

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Variabel

Pengertian variabel menurut Sugiyono (2010), variabel penelitian adalah suatu atribut atau sifat atau nilai dari orang objek atau kegiatan yang mempunyai variasi yang tertentu yang diterapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulannya. Penulis mengambil pengertian dalam bidang teknik untuk mempermudah pembaca memahami “*MAINTENANCE INJECTOR GUNA MEMPERLANCAR PROSES PEMBAKARAN PADA MOTOR DIESEL GENERATOR DI KAPAL MT. JOHN CAINE 2*” oleh karena itu penulis membuat definisi sebagai berikut:

2.1.1. Pengertian Perawatan

Perawatan (*maintenance*) adalah hal yang sangat penting agar mesin selalu dalam kondisi yang baik dan siap pakai. Perawatan adalah fungsi yang memonitor dan memelihara fasilitas pabrik, peralatan, dan fasilitas kerja dengan merancang, mengatur, menangani, dan memeriksa pekerjaan untuk menjamin fungsi dari unit selama waktu operasi dan meminimalisasi selang waktu berhenti yang diakibatkan oleh adanya kerusakan maupun perbaikan (Ismail 2013).

2.1.2. Tujuan Perawatan

- a. Menjaga kondisi mesin atau alat yang optimal, dan mempertahankan kerja mesin untuk siap pakai.
- b. Untuk menjaga kesiapan pengoperasian dari seluruh peralatan pada waktu diperlukan. Sehingga proses produksi bisa berjalan lancar.
- c. Menjaga kondisi mesin mendekati umur yang ditentukan oleh pabrik pembuat mesin tersebut.
- d. Dapat menekan biaya perawatan seminimal mungkin.
- e. Mencegah kerusakan yang fatal sehingga proses produksi tidak terhambat.
- f. Menjaga keselamatan kerja bagi operator saat pengoperasian.

2.1.3. Pengertian *Injector*

Menurut Priambodo (1991), salah satu komponen utama dalam sistem bahan bakar *diesel* di antaranya adalah *Injector* atau pengabut. *Injector* berfungsi untuk menghantarkan bahan bakar *diesel* dari pompa bahan bakar (*bosch pump*) bertekanan ke dalam silinder pada setiap akhir langkah kompresi dimana torak (*piston*) mendekati posisi Titik Mati Atas (TMA). *Injector* yang dirancang sedemikian rupa merubah tekanan bahan bakar dari pompa bahan bakar yang bertekanan tinggi untuk membentuk kabut yang bertekanan antara 300 kg/cm² atau lebih, tekanan ini mengakibatkan peningkatan suhu pembakaran di dalam silinder meningkat menjadi 600°C. Tekanan udara dalam bentuk kabut melalui *Injector* ini hanya berlangsung satu kali pada setiap siklusnya yakni pada setiap akhir langkah kompresi saja, serta cara kerja *injector* ada 3 sistem yaitu sebelum penginjeksian bahan bakar bertekanan tinggi mengalir dari pompa injeksi melalui saluran minyak (*Fuel Duct*) pada *nozzle holder* menuju *oil pool* pada bagian bawah *nozzle body*, kemudian yang ke 2 penginjeksian bahan bakar bila tekanan bahan bakar pada *oil pool* naik, dan tekanan ini melebihi kekuatan pegas, maka jarum pengabut (*nozzle Needle*) akan terdorong ke atas oleh tekanan bahan bakar dan jarum pengabut terlepas dari dudukannya pada *nozzle body* sehingga terjadi penyemprotan bahan bakar ke ruang bakar dalam silinder mesin dan yang ke 3 akhir penginjeksian bahan bakar bila pompa injeksi berhenti mengalirkan bahan bakar, maka tekanan bahan bakar turun dan tekanan pegas mengembalikan jarum pengabut (*Nozzle Needle*) ke posisi semula, sehingga menutup saluran bahan bakar.

Untuk menyempurnakan fungsi *injector* ini maka *injector* akan kita bagi dalam beberapa jenis, tentu saja dengan karakteristik yang berbeda antara lain terdiri atas (*Single hole*) dan *injector* berlubang banyak (*multi hole*). *Injector* model *pin* atau *trotle*, *injector* ini terdapat dalam model *trotle* dan model *pintle*. Macam-macam *injector* seperti yang disebutkan diatas dengan sifat pengabutan dan karakteristik yang berbeda maka pemilihan untuk fungsi pemakaiannya juga berbeda yang bergantung pada proses pembakarannya dan proses pembakaran ini ditentukan oleh bentuk ruang bakarnya, untuk sifat-sifat *injector* ini antara lain

adalah seperti berikut : *Injector* berlubang satu (*Single hole*) proses pengabutannya sangat baik akan tetapi memerlukan tekanan pompa bahan bakar bertekanan yang tinggi. Demikian halnya dengan *Injector* berlubang banyak (*multi hole*) pengabutannya sangat baik.

Injector ini sangat tepat digunakan pada *direct injection* (injeksi langsung). *Injector* dengan model *pin*, *injector* model *pin* ini model *trotle* maupun model *pintle* lebih tepat digunakan pada motor *diesel* dengan ruang bakar yang memiliki *combustion chamber*. *Injector* pada motor diesel berfungsi untuk menyalurkan bahan bakar ke dalam silinder pada akhir langkah kompresi saat *piston* berada pada 10° sebelum TMA, pada langkah ini *nozzle* (bagian *injector*) menyembrotkan bahan bakar dalam bentuk kabut sempurna secara kontinu dan teratur sesuai mekanisme katup. *Injector* di dalam mekanismenya dibantu oleh komponen-komponen penunjang agar memaksimalkan kinerja dari *injector* di dalam mengabutkan bahan bakar.

2.1.4. Mesin Diesel

Motor bakar *diesel* dikenal juga motor bakar penyalaan kompresi (*compression ignition engine*). Berbeda halnya dengan motor bakar bensin yang menggunakan busi untuk dapat melangsungkan proses pembakaran bahan bakar di dalam silinder, pada motor bakar diesel ini proses penyalaan dapat terjadi tanpa energi listrik dari busi. Proses pembakaran dapat terjadi di dalam silinder motor bakar diesel ini karena bahan bakar yang akan dikontakkan dengan udara terkompresi *temperatur* dan bertekanan sangat tinggi di dalam silinder, sehingga dihasilkan butir-butir bahan bakar yang sangat halus. Akibatnya panas yang terkandung diberikan oleh udara kompresi tadi, juga membakar butir-butir halus bahan bakar ini. Oleh karena itu, pada motor bakar diesel ini tidak digunakan busi untuk memantik bahan bakar supaya terbakar, seperti halnya pada motor bakar bensin (Sitompul et al., 2020).

2.1.5. Pembakaran Bahan Bakar

Pembakaran bahan bakar adalah reaksi kimia antara bahan bakar, oksigen dan panas yang menghasilkan energi kalor pada temperatur tinggi. Pada reaksi tersebut terjadi pelepasan sejumlah energi. Pembakaran dianggap sempurna

apabila kandungan karbon (C) dalam bahan bakar terbakar habis menjadi karbondioksida (CO₂), semua sulfur (S) membentuk sulfur oksida (SO₂), dan semua hidrogen terbakar membentuk air (H₂O). Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi, maka pembakaran tidak berlangsung sempurna. Tujuan dari pembakaran yang sempurna adalah untuk melepaskan seluruh energi potensial yang terdapat dalam bahan bakar yang kemudian dikonversikan menjadi tenaga pada mesin (Pratama Putra & Qiram, 2019). Untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna, dapat dilakukan pengontrolan tiga “T” (Sitompul et al., 2020) yaitu:

a. Temperatur

Temperatur atau suhu adalah skala untuk mengukur panas. Temperatur yang digunakan dalam pembakaran yang baik harus cukup tinggi sehingga dapat terjadi reaksi kimia segitiga api.

b. *Time* (Waktu)

Waktu yang cukup supaya *input* panas dapat terserap secara optimal oleh reaktan sehingga berlangsung termokimia.

c. Turbulensi

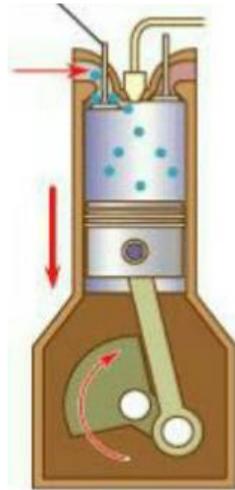
Turbulensi adalah keadaan ketika kecepatan udara berubah drastis (KBBI, 2008). Turbulensi yang tinggi menyebabkan terjadinya pencampuran yang baik atau yang disebut homogen antara bahan bakar dan pengoksidasi berupa oksigen atau udara.



Gambar 2. 1. Motor *Diesel* Generator
(Sumber: Dokumen pribadi, 2022)

Motor *diesel* generator yang digunakan di kapal MT. John Caine 2 adalah motor *diesel* Sangyong – Man – B&W dengan sistem langkah pembakaran empat tak. Yang satu siklus kerjanya diperlukan empat langkah piston atau dua putaran poros engkol sehingga menghasilkan satu kali usaha. Empat langkah piston tersebut akan dijelaskan secara lebih rinci sebagai berikut:

1. Langkah hisap



Gambar 2. 2. Langkah Hisap Motor 4 tak.

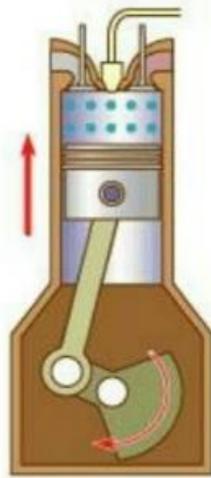
(Sumber: Buku Diesel Engine Characteristics (Kegl et al., 2013))

Sama seperti pada motor bensin, langkah pertama pada proses kerja motor 4 tak adalah langkah hisap. Pada langkah ini piston atau torak bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA). Katup hisap akan terbuka dan katup buang tertutup, karena terjadi kevakuman pada silinder, maka udara akan terhisap dan masuk ke dalam silinder. Proses langkah hisap pada proses kerja motor *diesel* yang dihisap hanyalah udara saja, tidak campuran udara dan bahan bakar seperti pada motor bensin.

Pada langkah ini yang terjadi adalah :

- a. Piston bergerak dari atas ke bawah
- b. Katup masuk terbuka dan katup terbuka
- c. Udara akan tehisap kedalam dan tersaring oleh filter udara.

2. Langkah kompresi



Gambar 2. 3. Langkah Kompresi Motor 4 Tak.
(Sumber: Buku *Diesel Engine Characteristics* (Kegl et al., 2013))

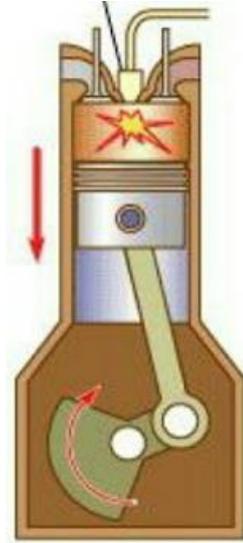
Setelah langkah hisap, udara yang telah terhisap dan masuk kedalam silinder akan dikompresi hingga tekanannya naik. Ingat pada motor diesel yang dikompresi hanyalah udara saja, tidak dengan bahan bakar seperti pada motor bensin. Pada saat langkah kompresi yang terjadi adalah :

- a. Piston bergerak dari TMB ke TMA
- b. Kedua katup dalam kondisi menutup

Udara akan dikompresikan yang membuat tekanan udaranya menjadi sekitar 30 kg/cm² dengan suhu yang sangat tinggi yaitu 500-600 derajat celcius.

Perbandingan kompresi pada motor diesel sangatlah tinggi, rasio kompresinya yaitu antara 14 : 1 sampai 24 : 1. Tentu ini lebih besar bila dibandingkan dengan rasio kompresi pada motor bensin. Dengan dikompresi ini temperatur udaranya bisa mencapai 900 derajat celcius. Pada langkah kompresi bagian akhir, bahan bakar diesel akan disemprotkan oleh *injector* ke dalam ruang bakar. Akibatnya, solar akan terbakar oleh panasnya udara yang diperoleh saat langkah kompresi.

3. Langkah usaha



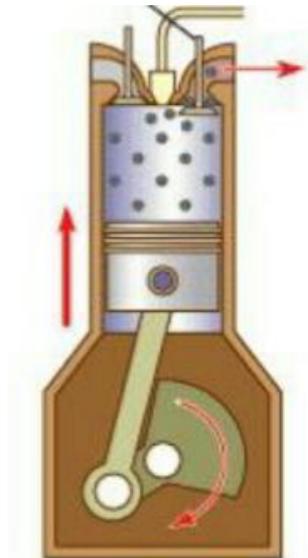
Gambar 2. 4. Langkah Usaha Motor 4 Tak.
(Sumber: Buku *Diesel Engine Characteristics* (Kegl et al., 2013))

Setelah melalui langkah kompresi, maka akan menuju ke langkah yang ketiga adalah langkah usaha. Pada langkah sebelumnya, setelah udara dikompresi dan tekanannya naik. *Nozzle injector* akan menyemprotkan bahan bakar ke ruang bakar dalam bentuk kabut, sehingga akan terbakar karena udara tadi suhunya sangat tinggi.

Pada langkah ini yang terjadi adalah :

- a. Terjadi langkah pembakaran
- b. Menghasilkan langkah usaha
- c. Dan membuat piston bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB)

4. Langkah buang



Gambar 2. 5. Langkah Buang Motor 4 Tak.
(Sumber: Buku *Diesel Engine Characteristics* (Kegl et al., 2013))

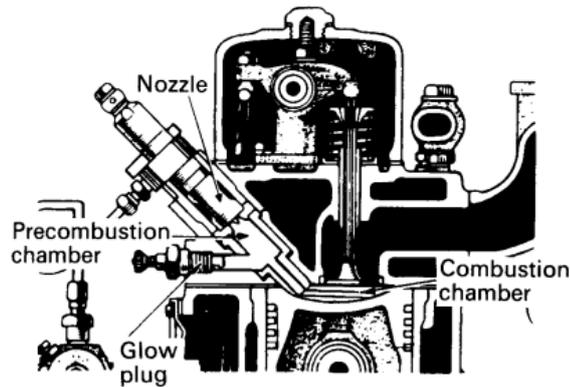
Sama halnya pada motor bensin, langkah terakhir pada proses kerja motor *diesel* adalah langkah buang. Dalam langkah ini gas hasil pembakaran akan dibuang ke udara bebas melalui saluran udara buang (*exhaust manifold*). Yang terjadi pada saat langkah ini adalah :

- Katup hisap menutup.
- Katup buang membuka.
- Piston bergerak dari TMB ke TMA.
- Gas sisa hasil pembakaran akan keluar ke udara bebas melalui saluran buang.

2.1.6. Jenis-jenis Sistem Injeksi

1. Sistem Injeksi Tidak Langsung (*Indirect Injection System*)

Sistem Injeksi tidak langsung adalah bahan bakar diinjeksikan ke saluran pemasukan melalui *injector*, yang mana bahan bakar yang dialirkan menggunakan *fuel pump*. Sistem ini tidak memerlukan tekanan yang tinggi, sebab *injector* hanya menyemprotkan bahan bakar di *intake manifold*. Bahan bakar disemprotkan di *intake manifold* pada saat katup isap terbuka dan berakhir pada saat katup isap tertutup. Karena bahan bakar disemprotkan langsung di (*intake manifold*) melalui *injector*, maka ketepatan campuran dapat tercapai dan bahan bakar dapat terbakar.



Gambar 2. 6. Sistem Injeksi Tidak Langsung.
(Sumber: Buku *Engine Management System* (Ismail, 2013))

Pada Gambar 2.6, berikut adalah kelebihan dan kekurangan sistem injeksi tidak langsung:

a. Kelebihan *Indirect Injection System*:

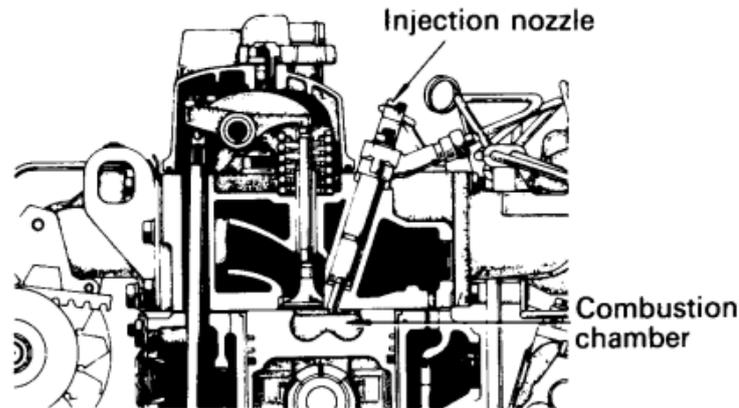
- 1) Tingkat turbulensi yang tetap tinggi diberbagai putaran mesin.
- 2) Ukuran *injector* lebih kecil.
- 3) Kemungkinan penyumbatan pada *injector* sangat minim.

b. Kekurangan *Indirect Injection System*:

- 1) Konsumsi bahan bakar yang kurang efisien dan perpindahan panas yang rendah.
- 2) Dibutuhkan rasio kompresi yang lebih tinggi saat melakukan start, sehingga mesin lebih susah dihidupkan.
- 3) Sering terjadi pengerakan pada bagian *intake valve*.

2. Sistem Injeksi Langsung (*Direct Injection System*)

Sistem injeksi langsung adalah bahan bakar yang diinjeksikan langsung ke dalam ruang pembakaran dengan tekanan yang tinggi yang dihasilkan dari *fuel pump*. Sistem injeksi langsung menghasilkan daya dan efisiensi bahan bakar yang tinggi dibandingkan dengan sistem bahan injeksi yang lain, serta menghasilkan emisi gas buang yang rendah.



Gambar 2. 7. Sistem Injeksi Langsung.
(Sumber: Buku *Engine Management System*)

Pada Gambar 2. 7 berikut adalah kelebihan dan kekurangan sistem injeksi tidak langsung:

- a. Kelebihan *Direct Injection System*
 - 1) Mesin lebih mudah dihidupkan karena posisi sumber bahan bakar dengan ruang pembakaran lebih dekat.
 - 2) Lebih hemat penggunaan bahan bakar karena bahan bakar yang keluar akan langsung masuk ke ruang pembakaran.
 - 3) Efisiensi panas yang lebih baik.
- b. Kekurangan *Direct Injection System*
 - 1) Suara yang ditimbulkan mesin cenderung lebih kasar dan bising.
 - 2) Lebih rentan terhadap penyumbatan karena lubang *injector* lebih kecil langsung menerima beban ledakan pada saat langkah usaha.
 - 3) *Output* tekanan cenderung lebih kecil.
 - 4) Turbulensi lebih kecil pada kecepatan rendah, dikarenakan udara dan bahan bakar belum tercampur dengan sempurna.

2.2. Aspek atau Faktor Variabel

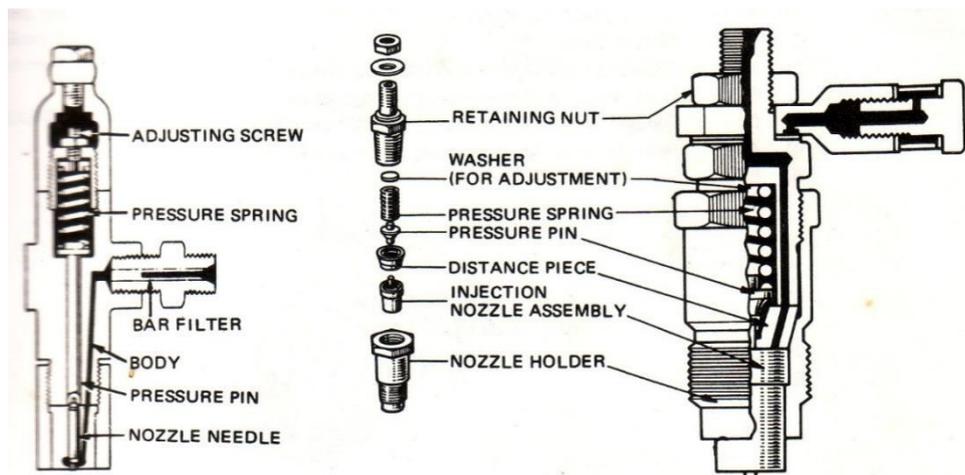
2.2.1. Faktor Kinerja *Injector Motor Diesel Generator*

Pada umumnya *injector* mempunyai prinsip kerja yang sama, yaitu mengabutkan bahan bakar ke dalam ruang pembakaran. Dimana bahan bakar yang ditampung di tangki harian dihisap oleh pompa pembagi atau *booster pump* menuju ke *fuel pump*. Bahan bakar akan diberi tekanan yang tinggi oleh *fuel pump*

menuju ke ruang pembakaran melalui *injector*. Sebelum bahan bakar keluar dari *injector*, bahan bakar akan melalui *nozzle* terlebih dahulu. Tekanan bahan bakar harus sesuai supaya dapat membuka *nozzle* dan bahan bakar yang keluar juga maksimal. Tekanan yang diperlukan bahan bakar untuk dapat melewati *nozzle injector* motor *diesel* generator di kapal MT. John Caine 2 adalah sebesar 300 bar.

Dari prinsip kerja di atas maka pada saat pengoperasian, seorang *engineer* harus memahami tentang bagian-bagian yang vital dari *injector*. Menejemen bahan bakar dan perawatan bagian bagian yang dilewati oleh bahan bakar juga harus dipahami oleh seorang *engineer*. Karena apabila hal tersebut tidak dilakukan, maka bahan bakar yang masuk ke ruang pembakaran akan kotor, tidak terbakar sempurna, atau bahkan hingga tidak ada yang terbakar sama sekali. Hal ini akan memperngaruhi operasional kapal keseluruhan.

2.2.2. Komponen-komponen *Injector*



Gambar 2. 8. Komponen injector

Sumber : <https://muhammadsubchi.files.wordpress.com/2011/07/komponen-injector-dan-kedudukannya.png>

2.2.3. Bagian-bagian penting *injector*

a. *Nozzle needle* (Jarum Pengabut)

Jarum pengabut berfungsi untuk mengatur jumlah bahan bakar yang akan dikabutkan melalui mulut pengabut. Jarum pengabut ditekan pada bidang penutup oleh pegas penutup dengan tekanan yang dapat diatur dengan perantara baut tekan. Oleh tekanan minyak gaya-gaya bekerja pada bidang kerucut. Komponen aksial dari gaya mengangkat jarum berlawanan arah dengan kerja pegas penutup. Jarum pengabut disebut juga sebagai katup jarum untuk mengabutkan bahan bakar.

b. *Nozzle* (Mulut Pengabut)

Mulut pengabut berfungsi untuk mengabutkan bahan bakar ke dalam ruang bakar. Pada akhir penyemprotan tekanan didesak menurun dan jarum ditekan kembali pada bidang penutup. Pembukaan dan penutupan jarum pengabut dapat diawasi dengan sebuah jarum periksa. Pada cara pengabutan ini pompa bahan bakar mendesak, jika penyemprotan harus dimulai dan pompa berhenti jika penyemprotan harus berakhir.

c. *Spindel* (Alat penekan jarum)

Alat penekan jarum yang digunakan untuk menekan jarum pada lubang *injector* pada saat proses pengabutan. Alat penekan jarum ini sangat penting dalam proses injeksi karena tinggi rendahnya tekanan dalam *injector* ditentukan disini.

d. *Lock Nut* (Mur pengunci atau pengaman)

Terdapat pada *injector* motor *diesel* yang berguna sebagai pengaman agar bagian-bagian dari *injector* tidak berubah pada waktu menginjeksikan bahan bakar.

e. *Adjusting Screw* (Baut penyetel)

Baut penyetel berfungsi untuk penyetelan kekuatan dan juga tekanan dari penyemprotan *injector* baut penyetel berada diatas dari mur pengaman yang berguna untuk melindungi bagian-bagian *injector* lain dan digunakan untuk mengatur posisi mur pengaman dalam *injector*. *Adjusting screw* terletak di bagian atas dari sebuah *injector*.

f. *Spring* (Pegas)

Pegas disini berguna pengontrol elastisitas dari *injector* pada saat menginjeksikan bahan bakar agar alat penekan jarum dapat kembali keposisinya lagi dan digunakan dalam penyetelan kekuatan injeksi bahan bakar.

g. *Spindle guide*

Berada pada kedua ujung *spindle* yaitu ujung bawah dan ujung atas. Pada ujung atas berhubungan dengan *spring retainer* (penahan pegas) dan pada ujung bawah berhubungan dengan jarum pengabut yang berfungsi agar *spindle* dapat menekan jarum pengabut dengan baik.

h. *Spring retainer* (penahan pegas)

Spring retainer sebagai penghubung antara pegas dan *spindle* berfungsi untuk menahan agar *spindle* tetap pada posisinya.

i. *Nozzle holder*

Nozzle holder berfungsi sebagai rumah dan sebagai saluran yang menghubungkan antara *injector* dengan pipa tekanan tinggi.

j. *Adjusting washer*

Adjusting washer berfungsi sebagai penyetel tekanan penginjeksian.

k. *Distance piece*

Distance piece berfungsi sebagai saluran untuk menyalurkan bahan bakar bertekanan ke *nozzle body*.

l. *Pressure pin*

Pressure pin berfungsi untuk meneruskan tekanan dari bahan bakar untuk mendorong *pressure spring* sehingga *nozzle needle* dapat terbuka.

m. *Retaining nut*

Retaining nut berfungsi sebagai rumah berbagai komponen *injector nozzle* pada bagian bawah dan juga untuk melindungi komponen *injector* dari kerusakan.