

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian *Diesel Engine* Empat Langkah

Motor bakar empat langkah adalah mesin pembakaran dalam, yang dalam satu kali siklus pembakaran akan mengalami empat langkah piston. Empat langkah tersebut adalah langkah hisap, langkah kompresi, langkah pembakaran dan langkah buang. Yang secara keseluruhan memerlukan dua putaran poros engkol (*crankshaft*) per satu siklus pada mesin bensin atau mesin diesel. Gerakan langkah piston naik-turun tersebut dilakukan dari Titik Mati Atas (*Top Dead Center*) sampai ke Titik Mati Bawah (*Bottom Dead Center*) dan sebaliknya.

2.2 Klasifikasi Jenis-jenis *Engine*

2.2.1 Jenis *Engine* Berdasarkan Letak *Cylinder*

- a. **Tipe In-Line (Segaris)** : dimana letak piston tegak sejajar.
- b. **Tipe V** : dimana letak piston berbentuk huruf V.

2.2.2 Jenis *Engine* Berdasarkan Jumlah *Cylinder*

a. *Engine* ber-*Cylinder* Tunggal

Dimana *engine* hanya memiliki 1 buah *cylinder*, sering dipakai untuk penggerak pada alat kecil (*portable*) dan untuk keperluan irigasi.

b. Berjumlah 4, 6 dan 8 *Cylinder*

Dimana *engine* memiliki 4, 6 hingga 8 *cylinder*, dipakai pada kendaraan seperti mobil.

c. Berjumlah 12, 16, 20 dan 24 Cylinder

Dimana *engine* memiliki variasi jumlah *cylinder* 12, 16, 20 hingga 24 buah, dipakai pada keperluan industri, penggerak kapal besar dan alat berat dengan kapasitas yang besar.

2.2.3 Jenis Engine Berdasarkan Kerja Piston

a. Engine diesel piston kerja tunggal

Dimana satu sisi dari piston yang berhubungan dengan gas pembakaran, sedang sisi yang lain berhubungan dengan poros engkol melalui batang piston.

b. Engine diesel piston kerja ganda

Dimana kedua sisi dari piston bekerja berhubungan dengan gas pembakaran yang menghasilkan tenaga. Kedua sisi dari silinder digunakan untuk gas pembakaran yang secara berganti-ganti dan kedua sisi piston menerima gas hasil pembakaran. Tekanan gas pembakaran bekerja pada langkah keatas maupun kebawah.

c. Engine diesel piston kerja berlawanan

Dua piston pada silinder yang sama diantara kedua piston yang berlawanan itu terletak ruang pembakarannya. Masing-masing piston mempunyai batang piston dan poros engkol sendiri-sendiri.

2.2.4 Engine Berdasarkan Arah Putaran Engine

a. SAE Standard Rotation (berlawanan arah jarum jam) terdapat pada hampir semua jenis *engine* alat berat. Dimana standard putaran *engine* dapat dilihat dari belakang *flywheel* ke arah depan.

b. Opposite SAE Rotation (searah jarum jam) terdapat pada *engine* alat berat tertentu.

2.2.5 Engine Berdasarkan Posisi Camshaft

- a. *Cam in Block* (Camshaft terletak didalam engine)
- b. *Overhead Camshaft* (Camshaft terletak di cylinder head)
- c. *Outboard Camshaft* (Camshaft terletak disisi Engine Block)

2.2.6 Engine Berdasarkan Cara Penginjeksian Bahan Bakar ke Dalam Cylinder

a. Direct Injection (DI)

Bahan bakar diinjeksikan langsung ke ruang bakar.

b. Pre Combustion Chamber Engine (PC)

Bahan bakar yang disemprotkan ke dalam ruang bakar tidak langsung masuk ke ruang bakar, melainkan melalui kamar muka (*pre-combustion*) dulu.

2.2.7 Engine Berdasarkan Besar

- a. 350 – 1000 RPM : *Low Speed Engine*
- b. 1000 – 1500 RPM : *Low Medium Speed Engine*
- c. 1500 – 2000 RPM : *Upper Medium Speed Engine*
- d. 2000 – 3000 RPM : *High Speed Engine*

2.2.8 Engine Berdasarkan Pemasukan Udara ke Dalam Cylinder

a. Naturally Aspirated Engine (NA)

Udara masuk ke dalam *cylinder* secara alamiah.

b. Turbocharged Engine (T)

Udara masuk ke dalam *cylinder* dengan cara dihisap oleh *compressor* pada *turbocharger*.

c. Turbocharged and Aftercooler (TA)

Udara masuk ke dalam *cylinder* selain dihisap oleh *turbocharger* juga didinginkan, sehingga akan lebih padat dibandingkan dengan *Turbocharged Engine*.

2.2.9 Engine Berdasarkan Aplikasi

a. Marine

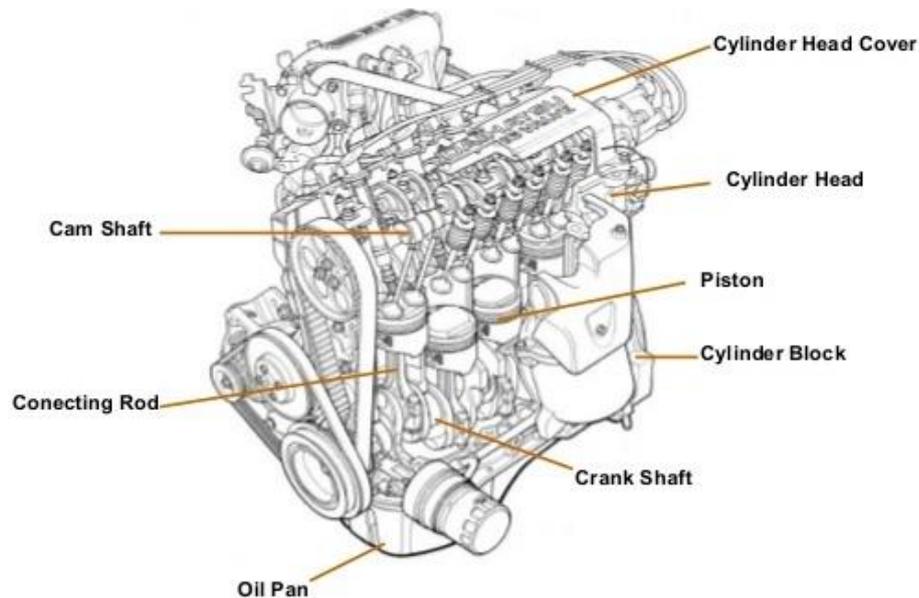
b. Industrial

c. Genset

d. Captive (termasuk Truck Engine atau On Highway Truck)

2.3 Komponen Utama *Engine*

Komponen *engine* diklasifikasikan menjadi 2 kelompok yaitu komponen utama dan komponen tambahan. Jika terdapat *engine* yang memiliki komponen-komponen utama tanpa memiliki komponen-komponen tambahan maka *engine* tersebut belum bisa dioperasikan.



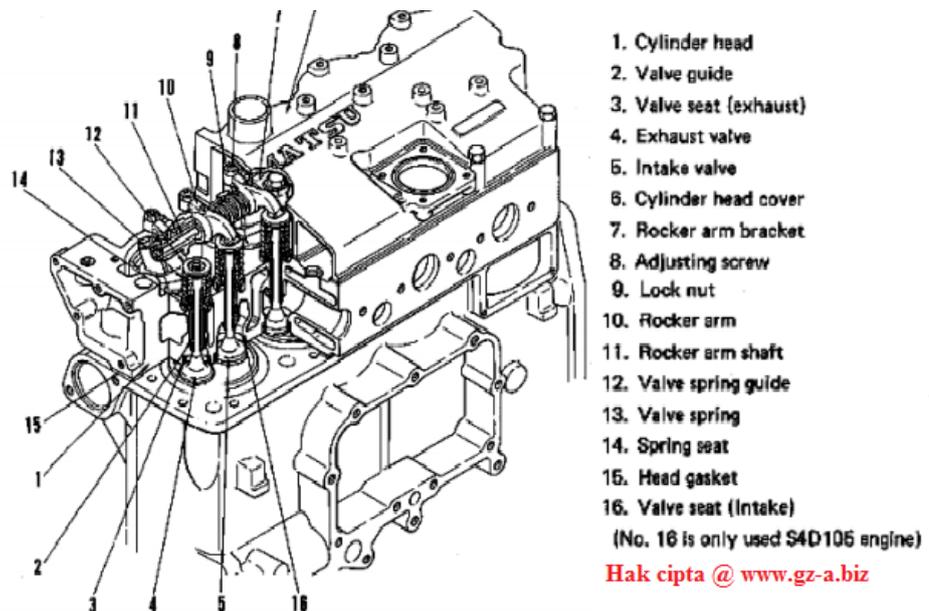
Gambar 2.1 Kontruksi Mesin
Sumber : slideshare.net

2.4 Cylinder Head

Cylinder Head adalah bagian terpenting dari komponen *engine* yang termasuk ke dalam *cylinder group*. Pada *cylinder head* terdapat banyak sekali komponen-komponen yang sangat penting, tentunya harus dipahami oleh setiap mekanik. Struktur *cylinder head* tergantung dari metode pembakaran yang digunakan. *Cylinder head* harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- Dapat menahan tekanan pembakaran dan konsentrasi panas.
- Mempunyai efek pendinginan yang tinggi.
- Dapat mencegah kebocoran tekanan pembakaran secara keseluruhan.
- Dapat mengalirkan udara *intake* dan *exhaust* dengan lancar.
- Dapat mencampur udara dengan bahan bakar secara sempurna.

Seperti yang terlihat pada gambar di bawah, itu adalah contoh komponen-komponen yang ada di bagian *cylinder head* pada *diesel engine S4D106 (engine code)*.



Gambar 2.2 Kontruksi Cylinder Head
 Sumber : otopos.net

2.4.1 Fungsi Cylinder Head

Kepala silinder atau *cylinder head* memiliki beberapa fungsi, diantaranya sebagai berikut :

1. Sebagai ruang pembakaran
2. Untuk menempatkan mekanisme katup
3. Tempat pemasangan busi
4. Tempat pemasangan saluran masuk dan saluran buang
5. Tempat mantel pendingin(*water jacket*)

2.4.2 Struktur Cylinder Head

Struktur dari *cylinder head* tergantung pada metode pembakaran. Bentuk dari *cylinder head* dan lain – lainnya sehingga kondisi tersebut menyebabkan perbedaan struktur dari *cylinder head* antara lain seperti dibawah ini :

1. *Direct Injection Type* dan *Pre Combustion Type*
2. *Two Valve System* dan *Four Valve System*

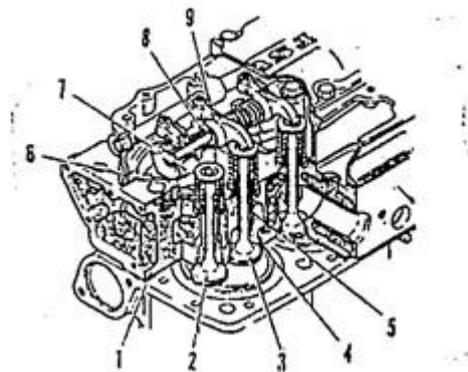
3. *Sectional Type* dan *Solid Type*
4. *Injector Nozzle Type* dan *Injector Type*

- ***Direct Injection Type* dan *Pre Combustion Type***

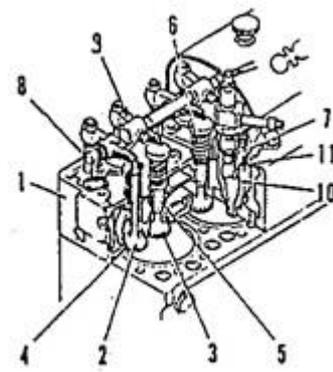
Pre combustion type di dalam *cylinder head* dibutuhkan tempat yang bebas untuk menempatkan *pre combustion chamber* dengan demikian strukturnya lebih komplrit dan membutuhkan perencanaan yang khusus untuk pendinginan dari *cylinder head*.

Pre combustion chamber diklasifikasikan dalam dua tipe :

1. *Pre combustion chamber* yang langsung disatukan di dalam *cylinder head* (seperti *engine 95 series* dan lainnya).
2. *Pre combustion* yang terpisah kemudian dipasangkan ke dalam *cylinder head* (seperti *engine 130 series* dan lainnya).



Gambar 2.3 *Direct Injection Type*



Gambar 2.4 *Pre Combustion Type*

Sumber : blandong.com

Keterangan :

- | | |
|-------------------------|---|
| 1. <i>Cylinder Head</i> | 7. <i>Nozzle Holder and Injection Nozzle</i> |
| 2. <i>Intake valve</i> | 8. <i>Rocker Arm Shaft</i> |
| 3. <i>Exhaust valve</i> | 9. <i>Rocker Arm</i> |
| 4. <i>Valve Seat</i> | 10. <i>Pre-Combustion Chamber</i> |
| 5. <i>Valve Guide</i> | 11. <i>Glow Plug</i> |
| 6. <i>Valve Spring</i> | 12. <i>Nozzle Holder and Injection Nozzle</i> |

- ***Two Valve Type Cylinder Head dan Four Valve Type Cylinder Head***

Two valve cylinder head hanya mempunyai satu *intake valve* dan satu *exhaust valve*. Untuk *four valve type cylinder head* mempunyai dua *intake valve* dan dua *exhaust valve*. Dalam langkah pemasukan, udara segar harus masuk sebanyak mungkin dalam waktu tertentu untuk memperbaiki campuran udara dengan bahan bakar yang diinjeksikan. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut diatas *intake* dan *exhaust valve* harus dibuat besar bila memungkinkan tempatnya dan tidak melewati batas lubang *cylinder*.

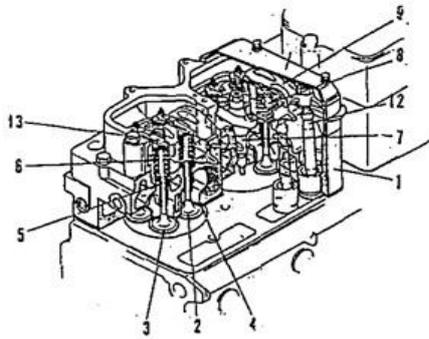
Tempat *valve* yang sempit atau ruangan tidak cukup, dapat menambah efektivitas penempatan dengan membuat empat buah *valve* atau dua *valve intake* dan dua *valve exhaust*. *Four valve type* walaupun menambah biaya dibanding *Two Valve Type* disebutkan struktur yang lebih rumit, tetapi jumlah udara yang dimasukkan lebih banyak dan memperbaiki percampuran bahan bakar.

- ***Sectional Type dan Solid Type***

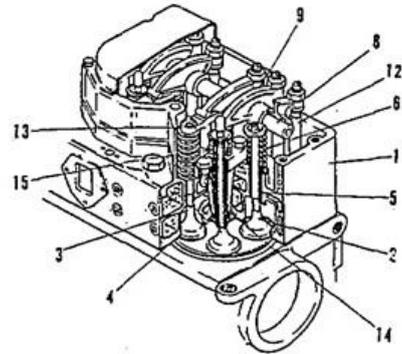
Solid type cylinder head adalah suatu istilah dari *cylinder head*, bila satu *cylinder head* digunakan untuk menutupi seluruh bagian atas *cylinder block*, sedangkan *sectional cylinder head* satu istilah bila satu *cylinder head* hanya menutupi satu atau lebih bagian atas dari *cylinder block* (atau *cylinder head* yang terpisah).

Sectional type cylinder head adalah lebih kecil efeknya terhadap *internal stress* atau *thermal stress*, mudah dalam pengencangan *bolt mounting* dengan sama rata dan memudahkan untuk memperbaiki, tetapi *cylinder head* ini biayanya lebih mahal karena membutuhkan pemisahan *rocker arm shaft* dan *cover arm shaft*.

Dari ciri yang disebut diatas menyebabkan *sectional type cylinder head* cocok dipasang pada *engine* yang bertekanan besar dan juga dapat digunakan *engine* yang berbeda jumlah *cylinder* yang ukuran *head* yang sama. Sedangkan *engine* kecil cukup dipasang *cylinder head solid type*.



Gambar 2.5 Sectional Type



Gambar 2.6 Solid Type

Sumber : blandong.com

Keterangan :

Gambar 2.5

1. Cylinder Head
2. Intake Valve
3. Exhaust Valve
4. Valve Seat
5. Valve Guide
6. Valve Spring
7. Nozzle Holder and Injection Nozzle
8. Rocker Arm Shaft

Gambar 2.6

1. Rocker Arm
2. Pre-Combustion Chamber
3. Glow Plug
4. Push Rod
5. Crosshead
6. Injector
7. Injector Spring

- **Injector Nozzle Type dan Injector Type**

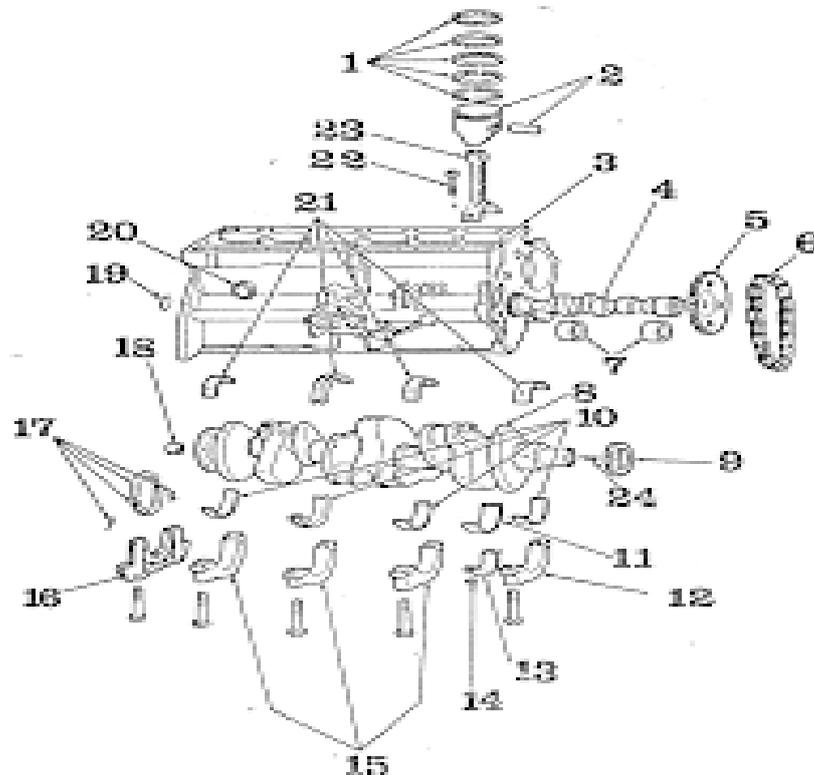
Injector nozzle valve menyemprotkan bahan bakar dengan pressure tinggi yang dipompakan oleh *injection pump*. *Injector* adalah hak tunggal dari *cummin* dengan memanfaatkan pergerakan vertikal *plunger* untuk menghasilkan tekanan *fuel* yang sangat tinggi dan menyemprotkan langsung ke dalam *cylinder*. *Injector* membutuhkan mekanisme penggerak *plunger* dihubungkan dengan putaran *cam shaft* dengan pergerakan vertikal *plunger* di dalam *cylinder head*. *Cylinder head type injector* konstruksinya lebih rumit dibanding dengan *cylinder head type injector nozzle*.

2.5 Konstruksi *Block Cylinder*

Blok silinder dan ruang engkol merupakan bagian utama dari motor bakar. Bagian-bagian lain dari motor dipasangkan di dalam atau pada blok silinder, sehingga terbentuk susunan motor yang lengkap. Pada blok silinder ini terdapat lubang silinder yang berdinding halus, dimana torak bergerak bolak-balik. Silinder bersama-sama dengan kepala silinder membentuk ruang bakar, yaitu tempat melaksanakan pembakaran bahan bakar.

Fungsi blok silinder :

- sebagai dudukan kepala silinder.
- sebagai dudukan silinder liner.
- sebagai dudukan mekanisme poros engkol.



Gambar 2.7 Konstruksi *Block Cylinder*
Sumber : Lit 1

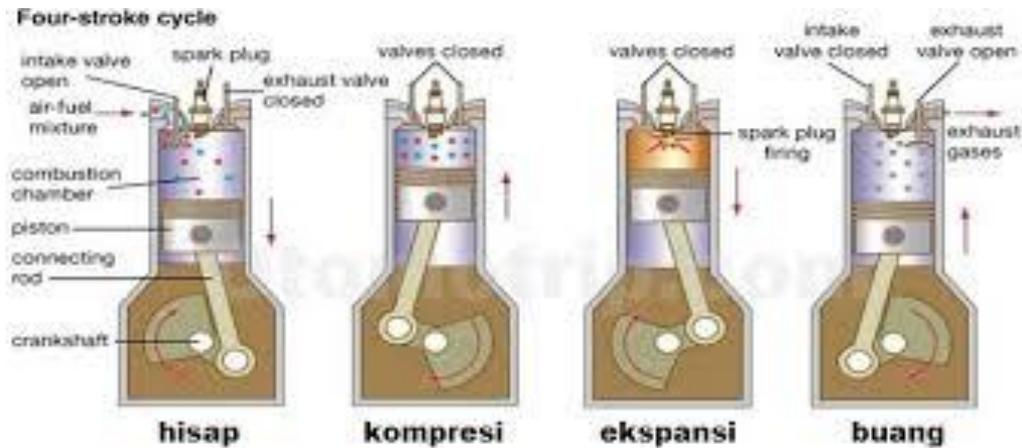
Keterangan :

- | | |
|---|--|
| 1. <i>Piston ring</i> | 13. <i>Connecting Rod Cup</i> |
| 2. <i>Piston dan Pin Piston</i> | 14. <i>Connecting Rod Nut</i> |
| 3. <i>Block Cylinder</i> | 15. <i>Crankshaft Cup</i> |
| 4. <i>Camshaft</i> | 16. <i>5th Seat Crankcase bearing Cup</i> |
| 5. <i>Camshaft Gear</i> | 17. <i>Oil Seal Cup/Thurst Bearing</i> |
| 6. <i>Timing Chain</i> | 18. <i>Pilot Bearing</i> |
| 7. <i>Camshaft Bearing/bushing</i> | 19. <i>Cooling Driened Plug</i> |
| 8. <i>Crankshaft</i> | 20. <i>Cooling Driened Plug</i> |
| 9. <i>Crankshaft Gear</i> | 21. <i>Crankshaft Bearing</i> |
| 10. <i>Crankshaft Bearing</i> | 22. <i>Bolt Connecting Rod</i> |
| 11. <i>Connecting Rod bearing</i> | 23. <i>Connecting Rod</i> |
| 12. <i>1st Main Bearing Up</i> | 24. <i>Lock Pin</i> |

2.6 Prinsip Kerja Motor Diesel Empat Langkah

Motor empat langkah ialah motor yang setiap siklus kerjanya diselesaikan dalam empat kali gerak bolak-balik langkah piston atau dua kali putaran poros engkol. Langkah piston adalah gerak piston tertinggi atau Titik Mati Atas (TMA) sampai yang terendah (TMB). Sedangkan siklus kerja adalah rangkaian proses yang dilakukan oleh gerak bolak-balik piston yang membentuk rangkaian siklus tertutup (Hidayat,2012:14)

Pembakaran pada motor diesel terjadi karena bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam *Cylinder* terbakar dengan dengan sendirinya akibat tingginya suhu udara kompresi dalam ruang bakar.



Gambar 2.8 Siklus Kerja Motor Diesel 4 Langkah
 Sumber : Slideshare.net



Gambar 2.9 Diagram Siklus Kerja Motor Diesel 4 Langkah
 Sumber :<http://seputardiesel.blogspot.co.id>

Pada motor diesel empat langkah terdapat empat langkah piston yaitu langkah hisap, langkah kompresi, langkah usaha dan langkah buang. Berikut akan dibahas langkah-langkah tersebut :

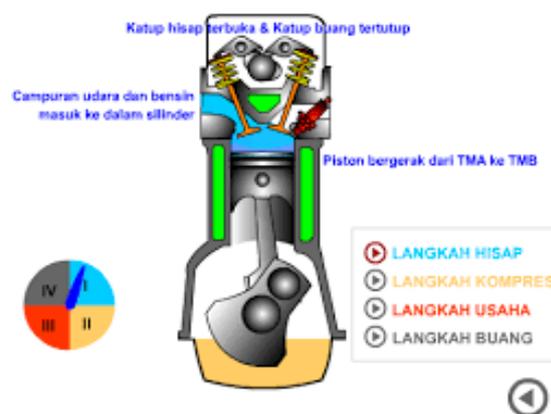
1. Langkah Hisap

Langkah hisap ditandai dengan piston bergerak dari TMA menuju TMB dengan tanda katup masuk terbuka dan katup buang tertutup. Saat langkah hisap

didalam silinder terjadi kevakuman negatif yang mengakibatkan campuran bahan bakar dan udara masuk ke silinder (Lit 1, hal 34).

Katup masuk pada langkah hisap sudah terbuka sebelum piston bergerak dari TMA dengan tujuan untuk menghasilkan lubang masuk bahan bakar yang lebih lama. Waktu piston akan bergerak menuju TMB maka akan terjadi kevakuman sehingga akan terjadi tahanan aliran campuran bahan bakar dan udara yang mengakibatkan volume silinder kurang dari 100%. Pada putaran mesin yang tinggi maka kevakuman tersebut akan rendah sehingga volume bahan bakar dan udara yang masuk juga sedikit sehingga daya mesin akan berkurang pada putaran yang tinggi. Mesin dengan menggunakan pemasukkan bahan bakar dan udara dengan tekanan maka kevakuman yang rendah saat putaran tinggi dapat dihilangkan.

Kelemahan dari cara ini adalah sebagian dari gas buang akan mengeruhkan gas baru yang masuk. Hal ini disebabkan karena gas buang yang berada diruang bakar hanya dapat dibuang oleh energi gerakan. Peristiwa tersebut dapat diminimalisir dengan proses *Overlapping* katup, namun akan selalu ada gas buang yang tertinggal diruang bakar (Arends,1980)

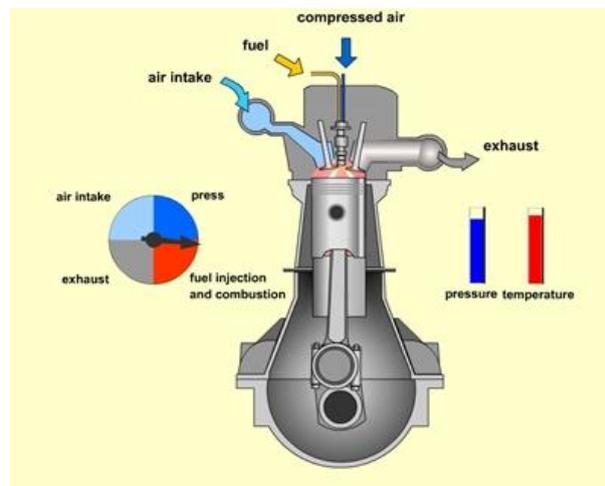


Gambar 2.10 Langkah Hisap
Sumber : diunduh, 2016

2. Langkah Kompresi

Poros engkol berputar, kedua katup tertutup rapat piston bergerak dari TMB ke TMA. Udara murni yang terhisap ke dalam silinder saat langkah hisap, dikompresi hingga tekanan dan suhunya naik mencapai 35 atm dengan temperature 500 – 8000 C (pada perbandingan kompresi 20 : 1). Langkah kompresi efektif baru terjadi bila katup masuk benar-benar tertutup.

Langkah kompresi mengakibatkan campuran bahan bakar dan udara dikompresi atau ditekan akibatnya tekanan dan temperaturnya naik sehingga mudah dalam proses pembakaran. Tekanan kompresi akan naik jika ruang bakar diperkecil. Ruang bakar yang semakin kecil terhadap panjang langkah torak maka perbandingan kompresi akan naik.



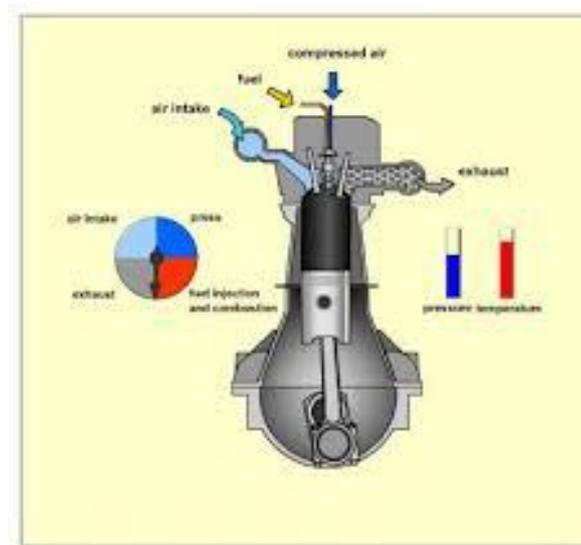
Gambar 2.11 Langkah Kompresi
Sumber : diunduh, 2016

3. Langkah Usaha

Poros engkol terus berputar, beberapa derajat sebelum piston mencapai TMA, injektor menginjeksikan bahan bakar ke ruang bakar. Bahan bakar yang diinjeksikan dengan tekanan tinggi (150 -300 atm) akan membentuk partikel-partikel kecil (kabut) yang akan menguap dan terbakar dengan cepat karena

adanya temperatur ruang bakar yang tinggi (500 – 8000 C). 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 sehingga piston akan terdorong 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 untuk memutar poros engkol. Poros engkol inilah yang berfungsi sebagai pengubah gerak naik-turun piston menjadi gerak putar yang menghasilkan tenaga putar pada motor diesel.

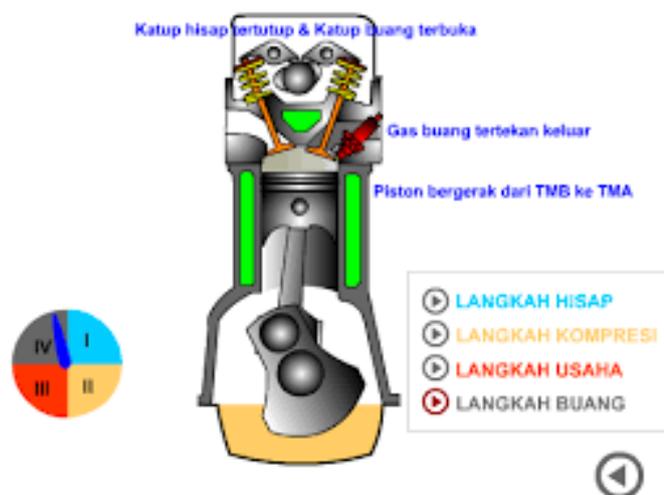


Gambar 2.12 langkah Usaha
Sumber : diunduh, 2016

4. Langkah Buang

Dalam langkah ini piston akan bergerak naik ke TMA dan mendorong sisa gas buang keluar melalui katup buang yang sudah terbuka. Karena adanya gaya kelembaman yang dimiliki oleh roda yang seporos dengan poros engkol, maka saat langkah usaha berakhir, poros engkol akan tetap berputar. Hal ni

menyebabkan piston bergerak dari TMB ke TMA. Karena katup buang terbuka maka gas sisa pembakaran terdorong keluar oleh gerakan piston dari TMB ke TMA. Pada akhir langkah buang, udara segar masuk dan ikut mendorong sisa gas bekas keluar dan proses kerja selanjutnya akan mulai. Pada langkah ini katup buang terbuka dan katup masuk tertutup.



Gambar 2.13 Langkah Buang
 Sumber : diunduh, 2016

2.7 Mekanisme Katup

Pada bagian atas blok silinder terdapat kepala silinder yang berfungsi sebagai tempat untuk menempatkan mekanisme katup yaitu *camshaft*, *rocker arm*, *valve*, *spark plug* dan juga berfungsi sebagai penutup silinder.

Secara umum katup berfungsi sebagai pintu masuk campuran udara dan bahan bakar ke dalam ruang bakar dan sebagai pintu keluar dari gas sisa pembakaran dari ruang bakar, selain itu juga katup berfungsi untuk menjaga agar kompresi mesin agar tidak bocor dan menjaga agar oli pelumas jangan sampai masuk ke ruang bakar.

2.7.1 Komponen Mekanisme Katup

1. *Camshaft*

Camshaft adalah sebuah poros yang memiliki beberapa *nok* yang menonjol tetapi dengan arah tonjolan *nok* yang berbeda – beda untuk katup hisap dan katup buangnya. Adanya tonjolan *nok* itulah yang dapat menekan katup hisap dan katup buang sehingga katup hisap dan katup buang dapat membuka dan menutup saluran masuk dan buang pada ruang pembakaran. Seiring dengan putaran *camshaft* dan arah tonjolan *nok* yang berbeda untuk setiap katup hisap dan buang, maka dorongan dari *nok* pertama misalnya, menekan katup hisap sehingga dapat membuka saluran masuk pada ruang bakar. Demikian juga *nok* yang selanjutnya akan mendorong katup buang untuk membuka saluran buang pada ruang bakar.

Tentu saja hal ini seiring pula dengan gerakan naik dan turunnya piston dari TMA menuju TMB dan TMB menuju TMA sehingga langkah tersebut dapat membuat campuran bahan bakar dan udara terhisap masuk ke dalam ruang pembakaran dan membuang sisa pembakaran melalui saluran buang. Hal ini sesuai dengan siklus empat langkah seperti yang dijelaskan diatas. Karena arah tonjolan *nok* berbeda – beda untuk setiap katup hisap dan buang maka putaran *camshaft* tersebut memberikan dorongan yang berbeda tergantung arah *nok* saat menekan katup yang mana sehingga siklus empat langkah diatas dapat berjalan seiring dengan putaran *camshaft*.



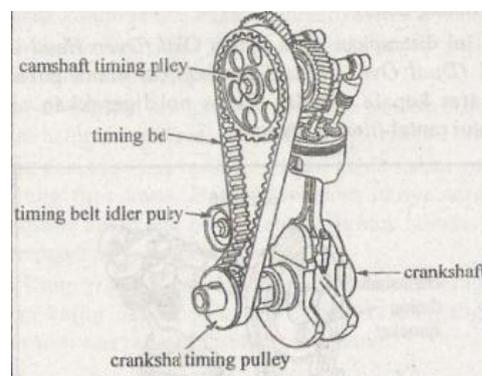
Gambar 2.14 Camshaft

Sumber :<https://mustazamaa.wordpress.com>

2. Penggerak Cam

Mekanisme dari *camshaft* yang menekan katup hisap dan buang serta hubungannya dengan putaran *crankshaft* biasanya disebut dengan *valve train mechanism*. *Valve train mechanism* adalah suatu mekanisme yang menghubungkan katup hisap dan katup buang dengan gerakan piston, katup hisap dan katup buang dengan *camshaft*, hubungan *camshaft* dengan *crankshaft* serta hubungan *crankshaft* dengan piston yang dihubungkan melalui *connecting rod*. *Camshaft* dapat berputar akibat putaran dari *crankshaft* yang dihubungkan melalui suatu *belt* yang biasanya disebut *timing belt*. Namun bukan hanya *belt* saja yang menghubungkan antara *crankshaft* dengan *camshaft*. Jenis penghubung lainnya adalah rantai atau biasa disebut *timing chain*, dan juga roda gigi yang disebut *timing gear*.

A. Timing Belt



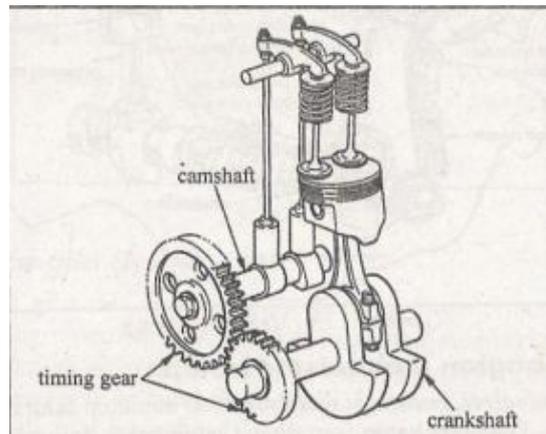
Gambar 2.15 Timing Belt

Sumber :<https://mustazamaa.wordpress.com>

Putaran *crankshaft* tersebut juga menyebabkan gerakan piston naik dan turun. Antara piston dan *crankshaft* tersebut dihubungkan dengan adanya *connecting rod*. Sehingga gerakan naik turun piston tersebut akan sesuai dengan pembukaan dan penutupan katup hisap dan katup buang pada ruang bakar. Kekurangan dari mekanisme katup model *timing belt* adalah *belt* dapat putus jika karetinya menjadi keras. Namun kelebihan dari *timing belt* lebih halus dan tidak memerlukan pelumasan.

B. Timing Gear

Pada mekanisme dengan model *timing gear* ini juga menghubungkan putaran *crankshaft* dan *camshaft*. Namun melalui mekanisme roda gigi. Kekurangan dari model ini adalah model ini lebih berisik namun lebih kuat.



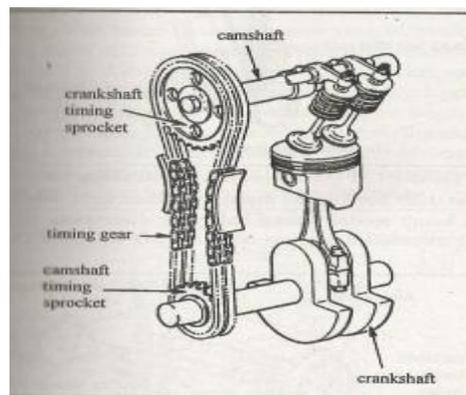
Gambar 2.16 Timing Gear

Sumber :<https://mustazamaa.wordpress.com>

C. Timing Chain

Pada mekanisme dengan model *timing chain*, *crankshaft* dihubungkan dengan *camshaft* melalui *sprocket* dan rantai. Kelebihan dari mekanisme ini juga lebih kuat dari *belt* namun juga sedikit berisik walaupun tidak seberisik model *timing gear* dan tetap memerlukan pelumasan.

Untuk memulai gerakan *crankshaft* pada awalnya adalah dengan adanya *starter* motor yang memutar *flywheel* (*starter* motor hanyalah penggerak awal *flywheel* pada *crankshaft*). *Flywheel* tersebut berputar memutar *crankshaft*. *Crankshaft* berputar menggerakkan piston dari TMA ke TMB. Sementara itu *crankshaft* melalui *timing belt* juga memutar *camshaft*. *Camshaft* dengan tonjolan nok mendorong katup hisap.



Gambar 2.17 Timing Chain

Sumber : <https://mustazamaa.wordpress.com>

Seiring dengan turunnya piston dan terbukanya katup hisap maka akan menghisap campuran bahan bakar dan udara. Sesuai siklus empat langkah maka akan terjadi ledakan, yang membuat *crankshaft* terdorong berputar. Begitu selanjutnya sehingga motor bakar dapat menyala.

3. Katup

Valve poppet (katup) adalah salah satu bagian dari mesin mobil yang berguna sebagai alat untuk membuka dan menutup. Katup berfungsi mengatur masuknya gas baru dan keluarnya gas buang sisa pembakaran pada mesin motor.

Katup terbagi menjadi 2, yaitu :

a. katup masuk (*intake valve*)

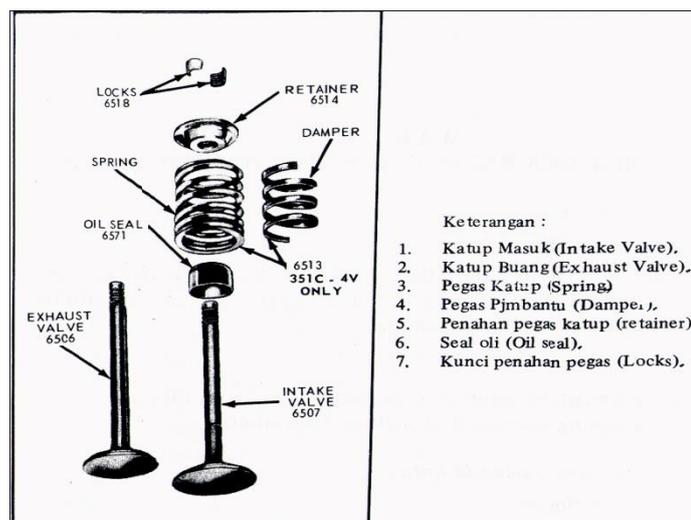
Katup masuk biasa diletakkan disaluran pemasukan campuran bahan bakar dan udara dari karburator atau biasa disebut *intake*

manifold. katup masuk berfungsi sebagai pembuka dan penutup antara saluran masuk (*intake manifold*) ke ruang bakar pada mesin. untuk membuka dan menutup, katup masuk digerakkan oleh *camshaft*.

b. katup buang (*exhaust valve*)

Katup buang biasa diletakkan di saluran pembuangan gas sisa pembakaran atau biasa disebut *exhaust manifold*. katup buang berfungsi sebagai pembuka dan penutup antara saluran bahan bakar ke saluran buang kemudian menuju ke knalpot.

Untuk mesin-mesin konvensional, dalam setiap silindernya terdapat dua buah katup, yaitu satu katup hisap dan satu katup buang. Tetapi untuk mesin-mesin modern, dalam setiap silindernya terdapat empat buah katup yaitu dua buah katup hisap dan dua buah katup buang.



Gambar 2.18 Bagian Katup

Sumber : diunduh, 2016

Katup harus kuat menerima beban pada ujung batang katup dari pelatuk atau dari *cam* dan harus kuat pada batang katup karena menerima keausan saat bekerja. Daun katup harus kuat dari tumbukan dan harus dapat menahan panas dengan suhu $\pm 800^{\circ}\text{C}$.

Konstruksi dari katup hisap adalah daun katup hisap dibuat lebih besar dengan tujuan memperbaiki sistem pengisian campuran bahan bakar dan udara

sedangkan daun katup buang dibuat lebih kecil dengan tujuan mempercepat laju pembuangan gas sisa pembakaran. Katup terbuat dari baja silikon, pada bagian ujung katup dibuat lebih keras untuk mengurangi atau memperkecil keausan.

Konstruksi dari katup buang adalah batang katup buang dibuat agar dapat memperlancar luncuran, katup dibuat agar mampu menahan panas yang tinggi $\pm 800^{\circ} \text{C}$, pada sebuah merek mobil tertentu misalnya Mercy, katup buang diisi dengan Natrium yang dapat menurunkan suhu dan memindahkan panas dari daun katup ke batang katup.



Gambar 2.19 Katup dengan Natrium
Sumber : diunduh, 2016

4. Pelatuk (*Rocker Arm*)

Pelatuk (*rocker arm*) berfungsi sebagai tuas pengungkit, dimana bila salah satu ujungnya mendapat tekanan *nok* maka ujung yang lain akan menekan katup. Pada mekanisme katup model OHV poros *nok* menekan *lifter*, *lifter* menekan *push rod* dan *push rod* menekan *rocker arm*, namun pada mekanisme katup SOHC dan DOHC poros *nok* langsung menekan *rocker arm*.

Pelatuk bekerja untuk menekan batang katup agar membuka melawan gaya pegas. Pelatuk akan menekan ketika tonjolan poros *cam* mengenai pelatuk. Ketika tonjolan poros *cam* tidak menyentuh katup maka posisi katup dalam keadaan tertutup. Perkembangan pelatuk pada sisi sentuhnya dipasang *roller* agar

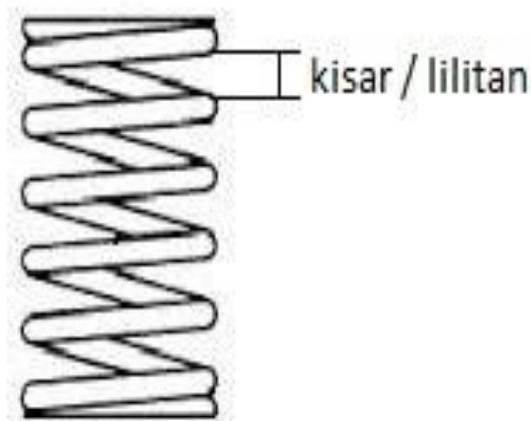
pengangkatan katup lebih cepat dan ringan karena *roll* dapat berputar sehingga dapat meningkatkan efektifitas kerja mekanik katup (Hidayat, 2012).



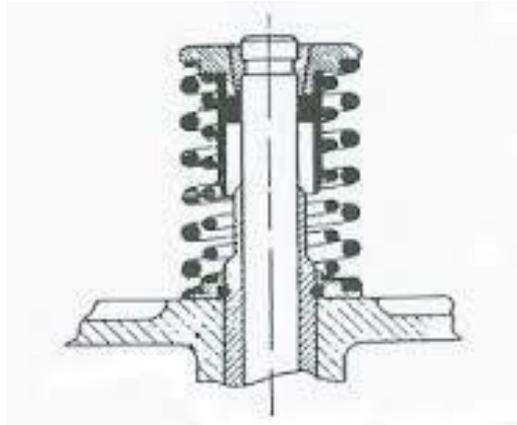
Gambar 2.20 Rocker Arm
Sumber : diunduh, 2016

5. Pegas (*Spring*)

Pegas adalah benda elastis yang digunakan untuk menyimpan energi mekanis. Pegas biasanya terbuat dari baja. Pada *engine*, pegas berfungsi untuk mengatur agar katup rapat dengan dudukannya dan sebagai pengembali katup. Pegas katup ada yang menggunakan jenis tunggal dan ada yang menggunakan jenis ganda.



Gambar 2.21 Pegas Tunggal
Sumber : diunduh, 2016



Gambar 2.22 Pegas Ganda
Sumber : diunduh, 2106

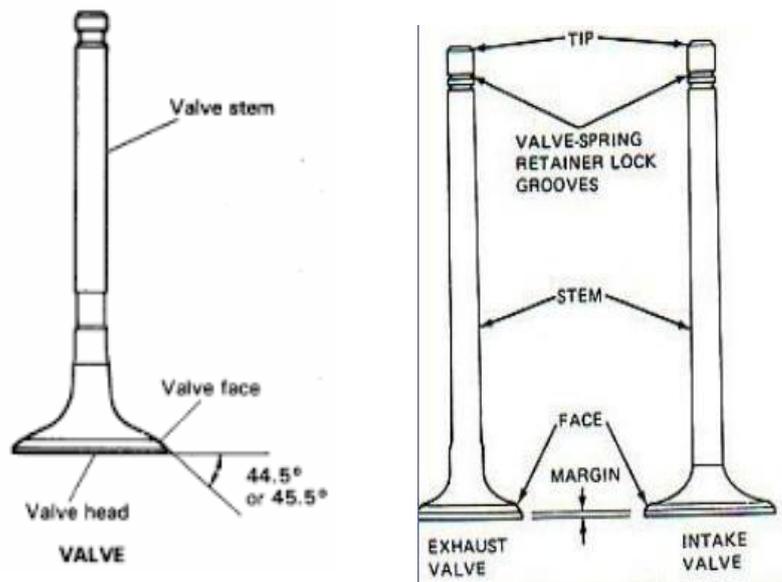
Pegas katup tunggal mempunyai jarak kisar / lilitan yang berbeda yang berfungsi untuk mengurangi getaran. Pegas katup ganda memiliki keunggulan, saat pegas katup patah maka katup tidak akan jatuh ke ruang bakar karena masih mempunyai pegas cadangan dan pegas katup ganda juga mempunyai frekuensi redam yang berbeda antar pegas sehingga dapat meredam getaran katup.

Pegas katup yang lemah akan berakibat katup tidak akan menutup rapat dan pada putaran tinggi katup akan melompat-lompat sehingga tenaga mesin akan berkurang dan juga akibat yang fatal adalah rusaknya komponen seperti katup atau piston karena bertabrakan.

2.7.2 Bentuk dan Bagian-Bagian Katup

Katup yang umumnya digunakan pada motor diesel maupun motor bensin berbentuk seperti jamur dan disebut *Poppet Valve*. Katup berfungsi untuk membuka dan menutup *intake manifold* dan *exhaust manifold*. Tiap-tiap silinder pasti dilengkapi minimal dengan dua katup yaitu katup masuk dan katup buang. Konstruksi katup terdiri dari kepala katup (*valve head*) dan batang katup (*valve stem*). Pada kepala katup, bentuknya disesuaikan dengan kebutuhan agar gas yang keluar masuk dapat mengalir dengan lancar. Daun katup masuk diameternya dibuat lebih besar jika dibandingkan dengan daun katup buang. Tujuannya agar pemasukan gas bersih dapat lebih sempurna. Temperatur rata-rata yang terjadi

pada daun katup hisap adalah antara 250° - 275° C, sedangkan untuk katup buang berkisar antara 700° - 760° C. Dengan temperatur seperti tersebut di atas, maka daun katup buang dibuat dari bahan yang lebih kuat dari pada daun katup masuk. Agar katup menutup rapat pada dudukannya, maka permukaan sudut katup (*valve face angle*) dibuat pada 44.5° atau 45.5° .



Gambar 2.23 Katup hisap dan katup buang
Sumber : diunduh, 2016

i. *Valve Head (Kepala Katup)*

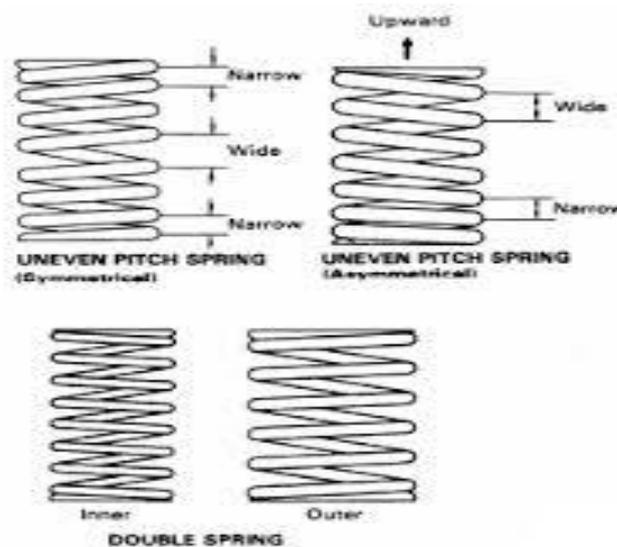
Kepala katup adalah bagian dari katup. Katup mempunyai bentuk kerucut dengan lebar sudut persinggungan katup antara 30° , 45° dan 60° . Bila katup tertutup, katup akan menempel dengan rapat pada dudukan katup.

ii. *Batang Katup (Valve Stem)*

Batang katup dibuat untuk bergerak didalam penghantar katup (*Valve stem guide*). Karena itulah katup harus bergerak dengan baik. Pada bagian bawah katup terdapat pengunci (*conical*) pegas katup.

iii. *Pegas Katup (Valve Spring)*

Pegas katup berfungsi sebagai gaya untuk mendorong katup menutup saat katup terbuka akibat tertekan poros *nok* dan menjaga agar katup dapat menutup dengan rapat. Kecepatan katup menutup katup tergantung dari gaya pegas dan massa dari bagian yang digerakan. Pegas katup adalah pegas spiral yang bekerja menutup katup.



Gambar 2.24 Valve spring

Sumber :<http://zend09mt.blogspot.co.id>

Penggunaan pegas yang jarak *pitch*nya berbeda (*uneven pitch spring*) atau pegas ganda (*double spring*) adalah untuk mencegah katup melayang. Katup melayang adalah gerakan katup yang tidak seirama dengan gerak *cam* saat putaran tinggi. Pegas dengan jarak *pitch* berbeda tipe *assymetrical* dipasang dengan posisi yang lebih renggang berada diposisi atas.

Karena pengujian dilakukan di PT. United Tractors maka pegas katup yang diuji adalah pegas katup pada engine produk Komatsu. Spesifikasi pegas katup ini sesuai dengan desain dari pabrikan dan disesuaikan dengan kapasitas *engine* alat berat tersebut.



Gambar 3.7 Pegas Katup
Sumber : Diunduh, 2016

b. Penahan Pegas (*Retainer*)

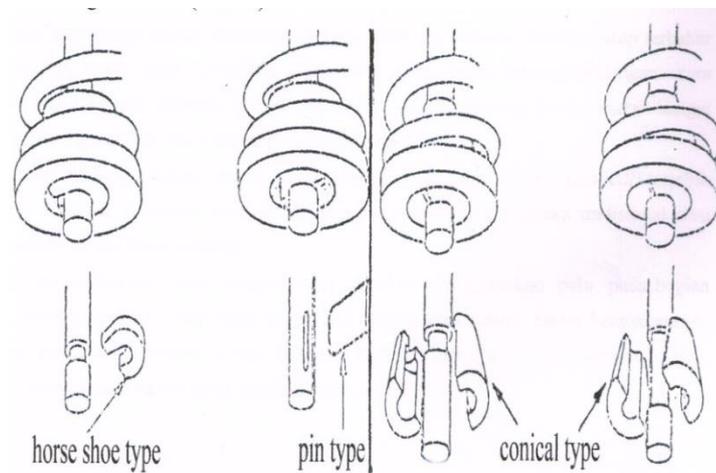


Gambar 2.25 Retainer
Sumber : <http://zend09mt.blogspot.co.id>

Pada konstruksi mekanisme katup terdapat pegas yang mana fungsinya untuk mengembalikan katup pada posisi semula. Untuk menahan pegas supaya tidak lepas maka digunakan sebuah penahan yaitu *retainer*.

c. Pengunci Valve (*Conical*)

Pada batang katup terdapat alur kunci sebagaiudukan pengunci (*conical*) penahan pegas. Pengunci pegas tersebut dihubungkan dengan *retainer*.



Gambar 2.26 Bentuk-bentuk Pengunci Valve
Sumber : diunduh, 2016

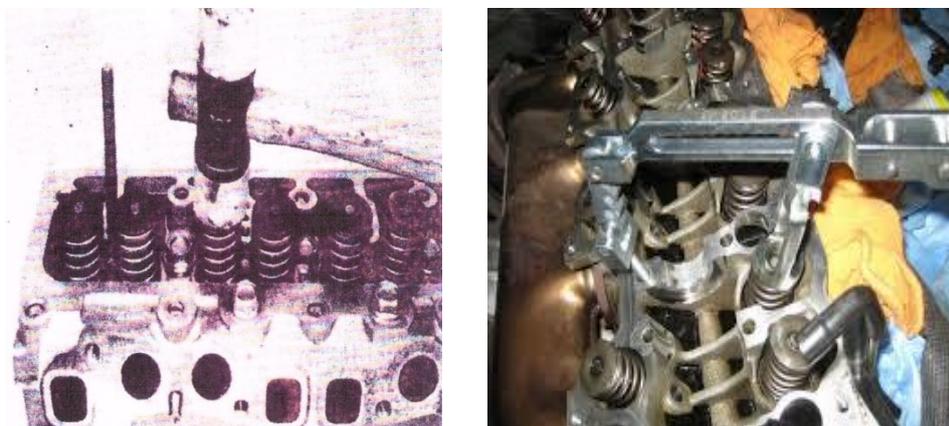


Gambar 2.27 Conical pin type
Sumber : diunduh, 2016

2.8 Alat Bantu Untuk Melepas Katup

Pada saat katup masuk dan katup buang telah aus atau batang katup telah terbakar, *seal valve* telah bocor dan kepala katup telah berbentuk oval maka katup harus dibuka dengan cara dilepas dari kepala silinder. Untuk membuka atau melepas katup dari *cylinder head* sangat sulit dilakukan tanpa alat bantu khusus (*special tool*). Untuk melepas katup, maka harus melepas pengunci katup terlebih dahulu. Terdapat beberapa cara untuk melepas pengunci, yaitu cara tradisional dan menggunakan alat bantu tertentu.

Cara tradisional yaitu dengan cara dipukul dengan palu pada bagian plat penahan pegas namun cara ini sudah sangat jarang dilakukan sekarang dan dengan menggunakan alat bantu manual dengan menekan pegas katup. Tetapi dua cara seperti ini dalam faktor keamanannya kurang baik karena pada saat pengunci terlepas kemungkinan besar pengunci dapat terpelanting keluar dan dapat merusak permukaan plat penahan pegas (*retainer*).



Gambar 2.27 Pelepasan katup dengan alat bantu manual
Sumber : diunduh, 2016

Berdasarkan pengamatan di bengkel-bengkel perawatan dan perbaikan alat berat kebanyakan bengkel-bengkel tersebut menggunakan alat bantu melepas pengunci katup seperti pada gambar 2.27 diatas.

Oleh karena itu sangat diperlukan sekali dilakukan inovasi terhadap alat bantu untuk melepas pengunci katup yang telah ada menjadi alat bantu yang lebih

praktis, sederhana dan pada saat melakukan proses pembongkaran tidak memakan waktu yang lama, tidak memerlukan tenaga manual dan tidak merusak permukaan kepala silinder.



Gambar 2.28 Komponen-komponen katup yang rusak
Sumber : diunduh, 2016

2.9 Penjelasan Pemakaian Alat Pelepas atau Pembuka yang Lama pada *Conical Valve*

Pemakaian alat bantu yang telah ada dipasaran atau yang digunakan dibengkel-bengkel perawatan dan perbaikan alat berat sedikit kurang baik dalam faktor keamanannya karena dapat menimbulkan cedera pada saat menekan *spring valve* secara manual, waktu penggunaan yang lama serta tenaga untuk menekan *spring valve* yang besar.



Gambar 2.29 Valve Spring Removal Special Tool yang telah ada / dipakai dibengkel perbaikan PT. United Tractors
Sumber : diunduh, 2016

2.10 Rumus - Rumus yang Digunakan

2.10.1 Motor Bor Elektrik

Motor borelektrik berfungsi sebagai tenaga penggerak yang digunakan untuk menggerakkan batang *screw*. Penggunaan dari motor borelektrik ini disesuaikan dengan kebutuhan daya dari mesin tersebut, yaitu daya yang diperlukan dalam proses pengangkatan pelepasan katup. Jika n_1 (rpm) adalah putaran dari motor listrik dan T (Nm) adalah torsi pada motor borelektrik, maka besarnya daya P (kW) yang diperlukan untuk menggerakkan sistem yaitu:

$$P = T \times \frac{2\pi \times N}{60} \dots\dots\dots (\text{lit 3, hal 27})$$

P = Daya Motor Listrik (Watt)

T = Torsi Motor Listrik (Nm)

N = Putaran Motor Listrik (rpm)

2.10.2 Perhitungan Gaya Ulir Penekan

Gaya ulir penekan sangat menentukan kerja dari alat bantu ini, sehingga gayatekan dapat sama atau lebih dari gaya dorong dari pegas katup. Gaya ulir penekan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$P = \frac{\pi^2 \times E \times I}{(2 \times L^2) \times V} \dots\dots\dots (\text{lit 3, hal 85})$$

- P = Kekuatan Ulir Penekan (N)
- E = Modulus Young Bahan (N/mm²)
- L = Panjang Ulir Penekan (mm)
- V = Faktor Koreksi Bahan
- I = Inersia

2.10.3 Gaya Untuk Memutar Ulir Penekan

Untuk dapat memutar ulir penekan maka harus diketahui dulu besar gaya tekan yang harus diberikan. Gaya tekan ulir penekan dapat dihitung dengan :

$$F_t = \frac{d_{rt}}{2L} W \tan(\theta - \alpha) \dots\dots\dots(\text{lit 3, hal 81})$$

- F_t = Gaya Tangan (N)
- d_{rt} = Diameter rata - rata (mm)
- L = panjang rata-rata *spring* saat ditekan (mm)
- W = Gaya batang ulir penekan (N)

$$\phi_y = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(\text{lit 3, hal 80})$$

$$P = V \times P$$

$$A = \text{luas Penampang (mm}^2\text{)}$$

$$V = \text{Faktor Koreksi Bahan}$$

$$P = \text{Kekuatan Ulir Penekan}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{D_{pitch}}{\pi D_{rt}} \dots\dots\dots(\text{lit 4, hal 81})$$

$$\delta^2 = \frac{\delta}{\cos \beta} \dots\dots\dots(\text{lit 4, hal 81})$$

$$T = \frac{F D_{rt}}{2} \dots\dots\dots(\text{lit 4, hal 85})$$

α = sudut gesek ulir ($^{\circ}$)

D_{rt} = diameter rata-rata ulir penekan

μ' = koefisien gesek semu

μ = koefisien gesek

T = torsi ulir penekan

2.10.4 Perhitungan Titik Berat Rumahan

Titik berat rumahan berfungsi sebagai titik keseimbangan dari alat bantu ini. Titik berat ini dapat dihitung dengan rumus :

$$X_o = \frac{A \times X_i}{A + X_i} \dots\dots\dots(\text{lit 4, hal 39})$$

X_o = Titik berat (mm)

A = Luas Penampang (mm^2)

X_i = Titik tengah pada sumbu X (mm)

2.10.5 Hukum Kesetimbangan

Kesetimbangan adalah sebuah kondisi di mana resultan semua gaya yang bekerja pada sebuah benda adalah nol. Dengan kata lain, semua benda berada dalam kesetimbangan jika semua gaya dan momen yang dikenakan padanya setimbang. Pernyataan ini dicantumkan dalam persamaan kesetimbangan, yaitu:

$$\Sigma F_x = 0 \quad \Sigma F_y = 0 \quad \Sigma M = 0 \dots\dots\dots(\text{lit 4, hal 19})$$

ΣF_x = Jumlah gaya pada x (N)

ΣF_y = Jumlah gaya pada y (N)

ΣM = Jumlah moment yang berkerja (Nm)

