

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Kajian Pustaka**

Motor Diesel merupakan salah satu jenis mesin konversi energi sebagai penggerak mula yang menggunakan energi kimia (solar) sebagai bahan bakar. (Wiranto, 1994, Petter, 1989, Rolf, 1992).

Motor diesel injeksi langsung maupun tidak langsung, untuk membangkitkan tekanan bahan bakar yang cukup tinggi (0 s.d 250 bar) digunakan pompa injeksi/*injection pump*, disamping membangkitkan tekanan tinggi pompa injeksi juga berfungsi untuk mengatur jumlah bahan bakar yang disemprotkan untuk pembakaran. (Wiranto, 1994, Petter, 1989, Rolf, 1992, Ulrich, 2000).

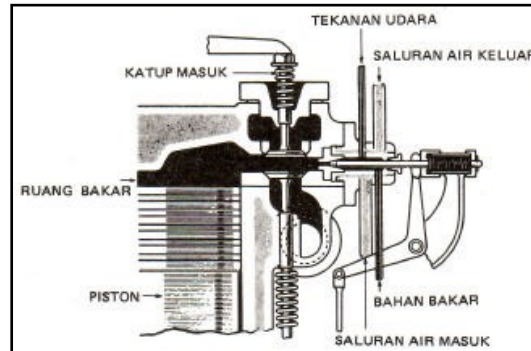
Pompa injeksi sebaris banyak digunakan untuk mesin diesel yang bertenaga besar, karena pompa injeksi ini mempunyai kelebihan bahwa tiap elemen pompa melayani satu silinder mesin. Elemen pompa yang terdiri dari plunyer (plunger) dan silinder (barrel) yang keduanya sangat presisi, sehingga celah antara plunyer dan silindernya sekitar 1/1000 mm. Ketelitian ini cukup baik untuk menahan tekanan tinggi saat injeksi, walaupun pada putaran rendah. ( Anonim, 2004 : 35).

#### **2.2. Landasan Teori**

##### **2.2.1. Karakteristik Motor Diesel**

Sejak diperkenalkan pertama kali oleh Rudolf Diesel pada 1892 di Jerman, mesin diesel telah mengalami perkembangan yang sangat pesat mulai penggunaan bahan bakar hingga peningkatan kinerja yang berhubungan dengan teknologi

mekanis hingga *improvement power*, dan konsumsi bahan bakar agar lebih bersahabat dengan lingkungan ( Anonim, 2012 : 1 ) .



Gambar 2.1. Permukaan Motor Diesel  
(Sumber : Anonim, 1995 8 :1)

Motor diesel sebagai sebuah sumber tenaga penggerak memiliki prinsip yang hampir sama dengan motor bensin (*gasoline engine*) dimana energi dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar, Ada beberapa perbedaan utama antara karakteristik mesin bensin dan mesin diesel. Mesin diesel menggunakan prinsip *auto-ignition* (terbakar sendiri). Sedangkan mesin bensin menggunakan prinsip *spark-ignition* (pembakaran yang dipicu oleh percikan api pada busi). Oleh karenanya motor diesel sering juga disebut dengan "*compression ignition engine*". Agar dapat mencapai suhu dan tekanan pembakaran, tekanan kompresi pada mesin diesel diusahakan mampu mencapai 30-45 kg/cm<sup>2</sup>, agar temperatur udara yang dikompresikan mencapai 500 derajat celsius, sehingga bahan bakar mampu terbakar dengan sendirinya tanpa dipicu oleh loncatan bunga api dari busi. ( Anonim, 2012 : 1 ).

Untuk dapat mencapai tekanan dan temperatur yang demikian, pada motor diesel harus memiliki perbandingan kompresi yang lebih tinggi kira-kira mencapai 25:1 dan membutuhkan gaya yang lebih besar untuk memutarinya. Sehingga motor diesel memerlukan alat pemutar seperti motor starter dan baterai

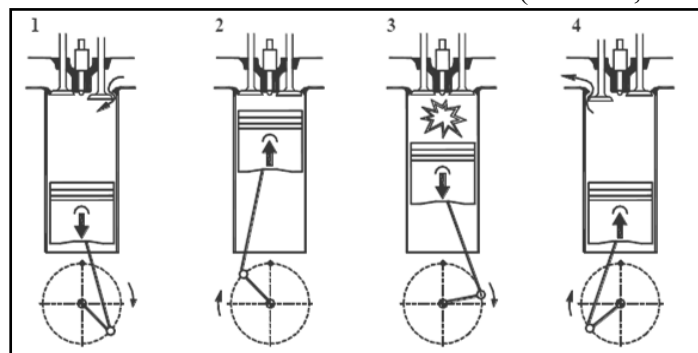
yang berkapasitas besar pula. Disamping itu motor diesel memiliki efisiensi panas yang sangat tinggi, hemat konsumsi bahan bakar, memiliki kecepatan lebih rendah dibanding mesin bensin, getarannya sangat besar dan agak berisik, momen yang didapatkan lebih besar, sehingga motor ini umumnya digunakan pada kendaraan niaga, kendaraan penumpang dan sebagai motor penggerak lainnya. Karena tekanan pembakaran yang tinggi, maka mesin diesel harus dibuat dari bahan yang tahan terhadap tekanan tinggi dan harus mempunyai struktur yang sangat kuat. Disamping itu getaran motor yang dihasilkan sangat besar, ini diakibatkan oleh tekanan pembakaran maksimum yang dicapai hampir dua kali lipat lebih besar dari pada motor bensin, sehingga suara dan getaran mesin diesel menjadi lebih besar. ( Anonim, 2012 : 1 )

#### 2.2.2. Prinsip Kerja Motor Diesel 4 langkah

Pada prinsipnya pada motor diesel tidak jauh berbeda dengan motor bensin, demikian pula secara mekanis tidak dapat perbedaan jenis komponen yang digunakan. Disamping itu pada motor diesel dikenal pula motor diesel langkah (*2 stroke*) dan motor diesel 4 langkah (*4 stroke*), namun dalam perkembangannya motor diesel 4 langkah lebih banyak berkembang dan digunakan sebagai penggerak. Sebagaimana namanya, mesin diesel empat langkah mempunyai empat prinsip kerja, yaitu langkah hisap, langkah kompresi, langkah usaha dan langkah buang. Keempat langkah mesin diesel ini bekerja secara bersamaan untuk menghasilkan sebuah tenaga yang menggerakkan komponen lainnya. Motor Diesel disebut juga motor pembakaran dengan tekanan kompresi karena motor mengisap udara dan mengompresikan dengan tingkat yang lebih tinggi.

Berdasarkan efisiensi secara keseluruhan, motor diesel muncul sebagai mesin pembakaran yang paling efisien dan bertenaga besar, pada jenis motor diesel putaran rendah dapat mencapai efisiensi sampai 50 persen atau lebih. Pada motor diesel 4 langkah, katup masuk dan buang digunakan untuk mengontrol proses pemasukan dan pembuangan gas dengan membuka dan menutup saluran masuk dan buang. Pemakaian bahan bakar lebih hemat, diikuti dengan tingkat polutan gas buang yang relatif rendah, semuanya itu dihasilkan oleh motor diesel secara signifikan. Seperti halnya motor bensin maka ada motor diesel 4 langkah dan 2 langkah. (Anonim, 2012 : 2 ).

- a. Langkah pertama adalah langkah hisap. Pada langkah ini, piston akan bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB). Selanjutnya, katup hisap akan terbuka sebelum mencapai TMA dan katup buang akan tertutup. Akibatnya, akan terjadi kevakuman di dalam silinder yang menyebabkan udara murni masuk ke dalam silinder. (Anonim, 2012 : 2 ).



Gambar 2.2. Prinsip kerja motor diesel 4 langkah  
(sumber : Rabiman, Zainal Arifin, 2011 1:5 )

- b. Sedangkan pada langkah kedua (langkah kompresi), piston bergerak sebaliknya, yaitu dari TMB ke TMA. Katup hisap tertutup sementara katup buang akan terbuka. Udara kemudian akan dikompresikan sampai pada tekanan dan suhunya menjadi 30 kg/cm<sup>2</sup> dan suhu 500 derajat celsius.

Perbandingan kompresi pada motor diesel berkisar diantara 14 : 1 sampai 24 : 1 . Akibat proses kompresi ini udara menjadi panas dan temperaturnya bisa mencapai sekitar 900 °C . Pada akhir langkah kompresi injektor/nozel menyemprotkan bahan bakar ke dalam udara panas yang bertekanan sampai diatas 2000 bar. Solar dibakar oleh panas udara yang telah dikompresikan di dalam silinder. Untuk memenuhi kebutuhan pembakaran tersebut, maka temperatur udara yang dikompresikan di dalam ruang bakar harus mencapai 500 derajat celsius atau lebih. Perbedaan kompresi ini menghasilkan efisiensi panas yang lebih besar, sehingga penggunaan bahan bakar diesel lebih ekonomis dari pada bensin. Pengeluaran untuk bahan bakar pun bisa lebih hemat. (Anonim, 2012 : 2 ).

- c. Pada langkah ketiga (langkah usaha), katup hisap tertutup, katup buang juga tertutup dan injektor menyemprotkan bahan bakar. Sehingga, terjadi pembakaran yang menyebabkan piston bergerak dari TMA ke TMB. (Anonim, 2012 : 3).
- d. Dan pada langkah keempat (langkah buang), hampir sama dengan langkah hisap, yaitu piston bergerak dari TMB ke TMA. Namun, katup hisap akan tertutup dan katup buang akan terbuka. Sedangkan piston akan bergerak mendorong gas sisa pembakaran keluar. (Anonim, 2012 : 3 ).

### **2.3. Sistem Injeksi Bahan Bakar Diesel**

Sistem injeksi bahan bakar pada mesin diesel merupakan sistem paling penting di antara sistem-sistem yang lain. Dengan sistem injeksi bahan bakar yang baik dan tepat akan menghasilkan tenaga mesin yang optimal Sebaliknya sistem

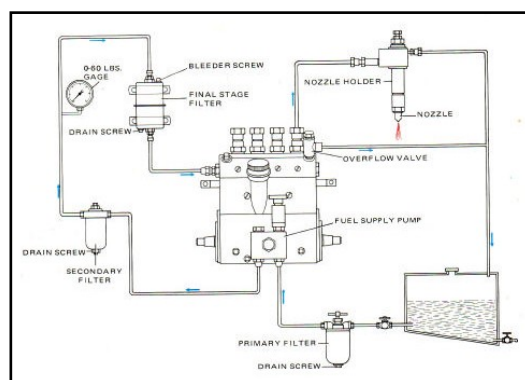
injeksi bahan bakar yang kurang baik dan kurang tepat dapat menyebabkan tenaga mesin diesel kurang optimal, bahkan mungkin saja mesin diesel tidak dapat dijalankan sama sekali. (Anonim, 2004 : 22 ).

Banyak orang yang menyatakan bahwa sistem injeksi bahan bakar pada mesin diesel merupakan jantung hidup matinya mesin. Sistem injeksi bahan bakar mesin diesel mencakup rangkaian komponen-komponen yang berhubungan dengan bahan bakar, yang berfungsi mengisap bahan bakar dari tangki bahan bakar, memompakan bahan bakar, sampai bahan bakar tersebut diinjeksikan ke dalam ruang bakar silinder mesin dalam rangka memperoleh tenaga. (Anonim, 2004 : 22 ).

Sistem injeksi bahan bakar mesin diesel dapat dibedakan menjadi 2 (dua) cara yaitu:

a) Sistem Injeksi bahan bakar dengan pompa injeksi sebaris

Sistem bahan bakar yang menggunakan pompa injeksi sebaris dapat dilihat pada gambar dibawah, yaitu dengan pompa injeksi Bosch.



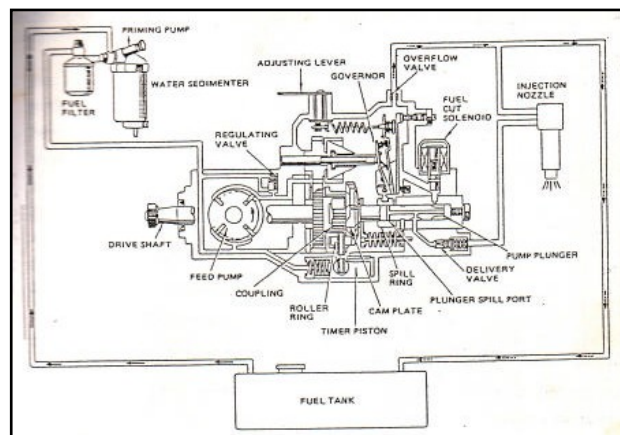
Gambar 2.3. Sistem injeksi bahan bakar pompa injeksi sebaris (Tipe Bosch)  
(Sumber : Anonim, 2004 :25)

Pada sistem injeksi bahan bakar dengan pompa injeksi sebaris seperti di atas, terdiri dari empat elemen pompa yang melayani empat buah silinder. Dengan

demikian tiap silinder mesin diesel akan dilayani oleh satu elemen pompa secara individual. ( Anonim, 2004 : 25).

b) Sistem injeksi bahan bakar dengan pompa injeksi *Distributor*

Pada sistem bahan bakar dengan pompa injeksi *distributor*, pompa injeksinya hanya memiliki satu buah elemen pompa. Dengan demikian satu elemen pompa akan melayani empat buah silinder mesin diesel melalui saluran distribusi pada pompa. Sebagai contoh sistem bahan bakar dengan pompa *distributor* dapat dilihat pada gambar berikut. (Anonim, 2004 : 25).



Gambar 2.4. Sistem injeksi bahan bakar pompa injeksi distributor VE  
(Sumber : Anonim, 1995 3: 94)

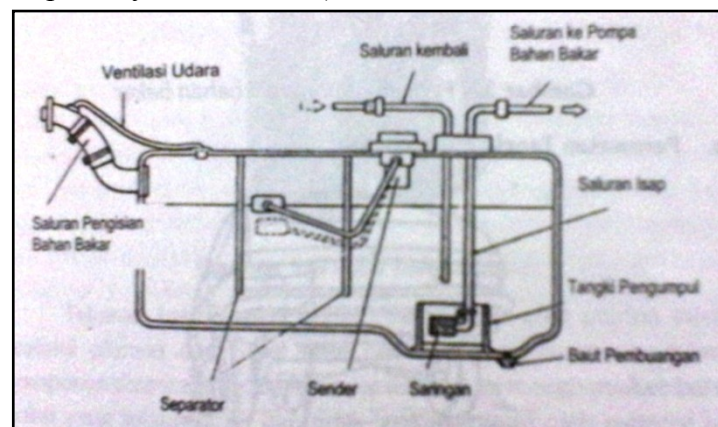
Pompa injeksi sebaris pada umumnya digunakan untuk mesin diesel bertenaga besar dengan ruang bakar langsung dan penyemprotan langsung (*direct injection*), sedangkan pompa injeksi *distributor* banyak digunakan untuk mesin diesel bertenaga menengah dan kecil dengan ruang bakar tambahan. (Anonim, 2004 : 27 ).

### 2.3.1. Komponen Sistem Injeksi Bahan Bakar Motor Diesel

Komponen-komponen yang terdapat pada sistem injeksi bahan bakar diesel adalah sebagai berikut :

### a. Tangki Bahan Bakar

Tangki bahan bakar harus dibuat dari bahan yang tidak korosi atau terbuat dari plat baja tipis yang bagian dalamnya dilapisi anti karat. Tangki bahan bakar harus bebas dari kebocoran dan tahan terhadap tekanan minimal 0.3 bar, serta tahan terhadap getaran mekanis yang ditimbulkan pada saat kendaraan berjalan. Tangki bahan bakar diletakkan sedemikian jauh dari motor, agar lebih aman terhadap bahaya kebakaran. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011 : 27 ).



Gambar. 2.5. Konstruksi tangki bahan bakar  
(sumber : Rabiman, Zainal Arifin, 2011 2:27 )

Dalam tangki bahan bakar terdapat *fuel sender gauge* yang berfungsi untuk menunjukkan jumlah bahan bakar yang ada dalam tangki.

Separator berfungsi sebagai damper (peredam goncangan) bila kendaraan berjalan atau berhenti secara tiba-tiba atau saat kendaraan berjalan pada jalan yang tidak rata.

### b. Filter

Umur komponen sistem aliran bahan bakar motor diesel sangat ditentukan oleh mutu saringan / filter serta perawatan berkala sistem bahan bakar.

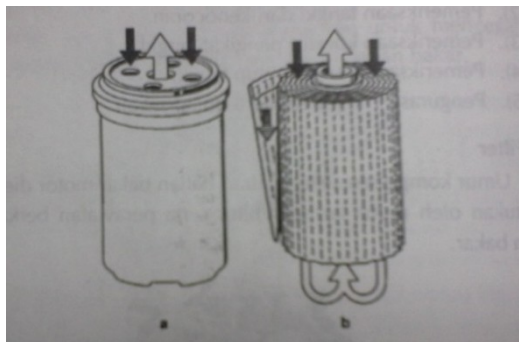




Gambar.2.6. Filter bahan bakar  
(sumber : Rabiman, Zainal Arifin, 2011 2:29)

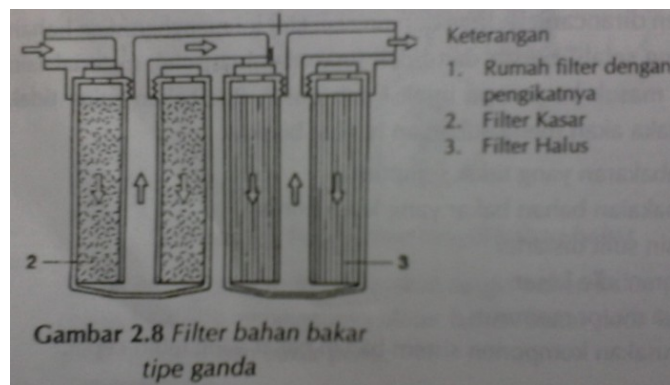
Tekanan bahan bakar dapat dibangkitkan oleh pompa injeksi melalui plunyer dan barel serta nosel. Karena itu masing-masing komponen dirancang sedemikian presisi. Hal ini mengharuskan bahan bakar yang selalu bersih dan tidak terkontaminasi oleh material lain sebelum masuk ke pompa injeksi dan nosel. Bila bahan bakar tidak bersih maka akan mengakibatkan hal-hal berikut :

- a) Pembakaran yang tidak sempurna
- b) Pemakaian bahan bakar yang lebih boros
- c) Mesin sulit distater
- d) Putaran idle kasar
- e) Daya motor menurun
- f) Kerusakan komponen sistem bahan bakar yang lebih cepat.



Gambar.2.7. konstruksi filter bahan bakar  
(sumber : Rabiman, Zainal Arifin, 2011 2:30 )

Elemen filter biasanya terbuat dari kertas spiral disusun bentuk V dengan pori-pori yang sangat halus (sekitar  $8 \mu\text{m}$ ). Sistem bahan bakar ada yang menggunakan filter tunggal dan ada yang menggunakan filter ganda agar penyaringan bahan bakar dapat lebih sempurna, atau ada juga filter yang dirangkai paralel untuk sistem bahan bakar dengan kapasitas yang lebih besar. Filter ganda dirangkai secara seri, bahan bakar disaring terlebih dahulu pada filter kasar (no.2) setelah itu selanjutnya disaring pada filter yang lebih halus (no.3). (Rabiman, Zainal Arifin, 2011: 30).



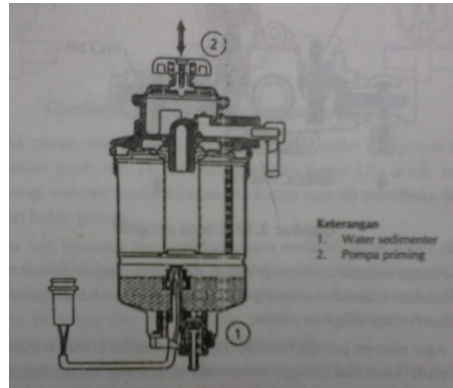
Gambar.2.8. filter bahan bakar ganda  
(sumber : Rabiman, Zainal Arifin, 2011 2:30 )

### c. Pemisah Air ( *Water Sedimenter* )

Pada umumnya sistem aliran bahan bakar yang menggunakan pompa injeksi VE atau *distributor* dilengkapi dengan pemisah air, komponen ini sering disebut dengan sedimenter (1), berfungsi untuk memisahkan air yang ikut mengalir didalam sistem aliran bahan bakar. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011: 31).

Untuk membuang air yang terkumpul di bagian bawah penampung, buka kran sedimenter (1), dan untuk melancarkan pembuangan air tekanlah pompa priming (2). Sedimenter dihubungkan dengan kontak reed, apabila air mencapai

ketinggian tertentu akan menyebabkan kontak menghubungkan; lampu indikator pada instrument panel akan menyala. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011: 31).

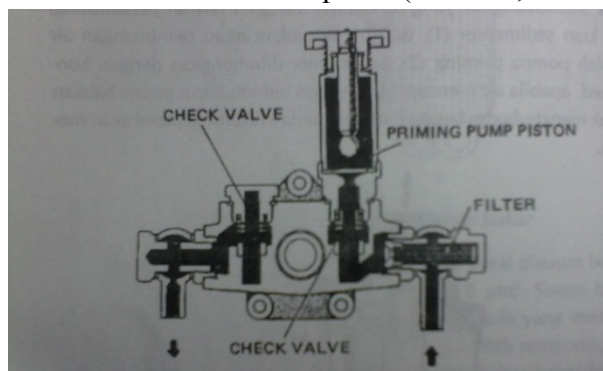


Gambar.2.9. *water sedimenter*  
(sumber : Rabiman, Zainal Arifin, 2011 2:31 ).

#### d. Pompa Pengalir (*Feed Pump*)

*Feed Pump* untuk menghisap bahan bakar dari tangki dan menekannya ke pompa melalui *fuel filter*. *Feed Pump* adalah *single acting pump* yang dipasang pada bagian sisi pompa injeksi dan digerakkan oleh *camshaft* pompa injeksi.

*Manual pump* juga dipasang disini untuk mengeluarkan udara dari saluran bahan bakar bila diperlukan sebelum mesin dihidupkan. (Anonim, 1995 : 93).

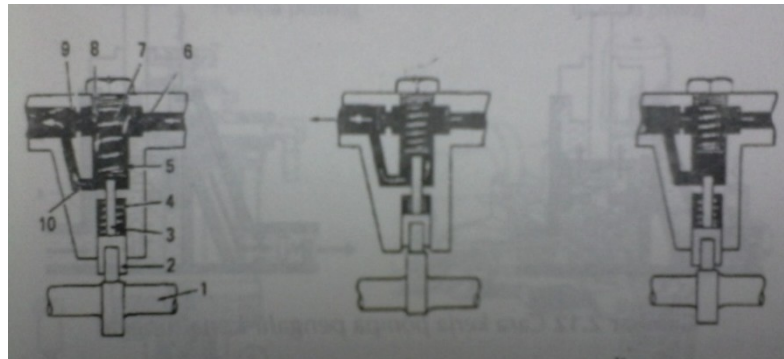


Gambar.2.10. Pompa Pengalir  
(Sumber : Anonim ,1995 3:93)

Ruang bahan bakar pada pompa injeksi harus terus-menerus terisi bahan bakar dalam jumlah yang cukup, tetapi *fuel pump* sendiri tidak dapat memberikan bahan bakar yang cukup pada saat mesin kecepatannya tinggi. Oleh karena itu,

banah bakar diesel harus dialirkan ke pompa injeksi pada tekanan tertentu dan untuk tujuan itu tekanan pengaliran dipertahankan pada 1,8-2,2 kg/cm<sup>2</sup> (25-31 psi, 177-216 kpa). (Anonim, 1995 : 93).

Pompa pengalir digerakkan oleh poros nok pompa injeksi yang memberi gerak bolak-balik ke piston, untuk menghisap dan menekan bahan bakar.



Gambar.2.11. Prinsip Kerja Pompa Pengalir  
(Sumber : Anonim ,1995 8:23)

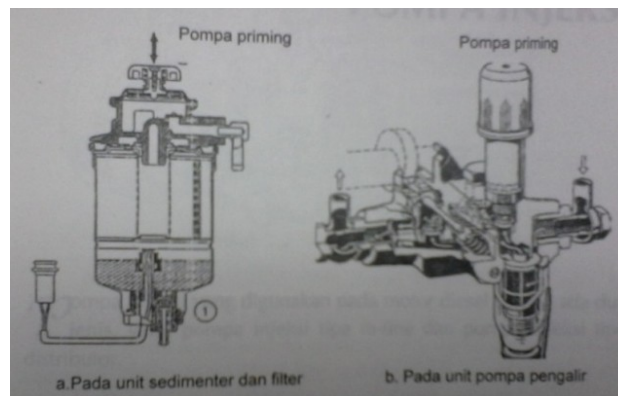
Ketika poros nok (1) tidak menekan *tappet roller* (2), *piston* (5) menekan *pushrod* (3) dengan tegangan pegas (7), untuk mengurangi volume ruang tekanan (8). Katup isap (6) membuka dan bahan bakar terisap. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011: 33).

Poros nok berputar mengangkat piston melalui *tappet roller* dan menekan batangnya. Naiknya piston menekan atau mengkompresikan bahan bakar dalam ruang tekan, menyebabkan katup masuk (*inlet valve*) menutup dan katup keluar (*outlet valve*) membuka dan mengosongkan bahan bakar di bagian bawah. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011: 33).

Bagian pengosongan bahan bakar masuk ruang tekanan (10) pada sisi bawah piston. Jika tekanan bahan bakar dalam sisi bawah piston naik sekitar 1,8-2,2 kg/cm<sup>2</sup>, tekanan pegas tidak akan cukup untuk menurunkan piston, pompa berhenti bekerja. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011: 33).

#### e. Pompa Priming/Pompa Tangan

Pompa priming berfungsi untuk menghisap bahan bakar dari tangki dan menekannya ke pompa penyalur pada saat pembuangan udara (*bleeding*) dilakukan pada sistem aliran bahan bakar.



Gambar.2.12. Penempatan Pompa Priming  
(sumber : Rabiman, Zainal Arifin, 2011 2:35)

Pada sistem bahan bakar dengan pompa injeksi jenis *in-line* pompa priming ditempatkan pada unit *feed pump*, sedangkan pada sistem bahan bakar dengan pompa injeksi jenis *distributor* ditempatkan pada *water sedimenter*. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011: 35).

#### f. Pompa Injeksi

Berfungsi untuk menyalurkan bahan bakar ke nozel injektor. Pompa injeksi biasanya dipasang dibagian sisi mesin dan digerakkan oleh *crankshaft* melalui *timing gear* atau *timing belt*. Ada dua tipe pompa injeksi yaitu tipe *distributor* dan tipe *in-line*. (Anonim, 1995 : 94).

#### g. Injektor

Injektor bahan bakar kadangkala disebut juga dengan pengabut atau ada yang menyebut dengan nozel (*nozzle*). Disebut *injector* karena tugas dari komponen ini adalah menginjeksi, dan disebut pengabut karena bahan bakar

keluar dari komponen ini dalam bentuk kabut, sedangkan disebut nosel karena ujung komponen ini luas penampangnya makin mengecil.( Anonim, 2004 : 46).

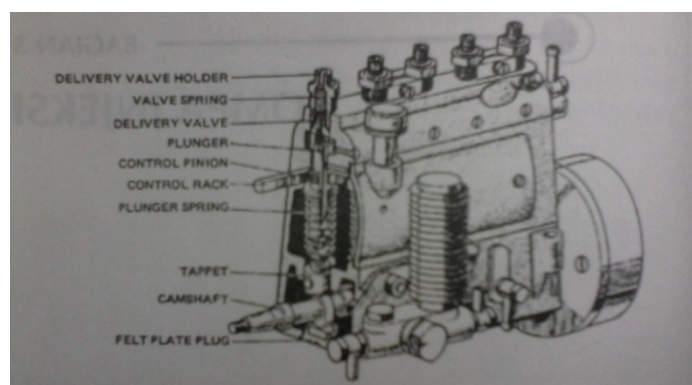
## 2.4. Pompa Injeksi

Pompa injeksi yang digunakan pada motor diesel saat ini ada dua jenis, yaitu pompa injeksi tipe *in-line* dan pompa injeksi tipe *distributor*. Namun yang akan kita dibahas pada sub bab ini hanya pada tipe *in-line* saja.

### 2.4.1. Konstruksi dan Cara Kerja

Rumah pompa dibuat dari bahan alumunium tuang (atau besi tuang). *Camshaft* / poros nok disangga oleh dua bantalan roler tirus ( *tapered roler bearing*) dan digerakkan oleh motor melalui rangkaian roda gigi. Elemen pompa, terdiri dari plunyer dan silinder (*barrel*), merupakan bagian pompa yang paling penting. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011: 37).

Plunyer dan silinder ini dikerjakan dengan penyelesaian / *finishing* presisi tinggi, dan ditempatkan dalam toleransi kecil sekali untuk memungkinkan elemen pompa bertahan dalam tekanan tinggi sekali tanpa ada kebocoran. Dengan alasan ini, plunyer dan silinder tidak boleh diganti sendiri-sendiri / secara terpisah, tetapi harus diganti satu set. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011: 37).



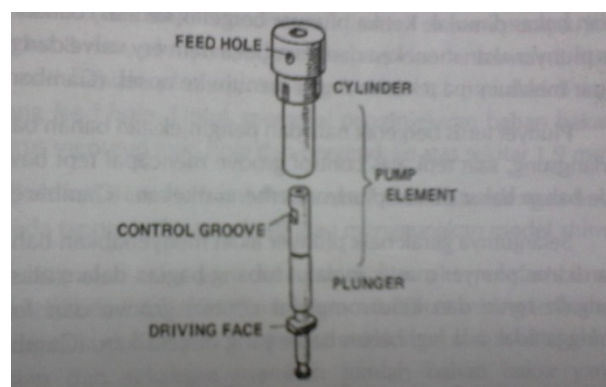
Gambar.2.13. Konstruksi Pompa Injeksi Tipe *In-Line*  
(Sumber : Anonim ,1995 8:21)

*Control rack* dirangkaikan / dipasangkan ke ujung *governor*, melalui *control pinion* yang mengelilingi plunyer untuk mengontrol jumlah bahan bakar yang diinjeksikan ( dan waktu injeksi pada beberapa tipe / model). *Delivery valve* berfungsi untuk mencegah aliran balik bahan bakar saat plunyer bergerak turun (mempertahankan tekanan) bahan bakar di pipa tekanan tinggi, dan juga mencegah menetesnya (“*after-dripping*”) bahan bakar dari nozel. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011: 38).

#### 2.4.2. Elemen Pompa injeksi

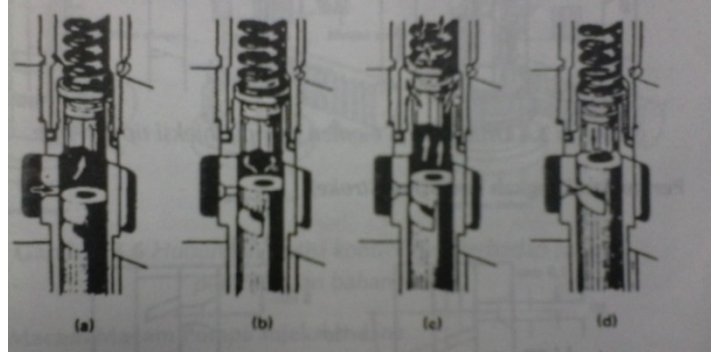
Elemen pompa injeksi seperti ditunjukkan pada gambar dibawah, terdiri dari plunyer yang terpasang dalam silinder dengan toleransi kecil sekitar 1/1000 mm. Ketepatan pemasangan menjamin kerapatan minyak bahkan pada saat tekanan injeksi yang sangat tinggi sekalipun, baik pada putaran tinggi maupun pada putaran rendah. ( Anonim, 2004 : 35).

Lubang / celah diagonal disebut alur kontrol ( *control groove*), dipotong dalam bagian silinder atas plunyer. Alur dihubungkan dengan bagian atas plunyer dengan lubang.



Gambar.2.14. elemen pompa injeksi  
( Sumber : Anonim, 1995 8:24)

Bahan bakar dialirkan oleh pompa pengalir bahan bakar ke elemen pompa injeksi, tahapan gerak bolak-balik plunyer adalah sebagai berikut :

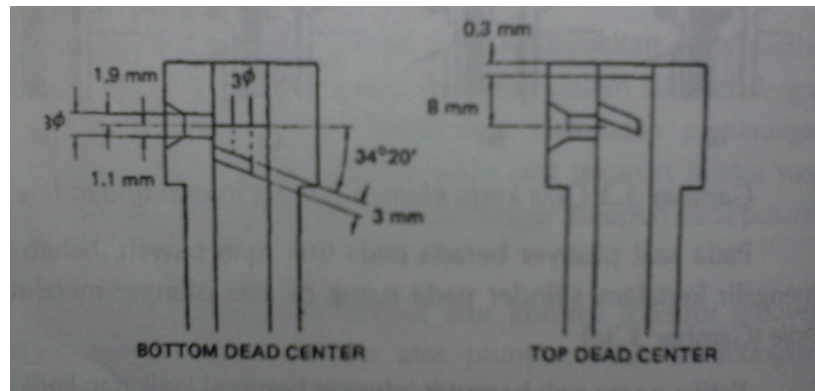


Gambar.2.15. Cara kerja elemen pompa injeksi tipe *in-line*  
(Sumber :Anonim ,1995 8:24)

1. Pada saat plunyer di titik mati bawah (TMB), bahan bakar mengalir melalui *feed hole* pada silinder ke ruangan penyalur (*delivery chamber*) pada bagian atas plunyer. ( Gambar 2.17. a). (Anonim ,1995 8:24)
2. Pada saat *chamshaft* berputar, plunyer bergerak ke atas. Apabila permukaan dari plunyer bagian atas bertemu dengan bibir atas *feed hole*, bahan bakar mulai mengalir dengan suatu tekanan. Pada saat plunyer bergerak ke atas lagi, bahan bakar di dalam *delivery chamber* mendorong *delivery valve* ( katup penyalur) dan keluar melalui pipa tekanan tinggi (*injection pipe*) ke *nozzle*. ( Gambar 2.17. b). (Anonim ,1995 8:24)
3. Plunyer tetap pada posisi bergerak ke atas, tetapi pada saat bibir atas *control groove* bertemu dengan bibir bawah *feed hole*, penyaluran bahan bakar terhenti. ( Gambar 2.17.c). (Anonim ,1995 8:24)
4. Gerakan plunyer ke atas selanjutnya akan menyebabkan bahan bakar yang tertinggal di dalam *delivery chamber* masuk melalui lubang pada permukaan atas plunyer dan mengalir *feed hole* menuju ruang hisap (*suction chamber*),



sehingga tidak ada lagi bahan bakar yang disalurkan. ( gambar 2.17.d).  
(Anonim ,1995 8:24).



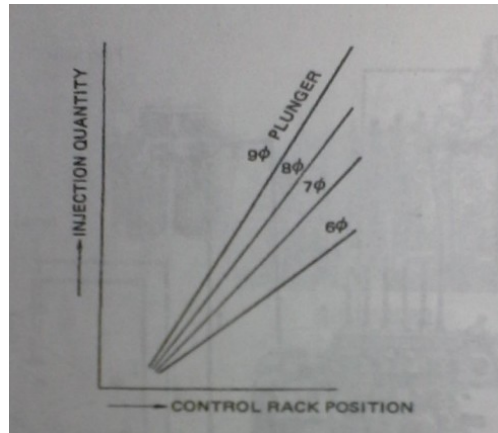
Gambar.2.16. Dimensi elemen pompa  
(Sumber : Anonim ,1995 8:25).

Pada gambar 2.16 ditunjukkan ukuran dari elemen pompa. Dikarenakan tinggi pengangkatan cam (*cam lift*) adalah 8 mm, maka gerakan plunyer turun naik adalah sebesar 8 mm. Pada saat plunyer di TMB, plunyer menutup kira-kira 1,1 mm dari besar diameter *feed hole* sebesar 3 mm. Dengan demikian plunyer akan mulai menekan setelah bergerak ke atas kira-kira 1,9 mm. Langkah ini disebut "*Pre Stroke*" dan pengaturannya dapat dilakukan dengan ,menyetel *tappet adjusting bolt*. (Anonim ,1995 8:25).

Pada saat plunyer berada di TMA, kedudukan plunyer harus berada 0,3 mm dibawah silinder. Alur pengontrolan (*control groove*) pada plunyer dibuat 3 mm dari kepala plunyer dan membentuk sudut 34° yang berhubungan dengan kepala plunyer melalui lubang yang terdapat di tengah plunyer. Dari bentuk ini menentukan akhir injeksi atas dasar posisi *control groove*. (Anonim ,1995 8:25).

Perubahan jumlah bahan bakar yang diinjeksikan diatur oleh gerak putar plunyer. Sedangkan saat mulai injeksi tidak berubah. (Anonim ,1995 8:25).

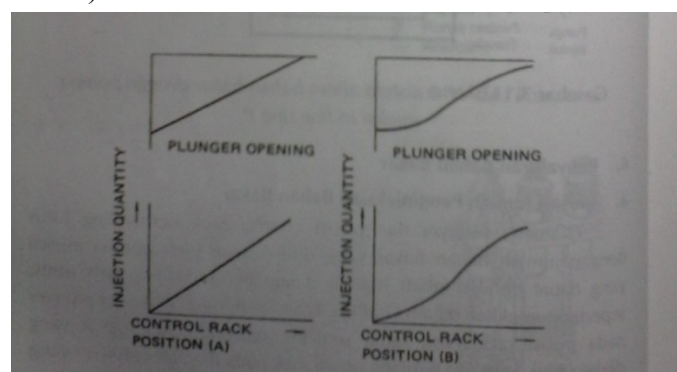
### 2.4.3. Variasi Jumlah Penyemprotan Bahan Bakar



Grafik.2.1. Hubungan posisi control rack dan jumlah penginjeksian  
(Sumber : Anonim, 1995 8:25)

Perbandingan jumlah bahan bakar yang disemprotkan pada pompa injeksi biasa pada umumnya merupakan garis lurus bila perubahan diameter plunyer dan posisi *control rack* bergerak sama. (Anonim, 1995 8:25).

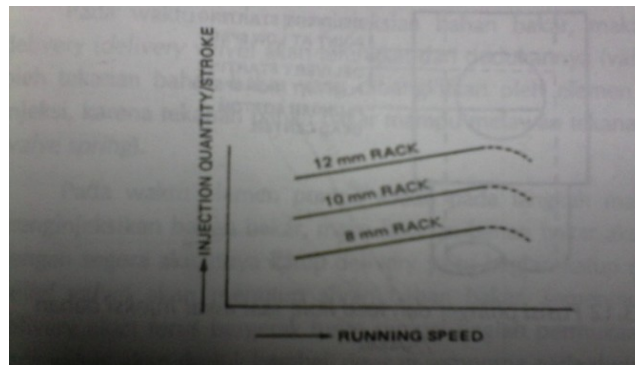
Variasi garis lurus ini didapat bila alur pengontrol lurus seperti ditunjukkan pada grafik dibawah ini. Tetapi bila alur pengontrol merupakan busur, maka jumlah bahan bakar yang disemprotkan akan mengikuti garis alur pengontrol. (Anonim, 1995 8:26).



Grafik.2.2. Bentuk alur pengontrolan dan kuantitas penginjeksian  
(Sumber : Anonim, 1995 8:26).

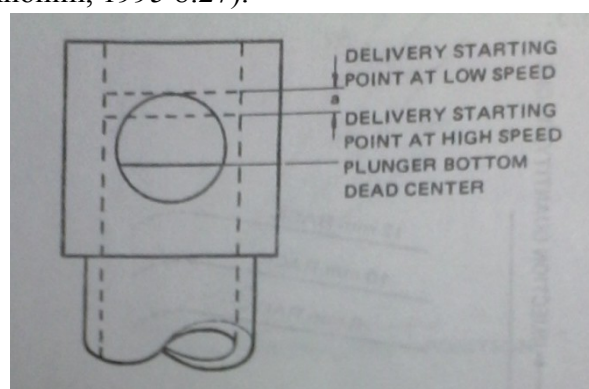
Jika posisi *control rack* ditetapkan; misalnya pada 8, 10 atau 12 mm, dan putaran mesin ditambah, maka perbandingan penambahan bahan bakar yang

diinjeksikan dapat kita lihat pada grafik 2.3. Grafik ini menunjukkan jumlah penyemprotan perlangkah akan naik bila putaran mesin bertambah. Berikut ini akan dijelaskan mengapa terjadi demikian. (Anonim, 1995 8:26).



Grafik.2.3. Putaran mesin dan jumlah penyemprotan  
(Sumber :Anonim, 1995 8:26).

Biasanya pengiriman bahan bakar dimulai setelah lubang pemberi tertutup dan langkah selanjutnya sampai alur pengontrol berhubungan dengan lubang pemberi. Langkah ini disebut langkah efektif (*effective stroke*). Akan tetapi pada saat putaran tinggi, sebelum lubang pemberi tertutup sepenuhnya, pengiriman bahan bakar sudah dimulai. Jadi langkah efektif bertambah ( titik a) pada gambar 2.17 dibawah ini. (Anonim, 1995 8:27).



Gambar.2.17. Lubang pemberi  
(Sumber : Anonim, 1995 8:27).

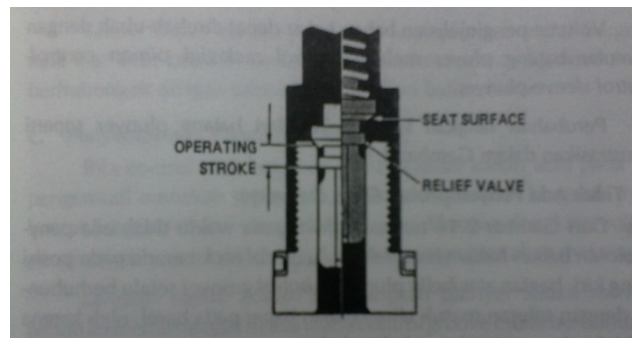
Secara singkat dapat dikatakan bahwa bertambahnya kecepatan plunyer akan mengurangi waktu bagi *pre stroke* karena dengan cepatnya gerakan plunyer,

waktu bagi bahan bakar untuk keluar melalui lubang pemberi tidak cukup. Sehingga pengiriman bahan bakar dimulai pada titik a. (Anonim, 1995 8:27).

Jumlah injeksi juga dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :

- Akibat penghisapan dari katup penyalur
- Kebocoran antara plunyer dan silinder
- Jumlah bahan bakar yang masuk ke silinder kurang, sebab putaran yang tinggi.
- Dan lain-lain.

#### 2.4.4. Katup Penyalur



Gambar.2.18. *Delivery Valve*  
(Sumber : Anonim, 1995 8:28).

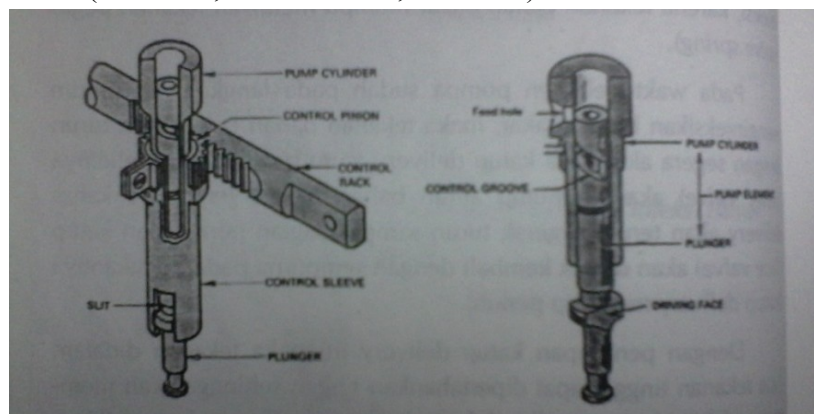
*Delivery valve* (katup penyalur) mempunyai dua fungsi yaitu untuk mencegah bahan bakar dalam pipa tekanan tinggi mengalir kembali ke plunyer dan menghisap bahan bakar dari ruang nozzle setelah penyemprotan. Bila tekanan penyaluran menurun dan pegas *delivery valve* menekan ke bawah, pertama-tama *relief valve* menutup hubungan ruangan pemberi dengan pipa injeksi dan selanjutnya katup akan masuk kedalam sampai dudukan (*seat surface*) bersentuhan dengan body mencegah menurunnya katup. (Anonim, 1995 8:28).

Setelah hubungan pipa dan ruangan pemberi tertutup, katup masih bergerak ke bawah mengakibatkan adanya penghisapan bahan bakar dari ruang nozzle

setelah penyemprotan dan berfungsi untuk mencegah terjadinya tetesan-tetesan bahan bakar keluar nozzle setelah penyemprotan. (Anonim, 1995 8:28).

#### 2.4.5. Pengaturan Volume Penginjeksian Bahan Bakar

Jumlah penyaluran bahan bakar diatur sesuai dengan kondisi kerja atau kebutuhan dari motor oleh *governor*. *Governor* bekerja mengontrol gerak *control rack* yang gigi-giginya dihubungkan dengan gigi kontrol *control pinion* dan diikatkan ke *control sleeve*, yang bebas berputar pada *pump cylinder*(barrel). Pergerakan plunyer di dalam silinder atau barel dikontrol oleh bagian bawah *control sleeve*. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011: 50).



Gambar .2.19. Komponen pengaturan volume penginjeksian bahan bakar.  
(Sumber : Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:50)

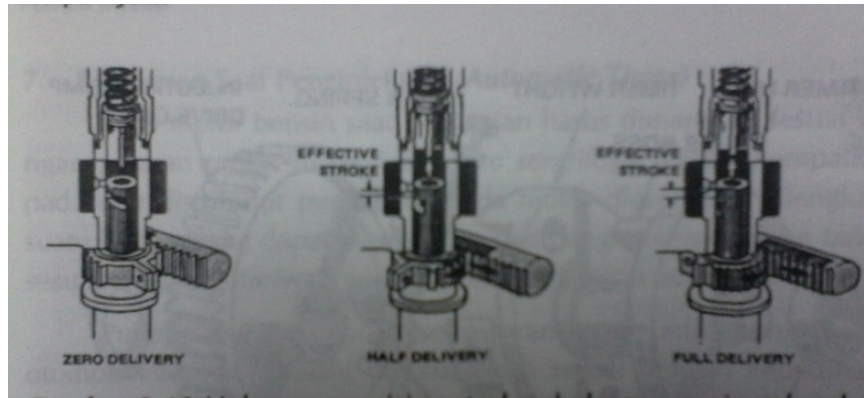
Volume penginjeksian bahan bakar dapat dirubah-ubah dengan memutar batang plunyer melalui *control rack-gigi pinion control- control sleeve-plunyer*.

Perubahan langkah kerja efektif dari batang plunyer seperti diilustrasikan dalam gambar dibawah.

##### a. Tidak Ada Penyemprotan

Dari gambar dibawah terlihat bahwa pada waktu tidak ada penyemprotan bahan bakar (*zero delivery*) *control rack* berada pada posisi paling kiri, bagian

atas helix plunyer (*control groove*) selalu berhubungan dengan saluran masuk aliran bahan bakar pada barel, oleh karena itu tidak ada penginjeksian bahan bakar. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011: 50).



Gambar.2.20. Hubungan posisi control rack dengan langkah efektif plunyer (Sumber : Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:51)

b. Penyemprotan Separuh (*Half Delivery*)

*Control rack* bergerak ke kanan setengah dari posisi gerakan maksimum, mengakibatkan plunyer akan berputar juga sehingga coakan/helix/*control groove* plunyer akan membentuk langkah efektif dengan jarak seperti pada gambar 2.20. Bahan bakar diinjeksikan pada saat plunyer mulai bergerak naik dan akan berakhir pada saat helix/coakan/*control groove* sudah berhubungan dengan saluran masuk aliran bahan bakar. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:51)

c. Penyemprotan Penuh (*Full Injection*)

Bila *control rack* bergerak penuh ke arah kanan atau pada saat pengemudi menekan gas penuh, maka plunyer akan bergerak membentuk langkah efektif yang lebih panjang. Dengan demikian volume penginjeksian juga lebih besar dan daya motor juga akan maksimum. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:51)

Langkah efektif adalah saat langkah plunyer sudah menutup penuh *feed hole* sampai titik dimana *control groove* mulai berhubungan dengan *feed hole* kembali.

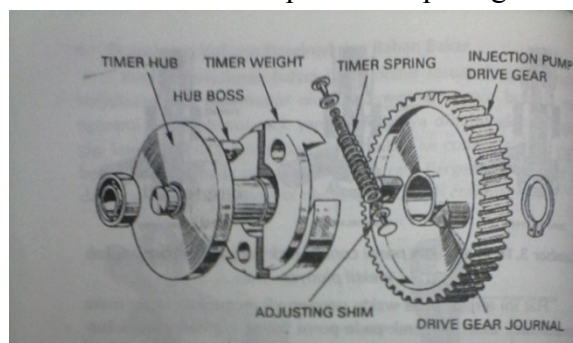
Langkah efektif akan berubah tergantung posisi batang olinyer terhadap *feed hole* dan jumlah bahan bakar yang diinjeksikan adalah sebanding dengan langkah efektif ini. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:51)

#### 2.4.6. Pengajuan Saat Penginjeksian

Pada motor bensin saat pengapian harus dimajukan sesuai dengan putaran motor melalui *advance sentrifugal* yang ditempatkan pada unit distributor pengapian, pada motor diesel juga dilengkapi suatu bagian yang dapat memajukan saat penginjeksian bahan bakar sesuai dengan putaran motor yang disebut dengan *automatic-timer*. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:53)

Putaran mesin motor diesel putaran tinggi untuk penggunaan otomotif/kendaraan selalu berubah-ubah sesuai dengan kebutuhan. Untuk mendapatkan daya motor yang baik saat putaran mesin dinaikkan timing injeksi harus dimajukan/ dimundurkan sesuai dengan putaran. Hal ini sama seperti memajukan waktu pengapian pada motor bensin, untuk tujuan inilah *timer* digunakan. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:53)

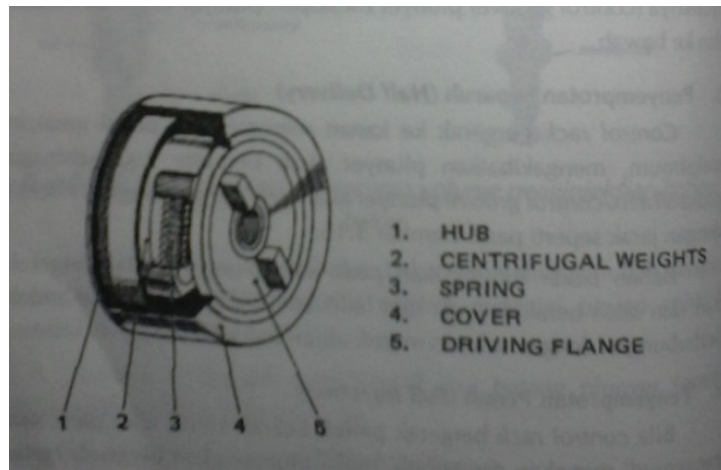
Ada dua tipe timer yang dipakai, yaitu timer tangan (*hand timer*) dan timer otomatis (*automatic timer*). Saat ini timer otomatis lebih banyak digunakan pada kendaraan, komponen timer otomatis dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar.2.21. Komponen automatic timer  
(sumber : Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:52)



Timer otomatis dipasang menempel pada unit pompa injeksi. Timer otomatis memanfaatkan gaya sentrifugal untuk memajukan timing injeksi sesuai dengan putaran motor. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:53)



Gambar.2.22. Rangkaian automatic timer  
(Sumber :Anonim ,1995 8:28)

Seperti ditunjukkan pada gambar diatas, timer otomatis dibuat atau disusun oleh dua buah bobot sentrifugal (*centrifugal weight*), pegas (*spring*), tutup (*cover*) dan flens penghubung (*driving flange*). (Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:53)

Flens dihubungkan ke poros penggerak pompa injeksi dengan tinjolan keluar dari permukaannya. Hub atau poros dipasang ke poros nok atau *camshaft* pompa injeksi. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:53)

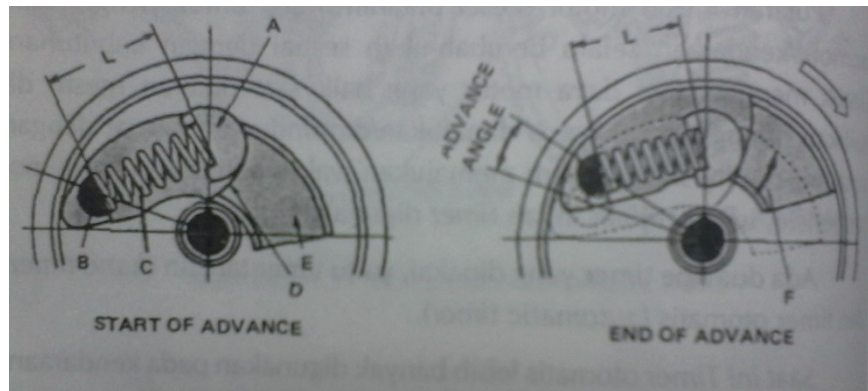
#### a. Cara Kerja

Saat putaran mesin naik, maka gaya Sentrifugal (F) juga bertambah, hal ini akan menyebabkan bobot sentrifugal timer (E) bergerak ke araha keluar. Permukaan bobot timer (D) meluncur sesuai dengan kebutuhan dan mendorong (memajukan) *flens journals* (A). (Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:53)

Hal ini akan menyebabkan jarak (L) antara journals (A) dan *hub timer* (poros penggerak) dan poros nok atau *camshaft* pompa dapat merubah posisi

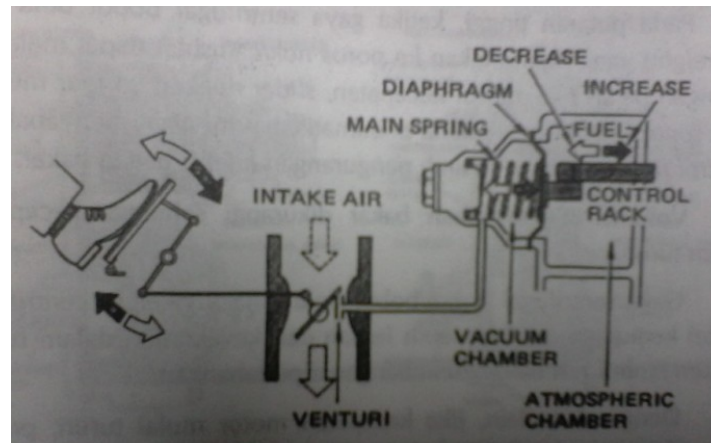


sudut putarnya, sehingga poros nok juga berputar lebih cepat. Gaya sentrifugal bobot timer diseimbangkan dengan tegangan pegas, akibatnya sudut *advance* atau pengajuan penyemprotan dapat disesuaikan dengan putaran motor. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:54)



Gambar.2.23. Cara kerja automatic timer  
(Sumber : Anonim ,1995 8:29)

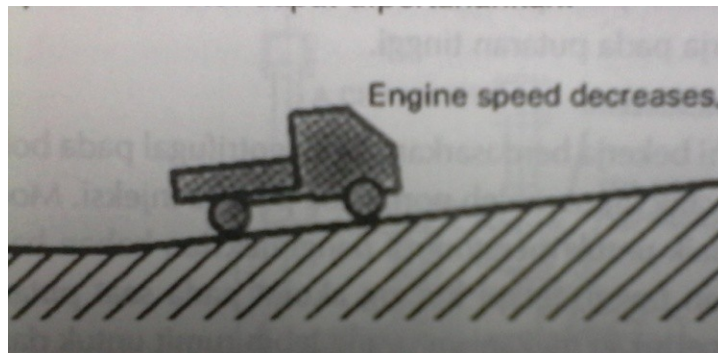
#### 2.4.7. Governor



Gambar 2.24. Kerja Governor Pneumatic  
(Sumber : Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:71)

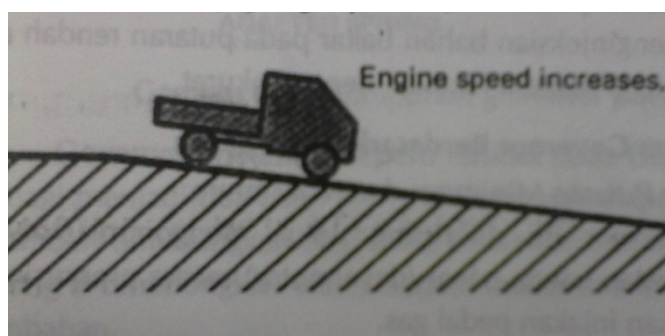
Fungsi Governor adalah untuk mengontrol secara otomatis penyaluran bahan bakar sesuai dengan beban mesin. Governor dapat diklasifikasikan menurut mekanisme yaitu jenis pneumatik, jenis sentrifugal, dan menurut fungsinya yaitu jenis kecepatan tertentu dan semua kecepatan (Anonim ,1995 8:30).

Saat pedal gas ditekan pada posisi yang konstan maka putaran motor akan turun bila beban motor bertambah (misalnya pada saat melewati tanjakan). Untuk mengatasi hal ini maka *governor* akan menambah volume penginjeksian bahan bakar agar motor tidak mati dan putaran motor dapat dipertahankan. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:55)



Gambar.2.25. Penurunan putaran mesin saat kendaraan melewati tanjakan.  
(Sumber : Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:55)

Demikian juga saat beban motor berkurang (misalnya saat melewati jalan menurun), maka putaran mesin akan naik. Untuk mempertahankan putaran mesin, *governor* akan mengurangi volume penginjeksian untuk menjaga agar putaran motor tidak berlebihan. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:55)



Gambar.2.26. Putaran mesin bertambah saat kendaraan melewati turunan.  
(Sumber : Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:55)

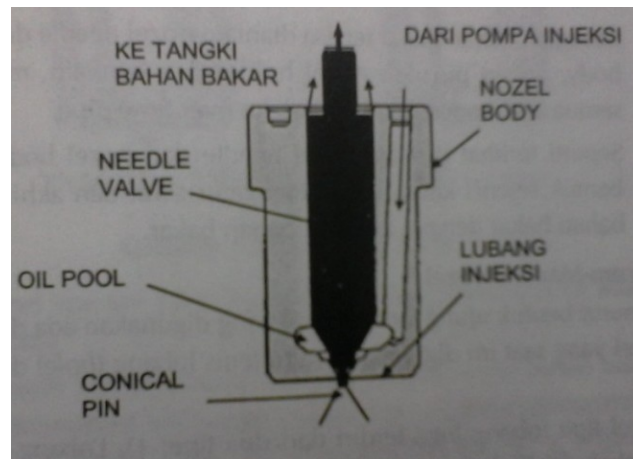
Disamping itu *governor* juga akan menjaga putaran idle motor agar motor tidak mati, serta membatasi putaran maksimum agar motor diesel tidak melewati

putaran maksimum yang diperbolehkan (*over running*). (Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:55)

## 2.5. Injektor (*Nozel dan Nozel Holder*)

Nozel terdiri dari *nozel body* dan *needle*. Nozel menyembrotkan bahan bakar dari pompa injeksi ke dalam silinder dengan tekanan tertentu untuk mengatomisasikan bahan bakar secara merata. Pompa injeksi adalah sejenis katup yang dikerjakan dengan sangat presisi dengan toleransi 1/1000. Karena itu bila nozel perlu diganti maka *nozel body* dan *needle* harus diganti secara bersamaan. (Anonim ,1995 3:96)

Nozel dilumasi dengan solar. *Nozel holder* berfungsi untuk menahan *retaining nut* dan *distance piece* . *nozel holder* terdiri dari *adjusting washer* yang mengatur tekanan pegas untuk menentukan tekanan membukanya katup nozel. (Anonim ,1995 3:96).

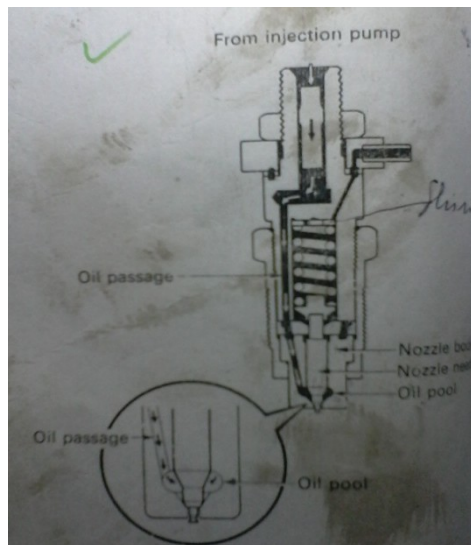


Gambar.2.27. Injektor  
(Sumber : Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:93)

### 2.5.1. Cara kerja

Cara kerja injektor terdiri dari tiga tahap yaitu sebagai berikut :

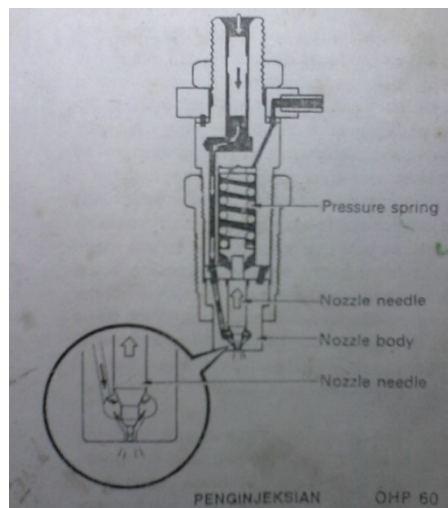
a. Sebelum pengisian



Gambar. 2.28. Sebelum Penginjeksian  
(Sumber : Anonim, 1995 3 : 96)

Bahan bakar yang bertekanan tinggi mengalir dari pompa injeksi melalui saluran minyak pada nozel holder menuju ke oil pool pada bagian bawah nozel body. (Anonim ,1995 3:96)

b. Penginjeksian bahan bakar

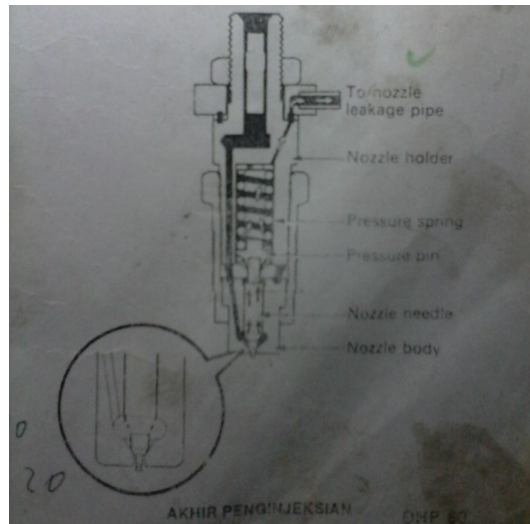


Gambar. 2.29. Penginjeksian  
(Sumber : Anonim, 1995 3 : 97)

Bila tekanan bahan bakar pada *oil pool* naik, maka tekanan ini akan menekan permukaan ujung needle. Bila tekanannya melebihi kekuatan pegas,

maka nozel needle akan terdorong ke atas oleh tekanan bahan bakar dan *nozel needle* terlepas dari *nozel body seat*. Kejadian ini menyebabkan nozel menyemburkan bahan bakar ke ruang bakar. (Anonim ,1995 3:97).

### c. Akhir Penginjeksian



Gambar.2.30. Akhir Penginjeksian  
(Sumber : Anonim, 1995 3 : 97)

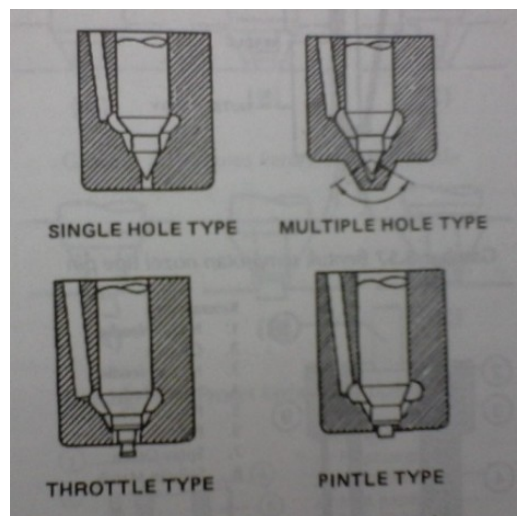
Bila pompa injeksi berhenti mengalirkan bahan bakar, tekanan bahan bakar turun, dan tekanan pegas (*pressure spring*) mengembalikan *nozzle needle* ke posisi semula. Pada saat ini needle tertekan kuat pada *nozzle body seat* dan menutup saluran bahan bakar. (Anonim ,1995 3:97).

Sebagian bahan bakar tersisa diantara nozel needle dan nozel body, antara pin dan nozle holder dan lain-lain, melumasi semua komponen dan kembali ke overflow pipe. (Anonim ,1995 3:97).

Seperti terlihat diatas, nozel needle dan nozel body membentuk sejenis katup untuk mengatur awal dan akhir injeksi bahan bakar dengan tekanan bahan bakar. (Anonim ,1995 3:97)

### 2.5.2. Macam- macam nozel

Pada umumnya nozel terbagi dalam tipe lubang (*hole*) dan jenis pin. Nozel tipe lubang juga terdiri dari dua tipe ; 1). Lubang tunggal (*single hole*) 2). Lubang banyak (*multiple hole*). Nozel tipe pin juga terdiri dari dua tipe; 1). *Throtlle* 2). *Pintle*. ( Anonim, 2012 : 20).

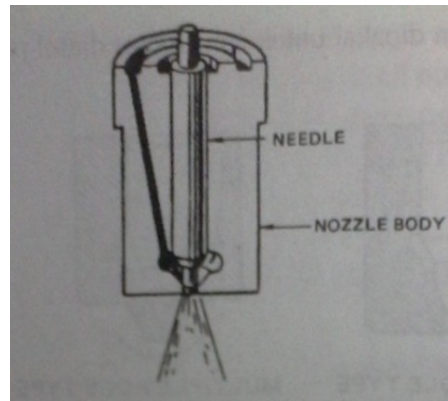


Gambar.2.31. Macam-macam nozel  
(Sumber : Anonim ,1995 8:72)

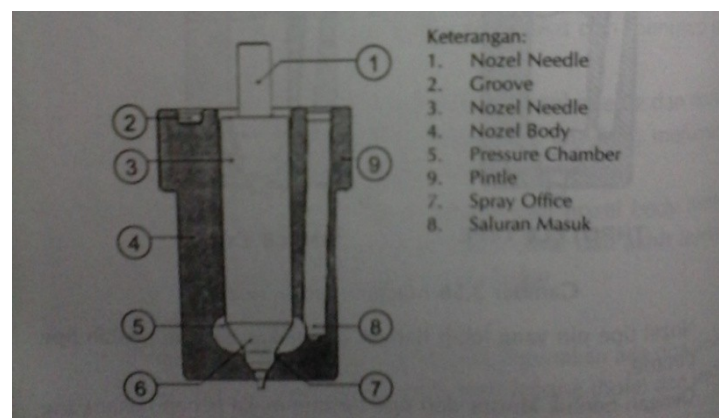
Secara umum nozel dengan tipe lubang banyak (*multiple hole*) digunakan untuk motor diesel pembakaran langsung sedangkan tipe pin dipakai untuk jenis motor diesel pembakaran tak langsung. ( Anonim, 2012 : 20).

Kebanyakan dari nozel tipe pin adalah tipe *throttle*. Dengan bentuk khusus dari tipe *throttle*. Disebabkan karena bentuk khusus dari tipe *pintle* maka hanya sedikit bahan bakar yang masuk kamar muka saat awal penyemprotan, akan tetapi banyaknya bahan bakar akan meningkat pada saat akan berakhir penyemprotan. Pengabutan bahan bakar lebih bagus pada tipe *throttle* ini untuk menjaga detonasi pada mesin diesel, serta pemakaian bahan nbakar juga lebih hemat. ( Anonim, 2012 : 20).





Gambar.2.32. Bentuk semprotan nozel tipe pin  
(Sumber : Anonim ,1995 8:70)

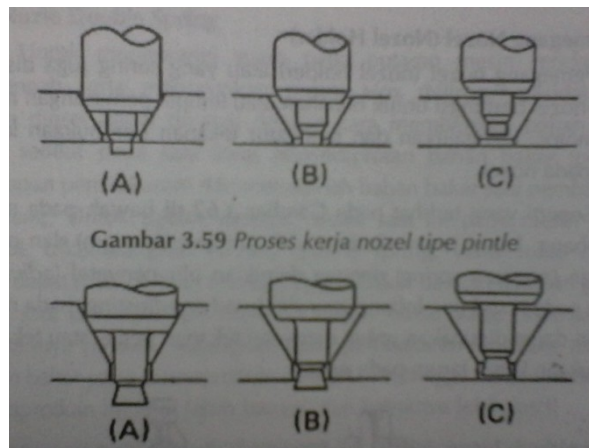


Gambar.2.33. Bagian-bagian nozle tipe pin  
(Sumber : Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:96)

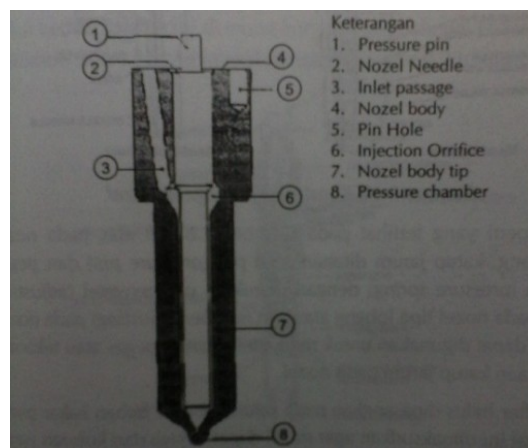
Proses pengangkatan katup jarum pada nozel tipe pin adalah sebagai berikut

( perhatikan gambar dibawah ini ) :

- a) Tekanan bahan bakar belum cukup tinggi, sehingga katup jaum belum terangkat.
- b) Tekanan bahan bakar naik katup jarum terangkat sedikit, maka jumlah bahan bakar yang disemprotkan sedikit (awal injeksi)
- c) Jarum terangkat penuh, sehingga bahan bakar yang disemprotkan maksimum.



Gambar.2.34. Proses kerja nozel tipe Pintle dan tipe throttle  
(Sumber : Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:97)



Gambar.2.35. Konstruksi nozel tipe pin  
( Sumber : Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:97)

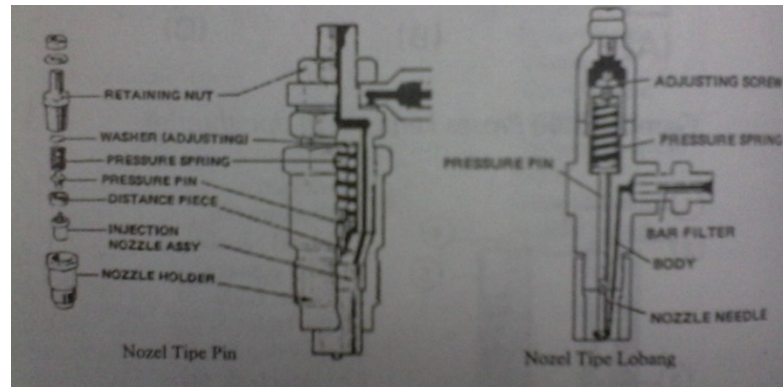
### 2.5.3. Pemegang Nozel (*Nozel Holder*)

Pemegang nozel (*nozel holder*) yang sering juga disebut rumah nozel berfungsi untuk menahan atau tempat pemasangan nozel pada motor, mengalirkan dan mengatur tekanan pembukaan katup jarum pada nozel. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:98)

Seperti yang terlihat pada gambar dibawah, pada nozel tipe lubang, katup jarum ditahan oleh (*pressure pin*) dan penekan (*pressure spring*) dengan demikian ulir penyetel (*adjusting screw*) pada nozel tipe lubang atau sim (*washer adjusting*)



pada nozel tipe pin dapat digunakan untuk menyetel tekanan pegas atau tekanan pembukaan katup jarum pada nozel. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:98)



Gambar.2.36. Konstruksi pemegang nozel  
(Sumber : Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:98)

Seperti terlihat pada gambar diatas pada *nozel tipe* lubang, katup jarum ditahan oleh pin (*pressure pin*) dan pegas penekan (*pressure spring*) dengan demikian ulir penyetel (*adjusting screw*) pada nozel tipe lubang atau sim (*washer adjusting*) pada nozel tipe pin dapat digunakan untuk menyetel tekanan pegas atau tekanan pembukaan katup jarum pada nozel. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:98)

Filter halus dipasangkan pada saluran masuk bahan bakar pada nozel, hal ini dimaksudkan agar nozel dapat terjaga dari kotoran yang masih mungkin masuk pada nozel, terutama pada saat sambungan pipa ke nozel dilepas. (Rabiman, Zainal Arifin, 2011 3:98).