

**ANALISIS PENGARUH TIDAK OPTIMALNYA
KINERJA *TURBOCHARGER* DI MESIN INDUK
KAPAL MT. KABAKA MUTEBI II**



Disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Pendidikan dan Pelatihan Pelaut (DP) Tingkat I

OMEGA MARSAL TULAK

NIS 25.11.102.017

AHLI TEKNIKA TINGKAT I

**PROGRAM DIKLAT PELAUT TINGKAT I
POLITEKNIK ILMU PELAYARAN MAKASSAR
TAHUN 2025**

**ANALISIS PENGARUH TIDAK OPTIMALNYA
KINERJA *TURBOCHARGER* DI MESIN INDUK
KAPAL MT. KABAKA MUTEBI II**



Disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Pendidikan dan Pelatihan Pelaut (DP) Tingkat I

OMEGA MARSAL TULAK

NIS 25.11.102.017

AHLI TEKNIKA TINGKAT I

**PROGRAM DIKLAT PELAUT TINGKAT I
POLITEKNIK ILMU PELAYARAN MAKASSAR
TAHUN 2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Omega Marsal Tulak
Nomor Induk Siswa : 25.11.102.017
Program Diklat : Ahli Teknika Tingkat I

Menyatakan bahwa KIT dengan judul:

ANALISIS PENGARUH TIDAK OPTIMALNYA KINERJA
TURBOCHARGER DI MESIN INDUK KAPAL MT. KABAKA MUTEBI II
merupakan karya asli. Seluruh ide yang ada dalam KIT ini, kecuali tema dan
yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide yang saya susun
sendiri.

Jika pernyataan di atas terbukti sebaliknya, maka saya bersedia
menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.

Makassar, 13 Januari 2026



Omega Marsal Tulak
NIS 25.11.102.017

**PERSETUJUAN SEMINAR
KARYA ILMIAH TERAPAN**

Judul : ANALISIS PENGARUH TIDAK OPTIMALNYA
KINERJA *TURBOCHARGER* DI MESIN INDUK
KAPAL MT. KABAKA MUTEBI II

Nama : Omega Marsal Tulak

NIS : 25.11.102.017

Program Diklat : Ahli Teknika Tingkat I

Dengan ini dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diseminarkan.

Makassar, 12 Januari 2026

Persetujuan,

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Muh. Syaib Rahman, M.T., M.Mar.E.

NIP. 197303191998031002

Ir. Hasiah, M.A.P.

NIP. 196903012003122001

Mengetahui,

Manajer Diklat

Ir. Suyuli, M.Si., M.Mar.E.

NIP. 196805082002121002

**ANALISIS PENGARUH TIDAK OPTIMALNYA
KINERJA TURBOCHARGER DI MESIN INDUK
KAPAL MT. KABAKA MUTEBI II**

Disusun dan Diajukan Oleh:


Omega Marsal Tulak
25.11.102.017

Telah dipresentasikan di depan panitia seminar Ujian KIT
pada Tanggal 13 Januari 2026

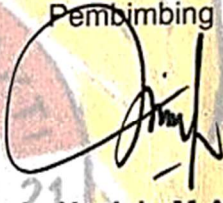
Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II


Ir. Muh. Syaib Rahman, M.T., M.Mar.E.

NIP. 197303191998031002


Ir. Hasiah, M.A.P.

NIP. 196903012003122001

Mengetahui,

a.n Pembantu Direktur I
Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar


Capt. Faisal Saransi, M.T., M.Mar.

NIP. 1975032919990310002

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang tiada henti-hentinya mengasihi penulis, sehingga penyusunan Karya Ilmiah Terapan dengan judul “ANALISIS PENGARUH TIDAK OPTIMALNYA KINERJA TURBOCHARGER DI MESIN INDUK KAPAL MT. KABAKA MUTEBI II” dapat diselesaikan dengan baik dan tepat pada waktunya.

Selama melaksanakan penyusunan Karya Ilmiah Terapan ini, penulis banyak menghadapi tantangan dan hambatan. Namun, semuanya dapat teratasi berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, melalui kesempatan ini penulis menghaturkan terima kasih yang tidak terhingga serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Capt. Rudy Susanto, M.Pd., selaku Direktur Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar yang telah memberikan motivasi, arahan, serta izin untuk menyelesaikan Karya Ilmiah Terapan penelitian.
2. Capt. Faisal Saransi, M.T., M.Mar., selaku Pembantu Direktur I Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar yang telah memberikan motivasi, arahan, serta izin untuk menyelesaikan Karya Ilmiah Terapan penelitian.
3. Ir. Suyuti, M.Si., M.Mar.E., selaku Manajer Diklat yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, pengarahan, dan juga bantuan agar Karya Ilmiah Terapan ini dapat diselesaikan.
4. Ir. Muh. Syaib Rahman, M.T., M.Mar.E., selaku Pembimbing I yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, pengarahan, dan juga bantuan agar Karya Ilmiah Terapan ini dapat diselesaikan.
5. Ir. Hasiah, M.A.P., selaku Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, pengarahan, dan juga bantuan agar Karya Ilmiah Terapan ini dapat diselesaikan.
6. Bapak dan Ibu Dosen, serta Staf Politeknik Ilmu Pelayaran, yang telah membina dan memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis selama proses perkuliahan.
7. Kedua orang tua atas segala perhatian, pengorbanan, kasih sayang,

dan doa restu yang luar biasa buat keberhasilan penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Karya Ilmiah Terapan ini.

8. Teman-teman seperjuangan yang selalu mendukung dan membantu penulis selama perkuliahan, serta ada untuk mendukung semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu dalam pengantar ini yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Karya Ilmiah Terapan ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan Karya Ilmiah Terapan ini masih jauh dari kesempurnaan. Hal ini disebabkan kemampuan penulis yang masih terbatas. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan penulis demi penyempurnaan Karya Ilmiah Terapan ini. Semoga yang disajikan penulis dalam Karya Ilmiah Terapan ini memberikan manfaat pada berbagai pihak pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Makassar, 13 Januari 2026
Penulis



Omega Marsal Tulak

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
PERSETUJUAN SEMINAR	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Batasan Masalah	3
D. Tujuan Penelitian	3
E. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Pengertian <i>Turbocharger</i>	5
B. Prinsip Kerja <i>Turbocharger</i>	6
C. Komponen <i>Turbocharger</i>	7
D. Sistem <i>Turbocharger</i>	10
E. Teori Penyediaan Udara	10
F. Pelumas <i>Turbocharger</i>	14
G. Perawatan <i>Turbocharger</i>	14
H. Sistem Keluarnya Gas Buangan	16
I. Pengaruh <i>Intercooler</i> pada Kinerja <i>Turbocharge</i>	17
J. Kerusakan yang Sering Terjadi pada <i>Turbocharge</i>	18
K. Keuntungan dan Kekurangan <i>Turbocharge</i>	18
L. Pengaruh <i>Turbocharge</i> terhadap Daya Mesin Induk Kapal	19
M. Dampak Tidak Optimalnya <i>Turbocharger</i> pada Operasional Kapal	21

BAB III	METODE PENGAMBILAN DATA	23
	A. Observasi	23
	B. Studi Pustaka	23
	C. Dokumentasi	23
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	25
	A. Lokasi Kejadian	25
	B. Situasi dan Kondisi	25
	C. Temuan	33
	D. Pemecahan Masalah	39
BAB V	SIMPULAN DAN SARAN	41
	A. Simpulan	41
	B. Saran	41
	DAFTAR PUSTAKA	42
	LAMPIRAN	44
	RIWAYAT HIDUP	53

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
2.1 <i>Turbocharger</i>	5
2.2 Prinsip Kerja <i>Turbocharger</i>	6
2.3 Komponen <i>Turbocharger</i>	7

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Halaman
1. Lampiran 1. Dokumentasi	45
2. Lampiran 2. <i>Ship Particulars</i>	50
3. Lampiran 3. Crew List	53

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Untuk menggerakkan sebuah kapal diperlukan mesin yang biasa kita sebut mesin induk. Demi kelancaran operasional kapal, maka diperlukan perawatan yang terencana pada setiap bagian mesin induk. Mesin induk adalah mesin yang menggunakan sistem pembakaran sebagai sumber tenaga. Tenaga ini berasal dari campuran bahan bakar dan udara yang ada di dalam ruang bakar. Untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna salah satu aspek yang sangat penting adalah tersedianya udara yang cukup menuju ke silinder. Salah satu bagian dari motor yang terkait langsung dan berfungsi sebagai pompa udara dalam proses pembakaran adalah *turbocharger*.

Pada mesin diesel, dipasang *turbocharger* yang bertujuan untuk memasukkan udara sebanyak-banyaknya ke dalam silinder dengan tekanan lebih dari 1 atmosfer. *Turbocharger* merupakan suatu alat yang berfungsi untuk suatu alat yang digunakan untuk mensupply udara sebanyak-banyaknya ke dalam ruang bakar. *Turbocharger* membantu meningkatkan performa mesin dengan meningkatkan jumlah udara yang masuk ke dalam ruang bakar. Dengan meningkatnya jumlah udara, campuran bahan bakar dan udara akan lebih ideal sehingga pembakaran dapat terjadi dengan lebih efisien. Jika *turbocharger* mengalami kerusakan, akan berdampak pada supply udara saat proses pembakaran mesin induk, sehingga mesin induk juga akan mengalami masalah yaitu tidak dapat bekerja dengan optimal.

Kerusakan *turbocharger*, bisa berdampak sangat besar pada kemampuan operasional kapal seperti keterlambatan pada waktu kapal berangkat atau waktu kapal tiba di suatu pelabuhan. Bisa juga menyebabkan kerugian pada pemilik/pengelola kapal akibat biaya perbaikan yang cukup mahal dan waktu perbaikan yang lama.

Penggunaan *turbocharger* pada mesin induk kapal sering kali terjadi masalah yang dapat memengaruhi performa mesin. Beberapa

masalah yang sering dijumpai adalah kerusakan pada rotor, kerusakan pada bearing, dan kesalahan pada sistem penyemprotan udara atau oli. Ketidak optimalan kinerja *turbocharger* ini dapat menyebabkan penurunan efisiensi mesin, peningkatan konsumsi bahan bakar, dan penurunan daya yang dihasilkan oleh mesin.

Mengingat pentingnya kinerja *turbocharger* dalam memengaruhi performa mesin induk kapal, maka perlu dilakukan analisis mengenai pengaruh tidak optimalnya *turbocharger* terhadap mesin. Dengan memahami faktor-faktor yang menyebabkan tidak optimalnya *turbocharger*, maka dapat diambil langkah-langkah perbaikan yang tepat untuk meningkatkan kinerja mesin dan efisiensi penggunaan bahan bakar.

Peran *turbocharger* dalam proses pengoperasian mesin induk sangatlah penting. *Turbocharger* berpengaruh pada kinerja mesin induk dan hal tersebut juga dapat berpengaruh pada pengoperasian kapal saat melakukan olah gerak maupun saat kapal berlayar. Jika *turbocharger* dalam kondisi yang kurang baik, dapat mengganggu pengoperasian kapal.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, maka penulis berinisiatif untuk mengadakan penyusunan karya ilmiah terapan berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan dengan judul “Analisis Pengaruh Tidak Optimalnya Kinerja *Turbocharger* di Mesin Induk Kapal MT. Kabaka Mutebi II”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka rumusan masalah karya ilmiah terapan ini adalah sebagai berikut:

1. Apa penyebab tidak optimalnya kinerja *turbocharger* di mesin induk kapal MT. Kabaka Mutebi II?
2. Apa dampak dari tidak optimalnya kinerja *turbocharger* di mesin induk kapal MT. Kabaka Mutebi II?
3. Bagaimana upaya yang dilakukan agar *turbocharger* bekerja secara optimal di mesin induk kapal MT. Kabaka Mutebi II?

C. Batasan Masalah

Sesuai dengan rumusan masalah serta mengingat begitu luasnya permasalahan dalam pembahasan karya ilmiah terapan ini, maka penulis membatasi ruang lingkup permasalahan agar dalam pembahasan masalah tidak melebar atau meluas seperti yang terdapat dalam identifikasi masalah, maka penulis membatasi ruang lingkungnya dan menitik beratkan pada terjadinya getaran yang kuat pada *turbocharger* dan timbulnya suara yang tidak normal pada *turbocharger* saat sedang beroperasi.

D. Tujuan Karya Ilmiah Terapan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan karya ilmiah terapan ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui penyebab tidak optimalnya kinerja *turbocharger* di mesin induk kapal MT. Kabaka Mutebi II.
2. Untuk mengetahui dampak dari tidak optimalnya kinerja *turbocharger* di mesin induk kapal MT. Kabaka Mutebi II.
3. Untuk mengetahui upaya yang dilakukan agar *turbocharger* bekerja secara optimal di mesin induk kapal MT. Kabaka Mutebi II.

E. Manfaat Karya Ilmiah Terapan

Adapun manfaat yang ingin dicapai penulis dalam dari karya ilmiah terapan ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis
 - a. Menambah wawasan bagi pihak-pihak yang terkait dengan dunia pelayaran, dunia ilmu pengetahuan serta bagi individu untuk menambah wawasan tentang *turbocharger*.
 - b. Mengembangkan pemikiran tentang *turbocharger* kepada para pembaca, khususnya taruna diklat maritim.
 - c. Menambah wawasan bagi taruna dan Civitas Akademika Politeknik Pelayaran, menambah referensi kepustakaan, dan sumber terhadap *turbocharger* yang akan berguna bagi pembaca apabila menemukan permasalahan yang sama.

2. Manfaat Praktis

Menambah informasi bagi para pembaca dan para masinis kapal, sehingga dapat meningkatkan kinerja *turbocharger* sebagai pendukung pengoperasian kapal.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian *Turbocharger*

Turbocharger ditemukan oleh seorang insinyur berkebangsaan Swiss yang bernama Alfred Buchi pada tahun 1878-1959. *Turbocharger* adalah sebuah kompresor sentrifugal yang mendapat daya dari turbin yang sumber tenaganya berasal dari gas buang mesin yang digunakan dalam mesin pembakaran dalam untuk meningkatkan keluaran tenaga dan efisiensi mesin dengan meningkatkan massa oksigen yang memasuki mesin, sehingga memberikan tekanan awal yang lebih tinggi daripada tekanan normal.

Gambar 2.1 *Turbocharger*



Sumber: Febriawan (2024)

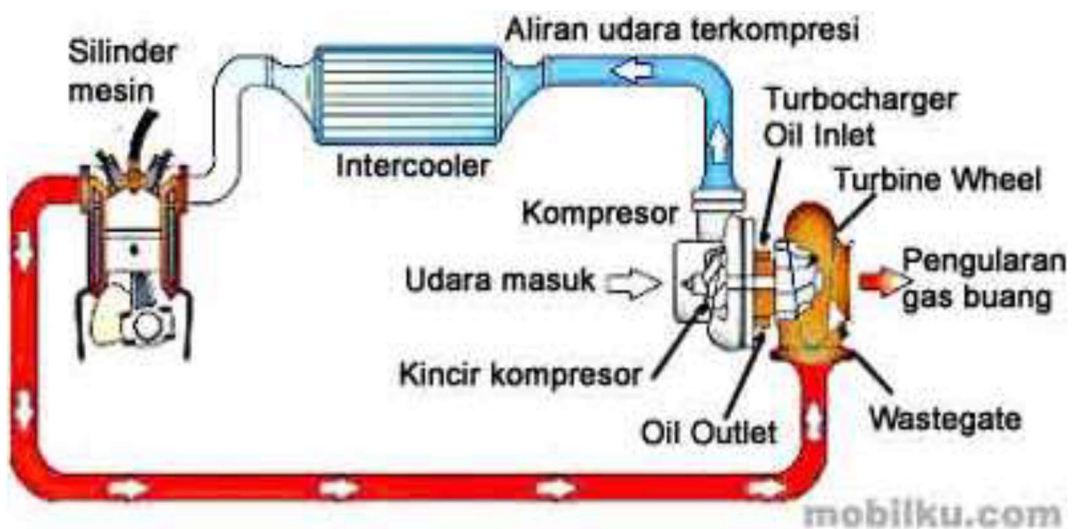
Menurut Endrodi (1999:24), *turbocharger* adalah pesawat yang digerakkan oleh gas buang dari mesin diesel yang berfungsi untuk memompa udara yang digunakan untuk pembilasan dan pembakaran di dalam silinder. *Turbocharger* digerakkan oleh energi panas yang berasal dari gas buang, dari total energi panas di dalam bahan bakar buang bersamaan gas buang dengan kenaikan massa jenis udara.

Salah satu cara untuk mengurangi kerugian buangan adalah dengan memasang *turbocharger* pada saluran gas buang. Dalam hal ini gas buang dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin gas yang menggerakkan kompresor. Kompresor tersebut memompa udara masuk ke dalam silinder, sehingga menaikkan tekanan dan jumlah udara yang dimasukkan ke dalam silinder. Dengan demikian, maka jumlah bahan bakar yang dimasukkan ke dalam silinder dapat diperbanyak, sehingga daya mesin dapat diperbesar. Dengan *turbocharger* tersebut, kira-kira 8 sampai 10% dari jumlah kalor pembakaran bahan bakar dapat diselamatkan (Arismunadar dan Tsuda, 2004:29).

Sementara itu, Sunaryo (2008:97), memberikan penjelasan bahwa *turbocharge* pada dasarnya terdiri dari sebuah turbin dan sebuah kompresor digabungkan satu unit. Di mana *turbocharger* bekerja melalui pemanfaatan gas buang dengan tidak membuangnya langsung keudara bebas tetapi memakainya untuk memutar turbin bersamaan kompresor berputar memadatkan udara masuk ke dalam silinder, sehingga dapat menaikkan efisiensi volumetrik. Di samping itu, turbo juga berfungsi mengurangi udara yang ditimbulkan oleh gas buang dari motor diesel.

B. Prinsip Kerja *Turbocharger*

Gambar 2.2 Prinsip Kerja *Turbocharger*



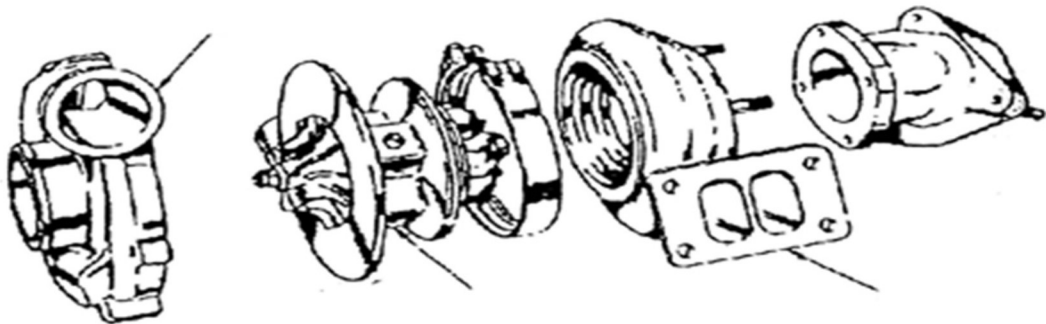
Sumber: Khoir (2020)

Turbocharger mengalami perkembangan dari masa ke masa. Namun walaupun begitu, pada dasarnya memiliki prinsip kerja yang sama. Menurut Karyanto (2004:148), prinsip kerja *turbocharger* adalah proses langkah pembuangan di dalam silinder mesin dilakukan oleh piston menyebabkan gas asap hasil pembakaran terdorong keluar dari katup buang melalui manifold buang menekan kesuatu roda *turbine* dan keluar lewat saluran pembuangan. Hal ini mengakibatkan roda blower (*blower*) berputar, sehingga menghasilkan tekanan hembusan, yang menyebabkan terjadinya pemadatan udara masuk dan tekanan diatas satu atmosfer. Selanjutnya, udara yang bertekanan disalurkan ke manifold masuk, kemudian masuk ke dalam silinder melalui katup masuk. Untuk itu, mesin diesel dilengkapi dengan *turbocharger*, dengan tujuan untuk memperbesar tenaga mesin tanpa menambah terlampau banyak berat dan ukuran mesin.

C. Komponen *Turbocharger*

Turbocharger ini terdiri dari bagian-bagian penting yang memiliki peran dan saling berhubungan dan setiap bagian *turbocharger* itu memiliki fungsi tertentu, yaitu:

Gambar 2.3 Komponen *Turbocharger*



Sumber: Mubin (2019)

1. Rumah Kompresor (*Blower*)

Rumah kompresor adalah tempat bagi blower untuk menghisap udara luar yang kemudian diteruskan menuju intercooler. Rumah kompresor terbuat dari bahan aluminium

bersambungan dengan bagian pusat inti (*centre core*) ditopang oleh jaminan baut dan cincin pelat.

2. Pusat Inti (*Centre core*)

Pusat inti adalah bagian inti dari *turbocharger* yang memanfaatkan gaya dari gas sisa pembakaran dalam silinder untuk menggerakkan *blower* yang menyalurkan udara bertekanan ke dalam ruang pembakaran. Pada bagian rumah pusat inti terdapat poros turbin dan turbin serta roda kompresor (*blower*), bantalan, ring, cincin pelat, *oil deflector*. Bagian-bagian yang berputar termasuk *turbin shaft*, *Compressor wheel*, *Shaft bearing*, *thrust washer* dan *oli seal ring*. Komponen-komponen ini ditunjang oleh bagian *center housing*. Bagian-bagian yang berputar pada *turbocharger* dioperasikan pada kecepatan 12.500 rpm dan temperatur 550°C, sehingga materialnya dibuat sangat selektif dengan kepresisian yang tinggi.

3. Rumah Turbin

Rumah turbin adalah tempat turbin menerima gaya aksial dari gas sisa pembakaran (*exhaust gas*) kemudian diteruskan lewat poros (*shaft*) menuju *blower*. Rumah turbin terbuat dari bahan *caststeel* dan bersambungan dengan bagian rumah pusat inti atau *centre core* dengan memakai cincin baja penjamin. Diantaranya sambungan rumah turbin dan manifold buang di pasang gasket yang terbuat dari bahan *stainles steel* untuk menjamin sambungan tersebut.

Turbocharger terdiri dari dua bagian, yaitu sisi turbin dan sisi *blower*. Kerangka yang menyelubungi kedua bagian itu berbentuk lingkaran yang terbagi menjadi dua ruang terpisah yang didinginkan oleh air dan terlindung dari panas gas buang. Di kerangka sisi turbin terdapat satu atau beberapa flens sebagai tempat masuknya gas buang dimana bagian ini didinginkan oleh air yang berasal dari sistem pendinginan mesin diesel. Gas buang yang masuk ke dalam sisi turbin akan diteruskan menuju *nozzle bladering* dan kemudian

diarahkan tepat pada susu-sudu rotor. Setelah itu, gas buang akan melewati sudu-sudu gerak (*moving blades*) dengan kecepatan tinggi.

Lewatnya gas buang di sudu-sudu rotor menyebabkan berubahnya arah aliran gas buang yang menghasilkan perubahan daya gerak dan kemudian mendesakkan suatu gaya pada sudu-sudu turbin. Gaya ini menyebabkan rotor berputar dengan kecepatan tinggi. Gas buang meninggalkan rotor menuju ruangan yang terhubung langsung dengan saluran gas buang (*exhaust gas manifold*).

Kerangka dari sisi blower dilengkapi dengan saringan udara (*air filter*) masuk. Selain itu, sisi blower juga dilengkapi dengan splitter yang berfungsi sebagai jalur aliran udara dan untuk mengurangi terjadinya kehilangan udara yang disebabkan oleh perubahan arah aliran itu sendiri. Bahan suara (*sound absorbent material*) juga sering dipasang untuk mengurangi kebisingan yang timbul karena angin dan putaran blower. Selain itu, di sisi blower juga terdapat *curved air guide vanes* yang berfungsi untuk mengurangi hentakan udara di *blower*, terletak sebelum impeller. Udara meninggalkan blower impeller menuju diffuser dengan kecepatan tinggi.

Selama melewati diffuser, kecepatan udara akan meningkat, sehingga dengan sendirinya tekanan meningkat pula. Sebelum masuk ke mesin diesel, udara didinginkan terlebih dahulu di *intercooler*. Proses pendinginan ini dimaksudkan supaya massa jenis udara tekan naik, sehingga kepadatan atau berat udara meningkat. Tujuan kedua adalah menurunkan temperatur. Jika temperatur gas buang tidak terlalu tinggi, maka beban panas yang diterima mesin diesel berkurang. Selanjutnya dari *intercooler*, udara akan mengalir menuju silinder melalui *inlet port* yang dibuka oleh torak (piston) itu sendiri.

Rotor terbuat dari sebuah poros yang berlubang. di mana rotor turbin dan *impeller* udara terpasang. Sering kali *impeller* dibuat menjadi dua bagian untuk memperbanyak produksi udara. Tiga *glandlabyrinth* dipasang pada rotor, satu terletak di antara ujung akhir turbin dengan seal poros yang bertujuan untuk mencegah kebocoran gas buang. Bagian kedua dipasang di ujung dekat blower yang bertujuan menghindari keluarnya minyak pelumas dari bearing, sedangkan bagian terakhir terletak diantara rotor turbin dan *impeller* (Mubin, 2019:8).

D. Sistem Turbocharger

Sistem *turbocharge* adalah mesin pembakaran dalam yang mana disambungkan secara paralel ke gas *turbocharger* dan disesuaikan menjadi sambungan individual dan tidak menyambung. *Turbocharger* gas buang dibuat dengan memanfaatkan gas buang dan massa udara yang mengalir melalui mesin pembakaran dalam dengan tenaga yang bernilai. Sebagian tenaga mesin pembakaran dalam menyesuaikan dengan segera menyuplai gas buang, seperti gas buang *turbocharger* dalam pengoperasian bahwa mesin pembakaran dalam mengoperasikan maksimal menutup kondisi operasi secara optimum besarnya *exhaust gas turbocharger* ditambah di dalam rangkaian sesuai dengan tangkapan suplai gas buang di dalam kasus perpindahan untuk memelihara tenaga sebagian udara tinggi dan tidak menyambung dalam rangkaian didalam kasus memindahkan sebagian tenaga yang rendah. Gas buang kecil pada *turbocharger* dan mengoperasikan jarak antara rendahnya dan tingginya suplai gas buang pada mesin pembakaran dalam, itu berulang kali menambah dan sering mengulang dan suplementasi untuk gas buang yang besar pada *turbocharger* (Mansyur, 2023:7).

E. Teori Penyediaan Udara

Udara atau dalam hal ini oksigen sangat dibutuhkan dalam pembakaran di dalam silinder mesin. Untuk itu, perlu adanya sistem

atau alat yang digunakan guna memenuhi kebutuhan tersebut. *Turbocharger* menjadi salah satu alternatif yang digunakan. Selain dapat memenuhi kebutuhan akan udara, alat ini juga dapat memperbesar daya mesin karena tekanan udara yang dihasilkan melebihi satu atmosfer.

Menurut Van Manen (2001:24), fungsi dari *turbocharger* adalah menghasilkan udara tekanan dari *blower* ke ruang pembakaran. *Turbocharger* juga dipasang sebagai usaha untuk mengurangi kerugian pembuangan yang cukup besar dari gas buang melewati saluran buang. Dalam hal ini gas buang dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin gas menggerakkan kompresor. Kompresor tersebut memompa udara masuk ke dalam silinder, sehingga menaikkan tekanan dan jumlah udara masuk ke dalam silinder. Dengan demikian, maka jumlah bahan bakar yang dimasukkan ke dalam silinder dapat diperbanyak, sehingga daya mesin dapat diperbesar. Apabila campuran bahan bakar dengan udara tekan yang tidak seimbang, maka proses pembakaran tidak akan terjadi dengan sempurna. Hal tersebut akan mengakibatkan terjadinya pembakaran susulan (detonasi). Hal ini jelas menambah beban mekanisme pada silinder serta panas dari silinder.

Akibat-akibat yang ditimbulkan dari pembakaran yang kurang sempurna adalah sebagai berikut:

1. Kerugian panas dari dalam motor menjadi lebih besar, sehingga usaha yang dihasilkan akan turun.
2. Sisa-sisa pembakaran ini yang dapat pula melekat pada lubang pembuangan antara katup dan dudukannya, terutama pada katup buang, sehingga katup ini tidak dapat menutup rapat.
3. Sisa-sisa pembakaran akan melekat pada kepala torak (*piston crown*) dan dinding silinder liner proses pelumasan tidak sempurna.

Tujuan dari sistem pengisian tekan pada motor diesel adalah agar dalam proses pembakaran bahan bakar di dalam silinder tersedia cukup oksigen, sehingga terjadi pembakaran yang sempurna dan berdampak/berakibat pemakaian bahan bakar tiap HP/hour atau

KW/hour akan lebih hemat. Dibandingkan dengan motor diesel yang tanpa sistem pengisian tekan, maka motor diesel dengan pengisian tekan mempunyai kelebihan sebagai berikut:

1. Bila sama-sama mempunyai diameter silinder dan jumlah silinder yang sama akan didapat daya motor yang lebih besar sampai 30-40%.
2. Bila dikehendaki mempunyai daya motor yang sama, maka baik diameter maupun jumlah silinder dapat dikurangi, sehingga bobot motor akan lebih ringan atau volume motor lebih kecil.
3. Pembakaran lebih sempurna karena udara didinginkan di *intercooler*, sehingga udara lebih padat dengan oksigen. Karena terjadi pembakaran bahan bakar yang lebih sempurna, maka pemakaian bahan bakar spesifik (tiap Kg/Kw jam) akan lebih hemat.
4. Meningkatkan kemampuan mesin diesel dan mengurangi biaya perawatan yang disebabkan kondisi-kondisi lemah (*less exacting*) pada silinder.
5. Jumlah udara masuk ke dalam silinder lebih banyak, sehingga tekanan udara masuk lebih tinggi dari pada tekanan udara luar.

Pengisian tekan yang dilakukan oleh *turbocharger* juga memiliki beberapa kerugian seperti di bawah ini:

1. Konsumsi bahan bakar dan pelumasan silinder lebih boros.
2. Harga beli mesin diesel lebih mahal.
3. Perawatan lebih banyak dan kompleks, sehingga biaya lebih besar.
4. Waktu perawatan yang lebih lama.
5. Memerlukan keahlian ekstra pada waktu *overhaul turbocharger*.

Pada sistem pengisian tekan terdiri dari dua sisi, yaitu sisi gas buang dan sisi udara. Sistem pengisian tekan pada sisi gas buang terdapat dua sistem, yaitu sistem denyut (*pulse system*) dan sistem tekanan rata (*constant pressure system*):

a. Sistem Denyut (*Pulse System*)

Sistem denyut adalah gas buang yang keluar dari masing-masing silinder dibagi atas group/kelompok. Pengelompokan

pipa gas buang ini didasarkan dari susunan *firing order* dan *exhaust manifold*-nya. Diameter pipa gas buang tidak besar, sehingga baik tekanan maupun kecepatan gas buang keluar dari masing-masing silinder tidak mengalami penurunan. Hal ini mengakibatkan putaran roda sudu turbin gas buang menjadi sangat tinggi, yang berarti putaran udara *blower* juga sangat tinggi. Udara yang dihasilkan cukup banyak untuk pembakaran bahan bakar didalam silinder, sehingga pembakaran bahan bakar sempurna dan daya motor optimal/maksimum.

b. Sistem Tekanan Rata (*Constant Pressure System*)

Gas buang yang keluar dari masing-masing silinder digabung dalam satu *exhaust manifold* tanpa mempertimbangkan *firing order*-nya. Diameter pipa gas buang lebih besar, sehingga tekanan gas buang menurun dan pitarannya menjadi rendah, hal ini berakibat putaran pada *turbochargernya* tidak setinggi sistem denyut dan udara yang dihasilkan *blower*-nya juga tidak sebanyak sistem denyut. Akibat masih diperlukan *blower* udara bantu yang digerakan oleh motor listrik. Terutama saat mengolah gerak, di mana putaran motor diesel belum stabil.

Sistem pengisian tekan pada sisi udara terdapat tiga sistem, yaitu: sistem seri, paralel, campuran.

1) Sistem Seri

Udara hasil *turbocharger* dipasang seri dengan udara hasil blower bantu yang digerakkan oleh motor listrik.

2) Sistem Paralel

Udara hasil turbo *blower* dipasang paralel dengan hasil blower bantu yang digerakan oleh motor listrik.

3) Sistem Seri dan Paralel

Sistem seri dan paralel adalah kombinasi dari kedua sistem seri dan paralel.

F. Pelumasan *Turbocharger*

Tujuan dari pelumasan adalah untuk mengatasi terjadinya gesekan, maka minyak pelumas harus mampu membuat lapisan diantara dua permukaan yang berbeda gerakannya (Sukoco dan Arifin, 2013:136).

Berdasarkan tujuan pelumasan dari prinsip kerja *turbocharger*, perlu adanya sistem pelumasan yang memadai dan dapat bersirkulasi dengan baik. Ada dua metode pelumasan yang digunakan untuk melumasi *bearing* pada *turbocharger*, yaitu:

1. Metode pertama memanfaatkan pelumasan pada sistem mesin diesel. Minyak pelumas dimasukkan ke *bearing* yang kemudian mengalir kembali ke sistem mesin diesel.
2. Metode kedua hanya digunakan khusus untuk pelumasan bearing *turbocharger*, di mana sistem ini dilengkapi dengan pompa. Pompa menghisap minyak pelumas dari drain tank dan menekannya menuju *oil cooler* (pendingin minyak) kemudian berakhir di *gravity tank*. Dari *gravity tank*, minyak mengalir melewati saringan (*filter*) sebelum diteruskan ke *bearing* dan berakhir kembali di *drain tank*.

G. Perawatan *Turbocharger*

Menurut Corder (1988:23), perawatan merupakan suatu kombinasi dari tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam, atau untuk memperbaikinya sampai, suatu kondisi yang bisa diterima, sedangkan tujuan dilakukan perawatan adalah antara lain:

1. Memperpanjang kegunaan aset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan dan isinya).
2. Menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang peralatan yang dipasang untuk produksi atau jasa untuk mendapatkan laba investasi semaksimal mungkin.
3. Menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu.
4. Menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

Turbocharger memiliki perawatan sendiri, yaitu perawatan periodik yang berdasarkan buku manual di kapal kami antara lain:

1. Pengecekan minyak lumas yang dipergunakan harus sesuai untuk bantalan dan harus diganti selama waktu tertentu, yaitu 120 jam.
2. Setelah 100 jam operasi check baut dan kur yang kendur.
3. Setelah 250 jam pembersihan filter.
4. Setelah 500 jam operasi bersihkan kompresor *turbocharger*, atau setiap terjadi penurunan tekanan 10% pada beban yang sama, contoh tekanan yang dihasilkan *turbocharger* 0,80 kg/cm² pada beban yang sama terjadi penurunan menjadi 0,72 kg/cm², maka waktunya untuk pembersihan kompresor. Pembersihan dapat dilakukan dengan cara:
 - a. Pembersihan secara periodik, yaitu pada saat pembongkaran/overhaul *turbocharger* untuk pembersihan, pembersihan dapat menggunakan minyak tanah, kerosin, atau minyak lumas untuk menghindari bahaya. Air tidak efektif untuk membersihkan kompresor.
 - b. Pembersihan saat ada beban, yaitu pembersihan kompresor ketika mesin dipanaskan atau kurang lebih $\frac{3}{4}$ dari beban penuh. Jika hal itu tidak dapat dilakukan, pembersihan kompresor ketika mesin beroperasi pada beban penuh.
5. Setiap 4000 jam kerja bersihkan elemen filter udara, pembersihan dapat dilakukan dengan cara menyemprot menggunakan udara tekan, jika kotoran terlalu tebal dan lengket bersihkan dengan kerosin dan sebelum dipasang kembali.
6. Setiap 8000 jam atau 1 tahun lakukan pembersihan bagian-bagian kompresor (*impeller, diffuser, exhaust manifold*, dan lain-lain).
7. Setiap 16000 jam operasi atau 2 tahun lepaskan semua bagian, bersihkan data check *turbocharger*, ganti *spare part* jika perlu ganti oring dengan yang baru.

8. Setiap 32.000 jam atau 4 tahun *turbocharger* harus di *balance* dan pengecekan *impeller*, turbin rotor dan bagian penting lain yang diperlukan, dengan menghubungi pusat servisnya.
9. Hal penting pada perawatan dan pengawas *turbocharger*, yaitu pada penggantian bantalan poros tiap 16.000 jam:
 - a. Cabut hanya kompresor dan turbin casing aja.
 - b. Pasang *dial gauge spindel* pada jari-jari baut poros pada rotor *shaf impeller* dan atur posisi *dial gauge*. Kemudian gerakan rotor *shaft* naik turun menggunakan tangan kemudian lihat posisi jarum kemudian catat dan bandingkan dengan toleransi yang diizinkan, yaitu 0,92.
 - c. Jika toleransi yang ditunjukkan melebihi batas yang diizinkan segera lakukan penggantian bantalan porosnya (*thrust bearing*).

H. Sistem Keluarnya Gas Buang

Sistem ini menggunakan sistem bekerjanya mesin diesel 4-tak, yaitu dengan menggunakan/dipasang katup buang (*exhaust valve*) pada bagian atas *cylinder head*, sehingga sistem pembilasan ini mendorong dan membersihkan gas buang di dalam silinder ini hampir dapat dikatakan sangat sempurna, karena:

1. Jumlah udara pembilas yang sangat besar merupakan suatu kekuatan dan keuntungan, sehingga akan lebih mudah mendesak gas buang yang berada didalam silinder sampai bersih dan langsung diganti udara bersih dalam waktu sangat singkat.
2. Gerakan jumlah udara pembilas yang searah dengan keluarnya gas buang dari bawah langsung keatas dan bersamaan dengan gerakan torak keatas merupakan suatu prose pembilasan yang sangat sempurna bila dibandingkan dengan ketiga sistem yang sebelumnya. Dapat dikatakan proses pembilasan yang tidak mendapatkan hambatan, sehingga udara bersih (murni) langsung menggantikan kedudukan gas buang tersebut.
3. Penambahan tekanan dan jumlah udara pembilas yang menyatu dengan gas buang keluar silinder, sangat bermanfaat dalam

menunjang penambahan kecepatan putaran *exhaust* gas *turbocharger*, sehingga hasilnya juga akan meningkatkan jumlah udara pembilas untuk mesin tersebut.

4. Sistem pembilasan memanjang ini merupakan suatu hasil pengembangan yang sangat maju dalam dunia mesin diesel pada era tahun enam puluhan dimana mesin diesel 2-tak menggunakan *rocker arm* seperti halnya mesin diesel 4-tak. Pada dasa warsa berikutnya, yaitu pada tahun tujuh puluhan penggunaan *rocker arm* diganti dengan sistem *hydraulic actuator* yang lebih modern (Mansyur, 2023:13).

I. Pengaruh *Intercooler* pada Kinerja *Turbocharge*

Menurut Ahmad dan Muqeen (2015:12), tekanan udara yang meningkat pada kompresor *outlet* dapat menghasilkan biaya *intake* yang terlalu panas, secara signifikan mengurangi keuntungan kinerja pengisian turbo karena kepadatan menurun. Gas buang yang melewati *intercooler* mengurangi suhunya memungkinkan volume udara yang lebih besar untuk dimasukkan ke dalam mesin. *Intercooler* memiliki peran kunci dalam mengendalikan suhu pembakaran silinder di mesin *turbocharger* sebagai alat pertukaran udara dan perpindahan koefisien panas, sehingga kinerja mesin multi-silinder dapat beroperasi pada kecepatan konstan 1600 RPM. Suhu dan tekanan di dalam silinder untuk tiga jenis *intercooler* terdiri dari tekanan suhu pada *intake*, gas buang manifold dan kinerja lainnya. Suhu maksimal dalam silinder mesin menurun dari 1665,6 K pada SU=1000 hingga 1659.2 K pada SU=1600, kinerja *intercooler* juga meningkat dengan meningkatkan parameter desain, sehingga efisiensi *intercooler* adalah 0,92% pada SU=1000 dan 0,98% pada SU=1600.

Dalam studinya, mesin diesel dipertimbangkan dan dievaluasi apakah tanpa *turbocharger* atau dengan menggunakan *turbocharger* dan super *intercooler* dengan menggunakan hukum dan ekspresi termodinamika, *output* daya mesin diperiksa secara analitik dengan mengubah fitur *intercooling* seperti penurunan tekanan nilai dan

putaran mesin pada beban penuh. Hasil disajikan dan ditafsirkan sebagai daya (KW) dan perampangan dari nilai, volume mesin (m³). Dalam penelitian ini menyimpulkan bahwa tenaga mesin dapat ditingkatkan menjadi 154% dengan *intercooler* ideal sementara *turbocharger* tunggal tanpa intercooler hanya dapat meningkatkan tenaga mesin sebesar 65%.

J. Kerusakan yang Sering Terjadi pada *Turbocharger*

Menurut Sunaryo (2010) dalam Mansyur (2023:17), kerusakan yang sering terjadi pada *turbocharger* adalah sebagai berikut:

1. Terjadinya gesekan antara sudu-sudu turbin ataupun antara kompresor dan rumahnya karena ausnya bantalan atau poros turbin yang perbaikannya dilakukan dengan mengganti poros dan bantalannya, atau karena ausnya sudu pada bagian diameter luar, sehingga sudu harus diganti.
2. Bocornya pelumas, perbaikannya dilakukan dengan mengganti segel yang ada atau mengencangkan bagian-bagian yang bocor.
3. Tersumbatnya *nose/ turbin*, perbaikannya dilakukan dengan membersihkan atau menggantinya.
4. Kerusakan bantalan, perbaikannya dilakukan menggantinya dengan yang baru.
5. Kotoran pada sudu-sudu *turbin blade*, perbaikannya dilakukan dengan membersihkan saringan dan sudu-sudunya.

K. Keuntungan dan Kekurangan *Turbocharger*

Menurut Satriya (2021) dalam Febriawan (2024:13), penggunaan atau pemasangan *turbocharger* terdapat keuntungan dan kerugiannya. Beberapa keuntungan dalam pemasangan *turbocharger* pada mesin diesel di antaranya, yaitu:

1. Meningkatkan tenaga mesin.
2. Lebih hemat bahan bakar.
3. Menghasilkan tenaga yang besar dengan kapasitas mesin yang lebih kecil.

4. Tidak perlu tenaga mesin untuk menggerakannya karena *turbocharger* memanfaatkan tekanan gas buang.

5. Torsi lebih besar

Beberapa kekurangan dalam pemasangan *turbocharger* pada mesin diesel di antaranya, yaitu:

1. Udara masuk bersuhu panas, sehingga butuh *air cooler*.

2. Mahal dan rumit karena perangkat *turbocharger* membutuhkan perhitungan *space* pada ruang mesin.

3. Efek tenaga dari *turbocharger* memiliki jeda beberapa saat setelah pedal gas ditekan.

4. Tidak bisa langsung dimatikan, harus menunggu turbin *turbocharger idle*.

L. Pengaruh *Turbocharge* terhadap Daya Mesin Induk Kapal

Menurut Purnama dan Saksono (2017) dalam Mansyur (2023:18), mekanisme sistem satu dan dua tingkat *turbocharger* serta *intercooler* digerakkan oleh pemanfaatan gas buang untuk menggerakkan turbin dan kompresor. Kompresor memampatkan udara ke dalam silinder *engine*, sehingga akan terjadi kenaikan tekanan dan temperatur. Proses kompresi ini menyebabkan berkurangnya nilai kerapatan diperlukannya suatu udara, sehingga alat pendingin (*intercooler*) yang dapat mendinginkan udara sebelum masuk ke dalam silinder *engine*.

Mesin induk adalah sebagai tenaga penggerak utama yang berfungsi untuk mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga pendorong bagi *propeller* kapal agar kapal dapat bergerak, di mana dalam pengoperasionalnya mesin induk selalu dalam kondisi *running* secara terus menerus. Mesin penggerak utama disebut juga mesin induk atau bahasa maritimnya *main engine*. Benda ini yang menggerakkan sebuah kapal dalam operasinya membawa muatan dari pelabuhan ke pelabuhan baik barang padat, cairan, gas maupun manusia. Mesin penggerak utama dalam kemaritiman diutamakan dari jenis mesin diesel, yaitu 2-tak dan 4-tak.

Mesin diesel termasuk pesawat kalor, yaitu pesawat yang merubah energi potensial berupa panas mejadi usaha mekanik. Mesin diesel adalah pesawat pembakaran dalam (*internal combustion engine*), karena di dalam mendapatkan energi potensial (berupa panas) untuk kerja mekaniknya diperoleh dari pembakaran bahan bakar yang dilaksanakan di dalam pesawat itu sendiri, yaitu di dalam silindernya.

1. Langkah Isap

Pada langkah ini piston bergerak dari TMA (Titik Mati Atas) ke TMB (Titik Mati Bawah). Saat piston bergerak ke bawah katup isap terbuka yang menyebabkan ruang di dalam silinder menjadi vakum, sehingga udara murni langsung masuk ke ruang silinder melalui filter udara.

2. Langkah Kompresi Fisik

Pada langkah ini piston bergerak dari TMB menuju TMA dan kedua katup tertutup karena udara yang berada di dalam silinder didesak terus oleh piston menyebabkan terjadi kenaikan tekanan dan temperatur, sehingga udara di dalam silinder menjadi sangat panas. Beberapa derajat sebelum piston mencapai TMA, bahan bakar disemprotkan keruang bakar oleh injektor yang berbentuk kabut. Pada langkah kompresi udara yang bertekanan dan bertemperatur tinggi akan disemprotkan atau diinjeksikan oleh injektor, sehingga terjadilah pembakaran di ruang bakar mesin tersebut.

3. Langkah Usaha

Pada langkah ini kedua katup masih tertutup, akibat semprotan bahan bakar diruang bakar akan menyebabkan terjadinya ledakan pembakaran yang akan meningkatkan suhu dan tekanan diruang bakar. Tekanan yang besar tersebut akan mendorong piston ke bawah yang menyebabkan terjadi gaya aksial. Gaya aksial ini dirubah dan diteruskan oleh poros engkol menjadi gaya radial (putar).

4. Langkah Buang

Pada langkah ini, gaya yang masih terjadi di roda gila akan menaikkan kembali piston dari TMB ke TMA, bersamaan itu juga katup buang terbuka, sehingga udara sisa pembakaran akan didorong keluar dari ruang silinder menuju *exhaust manifold* dan langsung menuju knalpot. Begitu seterusnya, sehingga terjadi siklus pergerakan piston yang tidak berhenti.

Bahan bakar motor diesel mulai terbakar di dalam ruang bakar, di mana terdapat perbandingan campuran yang sebaik baiknya untuk terbakar. Bahan bakar yang disemprotkan ke dalam ruang bakar tidak segera terbakar, tetapi pada waktu persiapan yang diperlukan sebelum terbakar, yaitu kira-kira 1/1.000 detik. Waktu persiapan itu biasanya dinamai periode persiapan pembakaran atau kelambatan penyalaan. Kelambatan penyalaan itu adalah jumlah waktu yang diperlukan untuk fenomena fisik, misalnya untuk pemindahan panas, penguapan, difusi dan fenomena kimia misalnya reksi temperatur rendah. Kelambatan penyalaan tergantung pada tekanan, temperatur, pusran udara dan jenis bahan bakar yang digunakan.

Turbocharger sangat berpengaruh positif terhadap daya mesin induk kapal dengan meningkatkan daya hingga 35-40% dan efisiensi bahan bakar dengan cara memampatkan udara masuk (*forced induction*), sehingga memungkinkan pembakaran lebih ideal dan lebih banyak bahan bakar dapat dimasukkan. Namun, kinerja optimalnya bergantung pada perawatan, karena masalah seperti turbo kotor atau kerusakan dapat menyebabkan penurunan daya, peningkatan konsumsi bahan bakar, dan gangguan operasional kapal, seperti keterlambatan jadwal.

M. Dampak Tidak Optimalnya *Turbocharger* pada Operasional Kapal

Dampak tidak optimalnya *turbocharger* pada operasional kapal dapat berupa:

1. Penurunan Efisiensi Mesin

Turbocharger yang tidak optimal dapat menyebabkan penurunan efisiensi mesin, sehingga meningkatkan konsumsi bahan bakar dan biaya operasional.

2. Peningkatan Konsumsi Bahan Bakar

Turbocharger yang tidak optimal dapat menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar, sehingga meningkatkan biaya operasional dan emisi gas buang.

3. Kerusakan Komponen Mesin

Turbocharger yang tidak optimal dapat menyebabkan kerusakan komponen mesin lainnya, seperti piston, silinder, dan katup, sehingga meningkatkan biaya perawatan dan perbaikan.

4. Penurunan Kinerja Kapal

Turbocharger yang tidak optimal dapat menyebabkan penurunan kinerja kapal, sehingga memengaruhi jadwal operasional dan pengiriman muatan.

5. Peningkatan Emisi Gas Buang

Turbocharger yang tidak optimal dapat menyebabkan peningkatan emisi gas buang, sehingga memengaruhi lingkungan dan kesehatan manusia.

6. Biaya Perawatan yang Tinggi

Turbocharger yang tidak optimal dapat menyebabkan biaya perawatan yang tinggi, sehingga memengaruhi profitabilitas operasional kapal.

7. Kerusakan Lingkungan

Turbocharger yang tidak optimal dapat menyebabkan kerusakan lingkungan, seperti polusi udara dan air, sehingga memengaruhi ekosistem laut.

Dalam jangka panjang, tidak optimalnya *turbocharger* dapat menyebabkan kerugian yang signifikan bagi operasional kapal, sehingga perawatan dan inspeksi rutin *turbocharger* sangat penting untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi kapal.