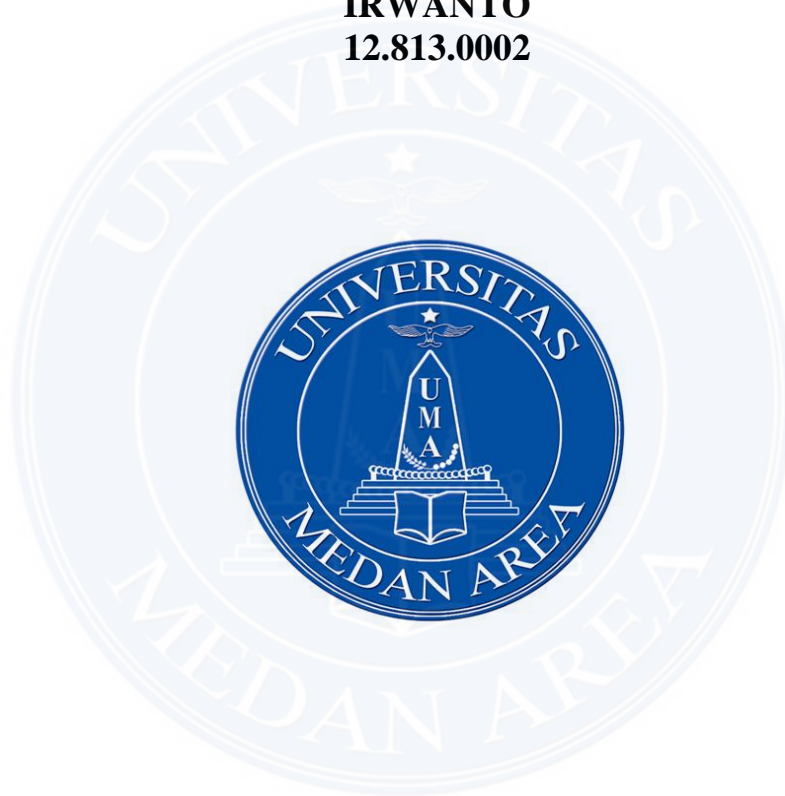


**KAJIAN STUDI TURBOCHARGER TERHADAP
PERFORMANSI MOTOR BAKAR DIESEL
DAYA 150 PS**

SKRIPSI

OLEH:

**IRWANTO
12.813.0002**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2017**

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan pengaturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 17 Agustus 2017



Irwanto
12.813.0002

Judul Skripsi : Kajian Studi Turbocharger Terhadap Performansi Motor Bakar

Diesel Daya 150 PS

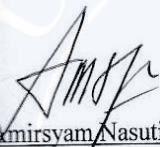
Nama : Irwanto

NPM : 12.813.0002


Fakultas : Teknik

Jurusan : Mesin

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


H. Amirsvam Nasution, M.T


Pembimbing I


Ir. Husin Ibrahim, M.T


Pembimbing II

Mengetahui

Dekan


Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc)

Ka. Program Studi


(Bobby Umroh, S.T, M.T)

Tanggal Lulus :

Judul Skripsi : Kajian Studi Turbocharger Terhadap Performansi Motor Bakar
Diesel Daya 150 PS

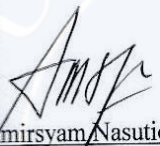
Nama : Irwanto


NPM : 12.813.0002

Fakultas : Teknik


Jurusan : Mesin


Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


Ir. H. Amirsyam Nasution, M.T
Pembimbing I


Ir. Husin Ibrahim, M.T
Pembimbing II

Mengetahui


Dekan
Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc

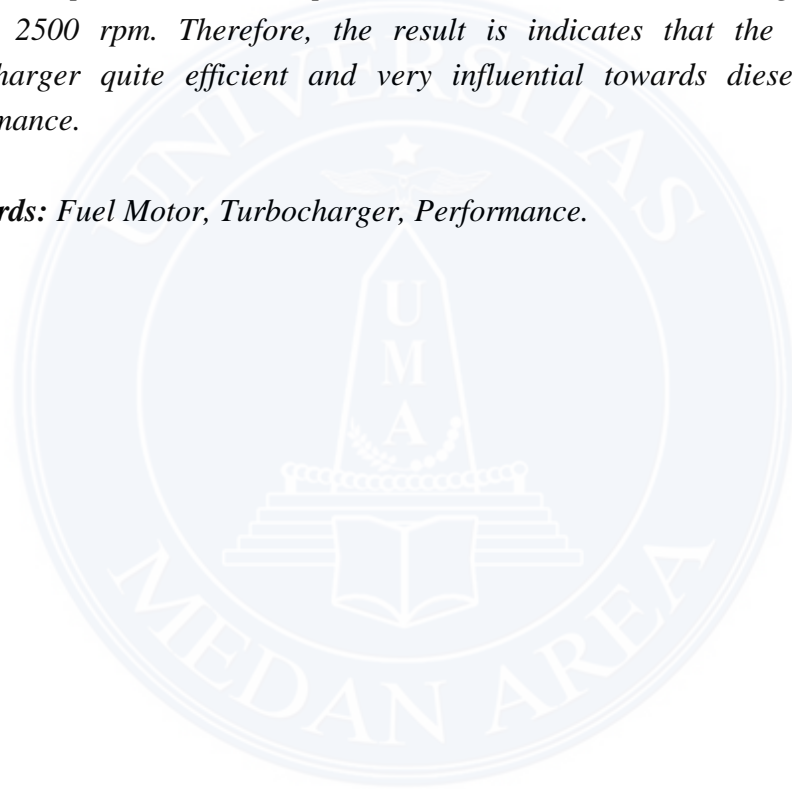

Ka. Program Studi
(Bobby Umroh, S.T, M.T)

Tanggal Lulus :

ABSTRACT

Essentially, a four-stroke diesel engine which is performing with the turbocharger has the higher adsorption pressure compared to the atmosphere around it. This is due to the atmosphere was pushed into the cylinder as long as the adsorption step. The motive of the turbocharger utilization is to improve the motor power (30-80%), later on, the research result is gained the increased effective power as much as 64.65% through the turbocharger rotates at speeds 2500 rpm up to the henceforward of the total cylinder and equal to machine dimension. Hence, the fuel consumption decreases up to 35.35% while the turbocharger rotates at speeds 2500 rpm. Therefore, the result is indicates that the utilization of turbocharger quite efficient and very influential towards diesel fuel motor performance.

Keywords: *Fuel Motor, Turbocharger, Performance.*



ABSTRAK

Pada prinsipnya sebuah motor diesel empat langkah yang bekerja dengan turbocharger tekanan isapnya lebih tinggi dari tekanan atmosfer sekitarnya. Hal ini diperoleh dengan jalan memaksa udara atmosfer masuk kedalam silinder selama langkah isap. Tujuan dari Penggunaan turbocharger adalah untuk memperbesar daya motor (30 – 80%), sehingga dari hasil riset ini didapat daya efektif akan meningkat sebesar 64,65 % dengan memakai turbocharger pada putaran 2500 rpm s/d seterusnya dengan jumlah silinder dan ukuran/dimensi mesin yang sama. Sehingga konsumsi bahan bakar spesifik menurun sebesar 35,35 % pada putaran 2500 rpm s/d seterusnya untuk motor bakar dengan turbocharger ini. Dengan hasil ini boleh dikatakan bahwa penggunaan turbocharger sangat efisien dan sangat berpengaruh terhadap performansi motor bakar diesel tersebut.

Kata kunci : Motor bakar, Turbocharger, Performansi

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada ALLAH SWT atas segala karuniaNya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah Motor Bakar dengan judul Kajian Studi Turbocharger Terhadap Performansi Motor Bakar Diesel Daya 150 PS.

Terwujudnya penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang telah mendorong dan membimbing penulis, baik tenaga, ide-ide, maupun pemikiran. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

Yth. Bapak Bobby Umroh, ST, MT selaku Ketua Program Studi Universitas Medan Area yang telah menyetujui dan menerima skripsi penulis.

Yth. Bapak Ir. H. Amirsyam Nasution, MT dan Bapak Ir. Husin Ibrahim, MT selaku Dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu selama proses pengajuan judul sampai dengan selesainya pembuatan skripsi ini.

Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya.

Semoga skripsi ini bermanfaat.

Medan, 17 Agustus 2017

Penulis

(Irwanto)

DAFTAR ISI

ABSTRAK	Error! Bookmark not defined.
ABSTRACT	Error! Bookmark not defined.
RIWAYAT HIDUP	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISTILAH	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.3.1 Tujuan Umum	2
1.3.2 Tujuan Khusus	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Motor Bakar Diesel	4
2.2 Turbocharger	6
2.3 Klasifikasi Turbocharger	Error! Bookmark not defined.
2.3.1 Turbocharger sistem tekanan konstan (<i>constant pressure system</i>)	Error! Bookmark not defined.
2.3.2 Turbocharger sistem pulsa (<i>pulse system</i>)	10
2.3.3 Turbocharger sistem converter - pulsa (<i>pulse-converter system</i>)	11
2.4 Jenis Turbocharger	12
2.4.1 Wastegate	12
2.4.2 Variable Geometry Turbocharger (VGT)	14
2.5 Prinsip Kerja Turbocharger	16
2.6 Alasan Pemakaian Turbocharger	Error! Bookmark not defined.
2.7 Dasar Teori	19

2.7.1 Tekanan Indikator Rata-Rata	19
2.7.2 Tekanan Efektif Rata-Rata.....	19
2.7.3 Kerja Indikator	20
2.7.4 Kerja Efektif.....	20
2.7.5 Kerja Mekanik Yang Hilang	20
2.7.6 Daya Indikator.....	21
2.7.7 Daya Efektif	21
2.7.8 Konsumsi Bahan Bakar.....	22
2.7.9 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.....	22
2.7.10 Persentase Kenaikan Daya Efektif.....	22
2.7.11 Persentasi Penurunan Pemakaian Bahan Bakar Spesifik.....	23

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu	24
3.2 Bahan dan Peralatan.....	25
3.2.1 Objek Penelitian.....	25
3.2.2 Data Spesifikasi.....	25
3.2.3 Peralatan.....	26
3.3 Prosedur Penelitian.....	27
3.4 Diagram Alir	29

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Idealisasi Terhadap Analisa Termodinamika.....	30
4.2 Analisa Termodinamika Pada Motor Bakar.....	31
4.3 Analisa Termodinamika Pada Motor Bakar Diesel Tanpa Turbocharger... 32	
4.3.1 Kondisi Udara Masuk	33
4.4 Analisa Termodinamika Pada Motor Baka Diesel Dengan Turbocharger.. 41	
4.4.1 Kondisi Udara Masuk Dan Keluar Kompresor.....	41
4.4.2 Perhitungan Termodinamika.....	46
4.5 Performansi Motor Bakar Diesel Tanpa Turbocharger.....	55
4.5.1 Tekanan Indikator Rata – Rata.....	55

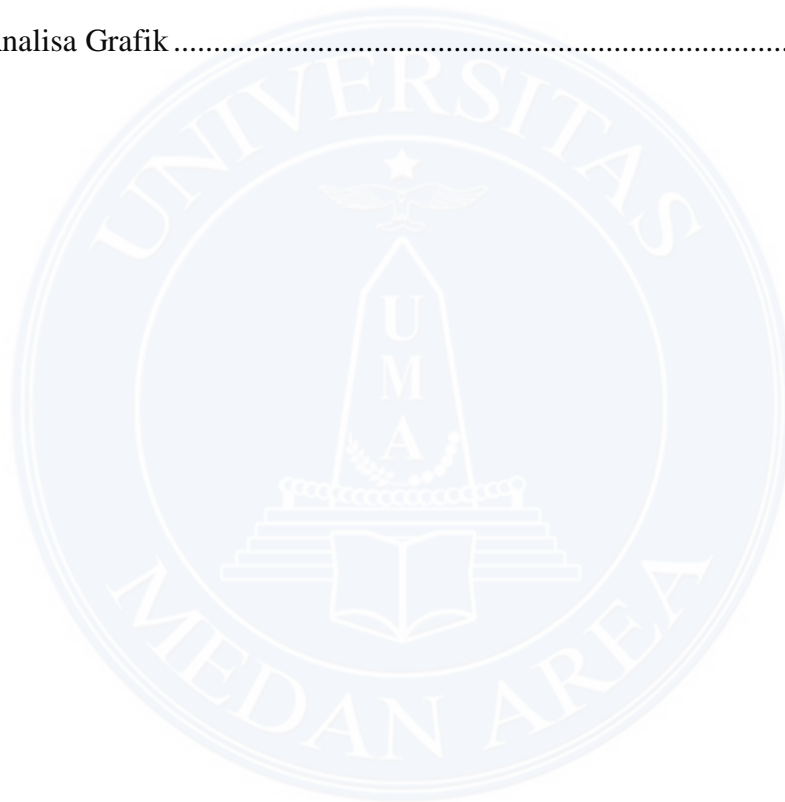
4.5.2 Tekanan Efektif Rata-Rata.....	56
4.5.3 Kerja Indikator	56
4.5.4 Kerja Efektif.....	57
4.5.5 Kerja Mekanik Yang Hilang.....	58
4.5.6 Daya Indikator Pada Putaran 1500 RPM	58
4.5.7 Daya Efektif	59
4.5.8 Konsumsi Bahan Bakar.....	59
4.5.9 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik	61
4.5.10 Daya Indikator Pada Putaran 2000 RPM	61
4.5.11 Daya Efektif	62
4.5.12 Konsumsi Bahan Bakar.....	62
4.5.13 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik	64
4.5.14 Daya Indikator Pada Putaran 2500 RPM	64
4.5.15 Daya Efektif	65
4.5.16 Konsumsi Bahan Bakar.....	66
4.5.17 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik	67
4.5.18 Daya Indikator Pada Putaran 3000 RPM	68
4.5.19 Daya Efektif	68
4.5.20 Konsumsi Bahan Bakar.....	69
4.5.21 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik	71
4.5.22 Daya Indikator Pada Putaran 3700 RPM	71
4.5.23 Daya Efektif	72
4.5.24 Konsumsi Bahan Bakar.....	72
4.5.25 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik	74
4.5.26 Daya Indikator Pada Putaran 4000 RPM	74
4.5.27 Daya Efektif	75
4.5.28 Konsumsi Bahan Bakar.....	76
4.5.29 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik	77
4.5.30 Daya Indikator Pada Putaran 4100 RPM	78
4.5.31 Daya Efektif	79
4.5.32 Konsumsi Bahan Bakar.....	81

4.5.33 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik	81
4.6 Performansi Motor Bakar Diesel Dengan Turbocharger	81
4.6.1 Tekanan Indikator Rata – Rata.....	82
4.6.2 Tekanan Efektif Rata-Rata.....	83
4.6.3 Kerja Indikator	84
4.6.4 Kerja Efektif.....	84
4.6.5 Kerja Mekanik Yang Hilang	84
4.6.6 Daya Indikator Pada Putaran 1500 RPM	85
4.6.7 Daya Efektif	86
4.6.8 Konsumsi Bahan Bakar.....	87
4.6.9 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik	88
4.6.10 Daya Indikator Pada Putaran 2000 RPM	88
4.6.11 Daya Efektif	89
4.6.12 Konsumsi Bahan Bakar.....	91
4.6.13 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik	91
4.6.14 Daya Indikator Pada Putaran 2500 RPM	92
4.6.15 Daya Efektif	92
4.6.16 Konsumsi Bahan Bakar.....	94
4.6.17 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik	94
4.6.18 Daya Indikator Pada Putaran 3000 RPM	95
4.6.19 Daya Efektif	95
4.6.20 Konsumsi Bahan Bakar.....	97
4.6.21 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik	97
4.6.22 Daya Indikator Pada Putaran 3700 RPM	98
4.6.23 Daya Efektif	99
4.6.24 Konsumsi Bahan Bakar.....	100
4.6.25 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik	101
4.6.26 Daya Indikator Pada Putaran 4000 RPM	101
4.6.27 Daya Efektif	102
4.6.28 Konsumsi Bahan Bakar.....	104
4.6.29 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik	104
4.6.30 Daya Indikator Pada Putaran 4100 RPM	105

4.6.31 Daya Efektif	105
4.6.32 Konsumsi Bahan Bakar	107
4.6.33 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik	107
4.6.34 Persentase Kenaikan Daya Efektif	107
4.6.35 Persentasi Penurunan Pemakaian Bahan Bakar Spesifik	108
4.7 Tabel Hasil Pengujian Terhadap Beberapa Putaran	108
4.7.1 Daya Motor Bakar Diesel Tanpa Turbocharger	108
4.7.2 Daya Motor Bakar Diesel Dengan Turbocharger	108
4.7.3 Perbandingan Motor Bakar Diesel Tanpa dan Turbocharger	109
4.7.4 Analisa Grafik	109
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	111
5.2 Saran	112
DAFTAR PUSTAKA	113
LAMPIRAN	114

DAFTAR TABEL

3.1 Jadwal pelaksanaan penelitian	24
4.7.1 Daya Motor Bakar Diesel Tanpa Turbocharger	108
4.7.2 Daya Motor Bakar Diesel Dengan Turbocharger	108
4.7.3 Perbandingan Motor Bakar Diesel Tanpa dan Dengan Turbocharger	109
4.7.4 Analisa Grafik	109



DAFTAR GAMBAR

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Gambar 2.1 Turbocharger	7
Gambar 2.2 Skema instalasi sederhana turbocharger dengan intercooler.....	8
Gambar 2.3 Turbocharger sistem tekanan konstan (constant pressure).....	9
Gambar 2.4 Turbocharger sistem pulsa (pulse system)	10
Gambar 2.5 Turbocharger sistem converter-pulsa (pulse-converter system).	11
Gambar 2.6 Mekanisme Wastegate.....	13
Gambar 2.7 Variable Geometry Turbocharger (VGT).....	15
Gambar 2.8 Skema instalasi sederhana turbocharger dengan intercooler.....	16

BAB III METODE PENELITIAN

Gambar 3.1 Turbocharger Pada Kendaraan	25
Gambar 3.2 Alat Pengecekan Turbocharger dan Intercooler	27

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4.1 Diagram P-V siklus terbatas pada motor bakar diesel.....	32
Gambar 4.2 Diagram P-V siklus dual yang memakai turbocharger.....	41
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara daya efektif terhadap putaran	109
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara daya indikator terhadap putaran	110
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara konsumsi BB terhadap putaran	110

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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

Tuntutan program 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 perancang otomotif atau para insinyur untuk terus berupaya dan berinovasi menciptakan kendaraan dengan tingkat polusi yang serendah-rendahnya, hemat bahan bakar serta mempunyai performa yang tinggi. (Arismunandar,1988).

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, dengan memanfaatkan gas buang untuk menggerakkan turbin, bersamaan dengan berputarnya turbin maka kompresor juga ikut berputar.

Dimana kompresor tersebut kemudian memompa udara kedalam silinder sehingga akan menaikkan tekanan dan temperatur. Hal ini akan menyebabkan berkurangnya kerapatan udara yang masuk kedalam silinder. Oleh karena itu diperlukannya suatu alat pendingin (*intercooler*) yang dapat mendinginkan udara

sebelum masuk kedalam silinder. Dengan demikian tekanan efektif rata – rata dapat meningkat, sehingga daya motor meningkat.

Berdasarkan adanya performansi motor bakar yang meningkat dan proses pembakaran bahan bakar dapat terjadi dengan sempurna sehingga akan mengurangi terjadinya polusi udara, dan pemanasan global dapat dikurangi.

1.2 Rumusan Masalah

Objek yang dikaji pada penelitian dengan topik Kajian Studi Turbocharger Terhadap Performansi Motor Bakar Diesel Daya 150 PS difokuskan pada seberapa besar pengaruh penggunaan turbocharger.

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Secara umum tujuan penelitian ini adalah mempelajari kajian studi turbocharger terhadap performansi motor bakar diesel berdaya 150 PS.

1.3.2 Tujuan Khusus

- Menghitung performansi motor bakar diesel kendaraan All New Ford Ranger dengan turbocharger dan tanpa turbocarger dengan kapasitas mesin 2,2 Liter pada putaran 3700 rpm .
- Mengetahui seberapa besar pemakaian konsumsi bahan bakar dengan menggunakan turbocharger dan tanpa.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu :

1. Bagi Peneliti

- Menambah wawasan, pengetahuan dan pemahaman ilmu yang telah diperoleh.

2. Bagi Perusahaan

- Sebagai masukan yang bermanfaat dan tambahan informasi bagi perusahaan dalam meningkatkan proses produksi di dunia industri.

3. Bagi Universitas Medan Area

- Sebagai tambahan literature kepustakaan di bangku perkuliahan khususnya mengenai studi motor bakar.

4. Bagi Peneliti Lain

- Sebagai referensi yang dapat menjadi pertimbangan bagi peneliti lain untuk mengembangkan penelitian di masa yang akan datang.

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 kedalam silinder. Dimana pada waktu torak hampir mencapai “titik mati atas” (TMA) bahan bakar disemprotkan kedalam ruang bakar. Karena temperatur dan tekanan yang tinggi 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. 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 (overlap valve) yaitu kedua katup isap dan katup buang berada dalam keadaan terbuka, sehingga sebagian udara segar yang masuk mendorong sisa gas hasil pembakaran keluar dari dalam silinder. Hal ini merupakan kerugian yang tidak dapat dihindari. Jadi udara yang dimasukkan kedalam silinder tidak semuanya digunakan untuk pembakaran.

Jika sebuah mesin empat langkah dapat menghisap 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, dinamakan "*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 volumetrik 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 Volumetric 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.

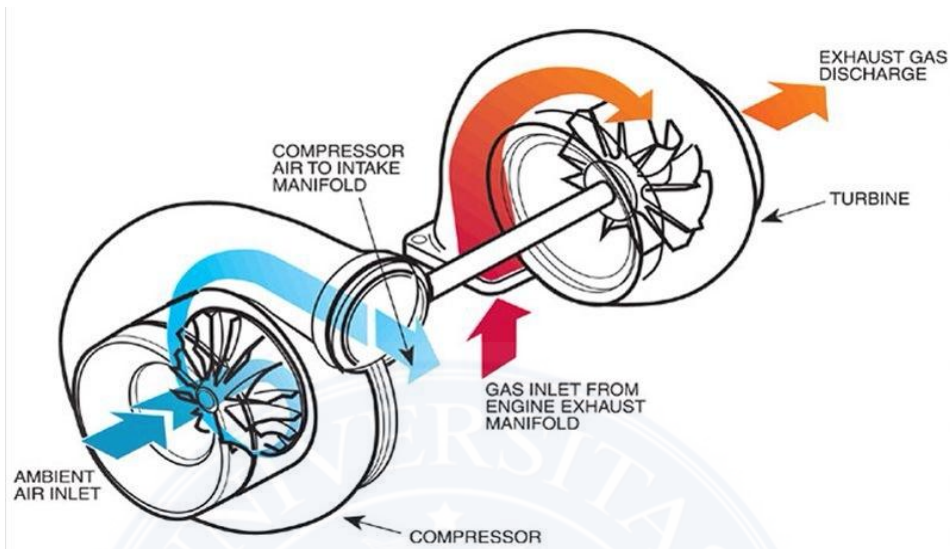
Dengan mempergunakan turbocharger, udara akan dipaksa masuk kedalam ruang bakar sehingga *Efisiensi Volumetric* menjadi naik, dengan demikian daya poros pun akan naik. Disamping peningkatan *Efisiensi Volumetric* diharapkan dapat memperoleh kerja persiklus yang lebih besar dengan volume langkah torak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

2.2 Turbocharger

Pada prinsipnya supercharger dan turbocharger mempunyai tujuan yang sama, yaitu memperbesar jumlah udara yang masuk ke dalam silinder. Hal ini bertujuan meningkatkan daya motor tanpa memperbesar kapasitas motor tersebut. Ada perbedaan dalam proses kerja antara supercharger dan turbocharger, yaitu pada penggerak impeler turbin dimana pada supercharger impeler turbin digerakkan oleh gerakan mekanik yang ditransfer dari putaran poros engkol, sedangkan pada turbocharger memanfaatkan gas buang sebagai penggerak impeler turbin.

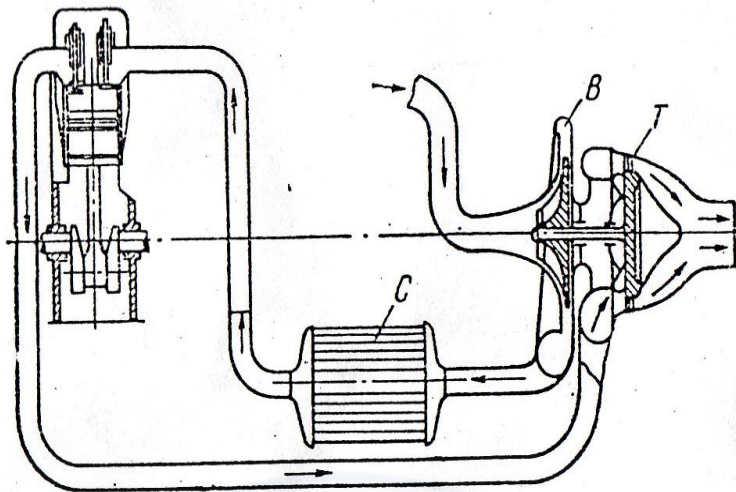
Sebuah motor diesel empat langkah yang bekerja dengan turbocharger tekanan isapnya lebih tinggi dari tekanan atmosfer sekitarnya. Hal ini diperoleh dengan jalan memaksa udara atmosfer masuk kedalam silinder selama langkah isap. Dengan cara mendinginkan udara bertekanan sebelum masuk kedalam silinder *turbocharger* dengan *intercooler* diharapkan bisa memperoleh tekanan efektif rata-rata yang lebih besar dengan mengurangi turunya kerapatan udara

akibat temperatur yang tinggi. Sehingga akan dihasilkan daya yang lebih besar dengan ukuran mesin yang sama.



Gambar 2.1 Turbocharger
Sumber : www.google.com

Tujuan utama penggunaan *turbocharger* dengan *intercooler* adalah untuk memperbesar daya motor (30 – 80%)(lit 2, hal 114), boleh dikatakan bahwa mesin diesel dengan *turbocharger* dapat bekerja lebih efisien, apabila mesin harus bekerja pada ketinggian lebih dari 1500 meter diatas permukaan laut, turbocharger mempunyai arti penting dalam usaha mengatasi kerugian daya yang disebabkan oleh berkurangnya kepadatan udara atmosfer di tempat tersebut.



Gambar 2.2 Skema instalasi sederhana *turbocharger* dengan *intercooler*
 Sumber : "Marine Internal Combustion Engine", N. Petrovsky

2.3 Klasifikasi Turbocharger

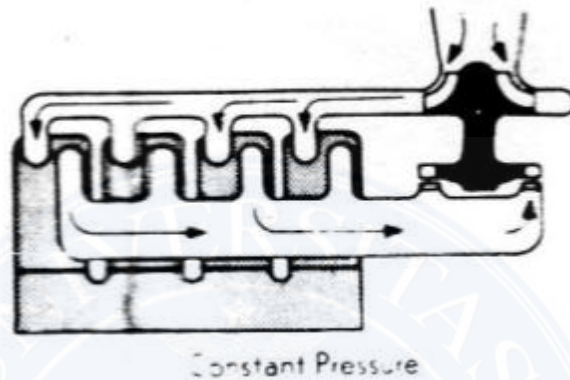
Dalam prakteknya ada tiga metode pengoperasian *turbocharger* yang dipergunakan untuk memanfaatkan energi yang berguna pada gas buang, yaitu:

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

2.3.1 Turbocharger sistem tekanan konstan (*constant pressure system*)

Pada sistem turbocharger tekanan konstan ini adalah bertujuan untuk menjaga atau memelihara agar tekanan 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 2.3 Turbocharger sistem tekanan konstan (*constant pressure system*)
Sumber : "Internal combustion engine" Edward F. Obert

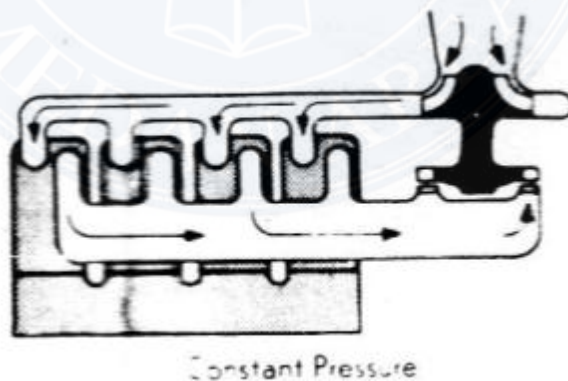
- Keuntungan memakai *turbocharger* pada metode tekanan konstan ialah :
 - 1). Fluktuasi pada turbin tidak ada.
 - 2). Sangat efisien dan konsumsi bahan bakar yang ekonomis pada perbandingan tekanan kompresor dan turbin yang tinggi.
 - 3). Kecepatan mesin tidak terbatas oleh gelombang tekanan pada saluran gas buang.
 - 4). Penentuan titik operasional dari turbin dapat lebih mudah.
- Kerugian memakai *turbocharger* pada metode tekanan konstan adalah :
 - 1). Tidak seluruh Energi gas buang dapat digunakan untuk menggerakkan turbin.
 - 2). Ada sebagian energi yang hilang pada common large chamber.

- 3). Membutuhkan saluran gas yang besar.
- 4). Kurang responsif pada beban.

2.3.2 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 2.4 Turbocharger sistem pulsa (*pulse system*)
Sumber : "Internal combustion engine" Edward F. Obert

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

– Keuntungan memakai *turbocharger* dengan system pulsa ini adalah :

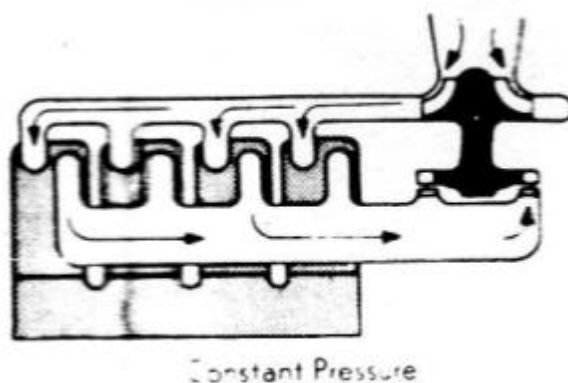
- 1). Sebagian besar energi kimia gas buang dapat digunakan langsung.
- 2) Menghasilkan percepatan putaran mesin yang responsive terhadap pembebanan tiba-tiba.
- 3). Dapat memakai saluran gas buang yang lebih pendek dan diameter yang lebih kecil.

– Kerugiannya adalah :

- 1). Pemanfaatan energi gas buang tidak efektif untuk turbin dengan perbandingan tekanan yang lebih tinggi.
- 2). Fluktuasi tekanan yang lebih besar untuk jumlah silinder yang lebih sedikit.

2.3.3 Turbocharger sistem converter - pulsa (*pulse-converter system*)

Pada *Turbocharger* sistem converter 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 system converter-pulsa.



Gambar 2.5 Turbocharger sistem converter-pulsa (*pulse-converter system*)
Sumber : ”*Internal combustion engine*” Edward F. Obert

Secara umum, mesin-mesin diesel berukuran besar biasanya menggunakan turbocharger sistem pulsa, sedangkan untuk mesin-mesin otomotif menggunakan turbocharger tekanan konstan. Oleh karena itu, pada kajian studi ini digunakan turbocharger sistem tekanan konstan.

2.4 Jenis Turbocharger

2.4.1 Wastegate

Wastegate adalah katup yang mengalihkan gas buang menjauh dari roda turbin dalam sistem mesin ber-turbocharger. Pengalihan gas buang ini mengatur kecepatan turbin, yang kemudian mengatur kecepatan putaran kompresor. Sebuah mesin kendaraan bermotor selalu bekerja pada rentang rpm putaran mesin yang bervariasi. Berbagai variasi rpm tersebut tentu saja menghasilkan jumlah gas buang yang bervariasi pula.

Semakin tinggi putaran mesin, akan semakin banyak kuantitas gas buang dan temperatur gas buang pun juga semakin tinggi.



Gambar 2.6 *Mekanisme Wastegate*

Jika semua gas buang mesin masuk ke turbin *turbocharger*, dapat kita bayangkan putaran *turbocharger* pasti menjadi tidak terkontrol. Pada kondisi ini jika mesin kendaraan terlalu lama pada putaran tinggi, maka hal ini dapat menyebabkan *overheating* pada turbin dan kompresor bahkan hingga mencapai titik lebur komponen-komponen *turbocharger*. Bahkan pada keadaan ekstrim, kondisi ini dapat langsung merusak piston motor bakar dengan meninggalkan lubang meleleh pada piston tersebut. *Wastegates* digunakan untuk mengatasi kondisi di atas. Komponen ini berfungsi sebagai *bypass valve* untuk membuang gas buang motor bakar pada kondisi tertentu untuk tidak masuk ke dalam turbin *turbocharger* melainkan langsung menuju *exhaust*. Pada kondisi mesin stabil, *wastegates* akan menutup. Sedangkan pada saat proses akselerasi, dimana tekanan gas buang meningkat, *wastegates* akan membuka sehingga putaran turbin *turbocharger* tidak mengalami sentakan yang berlebihan. *Wastegates* bekerja berdasarkan pegas-pegas keong yang dapat diatur ketegangannya, sehingga

mekanik dapat mengatur ketegangannya untuk mendapatkan kinerja terbaik dari *turbocharger*.

2.4.2 Variable Geometry Turbocharger (VGT)

VGT adalah komponen Baling-baling membuat sudut yang kecil ketika putaran mesin rendah. Baling-baling membuat sudut yang besar ketika putaran mesin tinggi. VGT atau Variable Geometry Turbo merupakan teknologi turbo pada mesin diesel yang sudah menggunakan teknologi pembakaran common rail dan intercooler.

2.4.2.1 Sekilas Turbo Lag

Keistimewaan teknologi ini, sudu-sudu atau baling-baling turbin (bagian yang didorong oleh gas buang), sudut atau posisinya bisa berubah sesuai dengan putaran mesin. Dengan sudut baling-baling bisa berubah, maka putaran turbin selanjutnya kompresor yang menyedot udara dari luar dan memaksanya masuk ke mesin bisa disesuaikan dengan putaran atau beban kerja mesin.

Tak kalah penting, gejala turbo “lag” atau turbo *lemot* - terjadi pada non-VGT atau baling-baling “mati” - bisa dicegah. Pada non-VGT, turbo *lemot* terjadi pada putaran rendah. Pasalnya, pada kondisi tersebut tekanan gas buang tidak cukup kuat untuk mendorong atau memutar baling-baling turbin.

Pada putaran mesin tinggi, tekanan makin gas buang makin tinggi. Ini bisa menyebabkan putaran turbin sangat tinggi (bisa mencapai 100.000 rpm). Tekanan yang dihasilkan kompresor juga tinggi. Untuk mengatasinya kondisi yang disebutkan terkahir digunakan “*wastegate*” pada saluran buang (sebelum turbin).

Dengan demikian, putaran turbin dan tekanan yang dikompresi bisa dijaga pada batas aman.

2.4.2.2 Cara Kerja VGT

Untuk VGT, pada *putaran rendah*, sudut baling-baling bisa diset atau diposisikan sesuai dengan kebutuhan mesin pada putaran rendah namun tidak menimbulkan gejala “lag” atau keterlambatan. Kendati demikian, posisi sudut baling-baling turbin tetap kecil dibandingkan ketika bekerja pada putaran tinggi.

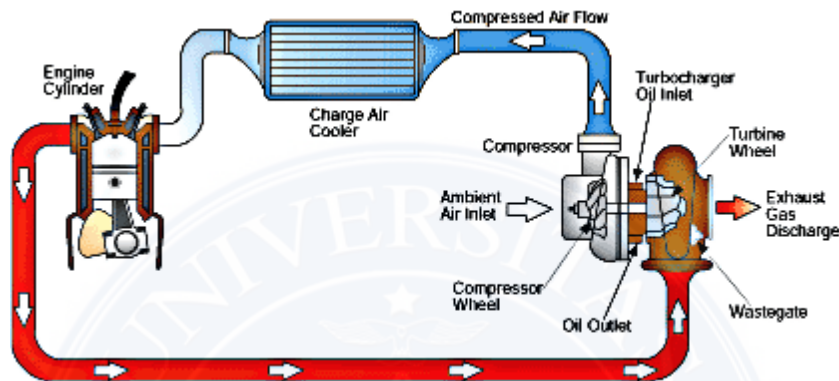


Gambar 2.7 *Variable Geometry Turbocharger (VGT)*

Sebaliknya, pada *putaran tinggi*, sudut baling-baling dibuka lebih besar. Dorongan gas buang terhadap turbin lebih besar dan membuatnya berputar cepat. Hasilnya, kompresor menyedot udara lebih banyak dan menghasilkan tekanan lebih tinggi. Baling-baling di dalam turbin bergerak pada sumbu-sumbu masing ketika diaktifkan oleh aktuator berupa servo (tabung vakum). Servo ini sekarang umum bekerja secara elektronik dan diperintah oleh komputer mesin.

2.5 Prinsip Kerja Turbocharger

Pada prinsipnya kerja dari turbocharger adalah merubah energi panas/kalor dari gas buang hasil sisa pembakaran menjadi energi mekanis untuk menaikkan tekanan udara yang masuk ke intake manifold (saluran masuk udara) dapat dilihat seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.8 Skema instalasi sederhana *turbocharger dengan intercooler*

Sumber : [www.google.com /Howstuffworks Turbocahrger Design Considerations.html](http://www.google.com/Howstuffworks/Turbocahrger%20Design%20Considerations.html)

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 bahan bakar dalam silinder tidak akan efektif lagi untuk meningkatkan performa mesin jika tanpa diiringi dengan penambahan udara dalam silinder.

Dimana proses penambahan udara kedalam silinder dipengaruhi oleh beberapa parameter :

1. Densitas udara (dipengaruhi oleh temperatur)
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 poin No. 1 dan 2 yang dapat dijadikan sebagai “agen perubahan”.

Dengan menggunakan prinsip kontinuitas dari mekanika fluida, dimana 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 :

$$PV = nRT \dots\dots\dots (Arismunandar,1988)$$

Sehingga 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.

2.6 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 penyalan bunga api (*spark ignition engine*) yang memakai turbocharger, pemakaian bahan bakar spesifik biasanya lebih besar. Hal ini disebabkan, terutama karena perbandingan kompresinya harus diperkecil untuk mencegah denotasi, juga karena banyaknya bahan bakar yang keluar dari dalam silinder sebelum digunakan.

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

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.

2.7 Dasar Teori

2.7.1 Tekanan Indikator Rata-Rata

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

$$P_i = \varphi P_{it} \dots\dots\dots (\text{lit.3 hal 55})$$

Keterangan :

φ = Faktor koreksi

P_i = Tekanan indikator rata-rata

P_{it} = Tekanan indikator

2.7.2 Tekanan Efektif Rata-Rata

Tekanan efektif rata-rata dapat dicari dengan rumus :

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} \dots\dots\dots (\text{lit.3 hal 61})$$

Keterangan :

η_m = Efisiensi mekanis

P_e = Tekanan efektif rata-rata (kg/cm^2)

P_i = Tekanan indikator rata-rata (kg/cm^2)

2.7.3 Kerja Indikator

Kerja indikator dapat dicari dengan rumus :

$$W_i = P_i V_d \dots\dots\dots (\text{lit.3 hal 22})$$

Keterangan :

W_i = Kerja indikator (kg/m^2)

P_i = Tekanan indikator rata-rata (kg/cm^2)

V_d = Volume langkah torak (m^3)

Dimana :

$$V_d = \frac{\pi}{4} D^2 L \dots\dots\dots (\text{lit.3 hal 22})$$

Keterangan :

D = Diameter piston (m)

L = Panjang langkah piston (m)

π = 3,14

2.7.4 Kerja Efektif

Kerja efektif dapat dicari dengan rumus :

$$W_e = P_e V_d \dots\dots\dots (\text{lit.3 hal 57})$$

Dimana :

W_e = Kerja efektif

2.7.5 Kerja Mekanik Yang Hilang

Kerja mekanik yang hilang dapat dicari dengan rumus :

$$W_m = W_i - W_e \dots\dots\dots (\text{lit.3 hal 57})$$

Dimana :

W_m = Kerja mekanik yang hilang

2.7.6 Daya Indikator

Daya indikator adalah daya yang dihasilkan didalam sistem motor bakar tersebut antara piston dan ruang bakar.

Sesuai dengan persamaan berikut :

$$N_i = \frac{10^4 P_i V_d i z}{60 \times 75} \dots\dots\dots (\text{lit.3 hal 58})$$

Keterangan :

N_i = Daya indikator (hp)

P_i = Tekanan indikator rata-rata (kg/cm^2)

V_d = Volume langkah torak (m^3)

z = Mesin 4 langkah (1/2), mesin 2 langkah (1)

n = Putaran mesin (rpm)

i = Jumlah silinder mesin

2.7.7 Daya Efektif

Daya efektif atau daya brake sesuai dengan persamaan rumus :

$$P_b = T \cdot \omega \dots\dots\dots (\text{lit.3 hal 60})$$

Keterangan :

P_b = Daya brake (kW)

T = Torsi momen (Nm)

ω = Kecepatan sudut $\frac{2\pi.N}{60}$ (rad/s)

2.7.8 Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah kemampuan motor bakar tersebut menghabiskan bahan bakar dalam satu – satuan waktu, sesuai dengan persamaan:

$$\eta_b = \frac{632N_e}{F_h (LHV)} \dots\dots\dots (\text{lit.3 hal 62})$$

sehingga persamaannya menjadi:

$$F_h = \frac{632N_e}{\eta_b (LHV)} \dots\dots\dots (\text{lit.3 hal 62})$$

Dimana :

N_e = Daya efektif motor (hp)

LHV = Nilai kalor bawah bahan bakar (kkal/ kg)

η_b = Efisiensi thermal brake

F_h = Konsumsi bahan bakar /jam (hp/hr)

2.7.9 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Pemakaian bahan bakar spesifik dapat dicari sesuai persamaan rumus :

$$F = \frac{F_h}{N_e} \dots\dots\dots (\text{lit.3 hal 53})$$

2.7.10 Persentase Kenaikan Daya Efektif

Persentase kenaikan daya dengan menggunakan turbocharger adalah

$$\%N_e = \left| \frac{N_T - N_N}{N_T} \right| \times 100 \% \dots\dots\dots (\text{lit.4 hal.40})$$

2.7.11 Persentasi 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 :

$$\%F = \left| \frac{F_N - F_T}{F_N} \right| \times 100 \% \dots\dots\dots (\text{lit.4 hal 40})$$



BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat Penelitian

Tempat pelaksanaan dan pengambilan data dilakukan di PT Auto Kencana Andalas, Jl. Jend Gatot Subroto No. 107 Medan.

3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian di mulai dari persetujuan judul skripsi yang diberikan oleh ketua program studi, pengambilan data, pengolahan data, hingga penyusunan skripsi dinyatakan selesai. Waktu penelitian dapat digambarkan pada tabel 3.1 di bawah ini :

Tabel 3.1 Jadwal pelaksanaan penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan Ke											
		I				II				III			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Persiapan												
	Studi Pustaka												
	Survey lapangan												
2	Penelitian												
	Eksperimen												
	pengumpulandata												
3	PengolahanData												
	Penyusunan Laporan												
	Seminar Proposal												

Revisi data																			
Penyusunan TA																			
Seminar Hasil																			
Revisi data																			
Sidang																			

3.2 Bahan dan Peralatan

3.2.1 Objek Penelitian

Kendaraan yang dianalisa adalah All New Ford Ranger 2,2L dengan Daya 150 PS.

3.2.2 Data Spesifikasi

1. Kendaraan All New Ford Ranger 2,2 L Daya 150 PS menggunakan turbocharger.



Gambar 3.1 Turbocharger

Pada gambar 3.1 Motor Diesel yang menggunakan turbocharger, memiliki data-data sebagai berikut :

Merk dan type mesin	: All New Ford Ranger DC 4x4 TDCI MT
Bahan bakar	: Solar
Silinder	: 4 in-line
Kapasitas silinder	: 2,2L
Perbandingan kompresi	: 15,7
Diameter x langkah	: 86 x 94,6 mm
Daya maksimum [$PS(kW)/rpm$]	: 150 (110)/3700
Torsi maksimum (kgm/rpm)	: 38,2/1500 s/d 2500
Charging System	: Turbocharger VGT
Sudu turbin	: 9
Sudu kompresor	: 13

3.2.3 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu alat pendeteksi tekanan, temperatur dan lain sebagainya yang dinamakan Integrated Diagnostic (IDS).



Gambar 3.2 Alat Pengecekan Turbocharger dan Intercooler

3.3 Prosedur 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.

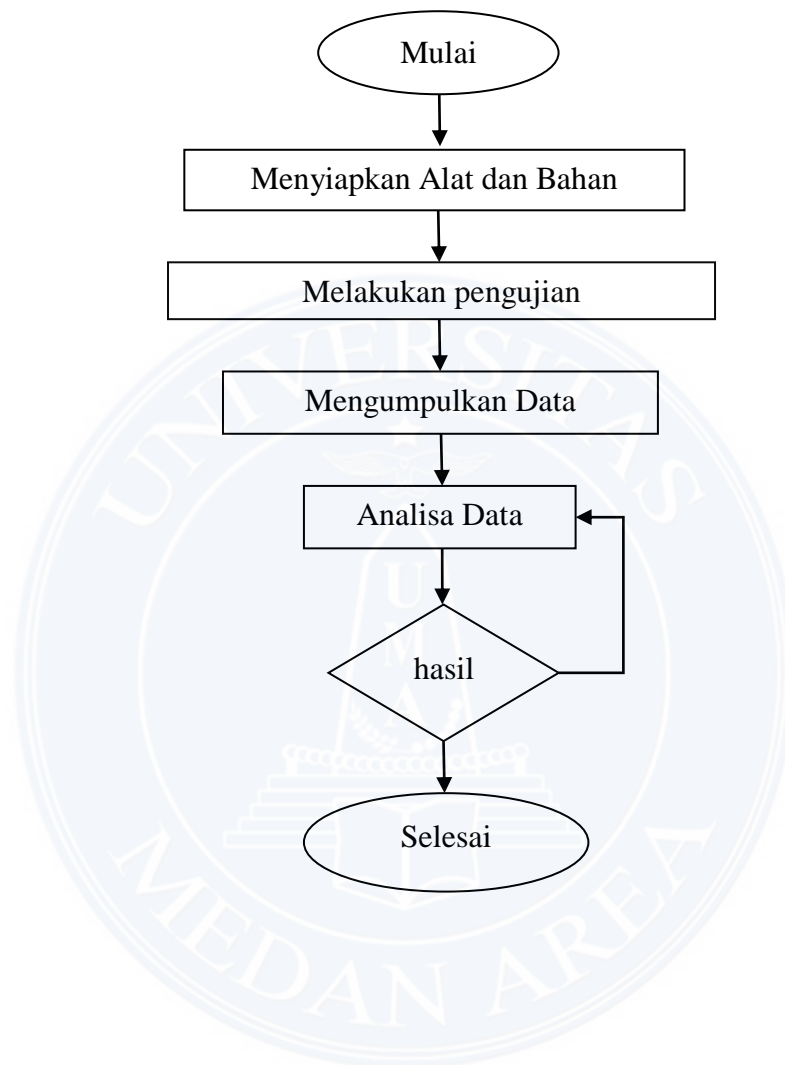
Setelah melakukan studi literatur, tahap selanjutnya adalah pelaksanaan tugas sarjana, yaitu dengan mengadakan konsultasi dengan dosen pembimbing, dan selanjutnya diteruskan dengan pengambilan data, analisa hasil dan penulisan laporan.

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 bersifat membangun untuk bahan perbaikan bagi penulis dalam penulisan sarjana ini.



3.4 Diagram Alir

Pelaksanaan analisa seperti terlihat pada diagram alir



DAFTAR PUSTAKA

1. Arismunandar,W, “Motor Bakar Torak”, Cetakan Ketiga, Penerbit ITB Bandung, 1988.
2. Arismunandar,W, “Motor Diesel Putaran Tinggi”, Cetakan Kelima, Penerbit PY Pradnya Paramita, Jakarta, 1988.
3. Petrovsky, N, “Marine Internal Combustion Engine”, Mir Publisher, Moscow, 1988.
4. Edward F. Obert, “Internal Combustion Engines”, third edition, Scranton,1968
5. Meherwan P Boyce, “Gas Turbin Engineering Hanbook, second edition”.
6. Bernard Challen dan Rodica, ” *Diesel Engine Reference Book*”. 2nd edition, Jordan Hill, Oxford, 1999.
7. <http://www.google.com> Howstuffworks Turbocahrger Design Considerations.html
8. <http://www.google.com> /Induction, Exhaust, and Turbocharger System Principles.
9. <http://www.fordtech.com> /Induction, Spesifikasi Turbocharger System Principles.

TABLE A-17

Ideal-gas properties of air

T K	h kJ/kg	P_r	u kJ/kg	v_r	s° kJ/kg · K	T K	h kJ/kg	P_r	u kJ/kg	v_r	s° kJ/kg · K
200	199.97	0.3363	142.56	1707.0	1.29559	580	586.04	14.38	419.55	115.7	2.37348
210	209.97	0.3987	149.69	1512.0	1.34444	590	596.52	15.31	427.15	110.6	2.39140
220	219.97	0.4690	156.82	1346.0	1.39105	600	607.02	16.28	434.78	105.8	2.40902
230	230.02	0.5477	164.00	1205.0	1.43557	610	617.53	17.30	442.42	101.2	2.42644
240	240.02	0.6355	171.13	1084.0	1.47824	620	628.07	18.36	450.09	96.92	2.44356
250	250.05	0.7329	178.28	979.0	1.51917	630	638.63	19.84	457.78	92.84	2.46048
260	260.09	0.8405	185.45	887.8	1.55848	640	649.22	20.64	465.50	88.99	2.47716
270	270.11	0.9590	192.60	808.0	1.59634	650	659.84	21.86	473.25	85.34	2.49364
280	280.13	1.0889	199.75	738.0	1.63279	660	670.47	23.13	481.01	81.89	2.50985
285	285.14	1.1584	203.33	706.1	1.65055	670	681.14	24.46	488.81	78.61	2.52589
290	290.16	1.2311	206.91	676.1	1.66802	680	691.82	25.85	496.62	75.50	2.54175
295	295.17	1.3068	210.49	647.9	1.68515	690	702.52	27.29	504.45	72.56	2.55731
298	298.18	1.3543	212.64	631.9	1.69528	700	713.27	28.80	512.33	69.76	2.57277
300	300.19	1.3860	214.07	621.2	1.70203	710	724.04	30.38	520.23	67.07	2.58810
305	305.22	1.4686	217.67	596.0	1.71865	720	734.82	32.02	528.14	64.53	2.60319
310	310.24	1.5546	221.25	572.3	1.73498	730	745.62	33.72	536.07	62.13	2.61803
315	315.27	1.6442	224.85	549.8	1.75106	740	756.44	35.50	544.02	59.82	2.63280
320	320.29	1.7375	228.42	528.6	1.76690	750	767.29	37.35	551.99	57.63	2.64737
325	325.31	1.8345	232.02	508.4	1.78249	760	778.18	39.27	560.01	55.54	2.66176
330	330.34	1.9352	235.61	489.4	1.79783	780	800.03	43.35	576.12	51.64	2.69013
340	340.42	2.149	242.82	454.1	1.82790	800	821.95	47.75	592.30	48.08	2.71787
350	350.49	2.379	250.02	422.2	1.85708	820	843.98	52.59	608.59	44.84	2.74504
360	360.58	2.626	257.24	393.4	1.88543	840	866.08	57.60	624.95	41.85	2.77170
370	370.67	2.892	264.46	367.2	1.91313	860	888.27	63.09	641.40	39.12	2.79783
380	380.77	3.176	271.69	343.4	1.94001	880	910.56	68.98	657.95	36.61	2.82344
390	390.88	3.481	278.93	321.5	1.96633	900	932.93	75.29	674.58	34.31	2.84856
400	400.98	3.806	286.16	301.6	1.99194	920	955.38	82.05	691.28	32.18	2.87324
410	411.12	4.153	293.43	283.3	2.01699	940	977.92	89.28	708.08	30.22	2.89748
420	421.26	4.522	300.69	266.6	2.04142	960	1000.55	97.00	725.02	28.40	2.92128
430	431.43	4.915	307.99	251.1	2.06533	980	1023.25	105.2	741.98	26.73	2.94468
440	441.61	5.332	315.30	236.8	2.08870	1000	1046.04	114.0	758.94	25.17	2.96770
450	451.80	5.775	322.62	223.6	2.11161	1020	1068.89	123.4	776.10	23.72	2.99034
460	462.02	6.245	329.97	211.4	2.13407	1040	1091.85	133.3	793.36	23.29	3.01260
470	472.24	6.742	337.32	200.1	2.15604	1060	1114.86	143.9	810.62	21.14	3.03449
480	482.49	7.268	344.70	189.5	2.17760	1080	1137.89	155.2	827.88	19.98	3.05608
490	492.74	7.824	352.08	179.7	2.19876	1100	1161.07	167.1	845.33	18.896	3.07732
500	503.02	8.411	359.49	170.6	2.21952	1120	1184.28	179.7	862.79	17.886	3.09825
510	513.32	9.031	366.92	162.1	2.23993	1140	1207.57	193.1	880.35	16.946	3.11883
520	523.63	9.684	374.36	154.1	2.25997	1160	1230.92	207.2	897.91	16.064	3.13916
530	533.98	10.37	381.84	146.7	2.27967	1180	1254.34	222.2	915.57	15.241	3.15916
540	544.35	11.10	389.34	139.7	2.29906	1200	1277.79	238.0	933.33	14.470	3.17888
550	555.74	11.86	396.86	133.1	2.31809	1220	1301.31	254.7	951.09	13.747	3.19834
560	565.17	12.66	404.42	127.0	2.33685	1240	1324.93	272.3	968.95	13.069	3.21751
570	575.59	13.50	411.97	121.2	2.35531						