

## BAB II

### LANDASAN TEORI

Motor bakar adalah sebuah mesin kalor dimana gas panas diperoleh dari proses pembakaran di dalam mesin itu sendiri dan langsung dipakai untuk melakukan kerja mekanis. Oleh karena itu motor diesel biasanya disabut juga "motor penyalaan – kompresi" (*Compression-Ignition engine*) oleh karena cara penyalaan bahan bakarnya dilakukan dengan menyemprotkan bahan bakar ke dalam udara yang telah bertekanan dan bertemperatur tinggi sehingga bahan bakar tersebut secara spontan terbakar sendiri yang kemudian menghasilkan daya ledakan dan menimbulkan gaya gerak mendorong torak piston untuk melakukan awal proses kompresi.

Pemakaian bahan bakar dari motor diesel kira-kira 25 % lebih rendah dari pada motor bensin dan harga bahan bakarnya pun lebih murah (Ref.5 Hal.5). Hal itu salah satu penyebab motor diesel lebih hemat dan pengoperasiannya relatif murah. Akan tetapi karena perbandingan kompresi yang tinggi maka tekanan kerja motor diesel besar menyebabkan motor diesel harus dibuat lebih kuat, besar dan berat dalam segi materialnya memungkinkan

harga motor diesel lebih tinggi dibandingkan dengan motor bensin. Disamping itu, motor diesel mengeluarkan suara getaran yang lebih besar, warna dan bau gas buang kurang menyenangkan. Namun dilihat dari segi ekonomisnya serta sedikit polusi bahaya udara yang ditimbulkan motor diesel, meskipun begitu dilihat dari segi perawatannya motor diesel masih lebih disukai karena lebih ekonomis.

## 2.1 PRINSIP – PRINSIP MOTOR DIESEL

Prinsip kerja motor diesel mempunyai klasifikasi dua sistem siklus 2 langkah dan 4 langkah.

### 1. Sistem motor diesel 2 langkah

Sistem siklus 2 langkah biasanya digunakan *blower* khusus berfungsi untuk menyediakan udara segar didalam silinder yang mana *blower* digerakkan oleh motor diesel itu sendiri melalui putaran roda gigi penghubung saluran dan putarannya melebihi putaran poros engkol.

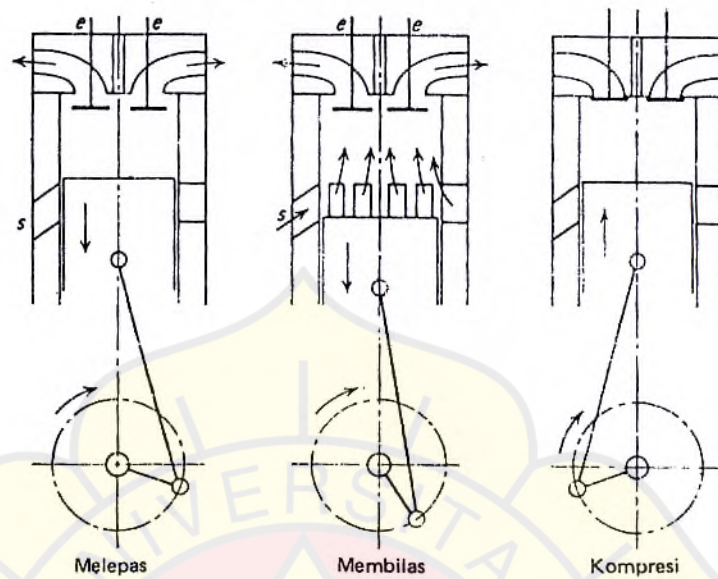
Adapun cara kerja langkahnya dalam menghasilkan tenaga didapat dari satu kali langkah usaha putaran diperoleh dengan dua kali langkah torak. Sedangkan proses langkahnya sebagai berikut :

**Langkah 1** ( Proses kompresi dan pembakaran )

Katup buang tertutup dimana didalam silinder sudah terdapat udara bersih yang disuplay oleh *blower*, kemudian piston bergerak keatas mendekati Titik Mati Atas (TMA) melakukan langkah kompresi dan sesaat sebelum sampai pada TMA bahan bakar diinjeksikan melalui nozel berupa kabut bahan bakar kedalam ruang bakar yang berisi udara bertekanan  $\pm 30 \text{ kg/cm}^2$  dan bertemperatur cukup tinggi antara  $\pm 550 \text{ }^\circ\text{C}$  menyebabkan gas menguap terbakar (Ref.5 Hal.4).

**Langkah 2** ( Proses ekspansi dan pembilasan )

Akibat terjadinya pembakaran gas mendorong piston melakukan langkah *expansi* menuju Titik Mati Bawah (TMB). Sebelum sampai pada TMB, katup buang terbuka dan gas bekas pembakaran hasil dari pembakaran terdesak oleh udara segar yang dialirkan oleh *blower* disebut dengan pembilasan. Selanjutnya katup buang tertutup saat piston melampaui TMB dan mencapai batas pengumpulan udara kemudian terjadi lagi langkah siklus pertama terulang dan seterusnya.



Gambar. 1. Motor diesel 2 langkah

## 2. Sistem Motor diesel 4 langkah

Sistem siklus 4 langkah digunakan peralatan tambahan untuk mensuplay udara segar kedalam silinder disebut *Super Charger* dengan memanfaatkan gas buang untuk menggerakkan turbin gas yang berhubungan dengan digerakkannya kompresor untuk mensuplay udara segar kesalur isap.

Katup buang yang proses pengisian dan pembilasan udara akan terbagi melalui kedua katup tersebut. Adapun cara kerja langkahnya dalam menghasilkan tenaga didapat dari satu kali langkah usaha diperlukan empat kali langkah torak. Sedangkan pada proses langkahnya adalah sebagai berikut :

**Langkah 1** ( Proses Isap )

Piston bergerak ke bawah dari TMA ke TMB dan katup masuk terbuka digerakkan *rocker arm* pada *Cam Shaft* yang selanjutnya udara segar masuk ke dalam silinder melalui *intake manifold* yang disebabkan oleh isapan piston.

**Langkah 2** ( Proses Kompresi )

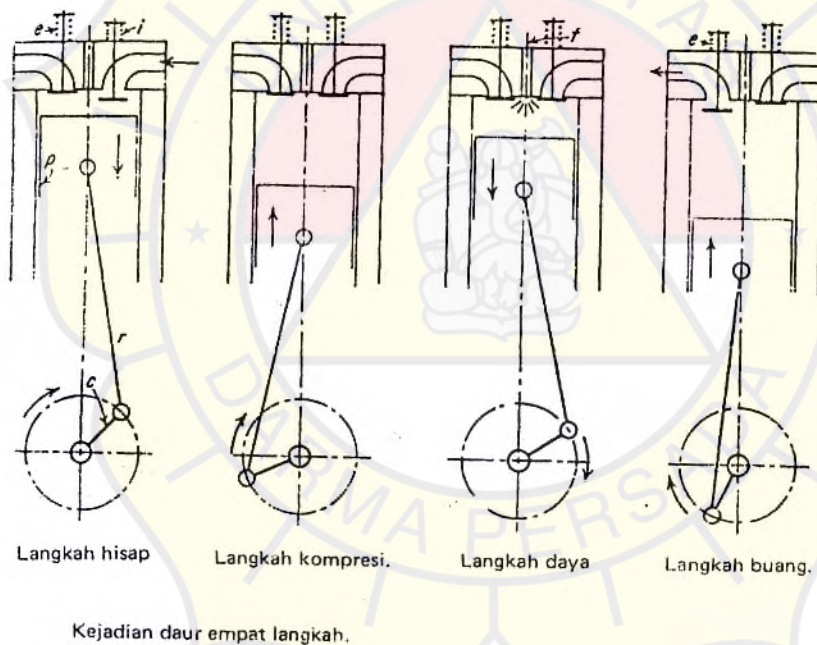
Piston bergerak ke atas dari TMB menuju TMA yang sebelumnya kedua katup tertutup rapat yang diatur melalui *Cam Shaft*. Udara dikompresikan keatas oleh piston 1/12 -1/ 16 bagian dari isi silinder dan mencapai tekanan yang tinggi antara 35 – 40kg/c<sup>2</sup>.

**Langkah 3** ( Proses Ekspansi )

Sesaat sebelum piston mencapai TMA, bahan bakar diinjeksikan berupa kabut bahan bakar melalui injektor dan saat piston mencapai TMA dengan temperatur antara 500 – 700<sup>0</sup>C, kabut bahan bakar menguap dan terbanjar spontan sehingga terjadi kenaikan temperatur dan tekanan gas sampai 50 kg/cm<sup>2</sup> seketika. Disebabkan karena adanya ledakan pembakaran seketika mendorong piston dari TMA ke TMB mengarah kebawah menghasilkan langkah kerja usaha pada poros engkol.

#### **Langkah 4** ( Proses Pembilasan )

Sebelum piston mencapai TMB, katup buang telah terbuka dan katup masuk tertutup dan pada saat piston melampaui TMB ke arah TMA maka sisa gas buang keluar dari silinder didorong oleh piston keluar melalui katup buang ke *exhaust manifold*, yang mana terjadi proses pembilasan sampai piston ke TMA. Setelah itu terjadi lagi proses siklus langkah isap terulang seterusnya.



**Gambar 2.2** Motor Diesel 4 langkah

## 2.2 SISTEM BAHAN BAKAR

Dalam hal ini sistem pemasukan bahan bakar pada motor diesel perlu diperhatikan agar tidak terjadi pemampatan pada saat bahan bakar disalurkan dan disemprotkan ke dalam mesin diesel. Dalam hal ini akan dibicarakan beberapa sistem penyaluran bahan bakar dari tangki bahan bakar sampai masuk ke dalam silinder, yang banyak digunakan pada motor diesel.

Ada tiga sistem yang banyak dipakai, yaitu :

1. sistem pompa pribadi
2. sistem distribusi, dan
3. sistem akumulator

Ketiga sistem ini mempergunakan beberapa komponen yang sama yaitu tangki, beberapa saringan, dan pompa (tekanan rendah) penyalur. Saringan bahan bakar sangat diperlukan untuk mencegah masuknya kotoran ke dalam pompa penyalur, pompa tekanan tinggi dan penyemprot bahan bakar. Kotoran di dalam aliran bahan bakar dapat menyebabkan kerusakan, terutama keausan pompa dan penyemprot. Juga saluran bahan bakar bisa tersumbat sehingga mengganggu kerja motor diesel. Pompa penyalur mengalirkan bahan bakar dari tangki ke pompa tekanan tinggi agar pompa tekanan tinggi itu selalu terisi bahan bakar

dalam segala keadaan operasinya. Tekanan alirannya harus selalu lebih tinggi dari pada tekanan atmosfer sekitarnya, terutama untuk mencegah masuknya udara ke dalam saluran bahan bakar seandainya terjadi kebocoran. Adanya udara ( gelembung ) di dalam aliran bahan bakar akan menyebabkan gangguan, antara lain aliran yang tidak menentu alirannya.

Pada sistem ini yang akan dibahas adalah sistem akumulator, pompa itu mengalirkan bahan bakar masuk ke dalam sebuah akumulator yang dilengkapi dengan katup pengatur tekanan sehingga tekanan bahan bakar di dalam akumulator dapat konstan. Apabila tekanan tersebut lebih besar dari pada yang ditentukan, katup pengatur akan terbuka dan bahan bakar akan mengalir kembali ke dalam pipa isap dari pompa tekanan tinggi. Dari akumulator bahan bakar mengalir ke dalam alat pengatur kapasitas baru kemudian ke penyemprot lalu masuk ke dalam silinder sesuai dengan urutan yang telah ditetapkan.

### **2.3 PENYEMPROTAN BAHAN BAKAR**

Penyemprotan bahan bakar ke dalam silinder dilaksanakan dengan menggunakan sebuah alat yang dinamai *penyemprot bahan bakar*. Di samping beberapa persyaratan lain yang diperlukan,



bahan bakar yang disemprotkan itu harus habis terbakar sesuai dengan prestasi yang diharapkan. Dapat dikatakan fungsi penyemprot bahan bakar adalah :

1. Memasukkan bahan bakar ke dalam silinder sesuai dengan kebutuhan.
2. Mengabutkan bahan bakar sesuai dengan derajat pengabutan yang diminta; dan
3. Mendistribusikan bahan bakar untuk memperoleh pembakaran sempurna dalam waktu yang ditetapkan.

Tekanan udara di dalam silinder sudah sangat tinggi (35 – 50 atm) ketika bahan bakar disemprotkan.(Ref.4 Hal.92). Dengan sendirinya tekanan penyemprotan haruslah lebih tinggi dari tekanan udara tersebut. Kelebihan tekanan itu juga diperlukan untuk memperoleh kecepatan penyemprotan (kecepatan bahan bakar keluar dari penyemprot) tertentu, yaitu sesuai dengan derajat pengabutan yang diinginkan.

Komponen penyemprot yang mengatur bentuk pancaran bahan bakar dinamakan *nozél*. Ada beberapa macam nosel, dua diantaranya yang banyak digunakan pada motor diesel modern adalah nosel katup jarum dan nosel pasak seperti terlukis pada gambar berikut.

bakar terpecah – pecah menjadi titik – titik cairan dalam berbagai ukuran. Dalam hal nosel berlubang, bahan bakar disemprotkan dalam bentuk kerucut pada, sehingga titik – titik cairan bahan bakar yang terjadi itu berukuran lebih besar dari pada yang dihasilkan oleh nosel pasak, pada tekanan penyemprotan yang sama. Namun, titik bahan bakar yang berukuran lebih besar itu mampu mencapai jarak pancar yang lebih jauh.

Sedangkan di dalam nosel pasak, katup pasak bergerak di dalam lubang nosel dan mencegah terjadinya pengumpulan debu dan kerak karbon. Jadi, nosel pasak memiliki sifat membersihkan sendiri. Tekanan pembukaan katup pasak rendah, bahkan dengan  $100 \text{ kg/cm}^2$  sudah cukup. Oleh karena itu, nosel pasak biasa dipakai pada ruang bakar pusrasan atau ruang bakar kamar muka.

## **2.4 SISTEM PEMBAKARAN**

Sistem pembakaran terbagi berdasarkan penginjeksian yang berlangsung pada saat injeksi dibagi dalam beberapa bagian antara lain:

bakar terpecah – pecah menjadi titik – titik cairan dalam berbagai ukuran. Dalam hal nosel berlubang, bahan bakar disemprotkan dalam bentuk kerucut pada, sehingga titik – titik cairan bahan bakar yang terjadi itu berukuran lebih besar dari pada yang dihasilkan oleh nosel pasak, pada tekanan penyemprotan yang sama. Namun, titik bahan bakar yang berukuran lebih besar itu mampu mencapai jarak pancar yang lebih jauh.

Sedangkan di dalam nosel pasak, katup pasak bergerak di dalam lubang nosel dan mencegah terjadinya pengumpulan debu dan kerak karbon. Jadi, nosel pasak memiliki sifat membersihkan sendiri. Tekanan pembukaan katup pasak rendah, bahkan dengan  $100 \text{ kg/cm}^2$  sudah cukup. Oleh karena itu, nosel pasak biasa dipakai pada ruang bakar pusran atau ruang bakar kamar muka.

## **2.4 SISTEM PEMBAKARAN**

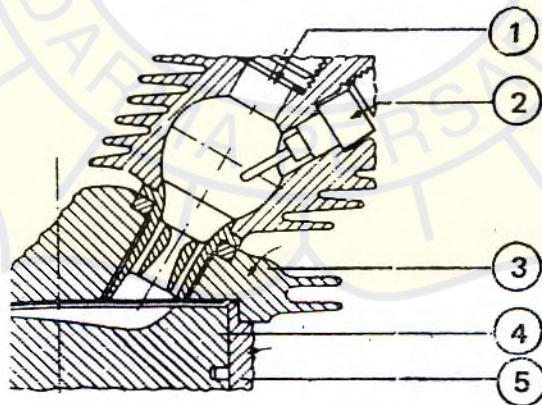
Sistem pembakaran terbagi berdasarkan penginjeksian yang berlangsung pada saat injeksi dibagi dalam beberapa bagian antara lain:

### b. Sistem injeksi tak langsung

Pada sistem ini, ruang bakar penginjeksian tidak tidak berhubungan langsung yaitu bahan bakar yang diinjeksikan sebagian kepada kepala dan sebagian lagi meliputi volume sisa lainnya. Penginjeksian pengabutan terbagi menjadi:

#### 1. Sistem Kamar Pembakaran Muka

Pada sistem ini disediakan kamar pembakaran yang besarnya 30 – 50 % dari jumlah isi dari kamar pembakaran pada TMA atau di volume sisanya dan dihubungkan dengan ruang bakar utama melalui saluran sempit berukuran diameter 3 sampai 4 mm luas penampang seluruh lubang tersebut kira – kira 0,3 – 0,7 % luas penampang melintang silinder (Ref.5 Hal.88)



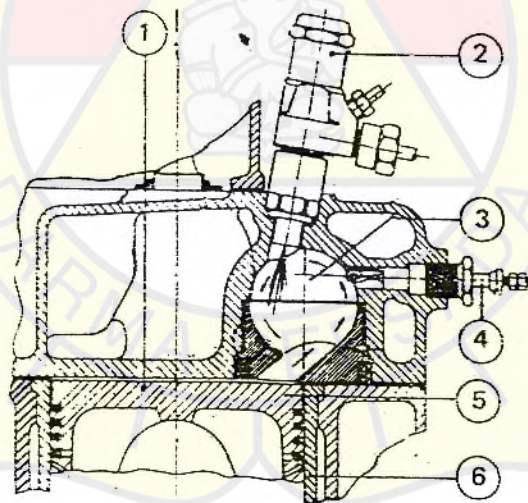
1.penyemprotan bahan bakar 2.alat pemanas (*glow plug*) 3.kepala silinder  
4.torak 5.dinding silinder

Gambar.5. Ruang bakar kamar muka

Sistem ini mempunyai keunggulan pengeluaran gas, getaran dan suara yang sangat kecil dengan ratio kompresi 20 – 24, tetapi umumnya dipakai dalam motor diesel kecil.

## 2. Sistem ruang bakar turbulen

Ruang bakar turbulen konstruksinya sama seperti ruang bakar kamar muka, ruang bakar ini juga dibagi dua bagian tetapi kamar turbulen bervolume antara 80 – 90 % dari volume sisa. Di samping itu kedua ruang bakar tersebut dihubungkan oleh suatu saluran yang berpenampang lebih luas.



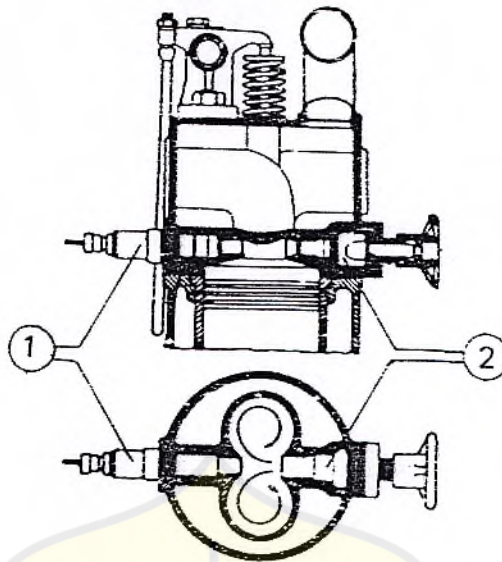
1.kepala silinder 2.penyemprot bahan bakar 3.ruang turbulen 4.alat pemanas  
5.torak 6.dinding silinder

Gambar.6. Ruang bakar turbulen

Pada langkah kompresi, udara dipaksa masuk ke dalam ruang turbulen sehingga terjadi gerak udara berputar – putar. Sudah barang tentu udara itu akan berputar makin kencang jika kecepatan torak yang mendorong udara tersebut masuk ke dalam kamar turbulen bertambah besar. Putaran udara itu turut membantu proses pengabutan bahan bakar dan pencampurannya dengan udara. Oleh karena itu motor diesel dengan ruang bakar turbulen tidak memerlukan penyemprot tekanan tinggi, ruang bakar jenis ini sangat baik untuk motor diesel kecepatan tinggi.

### 3. Ruang bakar Lanova

Prinsip kerja motor diesel dengan ruang bakar Lanova mirip dengan prinsip kerja ruang bakar kamar muka. Dari segi konstruksinya perbedaan utamanya terletak pada posisi penyemprot terhadap ruang Lanova, yaitu tidak di dalam ruang tersebut tetapi di sebelah luarnya.



1. Penyemprot bahan bakar 2. Ruang lanova

Gambar 7. Ruang bakar Lanova

Penyemprot dari ruang Lanova terletak berhadapan dengan lubang ruang Lanova pada jarak tertentu. Kira - kira 60% dari bahan bakar yang disemprotkan masuk ke dalam ruang Lanova yang bervolume  $\pm 10\%$  dari volume sisa. Ruang Lanova sendiri terbagi dua bagian, yaitu ruang Lanova besar dan kecil.

Proses penyalaan pertama terjadi di dalam ruang bakar utama, sementara penyemprotan bahan bakar masih berlangsung maka terjadilah pembakaran didalam ruang Lanova kecil. Penyemprotannya menggunakan nosel pasak dengan tekanan penyemprotan sekitar  $125 - 130 \text{ kg/cm}^2$ . (Ref.4 Hal.103), dan sudut pancaran yang lebih kecil. Dalam hal ini baiknya bahan bakar yang digunakan adalah dengan bilangan cetana yang lebih

tinggi ( $\pm 50$ ). Jika dibandingkan dengan ruang bakar kamar muka, ruang bakar lanova lebih hemat. Disamping itu dapat digunakan perbandingan kompresi yang relatif lebih rendah (13-15) sehingga tidak diperlukan momen putar star yang tinggi, akan tetapi haruslah diingat 60% dari bahan bakar yang disemprotkan harus dapat masuk ke dalam ruang lanova.

Diantara beberapa macam jenis ruang bakar itu motor diesel dengan ruang bakar terbuka adalah yang paling hemat, apabila dilihat dari segi pemakaian bahan bakarnya. Akan tetapi dari segi kehalusan pembakaran, motor diesel ini termasuk yang paling kasar. Laju kenaikan tekanan dalam periode pembakaran cepat berkisar antara 2,4 – 12 kg/cm<sup>2</sup>/derajat sudut engkol, sedangkan tekanan gas maksimum dapat mencapai 120 – 160 kg/cm<sup>2</sup>. (Ref.4 Hal.104)

#### 2.4.1 Proses Pembakaran Pada Motor Diesel

Proses pembakaran pada mesin diesel secara mendasar dapat dijabarkan sebagai berikut :

Bahan bakar disemprotkan ke dalam silinder beberapa saat menjelang titik mati atas pada langkah kompresi. Bahan bakar cair disemprotkan dalam kecepatan tinggi melalui nosel dari



injektor kemudian bahan bakar akan teratomisasi menjadi butiran – butiran kecil, bahan bakar kemudian menguap dan bercampur dengan udara dalam silinder mencapai titik nyala bahan bakar sehingga akan terjadi penyalaan secara spontan. Pada sebagian udara dan bahan bakar yang telah tercampur tadi setelah periode tunda ( *delay period* )selama beberapa derajat putaran poros engkol, tekanan gas dalam silinder akan bertambah selama proses pembakaran terjadi *consequent compression* dari sebagian gas yang belum terbakar memperpendek *delay* sebelum penyalaan. Dari bahan bakar dan udara yang telah tercampur dan mencapai batas bisa terbakar kemudian akan terbakar secara cepat. Dan akan mempercepat waktu penguapan cairan bahan bakar tersisa, penyemprotan bahan bakar terus berlanjut sampai jumlah yang dibutuhkan. Atomisasi penguapan pencampuran bahan bakar dengan udara dan pembakaran terus berlanjut sampai semua bahan bakar mengalami seluruh proses tadi. Pencampuran udara yang tersisa dengan gas yang sedang dan sudah terbakar terus berlanjut selama proses pembakaran dan ekspansi.

## 2.5 IGNITION DELAY

*Ignition delay* pada mesin diesel dinyatakan sebagai selang waktu ( atau derajat poros engkol ) antara mulainya penyemprotan bahan bakar dan mulai terjadinya pembakaran. Proses fisis dan kimiawi terjadi sebelum fraksi signifikan dari energi kimiawi bahan bakar yang dilepaskan. Proses fisisnya adalah : atomisasi *liquid fuel*, penguapan bahan bakar, pencampuran uap bahan bakar dengan udara. Proses kimiawinya : reaksi pra pembakaran dari campuran bahan bakar, udara, sisa gas yang akan menyebabkan penyalan sendiri ( *autoignition* ). Proses – proses tadi dipengaruhi oleh desain mesin, variabel operasi dan karakter bahan bakar.

Atomisasi yang bagus membutuhkan tekanan injeksi yang tinggi, lubang injektor yang kecil, viskositas bahan bakar yang optimal, dan tekanan gas dalam silinder yang tinggi saat bahan bakar disemprotkan. Kecepatan penguapan tergantung pada ukurannya, distribusinya, dan kecepatannya. Kecepatan penguapan tergantung juga pada tekanan dan temperatur dalam ruang bakar serta viskositas bahan bakar.

*Ignition delay* dipengaruhi karakteristik penyalan bahan bakar. Sehingga sifat – sifat bahan bakar ini sangat penting untuk

menentukan karakter operasi mesin diesel seperti efisiensi konversi bahan bakar, kehalusan operasi, asap gas buang (*smoke*), dan kemudahan penyalaan. Kualitas penyalaan bahan bakar ditentukan oleh bilangan cetana. Bahan bakar dengan bilangan cetana yang rendah akan memiliki *ignition delay* yang panjang. *Ignition delay* tidak boleh terlalu panjang karena akan menimbulkan suara ketukan (*knocking*). Hal ini terjadi karena terlalu banyak bahan bakar yang ada dalam silinder sebelum penyalaan terjadi, sehingga saat terjadi penyalaan bahan bakar akan terbakar secara simultan dan menghasilkan kecepatan pembakaran yang tinggi dengan kenaikan tekanan yang tinggi. Untuk bahan bakar dengan bilangan cetana yang rendah juga akan menyebabkan terlambatnya penyalaan dan menghasilkan pembakaran tidak sempurna sehingga akan mengurangi daya keluaran dan efisiensi konversi bahan bakar yang jelek. Untuk bahan bakar dengan bilangan cetana yang tinggi, dengan *ignition delay* yang pendek, penyalaan terjadi sebelum seluruh bahan bakar disemprotkan.

temperatur kompresi puncak akan naik, dikarenakan kerugian panas saat langkah kompresi lebih kecil.

## 2.8 SWIRL RATE

Perubahan *swirl rate* akan merubah penguapan bahan bakar dan proses pencampuran bahan bakar dan udara. Dan selama proses kompresi mempengaruhi perpindahan panas ke dinding, dan tentu saja temperatur udara saat proses injeksi. Pada saat putaran operasi mesin yang normal pengaruh perubahan *swirl rate* terhadap delay adalah kecil. Pada saat menyalakan mesin (putaran mesin dan temperatur kompresi rendah) pengaruhnya jauh lebih penting dikarenakan laju penguapan dan pencampuran yang lebih tinggi akibat adanya *swirl*.