ANALISIS TEKANAN IDEAL *INTAKE MANIFOLD* DENGAN PARAMETER VIBRASI PADA MOTOR DIESEL TOYOTA 2KD-FTV *COMMON RAIL*

SKRIPSI

Diajukan sebagai Persyaratan untuk Menyelesaikan Program Strata Satu pada Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

Oleh:

Satria Febrizal

14073033/2014

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF

JURUSAN TEKNIK OTOMOTIF

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2017

PERSETUJUAN SKRIPSI

ANALISIS TEKANAN IDEAL INTAKE MANIFOLD DENGAN PARAMETER VIBRASI PADA MOTOR DIESEL TOYOTA 2 KD-FTV COMMON RAIL.

Nama	**: Satria Febrizal**
BP/NIM	**: 2014/14073033**
Prog. Studi	**: Pendidikan Teknik Otomotif**
Jurusan	**: Teknik Otomotif**
Fakultas	**: Teknik**

Padang, Februari 2018

Disetujui oleh:

Pembimbing 1	**Pembimbing 2**
Dr. Hasan Maksum, MT	**Wagino, S.Pd, M.Pd. T**
NIP. 19660817 199103 1 007	**NIP. 19590317 198010 1 001**

Ketua Jurusan

Drs. Martias, M.Pd
NIP. 19640801 199203 1 003

PENGESAHAN SKRIPSI

Dinyatakan Lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Jurusan Teknik Otomotif
Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

Judul	: **Analisis Tekanan Ideal *Intake Manifold* Dengan Parameter Vibrasi Pada Motor Diesel Toyota 2KD-FTV**
Nama	: Satria Febrizal
NIM / TM	: 14073033 / 2014
Jurusan	: Teknik Otomotif
Program Studi	: Pendidikan Teknik Otomotif
Fakultas	: Teknik

Padang, Februari 2018

Tim Penguji

	Nama	**Tanda Tangan**
1. Ketua	: **Dr. Hasan Maksum, MT**	
2. Sekretaris	: **Wagino, S.Pd, M.Pd.T**	
3. Anggota	: **Toto Sugiarto, S.Pd, M.Si**	
4. Anggota	: **Dr. Remon Lapisa, ST, MT, M.Sc**	
5. Anggota	: **Nuzul Hidayat, S.Pd, MT**	

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis saya, tugas akhir berupa skripsi dengan judul "Analisis Tekanan Ideal *Intake Manifold* Dengan Parameter Vibrasi Pada Motor Diesel Toyota 2KD-FTV", adalah hasil karya saya sendiri.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali dari pembimbing.
3. Didalam karya tulis ini, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan pada kepustakaan.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan di dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, Februari 2018
Yang membuat pernyataan

Satria Febrizal
NIM 14073033/2014

ABSTRAK

Satria Febrizal. 2017. Analisis Tekanan Ideal *Intake Manifold* Dengan Parameter Vibrasi Pada Motor Diesel Toyota 2KD-FTV *Common Rail*

Penggunaan turbo sebagai pendongkrak tenaga masih menyisakan satu persoalan: turbo lag. Persoalan tentang turbo lag masih belum bisa teratasi sepenuhnya dan Perkembangan teknologi turbocharger masih belum mampu menaikkan torsi maksimum mesin. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa tekanan ideal intake manifold pada beberapa variasi putaran mesin dan beberapa perlakuan terhadap turbocharger dengan parameter vibrasi serta untuk menganalisa vibrasi terkecil saat terjadi perubahan ke dalam intake manifold agar akslerasi mesin lebih pendek dan suara mesin lebih halus karena vibrasi lebih rendah.

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental untuk mendapatkan tekanan ideal di dalam ruang *intake manifold* pada beberapa variasi putaran dengan menggunakan parameter vibrasi sebagai indikator tekanan ideal intake manifold yang paling ideal. Vibrasi yang paling kecil pada mesin pada putaran yang sama menggambarkan kondisi tekanan dan campuran ruang bakar pada kondisi paling ideal. (Aristo Munandar, 1975). Pengujian ini juga dilakukan variasi motor diesel tanpa menggunakan turbo, dengan turbo dan dengan turbo tambahan. Penelitian ini dilakukan di *workshop* otomotif Jurusan Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah dari penambahan udara masuk pada intake manifold menunjukkan penurunan vibrasi 7-10% dan mengalami rata-rata peningkatan efisiensi volumetris sebesar 26,63% dibandingkan dengan mesin tanpa turbo dan 18,32% jika dibandingkan dengan mesin dengan turbo standar. Hal ini membuktikan pembakaran yang sempurna adalah pada vibrasi yang paling kecil.

Kata kunci: Diesel, kecepatan aliran, tekanan, efisiensi volumetris, vibrasi

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr.wb. Alhamdulillahirobbil'alamin. Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **"**Analisis Tekanan Ideal *Intake Manifold* dengan Parameter Vibrasi Pada Motor Diesel Toyota 2KD-FTV dengan Teknologi *Common Rail*"**"** **y**ang mana merupakan salah satu syarat untuk dapat menyelesaikan Program Studi Strata 1 (S-1) pada Jurusan Teknik Otomotif, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, penulis belumlah tentu dapat menyelesaikannya. Untuk itu ucapan terima kasih penulis haturkan kepada:

1. Bapak Dr. Fahmi Rizal, M.Pd, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang
2. Bapak Drs. Martias, M.Pd, dan Bapak Donny Fernandez, S.Pd, M.Sc, selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
3. Bapak Drs. Hasan Maksum, M.T selaku dosen pembimbing I yang telah membimbing, memberi nasehat dan mengarahkan dalam penulisan proposal ini.
4. Bapak Wagino, S.Pd, M.Pd.T selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan masukan dalam menulis proposal ini.
5. Bapak-Ibuk staf pengajar yang di Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

6. Orang tua yang telah memberikan dorongan dan motivasi kepada peneliti baik secara materil maupun non materil dalam mengikuti perkuliahan sampai menyelesaikan skripsi ini.
7. Seluruh rekan-rekan mahasiswa yang membantu peneliti dalam menyelasaikan skripsi ini.

Semoga bantuan, bimbingan dan petunjuk yang bapak/ibu dan saudara berikan menjadi amal shaleh dan mendapatkan balasan yang berlipat ganda dari Allah SWT, dengan segala kerendahan hati, peneliti mengharapkan saran dan kritikan yang bersifat membangun demi kesempurnaan dimasa mendatang.

Padang, Juli 2017

Penulis

Satria Febrizal

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN i

HALAMAN PENGESAHAN ii

KATA PENGANTAR iii

DAFTAR ISI v

DAFTAR TABEL vi

DAFTAR GAMBAR vii

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah 1

B. Identifikasi Masalah 3

C. Batasan Masalah 4

D. Perumusan Masalah 4

E. Tujuan Penelitian 4

F. Manfaat Penelitian 5

G. Asumsi Penelitian 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori 7

B. Penelitian Yang Relevan 42

C. Kerangka Konseptual 44

D. Pertanyaan Penelitian 45

BAB III METODE PENELITIAN

A. Desain Penelitian 46

B. Defenisi Operasional dan Variabel Penelitian 47

C. Objek Penelitian 48

D. Instrumen Pengumpulan Data 49

E. Teknik dan Alat Pengumpulan Data 49

F. Prosedur Penelitian 52

G. Teknik Analisis Data 53

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian 54

B. Pembahasan 58

C. Keterbatasan Penelitian 67

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan 68

B. Saran 69

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

1. Pola Penelitian..... 47

2. Spesifikasi Toyota 2KD-FTV. 49

3. Tabel Pengukuran tanpa turbo. 50

4. Tabel Pengukuran dengan turbo. 50

5. Tabel Pengukuran dengan turbo tambahan. 50

6. Tabel data hasil pengukuran tanpa turbo. 54

7. Tabel data hasil pengukuran dengan turbo. 54

8. Tabel data hasil pengukuran dengan turbo tambahan 54

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

1. Proses 4 Langkah Mesin Diesel 11
2. Grafik Tekanan *Versus* Sudut Engkol 14
3. Grafik Pembakaran Pada Motor Diesel 16
4. Sistem dan Kostruksi Common Rail 20
5. Turbocharger 23
6. Aliran Gas Turbocharger 25
7. Turbin 28
8. Kompresor 29
9. Manometer Pitot Static Tube 32
10. Efisiensi Volumetrik vs kecepatan udara masuk 36
11. Karakteristik Getaran 38
12. Knock Sensor 41
13. Osiloskop 42
14. Kerangka Konseptual 44
15. Skema Penelitian 51
16. Instalasi Alat 52
17. Grafik perbandingan tekanan intake aktual vs teoritis pada motor tanpa turbo .. 57
18. Grafik perbandingan tekanan intake aktual vs teoritis pada motor dengan turbo 58
19. Grafik Kecepatan Aliran terhadap RPM 59
20. Grafik Tekanan Aliran terhadap RPM 61
21. Grafik perbandingan tekanan intake aktual vs teoritis pada motor dengan turbo tambahan 62
22. Grafik RPM Vs efisiensi volumetris 63
23. Grafik RPM Vs peak to peak vibration 64
24. Grafik Osciloscope motor tanpa turbo pada 750 rpm 65
25. Grafik Osciloscope motor dengan turbo pada 750 rpm 66
26. Grafik Osciloscope motor dengan turbo tambahan pada 750 rpm 66

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Mesin-mesin modern kini kembali memanfaatkan turbocharger untuk meningkatkan performa sekaligus menekan konsumsi dan emisi mobil. Menurut majalah Rally XS (edisi mei 2003) pemakaian turbocharger dapat meningkatkan performa mesin sampai lebih dari 1,5 kali lipat, sehingga kendaraan dapat dipacu sampai titik maksimal. *Turbocharger* adalah suatu komponen yang dipasang pada kendaraan bermotor yang bertujuan untuk meningkatkan daya dari motor dengan melakukan penambahan rapat massa udara yang lebih banyak dibandingkan dengan cara pengisian biasa. *Turbocharger* terdiri dari sebuah turbin dan sebuah kompresor.

Kerugian pembuangan cukup besar, oleh karena itu perlu ada usaha untuk menguranginya. Salah satu cara untuk mengurangi kerugian buangan adalah dengan memasang turbocharger pada saluran buang. Dalam hal ini gas buang dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin gas yang menggerakkan kompressor. Kompressor tersebut memompa udara masuk kedalam silinder sehingga menaikkan tekanan dan jumlah udara yang dimasukkan ke dalam silinder. Dengan demikian, maka jumlah bahan bakar yang dimasukkan kedalam silinder dapat diperbanyak sehingga daya mesin dapat diperbesar. dengan turbocharger tersebut, kira-kira 8 sampai 10% dari jumlah kalor pembakaran bahan bakar dapat diselamatkan (Arismunandar, 1983:32).

Tetapi sampai sekarang penggunaan turbo sebagai pendongkrak tenaga masih menyisakan satu persoalan: turbo lag. Secara umum turbo lag dapat diartikan sebagai kondisi ketika pengemudi menginjak pedal gas secara tiba-tiba dan tenaga yang dihasilkan seketika tak sesuai yang diharapkan. Hal ini disebabkan turbin di dalam perangkat turbo membutuhkan waktu untuk berputar cepat dan menggerakkan kompresor dalam menghasilkan tekanan udara yang cukup untuk dipaksa masuk ke dalam ruang bakar . (Car & Tuning Guide Edisi 15 Maret 2016).

Menurut majalah autobild.co.id (edisi juni 2014) Jeda turbo atau biasa disebut sebagai turbo lag adalah hal yang membuat karakter mesin turbo berbeda dan bisa berpotensi bahaya. Terdapat jeda waktu lebih lama setelah kita menginjak gas sampai tenaga besar mesin benar-benar keluar. Waktu lebih lama ini terjadi karena arus gas buang membutuhkan waktu untuk memutar turbin yang digerakkan hingga mencapai putaran sesuai arus. Setelah gas diinjak arus gas buang meningkat, perlahan turbin mulai berputar namun belum bisa membuat tekanan cukup karena katup buang turbo (blow-off valve) masih terbuka. Ketika putarannya meningkat maka blow-off valve mulai menutup, barulah turbo bisa meningkatkan tekanannya secara gradual. Ini berbeda dengan mesin N/A (Naturally Aspirated) yang langsung memberi efek tenaga. Kurang naturalnya karakter ini kadang membuat pengendara kaget. Ketika gas diinjak terasa seperti tidak ada tenaga, apalagi mesin turbo normalnya memiliki rasio kompresi lebih rendah dari mesin N/A. Namun begitu tekanan terkumpul, mendadak tenaga menjadi sangat besar. Kini

teknologi turbo berkembang. Dari mulai penggunaan turbo ganda sekuensial hingga sudut turbin variabel dibuat untuk meminimalkan lag. Tapi tetap saja karakternya tak bisa senatural mesin N/A.

Pada uraian yang telah dikemukakan di atas, ada upaya yang dilakukan untuk meningkatkan kinerja mesin yang salah satunya adalah dalam penggunaan turbocharger. Penggunaan turbocharger pada motor diesel sudah sangat umum pemakaiannnya. Tapi pemakaian ini banyak menimbulkan permasalahan. Permasalahan ini antara lain :

1. Persoalan tentang turbo lag masih belum bisa teratasi sepenuhnya.
2. Perkembangan teknologi turbocharger dan supercharger masih belum mampu menaikkan torsi maksimum mendekati putaran idle.

Untuk itulah peneliti ingin meneliti untuk mendapatkan tekanan ideal di dalam ruang intake manifold pada beberapa variasi putaran dengan menggunakan parameter vibrasi sebagai indikator tekanan ideal intake manifold yang paling ideal. Vibrasi yang paling kecil pada mesin pada putaran yang sama menggambarkan kondisi tekanan dan campuran ruang bakar pada kondisi paling ideal. (Aristo Munandar, 1975).

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan sebelumnya, dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Masih adanya kasus turbo lag pada mesin-mesin yang menggunakan turbocharger.

2. Penggunaan turbocharger dan supercharger pada motor diesel sudah sangat umum pemakaiannnya. Tapi pemakaian ini masih menimbulkan permasalahan.
3. Sistem aliran udara pada intake manifold menyebabkan udara yang masuk ke dalam silinder lebih kecil dari volume langkah torak.

C. Batasan Masalah

Agar penelitian lebih fokus dan terarah, maka permasalahan yang akan dibahas dibatasi yaitu: Mengetahui berapakah tekanan ideal pada intake manifold dengan menggunakan parameter vibrasi pada mesin Toyota 2KD-FTV.

D. Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan-penjelasan diatas, maka dalam penelitian ini penulis terlebih dahulu merumuskan pokok permasalahannya dengan jelas sebagai arah terhadap penelitian yang dilakukan. Dalam kesempatan ini, penulis hanya membatasi masalah dan menganalisa :

1. Berapakah tekanan ideal (teoritis) intake manifold pada beberapa variasi putaran pada motor diesel Toyota 2KD-FTV?
2. Pada rpm berapakah vibrasi terkecil pada putaran yang sama dengan perlakuan berbeda (mesin tanpa turbo, menggunakan turbo standar dan turbo tambahan) saat terjadi perubahan ke dalam intake manifold?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk menganalisa tekanan ideal intake manifold pada beberapa variasi putaran mesin dan beberapa perlakuan terhadap aliran udara masuk.
2. Untuk menentukan vibrasi terkecil pada putaran yang sama dengan perlakuan berbeda saat terjadi perubahan tekanan ke dalam intake manifold.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat memberikan informasi ilmiah serta menambah wawasan pengetahuan mengenai tekanan ideal intake dalam berbagai putaran dengan parameter vibrasi.
2. Sebagai bahan referensi bagi semua pihak yang berminat untuk melakukan penelitian lebih lanjut tentang tekanan ideal intake manifold secara lebih luas dan mendalam.
3. Sebagai persyaratan untuk menyelesaikan program strata satu pada program studi pendidikan teknik otomotif jurusan teknik otomotif fakultas teknik universitas negeri padang

G. Asumsi Penelitian

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Alat ukur yang dipergunakan adalah alat ukur yang telah di standarkan dan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Kondisi operasi mesin pada waktu pengukuran dianggap telah mewakili kondisi sebenarnya di lapangan.

3. Kondisi temperatur mesin saat pengujian dianggap telah sesuai dengan temperatur kerja operasional mesin yaitu tetap pada 85° C.
4. Prosedur pengujian yang dilaksanakan dalam penelitian adalah prosedur standar dalam rangka mencapai tujuan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Motor Diesel

Motor bakar adalah mesin kalor dimana gas panas diperoleh dari proses pembakaran didalam mesin itu sendiri dan langsung dipakai untuk melakukan kerja mekanis, yaitu menjalankan mesin tersebut (Arismunandar dan Tsuda; 2008; 5).

Menurut Martias (2012:5) motor diesel (diesel engine) merupakan salah satu bentuk motor pembakaran dalam (internal combustion engine) disamping motor bensin dan turbin gas. Mesin diesel atau biasa juga disebut *Compression Ignition engine* adalah suatu mesin motor penyalaan yang mempunyai konsep "penyalaan diakibatkan oleh kompresi atau penekanan campuran antara bahan bakar dan oksigen di dalam suatu mesin motor pada kondisi tertentu. Konsepnya adalah bila suatu bahan bakar dicampur dengan oksigen (dari udara) maka pada suhu dan tekanan tertentu bahan bakar tersebut akan menyala dan menimbulkan tenaga atau panas.

Apabila ditinjau dari cara memperoleh sumber energi termal, jenis mesin kalor dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

a. Mesin pembakaran luar *(external combustion engine)*. Mesin pembakaran luar adalah mesin dimana proses pembakaran terjadi diluar

mesin, energi termal dari hasil pembakaran dipindahkan ke fluida kerja mesin melalui beberapa dinding pemisah. Contohnya adalah mesin uap.

b. Mesin pembakaran dalam *(internal combustion engine).* Mesin pembakaran dalam adalah mesin dimana proses pembakaran berlangsung di dalam mesin itu sendiri, sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja. Mesin pembakaran dalam ini umumnya dikenal dengan sebutan motor bakar. Contoh dari mesin kalor pembakaran dalam ini adalah, motor bakar torak dan turbin gas.

Karakteristik utama dari mesin diesel yang membedakannya dari motor bakar yang lain terletak pada metode penyalaan bahan bakarnya. Dalam mesin diesel bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder yang berisi udara bertekanan tinggi. Selama proses pengkompresian udara dalam silinder mesin, suhu udara meningkat, sehingga ketika bahan bakar yang berbentuk kabut halus bersinggungan dengan udara panas ini, maka bahan bakar akan menyala dengan sendirinya tanpa bantuan alat penyala lain. Karena alasan inilah mesin diesel juga disebut mesin penyalaaan kompresi *(Compression Ignition Engines).*

Motor diesel adalah motor bakar torak yang berbeda dengan motor bensin, proses penyalaannya bukan dengan loncatan api listrik. Pada langkah isap hanya udara saja yang masuk ke dalam silinder. Pada waktu torak hampir mencapai TMA bahan bakar bahan bakar disemprotkan ke

dalam silinder, terjadilah proses pembakaran pada saat udara dalam silinder sudah bertemperatur tinggi. (Arismunandar, 1973:5)

Persyaratan ini dapat dipenuhi apabila digunakan perbandingan kompresi yang cukup tinggi, berkisar antara 12 sampai 25kg/cm^2. Perbandingan kompresi yang rendah pada umumnya digunakan pada motor diesel berukuran besar dengan putaran rendah. Perbandingan kompresi yang tinggi banyak dipakai pada motor diesel ukuran kecil dengan putaran tinggi (± 4000 rpm). Perancang cenderung menggunakan perbandingan kompresi yang serendah-rendahnya berdasarkan pertimbangan kekuatan material serta berat mesinnya. Oleh karena itu, pada umumnya motor diesel bekerja dengan perbandingan kompresi antara 14 dan 17

Disamping itu, klasifikasi motor bakar berdasarkan siklus langkah kerjanya dibedakan atas dua jenis, yaitu:

a. Motor dua langkah (2 tak). Pengertian dari motor dua langkah adalah motor yang pada dua langkah piston (satu putaran engkol) sempurna akan menghasilkan satu tenaga kerja (satu langkah kerja).
b. Motor empat langkah (4 tak). Pengertian dari motor empat langkah adalah motor yang pada setiap empat langkah piston (dua putaran sudut engkol) sempurna menghasilkan satu tenaga kerja (satu langkah kerja).

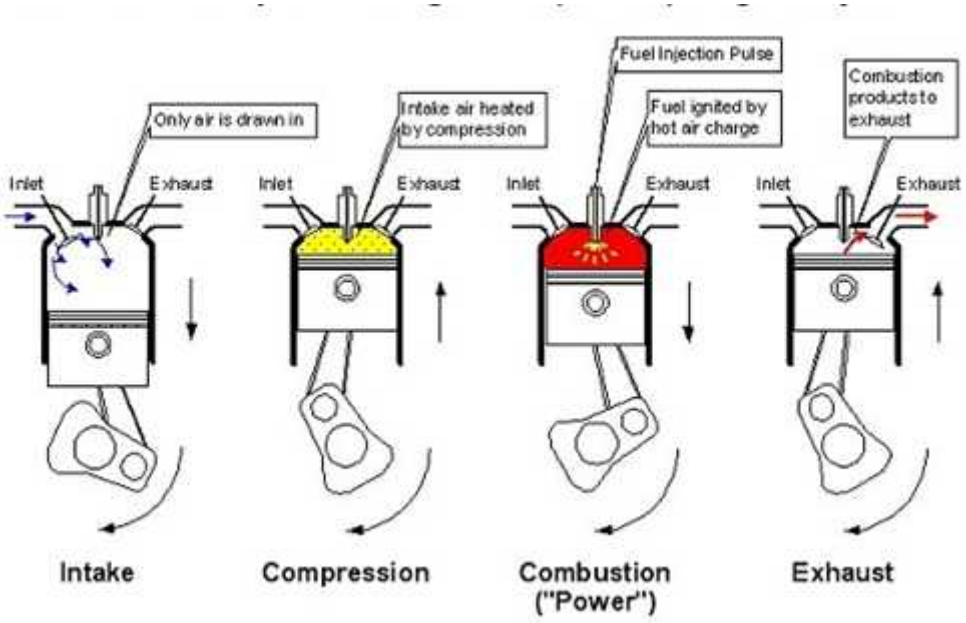
Dari beberapa pendapat di atas dapat disimpulkan bahwa motor diesel adalah jenis khusus dari mesin pembakaran dalam yang konsep penyalaannnya diakibatkan oleh kompresi atau penekanan campuran antara bahan bakar dan oksigen di dalam suatu mesin motor pada kondisi tertentu sehingga menghasilkan tenaga untuk menjalankan mesin tersebut.

a. Prinsip Kerja Motor Diesel 4 Langkah

Menurut Martias (2012:8), prinsip kerja mesin diesel 4 langkah adalah proses kerja mesin untuk menghasilkan 1 (satu) kali proses pembakaran (kerja/usaha) dengan 4 (empat) kali langkah (stroke) piston, 1 satu kali putaran poros engkol (crankshaft) dan 2 (dua) kali putaran poros bubungan (cam shaft).

Gerakan piston didalam silinder dinamakan langkah piston (stroke), puncak pergerakan tertinggi dinamakan titik mati atas (TMA) dan pergerakan terendah dinamakan titik mati bawah (TMB). Gerakan piston diperoleh dari tekanan proses pembakaran yang terjadi diatas piston kemudian mendorong piston ke TMB sehingga menghasilkan kerja atau usaha, kemudian piston yang mempunyai gerakan lurus (translasi) dirubah menjadi gerakan putar (rotasi) dengan menggunakan poros engkol.

Langkah piston bermula dari langkah isap kemudian langkah kompresi, langkah kerja (usaha) dan berakhir dengan langkah buang. Kemudian langkah tersebut berulang kembali pada langkah isap dan seterusnya, peristiwa yang berulang ini disebut siklus.



Gambar 1. Proses 4 Langkah Mesin Diesel

(Sumber : Berrienacademy.pbworks.com)

Mesin empat langkah berarti empat kali piston turun naik atau dua kali putaran poros engkol menghasilkan satu kali langkah usaha. Mesin empat langkah selalu dilengkapi dua katup yaitu katup buang dan katup hisap. Jumlah katup buang dan katup hisap bervariasi, tergantung aplikasi mesin. Jika sering ditemui katup hisap jumlahnya lebih besar atau lebih banyak dari katup buang, hal itu bertujuan untuk mendapatkan jumlah udara lebih banyak yang dibutuhkan pada saat pembakaran pada setiap kecepatan. (Hasan, 2012: 30)

Keempat langkah tersebut adalah:

1) Langkah Hisap

Pada saat langkah hisap terjadi, piston bergerak darit titik mati atas (TMA) menuju ke titik mati bawah (TMB) serta diiringi dengan katup hisap terbuka dan katup buang tertutup, udara mengalir dari saringan udara melalui *intake manifold* menuju ke dalam ruang bakar. Pada mesin diesel yang masuk melalui *intake manifold* hanya udara saja, karena bahan bakar akan disemprotkan kedalam ruang bakar beberapa derajat sebelum proses kompresi terjadi.

2) Langkah Kompresi

Pada saat langkah kompresi piston bergerak dari TMB ke TMA, katup buang dan kaup hisap tertutup, berkisar antara 11-15° sebelum piston mencapai TMA, injektor menyemprotkan bahan bakar di dalam ruang bakar dalam waktu beberapa detik. udara dan bahan bakar tercampur dan terbakar oleh tekanan piston saat mencapai TMA, tetapi pembakaran tidak hanya terjadi pada beberapa derajat sebelum TMA melainkan 9-13° setelah TMA pembakaran baru berakhir.

3) Langkah Usaha

Langkah pembakaran yang menyebabkan terjadinya usaha pada motor bakar terjadi pada saat piston bergerak dari TMB ke TMA. Pada saat itu, kondisi katup buang tertutup, gerakan piston menyebabkan oksigen pada ruang bakar tertekan dan 11° sebelum TMA injektor menyemprotkan bahan bakar ke dalam ruang bakar, sehingga campuran bahan bakar dan oksigen terbakar karena tekanan dari piston. Hasil pembakaran menyebabkan ledakan yang

mengakibatkan piston bergerak dari TMA ke TMB. Gerakan piston dari akibat pembakaran tersebut disebut langkah usaha.

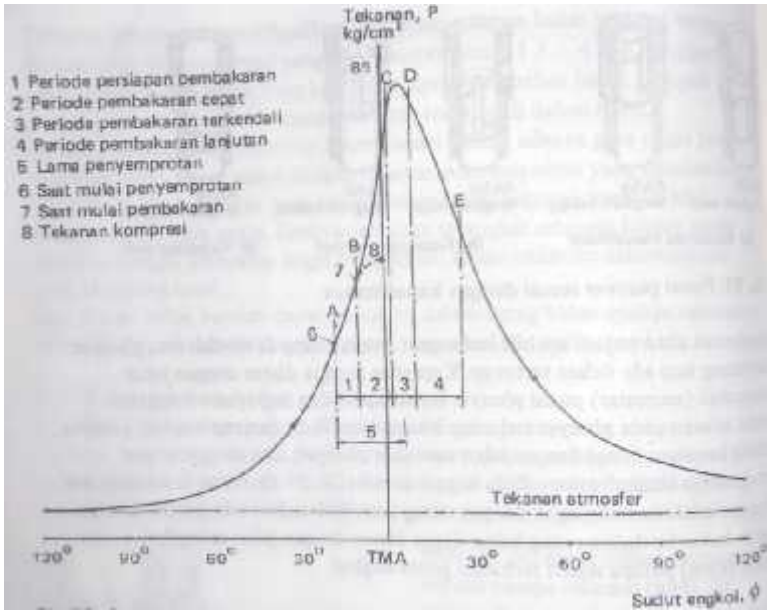
4) Langkah Buang

Piston bergerak dari TMB ke TMA, pada saat pergerakannya katup buang terbuka dan katup masuk tertutup. Tetapi 10° piston mencapai TMA katup masuk mulai terbuka sementara katup buang juga terbuka. terbukanya katup masuk pada saat langkah buang bertujuan untuk melakukan pembilasan. Pada langkah bilas, udara bersih masuk dari saluran masuk melalui katup masuk ke dalam ruang bakar yang akan mendorong sisa-sisa pembakaran keluar ke knalpot melalui katup buang.

Berdasarkan pendapat di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa prinsip kerja mesin diesel 4 langkah adalah proses kerja mesin untuk menghasilkan 1 kali proses pembakaran dengan 4 kali langkah piston, 1 satu kali putaran poros engkol dan 2 kali putaran poros *cam*. Keempat langkah tersebut adalah langkah hisap, kompresi, usaha dan buang. Pada mesin diesel yang masuk melalui *intake manifold* hanya udara saja, karena bahan bakar akan disemprotkan kedalam ruang bakar beberapa derajat sebelum proses kompresi terjadi.

b. Proses Pembakaran pada Motor Diesel

Proses pembakaran adalah suatu reaksi kimia cepat antara bahan bakar (hidrokarbon) dengan oksigen dari udara. Proses pembakaran ini tidak terjadi sekaligus tetapi memerlukan waktu dan terjadi dalam beberapa tahap. Disamping itu penyemprotan bahan bakar juga tidak dapat dilaksanakan sekaligus tetapi berlangsung antara 30-40° sudut engkol. Beberapa derajat sebelum torak mencapai TMA bahan bakar mulai disemprotkan. Bahan bakar akan segera menguap dan bercampur dengan udara yang sudah bertemperatur tinggi.



Gambar 2. Grafik tekanan *versus* sudut engkol

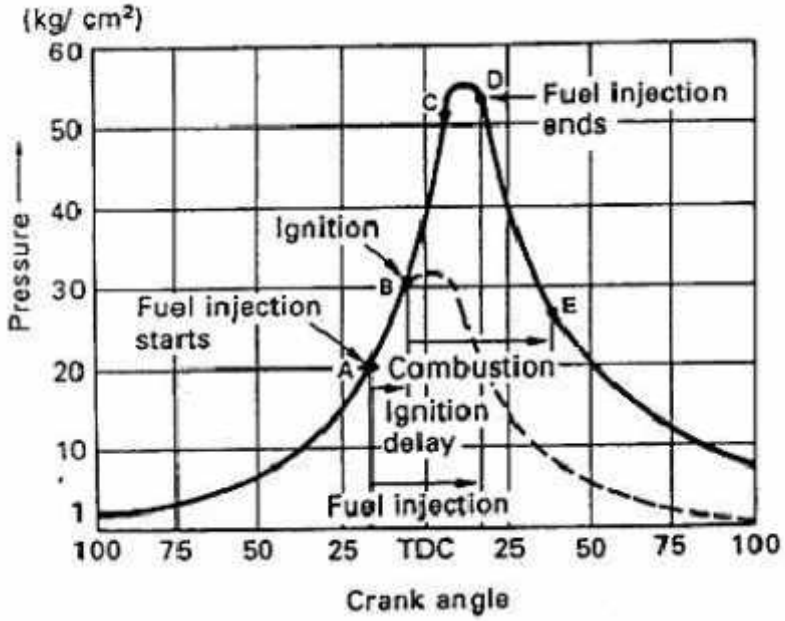
(Sumber: Arismunandar 1973: 96)

Pada gambar diatas dapat dilihat tekanan udara akan naik selama langkah kompresi berlangsung. beberapa derajat sebelum torak mencapai TMA,

bahan bakar mulai disemprotkan. Bahan bakar akan segera menguap dan bercampur dengan udara yang sudah bertemperatur tinggi. Oleh karena temperaturnya sudah melebihi temperatur penyalaan bahan bakar, bahan bakar akan terbakar sendiri dengan cepat. Waktu yang diperlukan antara saat bahan bakar mulai disemprotkan dengan saat mulai terjadinya pembakaran dinamai *periode persiapan pembakaran (1)* (Gambar.2). Sesudah melampaui periode persiapan pembakaran, bahan bakar akan terbakar dengan cepat. hal tersebut dapat dilihat pada gambar 2 sebagai garis lurus yang menanjak, karena proses pembakaran tersebut terjadi dalam suatu proses pengecilan volume (selama itu torak masih bergerak menuju TMA). Sampai torak bergerak kembali beberapa derajat sudut engkol sesudah TMA, tekanannya masih bertambah besar tetapi laju kenaikan tekanannya berkurang. Hal ini disebabkan karena kenaikan tekanan yang seharusnya terjadi dikompensasi oleh bertambah besarnya volume ruang bakar sebagai akibat bergeraknya torak dari TMA ke TMB. Periode pembakaran, terjadi ketika kenaikan tekanan yang berlangsung dengan cepat (garis tekanan yang curam dan lurus, garis BC pada gambar 2) dinamai *periode pembakaran cepat (2)*. Periode pembakaran ketika masih terjadi kenaikan tekanan sampai melewati tekanan yang maksimum dalam tahap berikutnya (garis CD, gambar 2), dinamai *periode pembakaran terkendali (3)*. Dalam hal terakhir ini jumlah bahan bakar yang masuk ke dalam silinder sudah mulai berkurang, bahkan mungkin yang sudah dihentikan. Selanjutnya dalam

periode pembakaran lanjutan (4) terjadi proses penyempurnaan pembakaran dan pembakaran dari bahan bakar yang belum sempat terbakar.

Proses pembakaran yang terjadi pada motor diesel diperlihatkan dalam hubungan tekanan dan waktu dalam grafik dibawah ini dan dapat dibagi kedalam empat fase (Training Manual Toyota,2000)



Gambar 3. Grafik pembakaran pada motor diesel

(Sumber: Hasan 2012: 32)

1) Fase pertama

Fase ini merupakan saat penundaan pembakaran (*ignition delay*) pada garis A-B. pada saat ini, adalah persiapan pembakaran, dimana partikel-partikel yang sempurna dari bahan bakar yang dinjeksikan bercampur dengan udara dalam silinder untuk dibentuk

menjadi campuran yang mudah terbakar. Peningkatan secara konstan terjadi sesuai dengan pergerakan sudut engkol.

2) Fase kedua

Fase ini adalah saat perambatan api (*flame propagation*), garis B-C. Dengan berakhirnya fase pertama campuran yang mudah terbakar telah dibentuk dalam bermacam-macam bagian dalam silinder, dengan awal pembakaran terjadi di beberapa tempat. Api ini akan merambat pada kecepatan yang sangat tinggi sehingga campuran terbakar secara *explosive* (letupan) dan menyebabkan penaikan tekanan yang tinggi begitu cepat. Saat ini disebut fase pembakaran *explosive*. Naiknya tekanan dalam fase ini merupakan persiapan untuk membentuk banyaknya campuran yang mudah terbakar dalam fase ketiga.

3) Fase ketiga

Pada fase ini merupakan saat pembakaran langsung (*direct combustion*) yang terjadi pada garis C-D. Pembakaran langsung dari bahan bakar yang sedang diinjeksikan dalam suatu tempat pada fase ini sesuai dengan terbakarnya bahan bakar dengan adanya api dalam silinder. Pembakaran dapat dikontrol oleh jumlah bahan bakar yang diinjeksikan dalam fase ini, dan ini disebut sebagai pengontrolan periode pembakaran.

4) Fase keempat

Fase ini merupakan fase pembakaran lanjut (*after burning*) yang berlangsung pada garis D-E. Akhir dari proses pembakaran terjadi pada

titik D, tetapi sebagian bahan bakar masih ada dalam ruang bakar untuk dibakar kembali. Apabila fase ini terlalu panjang, maka suhu gas buang akan naik yang disebabkan oleh menurunnya efisiensi.

Apabila fase-fase pembakaran ini dilalui dengan baik, maka inilah yang disebut dengan pembakaran sempurna. Apabila pembakaran tertunda (*ignition delay*) terlalu lama (>0,001 detik) atau terlalu banyak bahan bakar yang diinjeksikan selama periode ini, maka akan terjadi kelebihan campuran yang sedang terbakar, hal ini akan mengakibatkan terlalu cepat naiknya tekanan dalam silinder sehingga akan menimbulkan getaran dan bunyi. Hal ini disebut dengan detonasi (pembakaran tidak sempurna). Untuk menghindari agar tidak terjadi detonasi, maka perlu dilakukan hal-hal berikut ini: (1) Penggunaan bahan bakar dengan *cetana number* yang tinggi (2) Menaikkan temperatur udara dan tekanannya saat mulai injeksi (3) Mengurangi volume injeksi saat mulai menginjeksikan bahan bakar (4) Menaikkan temperatur ruang bakar (pada ruang dimana bahan bakar diinjeksikan) dan (5) Memperpendek saat pembakaran tertunda (*ignition delay*) (Hariadi, 2005).

Berdasarkan beberapa pendapat di atas dapat disimpulkan bahwa proses pembakaran terjadi dalam beberapa tahap atau fase yaitu fase penundaan pembakaran *(ignition delay*), perambatan api (*flame propagation*), pembakaran langsung (*direct combustion*) dan pembakaran lanjut (*after burning*).

2. Common Rail

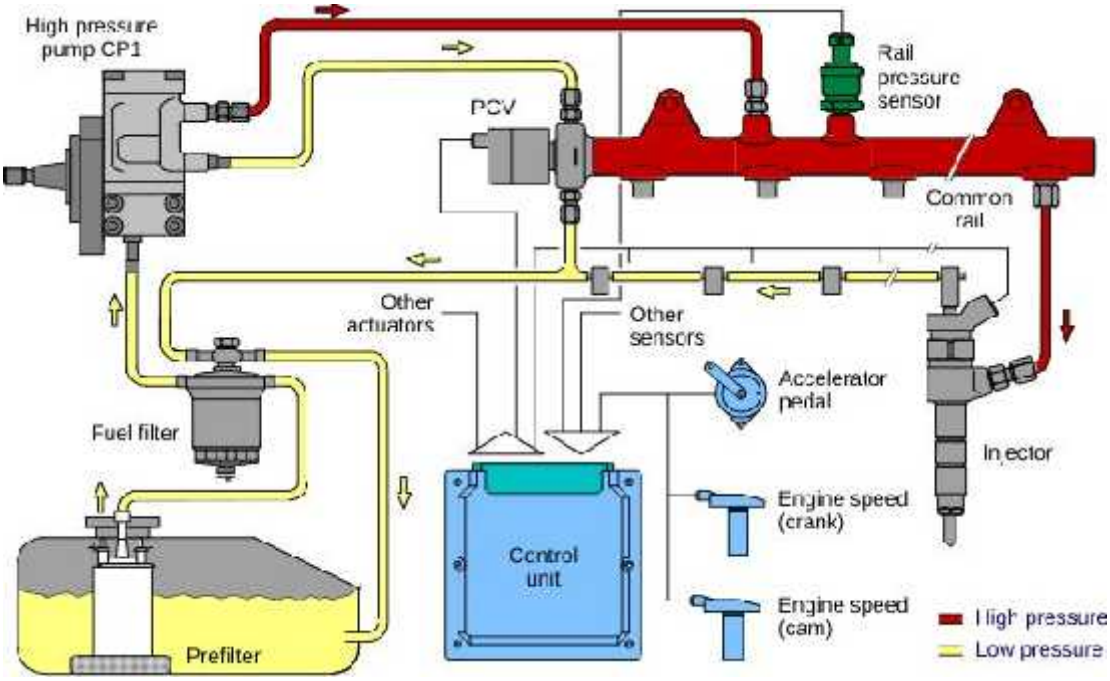
Common rail adalah sebuah sistem injeksi pada diesel engine, dimana metoda spray bahan bakar pada nozzle injektor tidak menggunakan plunger yang digerakkan oleh cam, tetapi menggunakan electronic control valve yang mengatur pembukaan ruang tekan (rail room) sehingga menghubungkan ke nozzle tip yang memulai spray-fuel. (Martias 2012:128)

Sistem bahan bakar motor diesel jenis common rail atau CRS (common rail system) pengaturan jumlah bahan bakar yang akan dinnjeksikan oleh injektor sesuai dengan kecepatan dan beban mesin yang diatur oleh peralatan elektronik, begitu juga untuk pengturan waktu penginjeksian (injection timing), tekanan penginjeksian bahan bakar, dan pendistribusian penginjeksian bahan bakar.

Menurut Hasan, dkk (2012:106) *common rail fuel system* untuk mesin diesel adalah sebuah metode penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang bakar dengan menggunakan tekanan tinggi. Tekanan tinggi pada sistem bertujuan untuk mendapatkan pengabutan bahan bakar dan dapat bercampur dengan udara hingga *homogen* sebelum proses pembakaran. Campuran bahan bakar dan udara dalam ruang bakar sangat mempengaruhi kesempurnaan pembakaran yang berdampak pada optimalnya performa dan rendahnya emisi gas buang *engine*.

Pada pompa injeksi konvensional sangat sulit menaikkan tekanan injeksi pada rpm mesin rendah, karena tekanan injeksi sesuai dengan putaran

mesin, oleh sebab itu injection pump konvensional menggunakan fuel injection nozzle dengan lubang nozzle yang kecil. Pada system common rail dapat mengontrol tekanan penginjeksian secara flexible dengan mengabaikan putaran mesin, dan secara nyata menghasilkan gas buang yang bersih.



Gambar 4. Sistem dan Kostruksi Common Rail

(Sumber: www.dieselnet.com)

a. Pompa bahan bakar (pump supply)

Pump supply berfungsi untuk menaikkan tekanan bahan bakar hingga 120 Mpa, kemudian dikirim ke common rail (reservoir kecil). Pada pump supply terdapat control valve untuk mengatur tekanan pompa yang dikontrol oleh ECU.

b. Common rail

Common rail adalah sebuah reservoir kecil yang berfungsi untuk mempertahankan tekanan bahan bakar dan dikontrol dengan common rail pressure sensor dan regulator sebelum dikirimkan kemasing-masing injector secara bersamaan.

c. Electronic Control Unit (ECU)

ECU berfungsi untuk mendeteksi putaran mesin dan menerima sinyal dari sensor-sensor kemudian mengirimkan sinyal ke injektor untuk mengontrol jumlah bahan bakar yang diinjeksikan, dan saat penginjeksian bahan bakar (timing injection) untuk mendapatkan penginjeksian yang optimal.

d. Injectors

Injektor berfungsi untuk menginjeksikan bahan bakar sebagai respon perintah dari ECU secara optimum juga mengatur penginjeksian bahan bakar setiap saat. Pada injeksi pump konvensional tekanan penginjeksian bervariasi sesuai dengan putaran mesin.

Keunggulan Common rail;

1) Performa mesin optimal
2) Hemat bahan bakar
3) Suara dan getaran rendah
4) Ramah lingkungan

Berdasarkan pendapat di atas dapat disimpulkan bahwa common rail adalah sistem penginjeksian bertekanan tinggi yang dikontrol secara elektronik untuk mengatur dan membuat tekanan penginjeksian didalam ruang bakar lebih tinggi dari penginjeksian secara konvensional agar pembakaran lebih sempurna untuk mendapatkan performa engine yang optimal serta rendahnya emisi gas buang.

3. Turbocharger

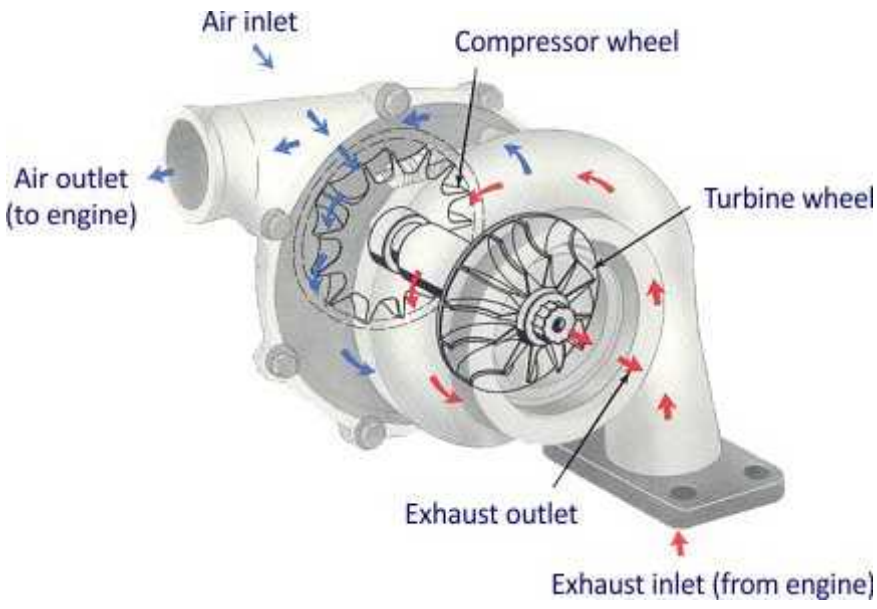
Turbocharger adalah suatu komponen yang dipasang pada kendaraan bermotor yang bertujuan untuk meningkatkan daya dari motor dengan melakukan penambahan rapat massa udara yang lebih banyak dibandingkan dengan cara pengisian biasa. *Turbocharger* terdiri dari sebuah turbin dan sebuah kompresor (Philip Kristanto, W 2001: 12).

Menurut majalah Rally XS (edisi mei 2003) pemakaian turbocharger dapat meningkatkan performa mesin sampai lebih dari 1,5 kali lipat. Kendaraan dapat dipacu sampai titik maksimal.

Turbocharger berguna untuk meningkatkan efisiensi volumetrik udara yang masuk ke dalam silinder. Hal ini dilakukan dengan cara memompakan udara untuk masuk ke dalam intake manifold menggunakan impeller/compressor rotor (1) dengan memanfaatkan aliran gas buang (exhaust gas) yang memutar turbine rotor (2) (Martias, 2012: 197).

Piranti ini pertama kali dikembangkan oleh Dr Albert J. Buchi di Swiss pada 1909-1912 di mesin diesel turbocharger. Tetapi saat itu tidak didukung oleh kalangan otomotif di lingkungannya. Kemudian pada era 1930-an, turbocharger mengalami perkembangan yang cukup signifikan. General Electric (GE) mulai mengmbangkan turbocharger pada perlengkapan militer yang di produksinya. Dari situ, GE juga mulai mengembangkan aircooler (sekarang dikenal dengan nama intercooler).

Setelah hampir 50 tahun turbocharger didesain untuk mesin dengan kapasitas besar, akhir 1950, Cliff Garret mulai mengembangkan turbocharger yang dapat digunakan pada mesin-mesin berkapasitas kecil, seperti mesin kendaraan penumpang.



Gambar 5. Turbocharger

(Sumber: www.dieselnet.com)

Dari beberapa pendapat di atas dapat disimpulkan bahwa turbocharger adalah sebuah alat yang mampu mengubah sisa pembakaran atau gas buang menjadi energi dalam bentuk lain secara efisien dan potensial untuk meningkatkan efisiensi volumetrik udara serta meningkatkan daya atau performa mesin.

a. Motor Bakar Dengan Turbocharger

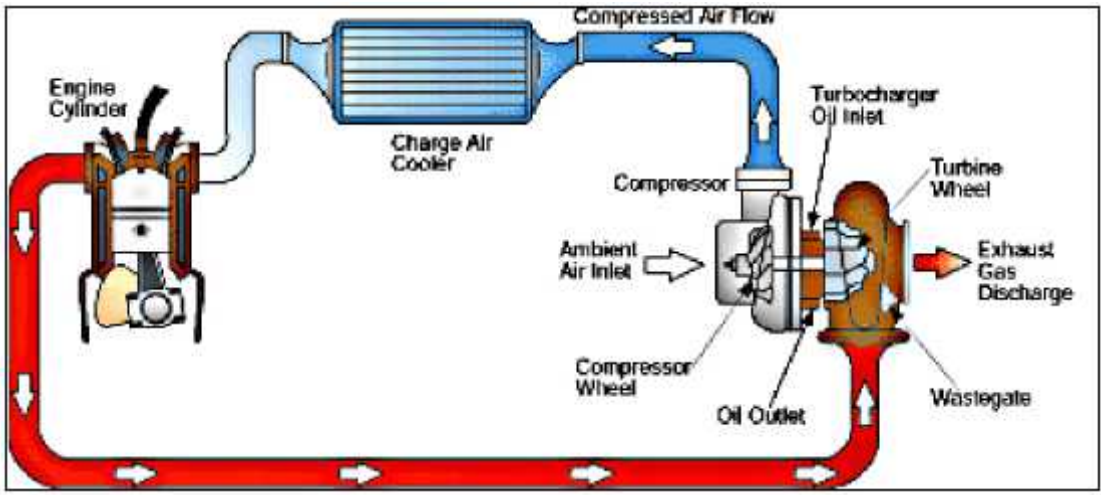
Sebuah motor 4 langkah dikatakan turbocharger apabila tekanan isapnya lebih tinggi daripada tekanan atmosfer sekitarnya. Hal ini diperoleh dengan jalan memaksa udara atmosfer masuk ke dalam silinder selama langkah isap, dengan pompa udara yang disebut turbocharger.

Turbocharger memanfaatkan sisa energi dalam gas buang untuk menggerakkan kompresor sehingga lebih efektif menaikkan *mean effective pressure* (mep).

Tekanan efektif rata-rata (mep) mesin diesel menggunakan turbocharger mencapai sekitar 160 - 230 psi dengan penambahan daya sekitar 75% - 100 % dibandingkan mesin diesel tanpa turbocharger. Untuk mencapai daya output optimum maka efisiensi volumetris dan laju pembilasan gas bekas harus ditingkatkan. Untuk mencapai keadaan ini maka rasionkompresi harus dikurangi sedikit dan perubahan katup overlap.

Secara keseluruhan, semua turbocharger memiliki tiga sistem dasar yaitu turbin, kompressor dan assembling bantalan. Perbedan-perbedaan yang ada adalah pada variasi peningkatan tekanan dan debit

udara yang dimasukkan dalam ruang silinder. Rumah turbin, desain roda turbin dan konstruksi yang berbentuk volute ataupun nozzle sangat menentukan kecepatan aliran gas yang akan menggerakkan poros kompressor. Ketika mesin mulai digerakkan maka gas buang akan memasuki rumah turbin yang berbentuk volute dengan variasi ruang yang semakin kecil dengan kecepatan yang sangat tinggi. Kecepatan gas yang sangat tinggi ini akan digunakan untuk memutar turbin, yang kemudian keluar melalui pipa buang ke atmosfir.



Gambar 6. Aliran gas Turbocharger

(Sumber: Bahan ajar S1 PTM UNES 2009)

Akibat perputaran turbin maka kompresor juga akan ikut berputar dan menyebabkan terjadinya tekanan vakum pada sisi hisap kompresor. Akibatnya tekanan atmosfer akan memaksa udara ke dalam saluran hisap

kompresor pada kecepatan relatif tinggi. Udara ini kemudian memasuki diffuser dan mengalami penekanan lagi pada rumah kompresor dan dikeluarkan melalui sisi tekan ke ruang silinder.

Ada dua cara pengoperasian turbocharger yaitu:

1) Turbocharger dua tingkat

Jenis ini digunakan untuk meningkatkan batas torsi mesin dan tekanan efektif rata-rata (mep). Beberapa jenis mesin V dan inline menggunakan dua atau empat turbocharger dan aftercooler (masing-masing satu untuk pipa manifold buang).

Cara kerja:

Udara mengalir dari saringan udara ke rumah kompressor tingkat pertama (low pressure turbocharger), kemudian keluar dari kompressor tingkat pertama dan masuk kompressor tingkat kedua. Setelah udara ditekan pada kompressor tingkat dua maka udara keluar melewati aftercooler menuju pipa hisap silinder. Pada keadaan ini temperatur udara dikurangi sampai 223°F (1060° C) dan tekanan berkisar 204,5 kpa.

Gas buang hasil pembakaran memasuki pipa manifold tipe pulsa yang kemudian memasuki rumah turbin tingkat dua. Gas buang kemudian meninggalkan turbin tingkat dua dan memasuki turbin tingkat pertama yang akan menggerakkan roda turbin dengan sisa-sisa energi yang terkandung dalam gas buang. Kemudian gas ini dibuang

melalui pipa saluran buang ke atmosfer. Dengan metode ini diperkirakan diperoleh daya tambahan sebesar 75 HP dan torsinya meningkat sampai putaran 700 rpm.

2) Turbocharger majemuk

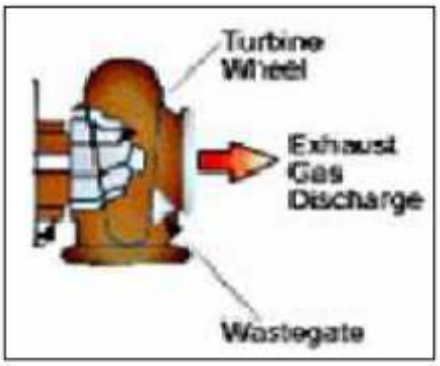
Berdasarkan uji coba eksperimental, maka dengan metode ini efisiensi total mesin diesel dapat mencapai 46,5%. Sistem yang mencakup roda turbin dan porosnya dihubungkan ke sebuah kopling fluida. Kemudian turbin ini dihubungkan dengan roda gigi reduksi dan poros outputnya dihubungkan dengan crankshaft.

Cara kerja:

Gas buang menggerakkan roda turbin yang selanjutnya akan menggerakkan kopling fluida yang akan menyebabkan turbin ikut berputar. Perputaran turbin akan menggerakkan roda gigi reduksi yang akan membantu pergerakan crankshaft. Gas buang yang meninggalkan rumah turbin diarahkan ke turbocharger yang akan menggerakkan turbin dan kompressor didalamnya. Akibat pergerakan kompressor maka udara atmosfer akan ditarik ke dalam kompressor dan ditekan melalui aftercooler masuk ke dalam ruang silinder sehingga suhunya senantiasa konstan.

Komponen-komponen turbocharger

a) Turbin



Gambar 7. Turbin

(Sumber: Bahan ajar S1 PTM UNES 2009)

Roda turbin yang memulai proses keseluruhan kompresi udara ke silinder, turbin turbocharger dapat dibuat dari aluminium atau keramik, dewasa ini penggunaan keramik lebih diutamakan karena ringan dan tahan panas, semakin ringan turbin akan menghasilkan putaran yang lebih cepat dan mencegah turbo lag.

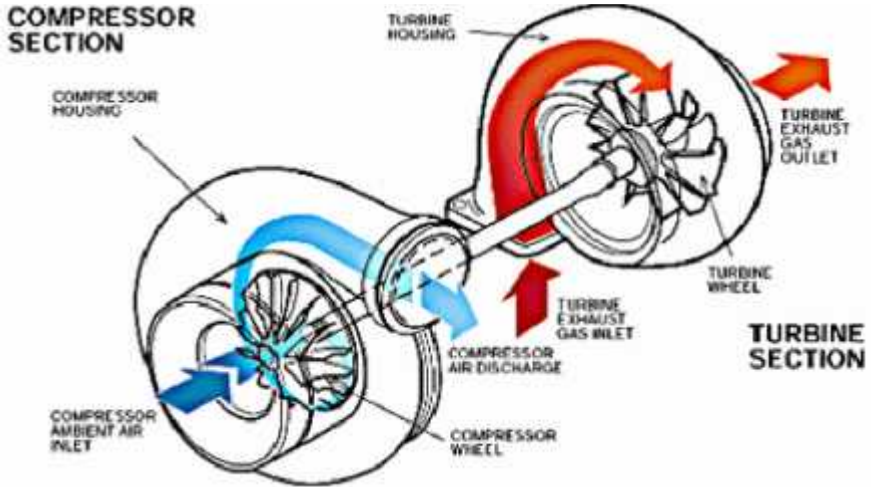
Turbo lag adalah jeda saat mesin tidak merespon tekanan udara yang dihasilkan turbocharger, biasanya terjadi saat mesin masih pada putaran rendah.

Roda turbin dapat berputar antara 80.000 – 150.000 rpm, untuk itu diperlukan pelumasan yang sangat baik untuk mencegah kerusakan pada turbin. Turbin dihubungkan dengan batang turbin (turbine shaft). Bantalan dan sambungan yang sesuai antara turbin dan batang turbin

sangat dibutuhkan karena mereka bekerja pada putaran yang sangat tinggi.

b) Kompressor

Saat kompressor berputar, menghisap udara sekitar ke dalam air inlet yang letaknya berlawanan dengan turbin untuk mendapatkan udara dingin. Kompressor meningkatkan tekanan udara 6 – 8 psi. Pada tekanan permukaan laut, kepadatan udara 14,7 psi. sehingga kompressor dapat meningkat hingga 50%.



Gambar 8. Kompresor

(Sumber: Bahan ajar S1 PTM UNES 2009)

4. Tekanan Ideal

Tekanan dalam fluida dapat didefenisikan sebagai gaya yang bekerja per satuan luas atau: P = F/A. (Andrew, 2003:11).

Hal ini sejalan dengan pendapat Asnal Effendy (2012:12.1) yang mengatakan bahwa “Besar tekanan didefinisikan sebagai gaya tiap satuan luas”.

Apabila suatu zat (padat, cair, dan gas) menerima gaya yang bekerja secara tegak lurus terhadap luas permukaan zat tersebut, maka dapat dirumuskan : $P = \frac{F}{A}$

dimana;

P = tekanan (N/m2)

F = gaya (N)

A = luas penampang (m2)

Sedangkan Ideal menurut kamus besar bahasa indonesia adalah sangat sesuai dengan yang dicita-citakan atau diangan-angankan atau dikehendaki.

Satuan SI (Satuan Internasional) untuk tekanan adalah Pa (Pascal) turunan dari Newton/m2. Dalam teknik memang lebih banyak digunakan satuan tekanan lain seperti psi (*pound per square inch*), bar, atm, kgf/m2 atau dalam ketinggian kolom zat cair seperti cmHg.

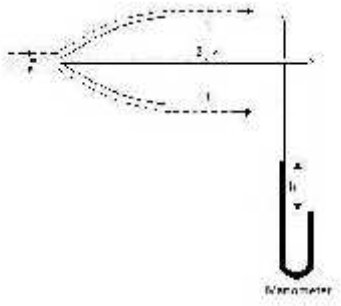
Alat ukur tekanan dan beberapa jenis alat lainnya telah diciptakan untuk mengukur tekanan, diantaranya yang paling sederhana adalah manometer tabung terbuka, seperti diperlihatkan pada gambar 9. Manometer tersebut digunakan untuk mengukur tekanan tera yang terdiri dari sebuah

tabung yang berbentuk U yang berisi cairan, umumnya mercury (air raksa) atau air.

Berdasarkan pendapat diatas dapat kita ambil kesimpulan bahwa tekanan adalah besarnya gaya (*F*) yang bekerja pada setiap satuan luas bidang yang dikenainya (*A*).

a. Manometer U atau Tabung Pitot

Tabung Pitot adalah alat ukur yang kita gunakan untuk mengukur kelajuan gas / udara. Perhatikan gambar di bawah. Lubang pada titik 1 sejajar dengan aliran udara. Posisi kedua lubang ini dibuat cukup jauh dari ujung tabung pitot, sehingga laju dan tekanan udara di luar lubang sama seperti laju dan tekanan udara yang mengalir bebas. Dalam hal ini, v1 = laju aliran udara yang mengalir bebas (ini yang akan kita ukur), dan tekanan pada kaki kiri manometer (pipa bagian kiri) = tekanan udara yang mengalir bebas (P1).



Gambar 9. Manometer *pitot static tube*

(Sumber: fisikazone.com)

Lubang yang menuju ke kaki kanan manometer, tegak lurus dengan aliran udara. Karenanya, laju aliran udara yang lewat di lubang ini

(bagian tengah) berkurang dan udara berhenti ketika tiba di titik 2. Dalam hal ini, v2 = 0. Tekanan pada kaki kanan manometer sama dengan tekanan udara di titik 2 (P2). Ketinggian titik 1 dan titik 2 hampir sama (perbedaannya tidak terlalu besar) sehingga bisa diabaikan. Tabung pitot juga dirancang menggunakan prinsip efek venturi. Mirip seperti venturi meter, bedanya tabung pitot ini dipakai untuk mengukur laju gas atau udara. Karenanya, kita tetap menggunakan persamaan efek venturi.

Berikut adalah persamaannya :

$$P_1 + \tfrac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \tfrac{1}{2}\rho v_2^2 \rightarrow v_2 = 0$$

$$P_1 + \tfrac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2$$

$$P_2 - P_1 = \tfrac{1}{2}\rho v_1^2 \text{ ------- Persamaan 1}$$

ρ = massa jenis udara

Perbedaan tekanan (P2-P1) = tekanan hidrostatis zat cair dalam manometer (warna hitam dalam manometer adalah zat cair, air raksa misalnya). secara matematis bisa ditulis sebagai berikut:

$$P_2 - P_1 = \rho' g h \text{ ------- Persamaan 2}$$

ρ' = massa jenis zat cair dalam manometer

Perhatikan persamaan 1 dan persamaan 2. Ruas kirinya sama (P2-P1). Karena persamaan 1 dan 2 bisa diubah menjadi seperti ini:

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 = \rho' gh$$

$$\rho v_1^2 = 2\rho' gh$$

$$v_1^2 = \frac{2\rho' gh}{\rho}$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2\rho' gh}{\rho}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2\rho' gh}{\rho}}$$

Ini adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung laju aliran udara menggunakan tabung pitot.

b. Efisiensi Volumetrik

Daya poros diperoleh melalui melalui perubahan energi kimia atau nilai kalor bahan bakar. Makin banyak bahan bakar yang dapat dibakar, makin besar daya yang dapat dihasilkan. Hal itu dapat terjadi jika tersedia udara secukupnya; biasanya dengan faktor kelebihan udara lebih besar dari pada batas asap. Maka hal itupun berarti bahwa daya mesin dibatasi oleh kemampuan mesin tersebut mengisap udara yang diperlukan untuk pembakaran.

Jika sebuah mesin empat langkah dapat mengisap udara pada kondisi isapnya sebanyak volume langkah toraknya untuk setiap langkah isap, maka hal itu merupakan sesuatu yang ideal. Namun hal tersebut tidak terjadi dalam keadaan sebenarnya. Perbandingan antara jumlah udara yang terisap yang sebenarnya terhadap jumlah udara yang terisap

dalam keadaan ideal dinamai “efisiensi volumetrik”, η_v, yang didefenisikan dalam persamaan berikut ini.

$$\eta\upsilon = \frac{\text{berat udara segar terisap pada (p, T)}}{\text{berat udara segar sebanyak volume langkah torak pada (p, T)}}$$

Besarnya efisiensi volumetrik tergantung pada kondisi isap (p, T) yang ditetapkan. Misalnya, jika dipakai saringan udara pada saluran masuk, η_v yang diperoleh dengan menetapkan (p, T) sesudah saringan adalah lebih besar dari pada η_v dengan menetapkan (p, T) sebelum saringan. Hal itu disebabkan karena hambatan saringan akan menyebabkan (p, T) sesudah saringan menjadi lebih rendah dari pada (p, T) sebelum saringan; jadi makin besar penyebut dalam persamaan diatas, makin rendah η_v yang diperoleh. Akan tetapi, dalam pengujian prestasi mesin biasanya tidak dipergunakan saringan udara sehingga kekeliruan tersebut dapat dihindari. Oleh karena itu maka kondisi (p, T) ditetapkan sebagai kondisi udara atmosfir.

Seperti terlihat pada contoh tersebut pada gambar dibawah, η_v merupakan fungsi dari kecepatan udara yang terisap, dimana η_v maksimum terjadi pada suatu putaran poros tertentu. Demikian juga η_v merupakan fungsi dari faktor kelebihan udara, yaitu bahwa η_v turun dengan turunnya λ. Jika dibandingkan dengan keadaan dimana mesin berputar tanpa penyalaan,

η_v ternyata kurang 10% dengan λ minimum. Hal ini disebabkan karena dalam keadaan tersebut terakhir, temperatur dinding silinder dan temperatur gas sisa adalah lebih tinggi pada λ yang lebih kecil, sehingga udara yang terisap menjadi lebih panas dan berkembang.

Gambar dibawah ini diperoleh berdasarkan pengujian sebuah mesin yang direncanakan dengan baik, pada sistem pemasukan udara dan pengaturan pembukaan dan penutupan katupnya, untuk memperoleh efisiensi yang tinggi. Meskipun demikian tidaklah mudah untuk memperoleh efisiensi volumetrik sebesar 86%.

Gambar 10. Efisiensi Volumetrik vs kecepatan udara masuk

Sumber: Arismunandar. 1983:32

5. Getaran (Vibrasi)

a. Pengertian Getaran (vibrasi)

Menurut Tungga BK (2011:5) getaran adalah gerakan berisolasi dari sistem mekanis serta kondisi-kondisi dinamisnya. Getaran dapat

berupa benturan yang berulang secara kontinyu atau dengan kata lain dapat juga berupa gerakan tidak beraturan atau acak.

Getaran merupakan gerakan bolak-balik secara teratur (periodik) di sekitar titik kesetimbangan (Setia, 2010:285)

Yang dimaksud dengan getaran adalah gerakan yang teratur dari benda atau media dengan arah bolak-balik dari kedudukan kesetimbangan. Getaran biasa terjadi saat mesin atau alat dijalankan dengan motor, hal ini mempunyai pengaruh yang bersfat mekanis. Getaran merupakan gerak osilasi disekitar sebuah titik yang disebabkan oleh getaran udara atau mekanis, misalnya mesin atau alat-alat mekanis lainnya. Oleh sebab itu getaran banyak dipergunakan untuk menganalisis mesin-mesin baik dari gerak rotasi atau translasi.

Berdasarkan pendapat di atas dapat kita simpulkan bahwa getaran adalah gerakan bolak-balik atau berulang secara teratur atau acak melalui titik kesetimbangan.

b. Parameter Getaran

Vibrasi atau getaran mempunyai tiga parameter yang dapat dijadikan sebgai tolak ukur yaitu :

1) Amplitudo

Amplitudo adalah ukuran atau besarnya sinyal vibrasi yang dihasilkan. Amplitudo dari sinyal vibrasi mengidentifikasikan besarnya gangguan yang terjadi. Makin tinggi amplitudo yang ditunjukkan menandakan makin besar gangguan yang terjadi, besarnya amplitudo

bergantung pada tipe mesin yang ada. Pada mesin yang masih bagus dan baru, tingkat vibrasinya biasanya bersifat relatif.

2) Frekuensi

Frekuensi adalah banyaknya periode getaran yang terjadi dalam satu putaran waktu. Besarnya frekuensi yang timbul pada saat terjadinya vibrasi dapat mengidentifikasikan jenis-jenis gangguan yang terjadi. Gangguan yang terjadi pada mesin sering menghasilkan frekuensi yang jelas atau mengasilkan contoh frekuensi yang dapat dijadikan sebagai bahan pengamatan.

Dengan diketahuinya frekuensi pada saat mesin mengalami vibrasi, maka penelitian atau pengamatan secara akurat dapat dilakukan untuk mengetahui penyebab atau sumber dari permasalahan. Frekuensi biasanya ditunjukkan dalam bentuk *Cycle* per menit (CPM), yang biasanya disebut dengan istilah *Hertz* (dimana Hz = CPM). Biasanya singkatan yang digunakan untuk Hertz adalah Hz.

3) Phase Vibrasi *(Vibration Phase)*

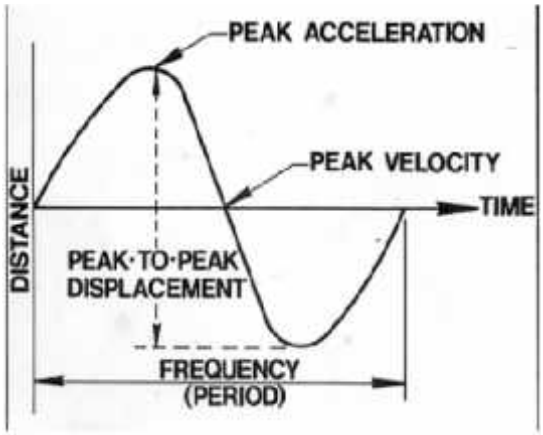
Phase adalah penggambaran akhir daripada karakteristik suatu getaran atau vibrasi yang terjadi pada suatu mesin. Phase adalah perpindahan atau perubahan posisi pada bagian-bagian yang bergetar secara relatif untuk menentukan titik referensi atau titik awal pada bagian yang lain yang bergetar.

c. Karakteristik Getaran

Kondisi suatu mesin dan masalah-masalah mekanik yang terjadi dapat diketahui dengan mengukur karakteristik getaran pada mesin tersebut. Karakteristik-karakteristik getaran yang penting antara lain adalah :

1) Frekuensi getaran
2) Perpindahan getaran *(vibration displacement)*
3) Kecepatan getaran *(vibration velocity)*
4) Percepatan getaran *(vibration acceleration)*
5) Phase getaran

Dengan mengacu pada gerakan pegas, kita dapat mempelajari karakteristik suatu getaran dengan memetakan gerakan dari pegas tersebut terhadap fungsi waktu.



Gambar 11. Karakteristik getaran

(Sumber: vibrasindo.com)

a) Frekuensi getaran

Gerakan periodik atau getaran selalu berhubungan dengan frekuensi yang menyatakan banyaknya gerakan bolak-balik (satu siklus penuh) tiap satuan waktu. Hubungan antara frekuensi dan periode suatu getaran dapat dinyatakan dengan rumus sederhana :

Frekuensi = 1 / periode

Frekuensi dari getaran tersebut biasanya dinyatakan sebagai jumlah siklus getaran yang terjadi tiap menit (CPM = Cycles per Minute).

b) Perpindahan getaran *(Vibration Displacement)*

Jarak yang ditempuh dari suatu puncak ke puncak yang lainnya disebut dengan perpindahan dari puncak ke puncak atau yang disebut dengan *peak to peak displacement*. Perpindahan tersebut pada umunya dinyatakan dalam satuan micron (μm) atau mils.

c) Kecepatan getaran *(vibration velocity)*

Kecepatan getaran ini biasanya dalam satuan mm/det (peak). Karena kecepatan ini selalu berubah secara sinusoida, maka seringkali digunakan pula satuan mm/sec (rms). Nilai peak = 1,414 x nilai rms. Kadang-kadang digunakan juga satuan inch/sec (peak) atau inc/sec (rms) 1 inch = 25,4 mm.

d) Percepatan getaran *(Acceleration)*

Karakteristik getaran lain dan juga penting adalah percepatan. Secara teknis percepatan adalah laju perubahan dari kecepatan. Percepatan getaran pada umumnya dinyatakan dalam satuan “g” peak, dimana satu “g” adalah percepatan yang disebabkan oleh gaya gravitasi pada permukaan bumi. Sesuai dengan perjanjian internasional satuan gravitasi pada permuaan bumi adalah 980,665 cm/det2.

e) Phase getaran

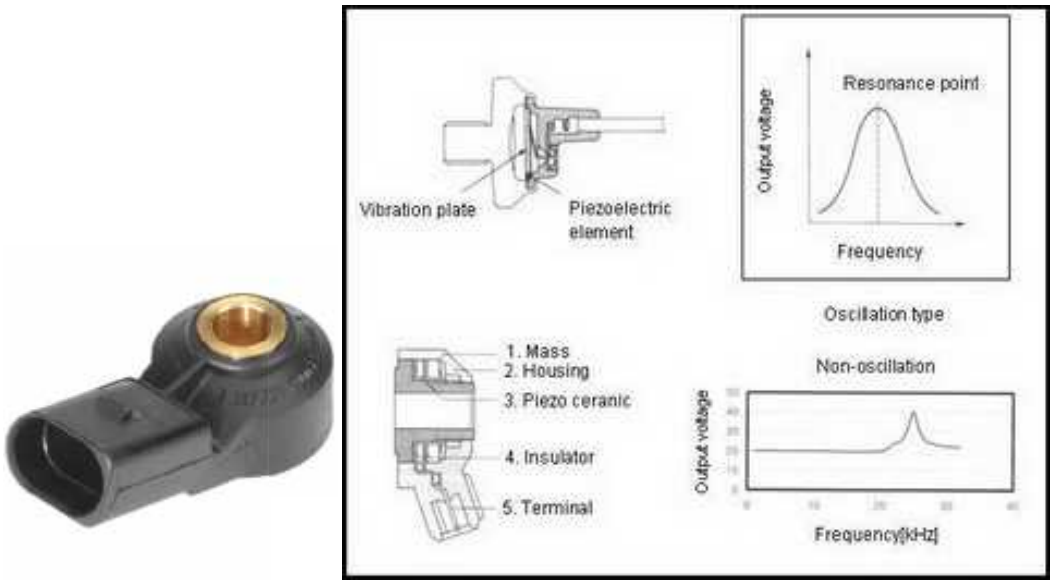
Pengukuran phase getaran memberikan informasi untuk menentukan bagaimana suatu bagian bergetar relatif terhadap bagian yang lain, atau untuk menentukan posisi suatu bagian yang bergetar pada suatu saat, terhadap suatu referensi atau terhadap bagian lain yang bergetar dengan frekuensi yang sama.

d. Perangkat Analisis Sinyal Getaran

1) Knock Sensor

Knock sensor atau knocking sensor pada kendaraan yang bermesin injeksi EFI berfungsi untuk mendeteksi atau mensensor jika terjadi knocking atau atau getaran atau ketukan pada mesin. Knocking merupakan getaran yang berfrekuensi tinggi yang disebabkan oleh terjadinya ledakan atau pembakaran yang prematur di dalam ruang bakar silinder. Bila terjadi engine knocking pada kendaraan maka akan mengakibatkan turunnya tenaga pada mesin sehingga kinerjanya menjadi kurang optimal dan juga dapat

menyebabkan komponen-komponen di ada dalam mesin akan cepat aus atau rusak.



Gambar 12. Knock Sensor

(Sumber: www.micro-tronik.com)

2) *Digital Storage Oscilloscope* (*DSO*) / Osiloskop

Osiloskop adalah alat ukur Elektronik yang dapat memetakan atau memproyeksikan sinyal listrik dan frekuensi menjadi gambar grafik agar dapat dibaca dan mudah dipelajari. Dengan menggunakan Osiloskop, kita dapat mengamati dan menganalisa bentuk gelombang dari sinyal listrik atau frekuensi dalam suatu rangkaian Elektronika. Pada umumnya osiloskop dapat menampilkan grafik dua dimensi (2D) dengan waktu pada sumbu X dan tegangan pada sumbu Y.

Gambar 13. Osiloskop

(Sumber: teknikelektronika.com)

B. Penelitian Yang Relevan

1. Andi Setiawan Ginting dan Mulfi Hazwi (2014) melakukan penelitian mengenai kinerja mesin diesel yang berteknologi common rail VN Turbo Intercooler pada seri Toyota Fortuner tipe 2KD FTV VN Turbo Intercooler. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa motor diesel memiliki efisiensi termal dan performansi yang lebih baik serta dapat menghasilkan energi yang relatif besar. Efisiensi termal yang merupakan indikasi sesungguhnya dari konversi input thermodinamika menjadi kerja mekanis mencapai 84,4 %. Hal ini membuktikan bahwa mobil ini telah mempunyai efisiensi yang sudah bagus. Disamping itu untuk putaran 2800 rpm didapat daya sebesar 100,5218 kW. Hasil analisa secara keseluruhan membuktikan bahwa mobil ini memiliki performa yang baik.

2. Philip Kristanto dan Rahardjo Tirtoatmodjo (2000) melakukan penelitian mengenai Pengaruh Suhu dan Tekanan Udara Masuk Terhadap Kinerja Motor Diesel Tipe 4 JA 1.

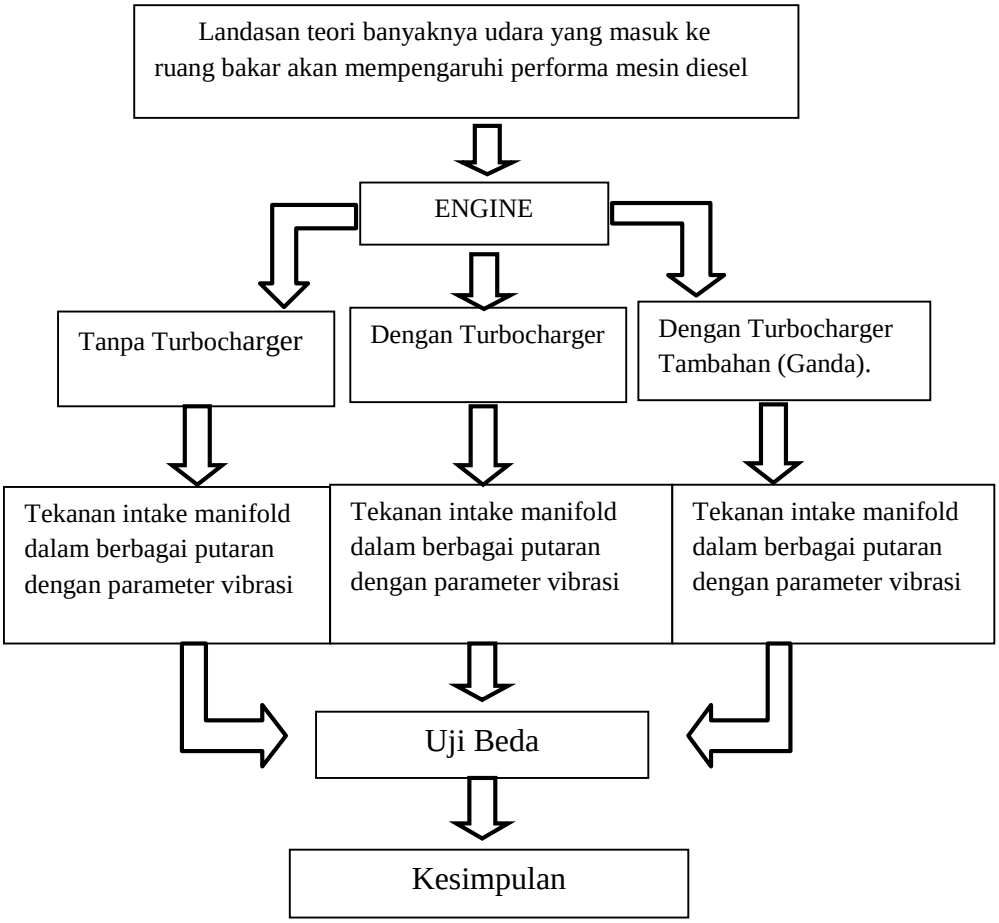
   Hasil penelitian ini menyatakan bahwa :

   a. Terdapat pengaruh yang cukup signifikan antara suhu dan tekanan udara yang masuk ke ruang bakar dengan kinerja motor diesel secara keseluruhan.
   b. Suhu dan tekanan udara yang ideal untuk digunakan sebagai proses modifikasi adalah 50°C dengan tekanan 3 bar, dimana rata-rata pada berbagai tingkat kecepatan serta beban terjadi peningkatan daya sebesar 10,4%; peningkatan torsi sebesar 6,3% ; penurunan laju konsumsi bahan bakar spesifik sebesar 24,4% serta peningkatan efisiensi termis sebesar 17,4%.
   c. Karena waktu yang tersedia untuk periode persiapan pembakaran secara teoritis sangat singkat, maka perlu dilakukan peningkatan suhu dan tekanan udara masuk ruang bakar agar bahan bahan bakar dapat lebih mudah terbakar (terutama untuk motor diesel putaran tinggi).

3. Marlon Hetharia (2012) melakukan penelitian mengenai analisa pengaruh kapasitas udara untuk campuran bahan bakar terhadap prestasi mesin diesel. Kesimpulan penelitian ini adalah semakin besar kapasitas udara, semakin menaikkan Efisiensi Volumetrik tetapi tidak selamanya menaikkan Efisiensi thermal, karena pada kapasitas udara tertentu efisiensi thermalnya menurun.

C. Kerangka Konseptual

Kerangka konseptual pada dasarnya untuk menjelaskan secara teoritis pertautan antara variabel yang diteliti. Penelitian ini membuktikan berapa dampak dari *treathment* atau perlakuan dengan memvariasikan tekanan udara masuk pada *intake manifold* dan memvariasikan kecepatan mesin. Sedangkan kesimpulan akhir yang hendak dicari adalah ditemukanya berapakah tekanan yang paling ideal *intake manifold* pada Toyota 2KD-FTV dengan *Common Rail.*



Gambar 14. Kerangka Konseptual

D. Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian dan kajian teori, pertanyaan penelitian yang dapat dikemukakan dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah dengan penambahan tekanan udara yang ideal pada intake manifold akan terdapat perbedaan yang signifikan dari kecepatan aliran udara, tekanan udara, efisiensi volumetris pada motor diesel Toyota 2KD-FTV?
2. Apakah penambahan tekanan udara yang ideal pada intake manifold akan mendapatkan vibrasi terkecil pada putaran yang sama dengan perlakuan berbeda saat terjadi perubahan tekanan udara ke dalam intake manifold?

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Dari analisa hasil penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Terlihat perbedaan yang signifikan dari kecepatan aliran udara, efisiensi volumetris dan vibrasi dari ketiga variasi motor diesel .
2. Motor diesel dengan turbo tambahan mengalami peningkatan kecepatan dan peningkatan tekanan udara jika dibandingkan dengan motor diesel tanpa turbo dan motor diesel dengan turbo. Dengan meningkatnya kecepatan aliran udara juga akan meningkatkan tekanan udara akan yang memasuki *intake manifold*. Hal ini dikarenakan kecepatan udara berbanding lurus dengan tekanan udara itu sendiri.
3. Motor diesel yang diberikan turbo tambahan mengalami rata-rata peningkatan η volumetris sebesar 26,63 % jika dibandingkan dengan motor diesel tanpa turbo, sedangkan jika motor diesel yang diberikan turbo tambahan dibandingkan dengan motor diesel dengan turbo standar rata-rata kenaikan η volumetris sebesar 18,32 %.
4. Motor diesel yang menggunakan turbo tambahan mengalami penurunan vibrasi dengan rata-rata 10,68 % dibandingkan motor diesel tanpa turbo dan jika dibandingkan dengan motor diesel dengan turbo atau turbo standar, maka ditemukan penurunan vibrasi dengan rata-rata 7,93 %.

B. **SARAN**

Untuk lebih sempurnanya tugas akhir ini maka penulis dapat menyarankan agar :

1. Perlu dilakukan penelitian untuk melihat karakteristik unjuk kerja motor diesel dengan turbo tambahan.
2. Untuk penelitian berikutnya, diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan penelitian tekanan udara pada motor diesel.

DAFTAR PUSTAKA

Andi Setiawan Ginting, Mulfi Hauzi (2014).” *Analisa Performansi Pada Mobil Toyota Fortuner Mesin Diesel Tipe 2KD-FTV Vn Turbo Intercooler*”.Jurnal penelitian. Diakses tanggal 8 November 2015

Arismunandar, wiranto dan koichi tsuda.(2008). *Motor diesel putaran tinggi*. Jakarta: Pradnya Paramita..

Arismunandar, wiranto.(1973). *Penggerak mula motor bakar torak*. Bandung: ITB

Bahan Ajar S1 Pendidikan Teknik Mesin UNES 2009

Daryanto. (2001).*Teknik merawat auto mobil lengkap*. Bandung: Yrama Widya..

Effendy, Asnal. 2012. Mekanika Fluida. diakses dari: www. sisfo.itp.ac.id. tanggal 14 November 2016

Hamid s.,tilani, dan rachman yusuf(2002). *Peparasi karakteristik biodiesel dari minyak kelapa sawit.* Depok: jurusan teknik gas dan petrokimia, fakultas teknik, universitas indonesia.
Diakses tanggal 9 November 2015

Http://Www.Vibrasindo.Com/Blogvibrasi/Detail/21/Apa-Itu-Getaran-Vibration
Diakses tanggal 16 November 201

Http://Berrienacademy.Pbworks.Com/W/Page/23366260/4%20stroke%20diesel%20engine
Diakses tanggal 16 November 2016

Http://Fisikazone.Com/Penerapan-Asas-Bernoulli/
Diakses tanggal 16 November 2016

Http://nasmoco.co.id/corporate-social-responsibility/social/
Diakses tanggal 7 Oktober 2015

Http://www.carfolio.com
Diakses tanggal 7 Oktober 2015

Https://Www.Dieselnet.Com/Tech/Diesel_Fi_Common-Rail_Control.Php
Diakses tanggal 16 November 2016