

**ANALISIS PERFORMA MESIN MENGGUNAKAN BAHAN
BAKAR HYBRID HYDROGEN – SOLAR PADA MESIN
DIESEL FORD ESCORT 1.8**

SKRIPSI

*Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Meraih
Gelar Sarjana Teknik Pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*



AFDHALASH RAMADHAN M. RANAHEDY

D33116305

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**Analisa Performa Mesin Menggunakan Bahan Bakar Hybrid Hydrogen –
Solar Mesin Diesel Escort 1.8**

Disusun dan diajukan oleh

Afdhalash Ramadhan M. Ranahedy

D331 16 305

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi
Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
pada tanggal 19-10-2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping



Andi Husni Sitepu, S.T, M.T

Nip. 197702712001121001



Baharuddin, S.T., M.T.

Nip. 197202021998021001

Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, ST., M.Inf.Tech., M. Eng.

Nip. 198102112005011003

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Afdhalash Ramadhan M. Ranahedy

NIM : D331 16 305

Departemen : Teknik Sistem Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Performa Mesin Menggunakan Bahan Bakar Hybrid Hydrogen –
Solar Pada Mesin Ford Escort 1.8

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan saya tersebut.

Makassar, 19 Oktober 2021

Yang menyatakan



(Afdhalash Ramadhan M. Ranahedy)

ABSTRAK

Krisis energi mendorong peneliti dan akademisi untuk berinovasi menemukan sumber energi alternatif pengganti yang relatif lebih murah tanpa mencemari lingkungan disekitarnya dan meningkatkan performa mesin. Salah bahan bakar alternatif yang berhasil ditumkan adalah gas brown, diberi nama seperti penemunya Yull Brown pada tahun 1974. Dengan memasukkan gas HHO ke dalam mesin, maka akan mempengaruhi rasio campuran bahan bakar dan udara (AFR) mesin yang kemudian mengakibatkan terjadinya perubahan pada performa mesin. Dengan menggunakan sensor flowmeter untuk mengukur jumlah gas HHO, udara, dan bahan bakar yang masuk kedalam mesin, untuk mengetahui komposisi AFR di ruang bakar, dan menggunakan load cell dan *weight sensor* untuk mengukur torsi dan *break horse power* yang dihasilkan mesin dengan bahan bakar hybrid solar-HHO. Setelah dilakukan penelitian dengan penambahan gas HHO ke dalam mesin, gas HHO diproduksi menggunakan generator HHO yang dialiri arus bertegangan 0 A, 5 A, 10 A, 15 A, 20 A, 25 A dan 30 A dimana semakin besar arus generator maka semakin banyak gas HHO yang diproduksi yang dimasukkan ke dalam mesin. Maka pada putaran 1000 rpm sampai 2000 rpm mesin, menghasilkan maka nilai *fuel consumption* semakin menurun dengan semakin besarnya jumlah gas HHO yang diproduksi, nilai torsi semakin besar, nilai *break horse power* meningkat, dan nilai *specific fuel consumption* mengalami penurunan, Hal ini membuktikan bahwa dengan menggunakan arus sebesar 30 pada generator gas HHO menghasilkan performa mesin yang paling maksimal selama penelitian dilihat dari peningkatan torsi dan *break horse power* terbesar, serta penurunan *fuel consumption* dan *specific fuel consumption*.

Kata Kunci : Performa mesin, AFR, gas HHO, torsi, BHP , FC, SFC.

ABSTRACT

The energy crisis encourages researchers and academics to innovate to find alternative energy sources that are relatively cheaper without polluting the surrounding environment and increasing engine performance. One of the alternative fuels that was successfully discovered was brown gas, named after its inventor Yull Brown in 1974. By introducing HHO gas into the engine, it will affect the fuel-air mixture ratio (AFR) of the engine which then results in changes in engine performance. . By using a flowmeter sensor to measure the amount of HHO gas, air, and fuel that enters the engine, to determine the composition of AFR in the combustion chamber, and using a load cell and weight sensor to measure torque and break horse power produced by an engine with hybrid diesel fuel- HHO. After doing research with the addition of HHO gas into the engine, HHO gas is produced using an HHO generator which is powered by a voltage of 0 A, 5 A, 10 A, 15 A, 20 A, 25 A and 30 A where the greater the generator current, the more gas. Manufactured HHO that feed into the machine. So at 1000 rpm to 2000 rpm the engine results in a decrease in the value of fuel consumption with the greater the amount of HHO gas produced, the greater the torque value, the higher the break horse power value, and the decrease in the specific fuel consumption value. using a current of 30 on the HHO gas generator produces the maximum engine performance during the study seen from the largest increase in corrosion and break horse power, as well as a decrease in fuel consumption and specific fuel consumption.

Keywords: Engine performance, AFR, HHO gas, torque, BHP, FC, SFC.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas Berkah dan Rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Analisis Performa Mesin Menggunakan Bahan Bakar Hybrid Hydrogen – Solar Pada Mesin Ford Escort 1.8”**.

Dalam penyelesaian Skripsi ini, tak lupa penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung ataupun tidak langsung. Rasa terima kasih tersebut penulis sampaikan kepada :

1. Orang tua serta saudara-saudariku tercinta atas segala doa, kasih sayang, dan dukungan serta pengertiannya selama ini.
2. Bapak Dr.Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng, selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Andi Husni Sitepu, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I dan Bapak Baharuddin, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing II atas waktu dan bimbingannya selama ini.
4. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala pengajaran dan bimbingannya selama ini.
5. Seluruh pegawai tata usaha yang telah membantu dalam pengurusan berkas-berkas atau surat-surat selama penulis menempuh kuliah.
6. Teman – teman seperjuangan selama penelitian (Jeryls & Yusril) yang selalu menjadi tempat diskusi dan belajar.
7. Semua pihak yang tidak sempat saya sebutkan namun memiliki peranan yang tidak kalah penting dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih terdapat kekurangan di dalamnya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun sehingga dapat dijadikan referensi bagi penulis agar lebih baik dalam pembuatan karya tulis di masa yang akan datang.

Makassar, Juni 2021

AFDHALASH RAMADHAN M. R

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Mesin diesel.....	6
2.2. Gas HHO (Brown's Gas).....	15
BAB III METODE PENELITIAN.....	18
3.1. Alat Penelitian	18
3.2. Bahan Penelitian.....	26
3.3. Instalasi Penelitian.....	26
3.4. Prosedur Penelitian.....	29
3.5. Pelaksanaan Penelitian	31
3.6. Diagram Aliran Penelitian.....	32
BAB IV PEMBAHASAN DAN HASIL	33
4.1. Laju Produksi gas HHO.....	33
4.2. Laju Konsumsi Bahan Bakar.....	34
4.2.1. Laju Konsumsi Bahan Bakar Tanpa Gas HHO.....	34
4.2.2. Laju Konsumsi Bahan Bakar dengan Menggunakan gas HHO	35
4.3. Laju Konsumsi Udara.....	38
4.3.1. Laju Konsumsi Udara tanpa Gas HHO	39

4.3.2.	Laju Konsumsi udara dengan menggunakan gas HHO	39
4.4.	Rasio perbandingan gas HHO dan Udara.....	43
4.5.	Rasio perbandingan gas HHO-udara dan bahan bakar.....	44
4.6.	Torsi Mesin.....	48
4.7.	Fuel Consumption	53
4.8.	Brake Horse Power (BHP)	55
4.9.	Specifi Fuel Consumption (SFC)	57
BAB V PENUTUP.....		62
5.1.	Kesimpulan.....	62
5.2.	Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA		64
LAMPIRAN.....		66

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1, Spesifikasi mesin yang digunakan dalam penelitian.....	18
Tabel 3.2, Alat-alat pembantu yang digunakan dalam penelitian.....	23
Tabel 4.1, Tabel volume produksi rata-rata gas HHO pada tiap percobaan.	33
Tabel 4.2, Tabel volume konsumsi rata-rata gas HHO pada setiap arus generator.	33
Tabel 4.3, Tabel Laju konsumsi bahan tanpa gas HHO.....	34
Tabel 4.4, Tabel Laju konsumsi bahan bakar pada Percobaan satu.....	35
Tabel 4.5, Tabel Laju konsumsi bahan bakar pada Percobaan dua.	35
Tabel 4.6, Tabel Laju konsumsi bahan bakar pada Percobaan tiga.	36
Tabel 4.7, Tabel Laju konsumsi bahan bakar pada 5 A.....	36
Tabel 4.8, Tabel Laju konsumsi bahan bakar pada 10 A.....	36
Tabel 4.9, Tabel Laju konsumsi bahan bakar pada 15 A.....	36
Tabel 4.10, Tabel Laju konsumsi bahan bakar pada 25 A.....	37
Tabel 4.11, konsumsi bahan bakar dengan gas HHO.	37
Tabel 4.12, Tabel laju konsumsi udara tanpa gas HHO.....	39
Tabel 4.13, Tabel Laju konsumsi udara pada Percobaan satu.	40
Tabel 4. 14, Tabel Laju konsumsi udara pada Percobaan dua.	40
Tabel 4.15, Tabel Laju konsumsi udara pada Percobaan tiga.....	40
Tabel 4.16, Tabel Laju konsumsi udara pada 5 A.....	40
Tabel 4.17, Tabel Laju konsumsi udara pada 10 A.....	41
Tabel 4.18, Tabel Laju konsumsi udara pada 15 A.....	41
Tabel 4.19, Tabel Laju konsumsi udara pada 25 A.....	41
Tabel 4.20, Laju konsumsi udara dengan gas HHO.....	41
Tabel 4.21, Tabel berat konsumsi rata-rata gas HHO dan konsumsi berat udara rata-rata untuk pembakaran pada setiap arus generator.	43
Tabel 4.22, Tabel rasio konsumsi rata-rata gas HHO dan konsumsi udara.	44
Tabel 4.23, Tabel berat konsumsi bahan bakar.....	45
Tabel 4.24, Tabel air fuel ratio aktual (AFR_{aktual}).....	46
Tabel 4.25, Tabel equivalent ratio.....	47
Tabel 4. 26, Tabel tekanan rem pada 0 A.....	48
Tabel 4. 27, Tabel tekanan rem pada 16 A.....	48
Tabel 4. 28, Tabel tekanan rem pada 20 A.....	48
Tabel 4. 29, Tabel tekanan rem pada 30 A.....	49
Tabel 4.30, Tabel berat tekanan rem.....	49
Tabel 4. 31, Tabel torsi mesin.....	51
Tabel 4. 32, Tabel fuel consumption.....	53
Tabel 4. 33, Tabel break horse power.	56
Tabel 4.34, Tabel break horse power dengan satuan kW.	57
Tabel 4.35, Tabel specific fuel consumption.	58
Tabel 4. 36, Tabel performa mesin pada tiap arus generator gas HHO.	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1, Siklus tekanan	8
Gambar 2.2, diagram siklus 2 langkah.....	9
Gambar 2.3, diagram siklus 4 langkah.....	9
Gambar 3.1, Mesin Diesel Ford Escort 1.8.....	19
Gambar 3.2, Volumetric fuel flow measurement System	20
Gambar 3.3, Generator HHO Tipe Dry Cell	21
Gambar 3.4, Diagram instalasi.....	26
Gambar 3.5, Gambar instalasi penelitian	27
Gambar 3.6, Instalasi Sensor Berat dan Rem.....	28
Gambar 3.7, Diagram aliran penelitian	32
Gambar 4.1, Grafik Produksi rata-rata gas HHO pada setiap arus generator HHO.	34
Gambar 4.2, Grafik konsumsi rata-rata bahan bakar tanpa gas HHO.....	35
Gambar 4.3, Grafik konsumsi bahan bakar pada tiap arus generator HHO.....	37
Gambar 4.4, Grafik konsumsi rata-rata bahan bakar.	38
Gambar 4.5, Grafik konsumsi udara tanpa gas HHO.....	39
Gambar 4.6, Grafik konsumsi udara pada tiap arus generator HHO	42
Gambar 4.7, Grafik konsumsi rata-rata udara.....	42
Gambar 4.8, Grafik berat tekanan rem pada tiap arus generator HHO	49
Gambar 4.9, Grafik berat tekanan rata-rata rem	50
Gambar 4.10, Grafik torsi mesin pada tiap arus generator HHO.....	52
Gambar 4.11, Grafik torsi rata-rata mesin.	52
Gambar 4.12, Grafik <i>fuel consumption</i> (FC) pada tiap arus generator HHO.	54
Gambar 4.13, Grafik <i>fuel consumption</i> (FC) rata-rata.....	54
Gambar 4.14, Grafik BHP pada tiap arus generator HHO.....	56
Gambar 4.15, Grafik BHP rata-rata	56
Gambar 4.16, Grafik <i>specific fuel consumption</i> pada tiap arus generator HHO...	59
Gambar 4.17, Grafik <i>specific fuel consumption</i> rata-rata	59
Gambar 4.18, Grafik performa mesin pada saat penelitian.....	60

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Krisis energi di dunia sebagai akibat semakin menipisnya cadangan bahan bakar minyak khususnya dari bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui telah menuntut orang-orang untuk mencari sumber bahan bakar alternatif yang bersifat dapat diperbarui. Bahan bakar minyak merupakan faktor penting dalam melakukan kegiatan atau aktivitas baik perorangan maupun industri. Ketergantungan pada BBM yang sangat besar harus segera dikurangi dan perlu dicari solusinya. Krisis cadangan energi di dunia diakibatkan oleh tingginya pertumbuhan konsumsi BBM di satu sisi, dan di sisi lain semakin berkurangnya cadangan BBM, yang ditunjukkan oleh semakin menurunnya rasio cadangan terhadap produksi.

Krisis energi mendorong peneliti dan untuk berinovasi menemukan sumber energi alternatif pengganti yang relatif lebih murah tanpa mencemari lingkungan disekitarnya yang berakibat pada meningkatnya pencemaran. Dengan semakin mahalnya harga bahan bakar minyak, semakin menginspirasi untuk berinovasi dalam menciptakan teknologi yang ramah lingkungan dan hemat dalam penggunaan energi.

Salah bahan bakar alternatif yang berhasil ditumkkan adalah gas brown, diberi nama seprerti penemunya Yull Brown pada tahun 1974, gas brown atau lebih dikenal dengan nama oxyhydrogen dan gas HHO, didapatkan dengan menggunakan alat yang bernama generator gas HHO, generator gas HHO bekerja dengan sistem elektrolisa atau pengurai cairan. Dalam tabung elektrolisa itu dipasang kumparan magnetik untuk memecahkan campuran air destilasi dan KOH hingga menjadi campuran gas hidrogen-hidrogen-oksigen (HHO). Gas HHO sendiri dapat terbakar dengan laju 241,8 kilojoule. Gas HHO dapat mencapai suhu 2800 ° Celcius (5072 ° Fahrenheit), yang hampir 700 ° C (1290 ° F) lebih panas dari pada nyala hidrogen normal yang dihasilkan di udara (Ardy, 2020). Ketika molekul berada dalam rasio yang tepat gas HHO, yang dibakar dapat mencapai suhu 3,8 kali lebih panas dari suhu api dari oksigen normal. Dikarenakan tingginya panas yang dihasilkan pada pembakaran gas HHO, gas HHO pun banyak digunakan dalam teknologi

pemotongan, pemanasan, pengelasan, dan yang paling populer adalah penggunaannya dalam industri otomotif.

Dalam dunia otomotif, penggunaan gas HHO digunakan untuk meningkatkan performa mesin, dengan karakteristik gas HHO yang memiliki energi thermal yang tinggi sehingga dengan ditambahkan gas HHO ke mesin dapat meningkatkan potensi energi thermal dari campuran udara dan bahan sehingga energi thermal yang dihasilkan meningkat sehingga energi mekanik yang dihasilkan oleh mesin pun juga meningkat. Dengan penambahan gas HHO pada ruang bakar maka mempengaruhi rasio campuran bahan bakar dan udara atau AFR (air fuel ratio) campuran tersebut harus dalam keadaan yang mudah terbakar agar dapat menghasilkan efisiensi tenaga mesin yang optimal. Menurut teori Stocionetric menyatakan bahwa untuk membakar 1 gram bensin dengan sempurna diperlukan 14,7 gram oksigen. Dengan kata lain, perbandingan campuran yang ideal 1:14,7 (Arends dan Berenschot, 1980). Dengan penambahan gas HHO maka dapat mempengaruhi AFR mesin dengan berubahnya AFR mesin maka konsumsi bahan bakar, torsi, daya, dan konsumsi bahan bakar pun ikut berubah. Berdasarkan dengan kondisi tersebut diperlukannya dilakukan penelitian untuk mengetahui apakah dengan penambahan gas HHO pada mesin dapat meningkatkan atau justru dapat menurunkan performa mesin tersebut. Berdasarkan dari latar belakang penulis pun melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruhnya dengan melakukan penelitian berikut :

“ANALISIS PERFORMA MESIN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR HYBRID HIDROGEN – SOLAR PADA MESIN DIESEL FORD ESCORT 1.8”

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan dengan latar belakang penulisan maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh kuat arus listrik yang diberikan ke generator gas HHO terhadap laju produksi gas HHO?

2. Bagaimana pengaruh penambahan gas HHO terhadap perubahan variable indikator kinerja mesin (FC,SFC, AFR) serta pengaruhnya terhadap kinerja mesin (torsi dan daya mesin)?
3. Menentukan nilai optimal kadar HHO (kuat arus) untuk memperoleh performa/kinerja maksimal mesin.

1.3. Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian ini diperlukan batasan-batasan berikut:

1. Penelitian ini menggunakan mesin dengan bakar bakar solar.
2. Gas HHO dimasukkan kedalam ruang bakar melalui inlet udara mesin.
3. Putaran mesin berkisar dari 1000 rpm - 2000 rpm.
4. Penelitian menggunakan generator gas HHO yang dibangkitkan dengan arus listrik dengan tegangan arus sebesar 0 A, 16 A, 20 A, dan 30 A.
5. Pengukuran torsi mesin menggunakan alat rem.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh kuat arus listrik yang diberikan ke generator gas HHO terhadap laju produksi gas HHO.
2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan gas HHO terhadap perubahan variable indikator kinerja mesin (FC, SFC, AFR) serta pengaruhnya terhadap kinerja mesin (torsi dan daya mesin).
3. Untuk mengetahui nilai optimal kadar HHO (kuat arus) untuk memperoleh performa/kinerja maksimal mesin.

1.5. Manfaat Penelitian

Dari penelitian di ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Sebagai salah satu metode penghematan bahan bakar yang dapat digunakan masyarakat luas.
2. Memberikan informasi mengenai pengaruh penambahan gas HHO pada kedalam mesin baik kepada masyarakat ataupun peneliti lainnya.
3. Hasil penelitian dapat dijadikan referensi keilmuan tentang gas HHO yang dapat digunakan oleh peneliti lainnya.

1.6. Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis membaginya kedalam lima bab, yang masing-masing terdiri dari sub bab. Hal tersebut dimaksudkan untuk memudahkan dan mengarahkan pembahasan agar didapatkan informasi secara menyeluruh. Sistematika penulisan tersebut diuraikan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang mengapa digunakannya gas HHO untuk penelitian ini, dengan menggunakan generator gas HHO yang dialiri arus listrik sebagai alat produksi gas HHO yang akan di masukkan ke dalam mesin. Penambahan gas HHO ke ruang bakar timbul perubahan pada variable indikator kinerja mesin (FC,SFC, AFR) serta pengaruhnya terhadap kinerja mesin (torsi dan daya mesin). Tujuan dari penelitian ini sendiri adalah untuk mengetahui berapa besar arus yang diberikan ke generator gas HHO terhadap banyaknya produksi gas HHO untuk disuplai kedalam mesin sehingga mesin memperoleh kinerja yang maksimal dan informasi yang didapatkan selama penlitian bisa di jelaskan secara menyeluruh maka di gunakan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang penjelasan mengenai mesin diesel, jenis-jenis mesin diesel, prinsip kerja mesin diesel, pembakaran mesin, perfoma mesin, gas HHO, jenis-jenis generator HHO, serta komponen penyusun generator gas HHO.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi metode penelitian yang meliputi lokasi dan waktu penelitian, alat dan bahan yang digunakan selama penilitian, prosedur pengambilan data, pelaksanaan pengujian, dan diagram aliran penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini meliputi penyajian data yang di dapatkan dan perhitungan-perhitungan yang dilakukan selama penelitian dengan menggunakan tabel dan grafik terpadu. Adapun perhitungan perhitutungan yang dilakukan untuk mendapatkan hasil peneltian adalah seperti berikut :

- Laju produksi gas HHO
- Laju konsumsi bahan bakar
- Laju konsumsi udara
- Rasio perbandingan gas HHO dan udara
- Rasio perbandingan HHO-udara dan bahan bakar
- Torsi mesin
- *Fuel consumption* (FC)
- *Break horse power* (BHP)
- *Specific fuel consumption* (SFC)

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian yang dilakukan berdasarkan dengan data dari hasil dan pembahasn serta saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya.

Daftar Pustaka

Daftar pustaka merupakan daftar yang berisi semua buku atau tulisan ilmiah yang menjadi rujukan dalam melakukan penelitian dan penulisan tugas akhir.

Lampiran

Merupakan pelengkap yang berisi gambar, data, dan lain-lainya yang mampu menunjang penulisan tugas akhir, tetapi tidak dicantumkan di dalam isi tugas akhir, karena akan mengganggu kesinambungan pembacaan dan penulisan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Mesin diesel

Mesin diesel ditemukan oleh Rudolf Diesel pada tahun 1892, yang patennya keluar pada 23 Februari 1893. Ditemukannya mesin diesel menjadi tonggak berkembangnya industri disegala bidang, termasuk di bidang perkapalan. Salah satu penggerak utama yang banyak dipakai pada kapal ialah mesin diesel.

Mesin diesel termasuk kedalam jenis mesin kalor, yaitu mesin yang menggunakan energi termal untuk melakukan kerja mekanik atau yang mengubah energi termal menjadi energi mekanik. Energi itu sendiri dapat diperoleh dengan proses pembakaran. Di dalam motor diesel terdapat torak yang mempergunakan beberapa silinder yang di dalamnya terdapat torak yang bergerak bolak-balik (translasi). Gerak bolak-balik tersebut adalah proses dari mesin untuk mengubah bahan bakar menjadi daya yang biasa disebut dengan langkah, langkah tersebut merupakan proses mengubah bahan bakar menjadi daya (Andrelov, 2013).

Mesin Diesel adalah salah satu motor bakar yang menghasilkan daya dengan mengubah energi kimia dari bahan bakar minyak seperti solar atau bensin dan mengubahnya menjadi energi panas yang menggerakkan piston dan *cranksaft* yang mengubah energi panas tersebut menjadi kerja mekanik.

Performa mesin adalah kemampuan suatu mesin atau karakteristik mesin dalam mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik, yang mana dalam proses perubahan energi tersebut terdapat beberapa parameter yang menjadi perhatian, parameter tersebut adalah torsi yang dihasilkan oleh mesin, daya yang dihasilkan, dan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi.

- **Prinsip Kerja Mesin Diesel**

Motor bakar diesel biasa disebut juga dengan mesin diesel (atau mesin pemacu kompresi) adalah motor bakar pembakaran dalam yang menggunakan panas kompresi untuk menciptakan penyalaan dan membakar bahan bakar yang telah diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Mesin ini tidak menggunakan busi seperti mesin bensin atau mesin gas. Panas dihasilkan karena adanya tekanan yang dihasilkan oleh piston pada langkah kompresi di dalam silinder

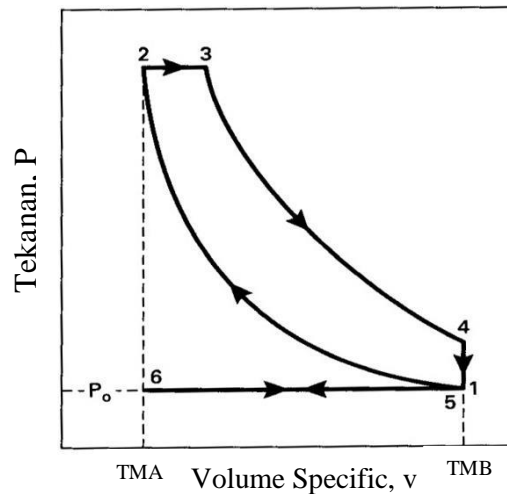
sehingga mampu meningkatkan suhu pada ruang bakar, maka bahan bakar akan terbakar dengan sendirinya.

Pada motor diesel yang di hisap oleh torak dan dimasukkan kedalam ruang bakar hanya udara, yang selanjutnya udara tersebut dikompresikan sampai mencapai suhu dan tekanan yang tinggi. Beberapa saat sebelum torak mencapai titik mati atas (TMA) bahan bakar solar diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Dengan suhu dan tekanan udara dalam silinder yang cukup tinggi maka partikel-partikel bahan bakar akan menyala dengan sendirinya sehingga membentuk proses pembakaran. Agar bahan bakar solar dapat terbakar sendiri, maka diperlukan rasio kompresi 15-22 dan suhu udara kompresi kira-kira 600°C (Setyadi, F V. 2000).

- **Siklus Diesel**

Pada umumnya jenis motor bakar diesel dirancang untuk memenuhi siklus ideal diesel yaitu seperti siklus otto tetapi proses pemasukan kalornya dilakukan pada tekanan konstan. Perbedaannya mengenai pemasukan sebanyak qm pada siklus diesel dilaksanakan pada tekanan konstan.

Siklus diesel yang merupakan siklus dari mesin penyalaan kompresi (compression-ignition) proses pembakarannya dimulai dari udara murni diisap dan dikompresi diatas temperature pembakaran bahan bakar. Jadi, pada mesin diesel tidak terdapat karburator dan busite tapi diganti oleh injector bahan bakar. Siklus motor diesel merupakan siklus udara pada tekanan konstan.



Gambar 2.1, Siklus tekanan

Proses dari siklus tersebut yaitu:

6-1 adalah langkah hisap udara, pada tekanan konstan.

1-2 adalah langkah kompresi, pada keadaan isentropik.

2-3 adalah langkah pemasukan kalor, pada tekanan konstan.

3-4 adalah langkah ekspansi, pada keadaan isentropik.

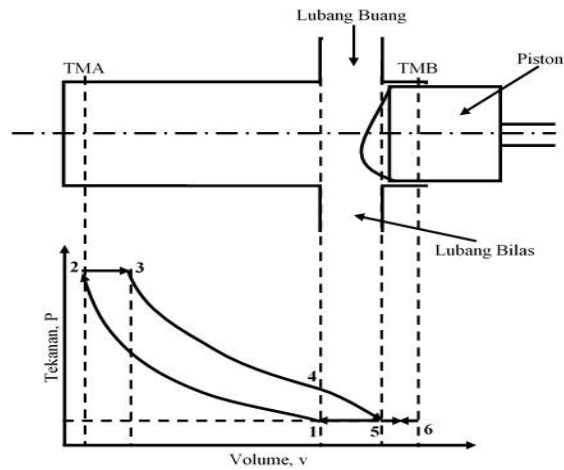
4-1 adalah langkah pengeluaran kalor, pada tekanan konstan.

5-6 adalah langkah buang, pada tekanan konstan.

Berdasarkan siklus kerja, motor diesel dapat dikategorikan sebagai berikut :

➤ **Motor Diesel 2 Langkah**

Jenis mesin termal yang menggunakan proses pembakaran internal (internal combustion engine) untuk mengubah energi yang tersimpan dalam ikatan kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik berdaya guna. Ini terjadi dalam dua langkah: Pertama, bahan bakar akan bereaksi secara kimia atau pembakaran dan melepaskan energi dalam bentuk panas. Kedua panas menyebabkan gas yang terperangkap dalam silinder memuai dan pemuaian gas dibatasi oleh silinder menyebabkan piston bergerak memperluas ruang silinder



Gambar 2.2, diagram siklus 2 langkah

Keterangan:

6-1= Akhir Pembilasan

1-2 = Langkah kompresi

2-3 = Pembakaran

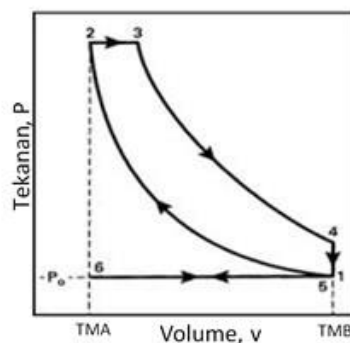
3-4 = Langkah kerja

4-5 = Awal Pembuangan dan pembilasan

5-6 = Awal langkah kompresi

➤ **Motor diesel 4 Langkah**

Dalam mesin 4 tak, camshaft (noken as) disesuaikan sehingga kecepatan putarnya hanya setengah dari kecepatan putar poros engkol atau 1 putaran camshaft berbanding 2 putaran crankshaft. Ini artinya bahwa poros engkol harus membuat dua putaran lengkap sebelum noken as menyelesaikan satu putaran.



Gambar 2.3, diagram siklus 4 langkah

Keterangan :

0-1 = Langkah hisap pada

1-2 = Langkah kompresi

2-3 = Pembakaran

3-4 = Langkah kerja P bertambah,

4-1 = Pengeluaran kalor sisapada

1-0 = Langkah buang pada

- **Pembakaran**

Pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen diiringi kenaikan panas dan nyala. Pada pembakaran dalam silinder motor, pembentukan panas itulah yang dibutuhkan. Hasil reaksi kimia dibuang sebagai asap, dan tenaga panas itu selanjutnya akan diubah menjadi tenaga mekanis (Agus, 2010).

Campuran bahan bakar dibakar oleh bunga api listrik, maka diperlukan waktu tertentu bagi bunga api untuk merambat di dalam ruang bakar. Oleh sebab itu akan terjadi sedikit kelambatan antara awal pembakaran dengan pencapaian tekanan pembakaran maksimum. Oleh karenanya, agar diperoleh output maksimum pada engine dengan tekanan pembakaran mencapai titik tertinggi (sekitar 10° setelah TMA), periode perlambatan api harus diperhitungkan pada saat menentukan saat pengapian (Ignition timing) untuk memperoleh output mesin yang semaksimal mungkin. Akan tetapi karena diperlukan waktu untuk perambatan api, maka campuran udara dan bahan bakar harus dibakar sebelum TMA. Saat terjadinya pembakaran ini disebut dengan saat pengapian (Ignition Timing). Loncatan bunga api terjadi sesaat piston mencapai titik mati atas (TMA) sewaktu langkah kompresi. Saat loncatan api biasanya dinyatakan dalam derajat sudut engkol sebelum piston mencapai TMA (Syahril, dkk, 2013).

Pada pembakaran sempurna setelah penyalaan dimulai, api menjalar dari busi dan menyebar keseluruh arah dalam waktu yang sebanding, dengan 200 sudut engkol atau lebih, untuk membakar campuran sampai mencapai tekanan maksimum. Kecepatan api umumnya kurang dari 10 – 30 m/detik. Panas

pembakaran dari TMA diubah dalam bentuk kerja dengan efisiensi yang tinggi. Kelambatan waktu akan menurunkan efisiensi dan ini disebabkan rendahnya tekanan akibat pertambahan volume dan waktu penyebaran api yang terlalu lambat. Bila proses pembakaran dimulai dari awal sebelum TMA (menjauhi TMA), tekanan hasil pembakaran meningkat, sehingga gaya dorong piston meningkat (kerja piston menuju gas pada ruang bakar). Jika proses sudut penyalaan dimundurkan mendekati TMA, maka tekanan hasil pembakaran maksimum lebih rendah, bila dibandingkan tekanan hasil pembakaran maksimum, bila sudut penyalaan dimulai normal. Hal ini dikarenakan, pada saat sudut penyalaan yang terlalu dekat dengan TMA, pada saat busi memercikkan bunga api dan api mulai merambat, gerakan piston sudah melewati TMA, sehingga volume ruang bakar mulai membesar. Sehingga walaupun terjadi kenaikan tekanan hasil pembakaran, sebagian telah diubah menjadi perubahan volume ruang bakar. Efek yang terjadi adalah kecilnya kerja ekspansi yang diterima oleh piston (Syahril, dkk, 2013).

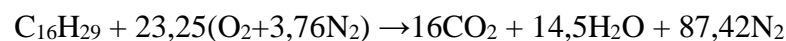
Proses pembakaran yang tertulis dalam jurnal Machmud Syahril, Untoro Budi Surono dan Leydon Sitorus sangat berpengaruh untuk torsi dan daya, dimana percikan yang terlalu cepat atau terlalu lambat dalam siklus mesin sangat mempengaruhi performa mesin, menimbulkan getaran yang berlebihan, dan bahkan merusak mesin. Timing pengapian juga mempengaruhi umur mesin, konsumsi bahan bakar, dan tenaga mesin. Timing pengapian untuk proses pembakaran yang sesuai pada mesin akan juga berpengaruh maksimal pada proses pembakaran yang dihasilkan di dalam silinder yaitu untuk menghasilkan torsi kemampuan mesin yang maksimum (Syahril, dkk, 2013).

- **Perbandingan Campuran (AFR)**

Campuran antara udara dan bahan bakar biasa dinamai “AFR”, AFR adalah campuran bahan bakar dan udara yang masuk kedalam ruang bakar yang kemudian terbakar dan menghasilkan energi, campuran tersebut harus dalam keadaan yang mudah terbakar agar dapat menghasilkan efisiensi tenaga mesin yang optimal, maka rasio perbandingan AFR dalam satuan berat harus

memiliki rasio 14,7 : 1 atau yang biasa disebut dengan Stoichiometric, artinya campuran memiliki perbandingan 14,7 kg udara dan 1 kg bahan bakar atau 9000 liter udara dan 1 liter bahan bakar atau 9000 : 1 jika dalam satuan volume. Untuk mendapatkan nilai rasio perbandingan udara dan bahan bakar solar tersebut dilakukan perhitungan AFR yang didapatkan dari reaksi standar pembakaran solar ($C_{16}H_{29}$) dengan udara.

Reaksi pembakaran stoikiometrik dari $C_{16}H_{29}$ dan udara yaitu sebagai berikut:



Air Fuel Ratio Stoichiometric :

$$\begin{aligned} AFRs &= \frac{(28,9\text{kg/kmol})(23,25(1+3,76))}{\left(\frac{221\text{kg}}{\text{kmol}}\right)(1 \text{ kmol})} & (2.1) \\ &= 14,47 \text{ kg udara /kg bahan bakar} \end{aligned}$$

Maka perbandingan dari berat minimum udara terhadap berat bahan bakar dinamai perbandingan campuran *stoikiometrik* ($R_{\text{stoikiometrik}}$) atau perbandingan campuran teoritis atau perbandingan campuran sempurna kimia. Sedangkan perbandingan campuran terhadap perbandingan campuran *stoikiometrik* dinamai perbandingan udara, yaitu:

$$\text{dimana, } R_{\text{perbandingan}} = \frac{m_{\text{udara}}}{m_{\text{bahan bakar}}} \quad (2.2)$$

Dimana :

$$m = \rho \times V \quad (2.3)$$

Keterangan :

m	=	Massa / berat (gram)
ρ	=	Massa jenis (g/ml)
ρ_{udara}	=	1,17 g/l
$\rho_{\text{gas HHO}}$	=	0,000491 g/ml
ρ_{solar}	=	0,832 g/ml
V	=	Volume (ml)

Dengan persamaan diatas (2.2) didapatkan *air fuel ration stoichiometric* (AFR_s) langkah selanjutnya untuk Untuk mengetahui apakah AFR_{aktual} adalah AFR ideal adalah jika nilai *equivalent ratio* sebesar satu (1) , AFR miskin jika nilai *equivalent ratio* satu persen kurang dari AFR ideal (0,99) dan AFR kaya jika nilai *equivalent ratio* lebih besar satu persen dari satu (1,01). Dengan menggunakan data AFR_{aktual} dan menggunakan persamaan *equivalent ratio* :

$$\lambda = \text{AFR}_s / \text{AFR}_{\text{aktual}} \quad (2.4)$$

Keterangan :

λ = *Equivalent ratio*.

AFR_s = 14,47

AFR_{aktual} = Rasio campuran konsumsi rata-rata gas HHO-udara dan konsumsi rata-rata bahan bakar.

- **Performa Mesin**

Performa mesin adalah kemampuan suatu mesin atau karakteristik mesin dalam mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik, yang mana dalam proses perubahan energi tersebut terdapat beberapa parameter yang menjadi perhatian, parameter tersebut adalah torsi yang dihasilkan oleh mesin, daya yang dihasilkan, dan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi.

- **Torsi**

Gaya tekan putar pada bagian yang berputar disebut torsi, sepeda motor digerakkan oleh torsi dari crankshaft. (Jama, 2008 : 23). Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja. Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya. (Raharjo dan Karnowo, 2008 : 98). Satuan torsi biasanya dinyatakan dalam N.m (Newton meter). Adapun perumusannya adalah sebagai berikut :

$$T = F \times r \quad (2.5)$$

Dimana :

T = torsi (N.m)

F = gaya (N)

r = jarak benda ke pusat rotasi (m)

➤ **Daya**

Daya adalah besarnya kerja motor persatuan waktu. (Arends dan Berenschot, 1980:18). Satuan daya yaitu hp (horse power). Daya pada sepeda motor dapat diukur dengan menggunakan alat dynamometer, sehingga untuk menghitung daya poros dapat diketahui dengan menggunakan rumus :

$$P = \frac{2 \times \pi \times N \times T}{75 \times 60} \quad (2.6)$$

Keterangan :

P = Daya poros (hp)

T = Torsi (N.m)

N = Putaran mesin (rpm)

1/75 = Faktor konversi satuan kgf.m menjadi hp

1/60 = Faktor konversi satuan rpm ke kecepatan translasi (m/s)

1hp = 0,7355 KW dan 1KW = 1,36 hp

π = 3,14

➤ **Fuel Consumption**

Fuel consumption (konsumsi bahan bakar) di dapatkan dengan membagi jumlah volume bahan bakar yang dikonsumsi selama waktu konsumsi, maka digunakan persamaan seperti dibawah ini.

$$FC = \frac{V_f \times 3600}{1000} \text{ [L/h]} \quad (2.7)$$

Dimana :

FC = *Fuel Consumption* (L/h)

V_f = Volume konsumsi (mL)

3600 = Satu jam sama dengan 3600

1000 = Faktor konversi dari milliliter ke liter

➤ **Specific Fuel Consumption**

Dengan menggunakan data *fuel consumption* yang dibagikan dengan BHP didapatkan nilai bahan bakar spesifik atau *specific fuel consumption* yang berguna untuk mengetahui berapa bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan satu daya kuda (HP). Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai SFC adalah sebagai berikut :

$$\text{SFC} = \frac{\text{FC}}{\text{BHP}} \text{ [L/HP .h]} \quad (2.8)$$

Dimana:

SFC = *Specific Fuel Consumption* (L/HP.h)

FC = *Fuel Consumption* (L/h)

BHP = *Brake Horse Power* (HP)

2.2. Gas HHO (Brown's Gas)

Gas HHO atau Brown gas adalah gas hasil dari proses pemecahan air murni (H₂O) dengan proses elektrolisis. Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air tersebut adalah gas Hidrogen dan Oksigen, dengan komposisi 2 Hidrogen dan 1 Oksigen (gas HHO). Proses Elektrolisis adalah suatu proses untuk memisahkan senyawa kimia menjadi unsur-unsurnya dengan memberikan arus listrik pada elektrodanya. Pada proses elektrolisis air, gas hidrogen akan tertarik ke elektroda negatif (katoda) dan gas oksigen akan tertarik ke elektroda positif (anoda). (Fahrudin & Sidoarjo, 2018) H₂O₂ 11

- **Generator HHO (Hidrogen Hidrogen Oksida)**

Generator gas HHO tersusun atas 2 komponen dasar, yaitu tabung generator yang terdiri atas tabung, sepasang elektroda dan elektrolit dan sumber tenaganya yang berupa baterai ataupun aki. Generator ini bekerja dengan prinsip elektrolisa air.

➤ **Tipe Kering (dry type / dry cell)**

Adalah generator HHO dimana sebagian elektrodanya tidak terendam elektrolit dan elektrolit hanya mengisi celah-celah antara elektroda itu sendiri.

Keuntungan generator HHO tipe *dry cell* adalah :

1. Air yang di elektrolisa hanya seperlunya, yaitu hanya air yang terjebak diantara lempengan cell.
2. Panas yang ditimbulkan relative kecil, karena selalu terjadi sirkulasi antara air panas dan dingin di reservoir.
3. Arus listrik yang digunakan relatif lebih kecil, karena daya yang terkonversi menjadi panas semakin sedikit

➤ **Tipe Basah (wet cell)**

Adalah generator HHO dimana semua elektrodanya terendam cairan elektrolit di dalam sebuah bejana air. Pada tipe wet cell atau tipe basah, semua area luasan elektroda platnya terendam air untuk proses elektrolisis menghasilkan gas HHO.

Keuntungan generator gas HHO tipe wet cell adalah :

1. Gas yang dihasilkan umumnya lebih banyak dan stabil.
2. Perawatan generator lebih mudah.
3. Rancang bangun pembuatan generator HHO lebih mudah.

• **Komponen Penyusun Generator HHO**

Generator gas HHO tersusun dari komponen seperti berikut :

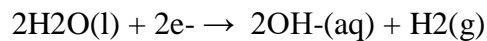
➤ **Elektroda**

Elektroda yang digunakan pada elektrolisis berupa katoda dan anoda. Katoda didefinisikan sebagai elektroda negatif dimana sumber arus menuju katoda (butuh elektron) dan terjadi reduksi . Sedangkan anoda didefinisikan sebagai elektroda positif dimana menarik anion-anion dari sel elektrolisa dan terjadi proses oksidasi. Elektroda ini apabila dialiri listrik akan menyebabkan elektron bergerak bebas dengan arah sejajar dan berlawanan dengan arah medan listrik. Pada

elektroda terdapat 2 reaksi. Reaksi yang ada pada elektroda sebagai berikut :

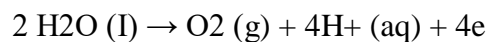
a. Reaksi Pada Katoda

Reaksi yang terjadi di katoda adalah reduksi. Pada elektrolisis air (H₂O), pada katoda dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas H₂ dan Hidroksida dan OH⁻. Reaksi pada katoda :



b. Reaksi Pada Anoda

Reaksi yang terjadi pada anoda proses elektrolisis adalah oksidasi. Ion-ion bermuatan negatif atau anion bergerak dari katoda ke anoda untuk oksidasi. Pada proses elektrolisis air, pada anoda, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen (O₂), melepaskan 4 ion H⁺. Reaksi pada anoda:



➤ **Celah Elektroda (Gasket)**

Dalam penelitian ini celah antar elektroda menggunakan karet gasket yang berfungsi sebagai pembatas dan pemberi jarak tertentu dari satu pelat dengan pelat yang lain. Luasan area terjadinya proses elektrolisis dapat ditentukan sesuai dengan luas permukaan karet gasket yang dipakai pada konstruksi Generator HHO.

➤ **Casing**

Casing pada Generator HHO memiliki berfungsi sebagai cover atau bagian terluar dari generator HHO. *Casing* biasanya terbuat dari bahan transparan agar peneliti dapat mengamati reaksi yang terjadi dan juga bahan yang digunakan harus mampu menahan panas saat proses elektrolisis air berlangsung dan kali ini menggunakan akrilik bening.