

MESIN PEMBAKARAN DALAM

Mesin pembakaran dalam adalah mesin-mesin dimana pembakaran bahan bakar terjadi di dalam silinder mesin. Mesin-mesin jenis ini contohnya adalah mesin bensin, mesin diesel dan mesin gas.

Pada mesin ini pembakaran terjadi di dalam silinder dengan loncatan api listrik dan menghasilkan temperatur yang sangat tinggi. Temperatur tinggi bisa saja merusak logam silinder, katup, dsb, karena itu perlu untuk mengeluarkan panas tersebut dari mesin. Pengeluaran panas atau pendinginan bisa saja dilakukan oleh udara lingkungannya seperti pada sepeda motor atau mesin pesawat, atau dengan sirkulasi air melalui jaket yang mengelilingi mesin.

Klasifikasi Mesin-mesin Pembakaran Dalam

Mesin pembakaran dalam bisa diklasifikasikan dengan banyak cara, tetapi pembagian-pembagian berikut cukup memberikan sudut pandang yang baik.

1. Berdasarkan jenis bahan bakar yang digunakan.
 - a. Mesin bensin.
 - b. Mesin gas.
 - c. Mesin diesel.
2. Berdasarkan metode pembakaran bahan bakar.
 - a. Mesin dengan loncatan api listrik (*spark ignition*)
 - b. Mesin pembakaran kompresi.
3. Berdasarkan siklus kerja.
 - a. Mesin empat langkah.
 - b. Mesin dua langkah.
4. Berdasarkan proses pembakaran.
 - a. Mesin siklus otto
 - b. Mesin siklus diesel.

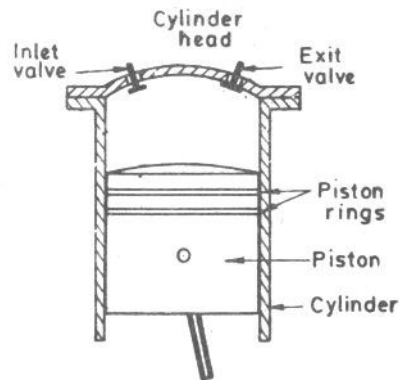
- c. Mesin siklus dual.
5. Berdasarkan kecepatan mesin.
 - a. Mesin kecepatan rendah.
 - b. Mesin kecepatan sedang.
 - c. Mesin kecepatan tinggi.
6. Berdasarkan sistem pendingin.
 - a. Mesin berpendinginan udara.
 - b. Mesin berpendingin air.
 - c. Mesin dengan pendinginan penguapan.
7. Berdasarkan metode injeksi bahan bakar.
 - a. Mesin karburator.
 - b. Mesin injeksi udara.
 - c. Mesin injeksi tanpa udara atau injeksi padat.
8. Berdasarkan pengaturan silinder.
 - a. Mesin vertikal.
 - b. Mesin horisontal.
 - c. Mesin radial.

Komponen-komponen Utama

1. Silinder

Adalah salah satu komponen yang paling penting, dimana piston bergerak bolak balik untuk menghasilkan daya. Umumnya silinder mesin harus menahan tekanan tinggi (lebih dari 50×10^5 Pa) dan temperatur tinggi (lebih dari 2000 °C). Sehingga material silinder harus bisa menahan tekanan dan temperatur tinggi tersebut. Pada mesin umumnya, silinder terbuat dari besi tuang, tetapi bagi mesin beban berat, silinder dibuat dari paduan baja atau paduan aluminium. Pada mesin silinder banyak, silinder dicor dalam satu blok yang disebut blok silinder.

Kadang-kadang pelapis (liner) atau *sleeve* dimasukkan ke dalam silinder, yang bisa diganti jika telah aus. Karena material untuk pelapis relatif kecil, ia bisa dibuat dari paduan besi cor yang mempunyai umur panjang dan tahanan cukup terhadap keausan dan retak karena komponen yang bergerak bolak balik dengan cepat.



Gambar 1. Komponen-komponen utama mesin pembakaran dalam.

2. Kepala Silinder (*Cylinder Head*).

Terpasang pada salah satu ujung silinder dan berfungsi untuk menutup lobang silinder. Umumnya kepala silinder berisikan katup masuk dan buang untuk memasukkan udara segar dan membuang gas asap. Pada mesin bensin, kepala silinder juga mengandung busi untuk membakar campuran bahan bakar-udara. Tetapi pada mesin diesel, kepala silinder mempunyai nosel (katup bahan bakar) untuk menginjeksikan bahan bakar ke dalam silinder.

Kepala silinder biasanya dicor dalam satu kesatuan dan dibaut ke silinder. Biasanya kepala silinder dan silinder dibuat dari bahan yang sama. Gasket asbes atau tembaga dipasang antara silinder mesin dengan kepala silinder untuk mencegah kebocoran udara.

3. Piston

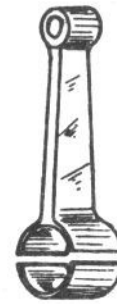
Dianggap sebagai jantungnya mesin, dimana fungsi utamanya adalah untuk mentransmisikan daya yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar ke batang penghubung (*connecting rod*). Piston biasanya dibuat dari aluminium, paduan dengan berat ringan.

4. Ring piston.

Adalah cincin/ring lingkaran dan dibuat dari paduan baja khusus yang elastik walaupun pada temperatur tinggi. Ring piston terpasang pada alur yang terdapat pada permukaan luar piston. Umumnya ada dua set ring terpasang pada piston. Fungsi ring bagian atas untuk mencegah kebocoran dari gas yang terbakar ke bagian bawahnya. Fungsi ring bagian bawah adalah untuk mencegah kebocoran antara oli ke silinder mesin.

5. Batang penghubung (*Connecting rod*).

Adalah penghubung antara piston dengan poros engkol, yang fungsi utamanya adalah mentransmisikan gaya dari piston ke poros engkol. Lebih jauh, batang penghubung mentransformasikan gerak bolak-balik piston ke gerak putar poros. Ujung atas batang penghubung yang lebih kecil disambungkan ke piston dan ujung bagian bawah yang lebih besar dihubungkan ke engkol.



Gambar Batang penghubung.

Batang penghubung dibuat dari paduan baja khusus atau paduan aluminium khusus.

6. Poros Engkol (*Crankshaft*).

Dianggap sebagai tulang belakangnya mesin pembakaran dalam, yang fungsinya merubah gerakan bolak balik piston ke gerak putar dengan bantuan batang penghubung. Poros ini mempunyai satu atau lebih bagian yang eksentrik yang disebut engkol. Poros engkol dibuat dari paduan baja khusus.

7. Rumah Engkol (*Crank case*).

Adalah rumah yang terbuat dari besi tuang, yang menampung silinder dan poros engkol. Ia juga berfungsi sebagai penampung minyak pelumas.

8. Roda Gaya (*Flywheel*).

Adalah roda besar, terpasang pada poros engkol, yang fungsinya adalah mengatur kecepatan supaya konstan. Hal ini dilakukan dengan menyimpan kelebihan energi selama langkah kerja, dan dikeluarkan selama langkah lainnya.

Urutan Langkah-langkah Siklus

Jika sebuah mesin bekerja secara kontinyu, kita bisa menganggap sebuah siklus dimulai dari langkah mana saja. Ketika mesin kembali ke langkah dimana kita mulai, kita katakan bahwa satu siklus telah selesai dilakukan.

Berikut ini adalah tahap-tahap sebuah siklus.

1. *Langkah hisap.*

Pada langkah ini uap bahan bakar, dengan perbandingan yang benar, disuplai ke silinder mesin.

2. *Langkah kompresi.*

Pada langkah ini, uap bahan bakar di kompresi di silinder mesin.

3. *Langkah ekspansi atau kerja.*

Pada langkah ini, uap bahan bakar dibakar, (sesaat sebelum kompresi selesai). Pada langkah ini terjadi kenaikan tekanan, karena ekspansi produk pembakaran di silinder mesin. Kenaikan tekanan ini akan menekan piston dengan gaya yang besar, dan memutar poros engkol. Pada gilirannya poros engkol akan menggerakkan mesin yang tersambung padanya.

4. *Langkah buang.*

Pada langkah ini, gas yang terbakar (atau produk pembakaran) dibuang dari silinder mesin, sehingga tersedia ruang untuk uap bahan bakar yang baru.

Catatan : Langkah-langkah yang dijelaskan di atas dimaksudkan untuk mesin bensin dan gas. Jika mesinnya mesin diesel, udara murni dihisap pada langkah hisap dan dikompresi pada langkah kompresi. Minyak diesel dimasukkan ke dalam silinder mesin (sesaat sebelum mulai langkah ekspansi) dan terbakar oleh udara panas yang ada di silinder. Langkah ekspansi dan langkah buang sama dengan yang ada pada mesin bensin/gas.

Mesin Siklus Dua Langkah dan Empat Langkah

Pada mesin dua langkah, langkah kerja diselesaikan dalam dua langkah piston atau satu putaran poros engkol. Hal ini tercapai dengan menyelesaikan proses hisap dan kompresi dalam satu langkah dan proses ekspansi dan buang pada langkah kedua. Pada mesin empat langkah, siklus kerja diselesaikan dalam empat langkah piston atau dua putaran poros engkol. Hal ini tercapai dengan menyelesaikan langkah hisap, kompresi, ekspansi dan buang masing-masing satu langkah.

Dari sisi termodinamika, tidak ada perbedaan antara mesin dua langkah dan empat langkah. Perbedaannya adalah hanya pada sisi mekanikal.

Keuntungan dan Kerugian Mesin Dua Langkah dan Empat Langkah

Berikut ini adalah keuntungan dan kerugian mesin dua langkah terhadap mesin empat langkah:

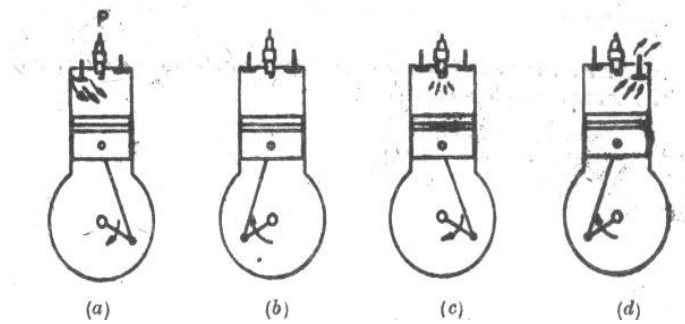
Keuntungan

1. Mesin siklus dua langkah memberikan jumlah langkah kerja dua kali mesin empat langkah pada kecepatan yang sama. Secara teori, mesin dua langkah menghasilkan daya dua kali dari mesin empat langkah, tetapi kenyataannya mesin dua langkah menghasilkan daya 1,7 sampai 1,8 kali dari mesin empat langkah pada dimensi dan kecepatan yang sama. Hal ini disebabkan karena rasio kompresi lebih kecil dan langkah efektif lebih rendah dari langkah teoritis.
2. Untuk daya yang sama, mesin dua langkah lebih ringan, dan menempati area lantai yang lebih sedikit.
3. Karena jumlah langkah kerja pada mesin dua langkah dua kali dari mesin empat langkah, sehingga momen putar mesin dua langkah lebih merata. Karenanya mesin dua langkah mempunyai roda gaya dan pondasi yang lebih ringan. Ini juga akan mengakibatkan efisiensi mekanik yang lebih tinggi.
4. Biaya awal mesin dua langkah lebih kecil dari mesin empat langkah.
5. Mekanisme mesin dua langkah lebih sederhana dari mesin empat langkah.
6. Mesin dua langkah mudah untuk dihidupkan.

Kerugian

1. Efisiensi termal mesin dua langkah lebih rendah dari mesin empat langkah, sebab mesin dua langkah mempunyai rasio kompresi lebih rendah dari mesin empat langkah.
2. Efisiensi keseluruhan mesin dua langkah juga lebih rendah dari mesin empat langkah karena pada mesin dua langkah, saluran masuk dan buang berada pada posisi terbuka suatu ketika. Sejumlah kecil muatan terbuang dari silinder.
3. Karena jumlah langkah kerja pada mesin dua langkah dua kali mesin empat langkah, maka kapasitas sistem pendinginannya lebih besar.
4. Konsumsi minyak pelumas lebih tinggi pada mesin dua langkah karena temperatur operasinya yang lebih tinggi.
5. Gas buang pada mesin dua langkah menimbulkan suara berisik sebab waktu pembuangannya yang pendek.

Mesin Bensin Siklus Empat Langkah



Gambar 2. Mesin bensin siklus empat langkah.

Dikenal juga sebagai **siklus Otto**. Memerlukan empat langkah piston untuk menyelesaikan satu siklus operasi di silinder mesin. Mesin bensin empat langkah menghisap campuran bahan bakar dengan udara (bensin bercampur dengan udara dengan perbandingan tertentu) seperti diuraikan berikut ini.

1. *Langkah hisap.*

Pada langkah ini, katup masuk terbuka dan campuran udara-bahan bakar dihisap ke dalam silinder ketika piston bergerak ke bawah dari titik mati atas (TMA), terus sampai piston mencapai titik mati bawah (TMB) seperti terlihat pada gambar 2 a.

2. *Langkah kompresi.*

Pada langkah ini, kedua katup tertutup dan campuran di kompresi ketika piston bergerak ke atas dari TMB ke TMA. Akibatnya, tekanan dan temperatur campuran naik. Pada saat ini piston telah menyelesaikan satu putaran poros engkol. Langkah kompresi diperlihatkan oleh gambar 2 b.

3. *Langkah ekspansi atau kerja.*

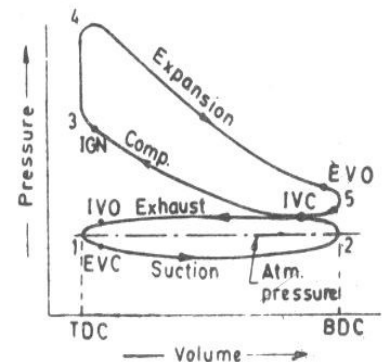
Sesaat sebelum piston mencapai TMA (selama langkah kompresi) campuran dibakar dengan bantuan busi (spark plug). Hal ini akan menyebabkan kenaikan tekanan dan temperatur produk pembakaran tetapi volume relatif tetap. Karena kenaikan tekanan, piston didorong kebawah dengan gaya yang besar. Gas pembakaran panas berekspansi karena kecepatan tinggi piston. Selama ekspansi, sebagian energi panas yang dihasilkan dirubah ke kerja mekanik.

Perlu dicatat bahwa selama langkah kerja, kedua katup tertutup dan piston bergerak dari TMA ke TMB.

4. Langkah buang.

Pada langkah ini, katup buang terbuka ketika piston bergerak dari TMB ke TMA. Pergerakan piston ini akan mendorong produk pembakaran dari silinder mesin dan dibuang melalui katup buang ke atmosfer. Saat ini siklus selesai dan silinder mesin siap untuk menghisap campuran udara-bahan bakar kembali.

Gambar 3 memperlihatkan diagram indikator mesin bensin empat langkah. Langkah hisap ditunjukkan oleh garis 1-2, yang terletak dibawah garis tekanan atmosfer. Karena perbedaan tekanan ini maka campuran bahan bakar-udara mengalir ke dalam silinder mesin. Langkah kompresi ditunjukkan oleh garis 2-3 yang memperlihatkan katup masuk tertutup (IVC) sedikit setelah titik 2 (TMB/BDC).



Gambar 3. Diagram indikator untuk mesin bensin empat langkah.

Pada akhir langkah, terjadi kenaikan tekanan di dalam silinder. Sedikit sebelum akhir langkah kompresi (TMA/TDC), campuran dibakar dengan bantuan busi (IGN) seperti ditunjukkan oleh gambar. Loncatan api listrik dari busi menghasilkan pembakaran yang menaikkan tekanan dan temperatur produk pembakaran, tetapi volume konstan, seperti ditunjukkan oleh garis 3-4. Langkah ekspansi ditunjukkan oleh garis 4-5 dimana katup buang terbuka (EVO) sedikit sebelum titik 5 (TMB). Sekarang gas asap dibuang ke atmosfer pada garis 5-1 yang terletak diatas garis tekanan atmosfer. Karena perbedaan tekanan ini menyebabkan gas buang mengalir ke luar silinder mesin.

Mesin Diesel Siklus Empat Langkah

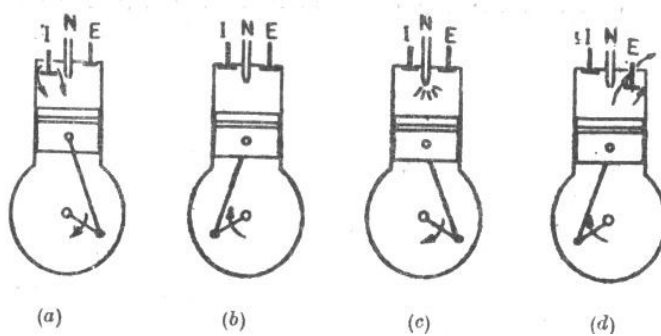
Mesin siklus diesel empat langkah mempunyai langkah-langkah sebagai berikut:

1. Langkah hisap atau pemuatan.

Pada langkah ini, katup masuk (I) terbuka dan udara murni disedot ke dalam silinder ketika piston bergerak turun dari TMA ke TMB seperti yang diperlihatkan gambar 4a.

2. Langkah Kompresi.

Pada langkah ini, kedua katup tertutup dan udara dikompresi ketika piston bergerak keatas dari TMB ke TMA. Dari hasil kompresi, tekanan dan temperatur udara meningkat. Sampai saat ini poros telah berputar satu putaran.



Gambar 4. Mesin diesel siklus empat langkah.

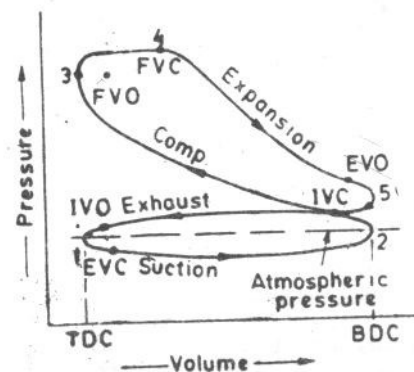
3. Langkah ekspansi atau kerja.

Sesaat sebelum piston mencapai TMA, bahan bakar diinjeksikan dalam bentuk semburan sangat halus ke dalam silinder mesin melalui nosel (N) yang disebut juga katup injeksi bahan bakar. Pada kondisi ini temperatur udara yang ada di silinder sudah bisa membakar bahan bakar. Hasilnya terjadi kenaikan tiba-tiba tekanan dan temperatur dari produk pembakaran. Bahan bakar diasumsikan terbakar pada tekanan konstan. Karena terjadi kenaikan tekanan, piston di dorong kebawah dengan gaya yang besar. Gas panas tersebut berekspansi karena gerakan turun piston, selama ekspansi ini energi panas dirobah menjadi energi mekanik kerja.

4. Langkah buang.

Pada langkah ini, katup buang (E) terbuka ketika piston bergerak ke atas. Pergerakan piston ini mendorong keluar produk pembakaran dari dalam silinder melalui katup buang ke atmosfer. Langkah ini menyelesaikan siklus dan silinder mesin siap untuk menghisap udara segar kembali.

Gambar 5 memperlihatkan diagram indikator mesin diesel siklus empat langkah. Langkah hisap ditunjukkan oleh garis 1-2, yang terletak dibawah garis tekanan atmosfer. Karena perbedaan tekanan ini maka udara mengalir ke dalam silinder mesin. Langkah kompresi ditunjukkan oleh garis 2-3 yang memperlihatkan katup masuk tertutup (IVC) sedikit setelah titik 2 (TMB/BDC). Pada akhir langkah, terjadi kenaikan tekanan di dalam silinder. Sedikit sebelum akhir langkah kompresi (TMA/TDC), katup bahan bakar terbuka dan bahan bakar diinjeksikan ke silinder mesin. Bahan bakar dibakar oleh temperatur tinggi udara bertekanan. Pembakaran menaikkan tekanan dan temperatur produk pembakaran, tetapi tekanan konstan, seperti ditunjukkan oleh garis 3-4. Langkah ekspansi ditunjukkan oleh garis 4-5 dimana katup buang terbuka (EVO) sedikit sebelum titik 5 (TMB). Sekarang gas asap dibuang ke atmosfer pada garis 5-1 yang terletak diatas garis tekanan atmosfer. Karena perbedaan tekanan ini menyebabkan gas buang mengalir ke luar silinder mesin.



Gambar 5. Diagram indikator untuk mesin diesel siklus empat langkah.

Perbandingan Mesin Bensin dengan Mesin Diesel

Berikut perbedaan antara mesin diesel dan mesin bensin.

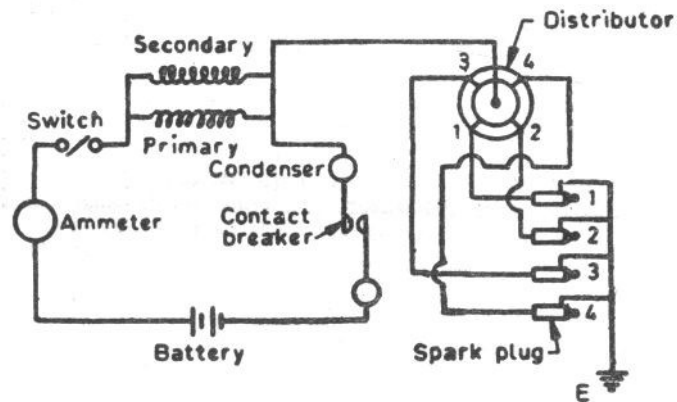
	Mesin Bensin	Mesin Diesel
1	Mesin bensin menarik campuran bensin dan udara selama langkah hisap.	Mesin diesel hanya menarik udara selama langkah hisap

2	Tekanan pada akhir kompresi sekitar 10 kg/cm ² .	Tekanan pada langkah kompresi sekitar 35 kg/cm ² .
3	Campuran bahan bakar udara dibakar dengan bantuan busi.	Bahan bakar diinjeksi dalam bentuk spray.
4	Pembakaran bahan bakar terjadi pada hampir volume konstan.	Pembakaran terjadi pada hampir tekanan konstan.
5	Mempunyai rasio kompresi sekitar 6 - 10.	Mempunyai rasio kompresi sekitar 15 - 25.
6	Karena rasio kompresi rendah, mesin bensin lebih ringan dan murah.	Karena rasio kompresi tinggi maka mesin diesel lebih berat dan mahal.
7	Biaya pemakaian mesin bensin tinggi karena biaya bensin yang lebih tinggi.	Biaya pemakaian mesin diesel rendah karena biaya diesel yang rendah.?

Sistem Pengapian Mesin Bensin

Pada mesin bensin, digunakan busi untuk memulai pembakaran. Tegangan listrik yang diperlukan untuk mendapatkan loncatan listrik pada busi kira-kira 8000 Volt. Kemudian sistem penyalaan pada setiap silinder harus diatur pada waktu yang tepat. Berikut ini adalah sistem penyalaan yang penting pada mesin bensin:

1. Sistem penyalaan koil.
2. Sistem penyalaan magnet.
3. Sistem penyalaan CDI.

1. Sistem penyalaaan koil.

Gambar 6. Sistem penyalaaan koil.

Disebut juga sistem penyalaaan baterai, mempunyai koil induksi yang terdiri dari dua gulungan yaitu gulungan primer dan sekunder seperti diperlihatkan gambar 18. Gulungan primer terdiri dari ratusan gulungan kawat. Di atas koil ini digulung ribuan gulungan kawat sebagai gulungan sekunder. Salah satu ujung koil dihubungkan dengan baterai. Gulungan sekunder dihubungkan dengan *distributor* (untuk mesin banyak silinder) dan selanjutnya dihubungkan ke elektroda busi. Kondenser dipasang di kedua ujung *breaker* (atau platina) dengan tujuan:

1. Mencegah loncatan api pada kontak platina.
2. Memberikan pemutusan yang lebih cepat pada arus primer, dan memberikan tegangan yang lebih tinggi pada gulungan sekunder.

Ketika arus melalui gulungan primer, akan timbul medan magnetik yang menutupi gulungan primer dan sekunder. Ketika switch *on*, *breaker* menghubungkan kedua ujungnya. Medan magnetik akan cenderung naik dari nol ke maksimum. Karena kenaikan medan magnetik, tegangan dibangkitkan di kedua gulungan, tetapi dengan arah yang berlawanan dengan tegangan dari baterai. Karenanya gulungan primer belum memberikan harga final. Tegangan pada gulungan sekunder karenanya belum cukup untuk mengatasi hambatan udara pada celah busi, sehingga tidak terjadi loncatan api.

Ketika arus pada gulungan primer diputus, medan magnetik yang timbul disekitar koil hilang seketika. Variasi fluks yang tiba-tiba memberikan kenaikan tegangan pada setiap gulungan. Karena jumlah gulungan pada bagian sekunder sangat banyak, sehingga tegangan yang timbul juga

tinggi, yaitu di sekitar 6000 hingga 10000 volt. Tegangan ini cukup untuk memberikan loncatan api pada busi.

2. Sistem penyalaaan magnet.

Sistem penyalaaan magnet mempunyai prinsip kerja yang sama dengan sistem penyalaaan koil, kecuali tidak diperlukan baterai, karena magnet berlaku sebagai *generator* tegangan. Arus yang dihasilkan magnet mengalir ke koil induksi yang cara kerjanya sama dengan sistem penyalaaan koil. Arus tegangan tinggi kemudian dialirkan ke distributor, yang disambungkan ke busi.

3. Sistem penyalaaan Elektronik

Perbedaan dengan sistem penyalaaan platina adalah pada sirkuit primernya. Pada sistem platina, kontak pemutus membuka dan menutup sirkuit primer, sedangkan pada sistem elektronik, *Electronic Control Unit* (ECU) yang membuka dan menutup sirkuit primer. Untuk sirkuit sekunder hanya mempunyai sedikit perbedaan terutama tegangan yang dihasilkan sistem penyalaaan elektronik mencapai 47000 V.

Sistem Pendinginan

Karena pembakaran bahan bakar terjadi di dalam mesin pada mesin pembakaran dalam, maka selalu dibangkitkan panas. Didapati bahwa sekitar 30% dari panas yang dibangkitkan yang dirubah ke kerja mekanik. 40% dibawa oleh gas buang ke atmosfer dan sisanya sekitar 30% terserap ke silinder mesin, piston, kepala silinder, katup mesin dll. Juga ditemukan bahwa pemanasan yang berlebihan pada komponen-komponen ini akan menyebabkan efek-efek berikut ini:

1. Pemanasan berlebihan (*overheating*) akan menyebabkan tegangan termal pada komponen mesin, yang akan membuatnya cacat.
2. Pemanasan berlebihan akan menurunkan kekuatan piston. Pemanasan berlebihan bahkan bisa menyebabkan piston pecah.
3. Pemanasan berlebihan bisa menyebabkan penguraian minyak pelumas, yang bisa menyebabkan penumpukan karbon pada mesin dan kepala piston.
4. Pemanasan berlebihan bisa menyebabkan katup dan dudukan katup terbakar.
5. Pemanasan berlebihan bisa mengurangi efisiensi volumetrik mesin.
6. Pemanasan berlebihan bisa meningkatkan tendensi detonasi.

Untuk mencegah efek yang merugikan karena pemanasan berlebihan, penting untuk memberikan sistem pelumasan pada mesin. Secara umum, sistem pendinginan yang diberikan harus mempunyai dua karakteristik supaya kerja mesin efisien:

1. Harus bisa membuang sekitar 30% dari total panas yang dihasilkan di ruang bakar. Dari pengalaman, bahwa pembuangan panas lebih dari 30% akan menurunkan efisiensi termal mesin, dan pembuangan panas kurang dari 30% akan memberikan efek yang merugikan seperti yang disebutkan di atas.
2. Harus bisa membuang panas dengan laju cepat, ketika mesin panas. Tetapi ketika mesin baru dihidupkan, pendinginan harus pelan, sehingga berbagai komponen mesin mendapatkan temperatur kerja pada waktu yang pendek.

Ada dua jenis sistem pendinginan yang banyak digunakan saat ini:

1. *Sistem pendinginan udara.*

Sistem pendinginan udara digunakan pada mesin sepeda motor, sekuter, pesawat terbang dan instalasi stasioner lainnya. Pada negara-negara yang beriklim dingin, sistem ini juga digunakan pada mobil. Pada sistem ini, panas dibuang langsung ke atmosfer dengan cara konduksi melalui dinding silinder. Untuk meningkatkan laju pendinginan, daerah permukaan luar silinder dan kepala silinder ditingkatkan dengan membuat sirip dan flensa radiasi. Pada unit yang lebih besar, kipas angin dipasang untuk mensirkulasikan udara sekeliling dinding silinder dan kepala silinder.

2. *Sistem pendinginan air.*

Sistem pendinginan air digunakan pada mesin mobil, bus, truk dsb. Pada sistem ini, air disirkulasikan melalui jaket air sekeliling masing-masing ruang bakar, silinder, dudukan katup dan tangkai katup. Air dijaga terus bergerak dengan menggunakan pompa sentrifugal yang digerakkan dengan tali kipas dari puli pada poros engkol. Setelah melewati jaket didalam blok dan kepala silinder, air masuk ke radiator. Didalam radiator, air didinginkan dengan udara yang ditarik oleh kipas. Setelah melalui radiator, air dibuang dan masuk ke pompa air. Air kembali disirkulasikan ke jaket mesin.

Perbandingan Antara Sistem Pendinginan Udara dengan Sistem Pendinginan Air

Berikut ini adalah hal-hal penting mengenai perbandingan antara sistem pendinginan udara dan pendinginan air.

No.	Sistem pendinginan udara	Sistem pendinginan air
1.	Desain sistem sederhana dan biaya rendah.	Desain sistem ini rumit dan biaya lebih tinggi.
2.	Berat sistem pendinginan (per hp mesin) lebih kecil.	Berat sistem pendinginan (per daya kuda mesin) lebih berat.
3.	Konsumsi bahan bakar (per hp mesin) lebih besar.	Konsumsi bahan bakar (per hp mesin) lebih sedikit.
4.	Instalasi dan perawatan mudah dan biayanya rendah.	Instalasinya dan perawatan sulit dan biaya lebih tinggi.
5.	Tidak ada bahaya kebocoran dan pembekuan cairan pendingin.	Ada bahaya kebocoran atau pembekuan cairan pendingin.
6.	Pendinginan bekerja dengan lancar dan kontinyu. Tidak bergantung pada cairan pendingin.	Jika sistem gagal, bisa menimbulkan kerusakan yang serius pada mesin dalam waktu yang singkat.

Pelumasan Mesin

Komponen yang bergerak pada mesin akan mengalami aus karena gesekan satu sama lainnya. Untuk mencegah keausan dini, pelumasan yang sesuai diperlukan. Pada umumnya, berikut ini adalah keuntungan-keuntungan utama pelumasan mesin pembakaran dalam.

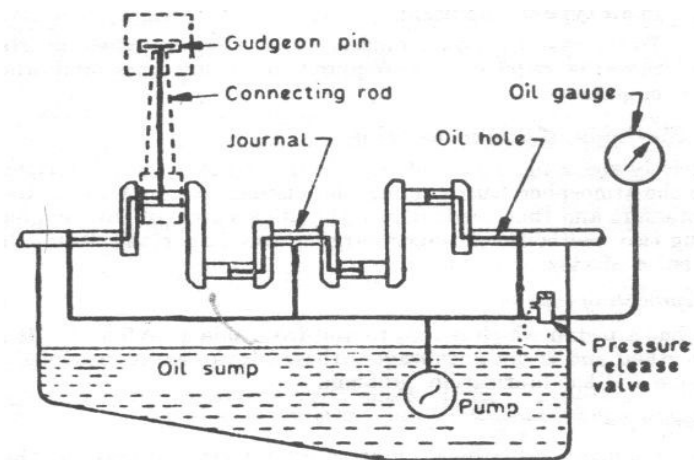
1. Mengurangi keausan komponen-komponen yang bergerak.
2. Meredam getaran mesin.

3. Mengambil panas yang diakibatkan oleh gesekan komponen-komponen.
4. Membersihkan komponen-komponen yang bergerak.
5. Memberikan kekedapan pada piston.

Berikut ini adalah dua jenis sistem pelumasan yang penting pada mesin pembakaran dalam.

1. *Splash lubrication. (pelumasan percikan).*

Cara ini biasanya digunakan untuk pelumasan mesin ukuran kecil. Pada metode ini, minyak pelumas ditampung di dasar poros engkol dan pompa dicelupkan ke dalam minyak seperti yang ditunjukkan gambar 7. Lubang kecil dibuat di dalam poros engkol dan minyak dialirkan pada lobang ini ke bantalan. Minyak juga dialirkan ke tangkai penghubung melalui lobang di dalam tangkai atau dengan pipa tembaga pendek ke pena gudgeon dan piston.



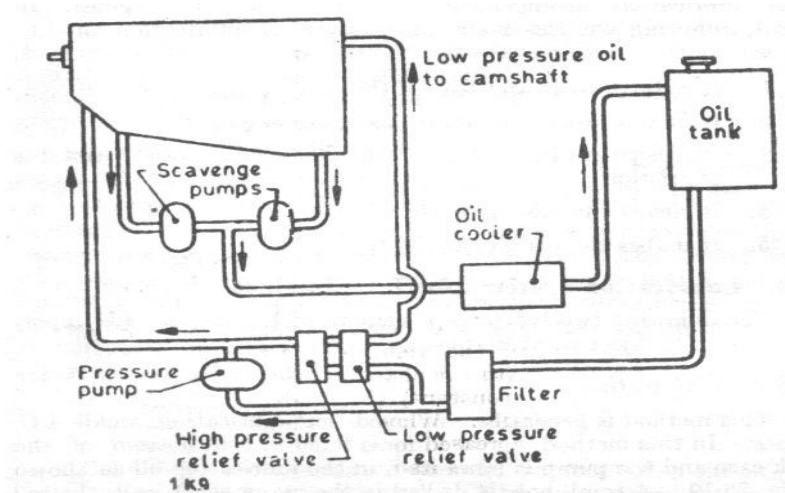
Gambar 7. Pelumasan Splash.

Kelebihan minyak dibuang dalam bentuk sprai/semburan dari bantalan karena gaya sentrifugal. Kelebihan minyak akan melumasi nok, tangkai katup dsb. Keseluruhan minyak dibuang kembali ke bak penampung.

2. *Pelumasan paksa.*

Pada metode ini, minyak pelumas ditampung pada tangki terpisah dan dipompa dengan tekanan tinggi ke bantalan utama. Minyak akan melewati poros nok dan roda gigi timing pada tekanan yang lebih

rendah. Minyak pelumas dipompa kembali ke tangki melalui pendingin minyak dengan pompa scavenge.



Gambar 8.

Unjuk Kerja Mesin Pembakaran Dalam

A. Daya Indikated

Daya kuda indikated (IHP) adalah daya yang dihasilkan oleh silinder mesin.

$$IHP = \frac{Tp_m LAN}{4500} \text{ hp atau}$$

dalam SI:
$$IHP = \frac{100.T.p_m LAN}{60} \text{ kW}$$

dimana : p_m = tekanan efektif rata-rata aktual, kg/cm^2 (SI: bar)

L = panjang langkah, m

A = luas penampang piston, cm^2 (SI: m^2)

n = kecepatan mesin, rpm

$N = n$: untuk siklus dua langkah

$N = n/2$: untuk siklus empat langkah

T = jumlah silinder

Contoh soal

Sebuah mesin bensin satu silinder dua langkah menghasilkan daya indikated sebesar 5,0 hp. Carilah kecepatan piston rata-rata, jika tekanan efektif rata-rata adalah 6,5 kg/cm² dan diameter piston 100 mm.

Jawab

Diketahui: $IHP = 5,0$ hp

$$p_m = 6,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{diameter piston} = 100 \text{ mm} = 10 \text{ cm}$$

Luas penampang piston:

$$A = \frac{\pi}{4} \times 10^2 = 25\pi \text{ cm}^2$$

Kecepatan rata-rata mesin = $2LN$

Jumlah langkah kerja permenit:

$$= N \text{ (karena mesin bekerja pada siklus dua langkah)}$$

Dengan menggunakan persamaan:

$$IHP = \frac{p_m \cdot LAN}{4500}$$

$$5 = \frac{6,5 \times 25\pi (2LN)}{2 \times 4500} = 0,0567(2LN)$$

$$2LN = 88,2 \text{ m/s}$$

Daya Kuda Brake (daya rem)

Daya kuda brake adalah daya yang tersedia pada poros engkol.

A Proney Brake

Dirumuskan :

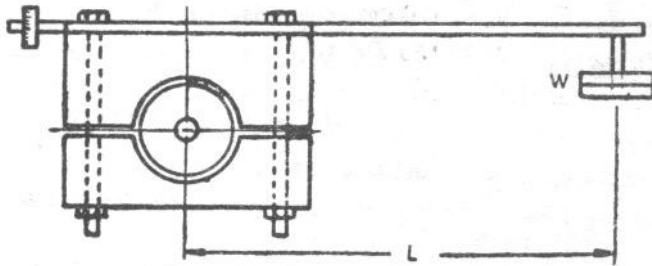
$$BHP = \frac{Wl2\pi N}{4500} \text{ hp atau}$$

$$BHP = Wl2\pi N \text{ watt}$$

dimana : W = beban brake/rem, kg

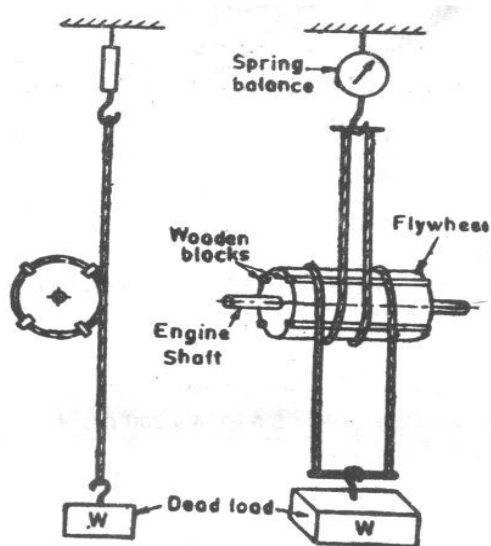
l = panjang lengan, m

N = kecepatan mesin, rpm



Gambar 10. Rem Proney.

B. Rope Brake



Gambar 11. dinamometer rope brake.

Dirumuskan :

$$BHP = \frac{(W - S) \pi DN}{4500} \quad \text{hp}$$

$$BHP = \frac{(W - S) \pi (D + d) N}{4500} \quad \text{hp (dengan memperhitungkan diameter tali)}$$

$$BHP = (W - S) \pi DN \quad \text{watt}$$

dimana : W = beban , kg

S = pembacaan pegas, kg

D = diameter drum brake, m

d = diameter tali, m

N = rpm mesin

Contoh soal

Data-data berikut diambil selama pengujian mesin.

Kecepatan mesin 1000 rpm; beban brake/rem 100 kg; dan panjang lengan rem 75 cm.

Carilah: (i) Torsi rem; (ii) BHP mesin.

Jawab

Diketahui: $N = 1000$ rpm

beban rem, $W = 100$ kg

$l = 75$ cm = 0,75 m

(i) Torsi Rem:

Torsi rem = $Wl = 100 \times 0,75 = 75$ kg-m

(ii) BHP mesin:

Dengan menggunakan persamaan:

$$BHP = \frac{Wl \times 2 \pi N}{4500}$$

$$= \frac{100 \times 0,75 \times 2 \pi \times 1000}{4500}$$

$$= 104,7 \text{ hp}$$

B. Efisiensi mesin pembakaran dalam

1. Efisiensi Mekanik:

Adalah rasio daya kuda brake terhadap daya kuda indikated :

$$\eta_m = \frac{BHP}{IHP}$$

2. Efisiensi keseluruhan :

Adalah rasio kerja yang didapatkan pada poros engkol terhadap energi yang diberikan pada waktu yang sama.

$$\eta_o = \frac{BHP \times 4500}{\text{k calor yang diberikan} \times J}$$

dimana : J = ekivalen kalor mekanik.

3. Efisiensi termal indikated :

Adalah rasio kalor ekivalen satu hp terhadap kalor bahan bakar per IHP jam.

$$\eta_t = \frac{632,3 \times IHP}{W \times C}$$

$$\eta_t = \frac{3600 \times IHP}{W \times C} \quad (\text{dalam SI})$$

dimana : W = berat bahan bakar yang dikonsumsi per jam

C = nilai kalor bahan bakar

4. *Efisiensi termal brake :*

Adalah rasio kalor ekivalen 1 hp terhadap kalor bahan bakar per BHP jam.

$$\eta_b = \frac{632,3 \times BHP}{W \times C}$$

$$\eta_b = \frac{3600 \times BHP}{W \times C} \quad (\text{dalam SI})$$

5. *Efisiensi Volumetrik :*

Adalah : rasio volume aktual udara yang dihisap selama langkah hisap pada kondisi NTP (Normal Temperature and Pressure : yaitu temperatur 0 °C dan tekanan $1,03 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$) terhadap volume langkah piston.

$$\eta_v = \frac{v_a}{v_s}$$

Contoh soal

Sebuah mesin gas mempunyai piston dengan diameter 150 mm, panjang langkah 400 mm dan tekanan efektif rata-rata 5,5 bar. Mesin menghasilkan 120 ledakan per menit. Carilah efisiensi mekanik mesin jika BHPnya 5 kW.

Jawab

Diketahui: $D = 150 \text{ mm} = 0,15 \text{ m}$

$$A = \frac{\pi}{4} \times (0,15)^2 = 0,0177 \text{ m}^2$$

$$L = 400 \text{ mm} = 0,4 \text{ m}$$

$$p_m = 5,5 \text{ bar}$$

Ledakan per menit, $N = 120$

$$IHP = \frac{100 p_m L A N}{60}$$

$$= \frac{100 \times 5,5 \times 0,4 \times 0,0177 \times 120}{60} = 7,79 \text{ kW}$$

Efisiensi mekanik:

$$\eta_m = \frac{BHP}{IHP} = \frac{5}{7,79} = 0,642 = 64,2 \%$$

Contoh soal

Diameter dan panjang langkah suatu mesin gas dua langkah satu silinder yang bekerja pada siklus volume konstan masing-masing adalah 200 mm dan 300 mm dengan volume clearance 2,75 liter. Ketika mesin berjalan pada 135 rpm, tekanan efektif rata-rata indikated adalah 5,2 bar dan konsumsi gas 8,8 m³/jam. Jika nilai kalor gas yang digunakan adalah 16.350 kJ/m³, carilah: (i) efisiensi standar udara; (ii) daya indikated yang dihasilkan mesin; (iii) efisiensi termal indikated mesin.

Jawab

Diketahui: diameter silinder = 200 mm = 0,2 m

$$\text{Luas penampang: } A = \frac{\pi}{4} \times (0,2)^2 = 0,0314 \text{ m}^2$$

$$L = 300 \text{ mm} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Volume langkah} = A.L = 0,0314 \times 0,3 = 0,00942 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume clearance} = 2,78 \text{ liter} = 0,00278 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume total silinder} = 0,00942 + 0,00278 = 0,0122 \text{ m}^3$$

$$\text{rasio kompresi, } r = \frac{0,0122}{0,00278} = 4,4$$

kecepatan mesin = 135 rpm

maka jumlah langkah kerja per menit:

$$N = 135 \text{ rpm (mesin bekerja pada siklus dua langkah)}$$

$$p_m = 5,2 \text{ bar}$$

konsumsi gas, $W = 8,8 \text{ m}^3/\text{jam}$

Nilai kalor gas, $C = 16.350 \text{ kJ/m}^3$,

(i) efisiensi standar udara

$$\begin{aligned}\eta_{ase} &= 1 - \frac{1}{r^{y-1}} = 1 - \frac{1}{(4,4)^{1,4-1}} = 1 - \frac{1}{(4,4)^{0,4}} \\ &= 0,448 = 44,8 \%\end{aligned}$$

(ii) daya indikated yang dihasilkan mesin

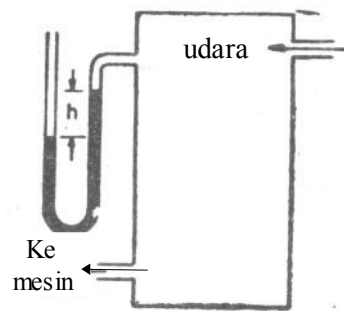
$$\begin{aligned}IHP &= \frac{100 \times p_m \times L \times AN}{60} \\ &= \frac{100 \times 5,2 \times 0,3 \times 0,0314 \times 135}{60} \\ &= 11,0 \text{ kW}\end{aligned}$$

(iii) efisiensi termal indikated mesin

$$\begin{aligned}\eta_i &= \frac{3600 \times IHP}{W \times C} \\ &= \frac{3600 \times 11,0}{8,8 \times 16350} = 0,275 = 27,5 \%\end{aligned}$$

Konsumsi Udara

Suplai udara ke mesin pembakaran dalam bisa diukur secara eksperimen dengan cara melewatkan udara melalui *orifice* ke tangki besar (volume tangki 500 kali lebih besar dari volume langkah mesin). Udara kemudian dialirkan ke mesin.



Gambar 12. Konsumsi udara.

Jika: a = luas orifice, m^2

C_d = koefisien hantar orifice

H = head yang menyebabkan aliran udara melalui orifice, meter udara

m = berat udara per m^2 pada kondisi atmosfer

w = berat air = 1000 kg/m^3

= 1 gr/cm^3

h = perbedaan tekanan pada tabung U, dalam cm air

Head yang menyebabkan air mengalir melalui orifice:

$$H = \frac{h}{100} \times \frac{w}{m} \quad \text{meter udara}$$

Kecepatan udara:

$$V = \sqrt{2gH} \quad \text{m/s}$$

Jumlah udara yang melalui orifice:

$$Q = C_d \cdot a \cdot V = C_d \cdot a \cdot \sqrt{2gH} \quad \text{m}^3/\text{s}$$

Dengan menganggap volume udara atmosfer pada $p \text{ kg/cm}^2$ dan temperatur atmosfer $T^\circ\text{K}$, menggunakan persamaan karakteristik gas:

$$pv = mRT$$

$$m = \frac{pv}{RT} = \frac{p}{RT} \quad \text{kg/m}^3$$

Berat udara yang disuplai:

$$W = Q \times m = C_d \cdot a \cdot \sqrt{2gh} \times \frac{\rho}{RT} \quad \text{kg}$$

Contoh soal

Data berikut diambil selama pengujian mesin pembakaran dalam 4 langkah satu silinder:

kecepatan mesin : 300 rpm

diameter orifice pada angki udara: 20 mm

tekanan yang menyebabkan aliran udara melalui orifice: 100 mm air

Carilah jumlah udara yang dikonsumsi per detik, jika berat udara pada kondisi atmosfer 1,15 kg/m³. Ambil koefisien hantar orifice 0,7.

Jawab

Diketahui: kecepatan mesin = 300 rpm

diameter orifice = 20 mm = 2 cm

luas penampang orifice:

$$a = \frac{\pi}{4} \times 2^2 = 3,142 \quad \text{cm}^2 = 3,142 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

tekanan yang menyebabkan udara mengalir:

$$h = 100 \text{ mm} = 10 \text{ cm air}$$

berat udara pada kondisi atmosfer: $m = 1,15 \text{ kg/m}^3$

Koefisien hantar orifice: $C_d = 0,7$

Head yang menyebabkan aliran udara:

$$H = \frac{h}{100} \times \frac{w}{m} = \frac{10}{100} \times \frac{1000}{1,15}$$

$$= 86,96 \text{ m udara}$$

Kecepatan aliran udara:

$$V = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \times 9,81 \times 86,96}$$

$$= 41,3 \text{ m/s}$$

Jumlah udara yang mengalir:

$$Q = C_d \cdot a \cdot V = 0,7 \times (3,142 \times 10^{-4}) \times 41,3$$

$$= 0,091 \text{ m}^3/\text{s}$$

Lembar Kesetimbangan Kalor

Catatan lengkap dari kalor yang disuplai atau dibuang selama waktu tertentu (misalkan satu menit) dari mesin pembakaran dalam dimasukkan kedalam sebuah tabel yang disebut *lembar kesetimbangan kalor*. Harga-harga berikut diperlukan untuk melengkapi lembar kesetimbangan kalor dari sebuah mesin pembakaran dalam:

1. Kalor yang diberikan oleh bahan bakar

Misalkan W = berat bahan bakar yang disuplai, kg.min

C = nilai kalor rendah dari bahan bakar, kcal/kg

Kalor yang diberikan oleh bahan bakar:

$$= W \times C \text{ kcal/min}$$

2. Kalor yang diserap untuk menghasilkan IHP

$$IHP = \frac{p_m \cdot LAN}{4500} \text{ hp}$$

Kalor yang diserap oleh IHP:

$$= \frac{IHP \times 4500}{J} \text{ kcal/min}$$

J = ekivalen mekanik untuk kalor.

3. Kalor yang dilepaskan ke air pendinginan

Berat air pendingin yang bersirkulasi pada silinder, diukur temperatur masuk dan keluar untuk menentukan kalor yang dilepaskan ke air pendingin.

Misalkan w = berat air pendingin yang diberikan, kg/min

t_1 = temperatur masuk

t_2 = temperatur keluar

Kalor yang dilepaskan ke air pendingin:

$$= w (t_2 - t_1) \text{ kcal/min}$$

4. Kalor yang dibuang oleh gas buang

Berat gas pembuangan bisa diperoleh dengan menambahkan berat bahan bakar dan berat udara.

Misalkan W_1 = berat gas buang, kg/min

s = kalor spesifik gas buang

t = kenaikan temperatur

Kalor yang dibawa oleh gas buang:

$$= W_1 \times s \times t \text{ kcal/min}$$

5. Kalor yang tak terhitung

Selalu ada kerugian karena gesekan, kebocoran, radiasi dan sebagainya yang tidak bisa diukur secara eksperimen. Untuk melengkapinya lembar kesetimbangan kalor, kerugian ini dicari dari perbedaan antara kalor yang diberikan dengan kalor yang diserap oleh IHP, air pendinginan dan gas buang.

Akhirnya, lembar kesetimbangan kalor dibuat seperti berikut ini:

No.	Uraian	Kalor dalam	
		kcal	%
	Kalor total yang diberikan	.....	100
1	Kalor yang diserap IHP	.....	.....
2	Kalor yang dilepaskan ke air pendinginan	.....	.....
3	Kalor yang dibuang oleh gas buang	.....	.....
4	Kalor yang tak terhitung	.....	.....

Contoh soal

Sebuah mesin pembakaran dalam menggunakan 6 kg bahan bakar yang mempunyai nilai kalor 10.500 kcal/kg dalam satu jam. IHP yang dihasilkan adalah 25 hp. Temperatur 11,5 kg air pendingin naik sebesar 25^o C per menit. Temperatur 4,2 kg gas buang dengan kalor spesifik 0,24 meningkat hingga 220^o C. Buatlah lembar kesetimbangan kalor dari mesin ini.

Jawab

Diketahui: $W = 6 \text{ kg/h}$

$$C = 10.500 \text{ kcal/kg}$$

$$\text{IHP} = 25 \text{ hp}$$

$$w = 11,5 \text{ kg}$$

$$(t_2 - t_1) = 25^\circ \text{ C}$$

$$W_1 = 4,2 \text{ kg}$$

$$s = 0,24$$

$$t = 220^\circ \text{ C}$$

Kalor yang disuplai bahan bakar:

$$= W \times C = \frac{6 \times 10500}{60} = 1050 \text{ kcal/min}$$

Kalor yang diserap oleh daya IHP:

$$= \frac{\text{IHP} \times 4500}{J} = \frac{25 \times 4500}{427}$$

$$= 263,5 \text{ kcal/min}$$

Kalor yang dilepas ke air pendingin:

$$= w (t_2 - t_1) = 11,5 \times 25 = 287,5 \text{ kcal/min}$$

Kalor yang hilang pada gas buang:

$$= W_1 \times s \times t = 4,2 \times 0,24 \times 220$$

$$= 221,8 \text{ kcal/min}$$

Kalor yang tak terhitung:

$$= 1050 - (263,5 + 287,5 + 221,8)$$

$$= 277,2 \text{ kcal/min}$$

Lembar kesetimbangan kalornya:

No.	Uraian	Kalor dalam	
		kcal	%
	Kalor total yang diberikan	1050	100
1	Kalor yang diserap IHP	263,5	25,1
2	Kalor yang dilepaskan ke air pendinginan	287,5	27,4
3	Kalor yang dibuang oleh gas buang	221,8	21,1
4	Kalor yang tak terhitung	277,2	26,4

Soal-soal

1. Apakah perbedaan antara mesin pembakaran dalam dengan mesin pembakaran luar.
2. Bagaimana mesin pembakaran dalam diklasifikasikan.
3. Apa yang anda ketahui tentang mesin siklus empat langkah dan mesin siklus dua langkah.
4. Apa perbedaan antara mesin diesel dengan mesin bensin.
5. Mesin pembakaran dalam siklus dua langkah mempunyai tekanan efektif rata-rata 6 kg/cm^2 . Kecepatan mesin adalah 1000 rpm. Jika diameter torak adalah 11 cm dan panjang langkah adalah 14 cm, carilah IHP yang dihasilkan.
6. Mesin bensin empat silinder bekerja dengan tekanan efektif rata-rata 5 bar dan kecepatan mesin 1250 rpm. Carilah daya indikated yang dihasilkan mesin, jika diameter torak 100 mm dan panjang langkah 150 mm.
7. Pada eksperimen laboratorium, pengamatan berikut dicatat selama pengujian mesin gas silinder satu:
Diameter silinder 10 cm, Langkah 18 cm, tekanan efektif rata-rata $6,5 \text{ kg/cm}^2$, jumlah pembakaran/min 250 dan BHP 4,5. Carilah:
 - a. IHP.
 - b. Efisiensi mekanik.

