persamaan reaksi kimia elektrolisis air dapat dihitung berapa massa H₂ dalam 1 kg gas HHO, yaitu:

$$m_{H_2} = Mr_{H_2} \times mole = 2 \times \frac{1kg}{18} = \frac{1}{9} kg$$

Jika massa H₂ dalam HHO sebesar 1/9 kali NKB gas H₂ yaitu $1/9 \times 119,93 kJ/g = 13,25 kJ/g$ atau $3812,754 kcal/kg$.

Jika STP massa jenis H₂ diketahui sebesar $\rho_{H_2} = 0,08235 gr/ltr$ dan O₂ sebesar $\rho_{O_2} = 1,3088 gr/ltr$, maka ρ_{HHO} dapat dicari penurunan persamaan berikut ini (Purnomo, 2010):

$$\begin{aligned} \rho_{HHO} &= \frac{m_{HHO}}{v_{HHO}} \\ &= \frac{(m_{H_2} + m_{O_2})}{v_{HHO}} \\ &= \frac{\rho_{H_2} \cdot v_{H_2} + \rho_{O_2} \cdot v_{O_2}}{v_{HHO}} \\ &= \frac{(\rho_{HHO} \cdot \frac{2}{3} v_{HHO} + \rho_{O_2} \cdot \frac{1}{3} v_{HHO})}{v_{HHO}} = \frac{2}{3} \rho_{H_2} + \frac{1}{3} \rho_{O_2} \end{aligned}$$

$$\rho_{HHO} = (2/3 \cdot 0,08253 gr/L) + (1/3 \cdot 1.3088 gr/L) = 0,491167 gr/L$$

Produk gas HHO yang terukur pada HHO flowmeter dalam satuan l/min, dan energi yang diberikan untuk memproduksi gas HHO adalah energi listrik yang dibutuhkan untuk terjadinya reaksi elektrolisis air dalam satuan watt (J/sec). Maka untuk menghitung performa generator HHO diturunkan dari persamaan berikut ini (Purnomo, 2010):

$$\text{Performa}_{\text{HHO}} = \frac{\text{Energi yang dihasilkan oleh generator HHO}}{\text{Daya yang dibutuhkan generator HHO}} \times 100\%$$

$$\text{Performa}_{\text{HHO}} = \frac{m_{\text{HHO}} \times NKB_{\text{HHO}}}{P_{\text{HHO}}} \times 100\%$$

$$= \frac{V_{\text{HHO}} \times \rho_{\text{HHO}} \times NKB_{\text{HHO}}}{P_{\text{HHO}}} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

B. Gambaran Umum Motor Bakar

Secara umum pengertian motor bakar diartikan sebagai pesawat yang dapat mengubah suatu bentuk energi *thermal* menjadi bentuk energi mekanik. Motor bakar dapat pula diartikan sebagai pesawat dan energi kerja mekaniknya diperoleh dari pembakaran bahan bakar dalam pesawat itu sendiri. Oleh karena itu, motor bakar yang pembakarannya terjadi di dalam pesawat itu sendiri disebut pesawat tenaga dengan pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*).

Pada mulanya perkembangan motor bakar torak dengan motor bakar bensin ditemukan oleh Nichollus Otto pada tahun 1876 (Kovakh 1979). Karena bentuknya kecil dan tenaganya besar juga mudah dihidupkan dan sangat praktis, maka memberikan kemungkinan untuk

dapat mempergunakan motor tersebut diberbagai lapangan kerja dengan aneka macam ragamnya.

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.

Motor bakar terbagi menjadi 2 (dua) jenis utama, yaitu motor diesel dan motor bensin. Perbedaan umum terletak pada sistem penyalaan. Penyalaan pada motor bensin dinyalakan oleh loncatan bunga api listrik yang dipercikan oleh busi atau juga sering disebut juga *spark ignition engine*. Sedangkan pada motor diesel penyalaan terjadi karena kompresi yang tinggi di dalam silinder

kemudian bahan bakar disemprotkan oleh *nozzle* atau juga sering disebut juga *Compression Ignition Engine*.

1. Klasifikasi Motor Bakar

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

a. Berdasar Sistem Pembakarannya

a). Mesin bakar 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.

Hal-hal yang dimiliki pada mesin pembakaran dalam yaitu :

- a. Pemakaian bahan bakar irit
- b. Berat tiap satuan tenaga mekanis lebih kecil
- c. Konstruksi lebih sederhana, karena tidak memerlukan ketel uap, kondensor, dan sebagainya.

Pada umumnya mesin pembakaran dalam dikenal dengan nama motor bakar.

b). Mesin bakar 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.

Hal-hal yang dimiliki pada mesin pembakaran luar yaitu :

- a. Dapat memakai semua bentuk bahan bakar
- b. Dapat memakai bahan bakar bermutu rendah
- c. Cocok untuk melayani beban-beban besar dalam satu poros
- d. Lebih cocok dipakai untuk daya tinggi

Contoh mesin pembakaran luar yaitu pesawat tenaga uap, pelaksanaan pembakaran bahan bakar dilakukan diluar mesin.

b. Berdasar Sistem Penyalaan

a). 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.

b). 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. 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 :

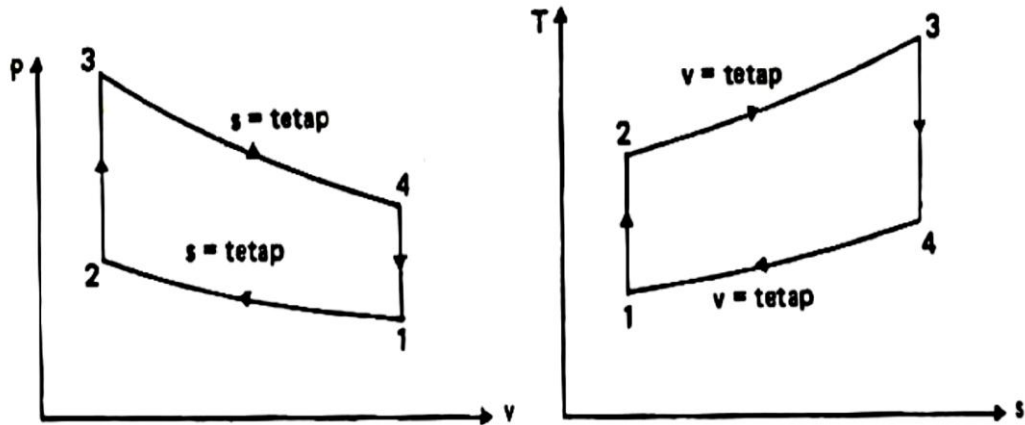
- a. Fluida kerja dari awal proses hingga akhir proses.
- b. Panas jenis dianggap konstan meskipun terjadi perubahan temperature pada udara.
- c. Proses kompresi dan ekspansi berlangsung secara adiabatik, tidak terjadi perpindahan panas antara gas dan dinding silinder.
- d. Sifat-sifat kimia fluida kerja tidak berubah selama siklus berlangsung.

Motor 2 (dua) langkah mempunyai siklus termodinamika yang sama dengan motor 4 (empat) langkah.

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. Gambar diagram P-V dan T-S siklus otto dapat dilihat pada (gambar 2.2) dibawah sebagai berikut:



Gambar 4. Siklus Otto

Proses siklus otto sebagai berikut :

Proses 1-2: proses kompresi *isentropic* (*adiabatic reversible*) dimana piston bergerak menuju (TMA=titik mati atas) mengkompresikan 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.

3. Prinsip Kerja Motor Bakar 4 (empat) Langkah

a). Langkah Hisap

Proses yang terjadi pada langkah isap adalah :

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

b). Langkah Kompresi

Proses yang terjadi pada langkah kompresi adalah :

1. Torak bergerak dari TMB keTMA.
2. Katub masuk dan katup buang kedua-duanya tertutup sehingga gas yang telah dihisap tidak keluar
3. Beberapa saat sebelum torak mencapai TMA busi mengeluarkan bunga api listrik.
4. Gas bahan bakar yang telah mencapai tekanan tinggi terbakar.

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

c). Langkah Kerja / Ekspansi

Proses yang terjadi pada langkah Kerja (ekspansi) adalah :

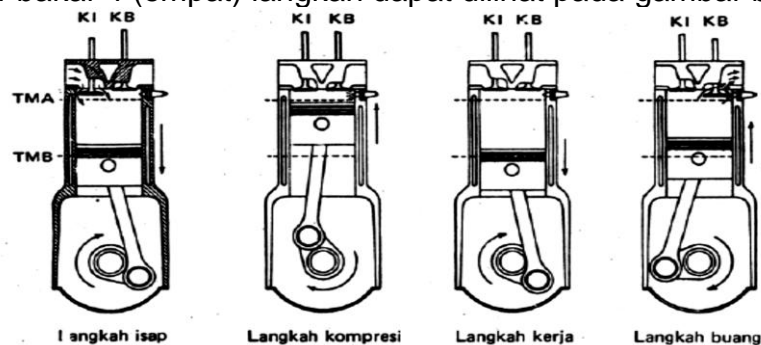
1. Saat ini kedua katup masih dalam keadaan tertutup.
2. Gas terbakar dengan tekanan yang tinggi akan mengembang kemudian menekan torak turun ke bawah dari TMA ke TMB.
3. Tenaga ini disalurkan melalui batang penggerak, selanjutnya oleh poros engkol diubah menjadi gerak berputar.

d). Langkah Buang

Proses yang terjadi pada langkah buang adalah :

1. Katup buang terbuka, katup masuk tertutup.
2. Torak bergerak dari TMB ke TMA..
3. Gas hasil sisa pembakaran akan terdorong oleh torak ke luar melalui katup buang.

Kerja motor bakar 4 (empat) langkah dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 5. Proses kerja torak

4. 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

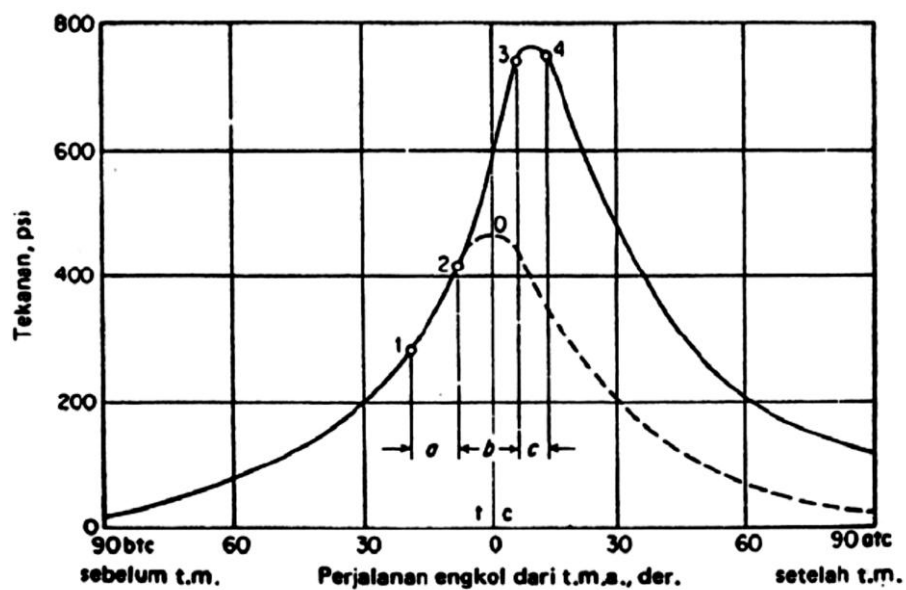
bahan bakar dan udara dalam silinder akan menentukan kualitas pembakaran dan akan berpengaruh terhadap *performance* mesin dan emisi gas buang. Sebagaimana telah diketahui bahwa bahan bakar bensin mengandung unsur-unsur karbon dan hidrogen.

Terdapat 3 (tiga) teori mengenai pembakaran hidrogen tersebut yaitu :

1. Hidrokarbon terbakar bersama-sama dengan oksigen sebelum karbon bergabung dengan oksigen.
2. Karbon terbakar lebih dahulu daripada hidrogen.

3. 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. Berikut adalah gambar dari grafik tingkatan pembakaran :



Gambar 6. Grafik tingkat pembakaran

Proses atau 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 ke dalam 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, semakain 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 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)

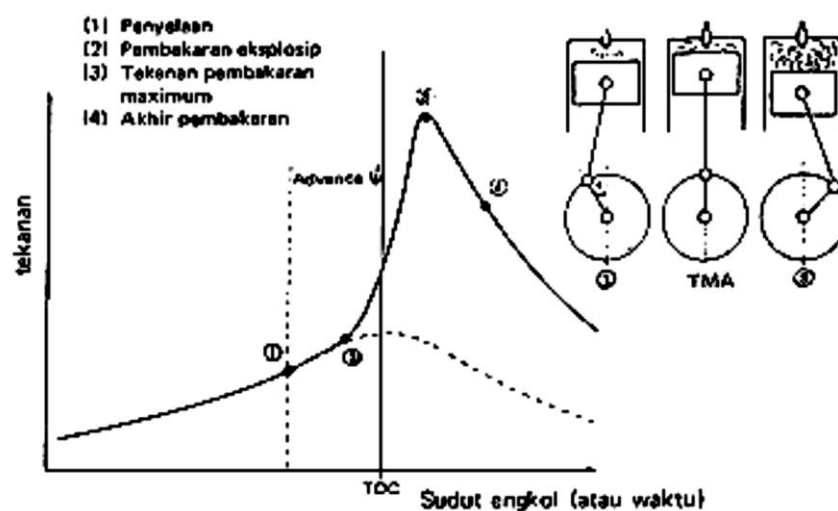
Bila oksigen dan hidrokarbon tidak bercampur dengan baik maka terjadi proses *cracking* dimana akan menimbulkan asap. Pembakaran semacam ini disebut pembakaran tidak sempurna.

Ada 2 (dua) kemungkinan yang terjadi pada pembakaran mesin bensin, yaitu :

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. Didalam pembakaran normal, pembagian nyala api

terjadi merata diseluruh 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 grafik berikut :



Gambar 7. Grafik pembakaran normal

Gambar grafik diatas dengan jelas memperlihatkan hubungan antara tekanan dan sudut engkol, mulai dari penyalaan 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*)

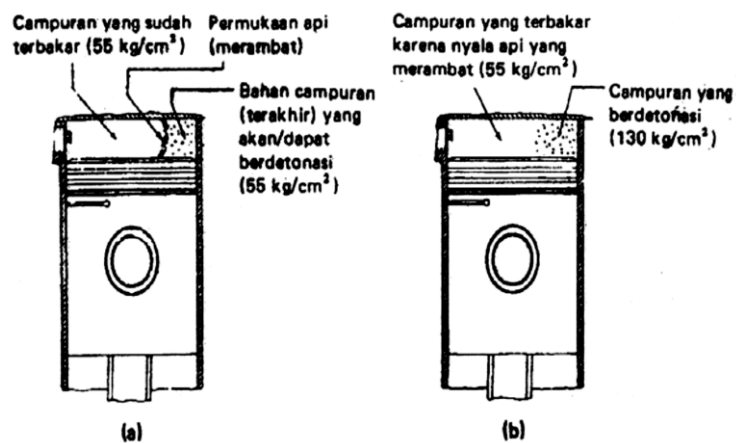
Hal-hal yang menyebabkan terjadinya Detonasi

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 :

1. Perbandingan kompresi yang tinggi, tekanan kompresi, suhu pemanasan campuran dan suhu silinder yang tinggi.
2. Masa pengapian yang cepat.
3. Putaran mesin rendah dan penyebaran api lambat.
4. Penempatan busi dan konstruksi ruang bakar tidak tepat, serta jarak penyebaran api terlampaui jauh.

Proses terjadinya detonasi dapat ditunjukkan pada gambar dibawah :



Gambar 8. Proses terjadinya detonasi

Gambar diatas 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.

C. Parameter Unjuk kerja Motor Bensin.

Baik atau tidaknya suatu desain engine dapat di lihat mealui unjuk kerja (*performance*) yang dihasilkannya. Pengujian suatu engine ditentukan oleh beberapa parameter unjuk kerja engine dan kadar emisi gas emisi gas buang hasil pembakaran. Unjuk kerja menjadi peting karena berkaitan dengan tujuan penggunaan engine dan faktor ekonomisnya sedangkan tinggi rendahnya emisi gas buang berhubungandengan faktor lingkungan.

Adapun parameter-parameter utama dari unjuk kerja tersebut adalah sebagai berikut (Yauri Yusuf, 2008):

1. Daya Motor (N_e)

Daya Motor merupakan daya yang diberikan kepada poros penggerak pada motor per satuan waktu. Besarnya daya motor dapat dihitung dengan manggunakan persamaan :

$$N_e = \omega \cdot T \quad (\text{kW}) \dots \dots \dots (3)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$

$$\text{maka : } N_e = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot T}{60 \times 1000} \quad (\text{kW})$$

dengan : T = momen putar (Nm).

ω = putaran sudut.

n = putaran motor (rpm).

2. Torsi

Torsi adalah ukuran kemampuan engine untuk menghasilkan kerja. Dan didalam keadaan sehari-hari torsi digunakan untuk akselerasi kendaraan untuk mendapatkan kecepatan tinggi.

Torsi yang dihasilkan oleh motor dapat dihitung dengan persamaan:

$$T = \frac{71620N_e}{n} (kg.cm) \dots\dots\dots(4)$$

dimana:

N_e = daya motor (kW)

n = putaran mesin (RPM)

Selain itu torsi juga dapat dilihat melalui dinamometer torsi yang hasilnya dapat langsung dilihat dari alat tersebut.

3. Tekanan Efektif Rata-rata (P_e)

Proses pembakaran campuran udara bahan bakar menghasilkan tekanan yang bekerja pada piston sehingga melakukan langkah kerja. Besarnya tekanan ini berubah-ubah sepanjang langkah piston tersebut. Bila diambil tekanan yang berharga konstan yg bekerja pada piston dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan tersebut di sebut sebagai kerja per siklus per volume langkah piston.

Besarnya dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_e = \frac{\text{Kerja Persiklus}}{\text{Volume Langkah Torak}}$$

$$= \frac{60 \cdot N_e}{(VL \cdot z) \cdot n \cdot a} \quad (\text{kPa}) \dots \dots \dots (5)$$

dengan : VL = volume langkah torak (cm).

z = jumlah silinder.

a = jumlah siklus.

4. Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (SFC).

Merupakan ukuran pemakain bahan bakar oleh suatu engine, yang diukur satuan massa bahan bakar per satuan keluaran daya atau juga dapat didepenisikan sebagai bahan bakar yang di pakai oleh motor untuk menghasilkan tenaga sebesar satu kW selama satu jam.

Pemakaian Bahan Bakar (FC).

$$FC = \frac{\rho_{bb} \cdot V}{t} \quad (\text{kg/jam}) \dots \dots \dots (6)$$

dengan : ρ_{bb} = massa jenis bahan bakar (kg/m³).

V = volume bahan bakar (m³).

t = waktu yang diperlukan untuk menghabiskan bahan bakar 10 cm³.

Sehingga,

$$SFC = \frac{FC}{N_e} \quad (\text{kg/kW} \cdot \text{jam}) \dots \dots \dots (7)$$

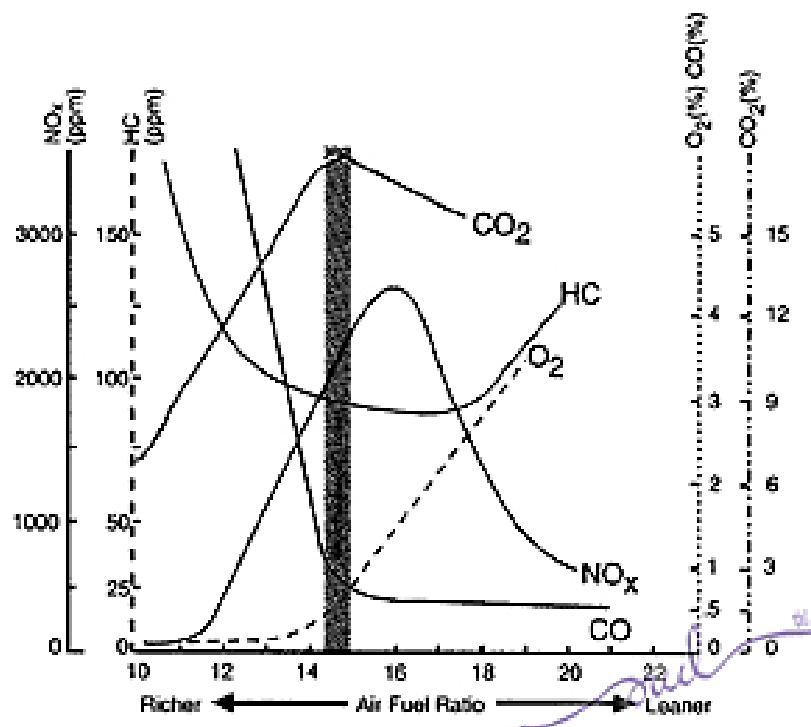
5. Efisiensi Termal (η_{th}).

Effisiensi thermal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas dari bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh motor.

$$\eta_{th} = \frac{N_e}{FC \cdot LHV} \times 100 \% \dots\dots\dots(8)$$

Dengan LHV = nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)

6. Emisi Gas Buang



Gambar 9. Grafik Swiss Contact

a) Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida hanya terdapat pada gas buang produk pembakaran yang tidak sempurna karena jumlah udara tidak cukup atau tidak cukupnya waktu untuk siklus

yang sempurna dari proses pembakaran . Emisi karbon monoksida disebabkan oleh pembakaran campuran kaya, dimana $\lambda < 1,0$. Pada campuran ini, oksigen tidak cukup untuk mengoksidasi semua karbon menjadi karbon dioksida. Sejumlah kecil karbon monoksida juga dihasilkan pada kondisi campuran miskin karena efek kinetik kimia. Emisi karbon monoksida dikontrol dengan pengaturan airfuel ratio dari campuran yang memasuki ruang bakar.

b) Hidrokarbon (HC)

Emisi hidrokarbon adalah hasil langsung dari pembakaran yang tak sempurna. Hidrokarbon (HC) naik dengan cepat ketika campuran menjadi kaya dan bila kualitas pembakaran menurun, misalnya dengan campuran sangat miskin, emisi HC dapat naik dengan cepat karena pembakaran tidak sempurna atau missfire dalam fraksi siklus operasi engine.

Adapun parameter-parameter lain yang juga berkaitan dengan prestasi mesin adalah sebagai berikut:

a. Laju Aliran Massa Sebenarnya (\dot{m}_a).

$$\dot{m}_a = \rho_a \cdot Q_a \quad (\text{kg/jam}) \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$Q_a = \pi/4 \cdot d_o^2 \cdot Cd \sqrt{\frac{2g \cdot h_o}{\rho_a}} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

dengan : ρ_a = massa jenis udara (kg/m^3).

Q_a = debit aliran udara (m^3/s).

d_o = diameter *orifice* (mm).

C_d = koefisien *discharge orifice* (0,65)

h_o = beda tekanan *orifice* (mmHg).

Laju Aliran Massa Sebenarnya (\dot{m}_a) juga dapat diprediksi dengan menggunakan diagram manometer reading seperti pada lampiran-5 (Yauri Yusuf, 2008).

b. Laju Aliran Teoritis (\dot{m}_{at}).

$$\dot{m}_{at} = \rho_a \cdot Q_{at} \quad (\text{kg/jam}) \dots\dots\dots(10)$$

$$Q_{at} = v \cdot A \quad (\text{m}^3/\text{jam})$$

dengan : Q_{at} = debit aliran udara teoritis (m^3/jam).

v = kecepatan langkah torak (m/jam).

A = luas penampang silinder (m^2).

c. Perbandingan Udara Bahan Bakar (AFR).

$$\text{AFR} = \frac{\dot{m}_a}{FC} \quad (\text{kg}_{ud}/\text{kg}_{bb}) \dots\dots\dots(11)$$

d. Efisiensi Volumetrik (η_v).

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_{at}} \times 100 \% \dots\dots\dots(12)$$