

Mesin-mesin Pembakaran Dalam

(Internal Combustion Engines)

Sutoyo

Versi bahasa Indonesia



Bagian 1. Dasar Mesin Bensin dan Mesin Diesel

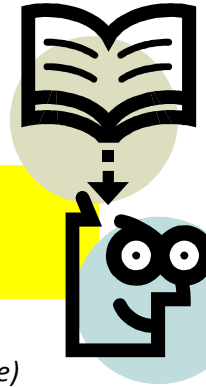
(Basic of Gasoline engine and Diesel engine)



Program Studi Mesin Otomotif

Universitas Muhammadiyah Magelang

2011



Internal Combustion Engines

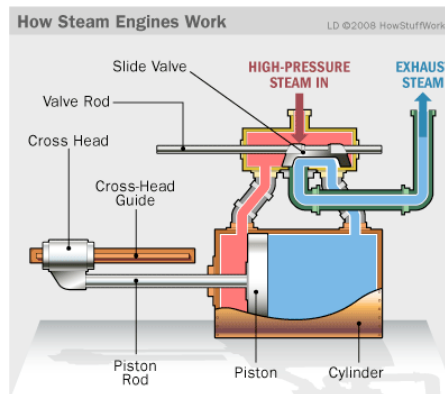
Mesin-mesin Pembakaran Dalam

1. Klasifikasi Motor Bakar (Classification of combustion engine)

a. Ditinjau dari lokasi pembakarannya :

1). Mesin Pembakaran luar (External Combustion Engine)

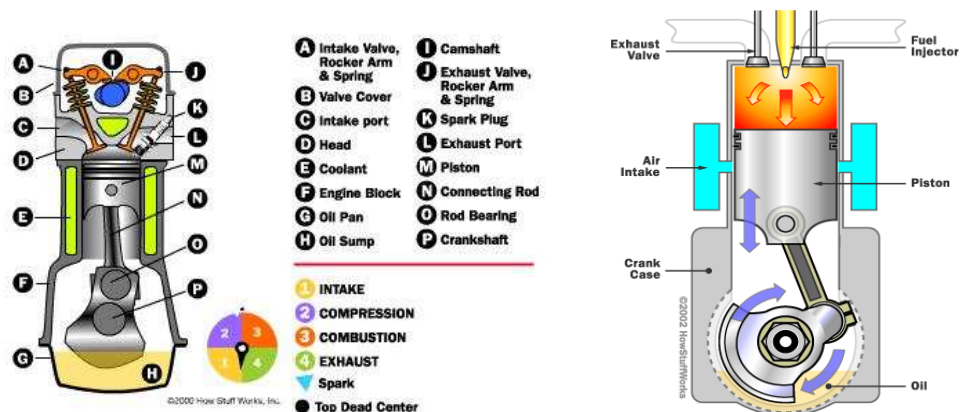
Proses pembakaran pada jenis mesin ini terjadi diluar mesin, misal : mesin uap (lihat gambar 1.a1.)



Gb. 1.a1.

2). Mesin Pembakaran Dalam (Internal Combustion Engine)

Proses pembakaran pada jenis mesin ini berlangsung didalam mesin, misal: (a) motor bensin dan (b) motor diesel (lihat gambar 1.a2.)



Gb. 1.a2.

(a)

(b)

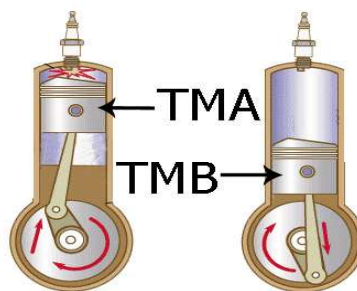
b. Ditinjau dari gerakan :

1). Gerak Bolak Balik (motor torak/ piston)

Pada motor atau mesin dengan menggunakan piston terjadi perubahan dari gerak translasi piston menjadi gerak rotasi pada poros engkol, dimana kedua komponen tersebut dihubungkan melalui

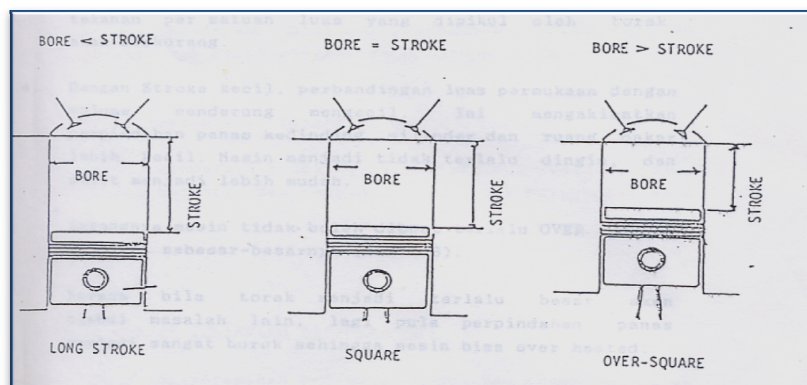
sebuah batang piston. Mesin bensin dan diesel adalah contoh mesin dengan gerakan bolak balik (lihat Gb. 1.a2.).

Perlu dimengerti bahwa ada beberapa istilah penting berkaitan dengan piston dan silinder. Pada saat bergerak piston akan sampai pada posisi paling atas dalam arti paling jauh dari poros engkol dan disebut dengan Titik Mati Atas (TMA) atau *Top Death Center (TDC)*, sedangkan posisi paling bawah adalah Titik Mati Bawah (TMB) atau *Bottom Death Center (BDC)* seperti terlihat pada gambar 1.b1.1. di bawah ini.



Gb. 1.b1.1.

Jarak antara TMA ke TMB disebut langkah piston (L) atau *Stroke (S)*, dan panjang langkah ini ada kaitannya dengan diameter silinder (*bore*). Jika sebuah mesin memiliki *bore* lebih kecil dari *stroke* maka dikenal dengan mesin *long stroke*, sebaliknya jika *stroke* lebih kecil dari *bore* maka disebut dengan *over square*. Mesin dengan *bore* sama dengan *stroke* disebut mesin *square*. (lihat gambar 1.b1.2.)



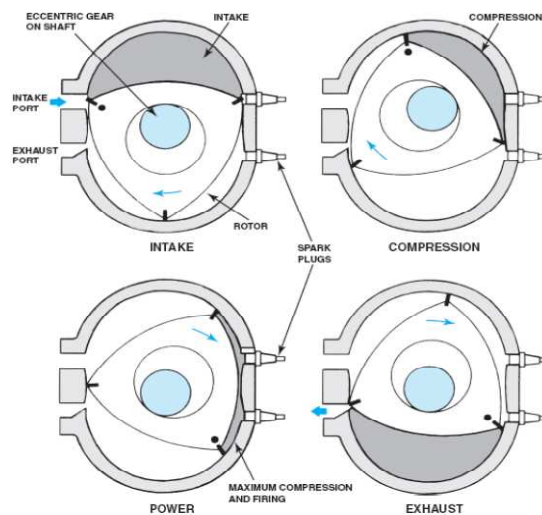
Gb. 1.b1.2.

Pada mesin piston terjadi langkah-langkah untuk menghasilkan setiap kerja. Langkah tersebut secara umum adalah pemasukan bahan bakar dan udara (mesin bensin) atau udara saja (mesin diesel) ke dalam silinder dengan gerakan piston turun ke TMB (syarat : saluran masuk ke silinder membuka), lalu dikompresikan oleh piston yang

bergerak menuju TMA ke ruang bakar untuk kemudian dilakukan pembakaran dengan api busi (mesin bensin) atau penyemprotan bahan bakar dan kompresi tinggi (mesin diesel) dengan syarat : semua saluran tertutup. Pembakaran akan diikuti kenaikan temperatur (T) yang menyebabkan naiknya tekanan (P) cukup besar dalam silinder. Tekanan tersebut yang mendorong piston kembali ke arah TMB dengan tenaga yang cukup besar dan disebut sebagai langkah usaha. Kecenderungan poros engkol untuk tetap berotasi akan menyebabkan piston kembali ke arah TMA, dimana kondisi ini dimanfaatkan untuk mengeluarkan gas bekas pembakaran dari dalam silinder (syarat : saluran buang membuka).

2). Gerak Putar (motor wankel)

Pada motor atau mesin wankel tidak terjadi perubahan gerak translasi ke rotasi karena konstruksi mesin ini telah dirancang dengan gerakan rotor menyerupai segitiga dan bergerak memutar. Dalam buku ini tidak ada pembahasan detail tentang motor wankel karena jarang ditemui dalam penggunaan masa kini. Gambar 1.b2. akan menjelaskan prinsip kerja mesin wankel.



Gb. 1.b2.

Pada awalnya terjadi langkah pemasukan (ntake) bahan bakar dan udara ke ruang bakar yang berupa cekungan pada rotor, kemudian oleh karena rotor berputar searah jarum jam dan bentuk lintasan yang elips maka terjadilah penyempitan ruang antara rotor dan rumahnya (langkah kompresi). Kompresi dilanjutkan dengan pembakaran yang diikuti langkah usaha (power) dan diakhiri langkah buang (exhaust).

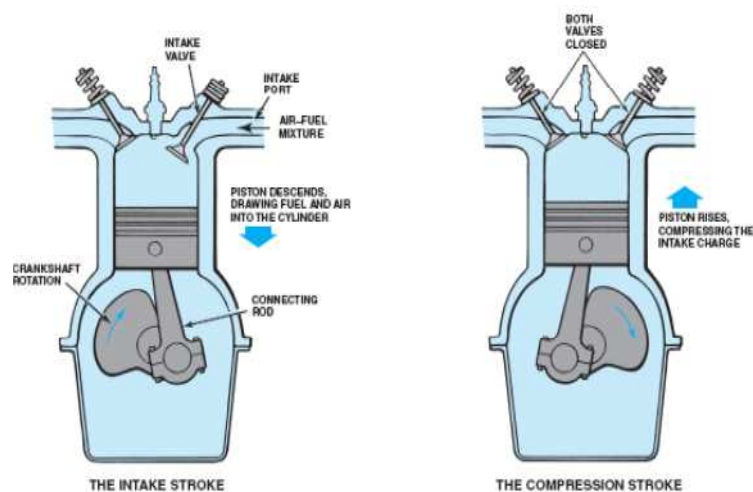
a. Ditinjau dari Siklusnya :

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa sebuah mesin/ motor bakar akan mengalami tahap-tahap dalam proses perubahan energi. Secara prinsip perubahan energi itu hanya dilihat dari awal berupa energi kimia (bahan bakar dan udara) diubah ke energi thermal (pembakaran) kemudian menjadi energi mekanik (komponen mesin). Sebenarnya jika dilihat pada kondisi sebenarnya, sebuah mesin itu berawal dengan diputar untuk mengawali proses tersebut. Langkah memutar mesin ini dilakukan secara manual menggunakan tuas pemutar maupun secara otomatis (starter).

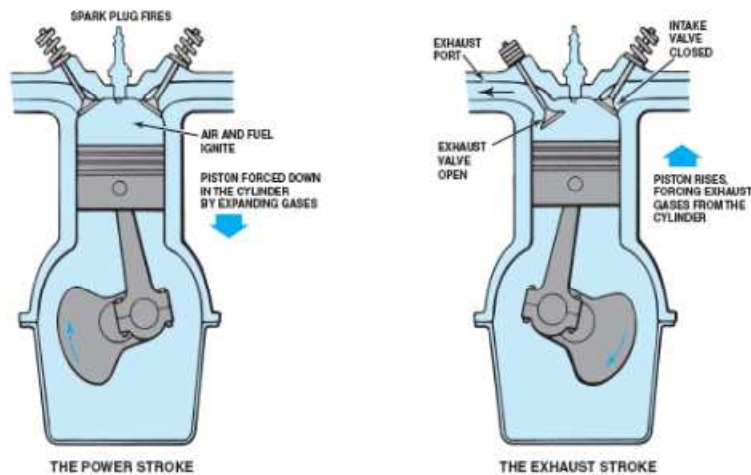
Proses perubahan energi yang terjadi pada motor bakar tersebut terjadi seiring dengan gerakan mekanis pada mesin itu sendiri. Gerakan mekanis ini merupakan tahapan untuk mencapai sebuah perubahan energi, dimana tahapan tersebut adalah ;**1) pemasukan, 2) kompresi, 3) pembakaran (usaha), dan 4) buang**. Ke empat tahap tersebut akan terus berulang-ulang sehingga menghasilkan usaha yang terus menerus selama mesin bekerja. Dalam hal ini dapat dikatakan sebuah mesin memiliki siklus kerja, dimana satu siklus memuat empat langkah tersebut di atas.

1). Mesin 4 tak

Mesin/ motor **4 tak** disebut juga **mesin 4 langkah** (*four-stroke engine*). Pada mesin ini satu siklus terdapat **4 kali langkah piston** , 2 ke atas dan 2 ke bawah (lihat gambar 1.c1.a dan b). Sehingga dalam satu siklusnya tercapai dalam 2 putaran poros engkol.



Gb. 1.c1.a.



Gb. 1.c1.b.

Mesin 4 tak memiliki ciri khas menggunakan katup masuk (*inlet valve*) dan katup buang (*exhaust valve*) untuk mendukung siklus kerjanya. Prinsip mesin ini digunakan pada mesin bensin dan mesin diesel. Langkah – langkah piston dalam mesin 4 tak dapat dijelaskan secara bertahap adalah sebagai berikut;

- a) Piston bergerak dari TMA ke arah TMB, pada tahap ini kondisi katup masuk terbuka sedangkan katup buang tertutup. Dengan demikian terjadi hisapan terhadap saluran masuk oleh gerakan piston tersebut sehingga ada fluida yang memasuki silinder mesin. Fluida ini dalam **mesin bensin berupa campuran bahan bakar dan udara**, sedangkan untuk **mesin diesel hanya udara** yang dihisap masuk ke silinder mesin. Peristiwa ini dikenal sebagai “**langkah pemasukan**” (*intake stroke*).
- b) Piston bergerak dari TMB ke arah TMA, pada tahap ini kondisi kedua katup tertutup. Terjadilah kompresi di dalam silinder mesin, sehingga fluida yang awalnya terhisap mengalami **kenaikan tekanan dan temperatur**. Pada mesin bensin naiknya temperatur ini tidak boleh terlalu tinggi supaya bahan bakar tidak menyala dengan sendirinya. Peristiwa ini dikenal sebagai “**langkah kompresi**” (*compression stroke*).
- c) Pada akhir langkah kompresi, yaitu beberapa derajat **sebelum** piston sampai di TMA maka untuk **mesin bensin** diberikan **percikan api listrik dari busi sehingga membakar campuran bahan bakar dan udara**. Sedangkan **mesin diesel** yang memiliki

nilai suhu kompresi sangat tinggi mampu membakar bahan bakar yang disemprotkan ke dalam silinder pada waktu piston beberapa derajat sebelum mencapai TMA. Antara mesin bensin dan diesel memiliki kesamaan waktu pembakaran (*ignition timing*) yaitu sebelum piston mencapai TMA, hal ini beralasan karena **proses pembakaran itu memerlukan waktu**. Seperti dijelaskan sebelumnya pembakaran ini akan menghasilkan tekanan tinggi dalam silinder dan mendorong piston ke arah TMB, pada tahap ini kedua katup masih tertutup. Peristiwa ini dikenal sebagai “**langkah usaha**” (*power stroke*).

- d) Langkah usaha yang mendorong piston ke TMB akan diikuti oleh penambahan volume silinder yang terbentuk dengan piston tersebut. Hal ini tentu saja menyebabkan turunnya tekanan dalam silinder, dan gas-gas sisa pembakaran (gas buang) harus dibuang keluar. Oleh karena itu katup buang dibuka dan piston bergerak ke arah TMA mendorong gas sisa keluar dari silinder. Peristiwa ini dikenal sebagai “**langkah buang**” (*exhaust stroke*).

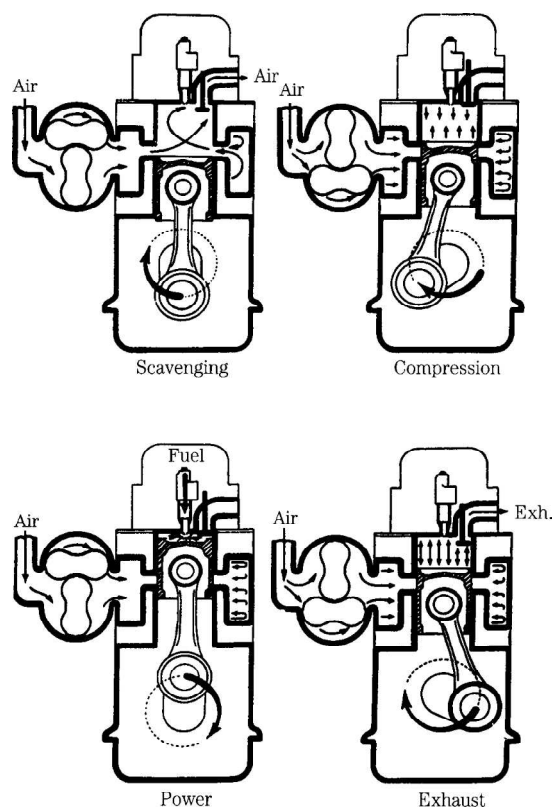
2). Mesin 2 tak

Mesin/ motor **2 tak** disebut juga **mesin 2 langkah** (*two-stroke engine*). Pada mesin ini satu siklus terdapat 2 kali langkah piston, 1 ke atas dan 1 ke bawah (lihat gambar 1.c2.). Sehingga dalam satu siklusnya tercapai dalam 1 putaran poros engkol.



Gb. 1.c2.a.

Ciri khusus mesin 2 tak adalah adanya saluran yang terdapat pada dinding silinder, sehingga satu kali langkah piston akan berpengaruh terhadap fungsi saluran tersebut. Gambar 1.c2. diatas adalah contoh mesin 2 tak yang memanfaatkan ruang engkol sebagai bagian aliran bahan bakar (mesin bensin), sedangkan mesin diesel tidak menggunakan ruang engkol sebagai saluran karena bahan bakar masuk dengan cara disemprotkan ke dalam silinder. Mesin diesel 2 tak dilengkapi dengan katup buang, dan tidak menggunakan katup masuk. (lihat gambar 1.c2.b)



Gb. 1.c2.b.

Langkah – langkah piston dalam mesin 2 tak lebih ringkas oleh karena satu langkah piston memuat dua tahap dari 4 tahap sebuah motor bakar, hal itu dapat dijelaskan sebagai berikut;

- Jika diasumsikan telah terjadi **langkah usaha(power)** maka piston bergerak dari TMA ke arah TMB. **Kejadian pada mesin diesel adalah :** Setelah piston beberapa derajat menuju TMB maka sebelum saluran masuk udara di dinding silinder terbuka, dibukalah katup buang sehingga terjadi **langkah buang(exhaust)**. Langkah buang ini selanjutnya akan dilanjutkan **pemasukan udara** karena ketika piston terus

bergerak turun maka saluran masuk dinding silinder kemudian terbuka. **Kejadian pada mesin bensin adalah :** Setelah piston beberapa derajat menuju TMB maka sampai saat dimana saluran buang di dinding silinder akan terbuka dan terjadilah **langkah buang**. Kemudian akan terjadi penekanan ruang engkol sehingga mendorong campuran bahan bakar dan udara masuk ke silinder melalui saluran transfer/ saluran bilas (**langkah pemasukan/bilas**).

- b) Piston kemudian bergerak dari TMB ke arah TMA, pada tahap ini selanjutnya piston akan menutup saluran pada dinding silinder. Dengan demikian maka terjadilah langkah kompresi (untuk mesin diesel maka katup buang kondisinya harus tertutup). Gerakan piston ke atas akan menyebabkan hisapan di ruang engkol sehingga terjadi pemasukan bahan bakar ke dalam ruang engkol. Pada mesin bensin dilengkapi katup

d. Ditinjau dari bahan bakarnya :

1). Motor Bensin

Jika ditinjau dari bahan bakarnya maka mesin/ motor bensin (*gasoline engine*) tentu saja menggunakan bensin sebagai bahan bakar yang akan direaksikan dengan udara untuk selanjutnya dibakar dalam ruang pembakaran (*ignition chamber*).

Bensin, atau ada juga yang menamakan **Petrol** (biasa disebut ***gasoline*** di Amerika Serikat dan Kanada) adalah cairan bening, agak kekuning-kuningan, dan berasal dari pengolahan minyak bumi yang sebagian besar digunakan sebagai bahan bakar di **mesin pembakaran dalam**. Bensin juga dapat digunakan sebagai pelarut, terutama karena kemampuannya yang dapat melarutkan cat. Sebagian besar bensin tersusun dari hidrokarbon alifatik yang diperkaya dengan *iso-oktana* atau *benzena* untuk menaikkan nilai oktan. Kadang-kadang, bensin juga dicampur dengan etanol sebagai bahan bakar alternatif.

Karena merupakan campuran berbagai bahan, daya bakar bensin berbeda-beda menurut komposisinya. **Ukuran daya bakar ini dapat dilihat dari Oktan setiap campuran.** Di Indonesia, bensin

diperdagangkan dalam dua kelompok besar: campuran standar, disebut **premium**, dan **bensin super**.

Bensin memiliki berbagai nama, tergantung pada produsen dan Oktan. Beberapa jenis bensin yang dikenal di Indonesia diantaranya:

- **Premium**, produksi **Pertamina** yang memiliki **Oktan 88**.
- **Pertamax**, produksi **Pertamina** yang memiliki **Oktan 92**.
- **Pertamax Plus**, produksi **Pertamina** yang memiliki **Oktan 95**.
- **Pertamax Racing**, produksi **Pertamina** yang memiliki **Oktan 100**. Khusus untuk kebutuhan balap mobil.
- **Primax 92**, produksi **Petronas** yang memiliki **Oktan 92**.
- **Primax 95**, produksi **Petronas** yang memiliki **Oktan 95**.
- **Super 92**, produksi **Shell** yang memiliki **Oktan 92**.
- **Super Extra 95**, produksi **Shell** yang memiliki **Oktan 95**.
- **Performance 92**, produksi **Total** yang memiliki **Oktan 92**.
- **Performance 95**, produksi **Total** yang memiliki **Oktan 95**.

(id.wikipedia.org/ bensin)

2). Motor Diesel

Dinamakan mesin diesel karena mesin ini menggunakan bahan bakar diesel. **Diesel** adalah salah satu jenis **bahan bakar minyak**. Di **Indonesia**, Diesel lebih dikenal dengan nama **solar**. Diesel khusus digunakan sebagai **bahan bakar mesin diesel**. Sebuah mesin yang diciptakan oleh **Rudolf Diesel** (1893), dan disempurnakan oleh **Charles F. Kettering**.

Diesel digunakan dalam **mesin diesel** (mobil, kapal, sepeda motor, dll), sejenis **mesin pembakaran dalam**. **Rudolf Diesel** awalnya mendesain mesin diesel untuk menggunakan **batu bara** sebagai bahan bakar, namun ternyata **minyak** lebih efektif. Mesin diesel Packard digunakan dalam **pesawat terbang** seawal tahun **1927**, dan **Charles Lindbergh** menerbangkan **Stinson SM1B** dengan mesin diesel Packard pada 1928. Perjalanan **mobil** bermesin diesel diselesaikan pada **6 Januari 1930**. Perjalanan tersebut dimulai dari **Indianapolis** ke **New York City** - jarak sejauh (1300 km). Hal ini membuktikan kegunaan **mesin pembakaran dalam**.

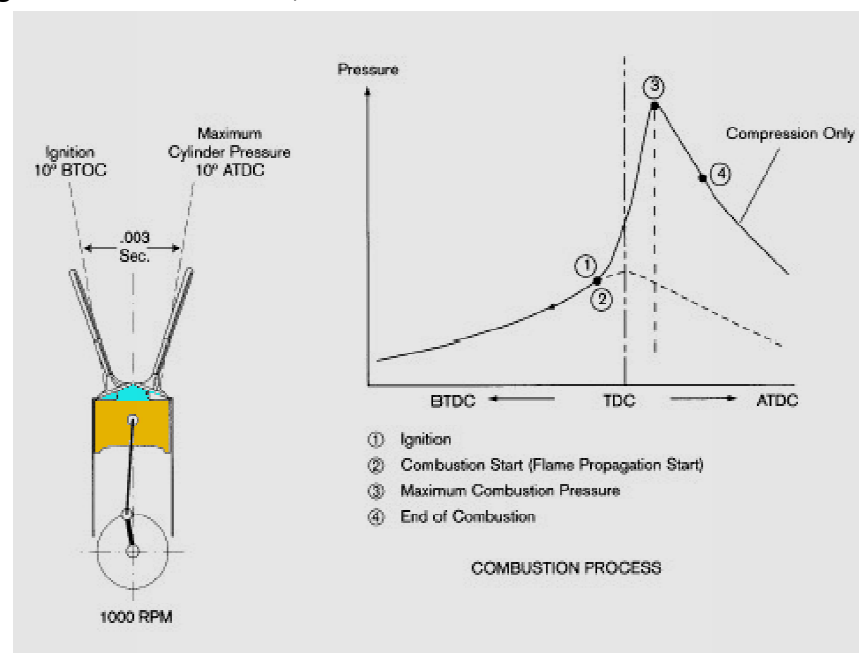
(id.wikipedia.org/ diesel).

2. Proses Pembakaran Mesin Bensin dan Mesin Diesel

a. Proses pembakaran mesin bensin

Proses pembakaran pada mesin/ motor bensin merupakan sebagian proses perubahan energi (*change of energy*) untuk menghasilkan kerja mesin. Pada mulanya bensin dicampurkan dengan udara di dalam karburator sebelum dimasukkan ke dalam silinder, proses ini terjadi dalam sistem bahan bakar konvensional (*conventional fuel system*).

Campuran bahan bakar dan udara masuk dengan jumlah tertentu mengikuti volume silinder bersamaan langkah hisap, kemudian dikompresikan hingga volume akhir kompresi (sedikit volume akhir silinder ditambah volume ruang bakar). Akan tetapi karena pembakaran butuh waktu (*time*) maka pembakaran dilakukan beberapa derajat sebelum piston mencapai TMA. Dalam hal ini pengaturan waktu pengapian dikenal dengan saat pengapian (***ignition timing***), yaitu waktu dimana busi memercikan api listrik untuk membakar campuran bahan bakar dan udara. Oleh karena pembakaran mesin bensin memerlukan busi maka dikenal pula mesin bensin sebagai ***SI Engine (spark ignition engine)***. Proses pembakaran pada mesin bensin dapat dilihat dalam beberapa tahap seperti dalam gambar 2.a. berikut ini;



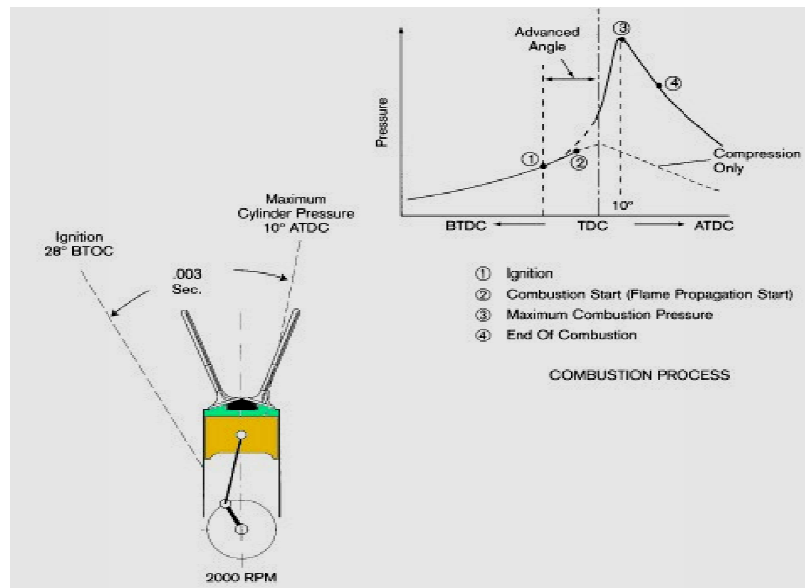
Gb. 2.a.

Tahap-tahap dalam gambar di atas dapat dijelaskan sebagai berikut;

1. **Tahap pengapian (*ignition*)**, pada tahapan ini dimulai dengan percikan api listrik dari busi pada beberapa derajat sebelum TMA (misal: 8°). Dalam hal ini delapan derajat berarti angka ***ignition timing***. Percikan api busi merupakan titik awal terjadinya pembakaran.
2. **Tahap perambatan api (*flame propagation*)**, titik api dari percikan busi kemudian membakar campuran udara dan bahan bakar. Pembakaran dengan cepat merambat dan menyebar ke seluruh ruang bakar diikuti kenaikan temperatur dan tekanan. Peristiwa ini terjadi sampai piston meninggalkan TMA.
3. **Tahap tekanan pembakaran maksimal (*maximum combustion pressure*)**, pada tahap ini bisa dikatakan semua campuran bahan bakar dan udara telah terbakar. Temperatur dan tekanan di ruang bakar bernilai cukup tinggi pada **titik 3 kira-kira 10°** setelah TMA (lihat gambar 2.a.), sehingga kedudukan piston yang telah meninggalkan TMA akan terdorong menuju TMB dengan membawa energi yang besar.
4. **Tahap akhir pembakaran (*end of combustion*)**, seiring dengan gerakan piston ke TMB maka ruang dalam silinder akan bertambah volumenya. Campuran bahan bakar dan udara hampir semuanya terbakar sehingga energi panas mulai berkurang, selain itu energi panas juga berpindah ke dinding mesin maupun fluida pendingin. Akibat dari peristiwa tersebut adalah terjadi penurunan tekanan dalam silinder.

b. Pengajuan pengapian pada motor bensin

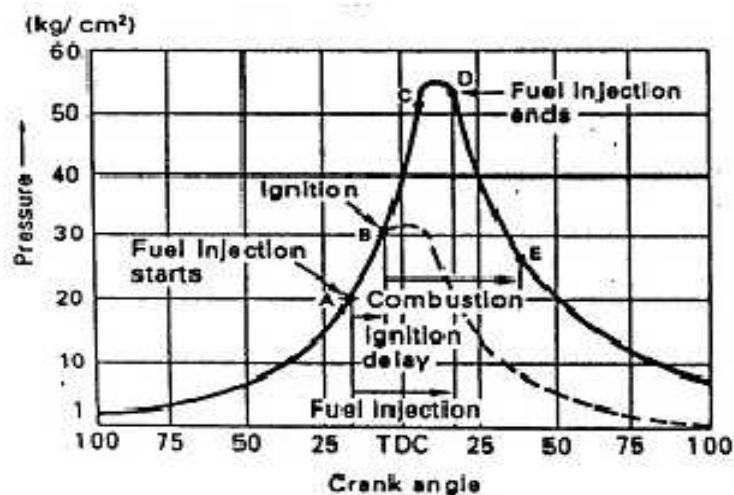
Kondisi putaran mesin saat beroperasi sangatlah bervariasi. Putaran mesin kadang pada posisi stasioner (putaran rendah), putaran sedang, dan mungkin juga pada putaran tinggi. Berkaitan dengan proses pembakaran sempurna **yang membutuhkan waktu**, maka tentu pada kondisi putaran tinggi memerlukan perlakuan khusus terhadap proses pembakaran itu sendiri. Hal ini berarti pada saat mesin putaran tinggi perlu dilakukan **pengajuan saat pengapian** sepanjang sudut penyetelan yang mungkin (*advanced angle*) dengan tujuan tekanan pembakaran maksimal terjadi pada posisi ideal piston ($\pm 10^\circ$ setelah TMA). Lihat gambar 2.b. berikut ini;



Gb. 2.b.

c. Proses pembakaran mesin diesel

Berbeda dengan siklus pada mesin bensin, maka pada mesin diesel hanya udara murni yang masuk mengikuti volume silinder bersamaan langkah hisap, kemudian dikompresikan dengan perbandingan kompresi tinggi sehingga temperatur udara kompresi naik sangat tinggi di atas titik nyala (*flash point*) solar. Setelah itu solar diinjeksikan ke ruang bakar sehingga terjadi pembakaran. Oleh karena pembakaran mesin diesel menggunakan panas udara kompresi maka dikenal pula mesin diesel sebagai **CI Engine (compression ignition engine)**. Proses pembakaran pada mesin diesel dapat dilihat dalam beberapa tahap seperti dalam **gambar 2.c.** berikut ini;



Gb. 2.c.

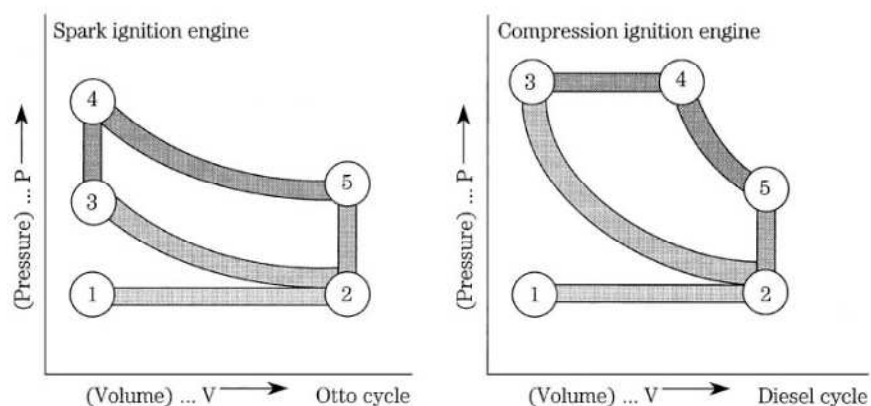
Proses pembakaran pada mesin diesel dibagi menjadi 4 tahap :

1. Tahap pembakaran tertunda (**Ignition Delay**) = A - B adalah tahap dimana bahan bakar yang diinjeksikan baru bercampur dengan udara agar terbentuk campuran yang homogen.
2. Tahap perambatan api (**Flame propagation**) = B - C , pada tahap ini terjadi pembakaran di beberapa tempat yang menyebabkan terjadinya letupan api yang mengakibatkan kenaikan tekanan dan temperatur secara drastis.
3. Tahap pembakaran langsung (**Direct Combustion**) = C - D , Pada phase ini, bahan bakar yang diinjeksikan langsung terbakar.
4. Tahap pembakaran lanjut (**After Burning**) = D - E , Pada tahap ini membakar sisa campuran bahan bakar dan udara yang belum terbakar.

d. Diagram Pv (pressure/volume) mesin bensin dan mesin diesel.

Proses pembakaran pada mesin bensin dan diesel jika dilihat dalam hubungan volume dengan tekanan dapat dilihat pada **gambar 2.d. (Pv diagrams) di bawah ini**. Mesin bensin dinyatakan "**volume constant**" sedangkan mesin diesel adalah "**pressure constant**".

1. (1-2) langkah pemasukan.
2. (2-3) langkah kompresi.
3. (3-4) langkah pembakaran.
4. (4-5) langkah usaha/ ekspansi.
5. (5-2-1) langkah buang.



Gb. 2.d.