

SKRIPSI
PENGARUH OZONISASI PADA BAHAN BAKAR SOLAR TERHADAP
KINERJA MESIN 4D56 DAN EMISI GAS BUANG

Disusun dan diajukan oleh

HARIMAN WAHYUDI SIDIK

D021171327



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH OZONISASI PADA BAHAN BAKAR SOLAR TERHADAP
KINERJA MESIN 4D56 DAN EMISI GAS BUANG**

Disusun dan diajukan oleh

HARIMAN WAHYUDI SIDIK

D021171327

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi
Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 7 Juni 2022

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

Ir. Andi Mangkau, M.T.
NIP. 19611231 19902 1 003

Prof. Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, S.T., M.T.
NIP 19711221 199802 1 001

Ketua Departemen Teknik Mesin,



Dr. Eng. Jalaluddin, S.T., M.T.
NIP 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Hariman Wahyudi Sidik
NIM : D021171327
Departemen : Teknik Mesin
Jenjang : S-I

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“PENGARUH OZONISASI PADA BAHAN BAKAR SOLAR TERHADAP KINERJA MESIN 4D56 DAN EMISI GAS BUANG”

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 tersebut.

Gowa, 7 Juni 2022

Yang membuat Pernyataan,



Hariman Wahyudi Sidik
Hariman Wahyudi Sidik

ABSTRACT

Ozonisation process is carried out to increase the performance of the diesel engine. Ozonisation is adding ozone to diesel fuel (B30) which triggers an increase in the chemical potential energy of oxygen so that it can produce higher product temperatures in the combustion process. The ozonation process in this study was carried out using simplified and environmentally friendly technology namely the ozone generator. The Dielectric Barrier Discharge (DBD) method is used to produce ozone. Ozonisation of 30% biodiesel fuel was carried out with variations in ozone dissolution, namely 30 minutes with ozone produced at 140×10^{-6} g/s, 1 hour with ozone produced 278×10^{-6} g/s, and 2 hours with ozone produced yielded 556×10^{-6} g/s. The resulting fuel is then used as a measurement factor for performing the Mitsubishi Pajero 4D56 engine with engine speed variations of 2000 rpm, 2500 rpm, and 3000 rpm. From the test results, it is found that ozone dissolution affects engine performance as showed by increasing indication power, effective power, and torque with maximum values of 168.82 Kw, 143.5 Kw, 340.7 Nm, respectively, which occurs at 2 hours of ozone variation and 3000 rpm engine speed. However, the value of SFC and Thermal Efficiency decreased with a minimum SFC of 0.102 kg/kwh at 2 hours ozone variation and 2000 rpm engine speed and minimum thermal efficiency of 11% at 30 minutes ozone variation and 3000 engine speed. In addition, there was a decrease in the percentage of exhaust gas opacity with a minimum value of 0.7% at 1 hour ozone variation and 2000 rpm engine speed.

Keywords: B30, 4D56 Engine, Ozonisation, Opacity

ABSTRAK

Proses ozonisasi dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan performa pada mesin diesel. Ozonisasi merupakan proses penambahan ozon kedalam bahan bakar diesel (B30) yang memicu kenaikan energi potensial kimia dari oksigen sehingga dapat menghasilkan suhu produk yang lebih tinggi dalam proses pembakaran. Proses ozonisasi dalam penelitian ini dilakukan menggunakan teknologi yang telah disederhanakan dan ramah lingkungan yaitu generator ozon. Metode Dielectric Barrier Discharge (DBD) digunakan untuk menghasilkan ozon. Ozonisasi bahan bakar biodiesel 30% dilakukan dengan variasi pelarutan ozon yaitu 30 menit dengan ozon yang di hasikan 140×10^{-6} g/s, 1 jam dengan ozon yang di hasikan 278×10^{-6} g/s, dan 2 jam dengan ozon yang dihasikan 556×10^{-6} g/s. Bahan bakar yang dihasikan kemudian digunakan sebagai faktor pengukuran prestasi mesin Mitsubishi Pajero mesin 4D56 dengan variasi putaran mesin 2000 rpm, 2500 rpm, dan 3000 rpm. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa Pelarutan ozon mempengaruhi performa mesin yang ditunjukkan pada meningkatnya daya indikasi, daya efektif, dan torsi dengan nilai maksimum berturut-turut 168.82 Kw, 143.5 Kw, 340.7 Nm yang terjadi pada variasi ozon 2 jam dan putaran mesin 3000 rpm. Namun nilai SFC dan Efisiensi Thermis mengalami penurunan dengan SFC minimum 0.102 kg/kwh pada variasi ozon 2 jam dan putaran mesin 2000 rpm serta Efisiensi thermis minimum sebesar 11 % pada variasi ozon 30 menit dan putaran mesin 3000. Selain itu, dijumpai penurunan persentase opasitas gas buang dengan nilai minimum sebesar 0.7 % pada variasi ozon 1 jam dan putaran mesin 2000 rpm.

Kata kunci : B30, Mesin 4D56, Ozonisasi, Opasitas

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim

Puji Syukur senantiasa kita panjatkan kehadirat Allah Subhanahu wata'ala, karena atas kehendak-Nya penulisan tugas akhir ini dapat terselesaikan. Tak lupa pula shalawat beserta salam kepada junjungan kita Nabi Muhammad *Shallallahu 'alaihi wasallam*, manusia yang menjadi panutan kita menjalani kehidupan di dunia ini. Dengan izin dan rahmat dari Allah semata penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul: **Pengaruh Ozonisasi pada Bahan Bakar Solar Terhadap Kinerja Mesin 4D56 dan Emisi Gas Buang** untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan studi serta dalam rangka memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penghargaan dan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Ir. Andi Mangkau, M.T. selaku Pembimbing Utama dan Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, S.T., M.T. selaku Pembimbing Pendamping yang telah banyak membantu baik dalam penulisan maupun pemikiran pada tesis ini.

Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Mayor. CKM Gowari. dan Ibu Sitti Hamsiah S.Pd., beserta saudara dan saudari penulis yang telah menjadi sumber semangat dan motivasi penulis selama ini.
2. Yth. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, M.A. selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
3. Yth Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Yth. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah menyetujui dan menerima tugas akhir penulis.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah mendidik, mengajarkan, dan membagikan ilmu serta pengetahuannya sehingga penulis semakin paham akan bidang ilmu teknik terkhusus pada bidang Teknik mesin

6. Staf Departemen Teknik Mesin, terkhusus Ibu Suri, Pak Irwan dan juga Pak Mansur yang telah banyak membantu.
7. Teman-teman Asisten Laboratorium Motor Bakar yang setia menemani selama masa pengambilan data dan penulisan tugas akhir.
8. Saudara-saudara seperjuangan mahasiswa Departemen Teknik Mesin Angkatan 2017 ZYNCROMEZH yang telah memberi semangat, dukungan, maupun doa dan kerja sama yang sudah dijalani selama ini semoga kiranya kesuksesan selalu menyertai teman-teman sekalian.
9. Kanda-kanda 2015 dan 2016 serta adik-adik tingkat yang telah memberi bantuan selama proses perkuliahan maupun masukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Dan terima kasih banyak juga kepada YusniarAnggraeny yang selalu mensupport saya dalam mengerjakan skripsi saya.
11. Terakhir, penulis hendak menyapa setiap nama yang tak sempat penulis cantumkan satu per satu, terima kasih atas doa yang senantiasa mengalir tanpa sepengetahuan penulis. Terima kasih sebanyak-banyaknya kepada orang yang turut bersukacita atas keberhasilan penulis menyelesaikan skripsi ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan dan kekeliruan penulis serta masih jauh akan kata sempurna. Segala kekurangan dan kekeliruan berasal dari penulis yang hanya seorang manusia biasa dan Semua kebenaran berasal dari Allah SWT semata, Tulisan ini masih butuh akan sentuhan kritik, dan saran. Maka dari itu penulis memohon maaf atas kesalahan didalamnya dan semoga kebenaran yang ada dapat membantu untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Gowa, 7 Juni 2022

Hariman Wahyudi Sidik

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
ABSTRACT	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SIMBOL.....	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II.....	4
LANDASAN TEORI.....	4
2.1 Mesin Diesel.....	4
2.2 Ozon Dalam Meningkatkan Pembakaran.....	6
2.3 Emisi Gas Buang Kendaraan.....	8
2.4 Bahan Bakar Alternatif (<i>Biodiesel</i>).....	8
2.5 Dasar-dasar Perhitungan.....	12
BAB III.....	16
METODOLOGI PENELITIAN.....	16
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	16
3.2 Jenis Penelitian	16
3.3 Alat dan Bahan	17
3.4 Prosedur Kerja.....	22

3.5 Skema Penelitian	24
3.6 Flowchart Penelitian.....	25
BAB IV	26
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1. Karakterisasi Biodiesel (B30) Hasil Pelarutan Ozon	26
4.2. Data Perhitungan.....	32
4.3. Analisis Peforma Mesin Diesel Mitsubishi Pajero Type 4D56	37
4.4. Analisis Gas Buang	50
BAB V.....	52
PENUTUP.....	52
5.1. Kesimpulan.....	52
5.2. Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN.....	55
A. Hasil Perhitungan	55
1. Tabel A1 Daya Indikasi.....	55
2. Tabel A2 Daya Efektif	55
3. Tabel A3 Torque	55
4. Tabel A4 Konsumsi Bahan Bakar (FC)	55
5. Tabel A5 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)	56
6. Tabel A6 Laju Aliran Udara Aktual (Ma).....	56
7. Tabel A7 Perbandingan Udara Bahan Bakar, AFR.....	56
8. Tabel A8 Efisiensi Volumetris, η_{vol} (%)	56
9. Tabel A9 Efisiensi Thermis, η_{th} (%).....	57
10. Tabel A10 Efisiensi Bahan Bakar, η_{bb} (%)	57
11. Tabel A7 Opasitas Gas Buang.....	57
B. Dokumentasi.....	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Digram P vs V siklus tekanan konstan (Y. A. Cengel , 2005)	4
Gambar 2. 2 Proses kerja motor diesel 4 tak (Dody darsono, 2010).....	6
Gambar 2. 3 Rumus kerangka ozon (a) model bola dan (b) model batang dari molekul Ozon	6
Gambar 2. 4 Peningkatan produksi CH ₂ O yang diinduksi oleh ozon.....	7
Gambar 2. 5 (a) Reaksi konversi asam lemak bebas menjadi metil ester, (b) Reaksi penyabunan.....	11
Gambar 3. 1 Mobil Mitsubishi Triton	17
Gambar 3. 2 Mesin 4D56	17
Gambar 3. 3 Dyno Test.....	18
Gambar 3. 4 Komputer	18
Gambar 3. 5 Dirigen	19
Gambar 3. 6 Timbangan Digital	19
Gambar 3. 7 Magnetic Stirrer	20
Gambar 3. 8 Bom Kalori Meter.....	20
Gambar 3. 9 Generator Ozon.....	21
Gambar 3. 10 Bio diesel	21
Gambar 3. 11 Diagram alir penelitian	25
Gambar 4. 1 Perbandingan densitas biodiesel terhadap waktu pelarutan ozon... 27	
Gambar 4. 2 Perbandingan viskositas dinamis biodiesel terhadap waktu pelarutan ozon	28
Gambar 4. 3 Perbandingan viskositas kinematis biodiesel terhadap waktu pelarutan ozon	29
Gambar 4. 4 Perbandingan titik nyala biodiesel terhadap waktu pelarutan ozon 30	
Gambar 4. 5 Perbandingan nilai kalor biodiesel terhadap waktu pelarutan ozon 31	
Gambar 4. 6 Perbandingan daya indikasi terhadap waktu pelarutan ozon dengan variasi putaran mesin.....	37
Gambar 4. 7 Perbandingan daya indikasi terhadap putaran mesin dengan variasi waktu pelarutan ozon	38
Gambar 4. 8 Perbandingan daya efektif terhadap waktu pelarutan ozon dengan variasi putaran mesin.....	39
Gambar 4. 9 Perbandingan daya efektif terhadap putaran mesin dengan variasi waktu pelarutan ozon	40
Gambar 4. 10 Perbandingan <i>torque</i> terhadap putaran mesin dengan variasi waktu pelarutan ozon	41
Gambar 4. 11 Perbandingan <i>torque</i> terhadap waktu pelarutan ozon dengan variasi putaran mesin.....	42
Gambar 4. 12 Perbandingan SFC terhadap putaran mesin dengan variasi waktu pelarutan ozon	43
Gambar 4. 13 Perbandingan SFC terhadap waktu pelarutan ozon dengan variasi putaran mesin	44

Gambar 4. 14 Perbandingan laju aliran udara aktual terhadap putaran mesin dengan variasi waktu pelarutan ozon 45

Gambar 4. 15 Perbandingan AFR terhadap putaran mesin dengan variasi putaran mesin 46

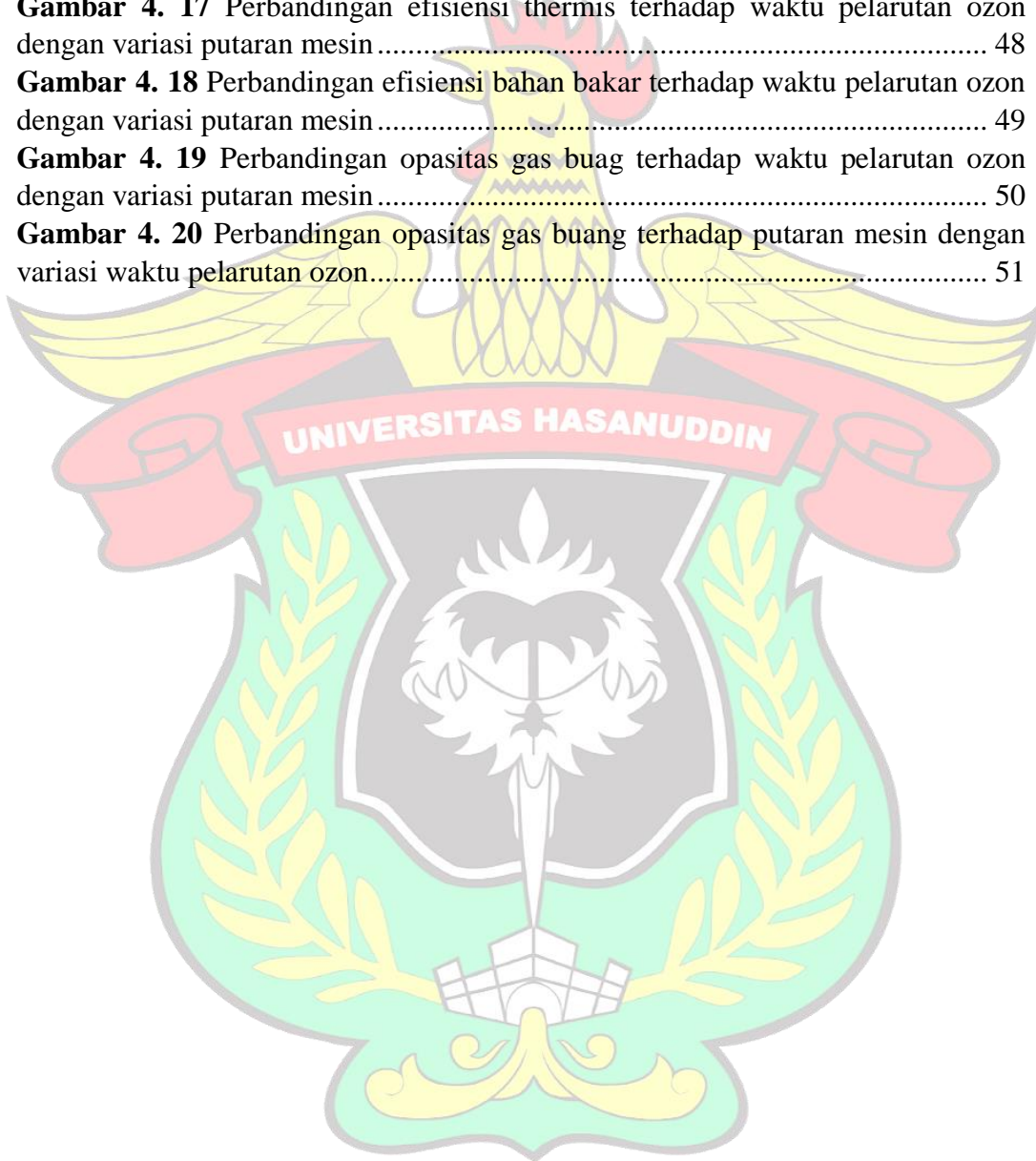
Gambar 4. 16 Perbandingan Efisiensi volumetris terhadap putaran mesin dengan variasi putaran mesin..... 47

Gambar 4. 17 Perbandingan efisiensi thermis terhadap waktu pelarutan ozon dengan variasi putaran mesin 48

Gambar 4. 18 Perbandingan efisiensi bahan bakar terhadap waktu pelarutan ozon dengan variasi putaran mesin 49

Gambar 4. 19 Perbandingan opasitas gas buang terhadap waktu pelarutan ozon dengan variasi putaran mesin 50

Gambar 4. 20 Perbandingan opasitas gas buang terhadap putaran mesin dengan variasi waktu pelarutan ozon..... 51



DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1. Karakterisasi Biodiesel (B30) hasil pelarutan ozon 26



DAFTAR SIMBOL

IP	Daya indikasi	kW
BP	Daya efektif	kW
η_m	Efisiensi mekanis	%
N	Putaran poros	rpm
FC	Konsumsi bahan bakar	kg/h
VGU	Volume gelas ukur	cc
ρ_f	Massa jenis bahan bakar	kg/h
SFC	Konsumsi bahan bakar spesifik	kg/h
ρ_{ud}	Massa jenis udara	kg/m ³
Ma	Laju Aliran Udara aktual	kg/s
Q_{tot}	Kalor total	kW
$QLHV_{bb}$	Nilai kalor bahan bakar	kJ/kg

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin diesel merupakan salah satu mesin yang kini diminati oleh banyak sektor karena mempunyai efisiensi bahan bakar yang lebih baik, efisiensi dan keandalan yang lebih tinggi terlebih lagi biaya bahan bakar yang cenderung murah, serta durabilitas yang tahan lama (Geetesh Goga, 2019). Mesin Diesel ialah motor bakar dengan proses pembakaran yang terjadi di dalam mesin itu sendiri (internal combustion engine) dan pembakaran terjadi karena udara murni dimampatkan (dikompresi) dalam suatu ruang bakar (silinder) sehingga menghasilkan udara bertekanan tinggi, bersamaan dengan itu disemprotkan/dikabutkan bahan bakar sehingga terjadilah pembakaran (Achmad Kusairi, 2018).

Karakteristik sifat kimia dan fisika bahan bakar yang digunakan dalam motor pembakaran dalam baik didunia automotive atau perkapalan secara signifikan memengaruhi unjuk kerja dan emisi gas buang. Dalam kasus motor diesel (C.I. Engine), karakteristik *ignition* bahan bakar memengaruhi keterlambatan antara start injeksi bahan bakar ke dalam silinder dan pelepasan panas yang terukur karena pembakaran. Durasi *ignition delay* (ID) ini memengaruhi tahapan pembakaran dalam *engine cycle*, efisiensi termodinamik dan juga tingkat pencampuran bahan bakar dan udara yang terjadi agar menghasilkan campuran pertama yang terbakar (R.Dimas Endro Witjonarko, 2019).

Beberapa penelitian telah dikembangkan; seperti peningkatan efisiensi konversi energi, inovasi teknologi, penggunaan energi terbarukan, dan lainnya. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan efektifitas penggunaan bahan bakar yang telah menjadi momok permasalahan di berbagai sektor.

Eko Julianto (2020) melakukan penelitian tentang, pengaruh putaran mesin pada efisiensi bahan bakar mesin diesel 2DG-FTV. Dari hasil penelitian ini ditemukan bahwa laju konsumsi bahan bakar berbanding lurus dengan putaran mesin dan konsumsi bahan bakar (Eko Julianto, 2020). Selain itu penelitian serupa dilakukan oleh Yusvardi Yusuf pada tahun 2019 mengenai studi analisis prestasi

mesin mobil diesel *turbocharger* dengan pengujian menggunakan *dynamometer*, hasil yang ditemukan yaitu penurunan batas asap maksimum dari 4.53 g/m³ pada mesin tanpa *turbocharger* dan 2.07 g/m³ pada mesin menggunakan *turbocharger*.

Peningkatan efisiensi konversi energi dari mesin pembakaran internal dapat dilakukan dengan penambahan ozon. Hasil percobaan yang dilakukan selama ini menunjukkan manfaat yang dihasilkan dari penambahan ozon dalam hal konsumsi bahan bakar dan peningkatan toksisitas gas buang (K.Prajwowsk, 2018). Pengaruh penambahan ozon dalam ruang pembakaran juga dapat mengimbangi tekanan silinder yang berlebihan karena konsentrasi bahan bakar yang tinggi, P.M Pinazzi telah menyelidiki efek penambahan ozon terhadap pembakaran pada mesin diesel compression ignition (CI), Eksprimen tersebut dilakukan dalam mesin cooperative fuel research (CFR) dan hasilnya menunjukkan bahwa efek penambahan ozon dapat meningkatkan nilai cetane number (CN) (P.M Pinazzi, 2019).

Plasma ozon adalah ozon yang diproduksi dari udara yang terionisasi oleh dielectric barrier discharge (DBD) plasma (M.Nur, 2011). Saat ini, produksi ozon dapat dilakukan dengan teknologi plasma yang merupakan teknologi yang sederhana dan ramah lingkungan (D.Yoshino, 2015). Plasma merupakan fase materi ke empat dan dikenal sebagai gas terionisasi (F. F. Chen dan S. E. Von Goeler, 1985). Plasma-ozon dalam industri modern mampu menghasilkan beberapa ratus kilogram ozon per jam dengan konsumsi daya beberapa Megawatt (MW).

Berdasarkan penjelasan di atas, maka penambahan plasma-ozon diharapkan mampu meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi gas buang dari mesin diesel. Maka dari itu, penulis akan menganalisis mengenai efek penambahan ozone terhadap kinerja mesin 4D56 dengan judul **“PENGARUH OZONISASI PADA BAHAN BAKAR SOLAR TERHADAP KINERJA MESIN 4D56 DAN EMISI GAS BUANG”**

1.2 Rumusan Masalah

Adapun beberapa rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh ozonisasi terhadap prestasi mesin diesel 4D56?
2. Bagaimana hasil gas buang setelah ozonisasi B30 terhadap mesin diesel 4D56?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh penambahan ozon terhadap prestasi mesin 4D56
2. Menganalisis pengaruh ozonisasi B30 pada gas buang terhadap mesin diesel 4D56

1.4 Batasan Masalah

1. Bahan bakar yang digunakan adalah biodiesel B30
2. Menggunakan mesin diesel mitsubishi pajero type 4D56
3. Putaran mesin pada 2000-3000 rpm
4. Menggunakan ozon generator

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi Penulis

Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

2. Bagi Universitas

Dapat dijadikan sebagai bahan referensi bagi generasi - generasi Teknik Mesin yang akan datang dalam pembuatan dan penyusunan tugas akhir.

3. Bagi Industri

Sebagai referensi bagi industri otomotif untuk memproduksi kendaraan ramah lingkungan dan efisien dalam penggunaan bahan bakar

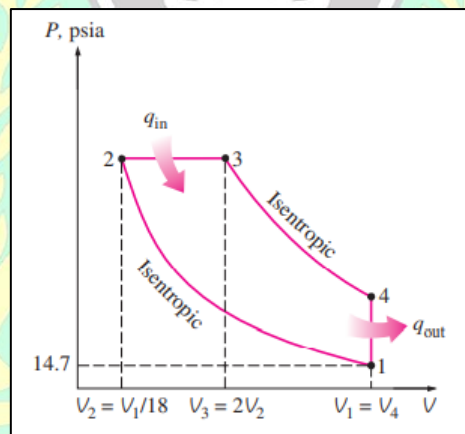
BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Mesin Diesel

Mesin kalor yang melakukan proses pembakaran di dalam mesin itu sendiri menghasilkan gas panas kemudian digunakan untuk melakukan kerja mekanis disebut dengan motor bakar. Salah satu jenis motor bakar itu sendiri yaitu motor diesel atau mesin diesel. Mesin diesel adalah jenis mesin pembakaran dalam di mana bahan bakar / muatan udara dipicu oleh panasnya kompresi. Ini berbeda dari mesin yang dipicu busi di mana bahan bakar / muatan udara dinyalakan oleh busi (Sean Bennett, 2010). Sehingga mesin diesel biasa disebut sebagai *compression ignition engine* atau motor penyalan kompresi.

Mesin Diesel merupakan mesin yang dirancang untuk memenuhi siklus ideal seperti siklus diesel, namun dengan pemasukan kalor dilakukan pada keadaan tekanan konstan. Siklus diesel dapat diamati pada gambar 2.1



Gambar 2. 1 Digram P vs V siklus tekanan konstan (Y. A. Cengel , 2005)

2.1.1 Siklus Kerja Mesin Diesel 4 Langkah

Dalam upaya menghasilkan tenaga yang dilakukan pada mesin diesel terdapat serangkaian proses yang terus berulang-ulang, atau dikenal dengan siklus kerja. Siklus Kerja mesin Diesel 4 langkah, yaitu proses *intake*, *compression*, *power*, dan *exhaust*. Prinsip yang terjadi pada dasarnya hampir

sama dengan mesin Otto, dimana piston bergerak secara translasi dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB) dan sebaliknya berulang-ulang sebanyak 4 kali dalam satu siklus. Urutan Siklusnya sebagai berikut.

1. Langkah Hisap (Intake)

Katup hisap terbuka dan piston bergerak dari TMA ke TMB, menghisap udara pada tekanan mendekati atmosfer yang menjadikan ruang bakar terisi udara peristiwa ini dapat dilihat pada gambar 2.2. Di dalam silinder mesin diesel hanya terdapat udara

2. Langkah Kompresi (Compression)

Semua katup tertutup dan piston bergerak dari TMB ke TMA, mengkompresi udara sehingga menaikkan suhu dan tekanan. Panas untuk menyalakan campuran udara dan bahan bakar udara dihasilkan oleh proses kompresi yang menjadi salah satu syarat terjadinya pembakaran (Sukoco dan Arifin, 2013). Injeksi bahan bakar terjadi persis sebelum TMA dan segera sesudahnya terjadi pembakaran yang menyebabkan kenaikan suhu dan tekanan cukup tinggi.

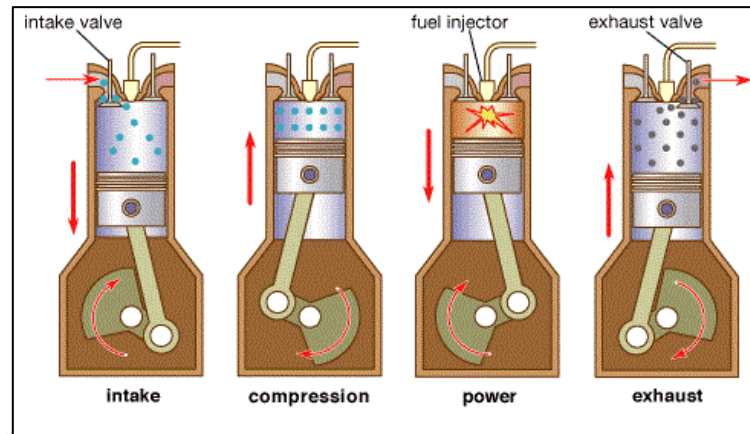
3. Langkah Ekspansi (Power)

Semua katup tertutup dan piston bergerak dari TMA ke TMB, mengekspansi ruang bakar sehingga mengurangi suhu dan tekanannya. Daya yang dihasilkan oleh pembakaran diteruskan melalui piston menghasilkan tenaga mekanik oleh poros engkol menjadi gerak putar. Untuk melanjutkan proses kerja selanjutnya tenaga pada langkah ini disimpan ada *flywheel*.

4. Langkah Buang (Exhaust)

Katup buang terbuka dan piston bergerak dari TMB ke TMA, membuang semua hasil pembakaran dan menyelesaikan siklus. Gerakan piston menuju TMA berasal dari TMB mendorong gas sisa pembakaran keluar melalui katup buang yang terbuka. Sesaat proses ini berakhir katup

masuk terbuka sehingga udara segar masuk kedalam silinder dan turut membantu mengeluarkan gas buang.



Gambar 2. 2 Proses kerja motor diesel 4 tak (Dody darsono, 2010)

2.2 Ozon Dalam Meningkatkan Pembakaran

2.2.1. Interaksi Ozon-Hidro Karbon

Ozon adalah molekul anorganik dengan rumus kimia O_3 . Ozon adalah alotrop oksigen yang jauh lebih stabil dibandingkan dengan alotrop diatomik O_2 .

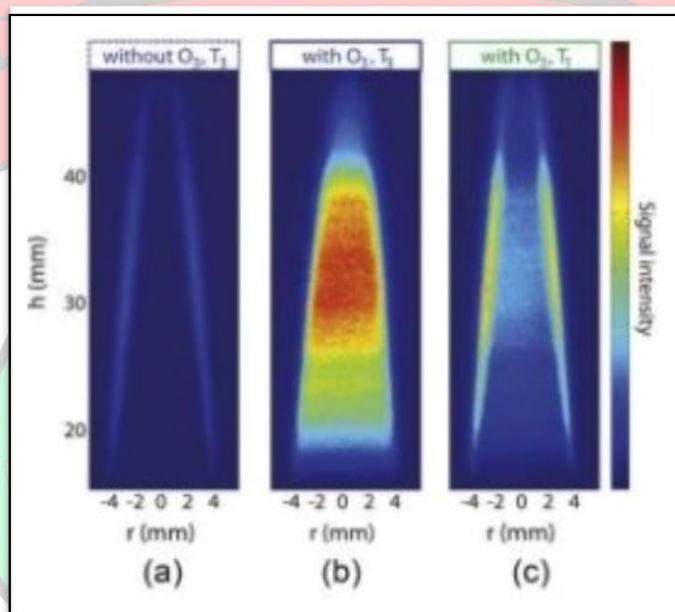


Gambar 2. 3 Rumus kerangka ozon (a) model bola dan (b) model batang dari molekul Ozon

Ozon adalah oksidan kuat (jauh lebih daripada dioksigen) dan memiliki banyak aplikasi industri dan konsumen yang berkaitan dengan oksidasi, seperti pengolahan air, pembuatan obat-obatan, ozonisasi asam oleat dan lain-lain. Dalam beberapa tahun terakhir, karena fitur pengoksidasi yang kuat, ozon telah diteliti untuk aplikasi yang berhubungan dengan pembakaran.

2.2.2. Pengaruh Ozon Pada Karakteristik Pembakaran

Menambahkan ozon terbukti memperkenalkan jalur baru dalam mekanisme oksidasi. Perubahan dalam kimia pembakaran ini menyebabkan konsekuensi dalam perilaku pembakaran seperti pembentukan OH ekstra dan formaldehida yang dapat diamati secara eksperimental. Efek ozon diselidiki pada api udara metana yang bercampur. Fluoresensi yang diinduksi laser planar dari CH_2O dilakukan untuk memahami mekanisme di balik dampak ozon pada oksidasi metana. peningkatan yang cukup besar dalam produksi formaldehida diamati ketika ozon ditambahkan ke campuran CH_4 - udara. Efek ini diamati untuk suhu dan rasio kesetaraan yang berbeda.



Gambar 2. 4 Peningkatan produksi CH_2O yang diinduksi oleh ozon

Kimia oksidasi dengan mudah mengungkap mekanisme di balik peningkatan produksi formaldehida. Begitu ozon menyemai campuran bahan bakar-udara, atom oksigen yang berasal dari dekomposisi molekul O_3 bereaksi dengan molekul CH_4 , menghasilkan radikal OH yang bereaksi cepat dengan metana. Metana kemudian diubah menjadi formaldehida melalui

urutan reaksi $\text{CH}_4 \rightarrow \text{CH}_3 - \text{CH}_3\text{O} \rightarrow \text{CH}_2\text{O}$. Melalui jalur reaksi ini beberapa radikal OH diproduksi, sehingga akan meningkatkan reaktivitas sistem secara keseluruhan (Pinazzi, 2017).

2.3 Emisi Gas Buang Kendaraan

Emisi Gas buang adalah beberapa gas produk pembakaran yang dihasilkan dalam tiap proses pembakaran pada *internal combustion* (Kristanto, 2015). Berbagai zat berbahaya terbentuk pada gas buang motor diesel, zat-zat yang dimaksud antara lain, asap hitam (angus), hidrokarbon yang tidak terbakar (UHC), karbon monoksida, oksida nitrogen (NO) dan NO₂. Kadar NO dan NO₂ atau sering disebut Nox pada motor diesel bila dibandingkan dengan motor bensin cenderung lebih rendah, maka dari itu komponen utama gas buang motor diesel yang membahayakan adalah NO dan asap Hitam (Arismunandar dan Tsuda, 1986).

Pada motor diesel, opasitas atau ketebalan asap menjadi tolak ukur besarnya emisa gas buang yang dipengaruhi langsung oleh pada banyaknya bahan bakar yang digunakan dalam silinder, hal ini disebabkan karena yang dikompresikan adalah udara murni. Nilai opasitas itu sendiri merupakan derajat kepekatan atau indicator derajat kegelapan dan tempus pandang cahaya suatu emisi gas buang. Semakin tebal emisi gas buang menandakan presentasi opasitas yang tinggi. Zat ini terbentuk pada kondisi dimana oksigen kurang dalam kondisi temperature yang tinggi kemudian mengalami dekomposisi termal. Hal ini terjadi secara singkat dan dilanjutkan proses dihidrogenisasi dan diikuti polimerisasi sehingga senyawa yang terbentuk dominan mengandung karbon (Guarsi Fanami, 2016).

2.4 Bahan Bakar Alternatif (*Biodiesel*)

Material dengan potensi energi didalamnya yang dapat dikonversi menjadi energi bermanfaat lainnya disebut bahan bakar. Terdapat 3 jenis wujud atau bentuk fisik bahan bakar dalam aplikasi mesin pembakaran yaitu padat, cair, dan gas. Terkhusus pada mesin diesel yang merupakan mesin pembakaran dalam

menggunakan dua jenis bahan bakar yaitu gas dan cair. Batu bara yang merupakan bahan bakar padat dapat pula digunakan akan tetapi harus melewati proses terlebih dahulu yang nantinya membentuk wujud gas.

Mesin diesel merupakan sebuah mesin menggunakan bahan bakar fosil diesel yang diperoleh melalui proses destilasi pendidihan minyak mentah pada suhu tertentu. Fosil diesel diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu fosil diesel-1D, fosil diesel-2D dan fosil diesel-4D. Bahan bakar yang sering digunakan di Indonesia yaitu bahan bakar fosil diesel-2D yang dikenal dengan HSD (High Speed Diesel). Karakteristik dari bahan bakar perlu diperhatikan untuk menjaga mesin dari kerusakan dan akibat penggunaan bahan bakar lainnya. Selain itu sifat fisis mempengaruhi kualitas penyalakan bahan bakar itu sendiri.

Karakteristik bahan bakar adalah sifat yang terkandung di setiap bahan bakar terkait dengan kinerja bahan bakar dalam proses pembakaran dan atomisasi. Karakteristik umum yang perlu diketahui untuk meninjau kinerja bahan bakar mesin diesel antara lain.

a. Densitas, *Specific gravity*

Perbandingan massa suatu bahan bakar terhadap volume bahan bakar pada suhu acuan sering disebut densitas. Sedangkan Specific Gravity didefinisikan sebagai perbandingan berat dari sejumlah volume minyak bakar terhadap berat air untuk volume yang sama pada suhu tertentu densitas bahan bakar, relative terhadap air.

b. Viskositas

Kekentalan merupakan salah satu sifat fisis cairan yang menentukan besarnya perlawanan terhadap gaya geser. Interaksi antara molekul bahan bakar yang menjadi faktor utama terjadinya viskositas. Selain itu, viskositas merupakan sifat penting dalam proses penggunaan bahan bakar. Apabila bahan bakar memiliki viskositas yang terlalu tinggi, hal ini akan

mengakibatkan pemampatan dan menyulitkan pemompaan serta proses injeksi bahan bakar akan terhambat sehingga atomisasi bahan bakar menjadi buruk. Viskositas bahan bakar mempengaruhi laju bahan bakar secara langsung juga menjadi factor penting pada suplai konsumsi bahan bakar, kesempurnaan proses pengkabutan bahan bakar melalui injector. Namun viskositas yang terlalu rendah akan mengakibatkan geskan dalam ruang bakar karena gerakan piston dalam siklusnya membutuhkan pelumasan, sehingga viskositas memiliki peran yang cukup penting pada tingkat pelumasan dari bahan bakar.

Pada mesin diesel dengan penggunaan bahan bakar solar, nilai viskositas bahan bakar diusahakan tidak terlalu tinggi. Hal ini dikarenakan agar memudahkan proses atomisasi bahan bakar pada saat diinjeksikan kedalam ruang bakar tidak mengalami hambatan pompa maupun injeksi. Selain itu nilai ini tidak selamanya harus rendah karena akan meningkatkan suhu pada ruang pembakaran yang diakibatkan oleh gaya gesek berlebih karena kurangnya pelumasan pada dinding selinder.

c. Titik nyala (*Flash point*)

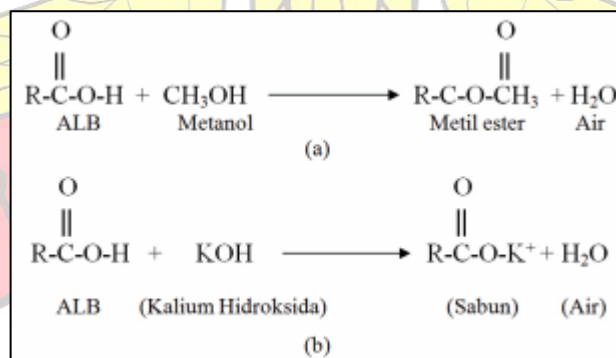
Flash point atau titik nyala suatu bahan bakar merupakan suhu rendah tepat sesaat bahan bakar dapat menyala dengan sendirinya sehingga pada saat memasuki ruang bakar, bahan bakar dapat menimbulkan ledakan yang dikonversi menjadi tenaga.

d. Nilai kalor (*Calorific Value*)

Calorific value atau nilai kalor merupakan suatu angka yang menyatakan jumlah panas atau kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan udara atau oksigen.

Biodiesel adalah bahan bakar alternatif yang terdiri dari ester alkil minyak nabati atau lemak hewani, yang diperoleh dengan cara transesterifikasi minyak

nabati atau lemak hewani yang dicampur alkohol. Alasan utama tidak menggunakan minyak nabati sebagai bahan bakar karena memiliki viskositas yang tinggi (berkisar 28-40 mm²/s), dimana dapat menyebabkan terjadinya endapan dan masalah pada penginjeksian bahan bakar ke dalam ruang bakar. Proses transesterifikasi dapat mengurangi viskositas minyak nabati (berkisar 4-5 mm²/s), yang mana viskositasnya sudah mendekati minyak diesel. Dimana proses penelitian lebih mengarah pada karakteristik pembakaran, daya, efisiensi, emisi gas buang, serta kinerja mesin yang di picu oleh campuran biodiesel dengan etanol dan methanol. (Hao chen, .., 2015).



Gambar 2. 5 (a) Reaksi konversi asam lemak bebas menjadi metil ester, (b) Reaksi penyabunan.

Katalis yang digunakan pada metode esterifikasi adalah katalis asam kuat, misalnya H₂SO₄ atau HCl. Katalis asam tersebut selain mengesterifikasi ALB juga mengonversi trigliserida menjadi metil ester tetapi dengan kecepatan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan transesterifikasi menggunakan katalis basa. (Djeni Hendra, .., 2018)

Penambahan biodiesel pada bahan bakar solar pada dasarnya dapat mempengaruhi karakterisasi berupa diameter rata-rata butiran semprotan bahan bakar yang lebih besar dan penetrasi semprotan yang lebih panjang. Agar dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti solar, biodiesel harus mempunyai kemiripan sifat fisik dan kimia dengan minyak solar. Salah satu sifat fisik yang penting adalah viskositas. Minyak lemak nabati dapat dijadikan bahan bakar, namun viskositasnya terlalu tinggi sehingga tidak memenuhi persyaratan untuk dijadikan bahan bakar mesin diesel.

2.5 Dasar-dasar Perhitungan

Terdapat berbagai parameter yang akan dijadikan sebagai perhitungan dalam pengujian ini yaitu :

a. Daya Indikasi, IP (kW)

Peforma motor ditentukan menggunakan parameter daya motor. Nilai daya bergantung pada momen putar dan putaran mesin yang memiliki hubungan berbanding lurus, semakin tinggi momen putar atau putaran mesin maka perbandingan perhitungan daya akan semakin tinggi pula. Dengan demikian jumlah putaran (rpm) dan besarnya momen putar atau torsi mempengaruhi daya motor yang dihasilkan oleh sebuah motor . Maka karakteristik mesin dalam pembangkitan daya pada berbagai kondisi operasi disebut daya indikasi dari mesin, dihitung dengan menggunakan persamaan,

$$IP = \frac{BP}{\eta_m} (kW) \quad (1)$$

Dimana :

IP = Daya Indikasi, (kW)

BP = Daya Efektif, (kW)

η_m = Efisiensi mekanis (%)

b. Konsumsi Bahan Bakar. FC (kg/h)

Konsumsi bahan bakar menunjukkan jumlah pemakaian bahan bakar yang dihitung dengan jalan mengukur waktu yang diperlukan oleh mesin untuk menghabiskan sejumlah bahan bakar yang terdapat pada gelas ukur, dapat dihitung dari persamaan,

$$FC = \frac{VGU \cdot 10^{-3} \cdot \rho_f \cdot 3600}{W} \left(\frac{kg}{h} \right) \quad (2)$$

Dimana :

FC = Konsumsi Bahan Bakar (kg/h)

VGU = Volume gelas ukur, (cc)

ρ_f = Massa jenis bahan bakar, (kg/h)

W = Waktu (s)

10^{-3} = Faktor konversi cc ke dm^3

3600 = Faktor konversi detik ke jam

c. Komsumsi 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 :

$$SFC = \frac{FC}{BHP} \frac{kg}{kWh} \quad (3)$$

d. Laju Aliran Udara Aktual, Ma (kg/h)

Untuk mengukur jumlah pemakaian udara sebenarnya pada mesin Mitsubishi 4d56, Maka dari itu persamaan Ma adalah :

$$Ma = \rho_{ud} \cdot v \cdot A \quad (4)$$

e. Perbandingan Udara Bahan Bakar, AFR

Perbandingan udara bahan bakar sangat penting bagi pembakaran sempurna. Konsumsi udara bahan bakar yang dihasilkan akan sangat mempengaruhi laju dari pembakaran dan energi yang dihasilkan. Secara umum air fuel consumption dapat dihitung dengan persamaan :

$$AFR = \frac{ma}{FC} \quad (5)$$

Dimana:

Ma = Komsumsi udara aktual (kg/h)

FC = Komsumsi bahan bakar (kg/h)

f. Efisiensi Volumetris, η_{vol} (%)

Efisiensi volumetris adalah perbandingan antara jumlah udara terisap sebenarnya pada proses pengisapan, dengan jumlah udara teoritis yang mengisi volume langkah pada saat temperatur dan tekanan sama. Dengan demikian η_{vo} dapat di rumuskan sebagai berikut:

$$\eta_{vol} = \frac{m_{ud}}{\rho_{ud}V_L} 100 \% \quad (6)$$

Dimana:

m_{ud} = Massa udara aktual (kg)

ρ_{ud} = Densitas udara (kg/m³)

V_L = Volume Langkah (m³)

g. Efisiensi Termis, η_{th} (%)

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

$$\eta_{th} = \frac{BHP}{Q_{tot}} \cdot 100\%$$

Dan,

$$Q_{tot} = QLHV_{bb} \cdot FC \cdot \eta$$

Dimana:

BHP = Daya efektif (kW)

Q_{tot} = kalor yang di suplai, (kW)

QLHV_{bb} = nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)

η_m = Efisiensi Mekanis

FC = Laju konsumsi Bahan Bakar

h. Efisiensi Bahan Bakar, η_{bb} (%)

Untuk mengitung efisiensi bahan bakar yang digunakan pada mesin Mitsubishi 4D56 ini maka dapat dihitung dengan persamaan :

$$\eta_{bb} = \frac{1}{SFC \cdot QLHV_{bb}} \cdot 100\% \quad (8)$$

Dimana:

SFC = Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (kg/kWh)

$QLHV_{bb}$ = nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)

