

**SKRIPSI**

**PENGARUH OZONISASI BAHAN BAKAR BENSIN TERHADAP  
KINERJA MESIN BENSIN**

**OLEH:  
AGUNG ZULFATHIR  
D21115316**



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2022**

**SKRIPSI**

**PENGARUH OZONISASI BAHAN BAKAR BENSIN TERHADAP  
KINERJA MESIN BENSIN**

**OLEH :**

**AGUNG ZULFATHIR**

**D21115316**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2022**

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan Mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

**JUDUL :**

**PENGARUH OZONISASI BAHAN BAKAR BENSIN TERHADAP  
KINERJA MESIN BENSIN**

**AGUNG ZULFATHIR**

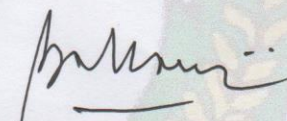
**D21115316**

Gowa, 25 Juli 2022

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

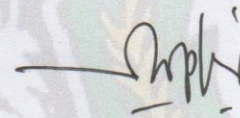
Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



**Ir. Baharuddin Mire, MT.**

**NIP. 19550914 198702 1 001**

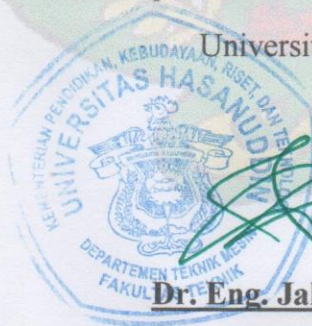


**Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT.**

**NIP. 19791112 200812 2 002**

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



**Dr. Eng. Jalaluddin ST., MT.**

**NIP. 19720825 200003 1 001**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Agung Zulfathir  
NIM : D21115316  
Program Studi : Teknik Mesin  
Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“Pengaruh Ozonisasi Bahan Bakar Bensin Terhadap Kinerja Mesin Bensin ”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan oran 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, 25 Juli 2022

Yang membuat pernyataan,



Agung Zulfathir

## ABSTRAK

Dari tahun ketahun peningkatan kendaraan di Indonesia terus meningkat di kota besar. Namun kejadian tersebut justru mengakibatkan bahaya yang tidak diketahui oleh para pengendara akan bahaya asap buang (emisi), dimana asap buang bersifat karsinogenik. Pemanfaatan teknologi ozon pada berbagai sektor telah menunjukkan kegunaan dan keunggulan dari pemanfaatan ozon. Teknologi ozon sangat ramah lingkungan dan ozon merupakan senyawa kimia hijau masa depan. Dalam penelitian ini, pelarutan ozon dilakukan menggunakan generator ozon dengan teknologi sederhana dan ramah lingkungan. Pelarutan ozon kedalam bahan bakar pertamax dilakukan dengan variasi pelarutan ozon yaitu 30 menit, 1 jam dan 2 jam. Pengukuran performa yang dihasilkan mesin dianalisa menggunakan mesin bensin TV-1 dengan rasio kompresi 6:1, 8:1 dan 10:1 beban 5 kg pada putaran 1200 rpm, 1400 rpm, 1600 rpm dan 1800 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelarutan ozon pada bahan bakar dapat meningkatkan daya efektif, dimana daya efektif terbesar di hasilkan oleh pelarutan ozon pada putaran 1800 rpm yaitu 1,77 kW. Konsumsi bahan bakar spesifik terendah pada putaran 1800 rpm yaitu 0,81 kg/kW.h. 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%. Selain itu, emisi gas buang tertinggi CO setelah peralutan ozon sebesar 0,98% dan HC sebesar 192 ppm. Semua variasi pengujian telah lulus uji emisi berdasarkan ambang batas emisi gas buang CO yang diizinkan yaitu 1,5% dan HC yang diizinkan yaitu 200 ppm.

Kata kunci : Pertamax, Ozon ( $O_3$ ), kinerja mesin, emisi gas buang.

## ABSTRACT

From year to year the increase in vehicles in Indonesia continues to increase in big cities. However, this incident actually resulted in a danger that was not known by motorists to the danger of exhaust smoke (emissions), where the exhaust smoke was carcinogenic. The use of ozone technology in various sectors has shown the usefulness and advantages of ozone utilization. Ozone technology is very environmentally friendly and ozone is the green chemical compound of the future. In this research, ozone dissolution was carried out using an ozone generator with a simple and environmentally friendly technology. The dissolution of ozone into the first fuel is carried out with variations in ozone dissolution, namely 30 minutes, 1 hour and 2 hours. Performance measurements produced by the engine were analyzed using a TV-1 gasoline engine with compression ratio of 6:1, 8:1 and 10:1 loads of 5 kg at rotation of 1200 rpm, 1400 rpm, 1600 rpm and 1800 rpm. The results showed that the dissolution of ozone in fuel can increase effective power, where the greatest effective power is produced by the dissolution of ozone at a revolution of 1800 rpm, which is 1.77 kW. The lowest specific fuel consumption at 1800 rpm is 0.81 kg/kW.h. The fuel air ratio increased after the highest ozone haul at 1800 rpm is 12.45. Increased volumetric efficiency, the maximum occurs in ozone solvents of 2 hours, with an average increase of 5.77%. Thermis efficiency increases at 1600 rpm rotation with a percentage increase of 0.33%. In addition, the highest exhaust emissions of CO after ozone linkage were 0.98% and HC was 192 ppm. All variations of the test have passed emission tests based on the permissible CO exhaust emission threshold of 1.5% and the permissible HC of 200 ppm.

Keywords : Pertamina, Ozone (O<sub>3</sub>), engine performance, exhaust emissions.

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Wr.Wb.*

Puji dan syukur dipanjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan kekuatan, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan judul ***“Pengaruh Ozonisasi Bahan Bakar Bensin Terhadap Kinerja Mesin Bensin”***. Penyusunan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik di Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dikarenakan keterbatasan penulis sebagai manusia biasa. Untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dalam skripsi ini. Semoga skripsi ini berguna bagi penulis dan pihak-pihak lain sebagai acuan untuk kebutuhan ilmu pengetahuan.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bimbingan serta masukan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis juga sangat menyadari penyusunan skripsi ini tidak akan selesai tanpa kerja keras penulis dan bantuan orang-orang terdekat yang selalu memberikan berbagai macam dukungan dan masukan demi kelancaran skripsi ini. Atas alasan itu pula penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih:

1. Kepada Orang tua saya tercinta, Ramli dan Asthiah terima kasih atas semua kasih sayang, doa dan petuahnya yang tidak pernah putus. Kalian adalah semangat penulis dalam menyelesaikan studi ini.
2. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin ST., MT. selaku ketua Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staff Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudahan yang diberikan.
3. Bapak Ir. Baharuddin Mire, MT. selaku Kepala Laboratorium Motor Bakar Departemen Mesin FT-UH sekaligus Pembimbing I yang telah membimbing penulis sampai selesai mengerjakan tugas akhir.
4. Ibu Dr. Eng. Novriany Amaliah, ST., MT. selaku Pembimbing II yang telah membimbing dan mengarahkan penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

5. Bapak Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT. selaku penguji.
6. Bapak Ir. Andi Mangkau, MT. selaku penguji.
7. Segenap Dosen Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Surahman selaku laboran di Laboratorium Motor Bakar yang senantiasa membantu dalam penelitian saya.
9. Saudara-saudara seperjuangan penulis Hydraulic 2015 yang sudah menjadi tim hore dan tim *support* paling hebat yang selalu ada dalam suka maupun duka, yang bahkan saya tidak yakin bisa menyelesaikan penelitian ini dengan baik tanpa mereka.
10. Terakhir, penulis hendak menyapa setiap nama yang tidak dapat penulis cantumkan satu per satu, terima kasih doa yang senantiasa mengalir tanpa sepengetahuan penulis. Terima kasih sebanyak-banyaknya kepada orang-orang yang turut bersukacita atas keberhasilan penulis menyelesaikan skripsi ini. Senantiasa Allah SWT selalu memberikan kebahagiaan bagi kita semua.

Sebagai manusia biasa tentunya penulis masih memiliki banyak kekurangan pengetahuan dan pengalaman pada topik yang diangkat dalam Skripsi ini, begitu pula dalam penulisannya yang masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis akan sangat senang jika menerima berbagai masukan dari pada pembaca baik berupa kritik maupun saran yang sifatnya membangun demi penyempurnaan penulisan skripsi di masa yang akan datang. Terima kasih

***Wassalamu'alaikum Wr.Wb***

Gowa, 25 Juli 2022

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	<b>xiv</b>
<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 LANDASAN TEORI</b> .....	<b>6</b>
2.1 Motor Bensin (Spark Ignition Internal Combustion Engine) .....	6
2.2 Karakteristik Motor Bensin .....	6
2.3 Prinsip Kerja Motor Bensin 4 Langkah.....	7
2.4 Siklus Otto .....	8
2.5 Variabel Rasio Kompresi ( <i>VCR</i> ) .....	10
2.6 Perbandingan Rasio Kompresi .....	11
2.7 Rasio Udara – Bahan Bakar ( <i>AFR</i> ) .....	11
2.8 Efisiensi Pembakaran .....	12
2.9 Ozon Dalam Meningkatkan Pembakaran .....	12
2.10 Generator Ozon .....	14
2.11 Hidrokarbon.....	15
2.11.1 Nilai Kalor.....	16
2.11.2 Viskositas .....	17
2.11.3 Massa Jenis (Densitas) .....	17
2.11.4 Titik Nyala ( <i>Flash Point</i> ).....	18
2.12 Parameter Perhitungan Kinerja Motor Bakar .....	18

2.12.1	Daya Efektif (kW).....	18
2.12.2	Konsumsi bahan Bakar (kg/h).....	19
2.12.3	Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (kg/kW.h) .....	20
2.12.4	Laju Aliran Udara Aktual (kg/h).....	20
2.12.5	Laju Aliran Udara Teoritis (kg/h) .....	21
2.12.6	Perbandingan Udara dan Bahan Bakar .....	22
2.12.7	Efisiensi Volumetrik (%) .....	22
2.12.8	Efisiensi Thermis (%) .....	22
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>24</b>
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian .....	24
3.2	Alat dan Bahan .....	24
3.2.1	Alat.....	24
3.2.2	Bahan.....	29
3.3	Prosedur Kerja .....	29
3.4	Flowchart Penelitian.....	31
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>32</b>
4.1	Karakterisasi Bahan Bakar Pertamina .....	32
4.2	Perhitungan.....	33
4.3	Pengelolaan Data Hasil Perhitungan .....	38
1.	Daya Efektif (BP) .....	40
2.	Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) .....	43
3.	Rasio Udara Bahan Bakar (AFR) .....	47
4.	Efisiensi Volumetris ( $\eta_{vol}$ ) .....	52
5.	Efisiensi Thermis ( $\eta_{th}$ ) .....	56
4.4	Hasil Uji Emisi Gas Buang.....	60
1.	Karbon Monoksida (CO).....	60
2.	Hidrokarbon (HC) .....	62
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>64</b>
5.1	Kesimpulan.....	64
5.2	Saran .....	64
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>65</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>67</b>
	Tabel Perhitungan Performa Mesin.....	67
	Dokumentasi.....	69

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Cara Kerja Motor Bensin Empat Langkah.....	7
Gambar 2. 2 Diagram P vs V dari volume konstan.....	9
Gambar 2. 3 Rumus kerangka ozon (a) model bola dan (b) model batang dari molekul Ozon.....	12
Gambar 2. 4 Peningkatan produksi $\text{CH}_2\text{O}$ yang diinduksi oleh ozon.....	14
Gambar 2. 5 Representasi skematis dari generator ozon yang bekerja berdasarkan prinsip Dielectric Barrier Discharge (DBD).....	15
Gambar 3. 1 Bom kalori meter.....	24
Gambar 3. 2 Termokopel.....	24
Gambar 3. 3 Timbangan Digital.....	25
Gambar 3. 4 Alat Ukur Emisi.....	25
Gambar 3. 5 Mesin bensin TV1.....	26
Gambar 3. 6 Panel Mesin.....	27
Gambar 3. 7 Komputer.....	27
Gambar 3. 8 Pompa.....	28
Gambar 3. 9 Generator ozon.....	28
Gambar 3. 10 Pertamina.....	29
Gambar 3. 11 Diagram alir penelitian.....	31
Gambar grafik 4. 1 <i>Daya Efektif (BP) vs Putaran (N) pada rasio kompresi 6 : 1</i>	40
Gambar grafik 4. 2 <i>Daya Efektif (BP) vs Putaran (N) pada rasio kompresi 8 : 1</i>	41
Gambar grafik 4. 3 <i>Daya Efektif (BP) vs Putaran (N) pada rasio kompresi 10 : 1</i> .....	42
Gambar grafik 4. 4 <i>Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) vs Putaran (N) pada rasio kompresi 6 : 1</i> .....	43
Gambar grafik 4. 5 <i>Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) vs Putaran (N) pada rasio kompresi 8 : 1</i> .....	44
Gambar grafik 4. 6 <i>Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) vs Putaran (N) pada rasio kompresi 10 : 1</i> .....	45
Gambar grafik 4. 7 <i>Rasio Udara Bahan Bakar (AFR) vs Putaran (N) pada rasio kompresi 6 : 1</i> .....	47
Gambar grafik 4. 8 <i>Rasio Udara Bahan Bakar (AFR) vs Putaran (N) pada rasio kompresi 8 : 1</i> .....	48
Gambar grafik 4. 9 <i>Rasio Udara Bahan Bakar (AFR) vs Putaran (N) pada rasio kompresi 10 : 1</i> .....	50
Gambar grafik 4. 10 <i>Efisiensi Volumetris (<math>\eta_{vol}</math>) vs Putaran (N) pada rasio kompresi 6 : 1</i> .....	52
Gambar grafik 4. 11 <i>Efisiensi Volumetris (<math>\eta_{vol}</math>) vs Putaran (N) pada rasio kompresi 8 : 1</i> .....	53
Gambar grafik 4. 12 <i>Efisiensi Volumetris (<math>\eta_{vol}</math>) vs Putaran (N) pada rasio kompresi 10 : 1</i> .....	55

Gambar grafik 4. 13 Efisiensi Thermis ( $\eta_{th}$ ) vs Putaran ( $N$ ) pada rasio kompresi 6 : 1 .....	56
Gambar grafik 4. 14 Efisiensi Thermis ( $\eta_{th}$ ) vs Putaran ( $N$ ) pada rasio kompresi 8 : 1 .....	57
Gambar grafik 4. 15 Efisiensi Thermis ( $\eta_{th}$ ) vs Putaran ( $N$ ) pada rasio kompresi 10 : 1 .....	59

## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Tabel Karakterisasi .....	32
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan.....	38
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan.....	39
Tabel 4. 4 Uji emisi gas buang karbon monoksida (CO).....	60
Tabel 4. 5 Uji emisi gas buang Hidro Karbon (HC) .....	62

## DAFTAR SIMBOL

IP	Daya indikasi	kW
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/h
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
h <sub>o</sub>	Beda tekanan pada manometer	mmH <sub>2</sub> O
$\rho_a$	Massa jenis udara pada kondisi masuk	kg/m <sup>3</sup>
M <sub>th</sub>	Laju udara secara teoritis	kg/h
V <sub>s</sub>	Volume silinder	-
u <sub>d</sub>	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 thermis	%
Q <sub>tot</sub>	Kalor total	kW
LHV <sub>bb</sub>	Nilai kalor bahan bakar	kJ/kg

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pada saat ini Indonesia merupakan salah satu negara dengan jumlah penduduk terbesar selain negara India dan China. Hal tersebut sangat mempengaruhi berkembangnya berbagai sektor industri di negeri ini, yang berakibat meningkatnya pemakaian bahan bakar minyak maupun mineral bumi karena bahan bakar adalah sumber utama untuk menciptakan energi. Salah satu contoh yaitu pemakaian bahan bakar bensin yang banyak digunakan masyarakat. Hampir setiap satu keluarga memiliki sebuah sepeda motor.

Dari tahun ketahun peningkatan kendaraan di Indonesia terus meningkat di kota besar. Namun kejadian tersebut justru mengakibatkan bahaya yang tidak diketahui oleh para pengendara akan bahaya asap buang (emisi), dimana asap buang bersifat karsinogenik. Selain itu juga asap buang pada kendaraan bersifat berbahaya bagi pernapasan dan kesehatan meski jumlah yang sedikit. Paparan zat karsinogenik tersebut dapat merusak organ dan dapat mengakibatkan kanker. Ada dua zat kimia utama dari gas buang yang bersifat karsinogenik yaitu Benzena yang merusak sumsum tulang melalui sel darah dan Timbal yang mengganggu kerja sarap dan otak. Tak hanya merusak organ dan penyebab kanker, asap kendaraan juga memicu kerusakan pada system pernapasan dengan cara menurunkan kadar oksigen pada dalam tubuh. Dampak asap buang tidak semua orang akan terganggu akan masalah tersebut namun hal ini bergantung intensitas paparan dan lamanya pemaparan tersebut berlangsung. Gangguan kesehatan pada umumnya akan muncul jika terkena paparan secara rutin atau menghirup terlalu banyak. Setiap orang juga memiliki ketahanan tubuh atau antibody yang tidak sama. Yang lebih rentan paparan asap buang (emisi) yaitu anak-anak, orang dewasa yang memiliki penyakit tertentu, dan yang sangat rentan orang-orang usia lanjut.

Kendaraan umum seperti sepeda motor saat ini bisa menggunakan beberapa pilihan jenis bahan bakar Pertamina salah satunya adalah Pertamax. Masing-masing jenis bahan bakar tersebut memiliki angka oktan yang berbeda. Bensin atau petroleum adalah cairan campuran yang berasal dari minyak bumi dan sebagian besar tersusun dari hidrokarbon serta digunakan dalam mesin pembakaran dalam sebagai bahan bakar.

Umumnya kendaraan di Indonesia saat ini menggunakan beberapa pilihan jenis bahan bakar Pertamina untuk motor bensin antara lain Premium dan Pertamax. Masing-masing jenis bahan bakar tersebut memiliki angka oktan yang berbeda. Angka oktan menunjukkan berapa besar tekanan maksimum yang dapat diberikan di dalam mesin sebelum bensin terbakar secara spontan. Pada tekanan tertentu bahan bakar akan menyala seiring adanya tekanan pada piston yang menaikkan temperatur di dalam silinder. Penyalaan yang diakibatkan tekanan ini tidak dikehendaki karena dapat menyebabkan detonasi. Penyalaan yang baik disebabkan dari pengapian busi.

Oleh sebab itu dengan penggunaan bahan bakar yang sesuai dengan perbandingan kompresi yang tepat untuk mesin yang digunakan, diharapkan akan mengoptimalkan kinerja mesin, mengurangi kerusakan dan yang lebih penting lagi akan dapat mengefisienkan penggunaan bahan bakar.

Pemanfaatan teknologi ozon pada berbagai sektor telah menunjukkan kegunaan dan keunggulan dari pemanfaatan ozon. Ozon tidak menimbulkan dampak samping seperti pemanfaatan klor yaitu terbentuknya senyawa trihalomethan yang bersifat karsinogen. Teknologi ozon sangat ramah lingkungan dan ozon merupakan senyawa kimia hijau masa depan. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk menghasilkan ozon melalui peluahan muatan listrik yaitu dengan menggunakan ozon generator.

Pembuatan ozon melalui proses tumbukan dengan melawatkan oksigen ( $O_2$ ) pada daerah yang dikenai tegangan tinggi dapat dilakukan dalam sebuah ozon generator. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk generator itu ialah metode lucutan plasma. Metode lucutan plasma



dimaksudkan untuk mendapatkan gas ozon berkonsentrasi rendah antara 0,01 ppm sampai dengan 4,00 ppm yang dapat diaplikasikan khususnya untuk mendukung bidang kesehatan dan lingkungan, bidang industri dan pertanian.

Molekul ozon yang terbentuk pada ozon generator relatif tak stabil karena disamping keberadaan tiga atom oksigen menjadi satu molekul ozon yang berjejal, juga karena adanya hamburan muatan elektronik dari masing-masing antar atom oksigen pada molekul ozon tersebut. Umur paroh ozon sekitar 20 menit didalam air dan udara 16 jam.

Penelitian yang dilakukan oleh Arjad tentang Ozonisasi Biodisel (B30) Sebagai Bahan Bakar Pada Mesin Diesel menggunakan engine Diesel TV-1 menunjukkan bahwa pelarutan ozon pada bahan bakar dapat meningkatkan daya efektif pada beban 9 kg B30% sebesar 2,49 kW menjadi 2,56 kW, meningkatkan torsi yang dihasilkan mesin pada beban 9 kg B30% sebesar 16,45 Nm menjadi 16,81 Nm, menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik pada beban 9 kg B30% sebesar 0,37 kg/kW.h menjadi 0,33 kg/kW.h, meningkatkan efisiensi volumetrik beban 9 kg B30% sebesar 66,27% menjadi 70,47% dan meningkatkan efisiensi thermis pada beban 9 kg B30% sebesar 23,86% menjadi 26,63% (Arjad, 2022).

Apabila bahan bakar yang telah diozoni ini bagus untuk kinerja mesin bensin, mungkin bisa dijadikan sebagai bahan bakar agar dapat mengurangi polusi di kota-kota besar akibat pembakaran gas buang (emisi) yang dapat mencemari lingkungan dan berdampak buruk bagi kesehatan.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka penambahan ozon pada bensin diharapkan mampu meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi gas buang dari mesin bensin. Maka dari itu, penulis akan menganalisis mengenai efek penambahan ozon terhadap kinerja mesin bensin dengan judul **“PENGARUH OZONISASI BAHAN BAKAR BENSIN TERHADAP KINERJA MESIN BENSIN”**.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun beberapa rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh ozonisasi bensin terhadap kinerja mesin bensin?
2. Bagaimana emisi yang dihasilkan oleh pembakaran mesin terhadap penggunaan bensin hasil ozonisasi?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Menganalisis pengaruh penambahan ozon dalam bahan bakar terhadap kinerja mesin bensin.
2. Menganalisis penggunaan bensin hasil ozonisasi terhadap emisi pembakaran mesin.

## **1.4 Batasan Masalah**

1. Bahan bakar yang digunakan adalah bensin hasil ozonisasi.
2. Karakterisasi bensin dilakukan untuk keperluan perhitungan (Densitas dan Nilai Kalor).
3. Variasi bahan bakar yang diteliti adalah bensin Pertamina murni, Pertamina yang telah diozoni selama 30 menit, 1 jam dan 2 jam.
4. Rasio kompresi 6 : 1, 8 : 1, dan 10 : 1. Beban yang digunakan adalah beban konstan yaitu 5 kg. Putaran yang digunakan yaitu 1200 rpm, 1400 rpm, 1600 rpm dan 1800 rpm.
5. Parameter kinerja yang diuji adalah Daya Efektif (BP), Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC), Rasio udara bahan bakar (AFR), Efisiensi volumetris ( $\eta_{vol}$ ) dan Efisiensi termis ( $\eta_{th}$ ).
6. Parameter uji emisi tersebut meliputi kadar CO (Karbon Monoksida) dan HC (Hidrokarbon).
7. Mesin yang digunakan adalah mesin bensin TV1.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

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

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Motor Bensin (Spark Ignition Internal Combustion Engine)**

Motor bensin (*spark Ignition*) adalah suatu tipe mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*) yang dapat mengubah energi panas dari bahan bakar menjadi energi mekanik berupa daya poros pada putaran poros engkol. Energi panas diperoleh dari pembakaran bahan bakar dengan udara yang terjadi pada ruang bakar (*Combustion Chamber*) dengan bantuan bunga api yang berasal dari percikan busi untuk menghasilkan gas pembakaran (I Gede, 2010).

Berdasarkan siklus kerjanya motor bensin dibedakan menjadi dua jenis yaitu motor bensin dua langkah dan motor bensin empat langkah. Motor bensin dua langkah adalah motor bensin yang memerlukan dua kali langkah torak, satu kali putaran poros engkol untuk menghasilkan satu kali daya/usaha. Sedangkan motor bensin empat langkah adalah motor bensin yang memerlukan empat kali langkah torak, dua kali putaran poros engkol untuk menghasilkan satu kali daya/usaha (I Gede, 2010).

#### **2.2 Karakteristik Motor Bensin**

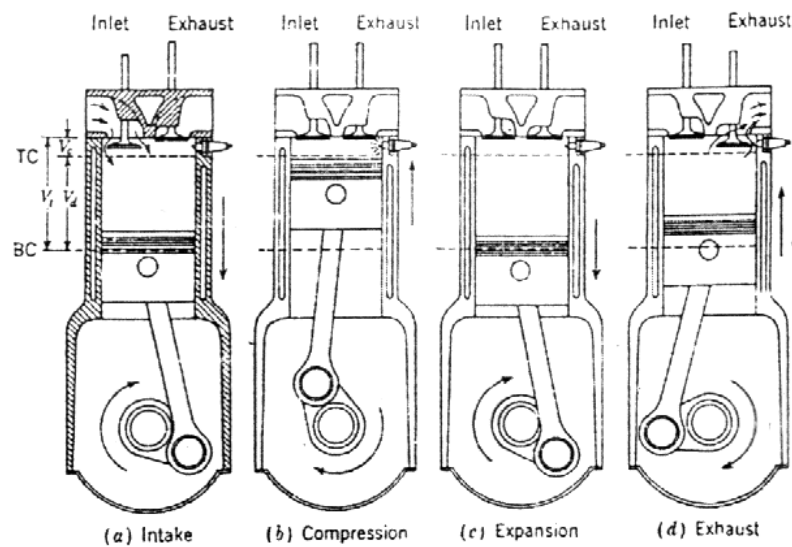
Karakteristik mesin bensin yang bisa kita kenali dengan mudah adalah bahan bakar yang digunakan oleh mesin ini. Mesin bensin menggunakan bahan bakar bensin, seperti Premium dan Pertamax. Maka dari itu, dalam bahasa Inggris, mesin ini disebut gasoline engine.

Pada proses pembakaran, mesin bensin membutuhkan komponen pengapian. Selain itu, rasio kompresi yang dibutuhkan juga cenderung kecil, yaitu antara 8:1 sampai 12:1. Akselerasi yang bisa Sahabat dapatkan dari mesin bensin pun tidak perlu diragukan. Mesin bensin bisa mengeluarkan suara yang begitu halus.

Ditambah lagi, tenaga maksimal pada mesin bensin sangatlah tinggi. Mesin ini mampu dioperasikan dalam rpm yang tinggi (Daihatsu).

### 2.3 Prinsip Kerja Motor Bensin 4 Langkah

Motor bensin empat langkah memerlukan empat kali langkah torak atau dua kali putaran poros engkol untuk menyelesaikan satu siklus kerja. Keempat langkah tersebut adalah : langkah isap, langkah kompresi, langkah kerja dan langkah pembuangan (I Gede, 2010).



**Gambar 2. 1** Cara Kerja Motor Bensin Empat Langkah

#### 1. Langkah Isap

Langkah isap terjadi ketika torak bergerak dari titik mati atas menuju titik mati bawah akan menghasilkan tekanan yang sangat rendah di dalam ruang silinder sehingga campuran bahan bakar udara akan masuk mengisi silinder melalui katup masuk yang terbuka saat langkah isap sampai torak meninggalkan titik mati bawah, sementara katup buang dalam keadaan tertutup (I Gede, 2010).

#### 2. Langkah Kompresi

Langkah kompresi dimulai torak meninggalkan titik mati bawah menuju titik mati atas, mengkompresikan campuran bahan bakar udara didalam silinder. Bunga api listrik diumpankan melalui busi ketika torak berada beberapa derajat poros engkol sebelum titik mati

atas, membakar campuran bahan bakar udara untuk menghasilkan temperatur dan tekanan yang tinggi (I Gede, 2010).

### 3. Langkah Kerja (Ekspansi)

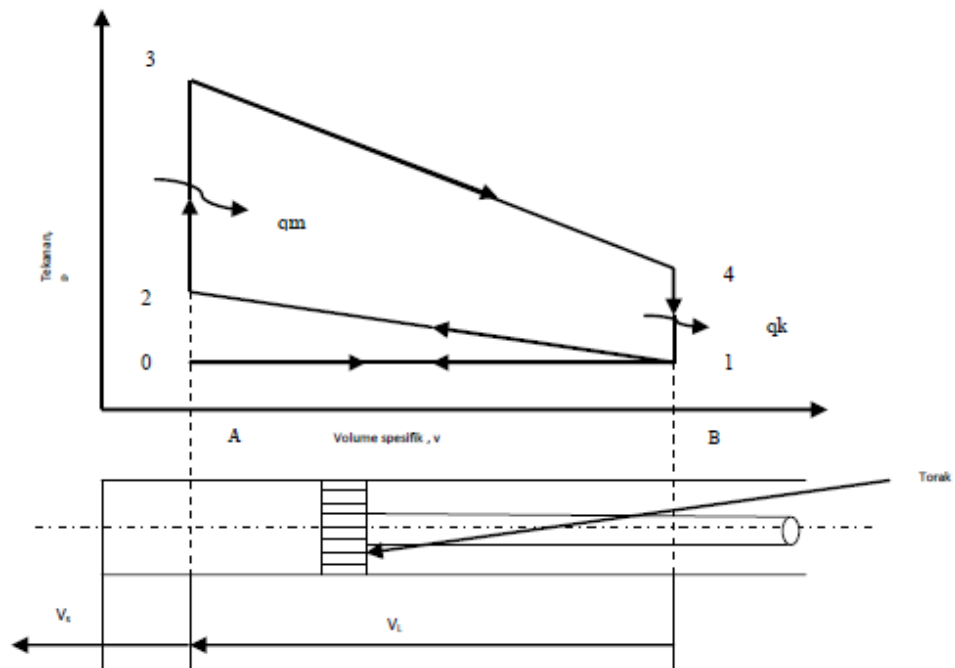
Langkah kerja dimulai ketika torak bergerak dari titik mati atas menuju titik mati bawah. Gerakan torak ini terjadi karena gas panas hasil pembakaran berekspansi sehingga memperbesar volume silinder (I Gede, 2010).

### 4. Langkah Pembuangan

Langkah terakhir adalah langkah pembuangan, terjadi ketika torak bergerak dari titik mati bawah menuju titik mati atas menekan gas sisa hasil pembakaran keluar melalui katup buang yang berada dalam posisi terbuka dan katup masuk dalam keadaan masih tertutup. Katup buang akan tertutup dan katup masuk akan terbuka ketika torak bergerak kembali melakukan langkah isap berikutnya (I Gede, 2010).

## 2.4 Siklus Otto

Proses termodinamika dan kimia yang terjadi dalam motor bakar torak sangat kompleks untuk di analisis. Menurut Wiranto Arismunandar, untuk memudahkan analisis tersebut kita perlu membayangkan suatu keadaan yang ideal. Makin ideal suatu keadaan makin mudah dianalisis, tetapi akan makin jauh menyimpang dari keadaan aktual. Dianalisis siklus udara, khususnya pada motor bakar torak, akan dibahas siklus udara volume konstan (Siklus Otto). Siklus ini menggambarkan grafik  $P$  vs  $v$  seperti terlihat pada **Gambar 2.2**. Sifat ideal yang dipergunakan serta keterangan mengenai proses siklusnya adalah sebagai berikut :



**Gambar 2. 2** Diagram P vs V dari volume konstan.

1. Fluida kerja dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik yang konstan.
2. Langkah isap (0-1) merupakan proses tekanan konstan.
3. Langkah kompresi (1-2) ialah proses isintropik.
4. Proses pembakaran volume konstan (2-3) dianggap sebagai proses pemasukan kalor pada volume konstan.
5. Langkah kerja (3-4) ialah proses isontropik.
6. Proses pembuangan (4-1) dianggap sebagai proses pengeluaran kalor pada volume konstan.
7. Langkah buang (1-0) ialah proses tekanan konstan.
8. Siklus dianggap tertutup artinya siklus ini berlangsung dengan fluida kerja yang sama atau gas yang berbeda di dalam selinder pada titik satu dapat dikeluarkan dari dalam selinder pada waktu langkah buang, tetapi pada langkah isap berikutnya akan masuk sejumlah fluida kerja yang sama.

## 2.5 Variabel Rasio Kompresi (VCR)

Motor bensin terhubung ke *dynamometer* tipe arus Eddy untuk mengukur. Rasio kompresi dapat diubah tanpa menghentikan mesin dan tanpa mengubah geometri ruang bakar dengan pengaturan blok silinder miring yang dirancang khusus. Pengaturan dilengkapi dengan instrumen yang diperlukan untuk tekanan pembakaran dan pengukuran sudut engkol. Sinyal-sinyal ini dihubungkan ke komputer melalui indikator mesin. Ketentuan juga dibuat untuk menghubungkan aliran udara, aliran bahan bakar, suhu dan pengukuran beban. Pengaturan memiliki panel yang berdiri sendiri di kotak yang terdiri dari kotak udara, dua tangki bahan bakar untuk uji campuran, manometer, pengukur bahan bakar, pemancar untuk pengukuran aliran udara dan bahan bakar, indikator proses dan mesin indikator. Rotameter disediakan untuk air pendingin dan aliran air kalorimeter pengukuran (Anonim, 2014).

Mesin yang digunakan adalah mesin bensin TV1 silinder tunggal empat langkah, vertikal, berpendingin air, disedot alami, injeksi langsung mesin bensin. Transduser tekanan digunakan untuk memantau tekanan injeksi. Peralatan mesin dihubungkan dengan perangkat pengukuran emisi gas, alat analisis gas, dilengkapi dengan instrumen yang diperlukan untuk mengukur tekanan pembakaran dan sudut engkol. Sinyal-sinyal ini dihubungkan ke komputer melalui indikator sensor mesin perangkat lunak. Udara atmosfer memasuki *intake manifold* mesin melalui saringan udara dan kotak udara. Udara sensor aliran dilengkapi dengan kotak udara memberi masukan untuk konsumsi udara ke sistem akuisisi data. Semua input seperti konsumsi udara dan bahan bakar, rem mesin daya, tekanan silinder dan sudut engkol direkam oleh sistem akuisisi data, yang disimpan dalam komputer dan ditampilkan di monitor. Termokopel dalam bersama dengan indikator suhu terhubung pada pipa knalpot untuk mengukur suhu knalpot gas. Kepadatan asap knalpot diukur dengan termokopel (Anonim, 2014).



## 2.6 Perbandingan Rasio Kompresi

Perbandingan kompresi merupakan perbandingan banyak campuran bahan bakar dan udara yang masuk didalam silinder pada langkah hisap, dan yang dimanfaatkan pada langkah kompresi.

$$PK = (V_L + V_c) / V_c \dots\dots\dots (1)$$

Dimana,

PK = Perbandingan kompresi

$V_L$  = Volume langkah

$V_c$  = Volume kompresi

Angka perbandingan kompresi yang tinggi mengakibatkan tekanan awal pembakaran menjadi lebih tinggi. Dengan tekanan awal pembakaran yang tinggi berarti tekanan maksimum yang dihasilkan oleh pembakaran akan menjadi lebih tinggi sehingga tenaga yang dihasilkan menjadi lebih besar. Apabila gaya yang mendorong lebih besar maka lebih besar pula momen yang dihasilkan pada poros engkol (Irwan, 2015).

Semakin tinggi nilai perbandingan kompresi semakin tinggi pula nilai tekanan kompresi. Pengaruh tekanan kompresi terhadap mesin adalah semakin besar tekanan kompresi semakin besar pula tenaga yang dihasilkan oleh mesin. Motor dengan perbandingan kompresi yang tinggi mempunyai kelemahan yakni dengan tingginya tekanan pada akhir kompresi atau tekanan awal pembakaran berarti suhu dalam ruang kompresi juga akan naik. Apabila hal ini terjadi maka dapat terjadi detonasi jika tekanan kompresi yang tinggi tidak diikuti dengan pemakaian bahan bakar yang beroktan tinggi (Irwan, 2015).

## 2.7 Rasio Udara – Bahan Bakar (*AFR*)

Menurut Jhon Heywood, dalam pengujian mesin, baik laju aliran massa udara dan laju aliran massa bahan bakar biasanya diukur. Rasio laju aliran ini berguna dalam mendefinisikan mesin dalam kondisi beroperasi.

$$AFR = \frac{M_a}{FC} \dots\dots\dots(2)$$

Rentang operasi normal untuk mesin SI konvensional yang menggunakan bahan bakar bensin adalah ( $12 \leq AFR \leq 18$ ) sedangkan mesin bahan bakar diesel pada ( $18 \leq AFR \leq 70$ ) (J. B. Heywood, 1989).

## 2.8 Efisiensi Pembakaran

Meskipun aliran udara dan bahan bakar ke mesin dikendalikan sesuai pada kondisi stoikiometri, pembakaran tidak dapat sempurna, dan emisi berupa CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan NO<sub>x</sub> dijumpai dalam produk buang. Hal ini disebabkan karena waktu yang singkat untuk setiap siklus pada pencampuran udara dan bahan bakar. Beberapa molekul bahan bakar tidak dapat bereaksi dengan oksigen sehingga sebagian bahan bakar maupun oksigen menjadi emisi.

Secara aktual, gas buang dari pembakaran mesin menghasilkan emisi seperti CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, HC, NO<sub>x</sub>. Saat beroperasi dengan campuran miskin, jumlah produk pembakaran yang tidak sempurna relatif kecil. Tetapi, saat beroperasi dengan campuran kaya, maka nilai emisi menjadi lebih besar karena jumlah oksigen tidak cukup untuk membakar semua bahan bakar (Philip, 2015).

## 2.9 Ozon Dalam Meningkatkan Pembakaran

### A. Interaksi Ozon-Hidro Karbon



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

Ozon adalah oksidator kuat yang berbau tajam dan merupakan bentuk tidak stabil dari oksigen yang terdiri dari tiga atom O (rumus kimia ozon adalah O<sub>3</sub>). Nama ozon berasal dari kata Yunani yaitu

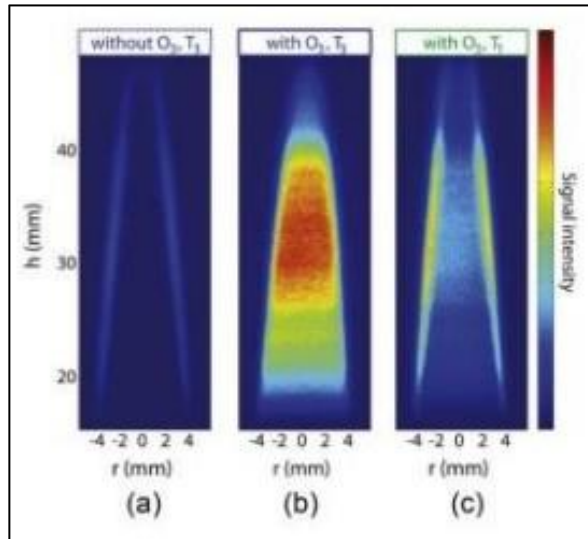
“ozein” yang berarti berbau. Ozon merupakan zat yang sangat beracun, lebih beracun daripada sianida (KCN atau NaCN), striknina, dan karbon monoksida.

Memasuki tahun 1990-an pemanfaatan ozon berkembang sangat pesat, antara lain: untuk pengolahan air minum dan air limbah, untuk sterilisasi makanan mentah serta untuk sterilisasi peralatan. Hal ini tidak terlepas dari sifat ozon yang dikenal memiliki sifat radikal (mudah bereaksi dengan senyawa disekitarnya) serta memiliki oksidasi potensial 2.07 V.

Dibandingkan dengan khlorin kecepatan ozon sebagai bahan desinfektan dalam membunuh mikroorganisme bisa 3250 kali lebih cepat serta 150% lebih kuat tenaga oksidatifnya. Ozon sebelum atau setelah bereaksi dengan unsur lain akan selalu menghasilkan oksigen ( $O_2$ ) sehingga teknologi ozon sangat ramah lingkungan atau sering dikatakan ozon merupakan kimia hijau masa depan (Syafarudin Angki dkk, 2013).

#### B. 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.

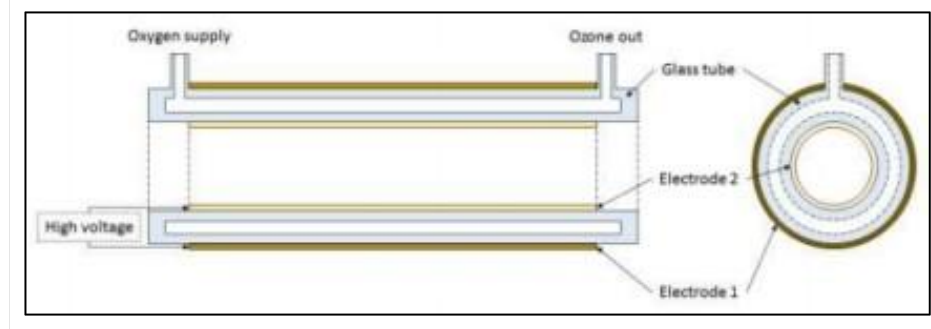


**Gambar 2. 4** Peningkatan produksi  $\text{CH}_2\text{O}$  yang diinduksi oleh ozon

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  $\text{O}_3$  bereaksi dengan molekul  $\text{CH}_4$ , menghasilkan radikal  $\text{OH}$  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  $\text{OH}$  diproduksi, sehingga akan meningkatkan reaktivitas sistem secara keseluruhan (Pinazzi, 2017).

## 2.10 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 2. 5** 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  $O_3$ . 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).

## 2.11 Hidrokarbon

Hidrokarbon merupakan senyawa ikatan hidrogen dan karbon yang dapat terbakar (dioksidasi), membentuk air ( $H_2O$ ) dan karbondioksida ( $CO_2$ ). Bahan bakar hidrokarbon mempunyai variasi berat karbon dari 83% sampai 87% dan berat hidrogen dari 11% samai 14%. Pada umumnya bobot molekular komponen yang lebih besar mempunyai temperatur didih lebih tinggi (Philip, 2015).

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 (*prematuur detonation*) atau ketukan (*knocking*).

Angka oktan adalah suatu bilangan yang menunjukkan tahanan suatu bahan bakar terhadap detonasi. Bahan bakar dengan angka oktan yang tinggi dapat dipakai pada motor dengan kompresi yang lebih tinggi dan akan menghasilkan tenaga yang lebih tinggi. Maka dari itu penggunaan bahan bakar dengan oktan yang lebih tinggi akan mengurangi kemungkinan terjadinya detonasi, sehingga campuran bahan bakar dan udara yang dikompresikan dapat optimal dan tenaga yang dihasilkan motor akan lebih besar serta konsumsi bahan bakar menjadi lebih irit. (Irwan, 2015).

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)

Adapun sifat fisik bahan bakar perlu diketahui adalah sebagai berikut :

### **2.11.1 Nilai Kalor**

Nilai kalor adalah jumlah panas yang dihasilkan jika 1 kg bahan bakar terbakar secara sempurna. Nilai kalor adalah suatu

kesanggupan bahan bakar untuk memberikan energi panas untuk menghasilkan daya. Apabila nilai kalor suatu bahan bakar tinggi maka panas yang dihasilkan oleh pembakaran akan tinggi. Akan tetapi apabila nilai kalor bahan bakar rendah maka panas yang dihasilkan oleh pembakaran akan rendah. Sehingga bahan bakar dengan nilai kalor yang tinggi mampu memberikan energi panas yang tinggi untuk proses pembakaran yang sempurna.

### 2.11.2 Viskositas

Fluida yang mengalir melalui sebuah pipa dapat dipandang terdiri atas lapisan–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*.

### 2.11.3 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)

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots(3)$$

$$\rho = \frac{m_{sampel} - m_{aquades}}{V_{piknometer}} + \rho_{aquades} \dots\dots\dots(4)$$

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

$m_{samp}$  = Massa minyak (gr)

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

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

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

#### 2.11.4 Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala adalah titik temperatur pada keadaan di mana uap di atas permukaan bahan bakar akan terbakar dengan cepat (meledak). Titik nyala menunjukkan kemudahan bahan bakar untuk terbakar. Makin titik nyala, maka bahan bakar semakin sulit terbakar. Menurut Standar Nasional Indonesia memiliki batas standard minimal sebesar 1000°C (Juanda, 2017).

### 2.12 Parameter Perhitungan Kinerja Motor Bakar

Mengacu pada Modul Praktikum Motor Bakar Laboratorium Motor Bakar Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. (Anonim, 2008) Adapun parameter kinerja motor bakar bensin dapat dihitung dengan persamaan-persamaan berikut :

#### 2.12.1 Daya Efektif (kW)

Daya motor merupakan salah satu parameter dalam menentukan performa motor. Perbandingan perhitungan daya terhadap berbagai macam motor tergantung pada putaran mesin dan momen putar, semakin cepat putaran mesin, rpm yang dihasilkan akan semakin besar, sehingga daya yang dihasilkan juga semakin besar, begitu juga momen putar motornya, semakin banyak jumlah gigi pada roda giginya semakin besar torsi yang terjadi. Dengan demikian, jumlah



putaran (rpm) dan besarnya momen putar atau torsi mempengaruhi daya motor yang dihasilkan oleh sebuah motor (Sugeng, 2013).

$$BP = \frac{1}{1000} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot T}{60} (kW)$$

$$BP = 0,1047 \cdot 10^{-3} \cdot N \cdot T (kW) \dots\dots\dots (5)$$

- dimana :
- BP = Daya efektif (kW)
  - N = Putaran poros (rpm)
  - T = Momen Torsi (N.m)
  - 0,1047 = Kecepatan sudut, (rad/s)
  - 10<sup>-3</sup> = Faktor konversi Watt ke kW
  - 60 = Konversi detik ke menit

### 2.12.2 Konsumsi bahan Bakar (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 dengan persamaan:

$$FC = \frac{VGU \cdot 10^{-3} \cdot \rho_f \cdot 3600}{W} \left( \frac{kg}{h} \right) \dots\dots\dots (6)$$

- dimana :
- FC = Konsumsi Bahan Bakar (kg/h)
  - VGU = Volume gelas ukur (VGU = 15 cc)
  - $\rho_f$  = Massa jenis bahan bakar (kg/h)
  - 10<sup>-3</sup> = Faktor konversi cc ke  $dm^3$
  - 3600 = Faktor konversi detik ke jam
  - W = Waktu konsumsi bahan bakar (s)

### 2.12.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (kg/kW.h)

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

$$SFC = \frac{FC}{BP} \text{ (kg/kW.h)} \dots\dots\dots(7)$$

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

FC = Konsumsi bahan bakar (kg/h)

### 2.12.4 Laju Aliran Udara Aktual (kg/h)

Jumlah pemakaian udara sebenarnya diukur menggunakan sebuah plat orifice sisi tajam dengan diameter 20 mm yang dihubungkan sebuah manometer presisi. Perbedaan tekanan akibat aliran udara melintasi plat orifice diukur oleh manometer, menggambarkan konsumsi udara yang sanggup dihisap oleh mesin selama langkah pemasukan. Laju aliran udara actual dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Ma = kd \cdot \frac{\pi}{4} \cdot Do^2 \cdot C \cdot \rho_a \text{ (kg/h)} \dots\dots\dots(8)$$

Hubungan antara beda tekanan dengan ekspansi gas diberikan oleh persamaan berikut :

$$Ho = \frac{\rho_a \cdot C}{2} \text{ (N/m}^2\text{)} \dots\dots\dots(9)$$

Karena beda tekanan pada manometer terukur dalam dimensi mmH<sub>2</sub>O, dimana 1 mmH<sub>2</sub>O = 9,81 N/m<sup>2</sup>, maka persamaan menjadi,

$$C = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot ho}{\rho_a}} \dots\dots\dots(10)$$

Dari hasil pengujian ternyata bahwa beda tekanan pada manometer dan kondisi ruangan merupakan variabel, maka persamaan menjadi,

$$Ma = K_d \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_o^2 \cdot 10^{-6} \cdot 3600 \cdot 4,4295 \cdot \sqrt{h_o \cdot \rho_{ud}} \text{ (kg/h) } \dots\dots\dots(11)$$

- dimana :
- $M_a$  = Laju aliran udara aktual (kg/h)
  - $K_d$  = Koefisien discharge (0,6 )
  - $H_o$  = Beda tekanan pada manometer (mmH<sub>2</sub>O)
  - $\rho_{ud}$  = Massa jenis udara (kg/m<sup>3</sup>)
  - $10^{-6}$  = Faktor konversi dari mm<sup>2</sup> ke m<sup>2</sup>
  - $D_o$  = Diameter orifice (20 mm)

**2.12.5 Laju Aliran Udara Teoritis (kg/h)**

Banyaknya bahan bakar yang dapat terbakar sangat bergantung pada jumlah udara yang terhisap 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 :

$$M_{th} = \frac{V_s \cdot 10^{-3} \cdot N \cdot 60 \cdot \rho_{ud}}{K_a} \text{ (kg/h) } \dots\dots\dots(12)$$

dan,

$$V_s = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot s \cdot z}{4 \cdot 10^6} \dots\dots\dots(13)$$

- dimana :
- $M_{th}$  = Laju udara secara teoritis (kg/h)
  - $V_s$  = Volume selinder (mm<sup>3</sup>)
  - $10^{-3}$  = Faktor konversi dari cc ke liter
  - $K_a$  = 2 (konstanta untuk motor 4 langkah)

d = Diameter selinder (87,5 mm)

s = Panjang langkah selinder (110 mm)

z = Jumlah selinder

### 2.12.6 Perbandingan Udara dan Bahan Bakar

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 ratio* (*AFR*) dapat dihitung dengan persamaan :

$$AFR = \frac{Ma}{FC} \dots\dots\dots(14)$$

### 2.12.7 Efisiensi Volumetrik (%)

Efisiensi volumetrik adalah perbandingan antara jumlah udara terhisap sebenarnya pada proses penghisapan, dengan jumlah udara teoritis yang mengisi volume langkah pada saat temperatur dan tekanan sama. Dengan demikian efisiensi volumetric ( $\eta_{vo}$ ) dapat di rumuskan sebagai berikut :

$$\eta_{vo} = \frac{Ma}{M_{th}} \cdot 100 \text{ (\%)} \dots\dots\dots(15)$$

### 2.12.8 Efisiensi Thermis (%)

Efisiensi thermis didefenisikan sebagai perbandingan besarnya energi kalor yang diubah 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. Efisiensi thermis ( $\eta_{th}$ ) dapat dihitug dengan rumus berikut,

$$\eta_{th} = \frac{BP}{Q_{tot}} \text{ (\%)} \dots\dots\dots(16)$$

dan,

$$Q_{tot} = \frac{FC.LHV_{bb}}{3600} (kW) \dots\dots\dots(17)$$

dimana :  $LHV_{bb}$  = Nilai kalor bahan bakar (kj/kg)