

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Bakar Torak

Pada kehidupan sehari-hari dijumpai berbagai macam kendaraan dan motor bakar yang mendominasi kendaraan tersebut adalah motor bakar torak. Dimana langkah kerjanya bergerak bolak-balik atau *reciprocating engine*. Motor bakar torak merupakan mesin konversi energi, dimana mengubah energi kimia bahan bakar kedalam bentuk energi lain yaitu energi gerak mekanik. Proses konversi energi berlangsung didalam ruangan yang dibatasi dinding silinder, kepala silinder, dan puncak torak sehingga motor bakar ini termasuk dalam mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Gas yang dihasilkan dari proses pembakaran berfungsi sebagai fluida kerja yang digunakan untuk mendorong torak sehingga torak melakukan langkah kerja. Torak yang dihubungkan dengan poros engkol melakukan gerakan yang berbeda. ketika torak melakukan gerak translasi maka poros engkol melakukan gerak rotasi, begitu juga sebaliknya.

Berdasarkan penyalan motor bakar dibagi menjadi 2 macam, yaitu motor bensin (Otto) dan motor diesel. Pada motor diesel, penyalan bahan bakar diperoleh dari bantuan udara yang dikompresi pada langkah kompresi yang menyebabkan naiknya tekanan yang diikuti kenaikan temperatur sehingga saat bahan bakar diinjeksikan kedalam ruang bakar, akan terbakar dengan sendirinya karena temperatur nyala bahan bakar telah tercapai sehingga motor diesel disebut CIE (*compression Ignition Engine*).

Motor otto atau motor bensin dilengkapi dengan busi dan karburator untuk proses penyalannya. Udara dan bahan bakar dicampur dikarburator kemudian dimasukan kedalam silinder. Didalam silinder campuran bahan bakar dan udara di kompresi kemudian dibakar melalui percikan api yang dihasilkan busi, sehingga menghasilkan gas pembakaran sebagai fluida kerja yang digunakan untuk melakukan kerja.

Sementara berdasarkan langkah kerjanya motor bakar torak dibedakan menjadi 2, yaitu yaitu motor bakar empat langkah (*four stroke engine*) dan motor bakar dua langkah (*two stroke engine*). Tergantung jumlah langkah pada tiap siklus kerjanya.

2.2 Siklus 4 langkah

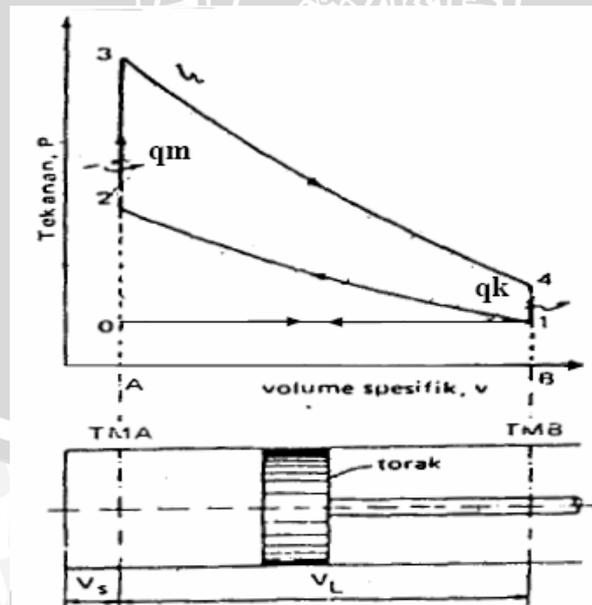
2.2.1 Siklus Ideal

Proses termodinamika dan kimiawi yang terjadi didalam motor bakar sangat kompleks jika dianalisa berdasarkan teori. Untuk mempermudah dalam proses menganalisa perlu berimajinasi dimana didalam motor bakar dikondisikan dalam keadaan ideal. Semakin ideal suatu keadaan maka semakin mudah menganalisanya, tetapi pada kenyataannya untuk mendapatkan kondisi ideal itu sangat sulit.

Untuk menganalisa motor bakar diperlukan siklus udara untuk siklus ideal. Siklus udara menetapkan beberapa keadaan yang kondisinya mirip dengan siklus sebenarnya. dalam hal sebagai berikut:

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

Motor bakar bensin merupakan motor bakar torak yang bekerja berdasarkan siklus volume konstan, karena saat pemasukan kalor (langkah pembakaran) dan pengeluaran kalor terjadi pada volume konstan. Siklus ini adalah siklus yang ideal. Seperti yang terlihat di diagram P – V gambar 2.1.



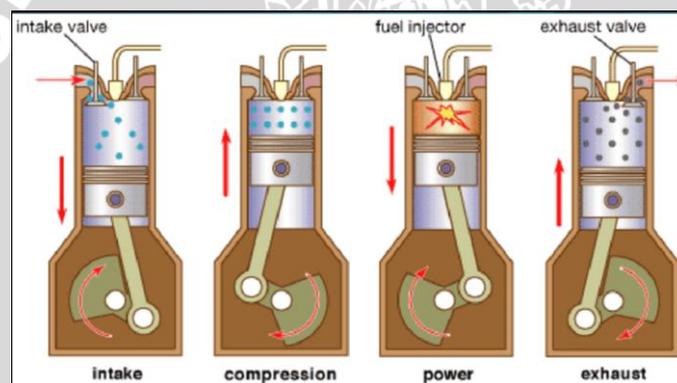
Gambar 2.1 Diagram P – V Siklus Otto (siklus Volume Konstan)

Sumber : Jalius 2008

Dimana siklus ini menjelaskan sebagai berikut:

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

Seperti kebanyakan motor empat langkah torak bekerja dengan bergerak dari Titik Mati Atas (TMA) ke Titik Mati Bawah (TMB), disetiap pergerakan ini dihitung dengan satu langkah. Untuk memperjelas penjelasan prinsip kerja motor bakar empat langkah bisa dilihat dari gambar di bawah ini



Gambar 2.2 : Skema Langkah Kerja Motor Bakar 4 Langkah
Sumber : Britanica 2013

a. Langkah Isap (*Suction Stroke*)

Pada langkah hisap Torak melakukan pergerakan dari posisi TMA (titik mati atas) menuju TMB (titik mati bawah), dengan posisi katup KI (katup isap) terbuka dan posisi katup KB (katup buang) tertutup. Akibat pergerakan torak campuran udara dan bahan bakar terhisap kedalam silinder.

b. Langkah Kompresi (*Compression Stroke*)

Di langkah kompresi torak bergerak dari posisi TMB menuju TMA dengan posisi KI dan posisi KB tertutup, dimana campuran udara dan bahan bakar dimampatkan. Sehingga tekanan dan temperatur didalam silinder naik.

c. Langkah Ekspansi (Expansion Stroke)

Sebelum posisi piston mencapai TMA pada akhir langkah kompresi, pada motor bensin busi akan memercikan bnga api, lalu pada motor diesel sendiri bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar sehingga terjadi proses pembakaran. Akibatnya ledakan dari proses pembakaran tekanan dan temperatur di ruang bakar menjadi tinggi. ledakan yang disebabkan pembakaran torak dimanfaatkan untk mendorong piston dari posisi TMA menuju TMB, disini mesin melakukan langkah kerja.

d. Langkah Buang

Torak bergerak dari posisi TMB menuju TMA dengan posisi KI tertutup dan posisi KB terbuka. Lalu gas hasil pembakaran dibuang ke atmosfer.

Langkah tersebut diatas akan terus diulang. Pada proses empat langkah fase langkah akan terus diulang selama mesin dinyalakan, pada saat langkah pembakaranlah mesin dapat menghasilkan tenaga. Dalam motor mpat langkah anyak skal mengalami keugian gaya. Dimana gaya tersebut mencakupi langkah hisap, kompresi dan buang. Untuk memastikan sklus empat langkah tetap berjalan, maka diperlukan tambahan part untuk menyimpan tenaga dari proses pembakaran. Komponen tersebut adalah *flywhell*, *flywheel* dipasang di *crankshaft* bertujuan untuk memanfaatkan gaya inerti dan menjaga putaran mesin terus berputar terus menerus.

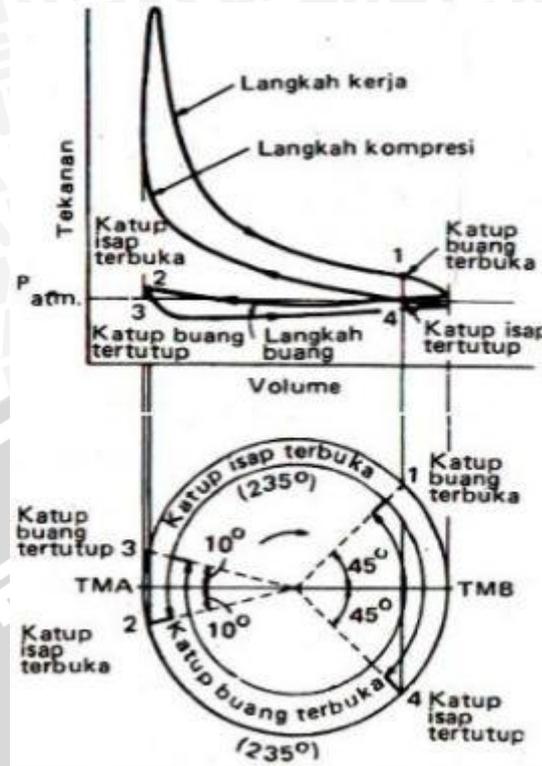
2.2.2 Siklus aktual

Proses langkah kerja motor otto empat langkah dalam kenyataannya tidak dapat bekerja dalam kondisi ideal. Menurut Arismunandar 2002, penyimpangan dari siklus ideal terjadi karena dalam keadaan sebenarnya terjadi kerugian yang antara lain disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut:

1. Kehilangan bahan bakar yang disebabkan cincin torak yang menyekat tidak baik lalu katup yang tidak tertutup rapat.
2. *Timing* buka tutup katup tidak tepat sewaktu TMA dan TMB ketika msin berjalan sehingga menyebabkan banyak kehilangan bahan bakar
3. Fluida kerja bukanlah udara yang dapat dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik yang konstan selama proses siklus berlangsung

4. Pada motor bakar torak yang sebenarnya, pada waktu torak berada diTMA tidak terdapat proses pemasukan kalor seperti pada siklus udara. Kenaikan tekanan dan temperature fluida kerja disebabkan oleh proses pembakaran bahan bakar dan udara didalam silinder.
5. Prose pembakaran memerlukan waktu, tidak berlangsung sekaligus. Akibatnya proses pembakaran berlangsung pada volume ruang bakar yang berubah-ubah karena gerakan torak. Dengan demikian proses pembakaran harus sudah dimulai beberapa saat sebelum torak mencapai TMA dan berakhir beberapa saat setelah torak meninggalkan TMA menuju TMB. Jadi proses pembakaran tidak dapat berlangsung pada volume konstan atau pada tekanan konstan.
6. Terdapat kerugian kalor yang disebakan oleh perpindahan kalor dari fluida kerja ke fluida pendingin, terutama pada langkah kompresi dan ekspansi pada waktu gas buang meninggalkan silinder
7. Terdapat kerugian energi kalor yang dibawa oleh gas buang dari dalam silinder ke atmosfer.
8. Terjadi kerugian energi karena gesekan antara fluida kerja dengan dinding salurannya

Dalam siklus udara standar, langkah buang dan langkah isap tidak diperlukan karena fluida kerja udara tetap berada didalam silinder. Apabila tekanan gas dan volume silinder secara bersamaan pada setiap posisi torak dapat diukur maka dapat digambarkan siklus aktual motor Otto, yang bentuknya seperti ditunjukkan gambar berikut



Gambar 2.3 Siklus aktual motor Otto empat langkah
 Sumber : Arismunandar 2002

2.3 Motor bakar 6 langkah

Beberapa literatur dan *prototype* dari motor bakar 6 langkah telah terdapat diinternet. Menurut Saidur R merangkum konsep dari sebuah motor pembakaran dalam dengan siklus 6 langkah mengacu pada konsep motor bakar 4 langkah Otto, tetapi dengan penambahan 2 langkah untuk menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dan menurunkan emisi gas buang.

Sebuah motor bakar 4 langkah konvensional terdiri dari (1) langkah isap, (2) langkah kompresi, (3) langkah kerja dan (4) langkah buang. Namun dalam sebuah konsep motor bakar 6 langkah dari Conklin dan Szybist, gas buang yang berekspansi dari siklus 4 langkah tersebut diwadahi dan dikompresi ulang dengan 2 langkah tambahan. Secara teoritis, dengan sepasang langkah kerja tambahan tersebut, akan memberikan kerja output yang lebih tinggi tanpa penambahan bahan bakar kedalam silinder, artinya hal tersebut meningkatkan kualitas konsumsi bahan bakar dari mesin. Air diinjeksikan dan menghasilkan campuran gas buang-uap yang berekspansi. Dengan menutup katup buang lebih awal, gas buang didalam silinder akan terperangkap. Lalu gas buang dikompresi setelah itu air diinjeksikan, air akan mendapatkan energi dari kompresi ulang gas buang tersebut dan mendorongnya untuk



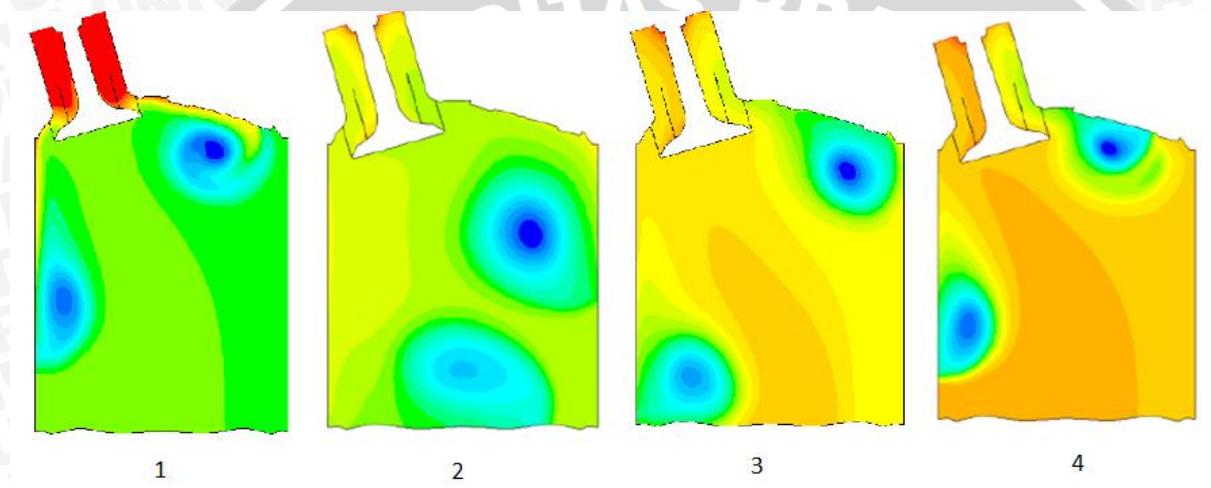
berekspansi sehingga meningkatkan tekanan dalam silinder. Dapat disimpulkan, kerja tambahan yang diperoleh dihasilkan melalui proses ekspansi.

Conklin dan Szybist 2010 yakin bahwa siklus motor bakar 6 langkah yang mempergunakan injeksi air untuk menyerap kalor secara langsung dari gas buang lebih sederhana dari pada menggunakan panas permukaan ruang bakar sebagai sumber panas utamanya. Dengan pemodelan termodinamika ideal untuk penambahan 2 langkah tersebut, yaitu: kompresi gas buang, penginjeksian air dan ekspansi, menemukan bahwa tekanan efektif rata-rata dari langkah ekspansi aliran (MEP_{stream}) dapat dimaksimalkan dengan memodifikasi waktu penutupan katup buang pada langkah keempat. Sebagai hasilnya, nilai dari MEP_{stream} yang telah dihitung sebesar 0.75 – 2.5 bar menunjukkan peluang peningkatan efisiensi mesin dan konsumsi bahan bakar pada tekanan efektif rata-rata pembakaran ($MEP_{combustion}$) motor bensin yang biasanya 10 bar.

Disamping itu Wikipedia 2015 mencatat beberapa versi motor bakar 6 langkah yang telah dipublikasikan dari Bajulaz 1989, Velozeta 2012, Crower 2005, Bazmi dan Nykado 2012. Tiga mesin pertama Bajulaz, Velozeta dan Crower telah menggunakan sistem 6 langkah utuh, meskipun keenam langkah tersebut memakai 2 langkah kerja untuk menjalankan satu siklus. Dimana 2 langkah kerja yang berbeda berlangsung berurutan. Sehingga diperlukan sinkronisasi dari 2 langkah kerja tersebut. Sementara itu, motor bakar 6 langkah Bazmi dan Nykado tidak memerlukan sinkronisasi daya karena masing-masing motor bakar mereka hanya menggunakan 1 langkah kerja untuk satu siklus. Jika dibandingkan dengan motor bakar 4 langkah konvensional, motor bakar 6 langkah Bazmi melakukan penambahan 2 langkah sebagai langkah istirahat. Pada langkah istirahat tersebut tetap ada satu katup tetap terbuka yaitu katup isap dimana piston melakukan gerak translasi. Membuka katup isap bertujuan untuk mendapatkan udara sehingga pembuangan gas yang lebih baik. Meskipun begitu, mesin 6 langkah Bazmi berarti 4 langkah siklus konvensional ditambah 2 langkah penyempurnaan pembuangan. Menyerupai dengan motor bakar Bazmi, motor bakar Nykado juga mengaplikasikan 2 langkah penyempurnaan untuk pembuangan gas buang. Namun katup pada mesin versi Nykado dapat dikondisikan untuk melakukan siklus 6 maupun 4 langkah konvensional.

2.3.1 Motor bakar 6 langkah berbasis penambahan waktu difusi massa

Berbeda dengan konsep motor bakar 6 langkah sebelumnya, penelitian ini menyampaikan suatu konsep baru yang tidak hanya menggunakan 1 langkah kerja pada satu siklus, tidak memerlukan sinkronisasi langkah kerja dan juga mengganti 2 langkah penyempurnaan pembuangan (setelah langkah buang) menjadi 2 langkah difusi (jelang pembakaran, atau langkah kerja). Difusi sendiri merupakan peristiwa berpindahnya zat dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. Sebagai contoh pemberian gula pada miunan, yang mana minuman itu akan manis. Untuk memperjelas proses difusi, ini dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.4 Proses Difusi pada Motor Bakar

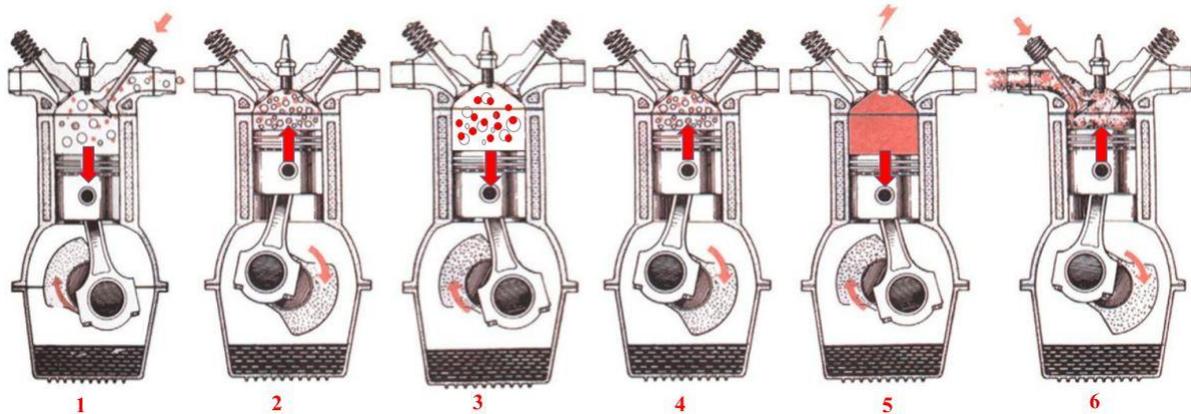
Sumber : Jurnal *Flow Characteristic Of Hydrogen Fueled Internal Combustion Engine*

Untuk proses kecepatan difusi dipengaruhi beberapa faktor, yaitu :

1. Ukuran partikel, semakin kecil ukuran partikel maka semakin cepat berdifusi
2. Jarak, semakin besar jarak antar dua zat maka kecepatan difusi akan lambat
3. Suhu, semakin tinggi suhu proses difusi akan semakin cepat. Karena zat mendapatkan energi untuk bergerak lebih cepat.

Berbeda dengan mesin 4 langkah yang waktu difusi pendek di banding dengan mesin 6 langkah ini. Lewat durasi difusi yang lama, maka bahan bakar berkesempatan menyeibangkan konsentrasinya dengan udara menjadi lebih baik. Sehingga campuran bahan bakar dan udara memiliki konsentrasi yang hampir sama. Melalui durasi difusi diharapkan konsentrasi bahan bakar tersebar merata dan pada saat pembakaran bahan bakar terbakar menyeluruh.

Siklus motor bakar 6 langkah dalam penelitian ini terdiri dari:



Gambar 2.5 Skema siklus motor bakar 6 langkah

Seperti terlihat pada gambar 2.4 penambahan 2 langkah terhadap siklus Otto 4 langkah yang dilakukan bertujuan untuk menambah durasi difusi bahan bakar terhadap udara masuk. Dengan penambahan tersebut, mesin memiliki 2 tahap dari langkah kompresi pada satu siklus. Ini memungkinkan untuk peningkatan kehomogenitas dan temperatur dari campuran udara-bahan bakar sebelum terbakar untuk mendapatkan daya ekspansi yang lebih baik.

Proses pembakaran didalam motor bakar 6 langkah ini secara siklus menjadi:

1. Langkah hisap (*suction stroke*)
2. Langkah kompresi difusi (*diffusion's compression stroke*)
3. Langkah ekspansi difusi (*diffusion's expansion stroke*)
4. Langkah kompresi (*compression stroke*)
5. Langkah ekspansi (*ekspansion stroke*)
6. Langkah buang (*exhaust stroke*)

Dengan penambahan 2 langkah tersebut, secara teoritis dapat disimpulkan kualitas dari kerja-ekspansi yang terjadi akan memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada motor bakar 4 langkah biasa. Dengan peningkatan kualitas tenaga per siklus ini, motor selain dapat menurunkan rasio konsumsi bahan bakar terhadap putaran, juga diharapkan mampu meningkatkan rasio energi ekspansi terhadap *losses* masa bahan bakar yang tidak terbakar dengan tidak mengorbankan rasio energi ekspansi terhadap rugi gesekan.

Karena kalor pada dinding silinder, kepala silinder, dan piston terdifusi kedalam campuran bahan bakar dan udara lebih lama maka operasi motor bakar 6 langkah ini juga

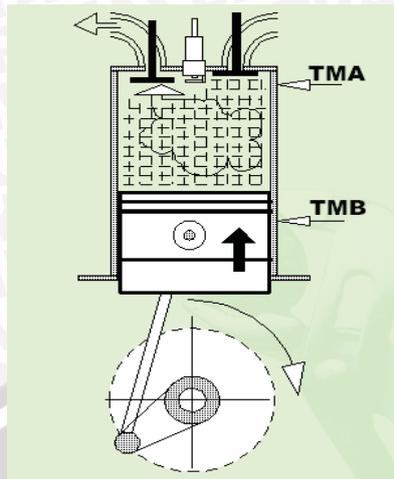
diharapkan mampu menurunkan temperatur dinding silinder, kepala silinder dan piston yang berarti dapat menyederhanakan desain sistem pendingin atau dapat meningkatkan keandalan komponen-komponen motor. Difusi secara sederhana dipahami sebagai perpindahan massa karena adanya perbedaan konsentrasi, perpindahan terjadi dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi yang lebih rendah. Kemudian yang mempengaruhi kecepatan difusi agar cepat setimbang dipengaruhi oleh penambahan 2 langkah yaitu *diffusion's compression stroke* semakin kecil jarak antar konsentrasi bahan bakar dan udara maka semakin cepat difusi yang terjadi. Pada langkah *diffusion's expansion stroke* dimana udara dan bahan bakar mendapatkan energi panas sehingga kecepatan difusi meningkat. Dengan mempercepat difusi maka bahan bakar dan udara bisa menjadi lebih homogen sehingga pembakaran yang terjadi semakin baik.

2.4 Sistem Pengapian

Sistem pengapian pada motor bakar bensin, berfungsi mengatur waktu percikan bunga api busi pada proses pembakaran di dalam silinder. Dalam proses pemakaran pada motor bensin diperlukan pemantik bunga api, karena pada motor bakar bensin tidak bisa melakukan pembakaran sendiri. Pembakaran terjadi ketika campuran bahan bakar dan udara dikompresi selanjutnya busi memercikan bunga api, ketika pembakaran terjadi tekanan didalam silinder meningkat yang disebabkan pemuai gas. Akibat dari pemuai gas piston terdorong dan melakukan langkah usaha. Agar busi dapat memercikkan bunga api sesuai dengan waktu pengapian, maka diperlukan suatu sistem yang bekerja secara akurat untuk mengatur waktu pengapian. Yaitu sebuah sistem pengapian yang terdiri dari berbagai komponen, bekerja sama dalam waktu yang singkat.

Untuk memperoleh pembakaran yang sempurna, maka diperlukan campuran bahan bakar dan udara yang tepat. Lalu diiringi waktu pengapian tepat, dimana waktu pengapian harus dapat berubah sesuai kondisi pengoperasian mesin.

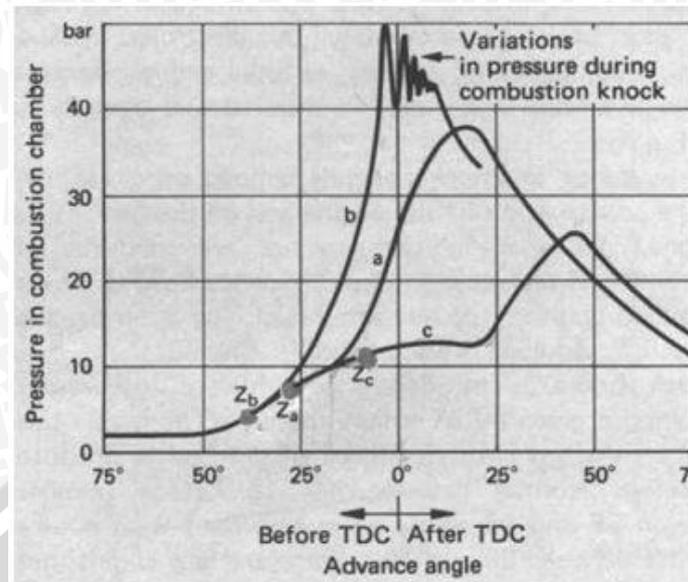
Saat terjadinya percikan bunga api pada busi waktunya harus ditentukan dengan tepat. supaya dapat membakar campuran udara dan bahan bakar dengan sempurna dan memperoleh tekanan maksimum.



Gambar 2.6 Batas TMA dan TMB piston
Sumber : Jalius (2008)

Dalam proses pembakaran memerlukan waktu bagi api untuk merambat dan membakar bahan bakar. Oleh karena itu tekanan maksimum yang dihasilkan akan terlambat antara awal pembakaran. Untuk mencapai tekanan maksimum pada pembakaran, maka perlu diperhitungkan perambatan api pada saat pengapian (*ignition timing*).

Bila pengapian terlalu dimajukan (lihat gambar 2.6 pada titik Zb) maka tekanan pembakaran maksimum akan terjadi pada 10° sebelum TMA. Tekanan maksimum sebelum TMA disebabkan terlalu majunya waktu pengapian, sehingga ketika campuran bahan bakar dan udara selesai dikompresi lalu dipercikan bunga api maka pembakaran yang terjadi secara spontan. Pada pembakaran yang spontan piston akan diberi beban kerja 2 arah yaitu dari poros engkol dan satu lagi dari pembakaran, akibat dari pembakaran spontan ini terjadinya detonasi atau *knocking*.



Gambar 2.7 Posisi saat pengapian
Sumber : Jalius 2008

Knocking merupakan pembakaran yang tidak normal yang menghasilkan gelombang kejutan berupa suara ketukan seperti palu. *Knocking* disebabkan oleh naiknya tekanan didalam silinder pada akhir pembakaran. Jika *knocking* yang terjadi terus menerus bisa menyebabkan temperatur mesin naik, umur dari piston berkurang dan lain sebagainya.

Sedangkan bila saat pengapian dimundurkan terlalu jauh (lihat gambar 2.6 dititik Z_c) maka tekanan pembakaran kurang baik karena terlalu jauh dari TMA, sehingga tekanan didalam silinder agak rendah dan output mesin menurun, lalu banyak bahan bakar tidak terbakar dan terbuang sia-sia. maka tekanan pembakaran maksimum akan terjadi setelah 10° setelah TMA (saat dimana torak telah turun cukup jauh). Bila dibandingkan dengan pengapian yang waktunya tepat (lihat gambar 2.6 dititik Z_a), maka tekanan pembakaran yang dihasilkan juga optimal lalu tekanan puncak terjadi setelah TMA sehingga tidak menimbulkan *knocking* dan *spare part* mesin memiliki umur lebih panjang di banding dengan pembakaran yang menghasilkan *knocking*.

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

✓ Pembakaran normal

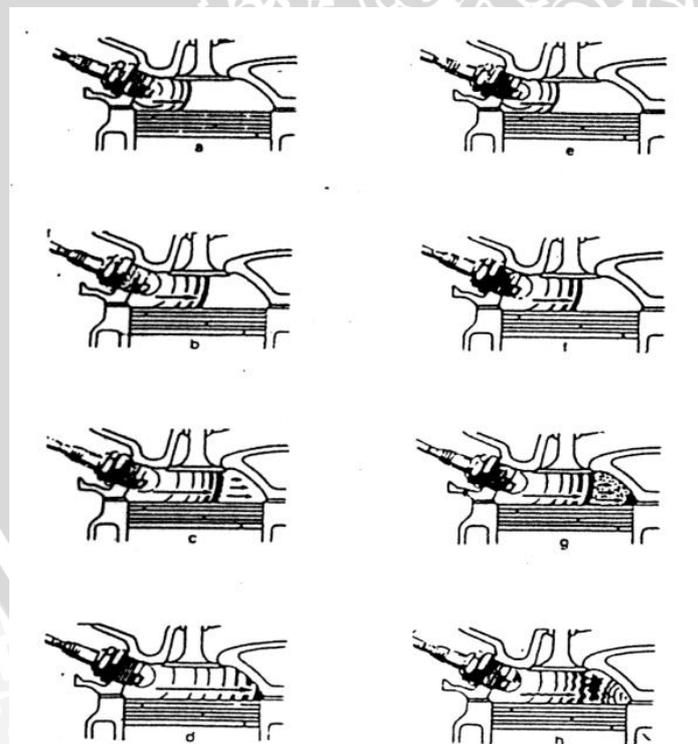
Proses ini terjadi bilamana penyalaan campuran udara bahan bakar semata-mata diakibatkan oleh percikan bunga api yang berasal dari busi. Adapun nyala api akan

menyebar secara merata dalam ruang bakar dengan kecepatan normal sehingga campuran udara bahan bakar terbakar pada suatu periode yang sama

Tekanan gas yang diakibatkan oleh proses ini akan merata (tanpa fluktuasi tekanan) dalam ruang bakar. Pembakaran dimulai sebelum akhir langkah kompresi dan diakhiri sesaat setelah melewati titik mati atas. Suhu dalam ruang bakar akan mencapai kisaran 2100 – 2500 K (1800° - 2200° C).

✓ Pembakaran tidak normal

Terjadi karena sebagian campuran bahan bakar mengalami penyalaan sendiri yang biasanya tidak disebabkan oleh percikan bunga api dari busi. Hal ini dikarenakan temperatur campuran bahan bakar udara terlalu tinggi yang salah satunya disebabkan hasil dari langkah kompresi, hingga mencapai titik nyalanya, sehingga menyebabkan campuran tersebut akan menyala dengan sendirinya. Ataupun titik panas pada permukaan ruang bakar yang menimbulkan percikan api dengan sendirinya baik sebelum ataupun sesudah penyalaan. Peristiwa ini biasa disebut dengan detonasi.



Gambar 2.8 Proses pembakaran normal (kiri) dan pembakaran tidak normal (kanan)

Sumber : Jalius 2008

Detonasi dapat terjadi pada semua jenis motor bakar torak. Sifat dari timbulnya detonasi ini sangat merugikan karena

- a. Panas yang dihasilkan lebih banyak diserap oleh dinding silinder ruang bakar daripada yang diubah menjadi tenaga mekanis
- b. Bisa menyebabkan kerusakan komponen mesin seperti: keretakan pada piston dan setang piston.
- c. Menyebabkan proses pembakaran berjalan tidak sesuai dengan *timing* (waktu) yang telah ditentukan, yakni pembakaran berlangsung terlalu dini.

Faktor- faktor yang menyebabkan detonasi

1. Nilai oktan (*octane number*) dari bahan bakar yang terlalu rendah

Nilai oktan adalah bilangan yang menyatakan prosentase kandungan iso-oktana (C_8H_{18}) pada campuran iso-oktana dengan heptana (C_7H_{16}) dalam bahan bakar. Pada iso-oktana bebas dari knocking, sedang heptana mempunyai nilai knocking yang buruk. Semakin tinggi nilai oktan maka semakin bagus anti knocking bahan bakar tersebut.

2. Waktu pengapian yang terlalu cepat

Waktu pengapian yang terlalu cepat menyebabkan timbulnya sebagian dari bahan bakar yang belum sempat terbakar. Sampai proses ekspansi sisa bahan bakar tersebut akan termampatkan, sampai temperturnya tinggi hingga menyebabkan timbulnya (self ignition).

3. Busi terlalu panas

Busi yang terlalu panas akan menyebabkan suhu disekitarnya tidak merata, sehingga ketika busi menyala terdapat daerah-daerah dengan suhu yang berbeda yang menyebabkan pembakaran bahan bakar berjalan tidak merata.

4. Temperatur nyala bahan bakar

Bahan bakar dengan temperatur nyala yang tinggi akan menyebabkan sulit untuk berdetonasi, dengan kata lain pada bahan bakar dengan temperatur nyala yang tinggi akan sulit untuk terbakar dengan sendiri.

5. Sistem pendinginan dinding silinder ruang bakar kurang baik

Fungsi dari sistem pendinginan adalah untuk mendinginkan mesin saat terjadinya pembakaran dalam silinder. Jika pendinginannya tidak merata, maka dimungkinkan akan menyebabkan proses pembakaran dalam ruang bakar tidak merata pada seluruh ruang.

6. Terjadinya pembesaran perbandingan kompresi

Perbandingan kompresi merupakan perbandingan volume silinder terbesar dengan volume terkecil (ruang bakar). Dengan kenaikan perbandingan kompresi ini akan mengakibatkan tekanan kompresi menjadi naik, sehingga bila sampai mencapai tekanan nyala bahan bakar, maka akan menyebabkan terjadinya pembakaran sendiri tanpa pemicu dari busi.

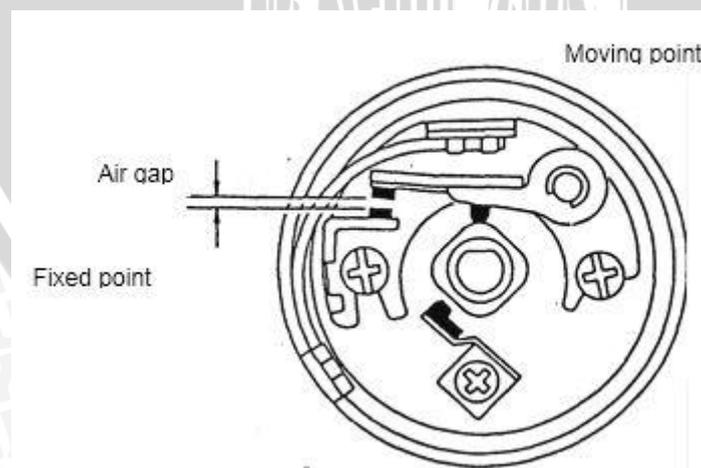
2.4.1 Sistem Pengapian Platina

Dalam sistem pengapian sendiri untuk memajukan dan memundurkan waktu pengapian digunakan *contact breaker* (platina). Adapun caranya yaitu dengan memutar rumah platina searah jarum jam ataupun berlawanan arah jarum jam, jika rumah platina diputar searah jarum jam maka waktu pengapian akan maju begitu juga sebaliknya.

Platina pada sistem pengapian berfungsi seperti saklar antara tegangan baterai ke kumparan primer. Cara kerja platina memutuskan aliran listrik dari sumber tegangan listrik ke kumparan primer koil tujuannya untuk membangkitkan induksi listrik pada koil.

Pada koil pengapian, kumparan primer dan sekunder digulung pada inti besi. Kumparan-kumparan ini akan menaikkan tegangan yang diterima dari baterai menjadi tegangan yang sangat tinggi melalui induksi elektromagnetik. Inti besi (core) dikelilingi kumparan yang terbuat dari baja silikon tipis. Terdapat dua kumparan yaitu sekunder dan primer di mana lilitan primer digulung oleh lilitan sekunder.

Pembukaan dan penutupan platina digerakkan secara mekanis oleh cam/nok yang menekan bagian tumit dari platina pada interval waktu yang ditentukan.

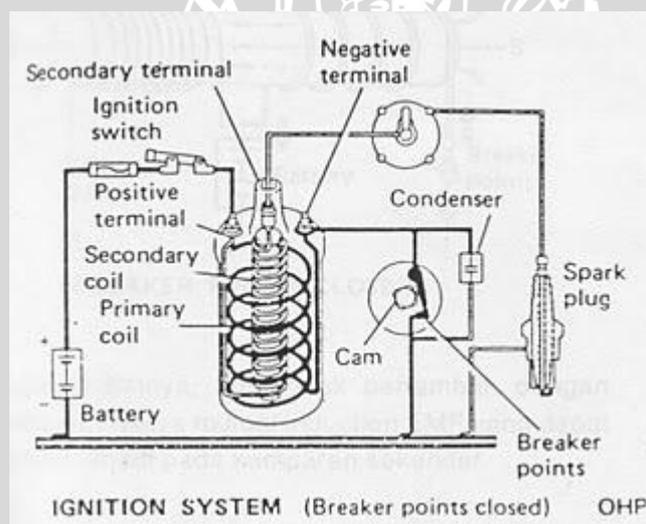


Gambar 2.9 Konstruksi platina
Sumber : Jalius (2008)

Pada saat poros berputar maka nok akan mendorong lengan platina yang menyebabkan platina terhubung dan terputus.

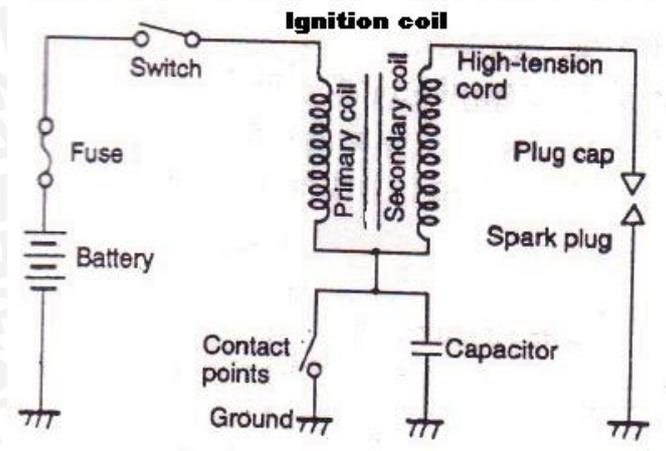
Ketika platina menutup, maka arus yang berasal sumber tegangan mengalir ke rangkaian primer sehingga inti besi pada koil pengapian akan jadi magnet. Pada saat platina membuka, maka kemagnetan pada inti besi akan hilang dengan tiba-tiba. Kehilangan kemagnetan pada inti besi tersebut akan dapat membangkitkan tegangan tinggi (induksi) pada kumparan sekunder. Tegangan tinggi ini akan disalurkan ke busi, sehingga timbul loncatan bunga api pada celah elektroda busi.

Prinsip kerja dari sistem pengapian adalah peminadahan energi yang menyebabkan bangkitnya medan magnet pada koil. Sumber tegangan untuk pengapian terhubung dengan kumparan primer koil. Diantara dua komponen (koil) tersebut dipasang platina (*contact breaker/contact point*) yang berfungsi sebagai pemutus arus atau saklar.



Gambar 2.10 Sistem pengapian platina 1
Sumber : Jalius 2008

Pada saat *ignition switch* (kunci kontak) dondisi menyala, lalu posisi kontak platina dalam keadaan menutup, arus yang berasa dari baterai mengalir ke kumparan primer koil lalu menuju massa. Dimana pada posisi ini coil belum bisa membangkitkan medan magnet.



Gambar 2.11 Sistem pengapian platina 2
Sumber : Jalius 2008

Pada saat kontak platina terbuka yang disebabkan oleh *cam*, maka aliran arus pada rangkaian primer akan terputus. Hal ini akan menyebabkan induksi magnet antara inti besi dankumparan pada coil. Karena perbandingan kumparan sekunder lebih banyak dibanding kumparan primer, maka pada kumparan sekunder terjadi induksi yang lebih besar sekitar 10KV – 20KV. Besarnya tegangan ini disalurkan ke busi melalui kabel busi, kemudian busi memercikan bunga api untuk membakar campuran bahan bakar dan udara.

Koil pengapian dapat membangkitkan tegangan tinggi apabila arus primer tiba-tiba diputuskan dengan membuka platina. Tegangan tinggi yang diinduksi pada kumparan sekunder terjadi pada waktu yang sangat singkat.

Besarnya tegangan yang dibangkitkan oleh kumparan sekunder ditentukan oleh faktor-faktor sebagai berikut:

1. Banyaknya Garis Gaya Magnet

Semakin banyak garis gaya magnet yang terbentuk dalam kumparan, semakin besar tegangan yang diinduksi

2. Banyaknya Kumparan

Semakin banyak lilitan pada kumparan, semakin tinggi tegangan yang diinduksikan.

3. Perubahan Garis Gaya Magnet

Semakin cepat perubahan banyaknya garis gaya magnet yang dibentuk pada kumparan, semakin tinggi tegangan yang dibangkitkan kumparan sekunder

Untuk memperbesar tegangan yang dibangkitkan pada kumparan sekunder, maka arus yang masuk pada kumparan primer harus sebesar mungkin dan pemutusan arus primer harus juga secepat mungkin.

2.5 Unjuk Kerja Motor Bakar

Pengujian dari suatu motor bahan bakar adalah mengetahui kinerja dari motor bakar itu sendiri. Parameter – parameter yang akan dibahas untuk mengetahui kinerja mesin dalam penelitian motor bakar enam langkah ini meliputi

1. Torsi (T)
2. Daya efektif (N_e)
3. Efisiensi termal efektif (η_e)
4. Konsumsi bahan bakar spesifik (SFCe)

2.5.1 Torsi

Torsi merupakan momen yang dihasilkan oleh putaran mesin. Besarnya torsi suatu mesin dapat diukur dengan menggunakan alat yang disebut *dynamometer*, dimana dynamometer akan menunjukkan ukuran besaran nilai gaya atau beban pengereman pada poros yang terhubung dengan mesin, sehingga nilai torsi dapat dicari dari hubungan antara perkalian besarnya beban pengereman dengan panjang lengan terhubung dengan timbangan dan poros. Besar torsi dapat dirumuskan sebagai berikut

$$T = F \times L$$

Dengan:

T = torsi yang dihasilkan (kg.m)

F = besarnya beban pengereman (kg)

L – panjang lengan dynamometer (m)

2.5.2 Daya Efektif

Daya efektif merupakan daya yang dihasilkan oleh poros engkol untuk menggerakkan beban. Daya efektif ini dibangkitkan oleh daya indikasi, yaitu suatu daya yang dihasilkan melalui proses pembakaran melali terdorongnya torak akibat pebakaran, dimana sebagian besar daya hilang akibat mengatasi getaran mekanis, misalnya gesekan antara torak dan

dinding silinder, gesekan antara poros dan bantalan, untuk menggerakkan peralatan bantu (pompa oli pelumas), dan lainnya. Daya efektif didapatkan dengan mengalikan torsi (T) dengan kecepatan anguler poros (ω). Persamaannya adalah sebagai berikut

$$Ne = \frac{T \cdot 2\pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716,5}$$

Dengan:

Ne = daya efektif (hp)

T = torsi (kg.m)

n = putaran poros (rpm)

2.5.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif selama 1 jam. *Specific fuel consumption effective* (SFCe) dengan persamaan sebagai berikut

$$SFCe = \frac{Fc}{Ne}$$

Dengan:

SFCe = *specific fuel consumption effective* ($\text{kg} \cdot \text{hp}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1}$)

Fc = konsumsi bahan bakar ($\text{kg} \cdot \text{jam}^{-1}$)

Ne = daya efektif (hp)

2.5.4 Effisiensi Termal Efektif

Effisiensi termal efektif merupakan perbandingan antara banyaknya kalor yang dihasilkan bahan bakar dengan daya efektif yang dihasilkan oleh mesin. Nilai ini digunakan sebagai ukuran ekonomis atau tidaknya penggunaan bahan bakar. Karena nilai efisiensi termal efektif adalah berbanding terbalik dengan nilai SFCe. Hal ini ditunjukkan dengan persamaan berikut :

$$\eta_e = \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \cdot Ne}{Fc \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{Fc/Ne \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFCe \cdot LHV_{bb}} \times 100\%$$

Dengan

1 hp = 632 (kkal.jam⁻¹)

η_e = efisiensi termal efektif (%)

LHVbb = nilai kalor dari bahan bakar (kkal.kg⁻¹)

FC = konsumsi bahan bakar kg.jam⁻¹)

Ne = daya efektif (hp)

SFCe = konsumsi bahan bakar spesifik (kg.hp⁻¹.jam⁻¹)

2.6 Hipotesis

Dengan variasi sudut pengapian pada motor bakar 6 langkah akan mempengaruhi daya pada mesin tersebut. Dimana pengaturan sudut pengapian mendekati titik mati atas (TMA) maka daya yang dihasilkan juga semakin besar. Sedangkan jika sudut pengapian meninggalakan titik mati atas (TMA) atau menuju titik mati bawah (TMB) maka daya yang dihasilkan akan menjadi kecil.

Dengan penambahan durasi difusi campuran bahan bakar dan difusi termal maka pembakaran yang terjadi akan lebih baik dan daya yang dihasilkan motor bakar 6 tak lebih baik dibanding dengan motor bakar 4 tak.

