

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PURIFIKASI BAHAN BAKAR TERHADAP
PRESTASI MESIN DIESEL**

Oleh :

A. M. ISMAIL SUHASDIN

D211 16 516



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2020



TUGAS AKHIR

**PENGARUH PURIFIKASI BAHAN BAKAR TERHADAP
PRESTASI MESIN DIESEL**

OLEH :

A. M. ISMAIL SUHARDIN

D211 16 516

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2020



LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mengikuti ujian akhir guna memperoleh gelar sarjana Teknik Mesin pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

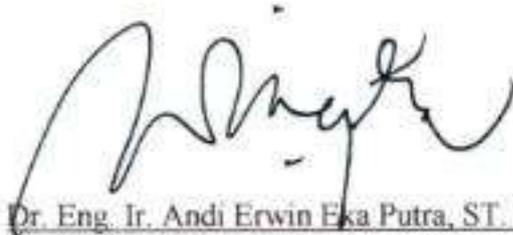
JUDUL :
**PENGARUH PURIFIKASI BAHAN BAKAR TERHADAP
PRESTASI MESIN DIESEL**

A. M. ISMAIL SUHASDIN
D211 16 516

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, ST, MT
NIP. 19711221 199802 1 001



Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST, MT
NIP. 19791112 200812 2 002

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. A. Jalaluddin, ST., MT
NIP. 19720825 200003 1 001



LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda – tangan dibawah ini:

NAMA : A. M. ISMAIL SUHASDIN
NIM : D21116516
JUDUL SKRIPSI : PENGARUH PURIFIKASI BAHAN BAKAR
TERHADAP PRESTASI MESIN DIESEL

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin

Demikian pernyataan ini saya buat,

Gowa, 31 / 08 / 2020

Yang membuat pernyataan,



A. M. ISMAIL SUHASDIN



ABSTRAK

Gasoil atau biasa disebut *high speed diesel*/minyak solar/biosolar adalah bahan bakar jenis distilat yang digunakan untuk mesin diesel. Bahan bakar tersebut dimungkinkan masih mengandung kadar air dan sedimen. Maka dari itu, sebelum digunakan untuk memenuhi kebutuhan mesin diesel, sebaiknya bahan bakar terlebih dahulu melalui proses purifikasi. Purifikasi bertujuan untuk memisahkan minyak, air dan kotoran dengan menggunakan gaya sentrifugal yang bekerja berdasarkan perbedaan berat jenis dan minyak, air dan kotoran, sehingga zat yang mempunyai berat jenis lebih besar akan terlempar keluar terlebih dahulu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi bahan bakar purifikasi terhadap karakteristik bahan bakar, menganalisis pengaruh variasi bahan bakar purifikasi terhadap kinerja mesin diesel tipe TV1, dan menganalisis pengaruh variasi bahan bakar purifikasi terhadap pembakaran mesin diesel TV1. Dengan variasi bahan bakar sebelum purifikasi, setelah purifikasi tanpa pemanas, dan setelah purifikasi dengan pemanas 70 °C didapatkan hasil penelitian sebagai berikut: (1) Variasi bahan bakar setelah purifikasi dengan pemanas 70 °C dihasilkan nilai viskositas minimum, densitas minimum, dan nilai kalor maksimum, sedangkan titik nyala pada ketiga variasi bahan bakar purifikasi bernilai konstan; (2) Nilai daya indikasi maksimum terjadi pada variasi bahan bakar setelah purifikasi tanpa pemanas, sedangkan nilai daya efektif, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik, dan efisiensi termal tidak signifikan berubah terhadap ketiga variasi bahan bakar; (3) Pada hasil pembakaran, terjadi pra-penyalaan bahan bakar akibat rasio kompresi yang tinggi, namun variasi bahan bakar setelah purifikasi tanpa pemanas menghasilkan pembakaran paling optimal dimana fraksi massa terbakar 50%-90% mendekati nilai optimal (8 °E) pada -1,47 °E.

Kata kunci: Solar, purifikasi bahan bakar, karakteristik, mesin diesel TV1, kinerja, hasil pembakaran.



ABSTRACT

Gasoil or so-called high speed diesel / diesel oil / biodiesel is a distillate type of fuel used for diesel engines. The fuel may still contain moisture and sediment. Therefore, before it is used to meet the needs of a diesel engine, the fuel should first go through a purification process. Purification aims to separate oil, water and dirt by using a centrifugal force which works based on differences in specific gravity and oil, water and dirt, so those substances with a greater specific gravity will be thrown out first. This study aimed to analyze the effect of variations of purified fuel on fuel characteristics, to analyze the effect of variations in purification fuel on the performance of the TV1 type diesel engine, and to analyze the effect of variations in purified fuel on the combustion of TV1 diesel engines. With variations in fuel before purification, after purification without heating, and after purification with heating at 70 °C, the following research results were obtained: (1) Variations in fuel after purification with 70 °C heating resulted in minimum viscosity, minimum density, and maximum calorific value. While the flash point of the three variations of purified fuel were constant; (2) The maximum indicated power value occurred in the variation of fuel after purification without heating, while the value of effective power, torque, specific fuel consumption, and thermal efficiency not significantly changed for the three variations of fuel; (3) In the result of combustion, the fuel pre-ignition occurred due to high compression ratio, but the variation of fuel after purification without heating produced the most optimal combustion where the burnt mass fraction of 50% -90% approached the optimal value (8 °E) at -1 , 47 °E.

Key words: diesel fuel, fuel purification, characteristics, diesel engine TV1, performance, combustion product.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya lah sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**Pengaruh Purifikasi Bahan Bakar terhadap Prestasi Mesin Diesel**”. yang mana merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Selama proses pengerjaan skripsi ini penulis menerima begitu banyak bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu peneliti ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta Andi Darwis dan Imma serta saudara (i) yang selalu mendampingi, memberi semangat, dan mendoakan.
2. Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, S.T., M.T., dan Dr. Eng. Novriany Amaliyah, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing dalam menyelesaikan tugas sarjana ini. Terima kasih atas bimbingan, pelajaran, dan semangat yang telah diberikan baik dalam pengerjaan tugas sarjana maupun dalam kehidupan.
3. Ir. Machmud Syam, DEA dan Ir. Baharuddin Mire., MT., selaku anggota tim penguji yang telah memberikan saran-saran selama proses pengerjaan skripsi.
4. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT. sebagai Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudahan yang diberikan.
5. Bapak/Ibu dosen Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu, nasehat, dan pengalaman kepada penulis selama menempuh studi di dunia perkuliahan.
6. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2016/COMPRESSOR'16 yang senantiasa mendukung dan berjuang bersama sejak mahasiswa baru hingga

at ini.

MM FT-UH, yang telah menjadi tempat belajar dan mencoba banyak hal kampus tercinta.



8. Pihak-pihak yang telah membantu yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna walaupun telah menerima bantuan dari berbagai pihak. Apabila terdapat kesalahan-kesalahan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis dan bukan para pemberi bantuan. Kritik dan saran yang membangun akan lebih menyempurnakan skripsi ini.

Gowa, 18 Agustus 2020

Penulis



DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
BAB I. PENDAHULUAN	1
I.1 Latar belakang	1
I.2 Rumusan masalah	2
I.3 Tujuan penelitian	3
I.4 Batasan masalah	3
I.5 Manfaat penelitian	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Mesin pembakaran dalam (<i>Internal combustion engine</i>)	4
II.2 Siklus operasi motor pembakaran dalam (<i>Internal combustion engine</i>)	5
II.2.1 Motor dua langkah	5
II.2.2 Motor empat langkah	7
II.3 Motor pembakaran dalam jenis <i>compression ignition engine</i> (CIE) ...	8
II.4 Pembakaran bahan bakar dalam motor diesel	10
II.5 Tahapan pembakaran	11
II.6 Dasar-dasar perhitungan kinerja motor bakar	14
II.7 Solar (<i>diesel oil</i>)	16
II.7.1 Angka Setana	17
II.7.2 Titik Nyala (<i>Flash Point</i>)	18
II.7.3 Massa Jenis (Densitas)	18
II.7.4 Viskositas Kinematik	18



Diagram Sankey	72
Dokumentasi Maintenance dan Pengambilan Data	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a) Motor siklus dua langkah. (b) Motor siklus empat langkah	5
Gambar 2.2 Prinsip kerja motor dua langkah (a) Langkah hisap dan kompresi (b) Langkah daya dan buang	6
Gambar 2.3 Prinsip kerja motor empat Langkah	7
Gambar 2.4 Siklus aktual diesel	9
Gambar 2.5 Skema disintegrasi semprotan bahan bakar dalam mesin <i>compression ignition (CI)</i>	10
Gambar 2.6 Tekanan vs sudut engkol pada mesin diesel	11
Gambar 2.7 <i>Disk/mangkokan</i>	22
Gambar 3.1 Motor Diesel model TV1	25
Gambar 3.2 Panel Mesin	26
Gambar 3.3 Komputer	26
Gambar 3.4 Pompa	27
Gambar 3.5 <i>Bomb Calorimeter</i>	27
Gambar 3.6 <i>Pycnometer</i>	28
Gambar 3.7 <i>Ostwald Viscometer</i>	29
Gambar 3.8 <i>Mitsubishi Selfjector</i>	30
Gambar 3.9 <i>Diesel Oil</i> (I) Sebelum Purifikasi (II) Setelah Purifikasi dengan <i>Heater</i> 70 °C (III) Setelah Purifikasi tanpa <i>Heater</i>	30
Gambar 3.10 Diagram alur penelitian	34
Gambar 4.1 Hubungan massa jenis terhadap variasi purifikasi	36
Gambar 4.2 Hubungan viskositas kinematis terhadap variasi purifikasi	37
Gambar 4.3 Hubungan titik nyala terhadap variasi purifikasi	38
Gambar 4.4 Hubungan nilai kalor terhadap variasi purifikasi	39
Gambar 4.5 Hubungan daya indikasi terhadap variasi purifikasi pada variasi beban	40
Gambar 4.6 Hubungan daya indikasi terhadap pembebanan pada variasi purifikasi	41
Gambar 4.7 Hubungan daya efektif dan daya indikasi terhadap variasi purifikasi	41



pada beban	42
Gambar 4.8 Hubungan torsi terhadap variasi purifikasi pada variasi beban	43
Gambar 4.9 Hubungan torsi terhadap variasi beban pada variasi purifikasi	44
Gambar 4.10 Hubungan konsumsi bahan bakar terhadap pembebanan pada variasi purifikasi	45
Gambar 4.11 Hubungan konsumsi bahan bakar terhadap variasi purifikasi pada variasi beban	45
Gambar 4.12 Hubungan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap variasi purifikasi pada variasi beban	46
Gambar 4.13 Hubungan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap pembebanan pada variasi purifikasi	47
Gambar 4.14 Hubungan efisiensi termal terhadap variasi purifikasi pada variasi beban	48
Gambar 4.15 Hubungan efisiensi termal terhadap pembebanan pada variasi purifikasi	49
Gambar 4.16 Hubungan tekanan silinder terhadap sudut engkol pada BP, APNH, AP70, dan Pembakaran Normal beban 6 kg	51
Gambar 4.17 Hubungan tekanan silinder terhadap variasi purifikasi pada variasi beban	54
Gambar 4.18 Hubungan tekanan silinder terhadap volume silinder pada BP, APNH, AP70, dan Pembakaran Normal beban 6 kg	55
Gambar 4.19 Hubungan tekanan silinder terhadap pembebanan pada variasi purifikasi	56
Gambar 4.20 Hubungan pelepasan panas kumulatif terhadap sudut engkol pada BP, APNH, AP70, dan Pembakaran Normal beban 6 kg	57
Gambar 4.21 Hubungan pelepasan panas bersih terhadap sudut engkol pada BP, APNH, AP70, dan Pembakaran Normal beban 6 kg	58
Gambar 4.22 Hubungan laju kenaikan tekanan terhadap sudut engkol pada BP, APNH, AP70, dan Pembakaran Normal beban 6 kg	60
4.23 Hubungan temperatur rata-rata terhadap sudut engkol pada BP, APNH, AP70, dan Pembakaran Normal beban 6 kg	62



Gambar 4.42 Hubungan temperatur gas rata-rata terhadap sudut engkol pada BP, APNH, AP70, dan Pembakaran Normal beban 6 kg 63



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Karakteristik bahan bakar	36
Tabel 4.2 Tabel fraksi massa terbakar (MFB)	51
Tabel 4.3 Tabel fraksi massa terbakar (MFB) pembakaran normal	52
Tabel 4.4 Tabel tekanan silinder maksimum (CPmax) pembakaran normal	55
Tabel 4.5 Tabel nilai pelepasan panas kumulatif (CHR)	57
Tabel 4.6 Tabel nilai pelepasan panas kumulatif (CHR) pembakaran normal ...	57
Tabel 4.7 Tabel nilai pelepasan panas bersih (NHR)	59
Tabel 4.8 Tabel nilai pelepasan panas bersih (NHR) pembakaran normal	59
Tabel 4.9 Tabel nilai laju kenaikan tekanan (RPR)	60
Tabel 4.10 Tabel nilai laju kenaikan tekanan (RPR) pembakaran normal	61
Tabel 4.11 Tabel nilai temperatur gas rata-rata (MGT)	62
Tabel 4.12 Tabel nilai temperatur gas rata-rata (MGT) pembakaran normal	62
Tabel 4.13 Tabel tekanan saluran bahan bakar (FLP)	64
Tabel 4.14 Tabel tekanan saluran bahan bakar (FLP) pembakaran normal	64



DAFTAR SIMBOL

IP	Daya indikasi	kW
BP	Daya efektif	kW
η_m	Efisiensi mekanis	%
N	Putaran poros	rpm
FC	Konsumsi bahan bakar	kg/h
ρ_f	Massa jenis bahan bakar	kg/h
SFC	Konsumsi bahan bakar spesifik	kg/h
K	koefisien	-
C	kecepatan aliran udara	m/s
Do	Diameter orifice	mm
h _o	Beda tekanan pada manometer	mmH ₂ O
ρ_a	Massa jenis udara pada kondisi masuk	kg/m ³
V _s	Volume silinder	-
ρ_{ud}	Massa jenis udara	kg/m ³
Ka	konstanta untuk motor 4 langkah	-
d	Diameter selinder	mm
s	Panjang langkah selinder	mm
z	Jumlah selinder	-
η_{th}	Efisiensi thermis	%
Q _{tot}	Kalor total	kW
LHV _{bb}	Nilai kalor bahan bakar	kJ/kg



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Gasol atau biasa disebut *high speed diesel*/minyak solar/biosolar adalah bahan bakar jenis distilat yang digunakan untuk mesin diesel dengan sistem pembakaran “*compression ignition*”, pada umumnya digunakan untuk bahan bakar mesin diesel dengan putaran tinggi (> 1000 rpm). (Pertamina)

Bahan bakar memegang peranan yang sangat penting dalam pengoperasian suatu mesin diesel. Bahan bakar tersebut dimungkinkan masih mengandung kadar air dan sedimen. Maka dari itu, sebelum digunakan untuk memenuhi kebutuhan mesin diesel, sebaiknya bahan bakar terlebih dahulu melalui proses purifikasi. Pada kapal-kapal yang digerakkan dengan motor diesel pemakaian bahan bakar sangatlah kita perhatikan dan dijaga kebersihannya sebab bahan bakar yang kotor akan berpengaruh dengan motor diesel. Pengaruh yang mungkin terjadi karena pemakaian bahan bakar yang kotor pada motor diesel yaitu tersumbatnya lubang-lubang pengabut (*injector*) pada motor tersebut. Dengan tersumbatnya lubang-lubang pengabut tersebut maka pembakaran yang terjadi pada motor diesel juga tidak sempurna sehingga pengoperasian kapal mengalami hambatan, misalnya: jumlah putaran/daya motor menjadi rendah. (Rokhim, 2018)

Purifier adalah suatu alat bantu yang digunakan untuk pemisahan dua cairan yang berbeda berat jenisnya (Jackson dan Morton, 1977). Purifikasi bertujuan untuk memisahkan minyak, air dan kotoran dengan menggunakan gaya sentrifugal yang bekerja berdasarkan perbedaan berat jenis dan minyak, air dan kotoran, sehingga zat yang mempunyai berat jenis lebih besar akan terlempar keluar terlebih dahulu.



ari penelitian sebelumnya oleh TAN Pi-qiang tentang *Study of the
ate Purification Efficiency of Diesel Oxidation Catalyst (DOC) and
d Diesel Particulate Filter (CDPF)* menyimpulkan bahwa (1) Tidak

peduli apakah perlakuan *DOC + CDPF* dilengkapi atau tidak, output daya dan torsi dalam kondisi yang sama hampir sama, itu berarti *DOC + CDPF* hampir tidak berpengaruh kinerja tenaga mesin diesel. (2) Konsumsi bahan bakar akan meningkat sekitar 2% ketika dilengkapi dengan *DOC + CDPF*, yaitu karena *CDPF* dapat meningkatkan tekanan balik knalpot. (3) Ketika mesin diesel bekerja tanpa *DOC + CDPF*, distribusi ukuran partikulat gas buang angka menunjukkan distribusi logaritmik puncak ganda atau distribusi logaritmik puncak tunggal, dan diameter puncak nomor partikulat adalah sekitar 50nm dan 200nm. (4) Ketika dilengkapi dengan *DOC + CDPF*, tidak masalah diesel bekerja pada kondisi apa, distribusi ukuran nomor partikulat menunjukkan distribusi multi-puncak logaritmik, dan diameter puncak nomor partikulat sekitar 10nm, 20nm dan 60nm. (5) Ketika mesin bekerja tanpa *DOC + CDPF*, konsentrasi jumlah partikel meningkat dengan bertambahnya beban. Dan ketika dilengkapi dengan *DOC + CDPF*, jumlah partikel total berkurang secara signifikan, kisaran penurunan lebih dari 2 kali lipat.

Proses purifikasi dapat dilakukan dengan menggunakan alat purifikasi *Mitsubishi Selfjector* dengan bahan bakar yang digunakan adalah *Diesel Oil*. Sehingga, penulis melakukan penelitian untuk mengetahui perbedaan dari *Diesel Oil* sebelum purifikasi dan setelah purifikasi, dengan melakukan beberapa pengujian untuk mengetahui karakteristiknya dan pengujian prestasi yang dihasilkan pada mesin diesel model TV1 dengan judul **“PENGARUH PURIFIKASI BAHAN BAKAR TERHADAP PRESTASI MESIN DIESEL”**.

I.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik *Diesel Oil* yang digunakan ?
2. Bagaimana kinerja yang dihasilkan mesin diesel tipe TV1 dengan variasi purifikasi *Diesel Oil*?
3. Bagaimana pembakaran yang dihasilkan mesin diesel tipe TV1 dengan variasi purifikasi *Diesel Oil*?



I.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis karakteristik *Diesel Oil* yang digunakan.
2. Menganalisis kinerja yang dihasilkan mesin diesel tipe TV1 dengan variasi purifikasi *Diesel Oil*.
3. Menganalisis pembakaran yang dihasilkan mesin diesel tipe TV1 dengan variasi purifikasi *Diesel Oil*.

I.4 Batasan Masalah

1. Bahan bakar yang digunakan *Diesel Oil*.
2. Variasi bahan bakar yang diteliti adalah *Diesel Oil* sebelum purifikasi, *Diesel Oil* setelah purifikasi, *Diesel Oil* setelah purifikasi dengan heater 70 °C.
3. Variasi beban yang diteliti adalah beban 3, beban 6, beban 9, dan beban 12.
4. Parameter karakteristik yang diuji adalah titik nyala, massa jenis, viskositas kinematis, dan nilai kalor.
5. Parameter kinerja yang diuji adalah daya indikasi, daya efektif, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik, dan efisiensi termal.
6. Parameter pembakaran yang diuji adalah sudut engkol, tekanan silinder, fraksi massa terbakar, pelepasan panas bersih, laju kenaikan tekanan, temperatur gas rata-rata, dan tekanan saluran bahan bakar.
7. Menggunakan mesin diesel tipe TV1.

I.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi penulis adalah sebagai wadah pengaplikasian pengetahuan yang dimiliki, khususnya dalam bidang motor bakar.
2. Bagi akademik adalah sebagai bahan informasi untuk penelitian selanjutnya yang kemudian bisa dikembangkan untuk penelitian lebih lanjut.
3. Bagi masyarakat umum adalah sebagai acuan dalam penggunaan alat purifikasi *Mitsubishi Selfjector*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Mesin pembakaran dalam (*Internal combustion engine*)

Mesin pembakaran dalam adalah mesin pembakaran yang merubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik. Energi kimia dari bahan bakar yang bercampur dengan udara diubah terlebih dahulu menjadi energi termal melalui pembakaran atau oksidasi, sehingga temperatur dalam ruang bakar meningkat. Gas bertekanan tinggi dalam ruang bakar berekspansi menggerakkan torak dan menghasilkan gerak mekanis. (Ir. Philip Kristanto, 2015) Mesin konversi energi yang dapat diklasifikasikan dalam mesin jenis ini di antaranya adalah motor bensin, motor diesel dan turbin gas siklus terbuka.

Dalam motor pembakaran jenis *reciprocating*, bahan bakar diumpukan ke dalam ruang bakar bercampur udara sehingga terbakar dan mengkonversikan energi kimianya menjadi panas. Tidak semua energi ini dapat menggerakkan piston karena terdapat berbagai kerugian, seperti ke saluran buang, ke pendingin dan radiasi. Energi yang tersisa, yang di konversikan menjadi tenaga, disebut daya indikatif (*indicated horse power, ihp*). Tenaga inilah yang menggerakkan piston. Tenaga yang menggerakkan piston ini dalam pentrasmiannya mengalami kerugian karena gesekan, pemompaan, dan lain-lain. Jumlah semua kerugian dikonversikan ke tenaga disebut daya gesek (*friction horse power, fhp*). Energi yang tersisa adalah energi mekanik yang berguna, yang disebut daya efektif (sering disebut *brake horse power, bhp*) (Astu pudjanarsa & Djati Nursuhud, 2013).

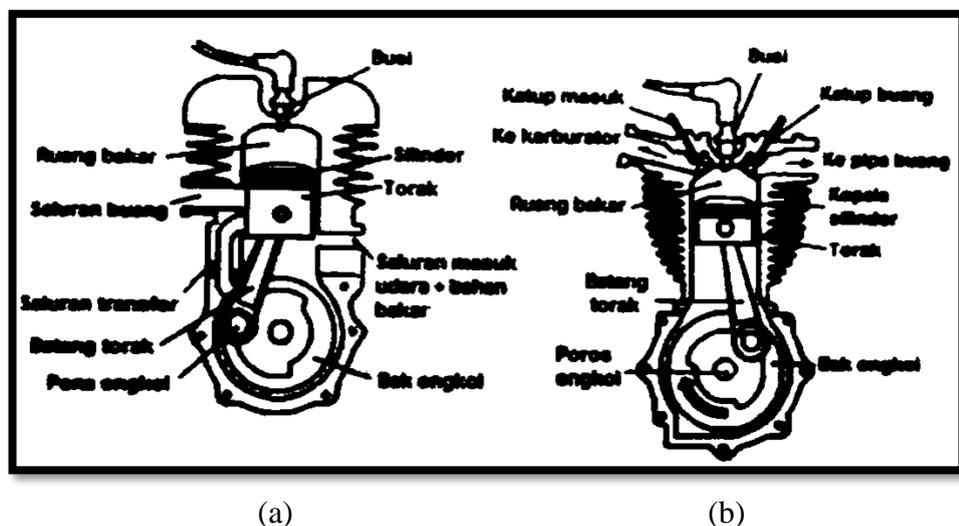
Mesin pembakaran internal sejauh ini merupakan bentuk mesin atau penggerak utama yang paling umum. Seperti kebanyakan mesin, tujuan biasanya adalah mencapai hasil kerja yang tinggi dengan efisiensi tinggi. Terdapat dua jenis mesin pembakaran internal adalah: *Spark Ignition* (SI), di mana bahan bakar dinyalakan oleh percikan api; dan mesin *Compression Ignition* (CI), di mana temperatur dan tekanan pada saat kompresi cukup untuk menyebabkan ledakan pada bahan bakar. Mesin *Spark Ignition* juga disebut sebagai mesin



bensin atau gas dari jenis bahan bakarnya. Mesin *Compression Ignition* juga disebut sebagai mesin diesel berdasarkan nama penemunya (Richard Stone, 2012).

II.2 Siklus operasi motor pembakaran dalam (*Internal combustion engine*)

Berdasarkan siklus operasinya, motor pembakaran dalam, baik motor bensin maupun motor diesel, dibedakan menjadi dua yaitu motor 2-langkah dan motor 4-langkah, yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 (a) Motor silus dua langkah. (b) Motor siklus empat langkah.
 Sumber : Kristanto, Ir. Philip. 2015. *Motor bakar torak (Teori dan Aplikasi)*. Yogyakarta : Andi.

II.2.1 Motor Dua Langkah

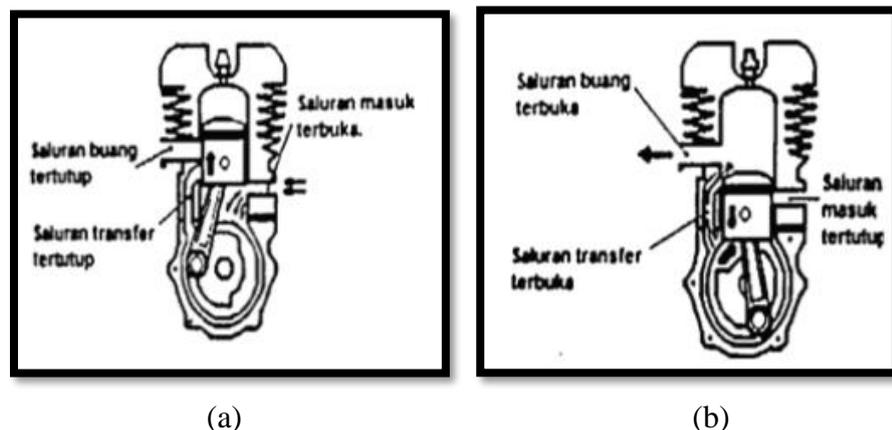
Motor dua langkah yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 hanya membutuhkan satu kali putaran poros engkol untuk menyelesaikan satu siklus di dalam silinder. Kerja (langkah daya) dihasilkan pada setiap putaran poros engkol. Motor dua langkah beroperasi tanpa katup. Sebagai pengganti katup, kebanyakan mesin dua langkah menggunakan lubang saluran di dinding silinder yang dibuka dan ditutup oleh torak ketika bergerak naik dan turun di dalam silinder. Beberapa motor dua langkah menggunakan katup pasif atau

bak penutup yang disebut katup buluh untuk membantu menutup bak
 ol setelah campuran udara/bahan bakar dihisap. Jika seluruh proses pada
 r empat langkah berlangsung di atas torak, maka motor dua langkah juga



memanfaatkan area di bawah torak (*crankcase*) untuk mempercepat operasi. (Ir. Philip Kristanto, 2015)

Proses kompresi pada motor dua langkah terjadi dua kali setiap putaran. Kompresi pertama atau *precompression* berlangsung di dalam bak engkol, dimana campuran udara/bahan bakar ditarik ke dalam bak engkol dan selanjutnya dikompresi melalui gerakan engkol dan masuk ke ruang bakar. Kompresi kedua berlangsung di dalam silinder dan ruang bakar sehingga dihasilkan tekanan tinggi untuk menyalakan campuran udara-bahan bakar dengan bantuan busi. Prinsip kerja motor dua langkah ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Prinsip kerja motor dua langkah (a) Langkah hisap dan kompresi, (b) Langkah daya dan buang.

Sumber :Kristanto, Ir. Philip. 2015. *Motor bakar torak (Teori dan Aplikasi)*. Yogyakarta :Andi.

1. Langkah hisap, saat torak bergerak menuju ke TMA (setengah putaran pertama atau 180°), terjadi kevakuman di ruang engkol (bagian bawah torak) dan saluran masuk terbuka. Karena adanya beda tekanan tersebut, udara luar dihisap masuk dan bercampur dengan bahan bakar di karburator yang selanjutnya masuk ke ruang engkol. Proses ini disebut langkah hisap.



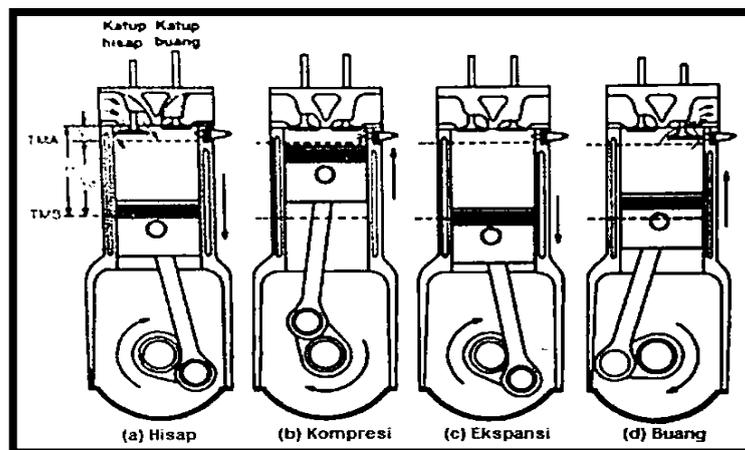
precompression, saat torak bergerak ke bawah (setengah putaran kedua atau 360°) menutup lubang saluran masuk dan meremas (*squeezes*) campuran udara/bahan bakar di dalam bak engkol sehingga tekanannya meningkat.

Saat torak terus bergerak ke bawah, saluran transfer pada dinding silinder terbuka. Campuran bertekanan didesak naik ke atas di atas piston.

3. Langkah kompresi, piston bergerak ke TMA (menutup saluran transfer dan buang) dan memampatkan campuran udara/bahan bakar ke dalam ruang bakar.
4. Langkah daya, tepat sebelum torak mencapai TMA, busi menyalakan campuran udara/bahan bakar dan tekanan tinggi yang diciptakannya mendorong torak ke TMB untuk melakukan langkah daya.
5. Langkah buang, saat torak bergerak ke bawah melakukan langkah daya, saluran buang dan campuran yang masuk dari saluran transfer membantu mendorong gas terbakar keluar dari mesin dan proses ini disebut pembilasan.

II.2.2 Motor Empat Langkah

Motor empat langkah pada Gambar 2.3 membutuhkan dua kali putaran poros engkol untuk menyelesaikan satu siklus di dalam silinder. Dengan kata lain, setiap silinder membutuhkan empat langkah torak pada dua putaran poros engkol untuk melengkapinya siklusnya. Prinsip kerja motor empat langkah ditunjukkan dalam Gambar 2.3. (Ir. Philip Kristanto, 2015)



Gambar 2.3 Prinsip kerja motor empat Langkah

Sumber :Kristanto, Ir. Philip. 2015. *Motor bakar torak (Teori dan Aplikasi)*. Yogyakarta :Andi.



1. Langkah hisap, diawali dengan posisi torak di TMA dan berakhir dengan posisi torak di TMB, yang mana menghisap campuran segar ke dalam silinder. Untuk meningkatkan massa campuran yang dihisap, katup masuk terbuka sesaat sebelum langkah hisap dimulai dan menutup setelah berakhirnya langkah tersebut.
2. Langkah kompresi, ketika kedua katup tertutup dimana campuran di dalam silinder dimampatkan dan volumenya diperkecil. Menjelang akhir langkah kompresi, pembakaran diaktifkan dan tekanan silinder naik dengan cepat.
3. Langkah daya atau langkah ekspansi, diawali dengan posisi torak di TMA dan berakhir di TMB ketika temperatur dan tekanan gas yang tinggi mendorong torak ke bawah dan memaksa poros engkol untuk berputar. Ketika torak mendekati TMB, katup buang terbuka untuk mengawali proses buang dan tekanan silinder turun mendekati tekanan buang.
4. Langkah buang, di mana sisa gas yang dibakar keluar dari silinder disebabkan tekanan yang pada hakikatnya lebih tinggi dibanding tekanan buang. Gas kemudian disilinder dorong keluar oleh torak ketika bergerak ke arah TMA. Ketika torak mendekati TMA, katup masuk terbuka. Sesaat setelah TMA, katup buang menutup dan siklus dimulai lagi.

Untuk memperoleh keluaran daya yang lebih tinggi dari ukuran motor yang ditentukan, dan desain katup yang lebih sederhana, dikembangkan siklus dua langkah. Siklus dua langkah juga dapat digunakan baik untuk motor pengapian percikan maupun pengapian kompresi (Ir. Philip Kristanto, 2015).

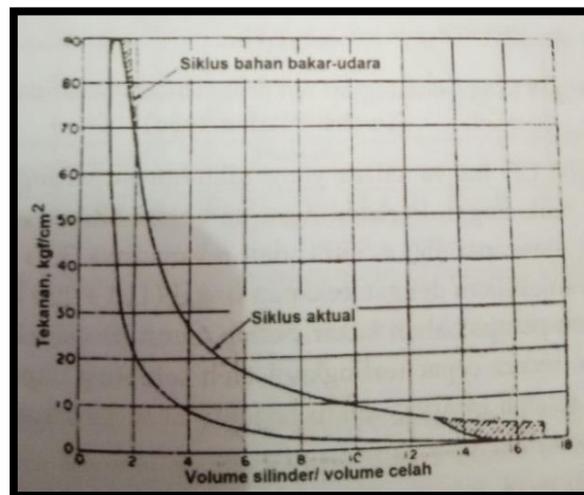


Motor pembakaran dalam jenis *compression ignition engine* (CIE)

konsep pembakaran dalam pada mesin diesel adalah melalui proses kompresi udara pada tekanan tinggi (oleh karenanya mesin ini disebut

compression ignition engine, CIE). Pembakaran itu dapat terjadi karena udara dikompresi pada ruang dengan perbandingan kompresi jauh lebih besar dari pada motor bensin (7-10), yaitu antara 14-22. Akibatnya udara mempunyai tekanan dan temperatur melebihi suhu dan tekanan penyalaan bahan bakar. (Astu pudjanarsa & Djati Nursuhud, 2013).

Secara umum, mesin diesel konvensional (CDC) memiliki efisiensi yang lebih tinggi di bandingkan dengan mesin pengapian percikan (SI) karena memiliki kompresi yang lebih tinggi, tetapi efisiensi dari mesin diesel konvensional memiliki emisi NOx dan jelaga. Untuk menghemat bahan bakar dan mengurangi emisi Nox dan jelaga dapat dilakukan dengan memvariasikan waktu pembukaan katup, modifikasi sistem injeksi bahan bakar, meningkatkan rasio kompresi, serta pembakaran pada suhu rendah (LTC). LTC adalah salah satu cara untuk mengurangi emisi nitrogen oksida (NOx) dan emisi jelaga. (Saeed Ghaffarzadeha, dkk., 2019).



Gambar 2.4 Siklus actual diesel

Sumber : Astu pudjanarsa & Djati Nursuhud. 2013. *Mesin konversi energi. Edisi 3*, Yogyakarta : Andi

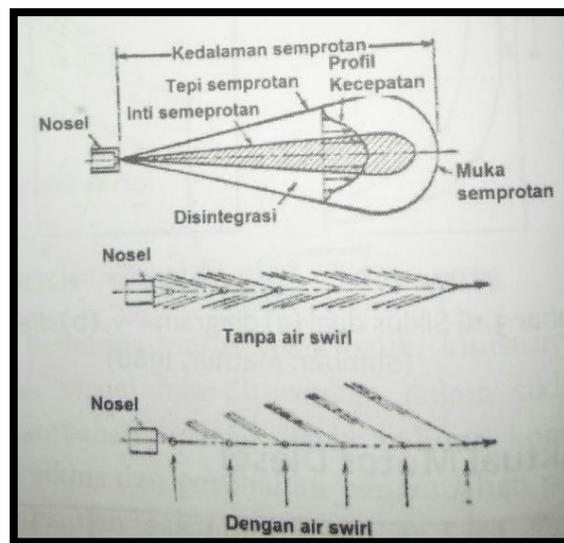
Dalam siklus diesel, kerugian yang ditimbulkan lebih rendah daripada pada siklus otto. Kerugian utama adalah karena pembakaran tidak sempurna dan penyebab utama perbedaan antara siklus teoritik dan siklus aktual adalah pembakaran yang tidak sempurna. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.4. siklus teoritis pembakaran



diharapkan selesai pada akhir pembakaran tekanan tetap, akan tetapi aktualnya *after burning* berlanjut sampai setengah langkah ekspansi. Perbandingan efisiensi antara siklus aktual dan teoritik adalah sekitar 0,85. (Astu pudjanarsa & Djati Nursuhud, 2013).

II.4 Pembakaran bahan bakar dalam motor diesel

Karakteristik semprotan bahan bakar dipengaruhi oleh *properties* fisik bahan bakar berupa densitas, viskositas dan tegangan permukaan. Untuk semprotan pada ruang terbuka (ambient atmospheric pressure), semakin tinggi *properties* fisik bahan bakar akan menghasilkan penetrasi semprotan yang semakin panjang. Sedangkan kenaikan tekanan dan suhu ambient menyebabkan *phase* cairan semprotan menjadi lebih pendek dan tipis. Hal ini disebabkan oleh kenaikan momentum dan perpindahan panas droplet ke udara ambient. (Dimas Priyanto dan Bambang Sudarmanta, 2015)



Gambar 2.5 Skema disintegrasi semprotan bahan bakar dalam mesin CI
 Sumber : Astu pudjanarsa & Djati Nursuhud. 2013. *Mesin konversi energi. Edisi 3*,
 Yogyakarta : Andi

Dalam motor CI, hanya udara yang dikompresi sehingga tekanan dan suhu naik tinggi perbandingan kompresi 12:1 ÷ 22:1. Temperatur udara dapat mencapai 450 ÷ 550 °C dan tekanannya 30 ÷ 40 kgf/cm². Bahan bakar diinjeksikan dengan tekanan tinggi (110 ÷ 200 kgf/cm²) dengan menggunakan pompa bahan

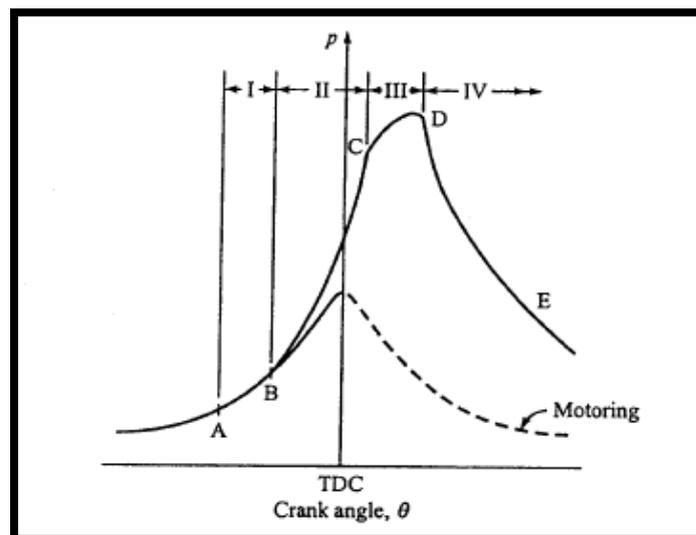


bakar. Setiap menit *droplet*, ketika memasuki udara panas, secara cepat terlingkupi oleh selubung uapnya sendiri, dan selanjutnya setelah interval waktu tertentu akan terbakar pada permukaan selubung. Dalam motor CI, bahan bakar tidak diinjeksikan sekali, tetapi pada priode waktu tertentu sekitar 20-40 drajat poros engkol. (Astu pudjanarsa & Djati Nursuhud, 2013)

Adalah tidak mungkin menginjeksikan *droplet* bahan bakar sehingga terdistribusi merata ke seluruh ruang bakar. Campuran bahan bakar udara dalam silinder secara esensial adalah heterogen. Dalam kondisi yang demikian, bila udara dalam silinder tidak bergerak, hanya sedikit bagian bahan bakar yang bertemu oksigen dalam jumlah yang cukup. Bahkan pembakaran bahan bakar akan berjalan pelan atau bahkan terhambat karena *droplet* tersebut terselubungi peroduk pembakarannya. Dan demikian perlu dilakukan pengendalian gerakan udara dan bahan bakar sehingga suplai yang kontinu udara segera terbawa ke tiap *droplet* yang terbakar dan menyapu produk pembakaran. Pengaruh gerakan udara ini disebut *air swirl*. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.7. (Astu pudjanarsa & Djati Nursuhud, 2013)

II.5 Tahapan pembakaran

Proses pembakaran pada mesin diesel di tunjukkan pada perbandingan tekanan dengan sudut engkol seperti yang di tunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.6 tekanan vs sudut engkol pada mesin diesel



Pada titik A, injektor mulai menyuntikkan bahan bakar ke dalam ruang bakar. Pada proses AB menunjukkan selang waktu sebelum bahan bakar mencapai suhu penyalaan, meskipun pada proses ini sebagian besar bahan bakar yang disuntikkan selama tahap pertama menyala secara spontan, menyebabkan kenaikan tekanan mendadak pada B dan juga selama proses BC (tahap kedua). Sisa bahan bakar yang disuntikkan selama tahap 3 terbakar segera setelah memasuki ruang bakar.

Output daya dikendalikan dengan mengukur jumlah bahan bakar yang disuntikkan yang menghasilkan efisiensi beban bagian yang sangat baik.

Diagram kompresi dan tekanan pembakaran diesel klasik yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 telah terbukti sebagai model yang dapat diterima dan secara kasar dapat dibagi menjadi empat tahap besar:

- a. Ignition delay period
 - b. Rapid or uncontrolled combustion
 - c. Mixing-controlled combustion phase
 - d. Late combustion phase or afterburning
- The first stage-ignition delay period (Proses A ke B)

Selama proses ini tidak ada penyimpangan dapat terlihat dari diagram tekanan. Proses penundaan penyalaan dapat di bagi menjadi proses fisik dan proses kimia.

Proses fisik yakni :

1. Semprotan disintegrasikan dan membentuk tetesan
2. Pemanasan bahan bakar dan penguapan
3. Difusi bahan bakar yang diupayakan ke udara untuk campuran mudah terbakar

Proses kimia yakni :

1. Penguraian hidrokarbon berat menjadi komponen yang lebih ringan
2. Penguapan reaksi kimia antara komponen terurai dan oksigen

Selama periode ini, reaksi kimia berlangsung sangat lambat sehingga tidak ada efek yang dapat dibedakan. Salah satu faktor yang dianggap kedua keterlambatan ini

adalah proses kimia sebagai aditif. Mereka tumpang tindih, dan laju reaksi kimia sangat lambat ketika bahan bakar dan udara menjadi sangat akrab. Oleh karena itu, proses pertama dari penundaan pengapian dianggap didominasi oleh proses fisik



yang menghasilkan pembentukan campuran yang mudah terbakar. Bagian kedua dari penundaan pengapian dianggap didominasi oleh perubahan kimia yang mengarah ke *autoignition*.

– The second stage-rapid or uncontrolled combustion (Proses B ke C)

Dalam fase ini, pembakaran bahan bakar, yang telah bercampur dengan udara hingga dalam batas mudah terbakar selama periode penundaan penyalaan, terjadi dengan cepat dalam beberapa derajat sudut engkol. Pengapian di satu tempat diikuti oleh pengapian di tempat lain, sehingga pembakaran cepat bahan bakar yang disiapkan mengikuti pengapian pertama. Tingkat dan kuantitas pembakaran pada fase kedua tergantung pada durasi periode penundaan dan tingkat persiapan bahan bakar selama periode ini.

Kecepatan reaksi ini menentukan laju kenaikan tekanan dalam silinder. Tingkat kenaikan tekanan yang tinggi berarti aplikasi beban yang tiba-tiba ke struktur *engine*, yang sering mengakibatkan kerusakan pada bagian-bagian. Tingkat kenaikan tekanan yang tinggi juga menghasilkan suara hentakan keras yang dikenal sebagai 'knock'.

– The third stage-controlled combustion phase (Proses C ke D)

Setelah bahan bakar dan udara yang dicampur selama penundaan penyalaan telah dikonsumsi pada akhir periode pembakaran cepat, suhu di dalam silinder sangat tinggi sehingga setiap bahan bakar yang disuntikkan setelah waktu ini akan terbakar segera setelah menemukan oksigen, dan kenaikan lebih lanjut dikendalikan oleh laju injeksi serta oleh proses pencampuran dan difusi. *Engine* yang berjalan pada putaran rendah harus dirancang untuk mengamankan pencampuran bahan bakar dan udara yang cepat selama tahap ketiga untuk menyelesaikan proses pembakaran sedini mungkin dalam langkah ekspansi.

– The fourth stage-late combustion phase or afterburning (Proses D ke E)

Pada stage ini tingkat pembakaran yang sangat rendah disebut sebagai ekor pembakaran, terjadi pada langkah ekspansi mesin. Ada beberapa hal terkait masalah

bagian kecil bahan bakar tidak terbakar. Fase pembakaran akhir ini tidak di karena mengurangi output daya dan menghasilkan knalpot berasap. Ini cegah dengan memasukkan udara lebih banyak ke ruang bakar dan



menciptakan lebih banyak turbulensi (Hua Zhaou, 2010).

II.6 Dasar-dasar perhitungan kinerja motor bakar

Parameter-parameter yang akan dijadikan sebagai perhitungan dalam pengujian ini adalah :

- a. Daya Indikasi (IP)
- b. Daya efektif (BP)
- c. Konsumsi Bahan Bakar (SFC)
- d. Efisiensi Thermis (η_{th})

✓ Daya Indikasi, IP (kW)

Daya motor merupakan salah satu parameter dalam menentukan performa motor. Perbandingan perhitungan daya terhadap berbagai macam motor tergantung pada putaran mesin dan momen putar itu sendiri, semakin cepat putaran mesin, rpm yang dihasilkan akan semakin besar, sehingga daya yang dihasilkan juga semakin besar, begitu juga momen putar motornya, semakin banyak jumlah gigi pada roda giginya semakin besar torsi yang terjadi. Dengan demikian jumlah putaran (rpm) dan besarnya momen putar atau torsi mempengaruhi daya motor yang dihasilkan oleh sebuah motor. Maka daya indikasi dari mesin merupakan karakteristik mesin dalam pembangkitan daya pada berbagai kondisi operasi, dapat dihitung menurut persamaan,

$$IP = \frac{BP}{\eta_m} \text{ (kW)}$$

Atau

$$IP = \frac{\left(\frac{PV \text{ plot area} \cdot N}{n \cdot 60}\right) \cdot 100}{1000000} \text{ (kW)}$$

Dimana :

IP = Daya Indikasi, (kW)

BP = Daya Efektif, (kW)

η_m = Efisiensi mekanis (%)

N = Putaran poros engkol (rpm)



- n = jumlah putaran persiklus
- = 2 untuk motor empat langkah
- = 1 untuk motor dua langkah

✓ Daya Efektif, BP (kW)

Daya motor merupakan salah satu parameter dalam menentukan performa motor. Perbandingan perhitungan daya terhadap berbagai macam motor tergantung pada putaran mesin dan momen putar itu sendiri, semakin cepat putaran mesin, rpm yang dihasilkan akan semakin besar, sehingga daya yang dihasilkan juga semakin besar, begitu juga momen putar motornya, semakin banyak jumlah gigi pada roda giginya semakin besar torsi yang terjadi. Dengan demikian jumlah putaran (rpm) dan besarnya momen putar atau torsi mempengaruhi daya motor yang dihasilkan oleh sebuah motor. Maka daya efektif dari mesin merupakan karakteristik mesin dalam pembangkitan daya pada berbagai kondisi operasi, dapat dihitung menurut persamaan,

$$BP = \frac{T.N}{9549,3} (kW)$$

Dimana :

- BP = Daya efektif, (kW)
- N = Putaran poros, (rpm)
- T = Momen Torsi, (N.m)
- 9549,305 = Konstanta dinamometer

✓ Konsumsi Bahan Bakar Spesifik, *SFC* (kg/kW.h)

Konsumsi bahan bakar spesifik menyatakan jumlah bahan bakar untuk menghasilkan suatu kW setiap satu satuan waktu pada beban tertentu. SFC merupakan parameter keekonomisan suatu motor bakar. Parameter ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$SFC = \frac{FC}{BP} (kg/kW.h)$$



Dimana :

SFC = Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kW.h)

✓ Efisiensi Thermis, η_{th} (%)

Efisiensi thermis didefinisikan sebagai perbandingan antara besarnya energi kalor yang di ubah menjadi daya efektif dengan jumlah kalor bahan bakar yang disuplai ke dalam silinder. Parameter ini menunjukkan kemampuan suatu mesin untuk mengkonversi energi kalor dari bahan bakar menjadi energi mekanik. η_{th} dapat dihitung dengan rumus berikut,

$$\eta_{th} = \frac{BP}{Q_{tot}} (\%)$$

dan,

$$Q_{tot} = \frac{FC.LHV_{bb}}{3600} (kW)$$

Dimana :

Q_{tot} = kalor total yang di suplai, (kW)
 LHV_{bb} = nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)
3600 = faktor konversi jam ke detik
BP = daya efektif (kW)

II.7 Solar (*Diesel Oil*)

Bahan bakar diesel adalah bahan bakar yang digunakan dalam mesin pengapian diesel atau kompresi. Dalam mesin diesel, udara dikompresi ke suhu tinggi sebelum bahan bakar disuntikkan ke dalam silinder untuk menyala atau meledak. Dibandingkan dengan mesin pengapian percikan, mesin diesel lebih hemat biaya karena keunggulan operasinya, efisiensi yang lebih besar, output daya tinggi, dan penghematan bahan bakar dalam semua beban. Namun, ia memiliki

an kebisingan dan emisi partikulat dan nitrogen oksida (NO_x). Tiga kelas bahan bakar diesel yang umum digunakan: (1) bahan bakar diesel transportasi digunakan dalam truk bus, kereta api, atau kendaraan transportasi darat



lainnya yang memiliki variasi kecepatan dan beban tinggi; (2) bahan bakar diesel transportasi laut, digunakan di kapal yang memiliki kecepatan variabel tetapi beban relatif tinggi dan seragam; dan (3) bahan bakar diesel mesin industri, digunakan pada pembangkit listrik yang memiliki kecepatan rendah atau sedang dengan beban berat. Oleh karena itu, kualitas bahan bakar diesel tergantung pada persyaratan kinerja mesin.

Bahan bakar diesel dianalisis berdasarkan sifat fisik dan komposisi kimianya untuk mengatasi berbagai masalah termasuk kinerjanya (efisiensi pembakaran), stabilitas penyimpanan, evaluasi efisiensi proses pemurnian dan kualitas produk, dan penilaian dampak lingkungan.

II.7.1. Angka Setana

Jumlah setana bahan bakar diukur pada mesin rating silinder tunggal dengan membandingkan kinerja bahan bakar dengan campuran *n-hexadecane* dan *α-methylnaphthalene* atau *heptamethylnonane*. Bahan bakar diesel dengan cetane number 55, misalnya, cocok dengan kinerja campuran 55% *n-hexadecane* dan 45% dari *α-methylnaphthalene* dalam mesin *cetane*.

Gugus metilen (CH_2) yang tidak tergabung dalam cincin *naphthenic* dan lebih dari tiga atom karbon dari struktur lain (seperti cincin aromatik, gugus metil, ikatan rangkap, atau cincin *naphthenic*) adalah fitur molekuler yang paling penting untuk bilangan setana. Molekul dengan angka setana tertinggi adalah parafin normal rantai lurus. Molekul dengan angka setana terendah adalah mereka yang memiliki beberapa kelompok metilen. Kehadiran ikatan rangkap dalam molekul akan menurunkan angka setana. Oleh karena itu, tren umum bilangan setana di antara tipe-tipe molekul adalah *n-paraffins* > *isoparaffins* > *cycloparaffins* > *aromatics*. Dalam rangkaian homolog, misalnya parafin, bilangan setana meningkat dengan berat molekul.



II.7.2. Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala digunakan untuk menentukan suhu di mana ruang uap di atas bahan bakar dapat dinyalakan oleh percikan atau sumber pengapian lainnya. Titik nyala bahan bakar diesel dapat ditentukan oleh ASTM D 93 (IP 34) menggunakan tester cangkir tertutup Pensky-Martens atau oleh ASTM D 56 menggunakan tester Tag tertutup. Dalam tes ini, sampel ditempatkan dalam cangkir tester dengan tutupnya ditutup. Suhu terendah di mana nyala api kecil dengan ukuran tertentu menyebabkan uap di atas sampel terbakar dinyatakan sebagai titik nyala. Titik nyala bahan bakar diesel transportasi umumnya > 40 °C. Minyak bahan bakar yang digunakan untuk mesin kecepatan rendah dan sedang memiliki titik nyala minimum 55 °C.

II.7.3. Massa Jenis (Densitas)

Ada dua metode standar yang diadopsi oleh ASTM untuk pengukuran densitas. Metode D 1298 (IP 160) menggunakan hidrometer yang direndam dalam bahan bakar uji pada suhu tertentu, dan metode D 4052 (IP 365) menggunakan penganalisis digital yang terdiri dari tabung sampel osilasi berbentuk U dan sistem untuk eksitasi elektronik, penghitungan frekuensi, dan tampilan. Densitas relatif (gravitasi spesifik) pada 60 °F juga dapat diwakili oleh gravitasi API.

$$\text{gravitasi API, derajat} = \frac{141,5}{\text{gravitasi spesifik pada } 60 \text{ } ^\circ\text{F}} - 131,5$$

Densitas khas bahan bakar diesel transportasi pada 15 °C (60 °F) adalah 0,80 - 0,86 g mL⁻¹ atau 33 - 45° API gravitasi.

II.7.4. Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik bahan bakar diesel penting untuk penggunaannya yang efektif, misalnya, untuk aliran bahan bakar melalui saluran bahan bakar, nozel injeksi, dan lubang. Dalam tes ASTM D 445 (IP 1), volume tetap bahan bakar mengalir melalui viskometer terkalibrasi di bawah kepala penggerak yang dapat direproduksi dan pada suhu yang



dikontrol dengan ketat. Viskositas kinematik adalah produk dari waktu aliran yang diukur dan konstanta kalibrasi viskometer. Viskositas dinamis diperoleh dengan mengalikan viskositas kinematik yang diukur dengan densitas bahan bakar. Kisaran viskositas kinematik transportasi diesel pada 40 °C adalah 13-4.1 *centistokes* (cSt atau mm^2s^{-1}) dengan sebagian besar berada antara 1.9 dan 4.1 cSt. Viskositas kinematik bahan bakar yang digunakan dalam mesin kecepatan rendah tugas berat berada dalam kisaran 5.5-24 cSt.

II.7.5. Nilai Kalor

Nilai kalor atau kandungan energi bahan bakar diesel mempengaruhi penghematan bahan bakar dan output daya. Metode standar untuk pengukuran nilai pemanasan termasuk ASTM D 4809 untuk bahan bakar diesel transportasi dan ASTM D 4868 untuk bahan bakar diesel pabrik. Nilai kalor khas untuk bahan bakar diesel transportasi darat adalah 134000 Btu gal^{-1} (atau 19700 Btu lb^{-1}); untuk bahan bakar diesel transportasi laut, 138000 Btu gal^{-1} , dan untuk bahan bakar diesel pabrik, 148000 Btu gal^{-1} .

II.8 Alat Purifikasi (*Purifier*)

Pengertian *purifier* dikutip dari BP3IP (2008 hal 94), permesinan bantu adalah suatu pesawat bantu yang digunakan untuk memisahkan dua cairan yang berbeda berat jenisnya.

Menurut Leslie Jackson dan Thomas D Morton, pengertian *purifier* adalah adalah suatu alat pembersih/pemisah (separator) cairan (dalam hal di atas kapal adalah bahan bakar dan minyak pelumas) yang bekerja secara sentrifugasi.

Di kapal, *purifier* merupakan komponen sistem bahan bakar yang berfungsi untuk membersihkan minyak dan kotoran cair maupun padat (lumpur). *Purifier* efektif dibandingkan dengan pembersihan yang dilakukan dengan cara papan dan filtering sehingga efisiensi waktu lebih optimal dan kerusakan mesin akibat penggunaan minyak yang tidak bersih dapat dikurangi.



Charnews (2007:67) *Purifier* adalah pesawat bantu yang berfungsi untuk memisahkan minyak, air dan kotoran dengan menggunakan gaya sentrifugal yang bekerja berdasarkan perbedaan berat jenis dan minyak, air dan kotoran, sehingga zat yang mempunyai berat jenis lebih besar akan terlempar keluar terlebih dahulu. Pesawat *purifier* bekerja berdasarkan gaya sentrifugal dalam rotasi mangkok yang sangat cepat, gaya gravitasi akan diganti dengan gaya sentrifugal yang menjadi ribuan kali lebih besar dimana maksud dari peningkatan ribuan kali lebih besar adalah pada bagian *bowl* purifier ini bekerja karena perbedaan berat jenis yang terjadi antara minyak, air dan lumpur maka lumpur yang berat jenisnya lebih besar akan terlempar lebih jauh ketimbang air dan minyak karena gaya sentrifugal oleh sebab itu peningkatan lebih besar yang dimaksud yaitu perbandingan antara gaya gravitasi dan gaya sentrifugal dimana gaya sentrifugal di sini dimaksudkan meningkatkan gaya gravitasi itu sendiri yang memungkinkan gaya sentrifugal itu sendiri bisa lebih sempurna untuk pemisahan minyak, air dan lumpur.

Berdasarkan kutipan dari Syarifuddin Rowa (2002, hal 15), permesinan bantu menjelaskan bahwa prinsip pembersihan minyak terdiri dari beberapa jenis. Hal ini disebabkan karena perbedaan berat jenis (BJ) zat cair tersebut. Namun yang sering dipakai di kapal yaitu:

1. Metode Gaya Gravitasi

Metode gaya gravitasi adalah cara pembersihan minyak dengan menggunakan gaya berat yaitu bahan bakar dari tangki dasar berganda dialirkan ke tangki penyimpanan bahan bakar dalam waktu tertentu untuk mengendapkan air dan lumpur yang dikandung oleh bahan bakar.

2. Metode Pembersihan Sentrifugal

Mesin pemisah kotoran yang lazim disebut separator (*purifier*) yaitu pemisah dengan putaran untuk melakukan pemisahan dengan pengendapan bidang sentrifugal.

Jika pemisahan dengan gaya sentrifugal bekerja sesuai dengan 1500-900 rpm, maka pemisahan dan pembersihannya jauh lebih besar daripada



pengendapan gravitasi bumi.

3. Metode Filter (Saringan)

Untuk pembersihan bahan bakar dengan pemakaian saringan dibagi dalam dua kali penyaringan. Hal ini dimaksudkan agar dapat memperoleh hasil yang maksimal, untuk setiap saringan yang dipergunakan untuk menyaring bagian kotoran yang besar sedangkan saringan (super filter) dipergunakan untuk menyaring bagian kotoran yang lebih kecil

Adapun proses kerja dari pesawat purifier ini berdasarkan cara pemisahan sentrifugal dalam rotasi mangkok yang cepat, di samping dengan cara pemisahan sentrifugal ada yang menggunakan sistem mengendap dalam tangki pengendap, yaitu memisahkan kotoran dan air dari minyak dengan memakai perbedaan *specific gravity* antara minyak, air dan kotoran, tetapi cara sentrifugal lebih cepat dan dapat memisahkan dengan baik. Adapun untuk lebih jelasnya dapat kita ketahui dengan rumus beserta gambar mangkok yang akan menjelaskan gaya sentrifugal di bawah ini.

Apabila pada *purifier* yang belum menggunakan peningkatan gaya sentrifugal dan masih menggunakan gaya gravitasi terhadap campuran yang berbeda berat jenisnya atau dapat dinyatakan dengan rumus:

$$C = \frac{mv^2}{r} \quad \text{dimana} \quad v = 2\pi rn$$

Ket :

$m = \text{Massa (kg)}$

$v = \text{kecepatan (meter/second)}$

$r = \text{jarak zat ke poros (m)}$

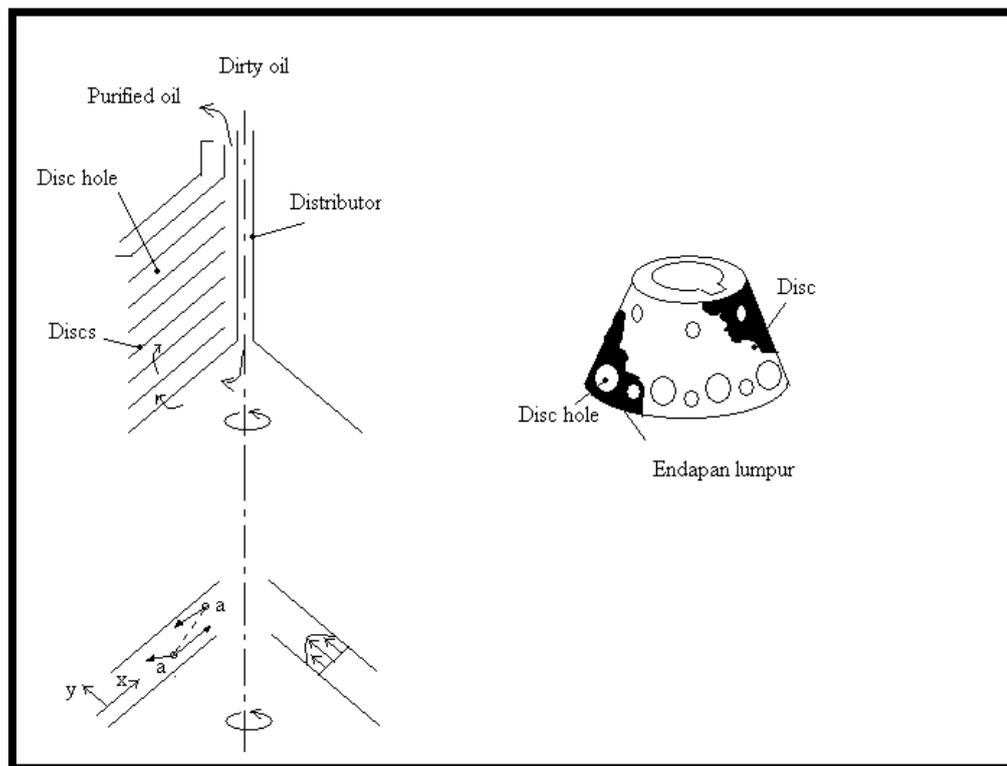
$n = \text{kecepatan putaran (rpm)}$

Jadi, apabila sebuah bejana yang berisikan air, kotoran-kotoran dan



minyak-minyak diputarakan, maka proses yang terjadi di dalam *purifier* adalah munculnya sebuah gaya sentrifugal yang bekerja pada masing-masing zat tersebut, akan terjadi pemisahan antara air, minyak dan kotoran-kotorannya. Dengan cara demikian, maka pemisahan antara air, minyak dan kotoran-kotorannya dapat dipercepat, sedangkan minyaknya sendiri dapat dialirkan dan ditampung secara terus-menerus. Pemasukan minyak diselenggarakan di bagian tengah-tengah bejana dan terbentuk suatu bidang pembatasan x – x antara air dan minyaknya.

$$\text{Berat jenis air} \times H_1 = \text{Berat jenis minyak} \times H_2$$



Gambar 2.7 Disk / Mangkokan

Sumber: Nur Rokhim, 2018. Analisis Terjadinya Overflow pada Fuel Oil Purifier di Kapal MV. Hilir Mas, Semarang: PIP Semarang.

Pada gambar di atas dapat dianalisa bahwa mangkuk tersebut mempunyai saluran keluar, proses aliran cairan melalui pusat dan keluar dibawah distributor. Cairan mengalir dan dibagi sesuai dengan jarak antara mangkuk dan fase *liquid* atau cairan dipisahkan satu sama lain oleh aksi gaya



sentrifugal. Akibat gaya sentrifugal, cairan yang berat (lumpur, air dan sedimen padat) akan terlempar lebih jauh dari titik pusatnya karena berat jenisnya lebih besar dan menuju ke bawah tempat sidemen berkumpul.

Sedangkan minyak yang telah dipisahkan dari kotoran akan menjadi ringan karena perbedaan berat jenis, kemudian minyak bersih tersebut akan mengalir di bagian atas plat – plat yang berbentuk kerucut selanjutnya minyak tersebut akan terdorong naik menuju saluran keluar minyak bersih, sedangkan air dan kotoran lainnya mengalir ke atas menuju saluran keluar yang letaknya di bawah saluran keluaran minyak bersih. Dengan cara pemisahan tersebut, maka tidak akan lagi terjadi pencampuran antara minyak dengan air dan kotoran - kotoran.

