

# **ANALISA PENGARUH TURBOCHARGER TERHADAP DAYA MOTOR BAKAR DIESEL**

## **TUGAS AKHIR**

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Ujian Sarjana*

Oleh:

**TONNY TRI ANDIKA**  
NIM : 06.813.0017



**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
2010**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 28/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

# ANALISA PENGARUH TURBOCHARGER TERHADAP DAYA MOTOR BAKAR DIESEL

TUGAS AKHIR


Oleh :

TONNY TRI ANDIKA  
NIM : 06.813.0017

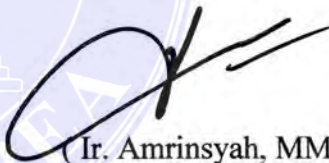


Disetujui

Pembimbing I

  
( Dr.Ir. Suditama, MT )

Pembimbing II

  
( Ir. Amrinsyah, MM )

Mengetahui

  
( Ir. H. Haniza, MT )

Ka. Program Studi  
  
( Ir. Amru Siregar, MT )

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 28/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

## ABSTRAK

*Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat, dimana hal ini akan mendorong kepada setiap pabrikan atau industri-industri untuk mengembangkan teknologi temuannya. Tuntutan program dunia dan permintaan konsumen yang menuntut agar teknologi haruslah akrab dengan lingkungan dan pemakaian atau konsumsi energi yang sehemat mungkin, untuk itu perlu dilakukan sebuah terobosan baru salah satunya dengan membuat suatu alat tambahan pada motor bakar, yaitu salah satunya turbocharger .*

*Dengan mempergunakan Turbocharger, udara akan dipaksa masuk kedalam ruang bakar sehingga efisiensi volumetrik akan naik, dengan demikian daya porosipun akan naik. Disamping peningkatan efisiensi volumetrik diharapkan dapat memperoleh kerja persiklus yang lebih besar dengan volume langkah torak yang sama, atau dengan perkataan lain, dengan Turbocharger diharapkan bisa diperoleh tekanan efektif rata-rata yang lebih besar ( jadi, daya yang lebih besar ) dengan mesin yang berukuran sama.*

*Dari hasil analisa pengujian didapat perbandingan antara motor diesel yang menggunakan Turbocharger dengan motor diesel tanpa Turbocharger, dimana peningkatan daya yang dihasilkan mencapai 33% (Tanpa Turbo = 90 PS dan Dengan Turbo = 109 PS ), jika dilihat dari konsumsi bahan bakar spesifiknya juga mengalami penurunan hingga 54% (Tanpa Turbo = 226 gr/hr-hp, Dengan Turbo = 103 gr/hr-hp)*

*Kata kunci : Motor bakar diesel dan turbocharger*

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah SWT karena atas berkat ridho dan karunia-Nya yang telah dilimpahkan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas sarjana ini dengan baik. Adapun yang menjadi judul tugas akhir ini yaitu **"ANALISA PENGARUH TURBOCHARGER TERHADAP DAYA MOTOR BAKAR DIESEL"**.

Penulisan tugas akhir ini adalah merupakan salah satu tugas yang harus diselesaikan oleh setiap mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area (UMA). Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menyadari bahwa isi dari pada tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi terciptanya suatu hasil karya tulis yang lebih sempurna dan memenuhi standarisasi tugas akhir untuk strata satu (S1).

Pada kesempatan ini juga penulis tidak lupa mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan sumbangsih sehingga selesainya tugas akhir ini, yaitu:

1. Kedua orang tua tercinta dan tersayang, Ayahanda Misman dan Ibunda Iriani tercinta, yang telah mendidik, membesarkan dan memberikan kasih sayang. Kakak dan adik yang selalu mendukung penulis dalam menyusun tugas akhir ini;
2. Ibu Ir.Hj Hanizah,MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area (UMA).

3. Bapak Ir. Amru Siregar, MT, selaku Kepala Progran Studi Teknik Mesin, Universitas Medan Area (UMA).
4. Bapak Dr. Ir. Suditama, MT. dan Bapak Ir. Amrinsyah, MM. selaku dosen pembimbing I dan pembimbing II yang telah banyak membantu dan memberi arahan serta pemikiran sehingga terselesainya penulisan tugas sarjana ini.
5. Seluruh staf pengajar, yang telah membimbing untuk mendapatkan ilmu pengetahuan, serta pegawai Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area (UMA) yang telah membantu segala urusan.
6. Pegawai perpustakaan yang telah membantu penulis dalam menyediakan buku-buku yang berkaitan dengan Literatur tugas akhir ini;
7. Bapak Zaid selaku Service Manager Ford Medan yang telah banyak membantu menyediakan buku-buku Spesifikasi kendaraan Ford dan juga teman-teman di Ford Medan;
8. Bapak Arifin Sidabutar, Bapak Triyono, dan Bapak Wahid selaku trainer dari PT. Ford Motor Indonesia yang telah banyak member bantuan tentang produk ford kepada penulis.
9. Seluruh guru-guru penulis di SD Negeri 101780 Cinta Rakyat, SLTP Negeri 3 Percut Sei Tuan dan SMK Negeri 1 Percut Sei Tuan Jurusan Mekanik Otomotip yang telah membimbing untuk mendapat ilmu pengetahuan.
10. Saudara tersayang, Kakak Nining Erlina dan Adik Meilyn Widya yang selalu memberikan dukungan dan semangat.

11. Sobat-sobat di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area (UMA) 2006 yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini;
12. Spesial untuk seseorang yang penulis sayangi Armiyanti, SE. yang selalu setia memberikan semangat dan do'a kepada penulis

Akhir kata penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan hingga selesainya tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua, khususnya penulis sendiri.



Medan, 11 September 2010

Penulis

Tonny Tri Andika  
06.813.0017

## DAFTAR ISTILAH

$A$	= Panas ekivalen dari kerja	kkal
$AF$	= Air fuel ratio	
$C_p$	= Panas spesifik dari udara dalam	kkal/kg K
$C_{pa}$	= Kalor panas spesifik udara	kJ/kg K
$C_{pe}$	= Kalor panas spesifik gas	kJ/kg K
$C2/2C_p$	= Energi kinetik spesifik	
$D$	= Diameter piston	mm
$F_h$	= Konsumsi bahan bakar tiap jam	kg/hr
$h$	= Enthalpi	kJ/kg
$h_{01}$	= Enthalpi udara luar masuk kompresor dalam keadaan stagnasi	kJ/kg
$h_{02}$	= Enthalpi udara keluar kompresor dalam keadaan stagnasi	kJ/kg
$h_{03}$	= Enthalpi gas buang masuk turbin dalam keadaan stagnasi	kJ/kg
$h_{04}$	= Enthalpi gas buang keluar turbin dalam keadaan stagnasi	kJ/kg
$i$	= Jumlah silinder mesin	
$K$	= Rasio panas spesifik	
$k_2$	= Nilai eksponen ekspansi isentropik	
$L$	= Panjang langkah piston	mm
$L'$	= Jumlah udara aktual yang dibutuhkan	
$M_g$	= Jumlah total dari pembakaran	mole
$m_{eg}$	= Laju aliran gas buang masuk turbin	kg/s
$m_k$	= Laju aliran udara melalui kompresor	kg/s
$(m_{cp})_g$	= Kandungan relatif dari pembakaran	kkal/mole K
$N_e$	= Daya efektif mesin	hp
$N_i$	= Daya indicator	hp
$n$	= Putaran mesin	rpm

$P_0$	= Tekanan pada titik 0	Pa
$P_{01}$	= Tekanan masuk kompresor	Pa
$P_{02}$	= Tekanan masuk silinder	Pa
$P_{03}$	= Tekanan masuk tubin turbocharger	Pa
$P_{04}$	= Tekanan keluar turbin turbocharger	Pa
$P_4$	= Tekanan gas buang keluar dari katup buang	N/m <sup>2</sup>
$P_5$	= Tekanan gas buang memasuki turbin turbocharger	N/m <sup>2</sup>
$P_e$	= Tekanan efektif rata-rata	kg/cm <sup>2</sup>
$P_i$	= Tekanan indikator rata-rata	kg/cm <sup>2</sup>
$P_{sup}$	= Tekanan suplai dari sistem turbocharger	kg/cm <sup>2</sup>
$\frac{P_{sup}}{P_7}$	= Perbandingan tekanan kopresi	
$Q_1$	= Kalor panas bawah (LHV)	kkal/kg
$q_{in}$	= Kalor masuk per satuan massa	kJ/kg
$R$	= Konstanta gas untuk udara`	kg-m/kgK
$r$	= Perbandingan kompresi	
$T_0$	= Temperatur pada titik 0	<sup>0</sup> K
$T_{01}$	= Temperatur masuk kompresor	<sup>0</sup> K
$T_{03}$	= Temperatur masuk turbin	<sup>0</sup> K
$T_4$	= Temperatur gas buang keluar dari katup buang	<sup>0</sup> K
$T_5$	= Temperatur gas buang memasuki turbin turbocharger	<sup>0</sup> K
$T_r$	= Temperatur yang terkandung dalam gas sisa	<sup>0</sup> K
$T_{sup}$	= Tempertur keluar kompresor yang di suplai ruang bakan	
$V_1$	= Volume langkah	
$V_2$	= Volume sisa	
$V_d$	= Volume langkah piston	m <sup>3</sup>



$v$	= Volume spesifik	$m^3/kg$
$W_{ad}$	= Kerja adiabatik kompresi	$kcal/kg$
$W_i$	= Kerja indikator	$kg-m$
$W_{id}$	= Kerja indikator	$kJ/kg$
$W_T$	= Daya turbin turbocharger	$hp$
$W_k$	= Daya kompresor turbocharger	$hp$
$z$	= Untuk mesin 4 langkah $z=2$ , untuk 2 langkah $z=1$	
$\rho$	= Kerapatan udara	$kg/m^3$
$\gamma_r$	= Koefisien gas sisa pembakaran	$^{\circ}K$
$\Delta_{tw}$	= Kenaikan temperatur akibat kontak dinding silinder dengan piston	$^{\circ}K$
$\lambda$	= Perbandingan tekanan	
$\eta_{ad}$	= Efisiensi adiabatik dari turbocharger	
$\Delta P$	= Penurunan pada pipa masuk	$N/m^2$
$\mu_0$	= Koefisien perubahan molar	mole
$\xi_c$	= Koefisien panas yang terkandung	
$\rho'$	= Rasio ekspansi	
$\delta$	= Rasio ekspansi berikutnya	
$\gamma$	= Koefisien ekspansi politropik	
$\phi$	= Faktor koreksi	
$\eta_m$	= Efisiensi mekanis untuk motor diesel yang tidak memakai turbocharger	
$\pi$	= 3,14	
$\eta_e$	= Efisiensi termal efektif	
$\gamma_a$	= Eksponen isentropik udara	
$\gamma_e$	= Eksponen politropik gas	

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISTILAH .....	iv
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR DAN DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GRAFIK .....	xiii
BAB I.PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Sistematika Penulisan .....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Motor Bakar Diesel .....	5
2.2 Motor Bakar Diesel dengan Turbocharger .....	7
2.3 Alasan Pemakaian Turbocharger .....	7
2.4 Turbocharger .....	8
2.4.1 Pengertian Turbochager .....	8
2.4.2 Klasifikasi Turbocharger .....	10
2.4.3 Bagian-Bagian Utama Turbocharger .....	14
2.4.4 Turbin .....	14
2.4.5 Kompresor .....	15
2.4.6 Prinsip Kerja Dari Sistem Tubrocharger .....	18
2.5 Dasar Teori .....	21
2.5.1 Tekanan Indikator Rata-Rata.....	21
2.5.2 Tekanan Efektif Rata-Rata .....	21
2.5.3 Kerja Indikator .....	22

2.5.4 Kerja Efektif .....	22
2.5.5 Kerja Mekanik Yang Hilang .....	22
2.5.6 Daya Indikator .....	23
2.5.7 Daya Efektif .....	23
2.5.8 Konsumsi Bahan Bakar Tiap Jam .....	23
2.5.9 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik .....	24
2.5.10 Persentase Kenaikan Daya Efektif .....	24
2.5.11 Persentase Penurunan Pemakaian Bahan Bakar Spesifik ..	24
2.5.12 Efisiensi Turbocharger .....	25
<b>BAB III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>26</b>
3.1 Tempat dan Waktu .....	26
3.2 Bahan Peralatan .....	26
3.3 Metode Penelitian .....	28
3.4 Data-Data Hasil Penelitian .....	28
3.5 Grafik Hasil Pengujian .....	29
3.6 Metode Pengambilan Data .....	29
3.7 Diagram Alir Pelaksanaan Analisa .....	30
3.8 Jadwal Kegiatan Analisa .....	31
<b>BAB IV. PERFORMANSI MOTOR BAKAR .....</b>	<b>32</b>
4.1 Idealisasi dari Analisa Termodinamika .....	32
4.2 Analisa Termodinamika pada Motor Diesel Tanpa Turbocharger .	33
4.3 Perhitungan Termodinamika Didalam Ruang Bakar .....	35
4.4 Analisa Termodinamika Pada Motor Diesel Dengan Turbocharger .	42
4.4.1 Kondisi Udara Masuk Dan Keluar Kompresor .....	43
4.4.2 Perhitungan Termodinamika .....	47
4.5 Performansi Motor Bakar Diesel Tanpa Turbocharger .....	56

4.5.1 Tekanan Indikator Rata-Rata .....	56
4.5.2 Tekanan Efektif Rata-Rata .....	57
4.5.3 Kerja Indikator .....	57
4.5.4 Kerja Efektif .....	59
4.5.5 Kerja Mekanik Yang Hilang .....	59
4.5.6 Daya Indikator .....	59
4.5.7 Daya Efektif .....	60
4.5.8 Konsumsi Bahan Bakar Tiap Jam .....	60
4.5.9 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik .....	62
4.6 Performansi Motor Bakar Diesel Dengan Turbocharger .....	62
4.6.1 Tekanan Indikator Rata-Rata .....	62
4.6.2 Tekanan Efektif Rata-Rata .....	63
4.6.3 Kerja Indikator .....	64
4.6.4 Kerja Efektif .....	65
4.6.5 Kerja Mekanik Yang Hilang .....	65
4.6.6 Daya Indikator .....	65
4.6.7 Daya Efektif .....	66
4.6.8 Konsumsi Bahan Bakar Tiap Jam .....	67
4.6.9 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik .....	68
4.6.10 Persentasi Kenaikan Daya Efektif .....	69
4.6.11 Persentasi Penurunan Pamakaian Bahan Bakar Spesifik ....	69
4.6.12 Efisiensi Turbocharger .....	69
4.7 Daya Turbin Dan Kompresor Dari Turbocharger .....	71
4.8 Tabel Hasil Pengujian Terhadap Beberapa Putaran .....	73
4.9 Grafik dan Analisa Grafik .....	74

<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>77</b>
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	<b>77</b>
<b>5.2 Saran</b> .....	<b>77</b>

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat, dimana hal ini akan mendorong kepada setiap pabrikan atau industri-industri untuk mengembangkan teknologi temuannya, sebagai contohnya adalah dalam bidang Teknologi Otomotif yang mengalami perkembangan yang cukup pesat.

Tuntutan Program dunia dan permintaan konsumen yang menuntut agar teknologi haruslah akrab dengan lingkungan, dan pemakaian atau konsumsi bahan bakar yang sehemat mungkin. Hal ini merupakan tantangan tersendiri untuk para ahli perancang otomotif atau para insinyur untuk terus berupaya dan berinovasi menciptakan kendaraan-kendaraan dengan tingkat polusi yang serendah-rendahnya, hemat bahan bakar serta mempunyai performa yang tinggi.

Untuk memperoleh hal tersebut diatas sudah tentu diperlukan suatu perangkat tambahan salah satu diantaranya dengan memakai *Turbocharger*, *Turbocharger* merupakan mekanisme untuk menyuplai udara dengan kepadatan yang melebihi kepadatan udara atmosfer kedalam silinder untuk ditekan pada langkah kompresi, sehingga daya motor akan meningkat.

Salah satu jenis Supercharger adalah *Turbocharger*, dimana pada *Turbocharger* gas buang dari motor bakar dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin gas yang ada pada turbocharger, energi panas dari gas buang yang dihasilkan ini akan dirubah menjadi energi mekanik yaitu gerak putar dari turbin yang akan diteruskan ke kompresor melalui suatu poros.

Kompresor tersebut kemudian mengisap udara luar melalui filter udara dan kemudian memompakan udara tersebut kedalam silinder melalui intake manifold sehingga akan menaikkan tekanan dan jumlah udara yang dimasukkan kedalam silinder. Dengan demikian, maka jumlah bahan bakar yang dimasukkan kedalam silinder dapat diperbanyak sehingga daya mesin menjadi besar. Dengan *turbocharger*, kira-kira 8 sampai 10 % dari jumlah kalor bahan bakar dapat diselamatkan.

Berdasarkan adanya performansi motor bakar yang meningkat dan proses pembakaran bahan bakar dapat terjadi dengan sempurna sehingga akan mengurangi terjadinya polusi udara, sehingga program dunia yang ingin menciptakan teknologi yang akrab dengan lingkungan dapat terwujud.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penggunaan Turbocharger pada Ford Ranger DC 4x4 2500cc 4 Silinder, yang memiliki daya maksimum 109 PS pada putaran 3500 rpm dengan menggunakan Turbocharger.

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun Batasan Masalah dalam penulisan Tugas Sarjana ini adalah

- a. Idealisasi dari Analisa Termodinamika
- b. Perbandingan performansi motor bakar diesel yang memakai turbocharger dengan motor bakar diesel tanpa Turbocharger.
- c. Analisa grafik performansi motor bakar diesel dengan dan tanpa Turbocharger.

## 1.4 Sistematika Penulisan

Untuk terarahnya penulisan ini dan untuk menghindari agar tidak terjadinya pembahasan yang berulang serta mempermudah pembaca dalam memahami, maka sistematika penulisan skripsi ini sebagai berikut:

### BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini dibahas mengenai latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penulisan tugas akhir dan sistematika penulisan.

### BAB II : TINJAUAN PUSATKA

Pada bab ini membahas mengenai motor bakar diesel, alasan pemakaian turbocharger, pengertian turbocharger dan klasifikasinya serta teori dasar tentang motor bakar.

### BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang tempat dimana penelitian dilaksanakan, bahan-bahan yang digunakan dalam pengambilan data dan spesifikasi dari mesin diesel yang memakai turbocharger maupun yang tidak memakai turbocharger, serta diagram alir dalam pelaksanaan analisa.

### BAB IV : PERFORMANSI MOTOR BAKAR

Dalam bab ini akan dibahas tentang idealisasi dari analisa termodinamika, performansi motor bakar diesel yang memakai turbocharger maupun yang tidak memakai turbocharger dan tabel serta grafik hasil perhitungan pengujian.



**BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini menguraikan suatu kesimpulan dari penjabaran-penjabaran pada bab-bab sebelumnya.

**DAFTAR PUSTAKA**

Bagian ini berisikan tentang buku-buku referensi yang digunakan penulis untuk membahas persoalan-persoalan dalam tugas akhir ini.

**LAMPIRAN**

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Motor Bakar Diesel

Motor diesel adalah motor bakar torak yang berbeda dengan motor bakar bensin, proses penyalaan bukan dengan loncatan bunga api listrik melainkan proses penyalaan bahan bakarnya berlangsung secara spontan akibat temperatur dan tekanan ruang bakarnya yang cukup tinggi.

Pada langkah isap hanya udara segar saja yang masuk dalam selinder. Pada waktu torak hampir mencapai “titik mati atas” (TMA) bahan bakar disemprotkan kedalam ruang bakar. Karena temperatur dan tekanan nyala bahan bakar, maka bahan bakar akan terbakar dengan sendirinya.

Persyaratan ini dapat dipenuhi apabila digunakan perbandingan kompresi yang cukup tinggi, berkisar antara 12 sampai 25. Perbandingan kompresi yang rendah pada umumnya digunakan pada motor diesel berukuran besar dan putaran rendah. Perbandingan kompresi yang tinggi dan berukuran kecil. Perancang cenderung mempergunakan perbandingan kompresi yang serendah-rendahnya berdasarkan pertimbangan kekuatan material serta berat mesinnya.

Daya yang dihasilkan oleh motor bakar diperoleh dari hasil pembakaran bahan bakar didalam ruang bakar. Makin banyak bahan bakar yang dapat dibakar, makin besar daya yang dapat dihasilkan. Hal ini terjadi jika tersedia udara secukupnya, biasanya dengan faktor kelebihan udara yang lebih besar. Itu berarti, bahwa daya mesin dibatasi oleh kemampuan mesin tersebut menghisap udara yang diperlukan untuk pembakaran.

Namun demikian, pada mesin empat langkah terdapat impitan katup (valve overlap) yaitu waktu selama kedua katup isap dan katup buang ada dalam keadaan sama-sama terbuka, sehingga sebahagian udara segar yang masuk mendorong gas sisa hasil pembakaran keluar dari dalam selinder. Hal ini merupakan kerugian yang tidak dapat dihindari. Jadi, udara yang dimasukkan kedalam selinder tidak semuanya digunakan untuk pembakaran.

Jika sebuah mesin empat langkah dapat mengisap udara pada kondisi isapannya sebanyak volume langkah toraknya untuk setiap langkah isapnya, maka hal ini merupakan sesuatu hal yang ideal. Namun, hal tersebut tidak terjadi dalam keadaan sebenarnya. Perbandingan dalam jumlah udara yang terisap sebenarnya terhadap jumlah yang terisap dalam keadaan ideal, dinamai "*Efisiensi volumetric*", yang didefinisikan dalam persamaan dibawah ini:

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

Besarnya efisiensi volumetric tergantung pada kondisi isap ( p,T) yang ditetapkan. Misalnya, jika saringan udara pada saluran masuk, yang diperoleh dengan menetapkan (p,T) sesudah saringan adalah lebih besar dari pada dengan menetapkan (p,T) sebelum saringan. Akan tetapi, dalam pengujian prestasi mesin biasanya tidak dipergunakan saringan udara sehingga kekeliruan tersebut dapat dihindari. Oleh karena itu maka (p,T) ditetapkan sebagai kondisi udara atmosfer.

*Efisiensi volumetrik* merupakan fungsi dari kecepatan udara yang terisap, dimana maksimum terjadi pada suatu putaran poros tertentu. Dengan demikian merupakan fungsi dari faktor kelebihan udara, yaitu dengan turunnya kerapatan udara.

Dengan mempergunakan Turbocharger, udara akan dipaksa masuk kedalam ruang bakar sehingga *efisiensi volumetrik* menjadi naik, dengan demikian daya porosipun akan naik. Disamping peningkatan *efisiensi volumetrik* diharapkan dapat memperoleh kerja persiklus yang lebih besar dengan volume langkah torak yang sama Atau dengan perkataan lain, dengan *Turbocharger* diharapkan bisa diperoleh tekanan efektif rata-rata yang lebih besar (jadi daya yang lebih besar) dengan mesin yang berukuran sama.

## 2.2. Motor Bakar Diesel dengan Turbocharger

Sebuah motor empat langkah yang bekerja dengan *Turbocharger* tekanan isapnya lebih tinggi dari pada tekanan udara atmosfer sekitarnya. Hal ini diperoleh dengan jalan memaksa udara atmosfer masuk kedalam selinder selama langkah isap, dengan *Turbocharger*.

## 2.3 Alasan Pemakaian Turbocharger

Adapun Alasan atau Tujuan utama dari Pemakaian Turbocharger

- 1) Memperbesar daya motor
- 2) Mesin menjadi lebih kompak lagi pula ringan, maksudnya dengan memakai *Turbocharger* maka dapat mengurangi dari pada besarnya mesin itu sendiri.
- 3) Dengan *Turbocharger* dapat bekerja lebih efisien, karena pemakaian bahan bakar spesifiknya lebih rendah ( 5-15 %)
- 4) Dengan Memakai *Turbocharger* maka proses pembakaran udara dan bahan bakar akan berjalan dengan sempurna hal ini dikarenakan udara yang telah dinaikkan tekanannya oleh *Turbocharger* tersebut dapat terbakar dengan sempurna sehingga emisi gas buang juga dapat dikurangi.

Pada mesin penyalaaan bunga api (*spark ignition engine*) yang memakai *Turbocharger*, pemakaian bahan bakar spesifik biasanya menjadi lebih besar. Hal ini disebabkan, terutama karena perbandingan kompresinya harus diperkecil untuk mencegah detonasi, juga karena banyaknya bahan bakar yang keluar dari dalam silinder sebelum digunakan.

Pemakaian *turbocharger* pada mesin penyalaaan bunga api ini haruslah mencakup unsur kompromi antara efisiensi dan kebutuhan, misalnya pada mesin pesawat dan mobil balap.

Pada motor bahan diesel dengan *turbocharger* dapat bekerja dengan efisiensi, pemakaian bahan bakar spesifik lebih rendah, khususnya pada unit lebih murah harganya.

Keuntungan lain yang diperoleh dari motor diesel dengan *turbocharger* adalah dapat mempersingkat periode persiapan pembakaran sehingga karakteristik pembakaran menjadi lebih baik. Disamping itu terbuka kemungkinan untuk menggunakan bahan bakar dengan bilangan cetana yang lebih rendah. Karena *turbocharger* dapat memasukkan udara yang lebih banyak, dapat diharapkan pembakaran menjadi lebih baik dan gas buangnya lebih bersih.

## 2.4 Turbocharger

### 2.4.1 Pengertian Turbocharger

Turbocharger merupakan mekanisme untuk menyuplai udara dengan kepadatan yang melebihi kepadatan udara atmosfer kedalam silinder untuk ditekan pada langkah kompresi, sehingga daya motor akan meningkat.

*Turbocharger* pemakaiannya sangat efisien dimana energi yang digunakan untuk menggerakkan kompresor untuk menghisap udara masuk ruang bakar adalah berasal dari energi gas buang yang digunakan untuk menggerakkan turbin.

Salah satu Tujuan Turbocharger adalah untuk meningkatkan massa jenis udara yang akan dimasukkan kedalam silinder mesin, dengan meningkatnya massa jenis udara sehingga akan lebih banyak bahan bakar yang terbakar, yang menyebabkan meningkatnya daya keluaran dari mesin yang diberikan volume langkah dari silinder. Karena banyak bahan bakar yang digunakan untuk mencapai peningkatan daya maka efisiensi siklus mesin tidak berubah.

Sebuah kompresor yang digunakan untuk mencapai peningkatan massa jenis udara maka ada dua metode yang umum digunakan untuk menggerakkan kompresor yaitu kompresor yang digerakkan oleh poros engkol mesin itu sendiri yang disebut *Mechanical Supercharging* dan jika kompresor yang digerakkan oleh gas buang dari silinder yang disebut dengan *Turbocharging*.

Poros *turbocharging* dihubungkan oleh kompresor dan turbin, tetapi tidak dihubungkan dengan poros engkol dari mesin. Oleh Karena itu, daya yang diberikan oleh turbin ke titik kerja kompresor, harus sama dengan yang diserap kompresor.

Komponen yang sangat penting dari *Turbocharger* adalah turbin, kompresor, hubungan poros bantalan dan rumahnya. Keuntungan dari turbocharger dibandingkan dengan *Mechanical Supercharger* adalah bahwa daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kompresor diambil dari energi gas buang sedangkan *Mechanical Supercharger* yaitu dengan daya yang diambil dari mesin itu sendiri sehingga akan terjadi adanya kerugian daya pada mesin itu sendiri.

Jika energi yang cukup diambil dari gas buang, dan diubah menjadi kerja kompresor maka proses kompresi yang mengakibatkan terjadinya peningkatan temperatur dan tekanan, Karena tujuannya untuk meningkatkan massa jenis udara, maka pemakaian pendingin udara (*heat exchanger*) yang sering digunakan untuk mendinginkan udara, sehingga tekanan dari udara akan meningkat dapat tercapai dengan meningkatnya massa jenis udara.

## 2.4.2 Klasifikasi Turbocharger

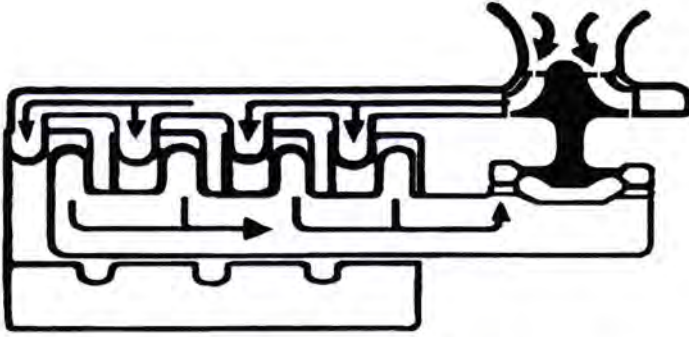
Dalam prakteknya ada tiga metode pengoperasian *turbocharger* yang dipergunakan untuk memanfaatkan energi yang berguna pada gas buang, yaitu:

- 1). Turbocharger sistem tekanan konstan (*constant pressure system*)
- 2). Turbocharger sistem pulsa (*pulse system*)
- 3). Turbocharger sistem converter- pulsa (*pulse-converter system*)

### 2.4.2.1 Turbocharger sistem tekanan konstan (*constant pressure system*)

Pada sistem *turbocharger* tekanan konstan ini adalah bertujuan untuk menjaga atau memelihara agar tekanan gas buang pada motor bakar dalam keadaan konstan dan tekanan yang dihasilkan lebih tinggi dari pada tekanan atmosfer sehingga turbin *turbocharger* dapat beroperasi secara maksimum.

Tujuan pembuatan saluran gas buang yang besar dan lebar adalah untuk meyerap tekanan yang tidak konstan dan oleh karenanya energi kinetik didalam saluran gas buang harus dihilangkan. Berikut ini merupakan gambar *Turbocharger* tekanan konstan .



Gambar 2.1 Turbocharger sistem tekanan konstan ( *constant pressure system* )

Keuntungan memakai *turbocharger* pada metode tekanan konstan ialah :

- 1). Efisiensi Turbin yang tinggi selama aliran tetap ( *steady flow* ).
- 2). Sangat efisien dan konsumsi bahan bakar yang ekonomis pada perbandingan tekanan kompresor dan turbin yang tinggi.
- 3). Kecepatan mesin tidak terbatas oleh gelombang tekanan pada saluran gas buang.
- 4). Saluran Buang yang sederhana.

Kerugian memakai *turbocharger* pada metode tekanan konstan adalah :

- 1). Tidak seluruh Energi gas buang dapat digunakan untuk menggerakkan turbin.
- 2). Energi yang berguna rendah pada turbin
- 3). Membutuhkan saluran gas yang besar.
- 4). Performansi yang rendah pada kecepatan rendah dan tinggi.
- 5). Aselerasi *Turbocharger* yang rendah.

#### 2.4.2.2. Turbocharger sistem pulsa ( *pulse system* )

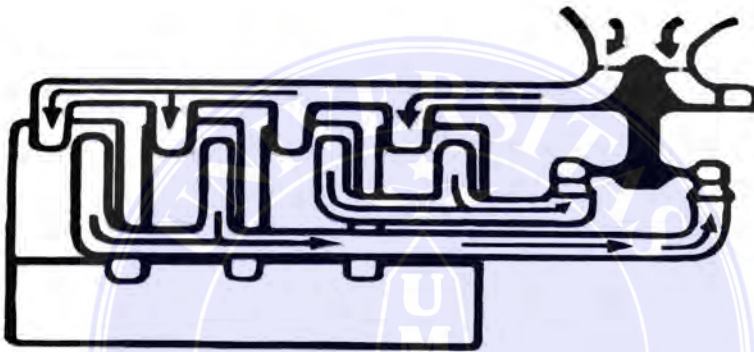
Turbocharger sistem pulsa adalah bertujuan untuk menggunakan energi kinetik didalam proses pembuangan ( *blowdown* ) untuk menggerakkan turbin



*turbocharger*, yang secara idealnya tidak ada terjadi peningkatan tekanan gas buang.

Untuk mencapai tujuan tersebut saluran buang yang segaris haruslah lebih kecil, dan dikelompokkan untuk menerima gas buang dari silinder yang mana mengalir pada waktu yang berbeda. Perubahan kecepatan dan tekanan stagnasi dari pada turbin adalah tidak kondusif untuk turbin yang berefisiensi tinggi.

Berikut ini merupakan gambar sistem *Turbocharger* sistem pulsa



gambar 2.2 Turbocharger sistem pulsa ( *pulse system* )

Pada *turbocharger* dengan sistem pulsa ini, gas buang langsung dialirkan kedalam turbin.

Keuntungan memakai *turbocharger* dengan sistem pulsa ini adalah :

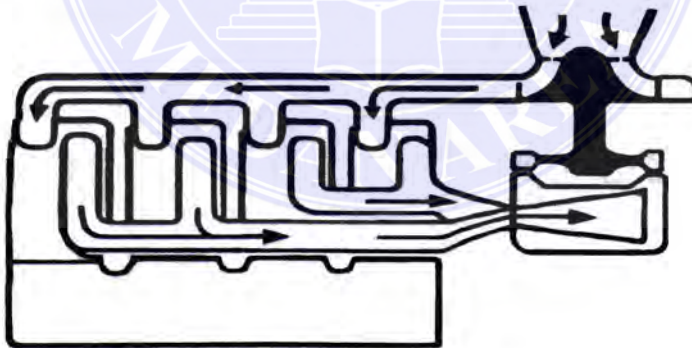
- 1). Sebagian besar energi gas buang dapat digunakan langsung.
- 2). Menghasilkan percepatan putaran mesin yang responsif terhadap pembebanan tiba-tiba.
- 3). Dapat memakai saluran gas buang yang lebih pendek dan diameter yang lebih kecil.
- 4). Aselerasi *Turbocharger* yang tinggi.
- 5). Performansi yang tinggi pada kecepatan rendah dan tinggi.
- 6). Energi yang berguna tinggi pada turbin.

Kerugiannya memakai *turbocharger* dengan sistem pulsa ini adalah :

- 1). Pemanfaatan energi gas buang tidak efektif untuk turbin dengan perbandingan tekanan yang lebih tinggi.
- 2). Efisiensi Turbin yang rendah dengan satu atau dua silinder per turbin yang masuk.
- 3). Saluran buang yang rumit dengan jumlah silinder yang banyak.
- 4) Kemungkinan adanya masalah gelombang tekanan ( pada beberapa mesin )

#### 2.4.2.3. Turbocharger sistem konverter- pulsa ( *pulse-converter system* )

Pada Turbocharger sistem konverter pulsa ini bertujuan untuk mengubah energi kinetik didalam proses pembuangan menjadi peningkatan tekanan pada turbin dengan membuat satu atau lebih diffuser. Berikut ini merupakan gambar *Turbocharger* sistem konverter-pulsa



Gambar 2.3 Turbocharger sistem konverter- pulsa ( *pulse-converter system* )

Keuntungan memakai *Turbocharger* sistem konverter-pulsa adalah Performansi mesin yang bagus untuk mesin yang secara normal dengan pulsa turbocharger dengan dua atau satu silinder per turbin yang masuk.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 28/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

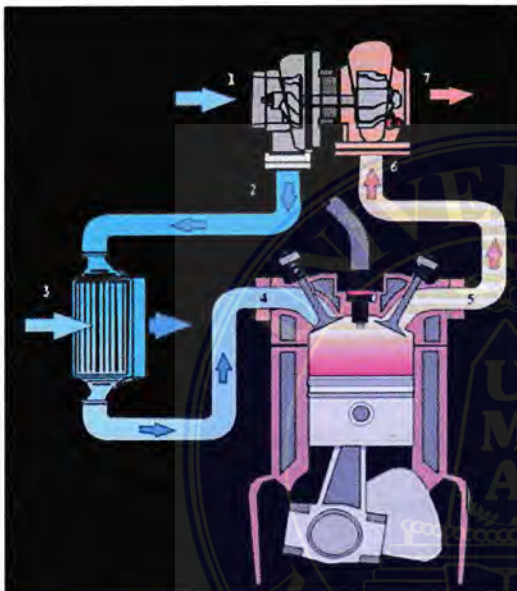
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)28/8/23

Kerugian memakai Turbocharger system konverter-pulsa

- 1). Performansi yang rendah pada kecepatan rendah dan tinggi
- 2). Hanya untuk mesin dengan jumlah silinder tertentu ( empat, delapan dan enambelas)

### 2.4.3 Bagian-Bagian Utama Turbocharger



1. Saluran masuk Kompresor
2. Saluran buang kompresor
3. Pendingin udara
4. Katup masuk
5. Katup buang
6. Saluran masuk Turbin
7. Saluran buang Turbin

Gambar 2.4 Komponen Utama Turbocharger.

### 2.4.4. Turbin

Turbin *turbocharger* digerakkan oleh energi berguna yang dikandung oleh gas buang. Aliran gas buang dari hasil pembakaran bahan bakar dari dalam ruang bakar menggerakkan sudu-sudu turbin/rotor turbin, diserap energinya dan diubah menjadi bentuk energi mekanis ini merupakan daya poros pada turbin yang dipergunakan untuk menggunakan kompresor

Berdasarkan arah aliran fluida, ada dua tipe turbin yang digunakan pada

*turbocharger*, yaitu aliran radial dan turbin aliran aksial. Turbin aliran radial

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 28/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)28/8/23

mempunyai tampak yang sama dengan kompresor sentrifugal, kecuali tentu bahwa gas mengalir secara radial kearah dalam dan buka kearah luar. Turbin aliran radial banyak dipakai dalam ukuran kecil. Turbin ini membentuk rotor yang kompak dan tegar bila digabungkan dengan kompresor sentrifugal. Gabungan ini lazim digunakan untuk mengisi *turbocharger* pada mesin diesel stasioner dan mesin kapal. Juga akhir-akhir ini, untuk kendaraan bermotor diesel dan bensin. Turbin gas aliran radial, di lain pihak tidak cocok untuk gas suhu tinggi yang diperlukan untuk menghasilkan efisiensi termal yang baik. Kecuali ukurannya yang kecil, turbin ini kalah efisien dari turbin aliran aksial.

Ada dua jenis turbin radial menurut konstruksi sudu, yaitu :

- 1). Turbin radial tipe kantilever.
- 2). Turbin radial tipe *90 degree IFR*

Ada berbagai macam turbin radial yang biasanya digunakan pada otomotif, bervariasi mulai dari bentuk sudu turbin, rancangan rumah turbin dan rancangan sudu. Semua hal tersebut sangat berpengaruh pada prestasi yang dihasilkan motor yang menggunakannya, oleh sebab itu banyak faktor yang diperhitungkan untuk mendapatkan suatu turbin sesuai dengan operasi yang diinginkan.

#### 2.4.5. Kompresor

Apabila volume ruangan tertutup suatu gas atau udara diperkecil, maka gas atau udara tersebut akan mengalami kompresi atau pemampatan, sehingga gas atau udara tersebut tekanannya akan naik. Alat yang dipakai untuk memampatkan gas atau udara disebut dengan kompresor. Kompresor menghisap udara dari atmosfer dan memampatkannya, sehingga udara yang dihasilkan merupakan udara

yang bertekanan. Tekanan udara yang dihasilkan sesuai dengan kemampuan kompresor itu sendiri.

Kompresor dapat diklasifikasikan atas dua tipe, yaitu *positive displacemen* dan *dynamic*. Tipe *positive displacement* terbagi atas dua kelompok, yaitu kelompok *rotary* dan *reciprocating*. Sedangkan Tipe *dynamic* dibagi atas dua tipe, yaitu *Sentrifugal* dan *axsial*. Kelompok *rotary* terdiri dari *satu rotor* dan *dua rotor*. *Satu rotor* terbagi atas *vane*, *liquid ring* dan *screw*. *Dua rotor* terdiri dari *screw* dan *roots blower*. Kelompok *reciprocating* terdiri atas *trunk*, *crosshead*, *labyrinth* dan *diaphragm*.

#### 2.4.5.1 Positive displacement.

Kompresor ini tersedia dalam dua jenis: *reciprocating* dan putar/ *rotary*.

##### Kompresor Reciprocating

Kompresor *reciprocating* adalah kompresor yang menghasilkan udara bertekanan akibat adanya gerak naik turun piston dalam silinder. Kompresor *reciprocating* tersedia dalam berbagai konfigurasi; terdapat empat jenis yang paling banyak digunakan yaitu horizontal, vertical, horizontal *balance-opposed*, dan tandem. Jenis kompresor *reciprocating* vertical digunakan untuk kapasitas antara 50 – 150 cfm. Kompresor horizontal *balance opposed* digunakan pada kapasitas antara 200 – 5000 cfm untuk desain multistage dan sampai 10,000 cfm untuk desain satu tahap (Dewan Produktivitas Nasional, 1993). Kompresor udara *reciprocating* biasanya merupakan aksi tunggal dimana penekanan dilakukan hanya menggunakan satu sisi dari piston. Kompresor yang bekerja menggunakan dua sisi piston disebut sebagai aksi ganda.

##### Kompresor Rotary

Kompresor ini terdiri dari:

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 28/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

- Satu Rotor , yang termasuk kompresor rotary ini adalah vane, liquid ring dan screw
- Dua Rotor, yang termasuk jenis kompresor ini adalah Roots blower dan screw

Kompresor beroperasi pada kecepatan tinggi dan umumnya menghasilkan hasil keluaran yang lebih tinggi dibandingkan kompresor reciprocating. Biaya investasinya rendah, bentuknya kompak, ringan dan mudah perawatannya, sehingga kompresor ini sangat populer di industri. Biasanya digunakan dengan ukuran 30 sampai 200 hp atau 22 sampai 150 kW.

#### 2.4.5.2 Kompresor Dinamis ( Dynamic compressor)

Kompresor dinamik terbagi atas dua jenis, yaitu

##### Kompresor Sentrifugal

Didalam permesinan, yang mana juga disebut sebagai turbo-blowers atau turbo-compressors, satu atau lebih impeller dirotasikan pada kecepatan yang tinggi didalam sebuah rumah kompresor. Udara, yang terlempar masuk kedalam center dari impeller, akan ditingkatkan kecepatannya, lalu udara akan terlempar pada ujung luar ( *outer edge* ) karena adanya gaya sentrifugal yang terjadi pada impeller. Udara yang meninggalkan impeller dengan peningkatan tekanan dan kecepatan yang tinggi udara akan memasuki diffuser, pada diffuser akan mengubah energi kinetik udara yang mengalir melewati impeller menjadi energi tekanan.

##### Bagian-Bagian Utama Kompresor Sentrifugal

- a. Impeller. Gaya yang bekerja pada impeller disebabkan adanya laju perubahan momentum udara yang melewati permukaan sudu-sudu.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 28/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)28/8/23

- b. Difuser adalah sebuah cincin yang mengelilingi dan mempunyai luas penampang laluan yang secara kontiniu memperbesar untuk mengubah energi kinetik udara yang melewati impeller menjadi tekanan. Difuser yang paling efisien mempunyai sudu-sudu radial yang tetap untuk memaksa udara mengalir secara radial atau mengelilingi sebagaimana yang direncanakan. Dengan peningkatan laluan udara kecepatan radial akan berkurang dan tekanan akan naik, sebab energi total udara adalah konstan.
- c. Rumah kompresor. Rumah seputar kompresor diffuser digunakan untuk mengarahkan aliran tekanan tinggi kearah yang dituju dan pada beberapa disain rumah composer berfungsi juga sebagai diffuser.

### Kompresor Aksial

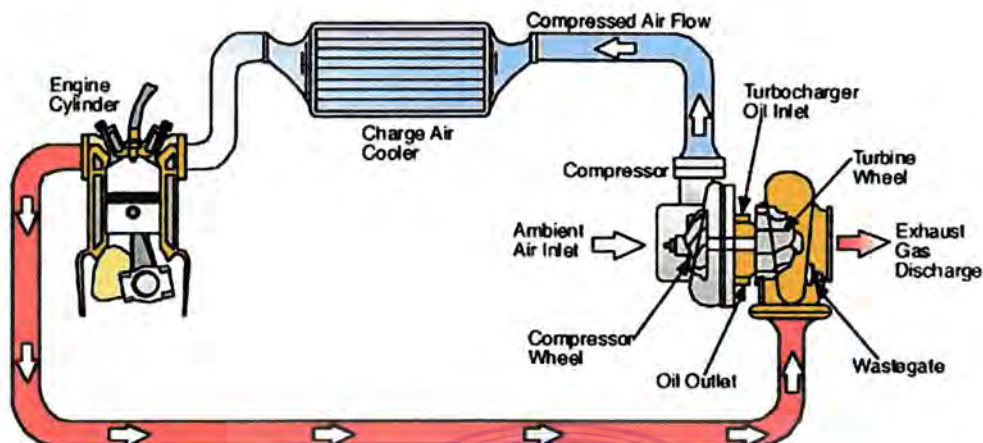
Pada kompresor aliran aksial udara atau gas mengalir dalam arah yang aksial melewati kompresor melalui alternate set dari perputaran sudu rotor dan vane stator, masing-masing dari pasangan ini, satu berputar dan yang satu lagi diam pada saat langkah kompresi.

Prinsip kerja dari kompresor aliran aksial ini adalah kenaikan tekanan udara disebabkan oleh bentuk/penampang aerofoildari sudu rotor. Kecepatan yang tinggi kemudian diberikan keudara oleh pergerakan sudu yang akan mendorong udara masuk kedalam stator, setelah itu sekali lagi oleh set yang lainnya dari perputaran sudu dan selanjutnya melalui kompresor.

### 2.4.6 Prinsip kerja dari sistem Turbocharging

Prinsip kerja Turbocharger adalah merubah energi panas/kalor dari gas buang menjadi energi mekanis untuk menaikkan tekanan udara yang masuk ke

intake manifold (saluran masuk udara bilas) dapat dilihat seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.5 Prinsip kerja Turbocharger

Disatu sisi, proses pemasukan udara dalam silinder relatif konstan (berhubungan dengan desain awal sebuah mesin) terhadap putaran mesin (kecuali mesin dengan variable valve timing (VVT) yang kapasitas udaranya bisa diatur). Sehingga proses penambahan bakar dalam silinder tidak akan efektif lagi untuk meningkatkan performa mesin jika tanpa dibaringi dengan penambahan udara dalam silinder (ingat, optimasi pembakaran hanya terjadi pada daerah  $ER=1$ ).

Proses penambahan udara kedalam silinder dipengaruhi oleh beberapa parameter:

1. Densitas udara (dipengaruhi oleh temperature),
2. Kecepatan udara masuk (dipengaruhi oleh tekanan udara masuk)
3. Bukaan maksimal valve
4. Waktu bukaan valve



Dengan asumsi No. 2 dan 3 konstan dan memiliki batasan yang ketat, dan berkaitan dengan desain mesin secara global, sehingga hanya point no 1 dan 2 yang dapat dijadikan sebagai “agen perubahan”.

Dengan menggunakan prinsip kontinuitas dari mekanika fluida,  $Q$  (kapasitas udara) =  $V$  (kecepatan) x  $A$  (open area), maka hanya dengan merubah kecepatan udara masuk, kapasitas udara dalam silinder akan meningkat (dengan asumsi, densitas konstan). Dengan menggunakan alat yang dapat meningkatkan kecepatan aliran udara dalam silinder (misal blower) maka prinsip ini dapat digunakan untuk menaikkan jumlah udara dalam silinder.

Dengan menggunakan turbocharger yang memanfaatkan tekanan gas buang untuk menggerakkan turbin dan kompresor, tekanan dan kecepatan udara yang masuk ke ruang bakar akan meningkat dan dengan sendirinya jumlah udara yang bisa ditampung dalam silinder juga meningkat. Meningkatnya jumlah udara dalam silinder, memungkinkan kita untuk menambahkan bahan bakar lebih banyak lagi, sehingga power yang dihasilkan oleh silinder juga meningkat.

Problem, dengan meningkatnya tekanan udara hasil kompresi dari kompresor akan meningkatkan temperatur udara itu sendiri sesuai dengan persamaan lain udara sebagai gas ideal dan memenuhi persamaan berikut ini

$$PV = nRT \dots\dots\dots (2.1)$$

Peningkatan temperatur udara tersebut akan menurunkan densitas udara mendekati densitas sebelum terkompresi, sehingga fungsi turbocharger tidak “begitu” efektif untuk meningkatkan jumlah udara dalam silinder. Solusinya, temperatur udara setelah dikompres harus diturunkan untuk meningkatkan densitas.

## 2.5 Dasar Teori

### 2.5.1 Tekanan Indikator Rata – Rata

Tekanan indikator rata-rata untuk siklus gabungan dapat dicari dengan rumus berikut ini :

$$P_i = \varphi P_{it} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

$\varphi = 0,95 \sim 0,97$  faktor koreksi dari diagram untuk mesin 4 langkah

$\varphi = 0,96 \sim 0,98$  faktor koreksi dari diagram untuk mesin 2 langkah

Dalam hal ini diambil faktor koreksi sebesar  $\varphi = 0,95$  untuk mesin diesel 4 langkah

$P_i$  = Tekanan indikator rata-rata

$P_{it}$  = Tekanan indikator

### 2.5.2 Tekanan Efektif rata-rata

Tekanan efektif rata-rata dapat dicari dengan rumus

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

$\eta_m$  = Efisiensi mekanis yang menggunakan turbocharger 0,8 ~0,88 untuk, dalam hal ini 0,88 yang direncanakan.

$P_e$  = Tekanan efektif rata-rata ( kg/cm<sup>2</sup>)

$P_i$  = Tekanan indikator rata-rata ( kg/cm<sup>2</sup>)

### 2.5.3 Kerja indikator

Kerja indikator dapat dicari dengan rumus :

$$W_i = P_i V_d \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

- $W_i$  = Kerja indikator ( kg/m<sup>2</sup>)
- $P_i$  = Tekanan indikator rata-rata ( kg/m<sup>2</sup>)
- $V_d$  = Volume langkah torak (m<sup>3</sup>)

Dimana :

$$V_d = \frac{\pi}{4} D^2 L \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

- $D$  = Diameter piston ( m )  
Dalam hal ini diameternya adalah 0,093 m
- $L$  = Panjang langkah piston (m)  
Dalam hal ini panjang langkahnya adalah 0,092 m
- $\pi$  = 3,14

### 2.5.4 Kerja efektif

Kerja efektif dapat dicari dengan rumus :

$$W_e = P_e V_d \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :  $W_e$  = Kerja efektif

### 2.5.5 Kerja mekanik yang hilang

Kerja mekanik yang hilang dapat dicari dengan rumus

$$W_e = W_i - W_m \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :  $W_m$  = Kerja mekanik yang hilang

### 2.5.6 Daya indikator

Daya indikator dapat dicari dengan rumus

$$N_i = \frac{10^4 p_i V_d n i z}{60 \times 75} \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

- $N_i$  = Daya indikator ( hp)
- $P_i$  = Tekanan indikator rata-rata (kg/cm<sup>2</sup>)
- $V_d$  = Volume langkah torak (m<sup>2</sup>)
- $z$  = mesin 4 langkah  $z = 1/2$  ,mesin 2 langkah  $z = 1$
- $n$  = Putaran mesin ( rpm)
- $i$  = Jumlah silinder mesin

### 2.5.7 Daya efektif

Daya indikator dapat dicari dengan rumus

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

- $\eta_m$  = Efisiensi mekanis
- $N_i$  = Daya indikator ( hp)
- $N_e$  = Daya efektif mesin (hp)

### 2.5.8 Konsumsi bahan bakar tiap jamnya

Konsumsi bahan bakar dapat dicari dengan rumus

$$+ \quad \eta_b = \frac{632 N_b}{F_h Q_l} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan ;

$\eta_b$  = Brake termal efisiensi

$$= \eta_m \eta_i \eta_r$$

$N_b$  = Daya efektif poros ( hp)

$F_h$  = Konsumsi bahan bakar tiap jam ( kg/hr)

$Q_l$  = Kalor panas bawah (LHV) = 10505,5(K kcal/kg )

### 2.5.9 Pemakaian bahan bakar spesifik

Pemakaian bahan bakar spesifik dapat dicari melalui rumus berikut ini ;

$$F = \frac{F_h}{N_e} \dots\dots\dots (2.11)$$

### 2.5.10 Persentase Kenaikan Daya Efektif

Persentase kenaikan daya dengan menggunakan turbocharger adalah

$$\% Ne = \left| \frac{N_N - N_T}{N_N} \right| \times 100 \% \dots\dots\dots (2.12)$$

### 2.5.11 Persentase Penurunan Pemakaian Bahan Bakar Spesifik

Dari hasil perhitungan diketahui bahwa motor diesel dengan turbocharger pemakaian bahan bakar spesifiknya lebih rendah dan dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$\% F = \left| \frac{F_N - F_T}{F_N} \right| \times 100 \% \dots\dots\dots (2.13)$$

### 2.5.12 Efisiensi Turbocharger

Efisiensi turbocharger dapat diuraikan sesuai dengan persamaan berikut

ini ;

$$\eta_{tc} = \left[ \frac{T_{01}}{T_{03}} \right] \frac{C_{pa}}{C_{pe}} \frac{\left[ \left( \frac{P_{02}}{P_{01}} \right)^{\gamma_a - 1 / \gamma_a} - 1 \right]}{\left[ 1 - \left( \frac{P_4}{P_{03}} \right)^{\gamma_e - 1 / \gamma_e} \right]} \left[ 1 + \frac{1}{AR} \right]$$

..... (2.13)

Keterangan :

$T_{01}$  = Temperatur masuk kompresor ( K )

$T_{03}$  = Temperatur masuk turbin ( K )

AF = Air-fuel ratio = 31,45

$C_{pa}$  = Kalor panas spesifik udara = 1,005 ( kJ/kg K )

$C_{pe}$  = Kalor panas spesifik gas = 1,147 ( kJ/kg K )

$P_{01}$  = Tekanan masuk kompresor ( Pa )

$P_{02}$  = Tekanan masuk silinder ( Pa )

$P_{03}$  = Tekanan masuk turbin turbocharger ( Pa )

$P_{04}$  = Tekanan keluar turbin turbocharger ( Pa )

$\gamma_a$  = Eksponen isentropik udara = 1,4

$\gamma_e$  = Eksponen politropik gas = 1,333

## BAB III

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh Turbocharger terhadap Daya Motor Bakar Diesel baik yang sebelum menggunakan turbocharger dan sesudah menggunakan turbocharger.

#### 3.1. Tempat dan waktu

- Penelitian ini dilaksanakan setelah tanggal pengesahan usulan oleh pengelola Program Studi Teknik Mesin sampai dinyatakan selesai.
- Penelitian ini serta kegiatan menganalisa dilakukan di PT. Auto Kencana Andalas (Ford Medan), rumah, rental, dan perpustakaan.

#### 3.2. Bahan dan Peralatan

Bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian:

3.2.1. Motor Diesel yang menggunakan turbocharger memiliki data-data sebagai berikut:

Merek dan type mesin	: Ford Ranger DC 4x4 WL AT
Bahan bakar	: Solar
Silinder	: 4 in- line
Kapasitas silinder	: 2499cc
Perbandingan kompresi	: 21,6
Diameter x langkah (mm x mm)	: 93 x 92
Daya Maksimum (PS(kW)/rpm)	: 109(80)/3500
Torsi maximum (kgm/rpm)	: 27,1/2000

3.2.2. Motor Diesel yang tidak menggunakan turbocharger memiliki data-data sebagai berikut:

Merek dan type mesin	: Ford Ranger SC 4x2 WL AT
Bahan bakar	: Solar
Susunan silinder	: 4 in-line
Kapasitas Silinder	: 2499
Perbandingan kompresi	: 21,6
Diameter x Langkah (mm x mm)	: 93 x 93
Daya Maksimum (PS(kW)/rpm)	: 90 (66)/4100
Torsi Maksimum (kgm/rpm)	: 17,3/2500

3.2.3. Spesifikasi Dynamometer yang digunakan memiliki data-data sebagai berikut:

Type	: Zollner/3n19A
Perporma maksimal	: 120 KW
Kecepatan maksimal	: 7500 rpm
Torsi maksimal	: 525 Nm
Jumlah impeler	: 1
Arah pengatur rem	: 1 arah
Panjang tuas teoritis	: 0,9549 m

3.2.4. Turbocharger yang digunakan pada kendaraan Ford Ranger memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Jumlah Tingkat	: 1
Daya	: 27,58 hp
Putaran	: 92000 rpm
Diameter poros turbin	: 8 mm
Diameter poros kompresor	: 8 mm
Jumlah sudu turbin	: 8 sudu



### 3.3 Metode Penelitian

Penulisan Tugas Sarjana ini dilaksanakan dengan terlebih dahulu penulis melakukan studi literatur untuk memperoleh data-data yang lengkap mengenai objek yang akan dianalisa. Dalam hal ini objek yang penulis analisa motor bakar diesel empat silinder.

Setelah melakukan studi literatur, tahap selanjutnya adalah pelaksanaan tugas sarjana, yaitu dengan mengadakan konsultasi dengan dosen pembimbing, dan selanjutnya di teruskan dengan pengambilan data, analisa hasil dan penulisan laporan.

Tahap terakhir dari pelaksanaan tugas sarjana ini adalah pelaksanaan seminar proposal, seminar hasil, dan sidang. Pelaksanaan seminar diikuti oleh dosen pembimbing, dosen pembeding, dimana tujuan pelaksanaannya adalah untuk meminta masukan dan kritikan yang bersipat membangun untuk bahan perbaikan bagi penulis dalam penulisan tugas sarjana ini.

Adapun data-data yang diambil dalam pengambilan data adalah:

#### 3.4 Data-data yang diambil dari hasil penelitian

##### 3.4.1 Performansi Motor Diesel Tanpa Turbocharger.

Untuk karakteristik motor diesel tanpa menggunakan turbocharger diambil dengan upaya mendekati performansi motor diesel Ford Ranger SC 2500cc 4 silinder 4 langkah.

##### 3.4.2. Performansi mesin dengan menggunakan Turbocharger.

Untuk karakteristik motor diesel dengan menggunakan turbocharger diambil dengan melakukan pengujian performansi motor diesel Ford Ranger DC 2500cc 4 silinder 4 langkah dengan menggunakan turbocharger.

### 3.5 Grafik dari hasil pengujian

Setelah melakukan beberapa pengujian maka akan didapatkan data-data yang dibutuhkan. Dalam pengujian ini penulis membuat grafik yang mana untuk mempermudah kita mengetahui pengaruh yang terjadi setelah menggunakan turbocharger.

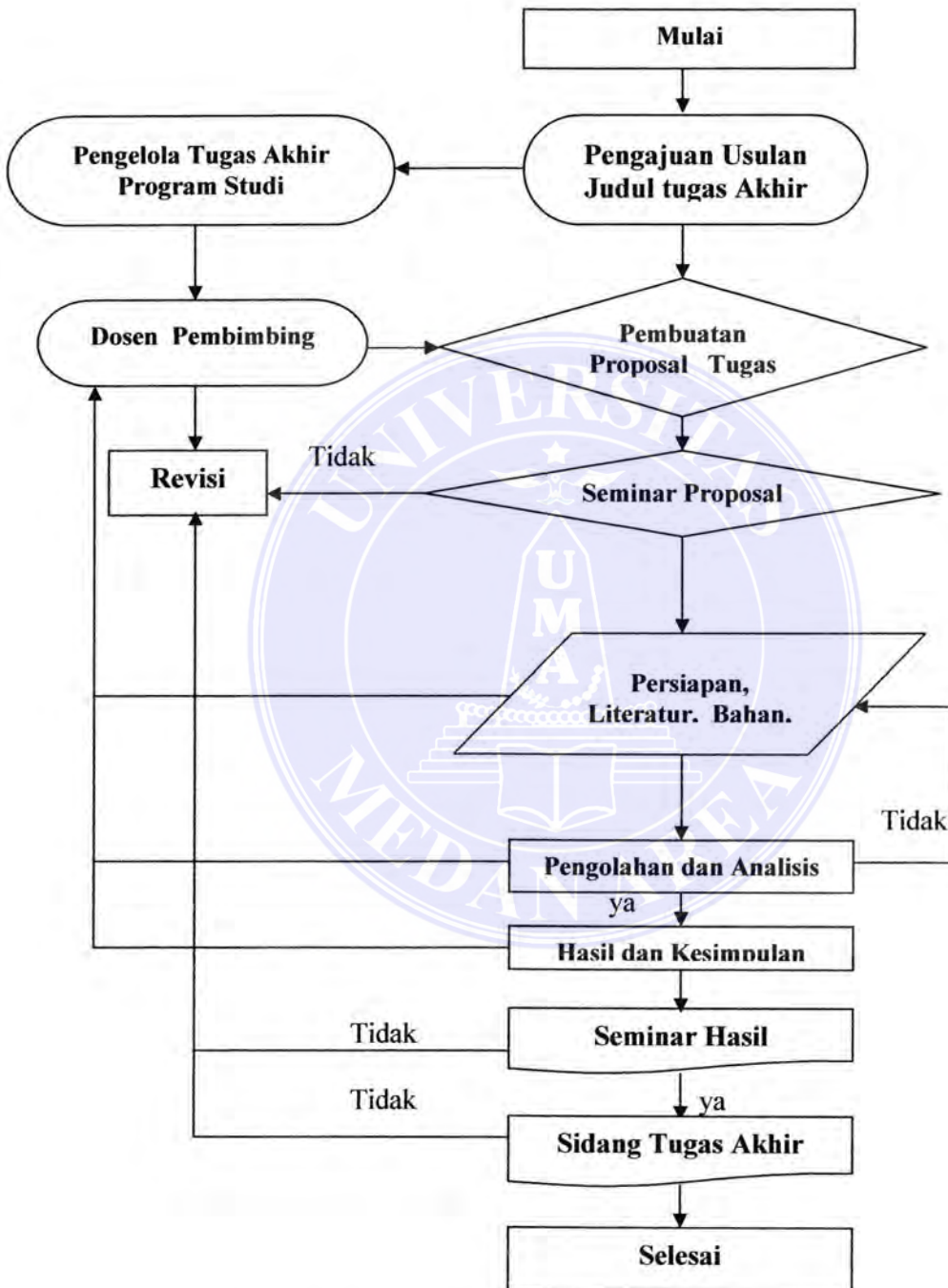
### 3.6 Metode pengambilan data

Analisa dilakukan terdiri dari beberapa tahapan pekerjaan, antara lain:

- Menghidupkan motor pada putaran idle.
- Menghidupkan pompa air dynamometer lalu membuka kran pemasukan air ke dynamometer agar tekanan air masuk sebesar  $2,5 \pm 0,5$  bar dengan posisi pengereman 0 dan putaran motor idle.
- Menaikkan putaran motor sampai 4000rpm dengan kondisi tanpa beban (00) dan melakukan pencatatan setelah keseimbangan tercapai.
- Memberikan beban pada motor dengan meningkatkan pembebanan supaya didapatkan putaran motor sebesar 2900rpm, 2500rpm, 2100rpm, 1700rpm, 1300rpm, mencatat perubahan beban pada dynamometer, kelembaban udara, temperatur dalam ruang, temperatur air radiator, tekanan pelumas, tekanan udara yang keluar dari kompresor, waktu konsumsi bahan bakar tiap 50cc.
- Membebaskan beban dengan mengembalikan posisi pembebanan ke 0% setelah percobaan selesai.
- Mengulang langkah 2 sampai 6 sebanyak dua kali, setelah kondisi awal percobaan yang pertama sehingga mendapatkan tiga data percobaan.

### 3.7 Diagram Alir Pelaksanaan Analisa

Pelaksanaan analisa seperti terlihat pada diagram alir (Gambar 3.1)



Gambar 3.1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

### 3.8 Jadwal Kegiatan Analisa

Analisa ini direncanakan selesai mulai dari persiapan hingga selesai dalam waktu enam bulan. Agar tugas akhir ini dapat dilakukan dengan baik maka dibuatlah/disusun suatu jadwal pelaksanaan seperti di bawah ini:

No	Kegiatan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Persiapan :- Tentative Usulan Analisa						
2	Pembuatan Proposal						
3	Seminar Proposal						
4	Persiapan: - Literatur, - Bahan - Alat						
5	Proses Analisa Data,						
6	Pengambilan Data dan Pengolahan dan Analisis Data						
7	Hasil dan Simpulan						
8	Penyusunan/Pembuatan Laporan						
9	Seminar Hasil						
10	Perbaikan, Penyempurnaan Tugas Akhir						
11	Sidang Tugas Akhir (Meja Hijau)						

Gambar 3.2. Jadwal kegiatan penelitian.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

##### 5.1.1 Motor Bakar

- a. Tekanan efektif rata-rata pada motor diesel yang menggunakan turbocharger lebih tinggi dibandingkan tekanan efektif motor diesel tanpa turbocharger, dengan konstruksi mesin yang sama, tekanan efektif rata-rata yang tinggi diperoleh karena kerapatan udara masuk ruang bakar dengan turbocharger lebih tinggi daripada kerapatan udara masuk tanpa menggunakan turbocharger yang hanya menggunakan kerapatan udara atmosfer saja.
- b. Dengan meningkatnya tekanan efektif rata-rata maka meningkat pula daya efektif ( $N_e$ ) yaitu sebesar 100,98 hp, sedangkan untuk motor diesel tanpa turbocarjer daya efektif ( $N_e$ ) yang dihasilkan adalah 67,72 hp sehingga persentase peningkatan daya yang diperoleh adalah sebesar 33 %.
- c. Motor diesel yang menggunakan turbocharger diperoleh konsumsi bahan bakar spesifiknya adalah 103 gr/hp-hr, sedangkan untuk motor diesel tanpa turbocharger konsumsi bahan spesifiknya adalah 226 gr/hp-hr oleh karena itu konsumsi bahan bakar spesifik motor diesel menggunakan turbocharger menurun sebesar 54 %.

#### 5.2 Saran

1. Penambahan Turbocharger pada kendaraan dapat memperbesar daya keluaran kendaraan tersebut, maka sangat disayangkan apabila suatu motor

bakar tidak memiliki turbocharger apabila dilihat dari cara kerjanya yang sangat efisien.

2. Pemakaian turbocharger pada kendaraan sangatlah penting, karena dapat menambah daya keluaran motor diesel yang digunakan. Karena dengan turbocharger pemakaian bahan bakar spesifik juga akan menurun. Jadi pemakaian turbocharger ini sangat cocok untuk kendaraan.



## DAFTAR PUSTAKA

1. Arismunandar, W, "Motor Bakar Torak", Cetakan Ketiga, Penerbit ITB Bandung, 1988.
2. Arismunandar, W, "Motor Diesel Putaran Tinggi", Cetakan Kelima, PY Pradnya Paramita, Jakarta, 1983.
3. Boyce, Maherwan P, "Gas Turbine Engineering Handbook", Gulf Publisher Company, Houston, Texas 2002.
4. Sudarman, MT, "Siklus Daya Thermal" Cetakan Pertama, Universitas Muhammadiyah, Malang, 2004.
5. Sitompul, Darwin, " Prinsip-Prinsip Konversi Energi" Cetakan Pertama, PT. Gelora Aksara Pratama, Medan, 1989.
6. [www.ford.co.id](http://www.ford.co.id)
7. [www.motorcraftservice.com](http://www.motorcraftservice.com)