

BAB II

LANDASAN TEORI DAN TINJUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan pustaka

Sudarmanta, (2005) meneliti tentang transesterifikasi *crude palm oil* dan uji *karakteristik* semprotan menggunakan *injector* motor diesel. Hasil penelitian yang dilakukan secara *eksperimental* dan simulasi komputer. *Eksperimental* dilakukan untuk mendapatkan biodiesel hasil *transesterifikasi* dan visualisasi dari semprotann bahan bakar. Sedangkan simulasi komputer dengan *computational fluid dynamics* menggunakan *software FLUENT 6.0* untuk mendapatkan katrakteristik semprotan yang berpengaruh terhadap penguapan dan pembakaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biodiesel hasil *transesterifikasi*, dalam hal ini *viskositas*, *densitas* dan tegangan permukaan masih sangat tinggi daripada bahan bakar solar. Uji karakteristik semprotan secara *eksperimental* maupun simulasi komputer menunjukkan bahwa *viskositas* yang lebih tinggi menghasilkan *karakteristik atomisasi* yang kurang baik.

Suma dan Dkk, (2015) Penelitian mengenai karakteristik injeksi dan kinerja mesin diesel menggunakan berbagai macam jenis bahan bakar telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti terkait dengan karakteristik injeksi dan kinerja atau peforma mesin diesel. Oleh karena itu pengkajian pustaka ini difokuskan pada perolehan hasil karakteristik injeksi (semprotan *nozzle*) dan kinerja mesin diesel itu sendiri. Suma, dkk (2015) meneliti uji tekanan nosel

terhadap karakteristik semprotan bahan bakar biodiesel. Hasil penelitian yang dilakukan pada mesin diesel dengan menggunakan variasi tekanan nosel 90 bar, 100 bar, 120 bar, dan 130 bar (*range* tekanan kerja *nozzle* dari pabrik) dan menggunakan solar (100%), biodiesel nyamplung (100%) dan biodiesel nyamplung 5% + solar 95%. Karakteristik semprotan bahan bakar yang diuji adalah panjang tip penetrasi semprotan, kecepatan semprotan, sudut semprotan, dan distribusi besar butiran yang terbentuk pada masing-masing variasi tekanan.

2.2. Teknologi Motor Diesel

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. (Sukoco dan Zinal Arifin, 2009).

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*". (Sukoco dan Zinal Arifin, 2009).

Agar dapat mencapai suhu dan tekanan pembakaran, tekanan kompresi pada mesin diesel diusahakan mampu mencapai 30-45kg/cm², agar temperatur udara yang dikompresikan mencapai 500 derajat *celsius*, sehingga bahan bakar mampu terbakar dengan sendirinya tanpa dipicu oleh letikan bunga api dari busi. 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". (Sukoco dan Zinal Arifin, 2009).

Proses 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 2 langkah dan motor diesel 4 langkah 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. (Sukoco dan Zinal Arifin, 2009).

Motor Diesel disebut juga motor pembakaran dengan tekanan kompresi karena motor mengisap udara dan mengkompresikan dengan tingkat yang lebih tinggi. Berdasarkan *efisiensi* secara keseluruhan, motor diesel muncul sebagai mesin pembakaran yang paling *efisiensi* dan bertenaga besar, pada jenis motor diesel putaran rendah dapat mencapai efisiensi sampai 50 persen atau lebih. (Sukoco dan Zinal Arifin, 2009).

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,

dalam aplikasinya pada sektor otomotif/kendaraan kebanyakan dipakai motor diesel 4 langkah. (Sukoco dan Zinal Arifin, 2009).

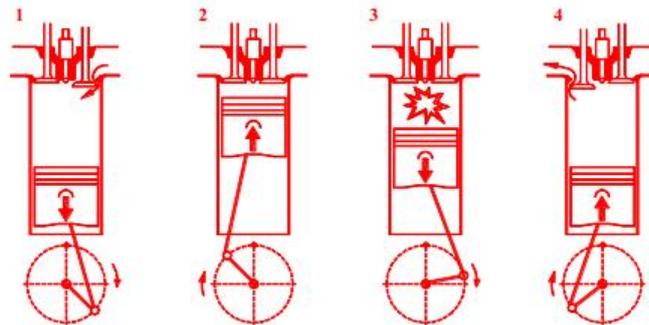
- a. Langkah pertama adalah langkah hisap. Pada langkah ini, piston akan bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB). Selanjutnya, katup hisap akan terbuka sebelum mencapai TMA dan katup buang akan tertutup. Akibatnya, akan terjadi kevakuman di dalam silinder yang menyebabkan udara murni masuk ke dalam silinder.
- 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 30kg/cm^2 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 $900\text{ }^\circ\text{C}$.

Pada akhir langkah kompresi *injektor/nozzle* 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. (Sukoco dan Zinal Arifin, 2009).

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.

- c. 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.

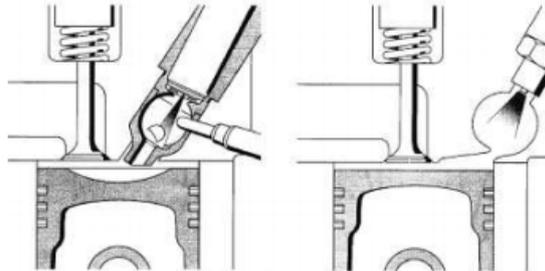


Gambar 2.1. Prinsip Kerja Motor Diesel 4 Langkah

2.3. Ruang Bakar Motor Diesel

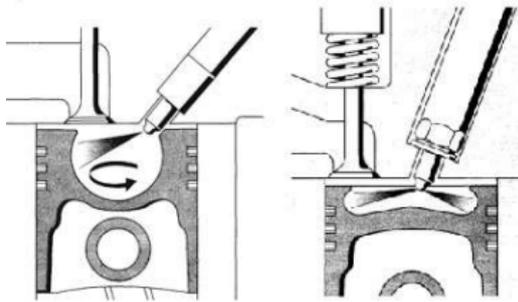
Pada umumnya ada 2 macam ruang bakar motor diesel yaitu: ruang bakar injeksi langsung (*direct injection combustion chamber*) dan ruang bakar tidak langsung (*in-direct injection combustion chamber*). Jenis ruang bakar injeksi langsung adalah mesin yang lebih *efisien* dan lebih ekonomis dari pada mesin yang menggunakan ruang bakar tidak langsung (*prechamber*), oleh karena itu mesin diesel injeksi langsung lebih banyak digunakan untuk

kendaraan komersial dan truk, selain dari itu dapat menghasilkan suara dengan tingkat kebisingan yang lebih rendah. (Zainal Arifin, 2012).



Gambar 2.2. Ruang bakar injeksi tidak langsung (*in-direct injection combustion chamber*)

Pada ruang bakar injeksi tidak langsung tampak bahwa bahan bakar diinjeksikan oleh pengabut (*nozzle*) tidak secara langsung pada ruang bakar utama (*combustion chamber*), namun diinjeksikan dalam ruang pembakaran awal (*pre-chamber*). Dalam pemakaiannya ruang pembakaran awal ini terdapat beberapa jenis diantaranya *controlled air swirl chamber*, *comet air swirl chamber*, *Suarer dual-turbulence system*, dan *pre-chamber system*. Masing-masing bentuk dan sistim yang dikembangkan memiliki keunggulan dan kelemahan, namun pada umumnya tipe ruang bakar ini dipasangkan pada kendaraan penumpang dimana kenyamanan lebih penting dari pada kendaraan komersial, disamping itu mesin diesel dengan ruang bakar *pre-chamber* menghasilkan racun emisi sangat rendah (HC dan NOx) dan biaya pembuatan lebih rendah daripada mesin injeksi langsung. Berdasarkan kenyataan itulah mesin diesel dengan ruang bakar injeksi tidak langsung (*pre-chamber*) pemakaian bahan bakarnya lebih hemat dari pada mesin injeksi langsung (10 - 15%).



Gambar 2.3. Ruang bakar injeksi langsung (*direct injection*)

Berbeda dengan *tipe* pembakaran tidak langsung, pada motor diesel pembakaran langsung, injeksi bahan bakar langsung ditujukan kedalam ruang bakar utama (*combustion chamber*), sehingga konstruksinya lebih sederhana. Disamping itu tenaga yang dihasilkan akan lebih besar dibandingkan dengan tipe pembakaran tidak langsung, namun karena membutuhkan tekanan kompresi yang lebih besar, maka suara yang ditimbulkan akan lebih besar, disamping itu membutuhkan material yang lebih kuat pula. (Zainal Arifin, 2012).

2.4. Proses Pembakaran Dalam Motor Diesel

Syarat-syarat yang sangat penting dari proses pembakaran motor diesel diantaranya adalah emisi yang rendah, suara pembakaran yang rendah, dan pemakaian bahan bakar yang hemat. Mesin diesel menggunakan bahan bakar yang memerlukan perhatian khusus. Bahan bakar tersebut harus bisa terbakar dengan sendirinya ketika diinjeksikan ke dalam udara bertekanan tinggi. Makin rendah titik nyala sendiri dari bahan bakar akan menghasilkan peningkatan kinerja pembakaran bahan bakar dan berarti meningkatkan kinerja mesin. Untuk mengukur kemampuan bahan bakar menyala dengan sendirinya digunakan angka *cetane number*. Rata-rata mesin diesel

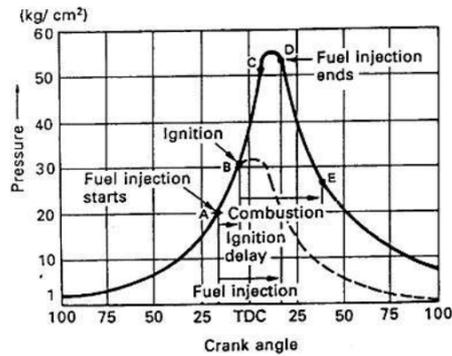
membutuhkan bahan bakar dengan bilangan *cetane* antara 40 hingga 45. *Cetane number* atau bilangan *cetane* adalah sebuah angka yang menentukan titik bakar dari bahan bakar. Angka ini diperlukan sebagai batasan pemakaian bahan bakar terhadap mesin. Apabila angka *cetane* yang dipergunakan tidak sesuai dengan rancangan mesin, timbul masalah sebagai berikut:

1. Jika terlalu tinggi, timbul *efek* panas yang berlebihan terhadap mesin sehingga komponen mesin cepat rusak.
2. Jika terlalu rendah, mengakibatkan timbulnya gejala ngelitik/*knocking*, sehingga opasitas gas buang akan berlebihan karena pembakaran mesin tidak terjadi dengan sempurna. Asap gas buangan mesin menjadi hitam pekat.

Proses pembakaran yang terjadi dalam motor diesel dapat dibagi menjadi beberapa proses diantaranya :

1. Pembakaran tertunda (A - B).

Tahap ini merupakan persiapan pembakaran. Bahan bakar disemprotkan oleh *injektor* berupa kabut ke udara panas dalam ruang bakar sehingga bercampur menjadi campuran yang mudah terbakar. Pada tahap ini bahan bakar belum terbakar atau dengan kata lain pembakaran belum dimulai. Pembakaran akan mulai pada titik B. Peningkatan tekanan terjadi secara konstan karena piston terus bergerak ke TMA



Gambar 2.4. Proses Pembakaran Motor Diesel

2. Rambatan Api (B - C)

Campuran yang mudah terbakar telah terbentuk dan merata di seluruh bagian dalam silinder. Awal pembakaran mulai terjadi di beberapa bagian dalam silinder. Pembakaran ini berlangsung sangat cepat sehingga terjadilah letupan (*explosive*). Letupan ini berakibat tekanan dalam silinder meningkat dengan cepat pula. Akhir tahap ini disebut tahap pembakaran letupan. (Zainal Arifin, 2012).

3. Pembakaran langsung (C - D).

Injektor terus menyemprotkan bahan bakar dan berakhir pada titik D. Karena injeksi bahan bakar terus berlangsung maka tekanan dan suhu tinggi terus berlanjut di dalam silinder. Akibatnya, bahan bakar yang diinjeksi langsung terbakar oleh api. Pembakaran dikontrol oleh jumlah bahan bakar yang diinjeksikan sehingga tahap ini disebut juga tahap pengontrolan pembakaran.

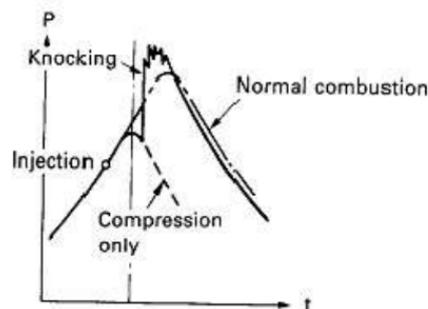
4. Pembakaran lanjutan (D - E).

Pada titik D, injeksi bahan bakar berhenti, namun bahan bakar masih ada yang belum terbakar. Pada periode ini sisa bahan bakar diharapkan

akan terbakar seluruhnya. Apabila tahap ini teralalu panjang akan menyebabkan suhu gas buang meningkat dan efisiensi pembakaran berkurang. (Zainal Arifin, 2012).

2.5. Detonasi Pada Motor Diesel (*Diesel Knocking*)

Motor Diesel Adakalanya dalam setiap proses pembakaran tertunda terjadi lebih panjang. Hal ini disebabkan terlalu banyaknya bahan bakar yang diinjeksikan pada tahapan pembakaran tertunda, sehingga terlalu banyak bahan bakar yang terbakar pada tahapan kedua yang mengakibatkan tekanan dalam silinder meningkat drastis serta menghasilkan getaran dan suara. Inilah yang disebut *diesel knock*. Untuk mencegah *diesel knock/detonasi*, harus dihindari terjadinya peningkatan tekanan secara mendadak dengan cara membuat campuran yang mudah terbakar pada temperatur rendah atau mengurangi jumlah bahan bakar yang diinjeksikan ketika tahapan penundaan penyalaan. (Zainal Arifin, 2012).



Gambar 2.5. Proses Detonasi (*Knocking*) Pada Motor Diesel

Knocking/detonasi pada mesin diesel dan bensin sebenarnya terjadi dengan fenomena yang sama, yaitu disebabkan oleh peningkatan tekanan dalam ruang bakar yang sangat cepat sehingga bahan bakar/campuran terbakar terlalu cepat. Perbedaan utamanya adalah *knocking/detonasi* pada diesel terjadi

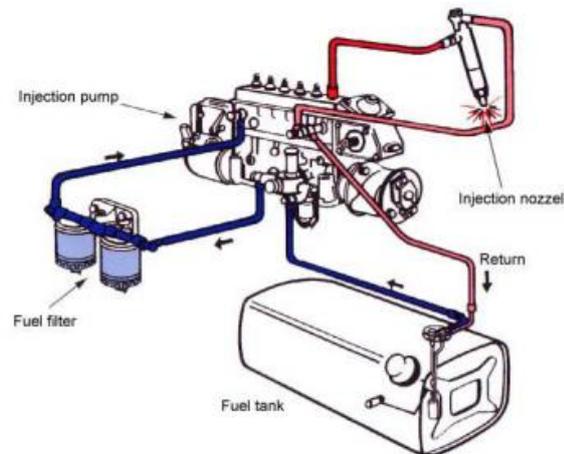
pada saat awal pembakaran, sedangkan pada mesin bensin *knocking* terjadi pada saat menjelang akhir pembakaran. Untuk mencegah terjadinya *knocking* pada motor diesel dapat dilakukan beberapa cara diantaranya seperti tampak pada table 2.1. (Zainal Arifin, 2012).

Tabel 2. 1 Metode Umum Pencegahan *Knocking* Pada Motor Diesel

Uraian	Mesin Diesel	Mesin Bensin
perbandingan kompresi	dinaikkan	diturunkan
temperatur suplai udara	dinaikkan	diturunkan
tekanan kompresi	dinaikkan	diturunkan
temperatur silinder	dinaikkan	diturunkan
titik nyala bahan bakar	diturunkan	dinaikkan
saat tertunda pembakaran	diperpendek	diperpanjang

2.6. Sistik Bahan Bakar Motor Diesel

Sistik bahan bakar (*fuel system*) pada motor diesel memiliki peranan yang sangat penting dalam menyediakan dan *mensupply* sejumlah bahan bakar yang dibutuhkan sesuai dengan kapasitas mesin, putaran motor dan pembebanan motor. Oleh karenanya *performance fuel system* sangat menentukan kinerja dari motor diesel. Seperti tampak pada gambar 8, sistim bahan bakar pada motor diesel terdiri dari beberapa komponen utama diantaranya tanki bahan bakar, *feed pump* atau pompa penyalur, filter bahan bakar, pompa injeksi dan pengabut (*nozzle*) (Sukoco dan Zainal Arifin, 2008).



Gambar 2.6. Sistem Bahan Bakar Motor Diesel

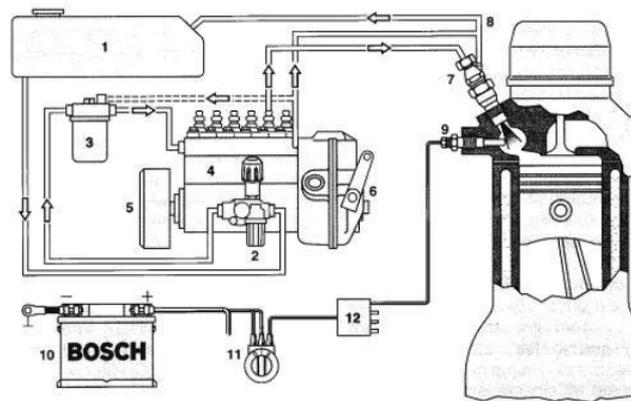
Dalam sistem bahan bakar motor diesel dikenal beberapa macam sistem penyaluran bahan bakar berdasarkan jenis pompa injeksinya diantaranya terdapat sistem penyaluran bahan bakar dengan pompa injeksi *in-line* dan pompa injeksi *distributor*. Pemilihan sistem penyaluran bahan bakar ini didasarkan pada konstruksi ruang bakar dan besarnya tekanan bahan bakar yang dibutuhkan. Oleh karenanya banyak ditemukan penggunaan pompa injeksi *in-line* digunakan pada kendaraan komersial (bus dan truk) yang memiliki kapasitas silinder lebih besar, sementara pompa injeksi distributor digunakan pada kendaraan penumpang yang memiliki kapasitas kecil dan membutuhkan kenyamanan lebih tinggi. “Namun dalam perkembangan selanjutnya penggunaan teknologi elektronik telah mampu meningkatkan performance pompa distributor”. (Zainal Arifin, 2012).

2.6.1. Penyaluran Bahan Bakar Dengan Pompa Injeksi *In-Line*

Pada sistem pengaliran bahan bakar menggunakan pompa injeksi *in-line* seperti terlihat pada gambar 2.7 terdiri dari beberapa komponen diantaranya :

- a. Tangki bahan bakar yang mempunyai fungsi untuk menyimpan bahan bakar sementara yang akan digunakan dalam penyaluran
- b. *Feed pump (priming pump)* atau pompa penyalur berfungsi untuk mengalirkan bahan bakar dengan cara memompa bahan bakar dari tangki dan mengalirkannya ke pompa injeksi
- c. *Fuel filter* biasanya terdapat 2 (dua) yaitu pada bagian sebelum *feed pump* yang dilengkapi pula dengan *water separator* yang berfungsi untuk memisahkan air dalam sistim dan setelah *feed pump* yang berfungsi untuk menyaring kotoran yang terdapat pada bahan bakar untuk menjaga kualitas bahan bakar
- d. Pompa injeksi yang berfungsi untuk menaikkan tekanan sehingga bahan bakar dapat dikabutkan oleh *nozzle*, menakar jumlah bahan bakar yang dibutuhkan oleh *engine* dan mengatur saat injeksi sesuai dengan putaran motor
- e. *Automatic timer* yang terpaang pada bagian depan pompa injeksi yang berhubungan dengan *timing gear* berfungsi untuk memajukan saat injeksi sesuai dengan putaran motor
- f. *Governor* terpasang pada bagian belakang pompa injeksi yang berfungsi sebagai pengatur jumlah injeksi bahan bakar sesuai dengan pembebanan motor.
- g. Pengabut (*Nozzle*) berfungsi untuk mengabutkan bahan bakar agar mudah bercampur dengan *oksigen* sehingga mudah terbakar dalam *silinder*.

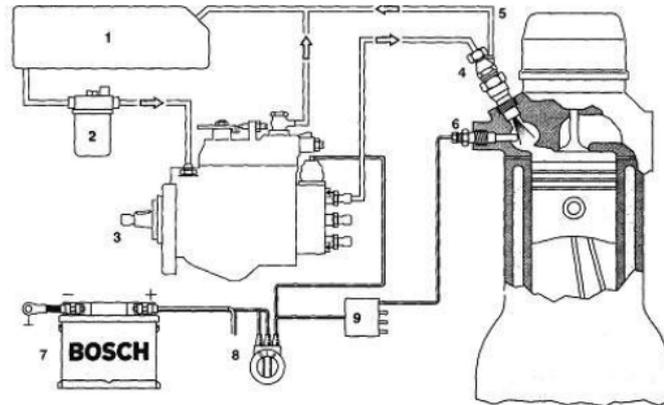
- h. Pipa tekanan tinggi terbuat dari bahan baja yang berfungsi untuk mengalirkan bahan bakar bertekanan tinggi dari pompa injeksi ke masing-masing pengabut.
- i. Busi pijar atau busi pemanas (*glow plug*) berfungsi untuk memanaskan ruangan pre chamber pada saat mulai start. Dengan merubah *energi* listrik dari *battery* menjadi *energi* panas.
- j. *Battery* (aki) berfungsi sebagai sumber energi listrik yang *mensupply* energi yang dibutuhkan oleh busi pijar untuk memanaskan ruangan *pre chamber*.
- k. Kunci kontak (*ignition switch*) berfungsi sebagai saklar utama pada sistem kelistrikan kendaraan
- l. *Relay* yang berfungsi sebagai pengaman dan pengatur saat pemanasan ruang *pre chamber*.



Gambar 2.7. Skema Aliran Bahan Bakar Dengan Pompa Injeksi Jenis *In-Line*

2.7. Penyaluran Bahan Bakar Dengan Pompa Injeksi *Distributor*

Seperti halnya pada penyaluran bahan bakar dengan pompa *in-line*, pada penyaluran dengan pompa injeksi distributor memiliki komponen yang sama dengan pompa injeksi *in-line*.



Gambar 2.8. Skema aliran bahan bakar dengan pompa injeksi *distributor*

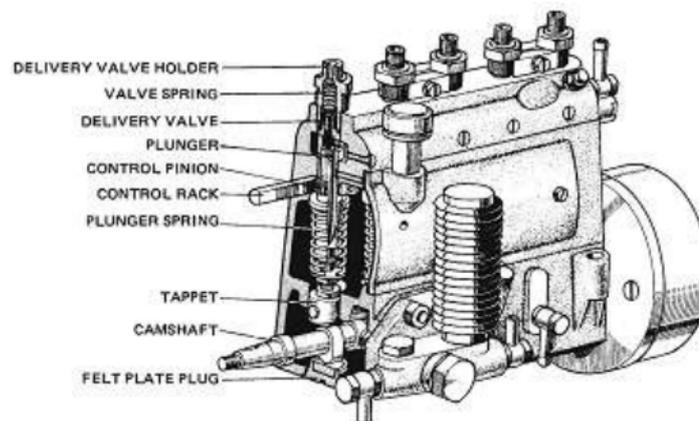
2.8. Pompa Injeksi *In-Line*

Pompa injeksi dalam motor diesel memiliki peran yang sangat penting terutama dalam menyediakan bahan bakar yang dibutuhkan untuk proses pembakaran yang menghendaki bahan bakar memiliki jumlah yang tepat, waktu yang tepat, kualitas yang baik dan tekanan yang tinggi agar mudah dikabutkan oleh *nozzle*. Oleh karenanya konstruksi pompa injeksi dibuat lebih rigid dan kuat, rumah pompa dibuat dari bahan aluminium tuang (atau besi tuang). Agar mampu menghasilkan tekanan bahan bakar yang tinggi dan memiliki keandalan tinggi pula. (Zainal Arifin, 2012).

Pada pompa injeksi *in-line* memiliki konstruksi elemen pompa sebaris, dimana masing-masing silinder dilayani oleh satu *plunger*. *Camshaft* /poros

nok pompa disangga oleh dua bantalan roler tirus (*tapered roller bearings*) dan digerakkan oleh mesin melalui rangkaian roda gigi.

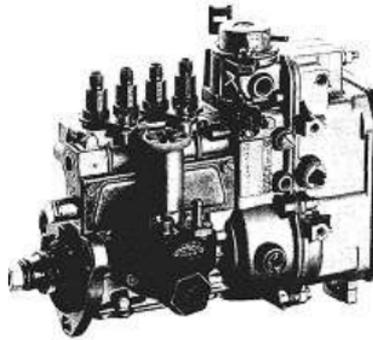
Elemen pompa, terdiri dari *plunyer* dan silinder (atau *barrel*), adalah bagian pompa yang paling penting. *Plunyer* dan silinder ini dikerjakan dengan penyelesaian/*finishing* presisi tinggi, dan ditempatkan dalam toleransi kecil sekali untuk memungkinkan elemen pompa bertahan dalam tekanan tinggi sekali tanpa adanya kebocoran. Untuk alasan ini, *plunyer* dan silinder harus tidak pernah diganti sendiri-sendiri/ secara terpisah, tetapi diganti satu set.



Gambar 2.9. Konstruksi pompa injeksi *in-line*

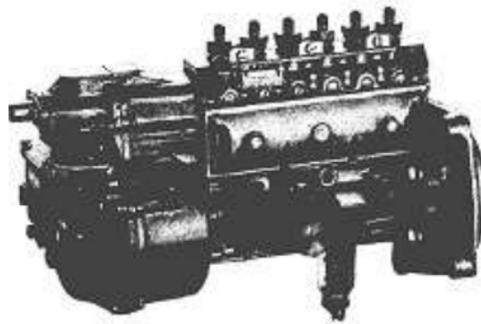
Rak pengontrol (*rack*) dirangkaikan/dipasangkan ke akhir *regulator* (*governor*), melalui roda gigi pengontrol mengelilingi *plunyer* untuk mengontrol kuantitas pemberian bahan bakar (dan waktu injeksi dalam beberapa tipe/model). Katup-katup *delivery* berfungsi untuk menghentikan bahan bakar dari aliran balik sementara *plunyer* bergerak turun, dan juga mencegah penetesan / “*after-dripping*” bahan bakar dari *nozzle*.

1. Jenis pompa *in-line* ukuran M, memiliki kapasitas yang paling kecil yaitu mampu menghasilkan tekanan hingga 400 bar. (Zainal Arifin, 2012).



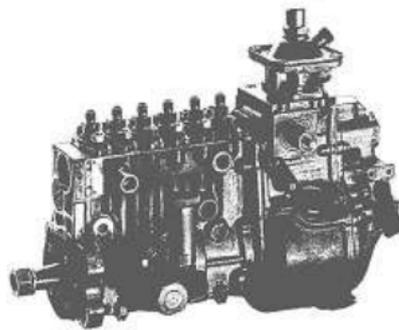
Gambar 2.10. Pompa injeksi *in-line* ukuran M

2. Jenis pompa *in-line* ukuran A, kapasitas penyaluran bahan bakar lebih besar dari jenis pompa injeksi *in-line* ukuran M. Tekanan injeksi jenis pompa ukuran A ini mencapai 600 bar. Hino Truck,2005-2010.



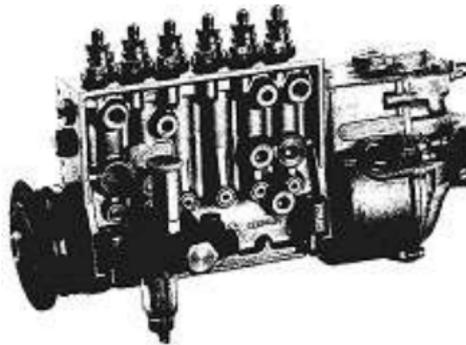
Gambar 2.11. Pompa injeksi *in-line* ukuran A

3. Jenis pompa *in-line* ukuran MW, Jenis pompa injeksi *in-line* ukuran MW dirancang untuk mampu memberi tekanan sampai 900 *bar*. Berbeda dengan jenis pompa injeksi *in-line* ukuran A atau M, maka pompa injeksi ukuran MW ini disebut dengan tipe tertutup karena pada jenis pompa injeksi ini unit *plunyer* dan barel serta unit katup *deliverinya* dipresskan melalui bagian atas rumah pompa dan diikatkan dengan dua buah baut dan *flens*. Pompa injeksi *tipe* ini dibuat dengan kapasitas sampai 8 *barell*/untuk mesin 8 silinder. (Zainal Arifin, 2012).



Gambar 2.12. Pompa injeksi *in-line* ukuran MW

4. Jenis pompa *in-line* ukuran P, seperti pada jenis pompa injeksi *in-line* lainnya, pada pompa jenis ini memiliki kapasitas yang lebih besar, sehingga biasanya banyak digunakan untuk kendaraan dengan kapasitas *engine* lebih besar. (Zainal Arifin, 2012).

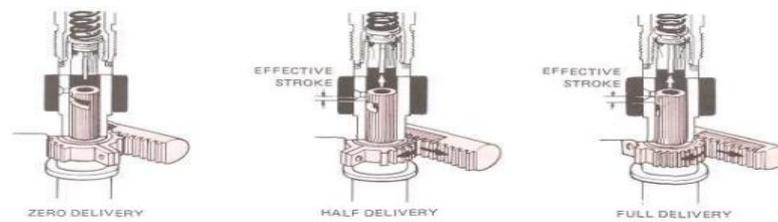


Gambar 2.13. Pompa injeksi *in-line* ukuran P

2.9. Elemen Pompa Injeksi

Elemen pompa injeksi seperti yang ditunjukkan pada gambar di samping, terdiri dari *plunyer* yang terpasang dalam silinder dengan toleransi kecil sekali 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. (Zainal Arifin, 2012).

Lobang/celah *diagonal* disebut alur kontrol (*control groove*), dipotong dalam bagian silinder atas *plunyer*. Alur dihubungkan dengan bagian atas plunyer dengan lubang. Bahan bakar disuplai oleh pompa pengalir bahan bakar ke elemen pompa injeksi, tahapan gerak bolak-balik *plunyer* adalah sebagai berikut :



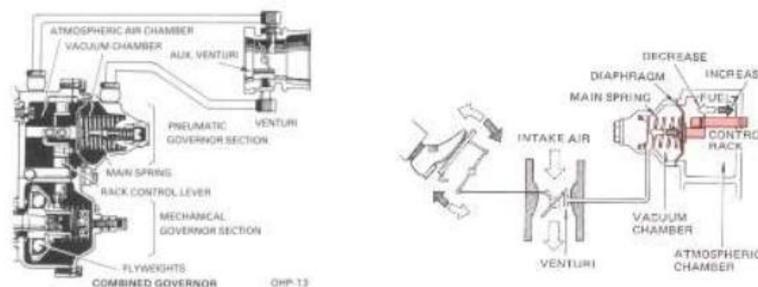
Gambar 2.14. Penyaluran Bahan Bakar Oleh *Plunger*

Pada saat *plunyer* berada pada mati bawah, bahan bakar mengalir melalui lubang pengisian dalam silinder ke ruang penghantar di atas plunyer (*zero delivery*) Ketika poros nok berputar, plunyer bergerak naik dan ketika permukaan atas *plunyer* mencapai tepi atas lubang pengisian, penekanan bahan bakar dimulai. Ketika *plunyer* bergerak ke atas, bahan bakar di dalam ruang bagian atas menekan dan membuka katup penyalur (*delivery valve*) dan mengalir mengalir keluar melalui pipa injeksi ke *nozzle*. *Plunyer* terus bergerak naik tetapi ketika tepi atas alur kontrolnya mencapai tepi bawah lubang pengisian bahan bakar berhenti ditekan. Selanjutnya gerak naik *plunyer* akan menyebabkan bahan bakar sisa dalam ruang penghantar masuk melalui lubang bagian dalam atas *plunyer* mengalir turun dan keluar melalui alur kontrol dan lubang pengisian, sehingga tidak ada bahan bakar lagi dapat dilepaskan. (Zainal Arifin, 2012).

2.10. Pengontrolan *Volume* Bahan Bahan Bakar

Pada mesin diesel terdapat perbedaan yang mendasar jika dibandingkan dengan mesin bensin, *volume* penyemprotan bahan bakar pada mesin diesel diatur sedemikian rupa dan tidak tergantung dari pembukaan katup gas, hanya saja *governor* akan bekerja sesuai dengan gerakan katup gas. Pada waktu pedal gas ditekan secara konstan maka putaran mesin akan turun bila beban mesin bertambah, misalnya pada saat tanjakan, untuk mengatasi hal ini maka *governor* akan menambah *volume* penyemprotan bahan bakar agar mesin tidak mati dan putaran mesin dapat dipertahankan. Untuk mengontrol jumlah (*volume*) bahan bakar yang diinjeksikan pada pompa injeksi dilengkapi dengan unit *governor*.

Governor dirancang untuk mengatur secara otomatis putaran dan daya mesin dengan mengontrol *volume* penyemprotan berdasarkan beban mesin dan penekanan pedal gas. *Governor* bekerja dengan menggerakkan rak pengontrol pompa injeksi dan rak pengontrol akan mengatur langkah efektif *plunyer*. Berdasarkan macam dan *type* jenisnya, maka *governor* dapat dibagi menjadi tiga yaitu *governor* mekanis, *governor pneumatic* dan gabungan *pneumatic* dan mekanis.



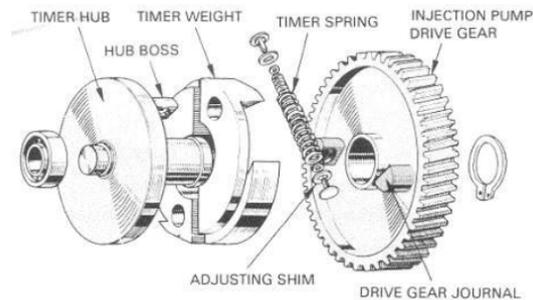
Gambar 2.15. *Governor* mekanik dan pneumatik

Macam dan *Tipe Governor* Berdasarkan Fungsinya dapat digolongkan menjadi governor Putaran Minimum dan Maksimum. Pada *governor* ini dirancang untuk mengontrol *volume* penyemprotan bahan bakar (daya mesin) secara proporsional berdasarkan injakan pedal gas. *Governor* Segala Putaran jenis *governor* ini dirancang agar dapat mengatur *volume* penyemprotan bahan bakar secara lebih luas, pengaturannya dapat dilakukan saat pertama pedal gas diinjak sampai pada putaran maksimum, pada umumnya *governor* ini yang digunakan pada aplikasi mesin diesel untuk kendaraan. (Zainal Arifin, 2012).

2.11. Pengontrolan Saat Injeksi Bahan Bakar

Pada mesin bensin saat pengapian harus dimajukan sesuai dengan putaran mesin melalui *advans sentrifugal* yang ditempatkan pada unit distributor pengapian, pada mesin diesel juga dilengkapi suatu bagian yang dapat mengajukan saat penyemprotan sesuai dengan putaran mesin yang disebut dengan *automatic timer*.

Mesin-mesin diesel putaran tinggi untuk penggunaan otomotif/kendaraan, daya mesin dapat diperbaiki/ dinaikkan dengan memajukan waktu injeksi sesuai dengan kenaikan putaran. Ini sama seperti memajukan waktu pengapian dalam mesin-mesin bensin, untuk tujuan ini timer digunakan. Ada dua tipe timer yang dipakai, yang pertama adalah timer tangan (*hand timer*) dan *timer* otomatis (*automatic timer*). *Timer* otomatis lebih umum digunakan sekarang ini, diskripsi/gambaran diberikan di bawah ini. (Zainal Arifin, 2012).



Gambar 2.16. Mekanik *automatic timer*

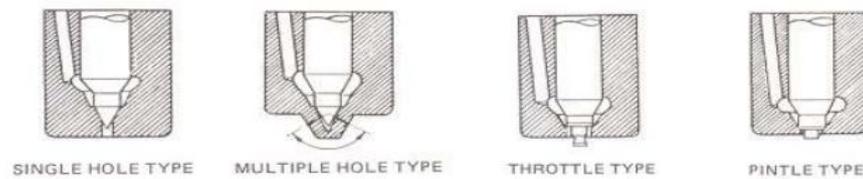
Timer otomatis menggunakan gaya *sentrifugal* yang secara otomatis memajukan waktu penyemprotan sesuai dengan putaran mesin. Seperti ditunjukkan dalam gambar, *timer otomatis* dibuat/disusun oleh dua buah pemberat *sentrifugal* (*centrifugal weight*), 2 pegas (*spring*), pelindung (*cover*) dan *flens* penghubung (*driving flange*). *Flens* dihubungkan ke poros penggerak pompa injeksi dengan tonjolan keluar dari permukaannya. Hub/poros dipasang ke poros nok/*camshaft* pompa injeksi. (Zainal Arifin, 2012).

2.12. Injektor (*Nozzle*)

Teknologi Motor Diesel Pada umumnya *nozzle* terbagi dalam tipe lubang (*hole*) dan pin *Nozzle tipe* lobang (*hole*) terdiri dari *tipe* lubang tunggal (*single hole*), Lubang banyak (*multiple hole*). *Nozzle tipe* pin terdiri dari *tipe throttle* dan *Pintle Tipe nozzle* yang digunakan akan menentukan proses pembakaran dan bentuk dari ruang bakar. (Zainal Arifin, 2012).

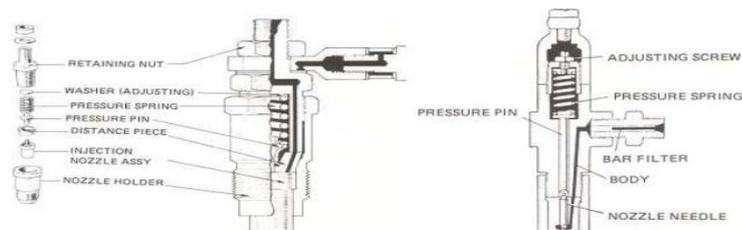
Secara umum *nozzle* dengan *tipe* lubang banyak (*multiple hole*) digunakan untuk mesin diesel pembakaran langsung, sedangkan *tipe* pin dipakai untuk jenis mesin diesel pembakaran tak langsung. Kebanyakan dari *nozzle tipe* pin adalah *tipe throttle*. Disebabkan karena bentuk khusus dari *tipe*

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 bakar juga lebih hemat. (Sukoco dan Zainal Arifin, 2008)



Gambar 2.17. Beberapa jenis *nozzle*

Seperti yang terlihat pada gambar di atas pada *nozzle* tipe lobang, katup jarum ditahan oleh pin (*pressure pin*) dan pegas penekan (*pressure spring*) dengan demikian ulir penyetel (*adjusting screw*) pada *nozzle* tipe lobang atau sim (*washer adjusting*) pada *nozzle* tipe pin dapat menyetel berbagai variasi tekanan pegas atau tekanan pembukaan katup jarum pada *nozzle*. (Zainal Arifin, 2012).



Gambar 2.18. Konstruksi *nozzle*

Filter halus dipasangkan pada saluran masuk bahan bakar pada *nozzle*, hal ini dimaksudkan agar *nozzle* dapat terjaga dari kotoran yang masih mungkin masuk pada *nozzle*, terutama pada saat sambungan pipa ke *nozzle* dilepas. (Zainal Arifin, 2012).