

**SKRIPSI**

**OZONISASI KOMBINASI PERTAMAX DAN BIOETANOL  
SEBAGAI BAHAN BAKAR PADA MESIN BENSIN**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**MUH. ZUL ALIF**

**D021 19 1139**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2024**



**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI****OZONISASI KOMBINASI PERTAMAX DAN BIOETANOL  
SEBAGAI BAHAN BAKAR PADA MESIN BENSIN**

Disusun dan diajukan oleh

**MUH. ZUL ALIF**  
**NIM D021191139**

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

Pada tanggal:  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



**Ir. Andi Mangkau, MT.**  
**NIP. 19611231 199002 1 003**

Pembimbing Pendamping



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

Ketua Program Studi,



**Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT.**  
**NIP. 19720825 200003 1 001**



## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muh. Zul Alif

NIM : D021191139

Program Studi : Teknik Mesin

Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

*"OZONISASI KOMBINASI PERTAMAX DAN BIOETANOL SEBAGAI  
BAHAN BAKAR PADA MESIN BENSIN"*

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggung jawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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

Gowa, 20 Februari 2024

Yang membuat Pernyataan,

  
METERAI  
TEMPEL  
10000  
DCC28ALXU78987480  
MUH. ZUL ALIF



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari dalam menyelesaikan skripsi dan penelitian ini tidaklah mudah, banyak hambatan dan masalah yang dihadapi hingga sampai ke titik ini. Namun berkat doa dan dukungan dari berbagai pihak akhirnya penelitian dan skripsi ini telah selesai.

Dengan Tugas Akhir yang berjudul “OZONISASI KOMBINASI PERTAMAX DAN BIOETANOL SEBAGAI BAHAN BAKAR PADA MESIN BENSIN”, ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan pembaca dan juga kepada penulis dalam memahami penggunaan pemanas air tenaga matahari.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, petunjuk dan perhatian dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.** selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta jajaran staffnya.
2. Bapak **Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin Haddada, ST., MT.**, selaku ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan beserta seluruh staff Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudahan yang diberikan.
4. Bapak **Ir. Andi Mangkau, MT.**, pembimbing Pertama yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
5. Bapak **Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT.**, selaku pembimbing kedua, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan serta motivasi mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
6. Seluruh dosen penguji, bapak **Ir. Baharuddin Mire, MT.** dan ibu **Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT.**, yang telah memberikan masukan yang sangat berharga dalam mengarahkan penulis dalam menyelesaikan penelitian ini..
7. Seluruh staff administrasi Departemen Teknik Mesin yang membantu mengurus dan memudahkan perjalanan berkas menuju Rektorat.



Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu almarhum ayahanda **H. M. Thalib S.** dan almarhumah ibunda **Hj. Hasbiah** yang telah mendukung dan mendoakan penulis selama ini. Penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua tercinta, meskipun mereka telah meninggalkan dunia ini, semangat, cinta, dan doa restu dari mereka tetap menjadi pendorong utama dalam setiap langkah penulis.
2. Kakak dan adik tercinta penulis yang telah memberikan semangat kepada penulis selama proses penulisan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih dan juga kepada keluarga besar yang senantiasa memberikan dukungan moral dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Pemilik NIM **I011191173**, penulis berterima kasih banyak atas dukungan, motivasi serta doa yang diberikan dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Seluruh saudaraku **BRUZHLEZZ 2019**. Terima kasih atas bantuan dan dukungannya serta semangat yang diberikan.
5. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Motor Bakar yang setia menemani selama masa-masa pengambilan data dan penulisan tugas akhir.
6. Kanda-kanda Senior serta dinda, penulis berterima kasih telah membantu pada proses perkuliahan maupun memberikan masukan dalam menyelesaikan tugas akhir. Terkhusus kepada dinda **Ahmad Bustami Beta'M21** yang telah memberi bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Kepada Kanda **Surahman S.Pd, MT.** yang senantiasa selalu menjadi teman diskusi yang sudah membantu penulis dalam memecahkan berbagai kendala dalam menjalankan penelitian ini.
8. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu dengan semua bantuan dan dukungan hingga penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini banyak kekurangan dan memerlukan perbaikan. Oleh karena itu, dengan segala keterbukaan penulis mengharapkan masukan dari semua pihak. Akhir kata semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Mesin.

Gowa, 20 Februari 2024

Penulis



## ABSTRAK

**MUH. ZUL ALIF**, *Ozonisasi Kombinasi Pertamax Dan Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Pada Mesin Bensin* (dibimbing oleh Ir. Andi Mangkau, MT. dan Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT.)

Bahan bakar fosil seperti pertamax telah lama menjadi sumber energi utama dalam industri transportasi. Namun, kesadaran akan dampak negatif terhadap lingkungan dan semakin terbatasnya sumber daya fosil telah mendorong upaya pencarian bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Salah satu alternatif yang menarik adalah bioetanol, yang dapat dihasilkan dari sumber biomassa terbarukan. Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi kombinasi pertamax dan bioetanol (disebut BE15) sebagai bahan bakar alternatif dalam mesin bensin melalui metode ozonisasi. Proses ozonisasi dilakukan dengan menggunakan generator ozon yaitu Dielectric Barrier Discharge (DBD) dalam berbagai durasi (30 menit, 1 jam, dan 2 jam) untuk menguji efeknya terhadap performa mesin. Pengujian dilakukan pada mesin Bensin TV-1 dengan variasi pembebanan (6 kg, 9 kg, dan 12 kg) dan rasio kompresi 10. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan daya efektif dengan pelarutan ozon dalam bahan bakar. Pada beban 12 kg, BE15 dengan pelarutan ozon 2 jam menghasilkan daya efektif sebesar 4,26 kW putaran 1800 rpm, dengan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) minimum 0,265 Kg/kWh pada putaran yang sama. Dari segi perbandingan udara bahan bakar (AFR), maksimum terjadi pada beban 12 kg dengan putaran 1500 rpm dari BE15 dengan pelarutan ozon selama 30 menit, yaitu sebesar 15,280. Efisiensi thermis ( $\eta_{th}$ ) maksimum tercatat sebesar 31,057% pada putaran 1500 rpm dengan beban 12 kg dan pelarutan ozon selama 60 menit, sedangkan efisiensi volumetrik ( $\eta_{vo}$ ) maksimum mencapai 41,681% pada beban 9 kg dengan pelarutan ozon selama 30 menit. Selain itu, pelarutan ozon mempengaruhi jarak SOB (*Start Of Burning*), dengan selisih yang signifikan, dimana mempengaruhi EOB (*Ending Of Burning*) yang terjadi pada titik yang berbeda, dan nilai puncak minimum pelepasan panas cenderung terjadi pada pelarutan ozon 2 jam juga. Hasil ini menunjukkan bahwa ozonisasi bahan bakar BE15 dapat meningkatkan efisiensi dan performa mesin, memberikan dorongan tambahan untuk penggunaan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dalam industri transportasi.

Kata Kunci: : Bioetanol, Ozonisasi, Mesin Bensin, Efisiensi Mesin.



## ABSTRACT

**MUH. ZUL ALIF**, *Ozoneation of Pertamina and Bioethanol Combination as Fuel in Gasoline Engines* (supervised by Ir. Andi Mangkau, MT. and Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT.)

*Fossil fuels like Pertamina have long been the primary source of energy in the transportation industry. However, awareness of the negative environmental impacts and the increasingly limited fossil fuel resources have driven efforts to search for alternative fuels that are environmentally friendly and sustainable. One interesting alternative is bioethanol, which can be produced from renewable biomass sources. This research aims to analyze the potential combination of Pertamina and bioethanol (referred to as BE15) as an alternative fuel in gasoline engines through ozonization methods. The ozonization process is carried out using an ozone generator, namely Dielectric Barrier Discharge (DBD), at various durations (30 minutes, 1 hour, and 2 hours) to test its effects on engine performance. Testing is conducted on a Gasoline TV-1 engine with load variations (6 kg, 9 kg, and 12 kg) and a compression ratio of 10. The research results show an increase in effective power with ozone dissolution in the fuel. At a load of 12 kg, BE15 with 2 hours of ozone dissolution produces an effective power of 4.26 kW at 1800 rpm, with a minimum specific fuel consumption (SFC) of 0.265 kg/kWh at the same speed. In terms of air-fuel ratio (AFR) comparison, the maximum occurs at a load of 12 kg at 1500 rpm for BE15 with 30 minutes of ozone dissolution, at 15.280. The maximum thermal efficiency ( $\eta_{th}$ ) recorded is 31.057% at 1500 rpm with a load of 12 kg and 60 minutes of ozone dissolution, while the maximum volumetric efficiency ( $\eta_{vo}$ ) reaches 41.681% at a load of 9 kg with 30 minutes of ozone dissolution. Additionally, ozone dissolution affects the Start Of Burning (SOB) distance significantly, influencing the Ending Of Burning (EOB) occurring at different points, and the minimum peak heat release tends to occur with 2 hours of ozone dissolution as well. These results indicate that ozonization of BE15 fuel can improve engine efficiency and performance, providing an additional boost for the use of environmentally friendly alternative fuels in the transportation industry*

*Keywords: Bioethanol, Ozoneation, Gasoline Engine, Engine Efficiency.*



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR SIMBOL.....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Motor Bensin.....	6
2.1.1 Pengertian Motor Bensin .....	6
2.1.2. Motor Bensin 4 Langkah.....	6
2.1.3 Siklus Otto.....	7
2.2 Bahan Bakar .....	8
2.3 Proses Pembakaran .....	16
2.4 Ozon Dalam Meningkatkan Pembakaran .....	18
Generator Ozon.....	21
Basis Perhitungan.....	22



BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	26
3.1 Waktu dan Tempat.....	26
3.2 Alat dan Bahan .....	27
3.2.1 Alat yang Digunakan .....	27
3.2.2 Bahan .....	33
3.3 Prosedur Kerja .....	34
3.4 Skema Penelitian .....	36
3.5 Flowchart Penelitian .....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	39
4.1 Karakteristik Kombinasi Pertamax dan Bioetanol Hasil Ozonisasi .....	39
4.2 Perhitungan Kinerja Mesin.....	41
4.3 Kinerja Pembakaran Mesin Bensin TV-1 .....	47
4.3.1 Analisis Pembakaran Bahan Bakar .....	47
4.3.2 Analisis Tekanan Silinder .....	51
4.3.3 Pelepasan Panas (Heat Reat) Mesin Bensin TV1 .....	53
4.4 Kinerja Mesin Bensin TV1 .....	56
4.4.1 Analisis Daya Efektif (BP) .....	56
4.4.2 Analisis Torsi .....	57
4.4.3 Analisis Komsumsi Bahan Bakar Spesifik .....	58
4.4.4 Analisis Perbandingan Udara Bahan Bakar (AFR).....	59
4.4.5 Analisis Efisiensi Volumetrik .....	60
4.4.6 Analisis Efisiensi Thermis .....	61
BAB V PENUTUP.....	63
5.1 Kesimpulan .....	63
5.2 Saran .....	64
5.3 DAFTAR PUSTAKA .....	65



LAMPIRAN.....68



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Cara kerja Motor Bensin Empat langkah .....	6
Gambar 2	Siklus Otto Ideal pada Mesin Bensin 4 Tak ( <i>4-Stroke</i> ) dan Diagram P- V Siklus Otto Ideal .....	8
Gambar 3	Proses produksi bioethanol .....	13
Gambar 4	Segitiga Pembakaran .....	16
Gambar 5	Tingkat pembakaran dalam sebuah mesin .....	17
Gambar 6	Rumus kerangka ozon (a) model bola dan (b) model batang dari molekul Ozon.....	18
Gambar 7	Peningkatan produksi CH <sub>2</sub> O yang diinduksi oleh ozon .....	19
Gambar 8	Korelasi antara ozon dan catane number (CN) bahan bakar untuk kondisi awal yang berbeda.....	20
Gambar 9	Variasi penahapan nyala api utama yang diinduksi dengan menghidupkan dan mematikan generator ozon. (a) Kasus langsung off-on. (b) Balikkan kasus off – on.....	21
Gambar 10	Representasi skematis dari generator ozon yang bekerja berdasarkan prinsip Dielectric Barrier Discharge (DBD).....	21
Gambar 11	Lokasi penelitian .....	27
Gambar 12	Generator ozon .....	28
Gambar 13	Gelas Ukur.....	28
Gambar 14	Jerigen .....	29
Gambar 15	Timbangan skala 0,001 gr .....	29
Gambar 16	<i>Stopwatch</i> .....	29
Gambar 17	<i>Calorimeter bomb</i> .....	30
Gambar 18	<i>Magnetic stirrer</i> .....	30
Gambar 19	<i>Viscometer Ostwald</i> .....	30
Gambar 20	Piknometer .....	31
Gambar 21	Mesin Bensin TV1 .....	31
	22 Panel Mesin .....	32
	23 Komputer.....	32
	24 Pompa.....	33
	25 Bioetanol .....	33



Gambar 26	Pertamax.....	33
Gambar 27	Skema penelitian .....	36
Gambar 28	Diagram alir penelitian.....	38
Gambar 29	Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol dengan variasi ozon kombinasi pertamax dan bioetanol pada beban 6 kg dengan putaran mesin 1800 rpm .....	48
Gambar 29	Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol dengan variasi ozon kombinasi pertamax dan bioetanol pada beban 9 kg dengan putaran mesin 1800 rpm .....	48
Gambar 30	Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol dengan variasi ozon kombinasi pertamax dan bioetanol pada beban 12 kg dengan putaran mesin 1800 rpm .....	48
Gambar 31	Perbandingan tekanan silinder terhadap volume silinder dengan variasi ozon kombinasi pertamax dan bioetanol pada beban 6 kg dengan putaran mesin 1800 rpm.....	51
Gambar 31	Perbandingan tekanan silinder terhadap volume silinder dengan variasi ozon kombinasi pertamax dan bioetanol pada beban 9 kg dengan putaran mesin 1800 rpm.....	51
Gambar 32	Perbandingan tekanan silinder terhadap volume silinder dengan variasi ozon kombinasi pertamax dan bioetanol pada beban 12 kg dengan putaran mesin 1800 rpm.....	52
Gambar 33	Perbandingan NHR terhadap sudut engkol dengan variasi ozon kombinasi pertamax dan bioetanol pada beban 6 kg dengan putaran mesin 1500 rpm .....	53
Gambar 34	Perbandingan NHR terhadap sudut engkol dengan variasi ozon kombinasi pertamax dan bioetanol pada beban 9 kg dengan putaran mesin 1500 rpm .....	53
Gambar 35	Perbandingan NHR terhadap sudut engkol dengan variasi ozon kombinasi pertamax dan bioetanol pada beban 12 kg dengan putaran mesin 1500 rpm .....	54
38	Analisis perbandingan daya efektif terhadap beban pada variasi ozon kombinasi pertamax dan bioetanol .....	56



Gambar 39 Analisis perbandingan torsi terhadap beban pada variasi ozon kombinasi pertamax dan bioetanol .....	57
Gambar 40 Analisis perbandingan komsumsi bahan bakar spesifik terhadap beban dengan menggunakan variasi ozon kombinasi pertamax dan bioetanol.....	58
Gambar 40 Analisis perbandingan udara dan bahan bakar terhadap beban dengan menggunakan variasi ozon kombinasi pertamax dan bioetanol .....	59
Gambar 41 Perbandingan efisiensi volumetrik spesifik terhadap beban dengan menggunakan variasi ozon kombinasi pertamax dan bioetanol .....	60
Gambar 42 Perbandingan efisiensi thermis spesifik terhadap beban dengan menggunakan variasi ozon kombinasi pertamax dan bioetanol .....	61



## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Spesifikasi Biofuel Jenis Bioetanol Berdasarkan.....	12
Tabel 2 Spesifikasi Pertamax .....	15
Tabel 3 Jadwal penelitian.....	26
Tabel 4 Karakteristik kombinasi pertamax dan bioetanol hasil ozonisasi .....	39
Tabel 5 Fraksi massa terbakar pada variasi ozon kombinasi pertamax dan bioethanol pada beban 6 kg putaran mesin 1800rpm.....	49
Tabel 6 Fraksi massa terbakar pada variasi ozon kombinasi pertamax dan bioetanol pada beban 9 kg putaran mesin 1800rpm.....	49
Tabel 7 Fraksi massa terbakar pada variasi ozon kombinasi pertamax dan bioetano pada beban 12 kg putaran mesin 1800rpm .....	49



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Tampilan Kinerja Pembakaran .....	68
Lampiran 2.	Data Perhitungan .....	71
Lampiran 3.	Data Kinerja Mesin .....	73
Lampiran 4.	Perbandingan daya efektif pada ozonisasi kombinasi bioetanol dan pertamax .....	75
Lampiran 5.	Perbandingan torsi pada ozonisasi kombinasi bioetanol dan pertamax .....	76
Lampiran 6.	Perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik pada ozonisasi kombinasi bioetanol dan pertamax .....	77
Lampiran 7.	Perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik pada ozonisasi kombinasi bioetanol dan pertamax .....	78
Lampiran 8.	Perbandingan efisiensi volumetrik pada ozonisasi kombinasi bioethanol dan pertamax .....	79
Lampiran 9.	Perbandingan efisiensi thermis pada ozonisasi kombinasi bioethanol dan pertamax .....	80
Lampiran 10.	Dokumentasi .....	81



## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Arti Singkatan	Satuan
BP	Daya efektif	kW
$\eta_m$	Efisiensi mekanis	%
N	Putaran poros	rpm
n	Jumlah putaran persiklus	-
FC	Konsumsi bahan bakar	kg/h
VGU	Volume gelas ukur	cc
$\rho_f$	Massa jenis bahan bakar	kg/m <sup>3</sup>
SFC	Konsumsi bahan bakar spesifik	kg/h
Ma	Laju aliran udara aktual	kg/h
K	koefisien	-
C	kecepatan aliran udara	m/s
Do	Diameter orifice	mm
ho	Beda tekanan pada manometer	mmWc
$\rho_a$	Massa jenis udara pada kondisi masuk	kg/m <sup>3</sup>
Mth	Laju udara secara teoritis	kg/h
Vs	Volume silinder	-
$\rho_{ud}$	Massa jenis udara	kg/m <sup>3</sup>
Ka	konstanta untuk motor 4 langkah	-
d	Diameter selinder	mm
s	Panjang langkah selinder	mm
Z	Jumlah selinder	-
AFR	Rasio udara-bahan bakar	-
$\eta_{vo}$	Efisiensi volumetris	%



$\eta_{th}$	Efisiensi termis	%
$Q_{tot}$	Kalor total	kW
LHV <sub>bb</sub>	Nilai kalor bahan bakar	kJ/kg

---



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Sejak awal abad ke-20, mesin bensin telah menjadi tulang punggung mobilitas karena ketersediaan bahan bakar fosil yang cukup, terutama minyak bumi. Pertumbuhan kendaraan dan ketergantungan pada minyak bumi sebagai sumber energi utama menimbulkan keprihatinan akan ketersediaan terbatas dan dampak lingkungan dari bahan bakar fosil.

Melihat data dari produksi minyak bumi di Indonesia cenderung menurun dalam 1 dekade ini. Berdasarkan data *Outlook Energi Indonesia* tahun 2019 memperlihatkan bahwa produksi minyak bumi pada tahun 2009 sebesar 346 juta barel (949 ribu bph) dan menjadi sekitar 283 juta barel (778 ribu bph) di tahun 2018. Dampak lain dari penggunaan minyak bumi adalah emisi. Total emisi CO<sub>2</sub> di dunia meningkat 63,35% dari tahun 1990 sampai 2018 33513.25 Mt (*Metric tons*), (Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional. 2019).

Selain kesediannya yang menipis, minyak bumi sebagai bahan bakar kerap kali menghasilkan pembakaran yang menyebabkan polusi udara. Menurut Kementerian LHK (2021), 80% sumber polusi udara terbesar berasal dari polusi udara luar ruangan yaitu kendaraan bermotor, diikuti dengan polusi akibat industri pada urutan kedua, dan domestik produk pada urutan ketiga. Pembakaran bahan bakar fosil minyak bumi ini memberikan dampak negatif terhadap lingkungan seperti penurunan kualitas udara dan efek gas rumah kaca yang timbul akibat gas CO<sub>2</sub> hasil pembakaran minyak bumi (Prasetyo, 2018).

Konsentrasi yang meningkat terhadap energi bersih telah mendorong eksplorasi teknologi alternatif dan transisi ke mobilitas berbasis energi yang lebih ramah lingkungan. Meskipun terus ada perkembangan pada teknologi bahan bakar alternatif, mesin bensin telah terus menerus dioptimalkan untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar dan mengurangi emisi. Inovasi baru dalam penggunaan bahan bakar alternatif dan teknologi pengolahan bahan bakar menjadi fokus utama. Pendekatan baru untuk mengatasi masalah ini masuk penggunaan bahan bakar alternatif, penggunaan bahan tambahan mesin bensin serta teknologi pemrosesan seperti ozonisasi.



Penggunaan bahan bakar alternatif seperti bioetanol menjadi penting dalam mereduksi emisi gas rumah kaca serta diversifikasi sumber energi. Bioetanol, yang berasal dari sumber-sumber biomassa, menawarkan potensi untuk mengurangi jejak karbon dan ketergantungan pada minyak bumi. Bioetanol adalah etanol (alkohol) yang berasal dari tumbuh-tumbuhan seperti jagung, gandum, kentang dan tebu (Rahardja dkk, 2018). Hal ini kemudian diproses untuk membentuk aditif yang terbarukan atau menjadikan bahan bakar yang baik dengan biaya efektif dan ramah lingkungan. (Prihandana dkk, 2008).

Bioetanol sebagai bahan bakar maupun campuran bahan bakar memiliki berbagai fungsi antara lain: (a) Penambah oktan, artinya mampu menaikkan angka oktan dengan dampak positif pada efisiensi bahan bakar dan mesin; (b) mengandung oksigen sehingga dapat menyempurnakan pembakaran dan meminimalkan pencemaran udara; dan (c) *fuel extender*, yaitu menghemat bahan bakar fosil yang saat ini kesediaannya menurun di alam (Temaluru, 2016).

Adapun penelitian yang mendukung keefektifan campuran bioetanol pada bahan bakar dan berhasil membuktikan kebenaran fungsi-fungsi di atas, seperti pada penelitian oleh Soleh dan Wayan (2019) menggunakan campuran premium dengan bioetanol ampas tebu (E0, E5, E10, E15, E20). Pada pengujian emisi gas buang penggunaan bahan bakar E15 dari ampas tebu dapat mengurangi emisi gas HC terendah 85 ppm pada 8000 rpm, sedangkan gas CO terendah 2,30% pada 8000 rpm dan gas O<sub>2</sub> terendah 3,33% pada 9000 rpm serta meningkatkan emisi gas CO<sub>2</sub>, dengan CO<sub>2</sub> tertinggi 11% pada 9000 rpm.

Pemrosesan ozon pada bahan bakar merupakan metode untuk meningkatkan kualitas bahan bakar dengan mengurangi kandungan zat-zat yang tidak diinginkan, seperti senyawa hidrokarbon ringan dan polutan lainnya. Pemrosesan ozon dapat membantu meningkatkan kualitas bahan bakar dengan mengurangi kandungan zat-zat tersebut. Di sisi lain, ozonisasi,

jadi proses oksidasi yang dapat meningkatkan kualitas bahan bakar, jadi bagian penting dalam penelitian terkait pengembangan energi. Ozon memiliki sifat oksidatif yang kuat dan reaktif. Peneliti Prajwawski



menemukan bahwa penambahan ozon pada udara masuk dapat mempengaruhi proses pembakaran dan emisi yang dihasilkan (Prajawawski K., 2019). Ozon akan membantu terjadinya pembakaran karena dekomposisi termalnya menyebabkan produksi spesies radikal, seperti O, H, dan OH. Spesies ini menyebabkan proses pembakaran dimulai lebih cepat dengan meningkatkan laju reaksi propagasi rantai bahan bakar hidrokarbon, yang menyebabkan penundaan pengapian yang berkurang dibandingkan dengan tidak adanya ozon (Tachibana, T.1991).

Pengaruh penambahan ozon dalam ruang pembakaran juga dapat mengimbangi tekanan silinder yang berlebihan karena konsentrasi bahan bakar yang tinggi, P.M Pinazzi 2019 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).

Penelitian yang dilakukan oleh Agung Zulfathir tentang Pengaruh Ozonisasi Bahan Bakar Bensin Terhadap Kinerja Mesin Bensin menunjukkan bahwa pelarutan ozon pada bahan bakar dapat meningkatkan daya efektif, pada putaran 1800 rpm yaitu 1,77 kW. Rasio udara bahan bakar cenderung meningkat setelah peralutan ozon tertinggi pada putaran 1800 rpm yaitu 12,45. Peningkatan efisiensi volumetrik, maksimum terjadi pada pelarut ozon 2 jam, dengan rata-rata kenaikan sebesar 5,77%. Efisiensi thermis naik pada putaran 1600 rpm dengan persentase kenaikan sebesar 0,33% (Agung Zulfathir,2022). Penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa penambahan ozon pada bahan bakar dapat mempengaruhi kinerja mesin yang terjadi di ruang pembakaran.

Berdasarkan penjelasan di atas, integrasi ozonisasi bersama bahan bakar alternatif dan potensi bahan tambahan pada Pertamina dalam mesin bensin merupakan upaya untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi dan mengurangi dampak lingkungan. Karena latar belakang tersebut maka disini penulis tertarik

◁ melakukan penelitian dengan judul :

**“OZONISASI KOMBINASI PERTAMAX DAN BIOETANOL  
SEBAGAI BAHAN BAKAR PADA MESIN BENSIN”**



## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, terdapat beberapa masalah yang dapat dirumuskan yaitu :

1. Bagaimana pengaruh hasil ozonisasi terhadap karakteristik kombinasi pertamax dan bioetanol?
2. Bagaimana proses pembakaran mesin bensin terhadap ozonisasi kombinasi pertamax dan bioetanol?
3. Bagaimana kinerja mesin bensin terhadap ozonisasi kombinasi pertamax dan bioetanol?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah untuk :

1. Menganalisis karakteristik kombinasi pertamax dan bioetanol hasil ozonisasi.
2. Menganalisis proses pembakaran mesin bensin terhadap pelarutan ozon dalam bahan bakar pada kombinasi pertamax dan bioetanol.
3. Menganalisis pengaruh kinerja mesin bensin terhadap pelarutan ozon dalam bahan bakar pada kombinasi pertamax dan bioetanol.

## 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Mesin yang digunakan adalah mesin bensin TV1
2. Menggunakan mesin bensin satu silinder
3. Rasio kompresi yang digunakan adalah rasio kompresi 10.
4. Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini adalah pertamax murni dan kombinasi dengan bioetanol yang mempunyai kadar alkohol 99%, yaitu sebagai berikut: Pertamax murni atau tanpa kombinasi (BE<sub>0</sub>) dan kombinasi pertamax 85% dan bioetanol 15% (BE<sub>15</sub>).
5. Variasi jumlah ozon yang digunakan 30 menit, 60 menit, dan 120 menit.
6. Beban yang digunakan 6 kg, 9 kg, dan 12 kg.



### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini diharapkan sebagai wadah pengaplikasian pengetahuan yang dimiliki, khususnya dalam bidang motor bakar.
2. Penelitian ini diharapkan memberikan kompeten pada pengetahuan komposisi bahan bakar dari kombinasi pertamax dan bioetanol untuk mendapatkan performa mesin terbaik.
3. Penelitian ini diharapkan menjadi bahan informasi untuk penelitian selanjutnya yang kemudian bisa dikembangkan untuk penelitian lebih lanjut.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

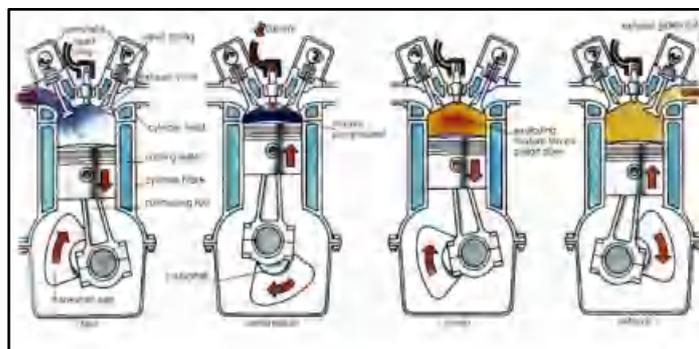
### 2.1 Motor Bensin

#### 2.1.1 Pengertian Motor Bensin

Mesin Motor bakar merupakan suatu mesin pembakaran dalam yang menggunakan bahan bakar dan proses pembakaran untuk mendorong piston di dalam silinder. Gerakan piston tersebut memutar poros engkol yang kemudian memutar roda mobil melalui rantai atau poros penggerak. Berbagai jenis bahan bakar yang biasa digunakan untuk mesin pembakaran mobil adalah Bensin, Bensin, dan minyak tanah. Pada tahun 1867, Nikolaus August Otto, seorang insinyur Jerman, mengembangkan siklus "Otto" empat langkah, yang banyak digunakan dalam transportasi bahkan hingga saat ini. Otto mengembangkan mesin pembakaran internal empat langkah ketika ia berusia 34 tahun (John B, Heywod, 1988). Motor bakar adalah salah satu jenis mesin penggerak yang cukup umum digunakan. Dengan memanfaatkan energi panas dari proses pembakaran yang diubah menjadi energi gerak dengan menggunakan bahan bakar bensin, solar atau dapat juga menggunakan gas untuk menghasilkan tenaga. (Raharjo et al., 2008)

#### 2.1.2. Motor Bensin 4 Langkah

Motor empat langkah merupakan motor yang membutuhkan dua kali putaran poros engkol untuk menyelesaikan satu kali siklus didalam silinder. Dengan kata lain, setiap silinder membutuhkan empat langkah torak pada dua putaran poros engkol untuk melengkapinya siklusnya. gerakan pistonnya (langkah kerjanya) yaitu:



Gambar 1 Cara kerja Motor Bensin Empat langkah  
(Sumber: I Gede Wiratmaja 2010)



- 1) Langkah pertama atau hisap (suction strokes) kondisi saat itu piston berada di TMA, menuju ke TMB, maka campuran bahan bakar dan udara diinjeksikan kedalam silinder, katup hisap tertutup, katup buang terbuka.
- 2) Langkah ke dua atau langkah kompresi (compression strokes), piston yang berada di TMB bergerak menuju ke TMA untuk mengkompresikan campuran gas. Campuran bahan bakar dan udara yang terkompresi sebesar seperdelapan isi campuran tersebut, kondisi katup hisap tertutup dan katup buang tertutup,
- 3) Langkah ke tiga atau langkah usaha (power strokes), piston bergerak dari TMA menuju ke TMB. Sebelum piston mencapai TMA pemantik membakar campuran bahan bakar dan udara. Kondisi katup hisap tertutup, katup buang tertutup dan tekanan mencapai 30-40 bar sehingga piston terdorong ke bawah,
- 4) Langkah ke empat langkah buang (exhaust strokes), piston bergerak dari TMB menuju ke TMA. Kondisi katup buang terbuka untuk membuang gas sisa hasil pembakaran, katup hisap tertutup. Langkah tersebut di atas terus berulang. Pada keempat langkah tersebut, hanya saat langkah pembakaran saja mesin menghasilkan tenaga.

### 2.1.3 Siklus Otto

Siklus Otto merupakan siklus yang bekerja pada mesin bensin ideal. Mesin ini disebut juga mesin dengan pengapian cara percikan (*spark-ignition engines*). Bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar dan diberi percikan api (*spark plug*) sehingga terjadi pembakaran di ruang bakar. Pada Gambar 2.2 menunjukkan gerakan searah dari piston silinder di dalam ruang bakar dengan 4 langkah (2 kali siklus mekanikal) dan 2 kali putaran dari crankshaft. Siklus ini merupakan siklus Otto ideal yang terjadi pada mesin pembakaran dalam 4-*stroke* (4-tak). Adapun proses yang terjadi setiap langkahnya yaitu: (Sari T. P., 2022)

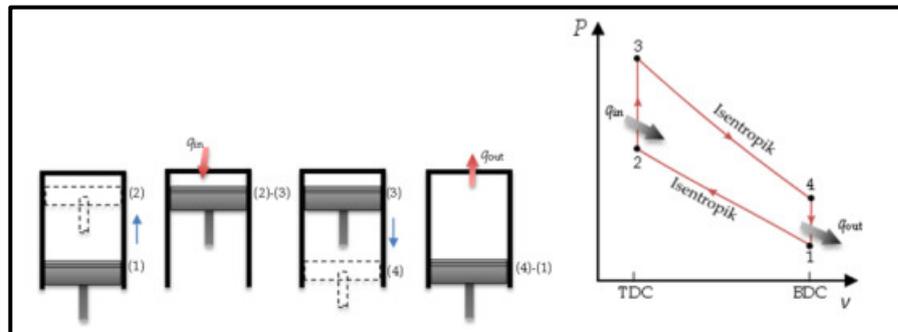
Langkah (1) ke (2) adalah proses kompresi secara isentropik dengan gerakan piston silinder dari TMB ke TMA,



Langkah (2) ke (3) terjadi penambahan kalor dengan volume konstan dan piston silinder berada pada titik TMA,

Langkah (3) ke (4) merupakan proses ekspansi piston silinder ke titik TMB secara isentropik,

Langkah (4) ke (1) adalah proses pengeluaran kalor dengan volume konstan yang terjadi pada titik TMB,



Gambar 2 Siklus Otto Ideal pada Mesin Bensin 4 Tak (4-Stroke) dan Diagram P- V Siklus Otto Ideal  
(Sumber: Sari T. P. 2022)

## 2.2 Bahan Bakar

### 1) Pengertian Bahan Bakar

Suprpto (2004 : 5) menyatakan bahwa bahan bakar merupakan bahan – bahan yang digunakan dalam proses pembakaran. Tanpa adanya bahan bakar tersebut pembakaran tidak akan mungkin dapat berlangsung. Hal yang sama ditunjukkan pula oleh Cengel dan Boles (2006 : 52) yang menyatakan bahwa setiap bahan yang dapat dibakar untuk melepaskan energi panas disebut bahan bakar. Konstituen utama bahan bakar terdiri dari hidrogen dan karbon, dan dilambangkan dengan rumus umum  $C_nH_m$ .

Maleev (1945: 42) menyatakan bahwa bahan bakar yang digunakan pada mesin pembakaran dalam di bedakan menjadi tiga yaitu gas, cair, dan padat. Komposisi utama dari bahan bakar terdiri dari hydrogen dan karbon. Biasanya sering disebut sebagai hidrokarbon. Rumus kimia dari bahan bakar adalah  $C_mH_n$ . Namun demikian hingga saat ini bahan bakar yang paling sering dipakai adalah bahan bakar mineral cair. Hal ini dilakukan karena banyaknya keuntungan – keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan bahan bakar an jenis mineral salah satunya adalah sifat zat cair yang menyesuaikan at atau wadahnya.



Bahan bakar bensin merupakan campuran senyawa hidrokarbon cair dengan nilai volatile yang tinggi. Bensin terdiri dari parafin, naptalene aromatik, dan olifin, bersama-sama dengan beberapa senyawa organik lain dan kontaminan. Struktur molekulnya terdiri dari C4-C9 (parafin, alifin, naftalen, dan aromatik). Beberapa karakteristik penting bahan bakar hidrokarbon diantaranya volatilitas, nilai oktan serta kandungan energi. Karakteristik nilai oktan merupakan ukuran seberapa tahan bensin terhadap ledakan prematur (prematurn detonation) atau ketukan (knocking).

Adapun sifat fisik bahan bakar perlu diketahui adalah sebagai berikut:

(a) Nilai Kalor

Nilai kalor atau heating value adalah jumlah energi yang dilepaskan pada proses pembakaran persatuan volume atau persatuan massanya. Nilai kalor bahan bakar menentukan jumlah konsumsi bahan bakar tiap satuan waktu. Makin tinggi nilai kalor bahan bakar menunjukkan bahwa pemakaian bahan bakar menjai semaki sedikit. Nilai kalor bahan bakar ditentukan berdasarkan hail pengukuran dengan calorimeter yang dilakuka dengan membakar bahan bakar dan udara pada temperature normal, sementara itu dilakukan pengukuran jumlah kalor yang terjadi sampai temperature dari gas hasil pembakaran turun kembali ke temperature normal (Hassan, Hussein, dan Osman, 2010).

Nilai kalor merupakan besarnya energi kalor yang diserap oleh air tiap satuan massa bahan bakar.

$$Q = m C \Delta T \quad (1)$$

dimana:

$Q$  = kalor yang diserap oleh air ( $kJ$ )

$m$  = massa air ( $Kg$ )

$C$  = kalor jenis air ( $kJ/KgK$ )

$\Delta T$  = kenaikan temperature air ( $K$ )



Massa air diketahui dari volume air dalam vessel calorimeter. Air sebagai media penyerap kalor dan parameter utama pengukuran nilai kalor. Untuk 3700 ml air diketahui massanya sebesar 3,7 kg pada massa jenis 1 kg/ltr. Nilai kalor jenis dari air merupakan ketetapan dengan nilai 4,18 kJ/kgK. Nilai  $\Delta T$  diperoleh dari pengukuran kenaikan temperatur air menggunakan termometer backman.  $\Delta T$  merupakan selisih dari nilai temperatur maksimum yang dicapai dengan nilai pembacaan termometer di menit terakhir sebelum proses pembakaran. Koreksi radiasi dihitung dari rata-rata perubahan temperatur air sebelum bahan bakar terbakar dan setelah mencapai temperatur maksimum.

$$\text{koreksi radiasi} = n \cdot v^1 + \left( \frac{-v + v^1}{2} \right) \quad (2)$$

dimana:

$n$  = jarak waktu dari pembakaran sampai temperature maksimum

$v^1$  = rata-rata penurunan temperatur pada akhir percobaan

$v$  = rata-rata kenaikan temperatur pada awal percobaan

Hasil dari koreksi radiasi dijumlahkan dengan nilai  $\Delta T$  untuk menghasilkan  $\Delta T$  corrected

$$\Delta T \text{ corrected} = \Delta T + \text{koreksi radiasi} \quad (3)$$

Sehingga kalor yang diserap oleh air dapat dihitung dengan mengalikan massa air dengan kalor jenis air dan kenaikan temperatur corrected. Selanjutnya untuk menghitung nilai kalor tiap satu gram bahan bakar, maka nilai  $Q_{air}$  dibagi dengan massa bahan bakar yang digunakan.

$$\text{nilai kalor bahan bakar} = \frac{\text{kalor yang diserap}}{\text{massa sampel bahan bakar}} \quad (4)$$



Viskositas

Fluida yang mengalir melalui sebuah pipa dapat dipandang terdiri atas pisan-lapisan tipis zatalir yang bergerak dengan laju berbeda-beda

sebagai akibat adanya gaya kohesi maupun adhesi. Gesekan internal di dalam fluida dinyatakan dengan besaran viskositas atau kekentalan dalam satuan poise. Viskositas juga bisa diartikan kemampuan suatu zat untuk mengalir pada suatu media tertentu. Salah satu cara untuk mengukur besarnya nilai viskositas zat cair adalah dengan menggunakan viskosimeter Brookfield.

(c) Massa Jenis (Densitas)

Massa jenis atau densitas adalah pengukuran massa tiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa tiap volumenya. Massa jenis rata-rata suatu benda adalah total massa dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki massa jenis yang lebih tinggi akan memiliki volume yang lebih rendah dari pada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah. Satuan SI massa jenis adalah  $\text{kg/m}^3$ . Massa jenis berfungsi untuk menentukan suatu zat karena setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda. Suatu zat berapapun massanya dan berapapun volumenya akan memiliki massa jenis yang sama (Santoso, 2010).

$$\rho = m V \quad (5)$$

$$\rho = \frac{m_{\text{sampel}} - m_{\text{aquades}}}{V_{\text{piknometer}}} + \rho_{\text{aquades}}$$

dimana:

$\rho$  = Massa jenis (gr/ml)

$m_{\text{sampel}}$  = Massa minyak (gr)

$m_{\text{aqua}}$  = Massa minyak (gr)

$V_{\text{pikno}}$  = Volume piknometer (ml)

$\rho_{\text{aqua}}$  = Massa jenis aquades pada temperature  $40^{\circ}\text{C}$  (gr/ml)



## 2) Bahan Bakar Bioetanol

Bioetanol berasal dari kata bio dan etanol. Bio berarti hidup sedangkan etanol berarti ethyl alkohol. Ethyl alkohol merupakan turunan dari alkohol. Etanol yang dibuat dari biomassa yang mengandung komponen gula, pati serta selulosa disebut sebagai bioetanol. Sehingga bioetanol merupakan produk yang berasal dari tanaman hasil fermentasi dengan bantuan mikroorganisme yang menghasilkan produk yang bening tak berwarna, dapat terurai secara biologis (biodegradable), kandungan toksisitas rendah serta tidak menimbulkan polusi udara (Solikhin dkk., 2012 ; Dewi, 2011).

Tabel 1 Spesifikasi Biofuel Jenis Bioetanol Berdasarkan

No	Sifat	Unit, min/max	Spesifikasi
1	Kadar etanol	%-v, min	99,5 (sebelum denaturasi) 94,0 (setelah denaturasi)
2	Kadar methanol	mg/L, max	300
3	Kadar air	%-v, max	1
4	Kadar denaturan	%-v, min %-v, max	2 5
5	Kadar tembaga (Cu)	mg/Kg, max	0,1
6	Keasaman sebagai CH <sub>3</sub> COOH	mg/L, max	30
7	Tampakan		Jernih dan terang, tidak ada endapan dan kotoran
8	Kadar ion klorida (Cl <sup>-</sup> )	mg/L, max	40
9	Kandungan Belerang (S)	mg/L, max	50
10	Kadar getah (gum), dicuci	mg/100 ml, max	5,0
11	Phe		6,5 – 9,0

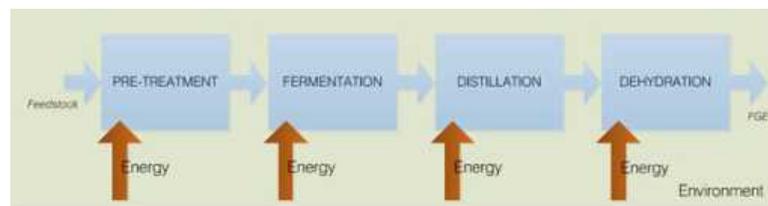
Sumber : Keputusan Dirjen Migas No. 23204.K/10/DJM.S/2008

Bioetanol dapat dibuat dari bahan baku seperti gas hidrokarbon, bahan-bahan yang mengandung sakarosa (tebu, tetes, gula biet), bahan-bahan yang mengandung pati (ubi kayu, jagung, beras), maupun bahan-bahan yang mengandung selulosa (kayu, limbah pertanian, dan lain sebagainya). Bioetanol ini dapat dibuat dari berbagai bahan baku yang berdasar pati (singkong, alar, tepung sagu, biji jagung, biji sorgum, gandum, kentang, ganyong, umbi dahlia dan lainnya), berdasar gula (tetes tebu, nira tebu, nira, nira batang sorgum manis, nira aren, nira nipah, gewang, nira lontar



dan lainnya) serta yang berbahan dasar selulosa (limbah logging, limbah pertanian seperti jerami padi, ampas tebu, tongkol jagung, limbah tapioka, batang pisang, serbuk gergaji dan lain-lain). Dengan demikian bahan dasar untuk membuat bioetanol berasal dari berbagai organ tanaman baik berupa buah, biji, batang, dan tongkol. Bahkan limbah pun dapat digunakan sebagai bahan dasar bioetanol (Gusmarwani dkk., 2010 ; Prihandana, 2008).

Dalam proses produksi bioetanol dari awal hingga akhir terdapat beberapa tahapan umum yang selalu dilalui yaitu proses produksi bahan baku dan proses produksi bioetanol dari bahan baku. Dalam seluruh rangkaian proses tersebut terdapat siklus energi dan karbon dioksida (juga biaya) yang terlibat.



Gambar 3 Proses produksi bioetanol  
(Sumber : Panji Tri Atmojo, 2010)

### 3) Kombinasi Bioetanol dengan Pertamax

Pertamax merupakan salah satu produk unggulan Pertamina yang diproduksi untuk kendaraan dengan perbandingan kompresi 9,1:1 sampai 10:1, bila perbandingan kompresi pada kendaraan lebih dari 10:1 maka disarankan menggunakan pertamax plus. Bioetanol merupakan alkohol dari fermentasi tumbuhan yang digunakan sebagai bahan bakar yang memiliki banyak manfaat. Pencampuran bioetanol dengan pertamax akan menghasilkan bahan bakar bernilai oktan tinggi. Keuntungan dari pencampuran ini adalah bahwa bioetanol cenderung akan menaikkan bilangan oktan dan mengurangi emisi CO<sub>2</sub>.

Bioetanol memerlukan campuran yang lebih kaya daripada bensin, tetapi karena bilangan oktannya yang lebih tinggi maka pembakaran etanol efisien. Untuk mengetahui secara detail tingkat keekonomisan bioetanol dibandingkan dengan bensin tentunya diperlukan kajian dan penelitian lebih mendalam. Dari penelitian B2TP BPPT konsumsi bahan bakar



dengan menggunakan gasohol 20% angkanya mencapai 23.25 gr/jam, sedangkan pada premium mencapai 23 gr/jam dan pertamax 20.57 gr/jam (Handayani, 2007).

Kombinasi bioetanol dan pertamax menghasilkan bahan bakar yang setara dengan pertamax plus. Nilai oktan yang tinggi harus diimbangi dengan tekanan kompresi yang tinggi pula. Tekanan kompresi rendah diberi bahan bakar oktan tinggi maka akan percuma, tenaga tidak bertambah dan efisiensi tidak didapat. Bahan bakar ini baiknya digunakan pada kendaraan yang mempunyai perbandingan kompresi 10:1 keatas agar efisiensi bahan bakar bisa didapat, sehingga performa mesin meningkat.

#### 4) Bahan Bakar Pertamax

Pertamax merupakan bahan bakar bensin dengan angka oktan minimal 92 berstandar international. Pertamax sangat direkomendasikan untuk digunakan pada kendaraan yang memiliki kompresi rasio 10:1 hingga 11:1 atau kendaraan berbahan bakar bensin yang menggunakan teknologi setara dengan Electronic Fuel Injection (EFI). Pertamax juga dilengkapi dengan pelindung anti karat pada dinding tangki kendaraan, saluran bahan bakar dan ruang bakar mesin (corrothion inhibitor), serta mampu menjaga kemurnian bahan bakar dari campuran air sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna (demulsifier). (Pertamina 2006)



Tabel 2 Spesifikasi Pertamax

No.	KARAKTERISTIK	SATUAN	BATASAN MIN	BATASAN MAX	METODE UJI
1	Bilangan Oktana Riset (RON)	RON	92.0	-	ASTM D2699
2	Stabilitas Oksidasi	menit	480	-	ASTM D525
3	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0.05 <sup>1)</sup>	ASTM D2622
4	Kandungan Timbal (Pb)	g/l	-	0.013 <sup>2)</sup>	ASTM D3237
5	Kandungan Fosfor	mg/l	-	-	ASTM D3231
6	Kandungan Logam (Mn, Fe, dll)	mg/l	-	-	ASTM D3831
7	Kandungan Silikon	mg/kg	-	-	ICP-AES
8	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2.7 <sup>3)</sup>	ASTM D4815
9	Kandungan Olefin	% v/v	-	*)	ASTM D1319
10	Kandungan Aromatik	% v/v	-	50.0	ASTM D1319
11	Kandungan Benzena	% v/v	-	5.0	ASTM D4420
12	Distilasi :				ASTM D86
	10% Vol Penguapan	°C	-	70	
	50% Vol Penguapan	°C	77	110	
	90% Vol Penguapan	°C	130	180	
	Titik Didih Akhir	°C	-	215	
	Residu	% vol	-	2.0	
13	Sedimen	mg/l	-	1	ASTM D5452
14	Unwashed Gum	mg/100 ml	-	70	ASTM D381
15	Washed Gum	mg/100 ml	-	5	ASTM D381
16	Tekanan Uap	kPa	45	60	ASTM D5191 atau ASTM D323
17	Berat Jenis (pada suhu 15 °C)	kg/m <sup>3</sup>	715	770	ASTM D4052 atau ASTM D1298
18	Korosi Bilah Tembaga	merit	Kelas 1		ASTM D130
19	Uji Doctor		Negatif		IP 30
20	Sulfur Mercaptan	% massa	-	0.002	ASTM D3227
21	Penampilan Visual		Jernih dan Terang		
22	Warna		Biru		
23	Kandungan Pewarna	gr/100 l	-	0.13	

Sumber : Pertamina 2006

## 5) Angka Oktan

Angka oktan pada motor otto adalah salah satu karakteristik bahan bakar yang menunjukkan kemampuan bahan bakar untuk terbakar atau tidak terbakar secara sendiri dikarenakan bahan bakar tersebut menerima perlakuan kompresi. Ada dua macam angka oktan, yaitu angka oktan riset atau Research Octane Number (RON) yang memberikan gambaran mengenai unjuk kerja dalam kondisi pengendaraan biasa dan MON (Machine Octane Number) yang memberikan gambaran mengenai unjuk kerja dalam kondisi pengendaraan yang lebih berat. .

Peringkat oktan didasarkan pada ukuran kemampuan bahan bakar menahan detonasi. Semakin tinggi peringkat oktan, semakin kecil kemungkinan untuk menghasilkan ledakan dini (pre-ignition). Kecenderungan pembalaan dini menimbulkan gejala ketukan (knocking). Motor dengan rasio kompresi rendah dapat menggunakan bahan bakar dengan angka oktan lebih rendah, tetapi motor kompresi tinggi harus menggunakan bahan bakar oktan tinggi untuk menghindari pengapian sendiri dan ketukan.



### 2.3 Proses Pembakaran



Gambar 4 Segitiga Pembakaran  
(Sumber : Saharjo dan Syaufina, 2015)

Proses pembakaran adalah reaksi kimia yang terjadi antara suatu bahan bakar dan oksigen yang mengakibatkan produksi panas yang tampak dalam bentuk cahaya berpendar ataupun api. Agar sebuah proses pembakaran bisa terjadi, proses tersebut harus memenuhi syarat segitiga pembakaran, apabila salah satu dari ketiga syarat ini tidak terpenuhi maka tidak akan terjadi proses pembakaran. Syarat terjadinya pembakaran adalah sebagai berikut (Rizqi Fitri. N. 2019):

- 1) Bahan Bakar, adalah suatu senyawa yang mengandung unsur karbon, misalnya; Bensin, hydrogen, dan batu bara.
- 2) Sumber Panas (Heat Source) adalah sumber panas untuk menginisiasi terjadinya pembakaran.
- 3) Oxidizer, adalah zat aditif yang proses pengoksidasian bahan bakar misalnya: Oksigen, udara.

Pembakaran terbagi atas dua yaitu, pembakaran sempurna dan pembakaran tidak sempurna (Rizqi Fitri.2021).

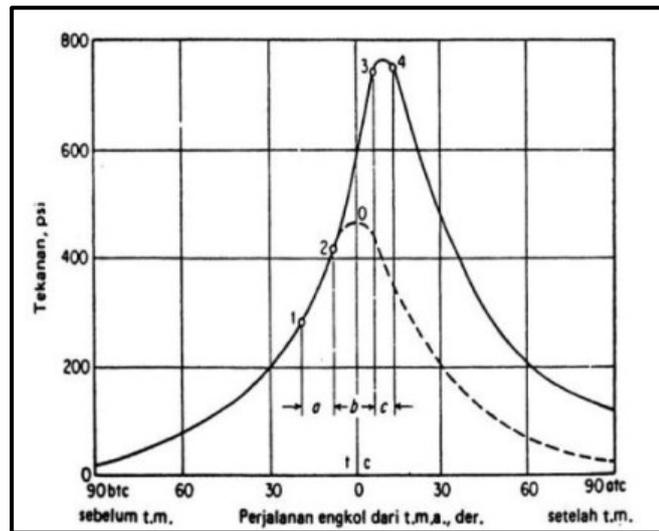
#### 1) Pembakaran Sempurna

Pembakaran sempurna bisa terjadi jika reaktan terbakar bersama oksigen kemudian menghasilkan beberapa produk. Pada saat hidrokarbon terbakar dengan oksigen, maka karbondioksida dan air akan dihasilkan dari reaksi utama yang



## 2) Pembakaran Tidak Sempurna

Pembakaran tidak sempurna dapat terjadi saat pasokan oksigen tidak cukup untuk membakar bahan bakar yang ada menjadi karbondioksida dan air. Proses pirolisis akan muncul sebelum terjadi pembakaran pada bahan bakar berjenis bensin dan batu bara.



Gambar 5 Tingkat pembakaran dalam sebuah mesin  
(Sumber : Rosid. 2016)

Proses atau tingkatan pembakaran dalam sebuah mesin terbagi menjadi empat tingkat atau periode yang terpisah, adapun periode adalah sebagai berikut:

- a. Periode pertama : Dimulai dari titik satu sampai titik 2 yaitu bahan bakar akan mulai disemprotkan. Periode ini disebut dengan periode persiapan pembakaran atau periode keterlambatan (delay period). Periode keterlambatan penyalaan ini juga tergantung dari beberapa faktor antara lain pada mutu penyalaan bahan bakar dan beberapa kondisi misalnya, kecepatan mesin dan perbandingan kompresi. (Achmad Kusairi Samlawi. 2018)
- b. Periode kedua: Yaitu antara 2 dan 3. Pada titik 2 bahan bakar mulai terbakar dengan cepat sehingga tekanan naik dengan cepat pula sementara piston juga mesin bergerak menuju TMA. Selain itu bahan bakar yang terbakar juga semakin banyak, sehingga walaupun piston mulai bergerak menuju TMB tapi tekanan masih naik sampai titik 3. Periode ini disebut dengan periode cepat. (Achmad Kusairi Samlawi. 2018)



- c. Periode ketiga : Periode ini dinamai pembakaran terkendali, yaitu antara 3 dan 4 pada periode ini meskipun bahan bakar lebih cepat terbakar, namun jumlah bahan bakar sudah tidak banyak lagi dan proses pembakaran langsung pada volume ruang bakar yang bertambah besar. (Achmad Kusairi Samlawi. 2018)
- d. Periode Keempat : Yaitu periode dimana pembakan masih berlangsung, karena adanya sisa baha bakar yang belum terbakar dari periode sebelumnya walaupun sudah tidak ada pemasukan bahan bakar. (Achmad Kusairi Samlawi. 2018)

## 2.4 Ozon Dalam Meningkatkan Pembakaran

### 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 6 Rumus kerangka ozon (a) model bola dan (b) model batang dari molekul Ozon

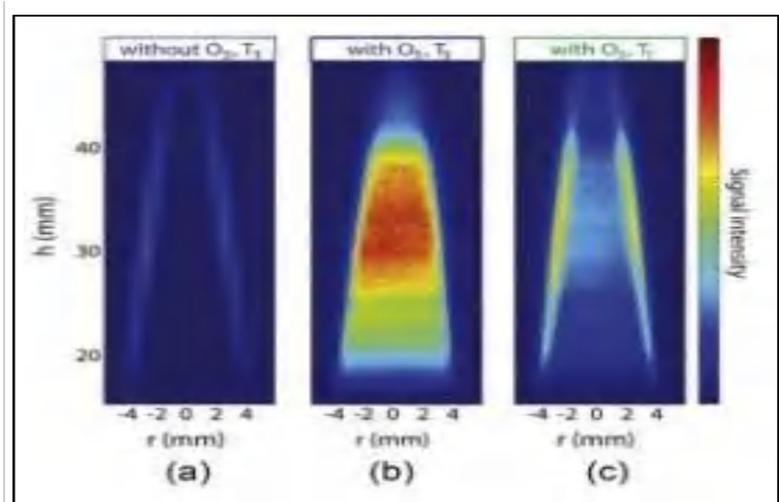
Ozon adalah oksidan kuat dari pada dioksigen dan memiliki banyak aplikasi industri dan konsumen yang berkaitan dengan oksidasi, seperti pengolahan air, pembuatan obat-obatan, ozonisasi asam oleat dan lain-lain. Dalam beberapa tahun terakhir, karena fitur pengoksidasi yang kuat, ozon telah diteliti untuk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

### 2) Pengaruh Ozon Pada Karakteristik Pembakaran

Menambahkan ozon terbukti mampu menjadi terobosan baru dalam mekanisme oksidasi. Perubahan unsur dalam kimia pembakaran ini menyebabkan terjadinya tukan OH ekstra dan formaldehida yang dapat diamati secara mental. Efek ozon diselidiki pada api udara metana yang bercampur. ensi yang diinduksi laser planar dari  $CH_2O$  dilakukan untuk memahami



mekanisme dari dampak ozon pada oksidasi metana. peningkatan yang cukup besar dalam produksi formaldehida diamati ketika ozon ditambahkan ke campuran CH<sub>4</sub>- udara. Efek ini diamati untuk suhu dan rasio kesetaraan yang berbeda.



Gambar 7 Peningkatan produksi CH<sub>2</sub>O 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<sub>3</sub> bereaksi dengan molekul CH<sub>4</sub>, menghasilkan radikal OH yang bereaksi cepat dengan metana. Metana kemudian diubah menjadi formaldehida melalui urutan reaksi CH<sub>4</sub> → CH<sub>3</sub> – CH<sub>3</sub>O → CH<sub>2</sub>O. Melalui reaksi ini beberapa radikal OH diproduksi, sehingga akan meningkatkan reaktivitas sistem secara keseluruhan (Pinazzi, 2017).

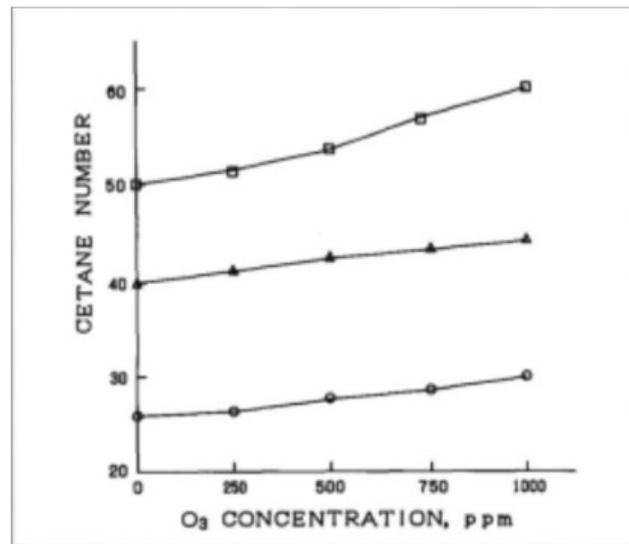
### 3) Dampak ozon pada pembakaran mesin IC

Aplikasi ozon pertama untuk mesin IC diusulkan oleh Tachibana pada tahun 1991. Dalam studi mereka, penulis menyelidiki efek ozon pada pembakaran di mesin diesel CI. Eksperimen yang dilakukan pada mesin CFR, penelitian bahan bakar diesel menunjukkan bahwa efek penambahan ozon mampu meningkatkan *catane number* (CN) bahan bakar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa



ng pada kondisi awal yang dipilih, 500 ppm ozon berhubungan dengan *catane number* (CN) dari 2 menjadi 4, yang secara jelas menunjukkan peningkatan ozon pada reaktivitas bahan bakar.

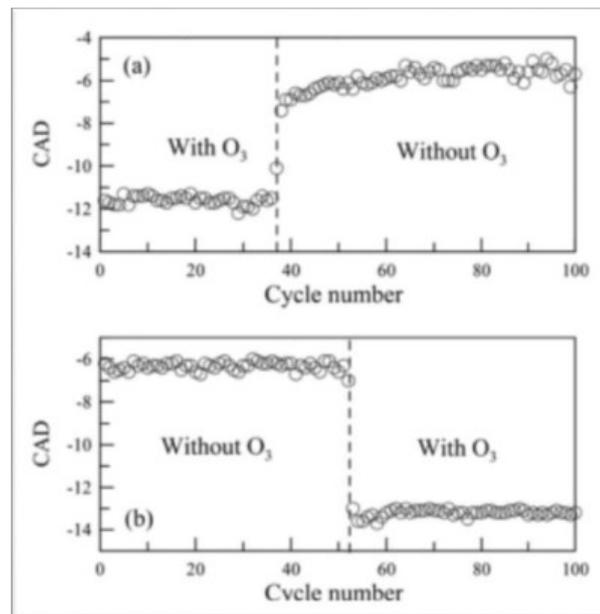
Sebagian besar studi mengenai aplikasi ozon untuk mesin IC berkaitan dengan mode pembakaran canggih yang inovatif. Secara khusus, aplikasi ozon diselidiki sebagai solusi yang mungkin untuk mengatasi masalah yang menghalangi proses pembakaran yang berpotensi bersih dan efisien ini untuk digunakan dalam mesin IC pada aplikasi komersial skala besar.



Gambar 8 Korelasi antara ozon dan catane number (CN) bahan bakar untuk kondisi awal yang berbeda

Potensi generator ozon untuk kontrol siklus-ke-siklus pembakaran diselidiki, dan hasilnya menunjukkan bahwa dengan mengalihkan *power supply* dengan generator ozon terjadi perubahan konsekuensi dari 0 menjadi 49 ppm konsentrasi ozon dalam aliran udara masuk menyebabkan variasi fase pembakaran dalam satu siklus mesin, seperti yang dapat diamati pada Gambar 8.

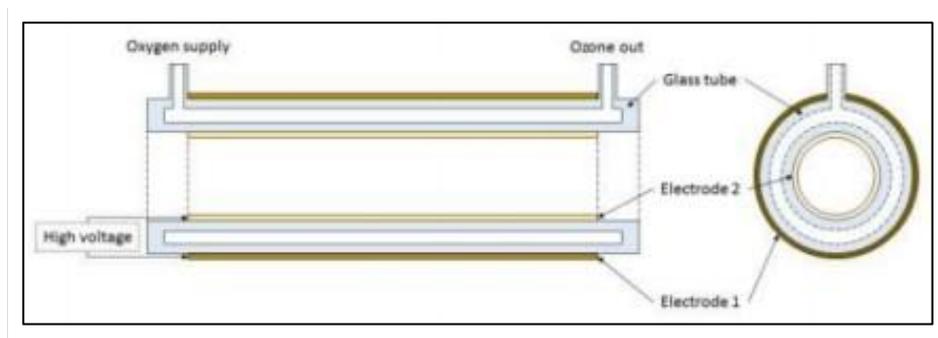




Gambar 9 Variasi penahanan nyala api utama yang diinduksi dengan menghidupkan dan mematikan generator ozon. (a) Kasus langsung off-on. (b) Balikkan kasus off – on

## 2.5 Generator Ozon

Ozon dapat dihasilkan dengan menggunakan generator ozon. Ozon diproduksi oleh ozonizer yang bekerja berdasarkan prinsip pelepasan penghalang dielektrik, yang menghasilkan ozon di antara dua elektroda yang dipisahkan oleh bahan dielektrik dan didukung oleh sinyal tegangan tinggi.



Gambar 10 Representasi skematis dari generator ozon yang bekerja berdasarkan prinsip Dielectric Barrier Discharge (DBD)

Seperti yang ditunjukkan pada gambar, dua elektroda mengelilingi kaca: satu di dalam silinder dan yang lainnya di luar. Ozon dihasilkan dari molekul oksigen yang terurai di dalam silinder di bawah pengaruh pelepasan tegangan tinggi dan kemudian bergabung kembali, membentuk molekul O<sub>3</sub>. Oleh karena itu, jumlah



ozon dapat dikontrol dengan memvariasikan frekuensi tegangan ozonizer. Cara lain untuk mengontrol ozon yang dihasilkan adalah dengan mengatur aliran yang melintasi volume silinder. Generator ozon yang dijelaskan sebelumnya menghasilkan ozon berdasarkan kapasitas yang diberikan sebagai persentase tetapi perangkat tidak menunjukkan jumlah ozon yang dihasilkan. Oleh karena itu, penganalisis ozon digunakan untuk mengukur konsentrasi yang sesuai asupan mesin. Alat yang digunakan untuk memantau konsentrasi ozon adalah Ozone Gas Detector. Penentuan konsentrasi ozon didasarkan pada penyerapan radiasi UV oleh ozon (Pinazzi, 2017).

## 2.6 Dasar Perhitungan

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

### 1) Daya Efektif

Daya efektif adalah daya poros yang digunakan untuk mengangkat beban pada mesin yang diperoleh dari hasil pengukuran torsi dikalikan dengan kecepatan sudut putaran mesin (RPM).

$$BP = \frac{T \cdot N}{9549,305} \text{ (kW)} \quad (6)$$

dimana,

BP = Daya Efektif, (kW)

T = Torsi (N.m)

N = Putaran Poros, (rpm)

9549,305 = konstanta dinamometer

### 2) Komsumsi Bahan Bakar (FC)

Konsumsi bahan bakar adalah nilai yang menunjukkan nilai pemakaian bahan bakar yang dihitung dengan cara mengukur waktu yang diperlukan oleh mesin untuk menghabiskan sejumlah bahan bakar yang ada pada gelas ukur, yang mana dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:



$$= \frac{V_{GU} \cdot 10^{-6} \cdot \rho_f \cdot 3600}{t} \text{ (kg/m)} \quad (7)$$

dimana,

FC = Konsumsi Bahan Bakar (kg/h)

VGU = Volume gelas ukur

pf = Massa jenis bahan bakar, (kg/m<sup>3</sup>)

10<sup>-3</sup> = Faktor Konversi gram ke kg

3600 = Faktor Konversi detik ke jam

t = Waktu konsumsi bahan bakar (s)

### 3) Komsumsi Bahan Bakar Spesific (SFC)

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah nilai yang menyatakan banyaknya bahan yang diperlukan mesin dalam setiap satuan waktu untuk menghabiskan 1kW konsumsi bahan bakar spesifik. Parameter ini dapat digunakan sebagai penjelasan untuk mengukur ekonomisnya suatu mesin. Dikatakan ekonomis jika nilai SFC semakin turun akan tetapi konsumsi bahan bakar spesifik yang diubah dari energi kalor suplai nilainya naik untuk menghitung nilai Komsumsi bahan bakar dapat menggunakan persamaan berikut:

$$SFC = \frac{FC}{BP} \text{ (kg/kWh)} \quad (8)$$

dimana,

SFC = Spesifik Komsumsi Bahan Bakar (kg/kW.h)

BP = Daya Efektif, (kg/h)

FC = Komsumsi Bahan Bakar (kg/h)

### 4) Laju Aliran Udara Aktual (Ma)

Untuk mengukur jumlah pemakaian udara sebenarnya, digunakan sebuah plat orifice sisi tajam dengan diameter 20 mm yang dihubungkan dengan sebuah manometer presisi. Perbedaan tekanan akibat aliran udara yang melintasi plat orifice diukur oleh manometer, menggambarkan konsumsi udara yang sanggup di isap oleh mesin selama langkah pemasukan. Maka dari itu persamaan Ma adalah :

$$M_{act} = K_d \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_o^2 \cdot 10^{-6} \cdot 3600 \cdot 4,4295 \sqrt{h_o \cdot \rho_{ud}} \text{ (kg/h)} \quad (9)$$



dimana,

$M_a$  = Laju aliran udara actual (Kg/h)

$K_d$  = Koefisien discharge orifice = 0,6

$D_o$  = Diameter orifice = 20 mm

$10^{-6}$  = Faktor konversi dari  $\text{mm}^2$  ke  $\text{m}^2$

$h_o$  = Beda tekanan pada manometer

$\rho_{ud}$  = Massa jenis udara pada kondisi masuk, ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

3600 = Faktor konversi detik ke jam

##### 5) Laju Aliran Udara Teoritis ( $M_{th}$ )

Banyaknya bahan bakar yang dapat terbakar sangat bergantung pada jumlah udara yang terisap selama langkah pemasukan, karena itu perlu diperhatikan berapa jumlah udara yang dikonsumsi selama pemasukan. Dalam keadaan teoritis, jumlah massa udara yang dapat masuk ke dalam ruangan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$M_{th} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot s \cdot \frac{N}{n} \cdot 60 \cdot 10^{-9} \cdot \rho_{ud} \text{ (kg/h)} \quad (10)$$

dimana,

$V_s$  = volume selinder

$10^{-9}$  = faktor konversi dari  $\text{mm}^3$

$N$  = putaran poros (rpm)

$\rho$  = massa jenis udara ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$D$  = Diameter selinder (87,5 mm)

$S$  = panjang langkah silinder (110 mm)

$n$  = jumlah putaran persiklus

= 2 untuk motor 4 langkah

##### 6) Perbandingan Udara Bahan Bakar ( $AFR_{act}$ )

Perbandingan udara bahan bakar sangat penting bagi pembakaran sempurna.

Konsumsi udara bahan bakar yang dihasilkan akan sangat mempengaruhi laju dari

aran dan energi yang dihasilkan. Secara umum air fuel consumption dapat ; dengan persamaan :



$$AFR_{act} = \frac{Ma_{act}}{FC} \quad (11)$$

dimana,

$Ma$  = Komsumsi udara aktual (kg/h)

$FC$  = Komsumsi bahan bakar (kg/h)

#### 7) Efisiensi Volumetris ( $\eta_{vol}$ )

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  $\eta_{vo}$  dapat di rumuskan sebagai berikut:

$$\eta_{vol} = \frac{Ma_{act}}{M_{th}} \times 100\% \quad (12)$$

dimana,

$Ma_{act}$  = Komsumsi udara aktual (kg/h)

$Ma_{th}$  = Komsumsi udara teoritis (kg/h)

#### 8) Efisiensi Termis ( $\eta_{th}$ )

Efisiensi thermis didefenisikan sebagai perbandingan antara besarnya energi kalor yang di ubah menjadi komsumsi bahan bakar spesifik 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.  $\eta_{th}$  dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Q_{tot} = \frac{FC \times LHV_{bb}}{3600} \quad (13)$$

$$\eta_{th} = \frac{BP}{Q_{tot}} \times 100\% \quad (14)$$

dimana,

$BP$  = Daya Efektif (kW)

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

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

500 = faktor konversi jam ke detik

