

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam observasi yang dilakukan terhadap sistem *Turbocharger* dan mencari referensi dari beberapa sumber yang halnya berkaitan dengan judul yang diambil. Berikut ini adalah referensi yang berkaitan dengan judul Tugas Akhir yaitu :

Penelitian yang ditulis oleh Tim Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya S1 PTM 2007 OtoA yang berjudul “*Turbocharger*” yang ditulis pada tahun 2010. Pada penelitian ini membahas tentang motor bakar dengan *Turbocharger*.

Penelitian yang berbentuk skripsi yang ditulis oleh Ferry Prasetyo yang berjudul “analisa sistem *Turbocharger* pada motor grader xcmg gr 135” penelitian ini membahas tentang analisa kerusakan yang terjadi pada *Turbocharger* pada motor grader xcmg gr 135.

Dari dua *literature review* yang ada, telah banyak penelitian mengenai kinerja pada sistem *Turbocharger*, dengan demikian maka penulis ingin melakukan sesuatu pada komponen sistem *Turbocharger* yaitu “melakukan proses *cutting* pada komponen *Turbocharger*”.

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Motor Diesel

#### a. Motor diesel

Motor Diesel adalah mesin pembakaran dalam, dimana bahan bakar dinyalakan oleh suhu kompresi udara didalam ruang bakar. Motor diesel ditemukan oleh Rudolf Diesel, pada tahun 1872. Mesin diesel mempunyai tekanan kompresi yang tinggi (30 – 45 kg/cm<sup>2</sup>) agar temperatur udara yang dikompresikan mencapai 500°C atau lebih. motor diesel mempunyai efisiensi *thermal* lebih tinggi, selain itu bahan bakar motor diesel lebih murah dan daya yang dihasilkan lebih *bervariasi*.

#### b. Prinsip Kerja Motor Diesel

##### 1. Langkah hisap (*Intake Stroke*)

- 1) Pada langkah ini, piston akan bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB).
- 2) Selanjutnya, katup hisap akan terbuka sebelum mencapai TMA dan katup buang akan tertutup. Akibatnya, akan terjadi kevakuman di dalam silinder yang menyebabkan udara murni masuk ke dalam silinder.

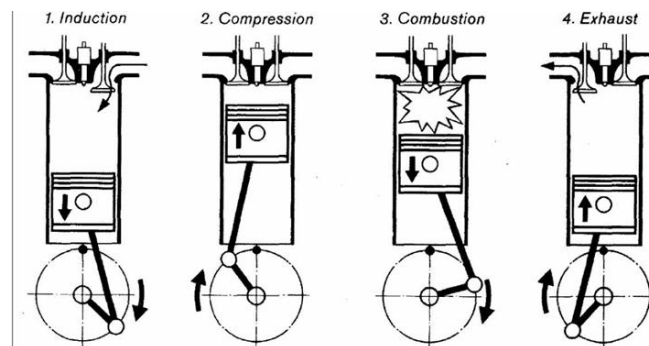
##### 2. Langkah kompresi (*Compression Stroke*)

- 1) Langkah kompresi yaitu dari TMB ke TMA. Katup hisap tertutup sementara katup buang akan terbuka.

- 2) Udara kemudian akan dikompresikan sampai pada tekanan dan suhunya menjadi  $30\text{kg/cm}^2$  dan suhu 500 derajat *celsius*. Perbandingan kompresi pada motor diesel berkisar diantara 14 : 1 sampai 24 : 1 .
  - 3) Akibat proses kompresi ini udara menjadi panas dan temperaturnya bisa mencapai sekitar  $900\text{ }^\circ\text{C}$  .
  - 4) Pada akhir langkah kompresi injektor/nozel menyemprotkan bahan bakar ke dalam udara panas yang bertekanan sampai diatas 2000 bar. Solar dibakar oleh panas udara yang telah dikompresikan di dalam silinder.
  - 5) Untuk memenuhi kebutuhan pembakaran tersebut, maka temperatur udara yang dikompresikan di dalam ruang bakar harus mencapai 500 derajat *celsius* atau lebih.
  - 6) Perbedaan kompresi ini menghasilkan efisiensi panas yang lebih besar, sehingga penggunaan bahan bakar diesel lebih ekonomis dari pada bensin. Pengeluaran untuk bahan bakar pun bisa lebih hemat.
3. Langkah Usaha/ekspansi (*Power Stroke*)
- 1.) Katup hisap tertutup, katup buang juga tertutup dan injektor menyemprotkan bahan bakar.
  - 2.) Sehingga, terjadi pembakaran yang menyebabkan piston bergerak dari TMA ke TMB.

#### 4. Langkah buang (*Exhaust Stroke*)

- 1.) Hampir sama dengan langkah hisap, yaitu piston bergerak dari TMB ke TMA.
- 2.) Namun, katup hisap akan tertutup dan katup buang akan terbuka. Sedangkan piston akan bergerak mendorong gas sisa pembakaran keluar.



Gambar 2. 1 Prinsip kerja motor diesel 4 langkah

#### a. Proses Pembakaran pada Motor Diesel

Syarat-syarat yang sangat penting dari proses pembakaran pada motor diesel diantaranya adalah :

1. Emisi yang rendah,
2. Pemakaian bahan bakar yang hemat.
3. Suara pembakaran yang rendah

Mesin diesel menggunakan bahan bakar yang memerlukan perhatian khusus, Bahan bakar tersebut harus bisa terbakar dengan sendirinya ketika *diinjeksikan* ke dalam udara bertekanan tinggi. Makin

rendah titik nyala dari bahan bakar maka akan menghasilkan peningkatan kinerja pembakaran bahan bakar dan berarti meningkatkan kinerja mesin. Untuk mengukur kemampuan bahan bakar menyala dengan sendirinya digunakan angka *cetane number*.

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

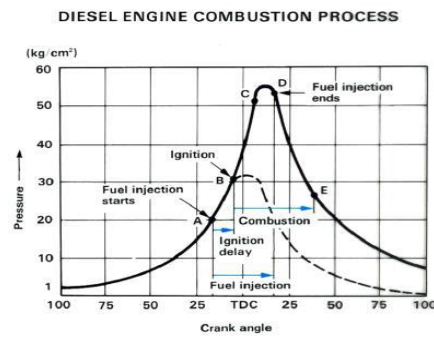
- a. Jika terlalu tinggi, timbul efek panas yang berlebihan terhadap mesin sehingga komponen mesin cepat rusak.
- b. Jika terlalu rendah, mengakibatkan timbulnya gejala ngelitik/*knocking*, sehingga opasitas gas buang akan berlebihan karena pembakaran mesin tidak terjadi dengan sempurna. Asap gas buangan mesin menjadi hitam pekat. Proses pembakaran yang terjadi dalam motor diesel dapat dibagi menjadi beberapa proses diantaranya :

1.Pembakaran tertunda

3.Pembakaran langsung

2.Rambatan api

4.Pembakaran lanjutan



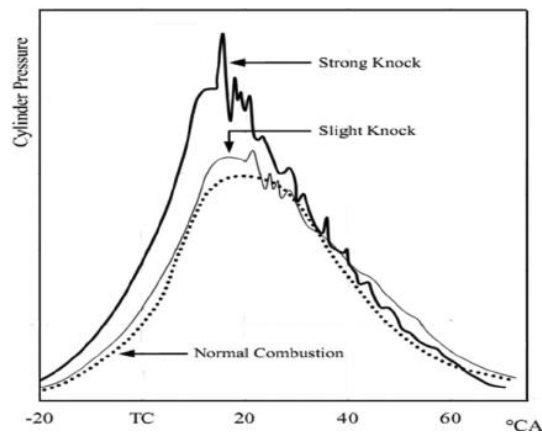
Gambar 2 .2 Proses Pembakaran Mesin Diesel

**b. Detonasi pada Motor Diesel (*Diesel knocking*)**

Adakalanya dalam setiap proses pembakaran tertunda terjadi lebih panjang (*ignition delay*). Hal ini disebabkan terlalu banyaknya bahan bakar yang diinjeksikan. pada tahapan pembakaran tertunda, sehingga terlalu banyak bahan bakar yang terbakar pada tahapan kedua yang mengakibatkan tekanan dalam silinder meningkat drastis serta menghasilkan getaran dan suara. Inilah yang disebut *diesel knock*.

**c. Cara Mencegah Diesel Knock / Detonasi :**

1. Gunakan solar yang angka *cetannya* tinggi.
2. Menaikkan tekanan dan temperatur udara.
3. Mengurangi *volume injeksi* saat mulai *injeksi*.
4. Menaikkan *temperature* ruang bakar



Gambar 2. 3 Proses detonasi (*knocking*) pada motor diesel

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

Perbedaan utamanya adalah *knocking*/detonasi pada diesel terjadi pada saat awal pembakaran, sedangkan pada mesin bensin *knocking* terjadi pada saat menjelang akhir pembakaran. Untuk mencegah terjadinya *knocking* pada motor diesel dapat dilakukan beberapa cara diantaranya seperti tampak pada tabel 2.1

**d. Metode umum pencegahan *knocking* pada motor diesel**

Tabel 2.1 Metode umum pencegahan *knocking* pada motor diesel

Uraian	Mesin Diesel	Mesin Bensin
Perbandingan kompresi	Dinaikkan	Diturunkan

Temperature supplay udara	Dinaikkan	Diturunkan
Tekanan kompresi	Dinaikkan	Diturunkan
Temperarture silinder	Dinaikkan	Diturunkan
Titik nyala bahan bakar	Diturunkan	Dinaikkan
Saat tertunda pembakaran	Diperpendek	Diperpanjang

### 2.2.2 Sistim Pemasukan Udara (*Air Intake System*)

Kesempurnaan pembakaran bahan bakar dalam motor pembakaran dalam sangat tergantung pada suplai udara untuk keperluan pembakaran. Dengan menambah laju aliran udara ke dalam ruang bakar maka bahan bakar akan lebih banyak terbakar secara efisien dan menghasilkan tenaga yang lebih besar. Dengan menambah laju aliran udara ke dalam ruang bakar maka bahan bakar akan lebih banyak terbakar secara efisien dan menghasilkan tenaga yang lebih besar.

Laju aliran dapat ditingkatkan dengan pemakaian blower. Prosesnya disebut *Supercharging*, dan peralatannya disebut *Supercharger*.



dan *Turbocharger*. Secara umum blower digerakkan mekanis oleh peralatan poros dari mesin, peralatan tersebut dinamakan *Supercharger*. Bila peralatan tersebut digerakkan oleh gas buang disebut *Turbocharger*. Dalam mesin Diesel, kebanyakan *blower* digerakkan oleh gas buang dan disebut *Turbocharger*.

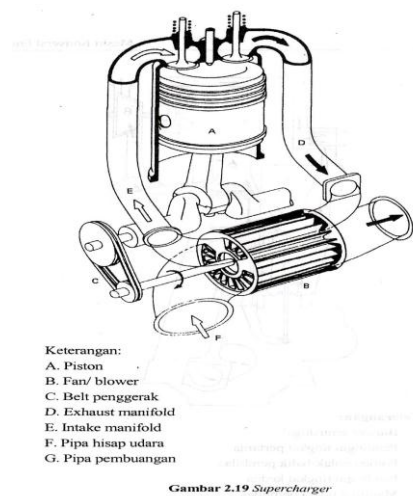
Tujuan dari *supercharging* : sebagai pembilasan gas sisa pembakaran dan untuk menaikkan *massa* jenis udara karena tekanannya lebih besar daripada penghisapan secara alami (pergerakan udara oleh penghisap). Istilah pembilasan hanya digunakan dalam mesin siklus 2 langkah, sementara *supercharging* terutama digunakan untuk mesin siklus 4 langkah.

a. Keuntungan utama dari *supercharging*

- 1.) Menaikkan tenaga dari mesin dengan berat tetap.
- 2.) Menaikkan ekonomi bahan bakar.
- 3.) Menaikkan performance / unjuk kerja dari mesin.
- 4.) Terjadi pembakaran yang sempurna dari mesin sehingga tidak menimbulkan arang atau sisa pembakaran

b. Kekurangan dari *supercharging*

- 1.) Membutuhkan perawatan ekstra terutama pelumasan
- 2.) Menambah berat kendaraan
- 3.) Boros Oli



Gambar 2. 4 *Supercharger*

#### a. *Sistim Turbocharger*

*Turbocharger* adalah perangkat terpisah pada mesin yang berguna untuk meningkatkan pasokan udara yang dibutuhkan oleh mesin dalam proses pembakaran. Bagian *Turbocharger* dibuat dengan ketelitian yang tinggi, bekerja diatas putaran sekitar 72000 *Rpm* (*radius perminute*). *Turbocharger* atau yang lebih dikenal dengan nama *turbo* memiliki dua *turbin* yang terhubung dalam satu poros. *Turbin sekunder* berfungsi sebagai 'kincir' penggerak yang tenaganya diambil dari 'tiupan' udara sisa pembakaran gas buang. mesin Kincir inilah yang berfungsi memutar turbin kompresor utama.

#### b. *Fungsi Turbocharger*

*Turbocharger* berfungsi untuk menyuplai udara bertekanan sebanyak-banyaknya ke ruang bakar. Dengan disuplainya udara ke ruang bakar semakin banyak, maka kompresi yang di hasilkan akan semakin tinggi, dan daya yang di hasilkan bisa lebih besar. Pada umumnya

*turbocharge* diaplikasikan pada mesin diesel, karena siklus pembakaran pada mesin diesel tidak membutuhkan percikan api seperti pada mesin *otto* (bensin). Pada proses kerja mesin diesel, terjadinya 'ledakan' pada ruang bakar dikarenakan temperature udara yang tinggi dan sesuai untuk membakar bahan bakar yang disemprotkan ke ruang bakar. Dimana dari mesinnya itu sendiri dipasang kompresor biasanya berlangsung selama langkah pemasukkan (*intake cycle*).

**c. Cara kerja Turbocharger**

*Turbocharger* memiliki 2 VC (*volute chamber*), pada sisi sebelah kanan berisi turbin, dan pada sisi lain (*volute chamber*) sebelah kiri berisi kompresor. Kedua *volute chamber* itu di pasang sejajar kanan dan kiri, dan diantara *turbine section* dan *compressor section* di *couple* langsung dengan *shaft*.

Cara kerja :

1. Ketika mesin menyala, udara panas bertekanan keluar dari *outlet valve* ke *exhaust*.
2. Dari *outlet exhaust* (atau knalpot), di pasangkan ke *inlet volute chamber* yang berisi turbin.
3. Karena fluida yang di hasilkan bertekanan dengan energi kinetik tertentu maka *entalpi* langsung masuk ke *volute chamber*. Hal ini menyebabkan *expansi* pada turbin, sehingga turbin dapat berputar sesuai dengan kapasitas dan *Entalpi* fluida yang masuk. Semakin banyak *fluida* yang masuk maka putaran semakin kencang. Itulah

kenapa ketika *RPM* tinggi suaranya sedikit keras karena kapasitas aliran yang di hasilkan pembakaran sangat banyak untuk masuk ke *volute chamber* hingga menyebabkan *turbin* berputar sangat cepat.

4. Gas buang dari *exhaust* yang masuk ke *volute turbine* akan memutar turbin. Karena turbin dan kompresor dalam satu *shaft* maka perputaran turbin akan mengakibatkan kompresor ikut berputar pada putaran yang sama.
5. Perputaran kompresor menghasilkan udara yang bertekanan, *inlet* udaranya dari arah *axial* dan *outletnya* arah *radial*. Udara yang di hasilkan ini digunakan untuk kebutuhan proses pembakaran, jadi dimasukan ke ruang bakar tapi melewati katup terlebih dahulu. Ketika pedal gas di injak maka katup akan membuka dan udara dapat masuk, dan ketika pedal gas di lepas maka katup tertutup, tertutupnya katup ini yang menyebabkan bunyi, karena kompresor masih berputar sangat tinggi dan tiba-tiba katup *intake* tertutup sehingga udara dibuang keluar.



Gambar 2. 5 Turbocharger

#### d. Prinsip Kerja *Turbocharger*

Udara didesak melalui pipa ke saluran pemasukkan dan melewati katup yang masuk yang terbuka ke dalam silinder. Porosnya dari roda *turbin* dan roda kompresor yang didukung oleh bantalan pada rumah bantalan dan pelumasan dari sistem pelumasan mesin. Dengan kata lain kedua perangkat ini merupakan kompresor, turbin yang menghisap udara dari luar dan menekan udara tadi ke saluran *intake manifold* mesin. Perbedaan diantara keduanya ada pada sumber penggerak putaran turbin. Karena dapat bergerak bebas, *turbin* kompresor ini dapat berputar hingga lebih dari 70.000 *rpm* dan dapat menghasilkan tekanan udara yang sangat besar. Oleh karena itulah perangkat ini diberi katup *by pass* agar tekanan udara yang dihasilkan tidak berlebihan.

Jika pada *Turbocharger* mengandalkan tekanan gas sisa pembakaran, berputarnya *turbin* atau kompresor, lain halnya pada *supercharger* yaitu memanfaatkan tenaga putaran mesin. Karena putaran mesin umumnya hanya 'bermain' kurang dari 7.000 *rpm* maka tekanan yang dihasilkan tidak sebesar pada *Turbocharger*. Jika *supercharger* sudah bekerja di *rpm* bawah, *Turbocharger* baru akan bekerja menunggu mesin berputar pada saat *rpm* tertentu agar gas buang memiliki cukup tekanan untuk memutar *turbin sekunder*. Pada saat mesin merangkak dari *rpm* bawah hingga *Turbocharger* bekerja optimal akan terasa ada 'hentakan' yang disebut sebagai '*turbolag*'.

Para perancang *Turbocharger* mendesain sudu-sudu turbin dengan kemiringan yang dapat berubah-ubah, sehingga saat berputar dan setelah putaran ideal tercapai, *sudu-sudu* tadi berubah ke posisi semula. Teknologi ini dinamai *VGT (variable geometry turbine)*.



Gambar 2. 6 sistim *Turbocharger* pada sebuah mesin

#### e. Keuntungan dan kerugian sistim *Turbocharger*

##### 1. Keuntungan sistim *Turbocharger*

- 1.) Tenaga lebih maksimal
- 2.) Beban mesin lebih ringan dibandingkan dengan *supercharger*
- 3.) Lebih efisien dalam bahan bakar, karena memanfaatkan gas buang sebagai media untuk menggerakkan turbin daripada tidak menggunakan turbocharger

##### 2. Kerugian sistim *Turbocharger*

- 1.) Perawatan lebih rumit
- 2.) Sering terjadi timbul asap putih pada kendaraan karena adanya tumpukan kotoran pada *exhaust manifold* yang disebabkan oleh *Turbocharger* sendiri

3.) Bila terjadi kerusakan pada salah satu komponen, maka penggantian dilakukan semua (*assy*)

**f. Hal – hal yang harus diperhatikan pada saat pengoperasian *Turbocharger***

Setelah mesin dihidupkan, hindari menaikkan atau mempercepat putaran mesin secara tiba-tiba karena pelumasan pada bantalan-bantalan Turbocharger belum mencukupi. Kondisi ini akan mempercepat keausan/kerusakan pada bantalan-bantalan tersebut, bila tidak diberi kesempatan sekurang kurangnya 30 detik untuk putaran idling setelah mesin dihidupkan.

Hindari juga untuk menaikkan atau mempercepat putaran mesin ketika:

1. Setelah lama tidak digunakan selama lebih dari setengah hari.
2. Setelah penggantian oli mesin atau saringan oli.
3. Pada cuaca dingin. (faktor cuaca/iklim)

Dan juga hindari mematikan mesin dengan cara mendadak setelah dioperasikan dengan kecepatan tinggi atau melalui jalan menanjak. Dan biarkan mesin berada pada putaran *idling* selama 20~120 detik.

Tabel 2.2 pengoperasian waktu idling setelah *Turbocharger* bekerja

PENGENDARA	WAKTU IDLING	
Di dalam kota atau luar kota di bawah kecepatan	Tidak diperlukan	
Kecepatan Tinggi	80 Km/jam	20 detik
	100 Km/jam	1 menit
Pengendara pada jalan menanjak/berbukit atau melebihi kecepatan 100 Km/jam secara terus menerus	2 menit	

### g. Komponen – komponen *Turbocharger*

#### 1. *Volute Chamber*

*Volute Chamber* berfungsi sebagai casing dari komponen turbin maupun kompressor. Adanya *volute chamber* untuk aliran *fluida* dapat di arahkan sesuai bentuk dari *volute chamber*. Jika *volute chamber* di lengkapi *difusor* maka sebagian energi kinetik di rubah menjadi energi bertekanan. Di *volute chamber* terdapat *outlet* dan *inlet*.





Gambar 2 7 *Volute chamber (VC)*

## 2. *Turbin*

*Turbin* berfungsi untuk mengkonversi energi kinetik yang bertekanan dengan *Entalpi* tertentu untuk di *konversi* menjadi energi mekanik dengan tingkat efisiensi tertentu. *Fluida* dengan energi tertentu akan bertemu dengan sudu-sudu dari turbin, peristiwa inilah yang menyebabkan perubahan energi sehingga turbin dapat berputar.



Gambar 2. 8 *Turbin*

## 3. *Shared Shaft*

*Shared Shaft* berfungsi untuk meneruskan momen puntir dari turbin ke kompressor sehingga kompressor dapat berputar saat turbin beroperasi.

Gambar 2. 9 *shared* Shaft

#### 4. *Compressor*

Kompresor pada *Turbocharger*, berfungsi untuk mengubah energi mekanis putaran poros *Turbocharger* menjadi energi kinetik aliran udara. Kompresor berada pada satu poros dengan *turbin*, sehingga pada saat gas buang mesin mulai memutar *turbin*, kompresor juga akan ikut berputar dengan kecepatan putaran yang sama. Energi mekanis yang dihasilkan *turbin* akan langsung digunakan sebagai tenaga penggerak kompresor.

Gambar 2. 10 *compressor*

#### 5. *Center Housing*

*Center housing* berfungsi untuk menopang turbin dan *compressor wheel* melalui poros. di dalam *center housing* terdapat

minyak pelumas yang bersirkulasi melalui oil channel dan Juga bersirkulasi air pendingin melalui coolant channel.



Gambar 2 11 *center housing*

#### 6. *Journal Bearing*

Selama turbin *dan compressor wheel* berputar pada kecepatan di atas 100.000 *rpm*, *journal bearing* digunakan sebagai untuk penyerapan getaran dari poros. *Bearing* ini dilumasi oleh oli mesin dan berputar bebas antara poros dan *housing* untuk mencegah keausan sewaktu bekerja pada kecepatan tinggi. Kebocoran minyak pelumas dicegah oleh dua *ring seal* atau oleh *mechanical seal* yang dipasang pada poros.



Gambar 2. 12 *Journal Bearing*

## 7. WASTE GATE ACTUATOR

*Waste gate valve* terdapat di dalam *turbin housing*. Tujuannya untuk mengatur tekanan udara yang dikompresikan. Ketika katup ini membuka, sebagian dari gas buang tidak melalui *turbin wheel* dan mengalir langsung ke pipa gas buang.



Gambar 2. 13 *Waste Gate Actuator*

- a. Memeriksa tekanan *waste gate*

Tabel 2. 3 Peralatan (*Tool Kits*)

<i>Dial gauge</i>	Mampu mengukur 0 sampai 10 mm
<i>Pressure regulating valve</i>	Penyesuaian bertahap dalam kisaran antara 0 dan 2 kgf / cm <sup>2</sup> (0.196 Mpa)
<i>Pressure reducing valve</i>	Digunakan untuk menekan tekanan suplai udara pada

	5 kgf / cm <sup>2</sup> (0,49 Mpa) atau kurang.
<i>Pressure gage</i>	Tekanan tabung Bourdon (0 sampai 10 kgf / cm <sup>2</sup> (0,98 Mpa)
<i>Manometer</i>	Kolom merkuri atau tipe listrik (mampu mengukur 0 sampai 1500 mmHg)

b. Cara melakukan pemeriksaan terhadap waste gate

- 1) Atur kontrol tekanan manometer ( $P_c$ ) yang diterapkan ke aktuator waste gate ke angka 0 dan atur Gauge ke titik nol
- 2) Secara bertahap katup terbuka dan atur tekanan dan ukur nilai  $P_c$  saat batang aktuator berada Dioperasikan 2 mm.
- 3) Untuk mendapatkan hasil maksimal, biarkan batang bergerak sampai ke 3 mm terlebih dahulu. Secara bertahap katup menutup lalu lakukan pengaturan tekanan Katup, ukur tekanan saat batang dipindahkan ke 2mm dan dapatkan selisih dari Tekanan yang diukur.

#### 4) Tindakan Penggunaan

- a) Mengatur tombol gauge pada garis ekstensi batang aktuator.
- b) Pipa dan sambungan harus benar-benar terbebas dari kebocoran.
- c) Ambil turbocharger dan dial gauge dengan aman.
- d) Jika manometer listrik digunakan, maka harus memiliki ketepatan yang memadai.
- e) Saat manometer digunakan, gunakan manometer tipe merkuri Kombinasi yang telah direkomendasikan untuk kalibrasi dan cek harian.
- f) Kecepatan untuk meningkatkan / menurunkan Pc dengan menggunakan katup pengatur tekanan Jika posisi maximum terlampaui, restart dari awal.
- g) Jangan gunakan lebih dari 0,49 MPa (5 kgf / cm<sup>2</sup>) ke aktuator.

Uji kebocoran aktuator waste gate Terapkan 0,12 Mpa (1,2kgf / cm<sup>2</sup>) ke aktuator dan tahan keadaan sebentar. Aktuatornya baik jika Tekanannya adalah 0.11 Mpa (1.1kgf / cm<sup>2</sup>)

### 8. *Ball bearing*

Pendukung dan pengontrol pada saat *shaft* / poros berputar.



Gambar 2 14 *Ball bearing*

### 9. *Backplate*

Pendukung *compressor housing* / rumah kompresor.



Gambar 2. 15 *backplate*

### 10. *Oil inlet*

Sebagai tempat masuknya oli untuk pelumasan komponen-komponen dari *Turbocharger*.



Gambar 2. 16 *oil inlet*

### *11. Oil outlet*

Sebagai tempat keluarnya oli setelah melakukan pelumasan untuk didinginkan.



Gambar 2.17 *oil outlet*