

II. TEORI DASAR

A. Motor Bakar

Motor bakar adalah suatu pesawat kalor yang mengubah energi panas menjadi energi mekanis untuk melakukan kerja. Mesin kalor secara garis besar di kelompokkan menjadi dua jenis pembakaran yaitu pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*), dan pembakaran luar (*External Combustion Engine*). Jenis mesin pembakaran dalam adalah motor diesel, turbin gas dan motor besin, sedangkan yang termasuk pembakaran luar adalah turbin uap. Mesin pembakaran dalam atau yang lebih di kenal dengan motor bakar adalah proses pembakaran terjadi berada didalam mesin itu sendiri, sehingga gas pembakaran bahan bakar yang terjadi digunakan sebagai fluida kerja untuk melakukan kerja mekanis. Sedangkan pada mesin pembakaran luar proses pembakaran atau proses oksidasi bahan bakar berlangsung di luar mesin, di mana energi panas dari gas pembakaran bahan bakar tidak langsung digunakan untuk melakukan kerja mekanis tetapi dipergunakan untuk merubah air menjadi uap bertekanan tinggi, baru selanjutnya di ubah menjadi energi mekanis. Motor bakar menurut prinsip kerjanya di bedakan menjadi dua yaitu: motor bakar 2 langkah (2 tak) dan motor bakar 4 langkah (4 tak).

Pada motor motor 4 tak, untuk melakukan satu siklus memerlukan dua kali putaran poros engkol atau 4 gerakan torak yaitu:

1. Langkah penghisapan
2. Langkah pemampatan
3. Langkah usaha, dan
4. Langkah pembuangan.

Sedangkan pada motor 2 tak, untuk melakukan satu siklus hanya memerlukan satu kali putaran poros engkol atau 2 gerakan torak yaitu:

1. Langkah pengisian kotak engkol dan pemampatan atau satu putaran poros engkol.
2. Langkah pembilasan dan usaha.

B. Komponen Utama Motor Bakar 4 Langkah

Meskipun motor bakar sangat sederhana, akan tetapi komponen-komponennya sangat rumit. Pada dasarnya komponen-komponen utama dari motor bakar antara motor bensin dan motor diesel adalah sama, perbedaannya hanya terletak pada komponen untuk sistem pengapian bahan bakar. Sistem pengapian pada motor bensin dilengkapi dengan karbulator dan busi, sedangkan pada motor diesel menggunakan *injector* atau *atomiser*. Untuk lebih jelasnya komponen-komponen pada motor bakar 4 langkah sebagai berikut (Wardono. dkk, 2004):

1. Silinder (*cylinder*), sebagai tempat berlangsungnya keempat langkah proses pada motor bensin 4-langkah ini.
2. Piston, yang berfungsi untuk melakukan proses kompresi.

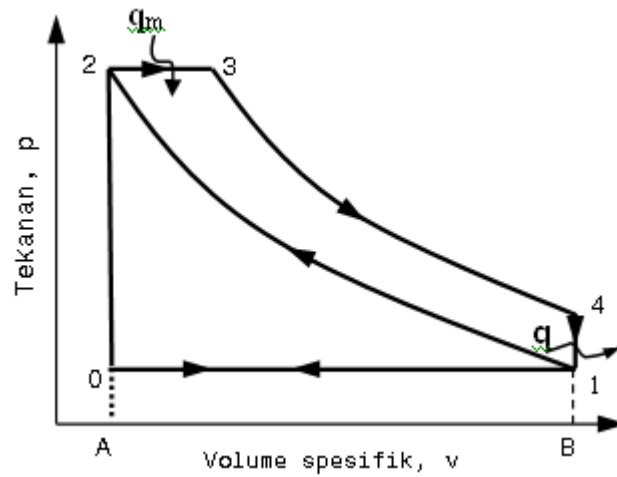
3. Kepala silinder (*head cylinder*), yang berfungsi sebagai penutup ujung atau bagian atas silinder, tempat kedudukan busi serta kedua katup dan saluran (hisap dan buang).
4. Saluran hisap (*inlet manifold*) dan saluran buang (*exhaust manifold*), yang sebagai saluran masuk udara-bahan bakar ke dalam silinder, dan sebagai saluran keluar gas pembakaran ke saluran buang.
5. Batang engkol (*connecting rod*), sebagai penghubung piston dan poros engkol..
6. Poros engkol (*crank shaft*), yang berfungsi sebagai pengubah gerak bolak-balik (*reciprocating*) dari piston menjadi gerak putar poros engkol tersebut.
7. Kerangka mesin atau blok silinder (*crankcase*), sebagai tempat silinder dan poros engkol bertumpu dan juga sebagai tempat penyimpanan minyak pelumas.
8. Roda gaya atau roda gila (*fly wheel*), sebagai energi yang menjaga agar poros engkol dapat tetap berputar untuk menggerakkan torak ketika melakukan langkah buang, langkah isap, dan langkah kompresi.
9. Mekanisme katup, berfungsi sebagai pengatur terbuka atau tertutupnya katup isap atau katup buang.
10. Injektor, berfungsi sebagai penyemprot bertekanan tinggi bahan bakar solar yang akan diinjeksikan kedalam ruang silinder mesin diesel.

C. Motor Diesel.

Motor diesel merupakan salah satu jenis motor pembakaran dalam yang membakar bahan bakar melalui proses injeksi sampai panas tertentu, dengan tekanan udara yang tinggi dalam ruang bakar. Motor diesel biasa disebut motor penyalaan kompresi (*compression ignition engine*) oleh karena cara penyalaan bahan bakarnya dilakukan dengan menyemprotkan bahan bakar yaitu solar ke dalam udara yang telah bertekanan dan bertemperatur tinggi, sebagai akibat dari proses kompresi (Nuruzzaman, 2003). Pada mesin diesel, pembakaran di picu oleh udara yang dimampatkan atau di kompresi di dalam silinder. Akibat pemampatan itu, tekanan udara menjadi sangat tinggi. Begitu juga suhunya, mencapai titik bakar solar. Karena itu, begitu solar disemprotkan ke udara itu, langsung terbakar. Dengan cara ini, mesin diesel tidak memerlukan sistem penyalaan.

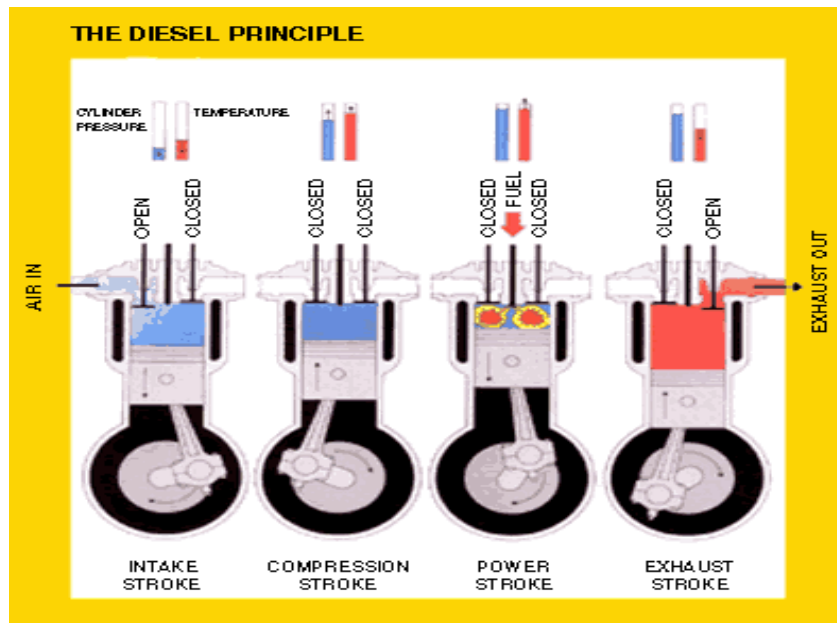
Untuk mendapatkan tekanan tinggi itu, perbandingan kompresi harus tinggi, dimana perbandingannya untuk mesin diesel berkisar 16–25 : 1 sedangkan mesin bensin 6-12 : 1. Perbandingan kompresi menentukan efisiensi kerja mesin, makin tinggi perbandingan kompresi lebih efisien kinerja dari sebuah mesin, meski begitu perbandingan kompresi tidak bisa ditentukan begitu saja. Sisi lain harus mempertimbangkan sifat dan kualitas bahan bakar yang akan digunakan (Azerferma, 2010). Pada motor diesel 4 langkah, setiap satu siklus kerja memerlukan 4 kali langkah torak atau 2 kali putaran poros engkol. Untuk lebih jelasnya proses-proses yang terjadi pada motor bakar bensin ini dapat dijelaskan melalui siklus ideal dari siklus udara bahan bakar volume konstan (siklus diesel)

seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 berikut (Aris munandar.W dalam Wardono dkk, 2004).



Gambar 1. Diagram P – V dari siklus Tekanan Konstan

Proses- proses yang terjadi pada siklus udara bahan bakar tekanan konstan (siklus diesel) adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Siklus Mesin Diesel 4 Langkah (Shell. 2005)

Dimana keterangannya:

1. Langkah hisap, disini hanya udara segar yang diisap masuk ke dalam silinder. Dimana Piston (torak) bergerak dari TMA ke TMB, katup masuk membuka dan katup buang tertutup. Udara murni terhisap masuk ke dalam selinder diakibatkan oleh dua hal. Pertama, karena kevakuman ruang silinder akibat semakin memperbesar volume karena gerakan torak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB), dan kedua, karena katup masuk (hisap) yang terbuka.
2. Langkah kompresi isentropik, udara segar yang telah dihisap kemudian dikompres pada langkah kompresi isentropik. Poros engkol berputar, kedua katup tertutup rapat, piston (torak) bergerak dari TMB ke TMA. Udara murni yang terhisap ke dalam silinder saat langkah hisap, dikompresi sehingga tekanan dan suhunya naik.
3. Langkah pembakaran, langkah ini dianggap terjadi pada tekanan konstan, dimana poros engkol terus berputar. Pada saat posisi torak mencapai TMA, injector (penyemprot bahan bakar) menginjeksikan bahan bakar ke ruang bakar (di atas torak / piston). Bahan bakar yang diinjeksikan dengan tekanan tinggi akan membentuk partikel-partikel kecil (kabut) yang akan menguap dan terbakar dengan cepat karena adanya temperatur ruang bakar yang tinggi. Pembakaran maksimal tidak terjadi langsung saat bahan bakar diinjeksikan, tetapi mengalami keterlambatan pembakaran (*ignition delay*). Dengan demikian, meskipun saat injeksi terjadi sebelum TMA tetapi tekanan maksimum pembakaran tetap terjadi setelah TMA akibat adanya

keterlambatan pembakaran (*ignition delay*). Proses pembakaran ini menghasilkan tekanan balik kepada piston (torak) sehingga piston akan terodorong ke bawah beberapa saat setelah mencapai TMA sehingga bergerak dari TMA ke TMB. Gaya akibat tekanan pembakaran yang mendorong piston ke bawah diteruskan oleh batang piston (torak) untuk memutar poros engkol. Poros engkol inilah yang berfungsi sebagai pengubah gerak naik turun torak menjadi gerak putar yang menghasilkan tenaga putar pada motor diesel.

4. Langkah buang, dimana katup buang terbuka dan piston bergerak dari TMB ke TMA. Karena adanya gaya kelembaman yang dimiliki oleh roda gaya (*fly wheel*) yang seporos dengan poros engkol, maka saat langkah usaha berakhir, poros engkol tetap berputar. Hal tersebut menyebabkan torak bergerak dari TMB ke TMA. Karena katup buang terbuka, maka gas sisa pembakaran terdorong keluar oleh gerakan torak dari TMB ke TMA. Setelah langkah ini berakhir, langkah kerja motor diesel 4 langkah (4 tak) akan kembali lagi ke langkah hisap. Proses yang berulang-ulang tersebut diatas disebut dengan siklus diesel.

D. Proses Pembakaran

Bahan bakar (*fuel oil*) disemprotkan ke dalam silinder berbentuk butir-butir cairan yang halus. Oleh karena udara di dalam silinder pada saat tersebut sudah bertemperatur dan bertekanan tinggi maka butir-butir tersebut akan menguap. Penguapan butir bahan bakar itu dimulai pada bagian permukaan luarnya, yaitu

bagian yang terpanas. Uap bahan bakar yang terjadi itu selanjutnya bercampur dengan udara yang ada di sekitarnya. Proses penguapan ini berlangsung terus selama temperatur sekitarnya mencukupi. Jadi proses penguapan juga terjadi secara berangsur-angsur. Demikian juga proses pencampuran dengan udara. Maka pada suatu saat di mana terjadi campuran bahan bakar udara yang sebaik-baiknya, proses pembakaran juga dapat berlangsung dengan sebaik-baiknya. Sedangkan proses pembakaran di dalam silinder juga terjadi secara berangsur-angsur saat proses pembakaran awal terjadi pada temperatur yang relatif lebih rendah dan laju pembakarannya pun akan bertambah cepat. Hal itu disebabkan karena pembakaran berikutnya berlangsung pada peningkatan temperatur yang lebih tinggi (Andriesdwiputra, 2008).

Pembakaran adalah reaksi kimia antara komponen-komponen bahan bakar (Karbon dan Oksigen) dengan komponen udara (Oksigen) yang berlangsung sangat cepat untuk menghasilkan panas yang jauh lebih besar sehingga menaikkan temperatur dan tekanan gas. Elemen mampu bakar atau *Combustible* yang utama adalah karbon dan oksigen, elemen mampu bakar yang lain, yang tidak disukai dan terkandung dalam jumlah sedikit, adalah belerang. Oksigen yang diperlukan untuk pembakaran diperoleh dari udara, yang merupakan campuran dari oksigen dan nitrogen.

Tabel 1. Komposisi udara campuran gas dalam pembakaran

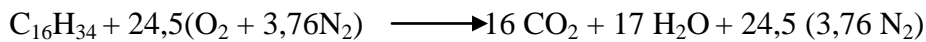
No	Nama Gas	Simbol Kimia	Persentase Komposisi (%)
1	Nitrogen	(N ₂)	78,03 %
2	Oksigen	(O ₂)	20,90 %
3	Argon	(Ar)	0,94 %
4	Karbon dioksida	(CO ₂)	0,03 %

Gas-gas lainnya seperti hidrogen, helium, neon, kripton, xenon : 0,1 % (Thomas, 1993).

Nitrogen adalah gas lambat dan tidak berpartisipasi dalam proses pembakaran. Selama proses pembakaran, butiran minyak bahan bakar menjadi elemen komponennya, yaitu hidrogen dan karbon, akan bergabung dengan oksigen untuk membentuk air, dan karbon bergabung dengan oksigen menjadi karbon dioksida. Kalau tidak cukup tersedia oksigen, maka sebagian dari karbon, akan bergabung dengan oksigen menjadi karbon monoksida. Kalau terbentuk karbon monoksida, maka jumlah panas yang dihasilkan hanya 30 persen dari panas yang ditimbulkan oleh pembentukan karbon monoksida. (Maleev, 1995).

Keadaan yang penting untuk pembakaran yang efisien pada motor diesel adalah gerakan yang cukup antara bahan bakar dan udara, artinya distribusi bahan bakar dan bercampurnya dengan udara harus bergantung pada gerakan udara yang disebut pusaran. Energi panas yang dilepaskan sebagai hasil proses pembakaran digunakan untuk menghasilkan daya motor bakar tersebut.

Reaksi pembakaran ideal dapat dilihat di bawah ini :



Dari reaksi di atas dapat dilihat bahwa N_2 tidak ikut dalam reaksi pembakaran.

Reaksi pembakaran di atas adalah reaksi pembakaran ideal. Sedangkan reaksi pembakaran sebenarnya atau aktual dapat berupa seperti dibawah ini (Heywood, 1988) :



Secara lebih detail dapat dijelaskan bahwa proses pembakaran adalah proses oksidasi (penggabungan) antara molekul-molekul oksigen ('O') dengan molekul-molekul (partikel-partikel) bahan bakar yaitu karbon ('C') dan hidrogen ('H') untuk membentuk karbon dioksida (CO_2) dan uap air (H_2O) pada kondisi pembakaran sempurna, disini proses pembentukan CO_2 dan H_2O hanya bisa terjadi apabila panas kompresi atau panas dari pemantik telah mampu memisah/memutuskan ikatan antar partikel oksigen (O-O) menjadi partikel 'O' dan 'O', dan juga mampu memutuskan ikatan antar partikel bahan bakar (C-H dan/atau C-C) menjadi partikel 'C' dan 'H' yang berdiri sendiri.

Baru selanjutnya partikel 'O' dapat beroksidasi dengan partikel 'C' dan 'H' untuk membentuk CO_2 dan H_2O . Jadi dapat disimpulkan bahwa proses oksidasi atau proses pembakaran antara udara dan bahan bakar tidak pernah akan terjadi apabila ikatan antar partikel oksigen dan ikatan antar partikel bahan bakar tidak diputus terlebih dahulu (Wardono, 2004).

Syarat terjadinya pembakaran yang baik pada suatu motor adalah sebagai berikut (Boentarto, 1993) :

- a. Adanya tekanan (panas) kompresi yang cukup.
- b. Campuran bahan bakar dan udar normal.

Hasil pembakaran berupa tenaga panas dan sisa pembakaran yang berupa gas buang. Panas akibat pembakaran harus diatasi agar tidak berlebihan oleh karena itu motor perlu didinginkan. Sedangkan sisa pembakaran yang berupa gas buang harus disalurkan agar tidak menimbulkan ledakan karena sisa gas buang mempunyai tekanan yang cukup tinggi. Untuk menyalurkan gas sisa buang tersebut pada motor diesel dilengkapi dengan knalpot (*exhaust manifold*). Yang termasuk dalam sistem pembakaran ini adalah saluran masukan, saluran pembuangan, dan ruang bakar. Saluran pemasukan dengan perlengkapannya bertugas mengalirkan gas baru ke ruang bakar. Ruang bakar dengan komponennya bertugas menampung gas baru untuk dibakar. Saluran pembuangan dengan perlengkapannya bertugas menyalurkan gas buang ke udara luar.

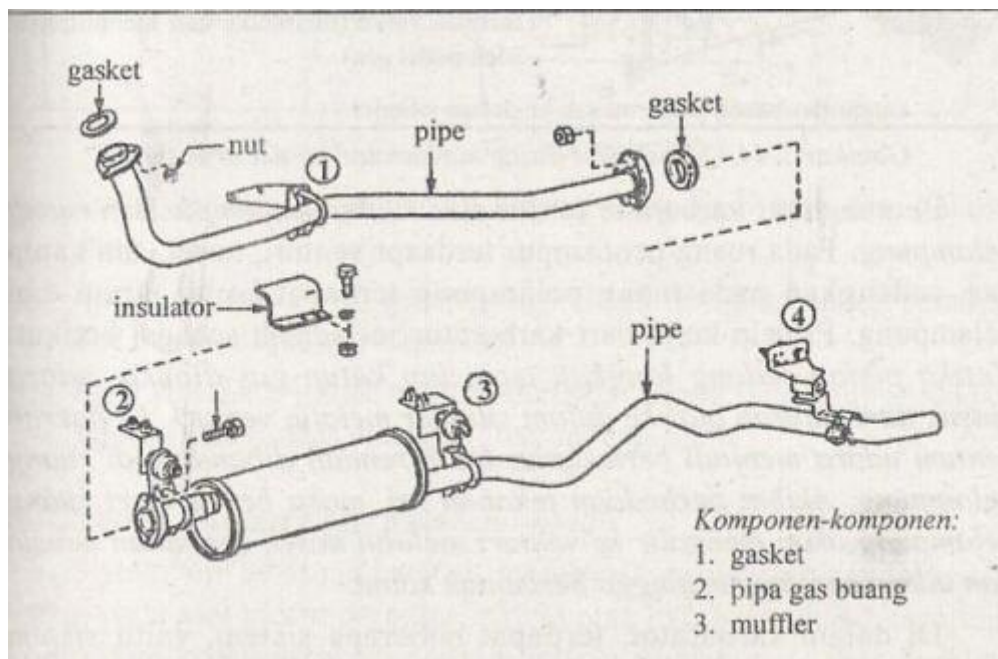
E. Saluran Gas Buang

Sistem pengeluaran pada mesin diesel secara umum memiliki kesamaan pada mesin bensin yaitu terdiri dari pipa gas buang dan peredam suara. Dalam hal ini gas sisa pembakaran ditekan keluar dari silinder dengan gerakan torak keatas. Kalau gas sisa pembakaran masuk pipa gas buang dengan mendadak, maka akan terjadi gelombang tekanan didalam pipa gas buang. Pembakaran bahan bakar

berlangsung sebagai ledakan yang sangat cepat didalam ruang bakar dan menimbulkan suara yang sangat bising. Untuk meredam suara yang bising tersebut, maka gas hasil pembakaran yang mengalir keluar melalui katup atau klep buang tidak langsung dilepas ke udara luar (udara terbuka), melainkan disalurkan terlebih dahulu ke dalam peredam suara (*sillincer*).

F. Knalpot

Knalpot adalah piranti tempat penampungan atau saluran pembuangan gas sisa pembakaran. Sebelum ditemukan fungsi lain dari knalpot, para ahli otomotif merancang alat ini dengan tujuan untuk meredam suara hasil ledakan diruang bakar (Pikiran Rakyat, 2006). Ledakan ini menimbulkan suara yang sangat bising. Untuk meredam suara tersebut, gas sisa hasil pembakaran yang keluar dari klep buang tidak langsung dilepas ke udara terbuka. Gas buang disalurkan terlebih dahulu ke dalam peredam suara atau *muffler* didalam knalpot. Sebenarnya fungsi peredam di samping meredam suara mesin, juga untuk mengatur arah aliran gas-gas sisa hasil pembakaran agar mengalir dengan teratur. Pengaturan yang baik dapat membantu memperbesar tenaga yang dihasilkan mesin, oleh karena itu bentuk peredam suara untuk setiap jenis tipe mesin 2 langkah dan 4 langkah itu berbeda sesuai dengan kebutuhan yang dimiliki oleh setiap mesin. Perubahan pada bentuk dan ukuran peredam suara tanpa memperhitungkan hal tersebut diatas biasanya tidak menghasilkan tenaga mesin yang lebih besar melainkan sebaliknya, tenaga mesin menurun (Daryanto, 2004). Berikut ini merupakan gambar dari bentuk knalpot secara umum :



Gambar 3. Komponen knalpot standar (www.muffler.com)

1. Bagian – bagian knalpot

Adapun bagian-bagian knalpot secara umum antara lain, yaitu :

- a. *Header* (leher knalpot), berupa pipa yang menyalurkan gas sisa hasil pembakaran dari ruang bakar menuju perut knalpot.
- b. *Silencer*, berupa pipa yang memiliki diameter lebih besar dari *header* sebagai tempat berkumpulnya gas buang, selanjutnya disalurkan ke udara bebas, seperti pada gambar dibawah ini merupakan jenis dari *silencer* tipe racing.



Gambar 4 . Tipe silincer racing (www.muffler.com)

Diameter *header* dan panjangnya *header* sangat mempengaruhi tenaga yang dihasilkan (Speedol Team, 2007). *Header* yang bagus itu diameternya harus sama dengan diameter *exhaust*, tidak boleh lebih kecil karena tenaganya akan tertahan. Panjang pendeknya *header* akan mempengaruhi karakter tenaga yang dihasilkan. *Header* panjang cocok untuk tenaga putaran atas. Sedangkan *header* pendek, cocok untuk akselerasi. Secara logis, semakin besar diameter *header* maka aliran sistem pembuangan juga semakin lancar. Pada kenyataannya gas yang keluar dari mesin ke sistem pembuangan tidak berada dalam kondisi yang stabil. Tekanan yang terjadi akan berubah-ubah, saat katup sistem pembuangan terbuka. Diameter pipa pun berpengaruh terhadap dorongan gas buang.

Pipa yang terlalu besar, sama merusaknya dengan pipa yang terlalu kecil. Selain ukuran panjang *header* dan diameter leher, bentuk *silencer* dan perut knalpot juga unsur penting (Ahzar, 2008). Pada *silencer* panjang, tenaga akan keluar di rpm menengah keatas sedangkan untuk *silencer* pendek, tenaganya akan keluar pada rpm bawah. Semakin besar aliran makin tak terhambat, sehingga tenaga bawah bagus. Sebaliknya lubang kecil akan berdampak pada putaran atas yang lebih bagus. Sedangkan diameter lubang pada selongsong dalam *silencer* yang tidak terlalu besar juga memiliki pengaruh saat terjadi tekanan balik. Namun panjang *silencer* tidaklah berdampak begitu besar.



Gambar 5. Knalpot standar mesin diesel

Pada *header pipe* sebagai jalur mengalirnya gas buang harus memiliki persyaratan yang dipenuhi sebagai suatu acuan keamanan dari perancangan *header pipe* itu sendiri. Persyaratan yang harus dipenuhi antara lain yaitu :

- a. *header pipe* harus memiliki titik leleh bahan diatas temperatur gas buang.
- b. *header pipe* harus memiliki titik muai bahan diatas temperatur gas buang.
- c. Bahan *header pipe* harus tahan terhadap perubahan suhu.
- d. Bahan *header pipe* harus tahan korosi.

2. Prinsip kerja knalpot

Gas sisa hasil pembakaran yang keluar dari klep buang disalurkan ke knalpot melalui *header pipe*. Gas buang sisa pembakaran yang berkecepatan dan bertekanan sangat tinggi pada *header pipe* dibuang dan berkumpul diperut knalpot sehingga sebagian akan berbalik (efek turbulensi) ke *header*. Akibatnya tekanan menjadi lebih tinggi lagi dan menciptakan kompresi baru. Tekanan balik terjadi akibatnya terhalangnya aliran sistem pembuangan, baik dalam pipa pembuangan, peredam suara dan katalis pengubah energi atau komponen lain yang ada dalam sistem pembuangan. Tekanan balik akan melingkupi gas yang terbakar dari saluran silinder, saat katup terbuka. Tekanan balik terjadi saat gas hasil buangan bertemu dengan udara atau bahan bakar yang masuk sehingga terjadi keseimbangan antara aliran gas buang dan campuran udara bahan bakar yang masuk. Elemen – elemen dalam sistem pembuangan juga akan sulit terkendali saat terjadi tekanan balik. Untuk itu diperlukan *header* dan komponen-komponen lain dalam sistem pembuangan, sebagai penyalaras antara pembuangan dan *intake*. Unsur-unsur ini akan mengurangi proses hilangnya torsi dan tenaga.

H. Parameter Prestasi dan Operasi Motor Diesel 4 Langkah

Parameter prestasi yang cukup berperan adalah daya engkol sebagai kerja yang dihasilkan oleh motor bakar, dimana semakin besar daya engkol yang dihasilkan semakin baik kinerja dari motor bakar. Untuk mengetahui besarnya daya engkol dari motor bakar 4 langkah digunakan persamaan (Wardono, dkk. 2004):

$$bP = \frac{2\pi \cdot N \cdot T_{AP}}{60.000}, kW \dots\dots\dots(1)$$

$$T_{ap} = 1,001T_{RD}, Nm \dots\dots\dots(2)$$

Laju pemakaian bahan bakar per 8 ml Bahan Bakar, m_f dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut (Wardono, dkk. 2004):

$$m_f = \frac{sgf \times 8.10^{-3} \times 3600}{t}, kg/jam \dots\dots\dots(3)$$

Untuk pemakaian bahan bakar spesifik engkol, $bsfc$ dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Wardono. dkk, 2004):

$$bsfc = \frac{m_f}{bP}, kg/kWh \dots\dots\dots(4)$$