

SKRIPSI

**OZONISASI DAN IONISASI B30 TERHADAP GETARAN DAN
KEBISINGAN PADA MESIN DIESEL TIPE TV-1**

Disusun dan diajukan oleh :

AWAL EFENDI

D021 18 1309



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2023

SKRIPSI

**OZONISASI DAN IONISASI B30 TERHADAP GETARAN DAN
KEBISINGAN PADA MESIN DIESEL TIPE TV-1**

Disusun dan diajukan oleh :

AWAL EFENDI

D021 18 1309

**Merupakan Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin**

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023

LEMBAR PENGESAHAN

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

Pada tanggal 21 Februari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

JUDUL :

**OZONISASI DAN IONISASI B30 TERHADAP GETARAN DAN
KEBISINGAN MESIN DIESEL TIPE TV-1**

AWAL EFENDI
D021 18 1309

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Ir. Baharuddin Mire, M.T
NIP. 19550914 198702 1 001

Dosen Pembimbing II

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

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T
NIP. 19720825 20003 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda-tangan dibawah ini:

Nama : Awal Efendi

Nim : D021 18 1309

Judul Skripsi : Ozonisasi dan Ionisasi B30 Terhadap Getaran dan Kebisingan
Mesin Diesel Tipe TV-1

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

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

Demikian pernyataan ini saya buat tanpa ada paksaan dan intervensi dari pihak manapun.

Gowa, 21 Februari 2023

Yang membuat pernyataan



Awal Efendi

ABSTRAK

AWAL EFENDI. Ozonisasi dan Ionisasi B30 Terhadap Getaran dan Kebisingan Mesin Diesel Tipe TV-1

Getaran dan kebisingan pada mesin diesel terjadi akibat gerakan naik turun piston di dalam ruang silinder. Pembakaran yang berupa ledakan akan menghasilkan panas mendadak naik dan tekanan menjadi tinggi di ruang bakar. Proses ozonisasi dan ionisasi pada bahan bakar (B30) digunakan untuk menganalisis kinerja, getaran dan kebisingan pada mesin diesel tipe TV-1. Dalam penelitian ini ozon dan ion diproduksi menggunakan generator ozon dan generator ion dengan variasi waktu 30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit. Bahan bakar (B30) yang telah diozonisasi dan ionisasi kemudian diuji pada tiga rasio kompresi yang berbeda yaitu 14:1, 16:1 dan 18:1 dimana tiap rasio kompresi diberikan beban 3 kg, 6 kg dan 9 kg. Untuk menganalisis kinerja, getaran dan kebisingan yang terjadi pada mesin diesel tipe TV-1. Proses ozonisasi dan ionisasi mempengaruhi karakteristik B30. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh daya efektif maksimum pada rasio kompresi 18:1 beban 9 kg setelah ozonisasi selama 30 menit sebesar 2,386 kW. Konsumsi bahan bakar spesifik minimum pada rasio kompresi 16:1 beban 9 kg setelah ozonisasi 120 menit sebesar 0,200 kg/kW. Efisiensi volumetrik maksimum pada rasio kompresi 14:1 beban 9 kg setelah ozonisasi 30 menit sebesar 70,876 %. Efisiensi termis maksimum pada rasio kompresi 16:1 beban 9 kg setelah ozonisasi 120 menit sebesar 50,698 %. Getaran minimum diperoleh pada rasio kompresi 14:1 beban 3 kg menggunakan B30 setelah ionisasi 60 menit sebesar $0,515 m/s^2$. Kebisingan minimum diperoleh pada rasio kompresi 16:1 beban 6 kg dengan menggunakan B30 setelah ionisasi 60 menit sebesar 76,67 dB.

Kata Kunci : Ozon, Ion, B30, Mesin Diesel, Kinerja, Getaran dan Kebisingan

ABSTRACT

AWAL EFENDI. *Ozonation and Ionization of B30 Against Vibration and Noise of TV-1 Type Diesel Engines*

Vibration and noise in a diesel engine occurs due to the up and down movement of the piston in the cylinder chamber. Combustion in the form of an explosion will result in a sudden rise in heat and a high pressure in the combustion chamber. The process of ozonation and ionization of fuel (B30) is used to analyze the performance, vibration and noise of the TV-1 type diesel engine. In this study ozone and ions were produced using an ozone generator and an ion generator with time variations of 30 minutes, 60 minutes, 90 minutes and 120 minutes. The ozonized and ionized fuel (B30) was then tested at three different compression ratios namely 14:1, 16:1 and 18:1 where each compression ratio was given a load of 3 kg, 6 kg and 9 kg. To analyze the performance, vibration and noise that occurs in the TV-1 type diesel engine. The ozonation and ionization processes affect the characterization of B30. Based on the test results, the maximum effective power obtained at a compression ratio of 18:1 with a load of 9 kg after 30 minutes of ozonation is 2.386 kW. The minimum specific fuel consumption at a compression ratio of 16:1 with a load of 9 kg after 120 minutes of ozonation is 0.200 kg/kW. The maximum volumetric efficiency at a compression ratio of 14:1 with a load of 9 kg after 30 minutes of ozonation is 70.876 %. The maximum thermal efficiency at a compression ratio of 16:1 with a load of 9 kg after 120 minutes of ozonation is 50.698 %. Minimum vibration is obtained at a compression ratio of 14:1 with a load of 3 kg using B30 after 60 minutes of ionization of $0.515 \text{ [(m/s)}^2\text{]}$. The minimum noise obtained at a compression ratio of 16:1 with a load of 6 kg using B30 after 60 minutes of ionization is 76.67 dB.

Keywords: *Ozone, Ion, B30, Diesel Engine, Performance, Vibration and Noise*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, tiada kata yang patut kita ucapkan selain puja dan puji syukur atas kehadiran Allah Swt. dengan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Ozonisasi dan Ionisasi B30 Terhadap Getaran dan Kebisingan Mesin Diesel Tipe TV-1”** yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Selama proses pengerjaan skripsi ini penulis menerima begitu banyak bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta Bapak Hasaning dan Ibu Hajariah yang tiada henti memberi semangat, do'a, kasih sayang, dan dukungan kepada penulis hingga sampai ketahap ini.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T. sebagai Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Ir. Baharuddin Mire., M.T selaku dosen pembimbing I dan Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, S.T., M.T selaku dosen Pembimbing II yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membangun selama proses penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Andi Mangkau, M.T dan Bapak Dr. Ir. Nasruddin Azis, M.Si selaku penguji yang selalu memberikan saran selama proses pengerjaan skripsi ini.
5. Bapak/Ibu dosen Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu, nasehat dan pengalaman kepada penulis selama menempuh studi di Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.
6. Kanda Surahman S.Pd., M.T selaku laboran di Laboratorium Motor Bakar yang senantiasa menjadi teman diskusi penulis dalam memecahkan berbagai kendala dalam penelitian.

7. Seluruh keluarga besar, terkhusus kakak saya Suarni, Muh. Haris dan Syahrini S.Kep yang senantiasa memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis selama menempuh pendidikan di Universitas Hasanuddin.
8. Teman-teman berproses Teknik Mesin angkatan 2018 (REACTOR'18) terkhusus Nur Wahyudi Bakhri, Andi Irham Royansyah, Fachrul Alamsyah, Andri, Juandi, Fandi, Rijal, Dandi, kaisan dan Nur Muhammad Brilliant yang senantiasa menjadi kawan diskusi baik dibidang akademik maupun organisasi selama menjadi mahasiswa hingga saat ini.
9. Pengurus BE HMM FT-UH Periode 2020/2021 yang telah mendampingi saya selama satu periode kepengurusan. Terkhusus pengurus inti yang telah meluangkan tenaga, waktu dan pikirannya untuk berdedikasi dan menjalankan roda organisasi kepengurusan di HMM FT-UH.
10. Sahrul Alam, Zul Farizal Ashar dan Delfi Musdayana sebagai teman diskusi, motivator dan menjadi *support system* saya selama menempuh pendidikan di Universitas Hasanuddin.
11. Serta seluruh pihak yang telah membantu yang tidak sempat saya sebutkan satu per satu.

Demikianlah skripsi ini dibuat agar dipergunakan sebagaimana mestinya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Apabila terdapat kesalahan sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Kritik dan saran yang membangun akan lebih menyempurnakan skripsi ini.

Gowa, 18 Februari 2023

Penulis,

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRAC	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SIMBOL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1. Mesin Diesel.....	5
2.2. Prinsip Kerja Mesin Diesel.....	6
2.3. Siklus Mesin Diesel.....	7
2.4. VCR (<i>Variable Compression Ratio</i>)	8
2.5. Teori Pembakaran.....	9
2.6. Karakteristik Bahan Bakar	12
2.7. Bahan Bakar Biodiesel	13
2.8. Getaran (<i>Vibration</i>)	14
2.9. Analisis Getaran	17
2.10. <i>Standard Vibration ISO 10816</i>	20
2.11. Kebisingan (<i>Noise</i>)	21
2.12. Ozon	23
2.13. Generator Ozon	27
2.14. Ion.....	28

2.15. <i>Negative Ion Generator</i>	30
2.16. Dasar - Dasar Perhitungan Kinerja Motor Bakar	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	36
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	36
3.2. Jenis Penelitian	36
3.3. Alat dan Bahan	37
3.4. Prosedur Penelitian	44
3.5. Skema Penelitian	46
3.6. Diagram Alir Penelitian	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	48
4.1. Karakterisasi Bahan Bakar	48
4.2. Perhitungan Kinerja Mesin.....	53
4.3. Kinerja Pembakaran Mesin Diesel	61
4.4. Analisis Kinerja Mesin Diesel	63
4.5. Analisis Getaran	69
4.6. Analisis Kebisingan.....	75
4.7. Hubungan Antara Tekanan Silinder, Getaran dan Kebisingan	79
BAB V PENUTUP.....	85
5.1. Kesimpulan.....	85
5.2. Saran	86
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN.....	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Prinsip kerja mesin diesel 4 langkah.....	6
Gambar 2.2	Siklus diagram diesel P-V.....	7
Gambar 2.3	Mesin diesel tipe TV-1.....	9
Gambar 2.4	Perubahan tekanan pada saat proses pembakaran.....	11
Gambar 2.5	(a) Reaksi konversi asam lemak bebas menjadi metil ester. (b) Reaksi penyeburan.....	13
Gambar 2.6	Gerak harmonik	15
Gambar 2.7	Gerak periodik.....	15
Gambar 2.8	Gerak acak.....	16
Gambar 2.9	Data <i>overall</i>	18
Gambar 2.10	Data <i>spectrum</i>	18
Gambar 2.11	Data <i>waveform</i>	19
Gambar 2.12	Simulasi kompresi dan pembakaran sesuai dengan getaran mesin.....	19
Gambar 2.13	Rumus kerangka ozon (a) model bola (b) model bidang dari molekul ozon.....	24
Gambar 2.14	peningkatan produksi CH ₂ O yang diinduksi oleh ozon	25
Gambar 2.15	Korelasi antara ozon dan <i>catane number</i> bahan bakar untuk kondisi awal yang berbeda.....	26
Gambar 2.16	Variasi penahanan nyala api yang diinduksi dengan menghidupkan dan mematikan generator ozon (a) kasus langsung <i>off-on</i> (b) balikan kasus <i>off-on</i>	27
Gambar 2.17	Representasi skematis dari generator ozon yang bekerja berdasarkan prinsip Dielectric barrier Discharge (BDC).....	27
Gambar 2.18	<i>Negative Ion Generator</i>	30
Gambar 3.1	Lokasi penelitian.....	36
Gambar 3.2	<i>Generator ozon</i>	37
Gambar 3.3	<i>Generator ion negative</i>	37
Gambar 3.4	<i>Bomb calorimeter</i>	38

Gambar 3.5	Termokopel	38
Gambar 3.6	Timbangan digital skala 0,001 gr.....	39
Gambar 3.7	<i>Magnetic stirrer</i>	39
Gambar 3.8	Tabung viknometer	40
Gambar 3.9	Mesin diesel tipe TV-1.....	40
Gambar 3.10	Panel Mesin.....	41
Gambar 3.11	Komputer.....	41
Gambar 3.12	Pompa.....	42
Gambar 3.13	<i>Vibexpert II</i>	42
Gambar 3.14	<i>Sound level meter</i>	43
Gambar 3.15	B30	43
Gambar 3.16	Skema penelitian	46
Gambar 3.17	Diagram alir penelitian.....	47
Gambar 4.1	Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol dengan B30 dan variasi ozon.....	61
Gambar 4.2	Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol dengan B30 dan variasi ion.....	62
Gambar 4.3	Perbandingan daya efektif terhadap beban dengan variasi ozon dan ion.....	63
Gambar 4.4	Perbandingan torsi terhadap beban dengan variasi ozon dan ion.....	64
Gambar 4.5	Perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap beban dengan variasi ozon dan ion.....	66
Gambar 4.6	Perbandingan efisiensi volumetrik terhadap beban dengan variasi ozon dan ion	67
Gambar 4.7	Perbandingan efisiensi thermis terhadap beban dengan variasi ozon dan ion	68
Gambar 4.8	Grafik data <i>Spectrum</i> getaran pada rasio kompresi 14 beban 3 kg.....	69
Gambar 4.9	Grafik data <i>Spectrum</i> getaran pada rasio kompresi 14 beban 6 kg.....	70

Gambar 4.10	Grafik data <i>Spectrum</i> getaran pada rasio kompresi 14 beban 9 kg.....	70
Gambar 4.11	Grafik data <i>Spectrum</i> getaran pada rasio kompresi 16 beban 3 kg.....	71
Gambar 4.12	Grafik data <i>Spectrum</i> getaran pada rasio kompresi 16 beban 6 kg.....	71
Gambar 4.13	Grafik data <i>Spectrum</i> getaran pada rasio kompresi 16 beban 9 kg.....	72
Gambar 4.14	Grafik data <i>Spectrum</i> getaran pada rasio kompresi 18 beban 3 kg.....	72
Gambar 4.15	Grafik data <i>Spectrum</i> getaran pada rasio kompresi 18 beban 6 kg.....	73
Gambar 4.16	Grafik data <i>Spectrum</i> getaran pada rasio kompresi 18 beban 9 kg.....	73
Gambar 4.17	Grafik perbandingan kebisingan dengan beban pada rasio kompresi 14	76
Gambar 4.18	Grafik perbandingan kebisingan dengan beban pada rasio kompresi 16.....	76
Gambar 4.19	Grafik perbandingan kebisingan dengan beban pada rasio kompresi 18.....	77
Gambar 4.20	Grafik hubungan antara tekanan silinder, getaran dan kebisingan dengan bahan bakar pada beban 3 kg rasio kompresi 14.....	79
Gambar 4.21	Grafik hubungan antara tekanan silinder, getaran dan kebisingan dengan bahan bakar pada beban 6 kg rasio kompresi 14.....	79
Gambar 4.22	Grafik hubungan antara tekanan silinder, getaran dan kebisingan dengan bahan bakar pada beban 9 kg rasio kompresi 14.....	80

Gambar 4.23	Grafik hubungan antara tekanan silinder, getaran dan kebisingan dengan bahan bakar pada beban 3 kg rasio kompresi 16.....	80
Gambar 4.24	Grafik hubungan antara tekanan silinder, getaran dan kebisingan dengan bahan bakar pada beban 6 kg rasio kompresi 16.....	81
Gambar 4.25	Grafik hubungan antara tekanan silinder, getaran dan kebisingan dengan bahan bakar pada beban 9 kg rasio kompresi 16.....	81
Gambar 4.26	Grafik hubungan antara tekanan silinder, getaran dan kebisingan dengan bahan bakar pada beban 3 kg rasio kompresi 18.....	82
Gambar 4.27	Grafik hubungan antara tekanan silinder, getaran dan kebisingan dengan bahan bakar pada beban 6 kg rasio kompresi 18.....	82
Gambar 4.28	Grafik hubungan antara tekanan silinder, getaran dan kebisingan dengan bahan bakar pada beban 9 kg rasio kompresi 18.....	82

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Standard vibration ISO 10816</i>	20
Tabel 2.2 Skala intensitas kebisingan (dBA)	22
Tabel 2.3 Nilai ambang kebisingan (dBA)	23
Tabel 2.4 Waktu pengaruh ozon.....	24
Tabel 4.1 Pembacaan kenaikan temperatur pada <i>bomb calorimeter</i>	48
Tabel 4.2 Hasil pengujian nilai kalor.....	50
Tabel 4.3 Hasil pengujian densitas tiap bahan bakar.....	51
Tabel 4.4 Hasil pengujian viskositas tiap bahan bakar.....	52
Tabel 4.5 Hasil pengujian titik nyala tiap bahan bakar.....	53
Tabel 4.6 Fraksi massa terbakar	62
Tabel 4.7 <i>Root mean square data spectrum</i> getaran	74
Tabel 4.8 Rata-rata pengukuran kebisingan.....	78

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
IP	Daya indikasi	kW
BP	Daya efektif	kW
η_m	Efisiensi mekanis	%
N	Putaran poros	rpm
n	Jumlah putaran persiklus	-
FC	Konsumsi bahan bakar	kg/h
VGU	Volume gelas ukur	cc
ρ_f	Massa jenis bahan bakar	kg/m^3
SFC	Konsumsi bahan bakar spesifik	kg/h
Ma	Laju aliran udara aktual	kg/h
K	koefisien	-
C	kecepatan aliran udara	m/s
Do	Diameter <i>orifice</i>	mm
h_o	Beda tekanan pada manometer	mmH ₂ O
ρ_a	Massa jenis udara pada kondisi masuk	kg/m^3
M_{th}	Laju udara secara teoritis	kg/h
V_s	Volume silinder	-
ρ_{ud}	Massa jenis udara	kg/m^3
Ka	konstanta untuk motor 4 langkah	-
d	Diameter selinder	mm
s	Panjang langkah selinder	mm
z	Jumlah selinder	-
AFR	Rasio udara-bahan bakar	-

η_{vo}	Efisiensi volumetris	%
η_{th}	Efisiensi thermis	%
Q_{tot}	Kalor total	kW
LHV_{bb}	Nilai kalor bawah bahan bakar	kJ/kg
μ	Viskositas dinamis	N/m^2
ν	Viskositas kinematik	mm/s^2 (cSt)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Mesin diesel adalah motor bakar dengan proses pembakaran yang terjadi di dalam mesin itu sendiri (*internal combustion engine*). Dimana udara murni dimampatkan (dikompresi) dan bahan bakar disemprotkan (dikabutkan) dalam ruang bakar sehingga proses pembakaran terjadi. Pembakaran yang berupa ledakan akan menghasilkan panas mendadak naik dan tekanan menjadi tinggi didalam ruang bakar. Tekanan ini mendorong piston ke bawah yang berlanjut dengan poros engkol berputar. (Achmad Kusairi Samlawi, 2018). Gerakan piston yang terjadi dalam silinder menyebabkan terjadinya getaran dan kebisingan, sistem penyaluran dan reaksi pembakaran bahan bakar dalam ruang silinder, tekanan penyemprotan bahan bakar oleh nozzel dan pompa *plunyer* dan tekanan gas pada katup isap buang, *muffler* akibat kerja ekspansi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar (Wiwoho, 2015).

Pembakaran yang sempurna pada sistem pembakaran dapat membuat getaran dan kebisingan menurun. Oleh karena itu, karakteristik bahan bakar juga sangat berpengaruh. Namun, penggunaan bahan bakar biodiesel masih memiliki kendala, kinerja dari minyak-minyak nabati tersebut adalah sifatnya yang tidak mudah dinyalakan pada keadaan dingin (*poor cold-starting performance*) dan adanya kecenderungan pembentukan getah (*gum formation*) (Setijo Bismo, 2004). Selain itu karakteristik yang dimiliki biodiesel yaitu nilai densitas, viskositas, serta tingkat keasaman lebih tinggi dari bahan bakar solar. Beberapa hasil penelitian tentang penggunaan biodiesel pada mesin telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Viskositas adalah parameter biodiesel yang penting, sesuai dengan spesifikasi dan berdampak pada kualitas bahan bakar, viskositas tinggi akan cenderung membentuk tetesan yang lebih besar saat injeksi, sehingga menghasilkan atomisasi yang lebih buruk (Surahman, 2022). Usaha untuk menurunkan

viskositas telah dilakukan dengan cara menambahkan *methyl linoleate* dan dipanaskan pada suhu 100 °C hingga 170 °C, 158 °C kurang dari 5 °C penambahan metil linoleat sebagai pro-oksidan dan meningkatkan laju *autoksidasi squalane* dan perubahan viskositas (Dugmore T.I.J, ,2014)

Peneliti lain menemukan bahwa penambahan ozon pada udara masuk dapat mempengaruhi proses pembakaran dan emisi yang dihasilkan. 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). Kemampuan pengoksidasi ozon bersama dengan bagaimana ozon mengandung lebih banyak energi potensial kimia dari pada oksigen dapat menghasilkan tekanan dan suhu produk yang jauh lebih tinggi selama pembakaran (Westbrook, 1984). Reaksi ozonasi tersebut berarti juga adanya reaksi pemutusan ikatan rangkap, terutama ikatan rangkap tunggal, yang pada akhirnya akan dihasilkan senyawa-senyawa dengan rantai karbon yang lebih sederhana dibandingkan senyawa asalnya. Senyawa-senyawa hidrokarbon yang terbentuk tersebut diharapkan dapat juga memperbaiki karakteristik ester-ester tersebut jika digunakan sebagai bahan bakar ataupun juga sebagai aditif bahan bakar mesin diesel (Setijo Bismo, 2004). penambahan ozon pada proses pembakaran mesin juga telah dilakukan untuk mengontrol emisi, meningkatkan pengapian, perambatan api, dan meningkatkan stabilisasi api (W. Sun, 2019). Proses produksi ozon dilakukan dengan teknologi plasma yang mana merupakan teknologi yang mudah dan ramah lingkungan. (Surahman, 2022)

Peneliti lain (Ahmat Subari, 2022) juga menemukan bahwa penyempurnaan proses pencampuran bahan bakar ini dapat dilakukan dengan cara memasang alat ionisasi udara pada saluran udara masuk. Salah satu alat ionisasi udara yang dipakai pada penelitian tersebut adalah *Negative Ion Generator*. *Negative Ion Generator* adalah alat yang dapat menghasilkan ion-

ion negatif yang dapat membersihkan udara di sekitar. Apabila udara bersih tersebut masuk keruang bakar maka pembakaran yang terjadi pada ruang bakar akan lebih sempurna, sehingga dapat meningkatkan *performance* mesin dengan pencapaian torsi maximum pada putaran rendah dan mengurangi kadar emisi gas buang. (Muhammad Ady Susanto, 2011). Peneliti sebelumnya (La Ode Nuzul Fajrin, 2020) juga telah melakukan penelitian tentang getaran dan kebisingan dengan metode purifikasi pada bahan bakar biodiesel dan didapatkan hasil bahwasanya metode tersebut dapat mengurangi getaran dan kebisingan pada mesin diesel tipe TV-1.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka proses ozonisasi dan ionisasi pada B30 diharapkan mampu mengurangi getaran dan kebisingan pada mesin diesel tipe TV-1. Maka dari itu, penulis akan melakukan penelitian dengan judul **“OZONISASI DAN IONISASI B30 TERHADAP GETARAN DAN KEBISINGAN MESIN DIESEL TIPE TV-1”**

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh ozonisasi dan ionisasi pada B30 terhadap kinerja mesin diesel tipe TV-1?
2. Bagaimana pengaruh ozonisasi dan ionisasi pada B30 terhadap getaran mesin diesel tipe TV-1?
3. Bagaimana pengaruh ozonisasi dan ionisasi pada B30 terhadap kebisingan pada mesin diesel tipe TV-1?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh ozonisasi dan ionisasi pada B30 terhadap kinerja mesin diesel tipe TV-1?
2. Menganalisis pengaruh ozonisasi dan ionisasi pada B30 terhadap getaran mesin diesel tipe TV-1?
3. Menganalisis pengaruh ozonisasi dan ionisasi pada B30 terhadap kebisingan pada mesin diesel tipe TV-1?

1.4. Batasan Masalah

1. Mesin yang digunakan adalah mesin diesel tipe TV-1.
2. Bahan bakar yang digunakan adalah B30 yang kemudian diozonisasi dan ionisasi dengan variasi waktu (30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit) serta jumlah sikat pada generator ion sebanyak 10 *probe*.
3. Rasio kompresi yang digunakan adalah 14:1, 16:1 dan 18:1.
4. Pembebanan yang diberikan tiap rasio kompresi yaitu 3 kg, 6 kg dan 9 kg.
5. Pengukuran getaran dan kebisingan dilakukan dengan menggunakan alat *vibexpert II* dan *sound level meter*.
6. Pengukuran kebisingan dilakukan pada arah depan, samping dan belakang kemudian dirata-ratakan, jarak *sound level meter* dari silinder mesin sejauh satu meter dan setinggi dada (95 cm) sesuai dengan standar ergonomika.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Mengetahui pengaruh ozonisasi dan ionisasi pada B30 terhadap kinerja, getaran dan kebisingan mesin diesel TV-1.
2. Memberikan informasi mengenai perbandingan kinerja, getaran dan kebisingan sebelum dan sesudah ozonisasi dan ionisasi pada B30.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk penelitian lebih lanjut yang berkaitan dengan efek penambahan ozon dan ion pada bahan bakar B30 terhadap getaran dan kebisingan yang dihasilkan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Mesin Diesel

Mesin diesel adalah mesin pembakaran dalam, karena cara penyalaan bahan bakarnya dilakukan dengan menyemprotkan bahan bakar ke dalam udara yang bertekanan dan bertemperatur tinggi, sebagai akibat dari proses kompresi ada beberapa hal yang mempengaruhi kinerja mesin diesel, antara lain besarnya perbandingan kompresi, tingkat homogenitas campuran bahan bakar dengan udara, karakteristik bahan bakar (termasuk *cetane number*), dimana cetane number menunjukkan kemampuan bahan bakar itu sendiri. (Farhan Maulana Rahman dkk., 2021)

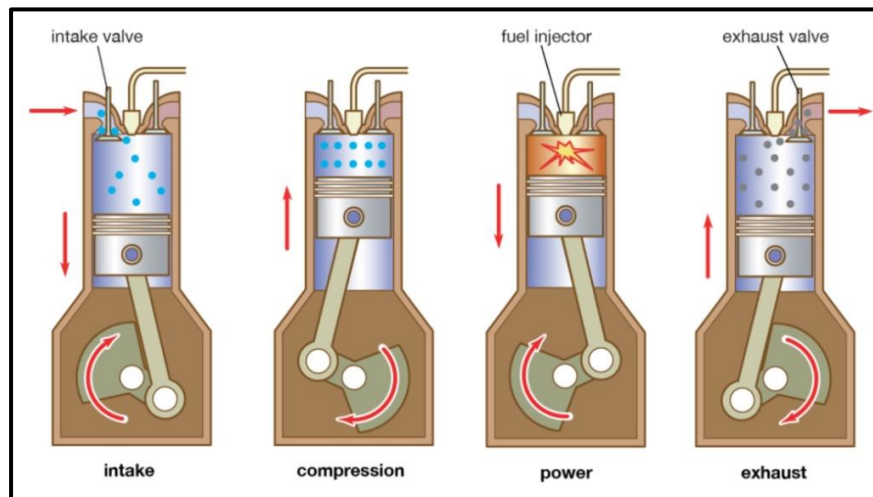
Motor diesel sebagai sebuah sumber tenaga penggerak yang memiliki prinsip hampir sama dengan motor bensin (*gasoline engine*) dimana energi dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar, Ada beberapa perbedaan utama antara karakteristik mesin bensin dan mesin diesel. Mesin diesel menggunakan prinsip *auto-ignition* (terbakar sendiri). Sedangkan mesin bensin menggunakan prinsip *spark-ignition* (pembakaran yang dipicu oleh percikan api pada busi). Oleh karenanya motor diesel sering juga disebut dengan "*compression ignition engine*". Agar dapat mencapai suhu dan tekanan pembakaran, tekanan kompresi pada mesin diesel diusahakan mampu mencapai 30-45kg/cm², agar temperatur udara yang dikompresikan mencapai 500 °C, sehingga bahan bakar mampu terbakar dengan sendirinya tanpa dipicu oleh letikan bunga api dari busi.

Untuk dapat mencapai tekanan dan temperatur yang demikian, pada motor diesel harus memiliki perbandingan kompresi yang lebih tinggi kira-kira mencapai 25:1 dan membutuhkan gaya yang lebih besar untuk memutarinya. Sehingga motor diesel memerlukan alat pemutar seperti motor starter dan baterai yang berkapasitas besar pula. Disamping itu motor diesel memiliki efisiensi panas yang sangat tinggi, hemat konsumsi bahan bakar, memiliki kecepatan lebih rendah dibanding mesin bensin, getarannya sangat besar dan agak berisik, momen yang didapatkan lebih besar, sehingga motor

ini umumnya digunakan pada kendaraan niaga, kendaraan penumpang dan sebagai motor penggerak lainnya. Karena tekanan pembakaran yang tinggi, maka mesin diesel harus dibuat dari bahan yang tahan terhadap tekanan tinggi dan harus mempunyai struktur yang sangat kuat. Disamping itu getaran motor yang dihasilkan sangat besar, ini diakibatkan oleh tekanan pembakaran maksimum yang dicapai hampir dua kali lipat lebih besar dari pada motor bensin, sehingga suara dan getaran mesin diesel menjadi lebih besar.

2.2. Prinsip Kerja Mesin Diesel

Motor diesel empat langkah bekerja bila melakukan empat kali gerakan piston (dua kali putaran engkol) menghasilkan satu kali kerja.



Gambar 2.1 Prinsip kerja mesin diesel empat langkah

Secara skematis prinsip kerja motor diesel empat langkah dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Langkah Hisap

Pada langkah hisap, piston bergerak dari titik mati atas (TMA) menuju titik mati bawah (TMB) sehingga membentuk kevakuman di dalam ruang bakar (silinder). Pada langkah ini katup hisap yang menyebabkan udara segar masuk keruang bakar dan katup buang tertutup rapat.

2. Langkah Kompresi

Pada langkah ini kedua katup menutup, piston bergerak dari titik TMB ke TMA gerakan piston ke atas menekan udara yang ada dalam silinder yang menyebabkan temperatur naik. Pada saat posisi piston 5° setelah mencapai TMA, bahan bakar diinjeksikan kedalam ruang bakar .

3. Langkah Usaha/Ekspansi

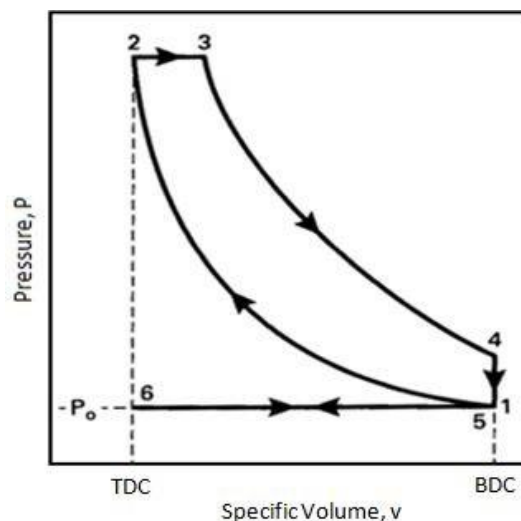
Karena injeksi bahan bakar kedalam silinder yang bertemperatur tinggi, bahan bakar terbakar dan berekspansi menekan piston untuk melakukan kerja sampai piston mencapai TMB Kedua katup tertutup pada langkah ini.

4. Langkah Buang

Ketika piston hampir mencapai TMB, katub buang terbuka, katub masuk tetap tertutup. Ketika piston bergerak menuju TMA sisa pembakaran terbuang keluar ruang bakar. Akhir langkah ini adalah ketika piston mencapai TMA. Siklus kemudian berulang lagi.

2.3. Siklus Mesin Diesel

Siklus diesel adalah siklus teoritis untuk *compression-ignition engine* atau mesin diesel. Dalam diagram P-V, siklus diesel dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.2 Siklus Diagram Diesel P-V

Proses dari siklus tersebut yaitu:

6-1 = Langkah Hisap pada $P = c$ (isobarik)

1-2 = Langkah Kompresi, P bertambah, $Q = c$ (isentropik / reversibel adiabatik)

2-3 = Pembakaran, pada tekanan tetap (isobarik)

3-4 = Langkah Kerja P bertambah, $V = c$ (isentropik / reversibel adiabatik)

4-5 = Pengeluaran Kalor sisa pada $V = c$ (isokhorik)

5-6 = Langkah Buang pada $P = c$

2.4. VCR (*Variable Compression Ratio*)

Mesin diesel terhubung ke *Dynamometer* tipe arus eddy untuk memuat. Rasio kompresi dapat diubah tanpa menghentikan mesin dan tanpa mengubah geometri ruang bakar dengan 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 untuk diagram $P\theta - PV$. Ketentuan juga dibuat untuk menghubungkan aliran udara, aliran bahan bakar, suhu dan pengukuran beban. Pengaturan memiliki panel yang terdiri dari kotak udara, dua tangki bahan bakar untuk uji campuran, manometer, pengukur bahan bakar unit, pemancar untuk pengukuran aliran udara dan bahan bakar, indikator proses dan mesin indikator. Rotameter disediakan untuk air pendingin dan aliran air kalorimeter pengukuran. Pengaturan ini memungkinkan studi kinerja mesin VCR dengan *exhaust gas recirculation* (EGR) untuk daya rem, ditunjukkan daya, daya gesekan, *brake mean effective pressure* (BMEP), *indicated mean effective pressure* (IMEP), efisiensi termal rem, ditunjukkan efisiensi termal, efisiensi mekanik, efisiensi volumetrik, bahan bakar spesifik konsumsi, rasio A/F (*Air/Fuel*) dan keseimbangan panas. Performa Mesin Berbasis *Lab view* Paket perangkat lunak analisis "*Enginesoft*" disediakan untuk kinerja online evaluasi.



Gambar 2.3 Mesin Diesel TV-1

Mesin yang digunakan adalah silinder tunggal empat langkah, vertikal, berpendingin air, disedot alami, injeksi langsung mesin diesel. Transduser tekanan digunakan untuk memantau tekanan injeksi. Peralatan mesin dihubungkan dengan perangkat pengukuran emisi gas. alat analisis gas, juga dilengkapi dengan instrumen yang diperlukan untuk mengukur tekanan 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. *Thermocouple* dengan indikator suhu terhubung pada pipa knalpot untuk mengukur suhu knalpot gas.

2.5. Teori Pembakaran

Pada motor bakar, proses pembakaran merupakan reaksi kimia yang berlangsung sangat cepat antara bahan bakar dengan oksigen yang menimbulkan panas sehingga mengakibatkan tekanan dan temperatur gas yang tinggi. Kebutuhan oksigen untuk pembakaran diperoleh dari udara yang memerlukan campuran antara oksigen dan nitrogen, serta beberapa gas lain

dengan persentase yang relatif kecil dan dapat diabaikan. Reaksi kimia antara bahan bakar dan oksigen yang diperoleh dari udara akan menghasilkan produk hasil pembakaran yang komposisinya tergantung dari kualitas pembakaran yang terjadi. Dalam pembakaran proses yang terjadi adalah oksidasi dengan reaksi sebagai berikut. (Mochamad wahyudi dkk, 2019)

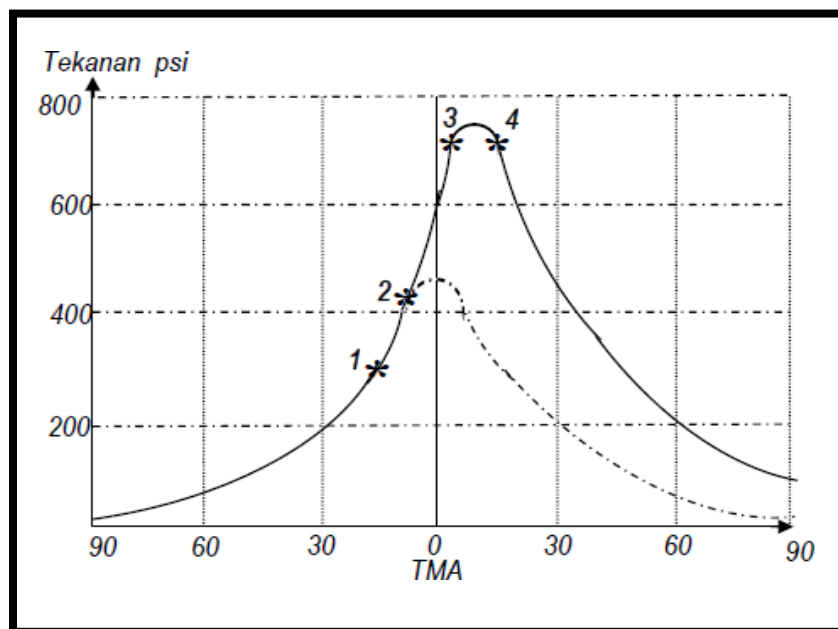
Hasil dari pembakaran mesin diesel ditentukan oleh bahan bakar (HSD), oksigen dan kompresi yang tinggi. Namun suatu hal yang tidak kalah pentingnya adalah saat yang tepat menyemprotkan bahan bakar tadi, ini yang kita sebut dengan saat penyemprotan (*Injection timing*). Bila saat penyemprotan tak tepat maka tidak mungkin kita bisa mendapatkan daya optimal sebaliknya. Apabila saat penyemprotan disetel tepat berarti mesin diesel tersebut akan mencapai daya yang optimal, tercapai efisiensi bahan bakar, kondisi mesin normal dan awet sehingga akan memperpanjang umur mesin dan menekan biaya pemeliharaan. (Achmad Kusairi Samlawi, 2018)

Masing-masing tipe mesin diesel berbeda berdasarkan pabrik pembuat dan disesuaikan dengan kapasitas masing-masing mesin berdasarkan urutan pengapiannya (*Firing order*) Penyemprotan bahan bakardapat dilakukan pada saat tekanan kompresi, katup masuk dan katup buang pada posisi tertutup, ruang bakar mencapai temperatur nyala, volume didalam silinder menurun, tekanan dan temperatur udara naik. Pada akhir langkah kompresi pada mesin diesel tekanan udara didalam silinder mencapai ± 30 bar dan temperatur mencapai ± 5500 °C. Selama langkah kompresi piston bertugas menahan udara didalam silinder (ruang bakar) dan pada roda gila dapat terlihat berapa derajat poros engkol terbaca misalnya 220 sebelum mencapai titik mati atas (TMA) untuk mesin diesel pompa injeksi bahan bakar akan bekerja menekan bahan bakar ke dalam silinder dan terus akan mencapai kenaikan temperatur titik nyala. (Achmad Kusairi Samlawi, 2018)

Dan poros engkol terus berputar selama penyemprotan berlangsung. Selama penyemprotan tekanan maximum didalam silinder naik ± 75 bar dan temperature pembakaran bisa meningkat mencapai 15000°C atau lebih. Pemahaman yang lebih baik tentang apa yang terjadi dalam silinder

mesin diesel selama periode pembakaran dapat diperoleh dengan cara penyajian secara grafik, seperti pada gambar. (Achmad Kusairi Samlawi, 2018)

Perubahan tekanan ditunjukkan pada garis koordinat dan waktu ditunjukkan sebagai aksisnya, gambar dibawah menunjukkan perubahan tekanan selama 1800 yaitu dari 900 sebelum TMA sampai 900 sesudah TMA. Kurva titik-titik yang simetris pada sisi kanan menunjukkan ekspansi pengisian udara tanpa adanya bahan bakar. Setelah bahan bakar di injeksikan dan terjadi pembakaran, maka prosesnya akan terjadi 4 periode yang terpisah. (Achmad Kusairi Samlawi, 2018)



Gambar 2.4 Perubahan tekanan pada saat proses pembakaran

Periode pertama : Dimulai dari titik 1 sampai titik 2 yaitu bahan bakar mulai disemprotkan. Periode ini disebut persiapan pembakaran atau periode kelambatan (*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)

- Periode kedua : Yaitu antara 2 dan 3 Pada titik 2 bahan bakar mulai terbakar dengan cepat sehingga tekanan naik dengan cepat pula dan sementara piston juga masih bergerak menuju TMA. Selain itu bahan bakar yang terbakar juga makin banyak, sehingga walaupun piston mulai bergerak menuju TMB tapi tekanan masih naik sampai titik 3. Periode ini disebut periode cepat. (Achmad Kusairi Samlawi, 2018)
- Periode ketiga : Dinamai periode 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)
- Periode keempat : Yaitu periode dimana pembakaran masih berlangsung, karena adanya sisa bahan bakar belum terbakar dari periode sebelumnya walaupun sudah tidak ada pemasukan bahan bakar. (Achmad Kusairi Samlawi, 2018)

2.6. Karakteristik Bahan Bakar

a. Titik nyala

Titik nyala adalah titik temperatur terendah dimana bahan bakar dapat menimbulkan uap yang dapat terbakar ketika disinggungkan dengan perciakan atau nyala api. Nilai titik nyala berbanding terbalik penguapan.

b. Viskositas

Viskositas menunjukkan resistensi fluida terhadap aliran. Semakin tinggi viskositas bahan bakar, semakin sulit bahan bakar diinjeksikan. Peningkatan viskositas juga berpengaruh secara langsung terhadap kemampuan bahan bakar tersebut bercampur dengan udara.

c. Nilai kalor

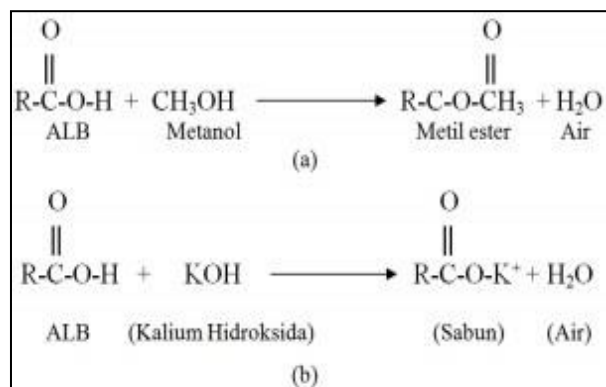
Nilai kalor menunjukkan energi kalor yang dikandung dalam setiap satuan massa bahan bakar. Semakin tinggi nilai kalor suatu bahan bakar, semakin besar energi yang dikandung bahan bakar tersebut persatuan massa.

d. Massa jenis

Massa jenis menunjukkan besarnya perbandingan massa dari suatu bahan bakar dengan volume.

2.7. Bahan Bakar Biodiesel

Biodiesel merupakan monoalkil ester dari asam-asam lemak rantai panjang yang terkandung dalam minyak nabati atau lemak hewani untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Biodiesel dapat diperoleh melalui reaksi transesterifikasi trigliserida dan atau reaksi esterifikasi asam lemak bebas tergantung dari kualitas minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku. Transesterifikasi adalah proses yang mereaksikan trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek seperti methanol atau etan. Katalis yang digunakan pada metode esterifikasi adalah katalis asam kuat, misalnya H₂SO₄ atau HCl. Katalis asam tersebut selain mengesterifikasi ALB juga mengonversi trigliserida menjadi metil ester tetapi dengan kecepatan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan transesterifikasi menggunakan katalis basa. (Djeni Hendra, dkk., 2018).



Gambar 2.5 (a) Reaksi konversi asam lemak bebas menjadi metil ester, (b) Reaksi penyabunan.

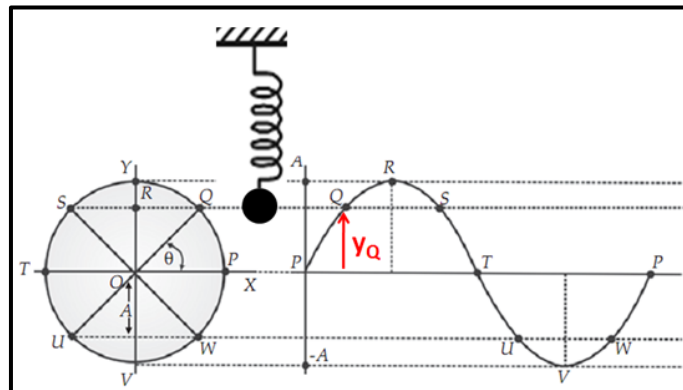
Menurut Tri Yuswidjanto dan Mahmud Syam (2018), Peneliti Lembaga Afiliasi Penelitian dan Industri (LAPI) Institut Teknologi Bandung (ITB). Biodiesel memiliki sejumlah keuntungan yaitu dapat diperbaharui karena merupakan produk pertam ina, memiliki cetane number yang tinggi. volatile rendah dan bebas sulfur (SOx), serta memungkinkan diproduksi dalam skala industri kecil, sehingga dapat menggerakkan ekonomi pedesaan. Disamping itu, Biodiesel lebih mudah terurai (*biodegradable*) oleh mikroorganisme dibanding minyak mineral serta dapat menghemat penggunaan minyak Solar, yang berarti mengurangi ketergantungan impor bahan bakar minyak. (Jurio Susilo. 2014)

2.8. Getaran (*Vibration*)

Getaran adalah gerakan bolak-balik dalam suatu interval waktu tertentu. Semua benda yang mempunyai massa dan elastisitas mampu bergetar, jadi kebanyakan mesin dan struktur rekayasa (*engineering*) mengalami getaran sampai derajat tertentu dan rancangannya biasanya memerlukan pertimbangan sifat osilasinya. Gerakan bolak-balik ini bisa terjadi secara harmonik, periodik, dan / atau acak. Gerakan acak berarti mesin bergerak dengan cara yang tidak terduga.

a. Gerak Harmonik

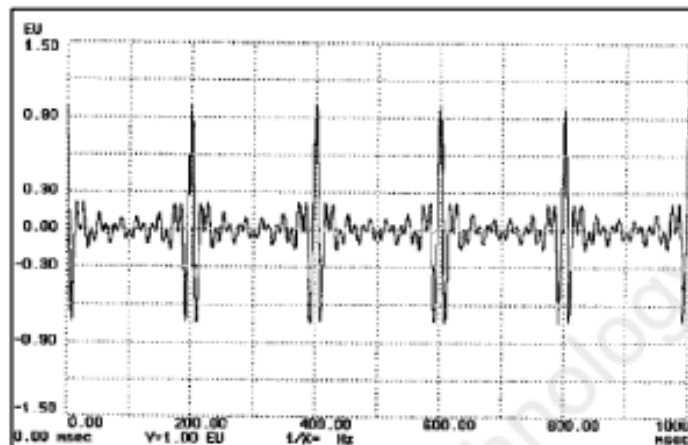
Gerak harmonik adalah gerak bolak-balik secara teratur melalui titik keseimbangannya dengan banyaknya getaran benda dalam setiap *secon* selalu sama atau konstan. Semua gerak harmonik bersifat periodik, artinya berulang di beberapa titik waktu. Dalam sistem linier, ketidakseimbangan dalam peralatan berputar dapat menghasilkan gerakan harmonis. Namun, dengan banyak variabel seperti masalah gigi, kelonggaran, cacat bantalan, *misalignment*, dan lain-lain, gerak harmonik semacam itu tidak sering ditemukan. (James, 2003)



Gambar 2.6 Gerak Harmonik

b. Gerak Periodik

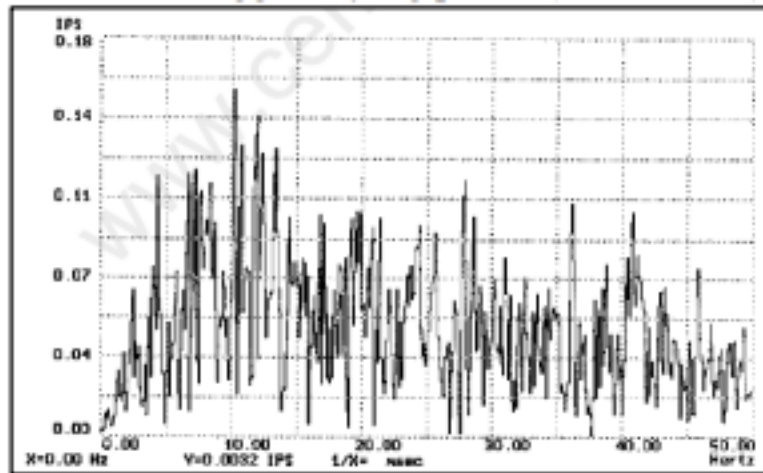
Gerakan periodik adalah semua gerakan yang berulang secara berkala. Gerakan periodik adalah setiap gerakan yang terulangi sendirinya dalam periode waktu yang sama. Misalnya, kopling motor yang tidak selaras dan longgar dapat memiliki tonjolan sekali per putaran poros. Meskipun gerakan ini tidak harmonis, ini adalah gerakan periodik. (James, 2003)



Gambar 2.7 Gerak Periodik

c. Gerak Acak

Gerak acak adalah gerakan yang terjadi secara tidak menentu dan tidak dapat diulang. Contohnya adalah hujan yang menghantam atap dan pin bowling yang terjatuh. Gerak acak juga disebut *noise*. Sinyal waktu dari gerak acak ini akan berisi semua frekuensi dalam rentang yang diberikan. Seringkali, gerakan acak dalam mesin disebabkan oleh kelonggaran yang parah. (James, 2003)



Gambar 2.8 Gerak Acak

Getaran juga memiliki 3 ukuran yang dijadikan sebagai parameter dari pengukuran suatu getaran. Ketiga parameter itu ialah sebagai berikut:

1. Amplitudo

Amplitudo juga diartikan sebagai jarak atau simpangan terjauh dari titik keseimbangan dalam sinusoidal. Amplitudo ialah nilai besar sinyal vibrasi yang dihasilkan dari pengukuran vibrasi yang menunjukkan besar gangguan atau vibrasi yang terjadi. Makin besar amplitudo maka makin besar getaran atau gangguan pada suatu benda atau media.

2. Frekuensi

Frekuensi yaitu banyaknya jumlah getaran gelombang dalam satu putaran waktu. Frekuensi dari pengukuran vibrasi dapat mengartikan jenis gangguan yang terjadi. Frekuensi juga biasanya ditunjukkan dalam satuan hertz (Hz).

3. *Phase Vibrasi*

Phase vibrasi merupakan penggambaran akhir dari karakteristik suatu getaran (*vibrasi*) pada suatu benda atau mesin yang sedang bekerja. Phase merupakan perpindahan posisi dari bagian-bagian yang bergetar secara relatif untuk menentukan titik referensi atau titik awal pada bagian lain yang bergetar

2.9. Analisis Getaran

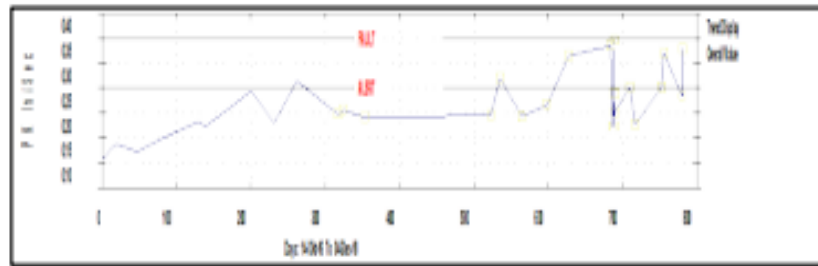
Analisis getaran digunakan untuk menentukan kondisi operasi dan mekanik peralatan. Keuntungan utama adalah bahwa analisis getaran dapat mengidentifikasi masalah yang berkembang sebelum mereka menjadi terlalu serius dan menyebabkan *downtime* yang tidak terjadwal.

Semua mesin yang berputar menghasilkan getaran yang merupakan fungsi dari dinamika mesin, seperti *misalignment* dan *imbanlance* bagian-bagian yang berputar. Mengukur amplitudo getaran pada frekuensi tertentu dapat memberikan informasi berharga tentang keakuratan kelurusan dan keseimbangan poros, kondisi bantalan atau roda gigi, dan efeknya pada mesin karena resonansi dari selubung, pipa dan struktur lainnya. Pengukuran getaran adalah metode yang efektif dan tidak mengganggu untuk memantau kondisi alat berat saat *start-up*, *shutdown*, dan operasi normal. Analisis getaran digunakan terutama pada peralatan berputar seperti turbin uap dan gas, pompa, motor, kompresor, mesin kertas, pabrik rolling, peralatan mesin dan *gearbox*.

Ini bisa dicapai dengan melakukan pemantauan berkala getaran mesin baik secara terus menerus atau pada interval terjadwal. Pemantauan getaran secara teratur dapat mendeteksi bantalan yang memburuk atau rusak, kerugian mekanis dan gigi aus atau rusak. Analisis getaran juga dapat mendeteksi ketidakselarasan dan ketidakseimbangan sebelum kondisi ini menyebabkan kerusakan pada bantalan atau poros. (Scheffer dan Girdhar, 2004). Pada dasarnya data getaran dapat ditampilkan dalam 3 bentuk grafik yaitu :

1. Data *Overall*

Data *overall* adalah pengukuran yang tidak difilter pada daerah frekuensi tertentu. Tujuannya adalah memperoleh gambaran kondisi mesin secara umum.

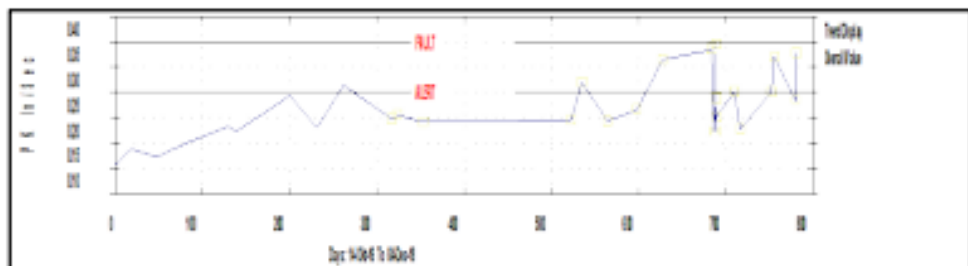


Gambar 2.9 Data Overall

2. Data Spectrum

Data *spectrum* adalah data yang digunakan untuk menemukan masalah dan penyebabnya dengan mengkaji pola perbandingan besarnya amplitudo getaran pada semua frekuensi yang mungkin terjadi.

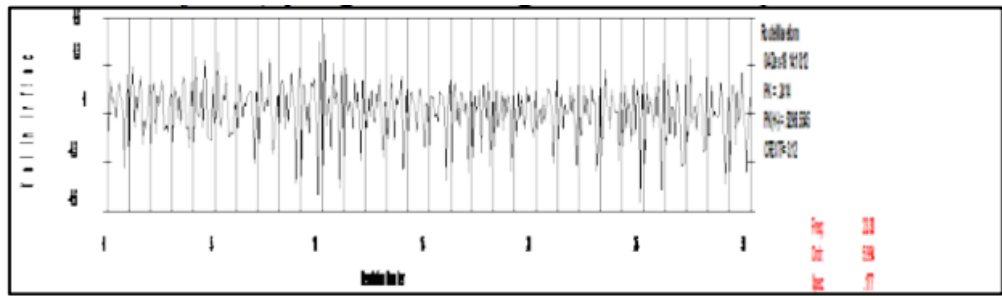
Dilihat dari tingkat keberhasilan dalam mendeteksi kelainan dan kerusakan mesin berdasarkan tingkat getarannya maka analisa *spectrum* merupakan cara yang paling berguna dibandingkan dengan cara analisa orbit maupun analisa fasa. Hal ini juga telah dibuktikan bahwa 85% masalah mekanis pada *rotating machinery* dapat diidentifikasi dengan cara melihat pada hasil pengukuran amplitudo getaran vs frekuensi ini.



Gambar 2.10 Data Spectrum

3. Data Weveform

Data *waveform* adalah grafik amplitudo vs time. Data *waveform* adalah data gabungan antara beberapa putaran beda yang akan menghasilkan data *waveform* yang akan menghasilkan grafik yang lebih spesifik, yang akan dibaca dengan FFT (*fast fourier transform*) yang akan menghasilkan data *spectrum*.



Gambar 2.11 Data Waveform

4. Root mean square

Root mean square digunakan untuk membandingkan getaran mesin pada kondisi yang berbeda root mean square pada signal akselerasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

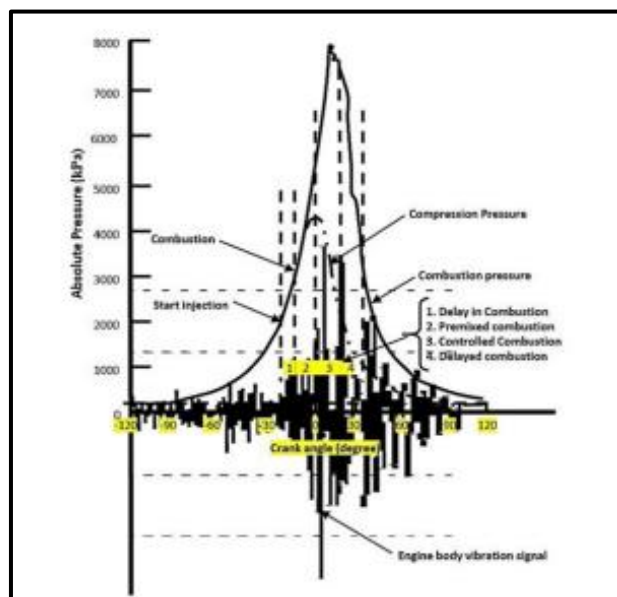
$$\alpha_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \alpha_k^2}$$

Dimana:

α_{RMS} = root mean square dari signal akselerasi

α = nilai akselerasi dari domain waktu

N = banyaknya akselerasi yang di hasilkan



Gambar 2.12 Simulasi kompresi dan pembakaran sesuai dengan getaran mesin

2.10. Standard Vibration ISO 10816

Standar ini dapat digunakan untuk menentukan tingkat getaran yang dapat diterima bagi berbagai kelas permesinan. Dengan demikian, untuk menggunakan standar ini, pertama-tama perlu mengklasifikasikan permesinan yang akan diuji sesuai Tabel 2.1. yang menunjukkan pedoman bagi kelayakan permesinan (ISO 10186-1:1995).

Tabel 2.1 Standard vibration ISO 10816

VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816					
Machine		Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
in/s	mm/s				
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28			
	0.02	0.45			
	0.03	0.71		good	
	0.04	1.12			
	0.07	1.80			
	0.11	2.80		satisfactory	
	0.18	4.50			
	0.28	7.10		unsatisfactory	
	0.44	11.2			
	0.70	18.0			
	0.71	28.0		unacceptable	
1.10	45.0				

Dengan membaca tabel diatas kita dapat mengkaitkan kondisi kerusakan permesinan dengan getaran sebagai monitoring perawatan berbasis kondisi. Standar yang digunakan adalah parameter kecepatan (rms) untuk mengindikasikan kerusakan. Warna-warna seperti terlihat pada Tabel mengklasifikasikan tingkat keparahan sesuai dengan kelas permesinan, sebagai berikut:

- Zona Good*, getaran dari mesin sangat baik dan dibawah getaran yang diizinkan.
- Zona Satisfactory*, getaran dari mesin baik dan dapat dioperasikan karena masih dalam batas yang diizinkan.
- Zona Unsatisfactory*, getaran dari mesin dalam batas toleransi dan hanya dioperasikan dalam waktu terbatas.
- Zona unacceptable*, getaran dari mesin dalam batas berbahaya dan kerusakan dapat terjadi pada mesin.

- e. *Class I*, bagian mesin dan motor listrik terpisah, secara integral bagian mesin dikaitkan sebagai permesinan lengkap dalam kondisi pengoperasian normal (motor listrik sampai 15kW).
- f. *Class II*, peralatan permesinan berukuran sedang (motor listrik dengan output 15-75 kW) tanpa fondasi khusus, mesin terpasang mati (hingga 300 kW) dengan fondasi khusus.
- g. *Class III*, mesin dengan penggerak utama yang lebih besar dan mesin-mesin besar lainnya dengan *rotating masses* terpasang mati pada fondasi padat dan fondasi berat yang indikatornya sulit bagi penjalaran getaran.
- h. *Class IV*, mesin dengan penggerak utama yang lebih besar dan mesin-mesin besar lainnya dengan *rotating masses*-terpasang pada fondasi yang indikatornya mudah bagi pengukuran getaran.

2.11. Kebisingan (*Noise*)

Bising adalah bunyi yang ditimbulkan oleh gelombang suara dengan intensitas dan frekuensi yang tidak menentu, berdasarkan frekuensi, tingkat tekanan bunyi, tingkat bunyi dan tenaga bunyi maka bising dibagi dalam 3 kategori :

1. *Occupational noise* (bising yang berhubungan dengan pekerjaan) yaitu bising yang disebabkan oleh bunyi mesin di tempat kerja, misal bising dari mesin ketik.
2. *Audible noise* (bising pendengaran) yaitu bising yang disebabkan oleh frekuensi bunyi antara 31,5 – 8.000 Hz.
3. *Impuls noise* (Impact noise = bising impulsif) yaitu bising yang terjadi akibat adanya bunyi yang menyentak, misal pukulan palu, ledakan meriam, tembakan bedil

Kebisingan terus menerus dimana fluktuasi intensitasnya tidak lebih dari 6 dB, kebisingan jenis ini dibagi menjadi beberapa bagian yaitu :

1. *Steady State Wide Band Noise*, Yaitu kebisingan seluruh energi akustik terbesar didalam daerah atau range frekuensi yang luas, seperti suara yang ditimbulkan oleh motor diesel, kompresor dan fan.
2. *Steady State Narrow Band Noise*, yaitu kebisingan yang seluruh energy akustiknya terbesar didalam daerah atau range frekuensi yang lebih sempit atau seolaholah terpusat pada suatu frekuensi. Contoh : suara katup gas.
3. Kebisingan terputus-putus (*intermittent Noise*), yaitu kebisingan dimana suara mengeras dan melemah secara perlahan-lahan. Contoh: Kebisingan yang ditimbulkan oleh kendaraan. Kebisingan Impulsif, yaitu kebisingan yang membutuhkan waktu kurang dari 35 mili detik untuk mencapai puncak intensitas. Bila *impulse* terjadi secara berulang-ulang dengan selang waktu kurang dari 0,5 detik. Kebisingan *impulsive* ini dapat diklasifikasikan sebagai kebisingan terus menerus (setiawan dkk 2015)

Tabel 2.2 Skala intensitas kebisingan (dBA)

Tingkat Kebisingan	Keterangan	Skala Intensitas
0-20	Gemerisik daun suara gemerisik	Sangat tenang
20-40	Perpustakaan, percakapan	Tenang
40-60	Radio pelan, percakapan keras rumah, gaduh kantor	Sedang
60-80	Perusahaan, radio keras dan jalan	Keras
80-100	Peluit polisi, jalan raya, pabrik tekstil dan pekerja mekanis	Sangat keras
100-120	Ruang ketel, mesin turbin uap mesin diesel besar dan kereta bawah tanah	Sangat amat keras
>120	Ledakan bom, mesin jet dan mesin roket	Menulikan

Tabel 2.3 Nilai ambang batas kebisingan (dBA)

Waktu Pemaparan Perhari	Intensitas kebisingan dalam dB
8 Jam	85
4	88
2	91
1	94
30 Menit	97
15	100
7,5	103
3,75	106
0,94	112
28,12 Detik	115
14,06	118
1,88	109
7,03	121
3,52	124
1,76	127
0,88	130
0,44	133
0,22	136
0,11	139
Tidak Boleh	140

2.12. Ozon

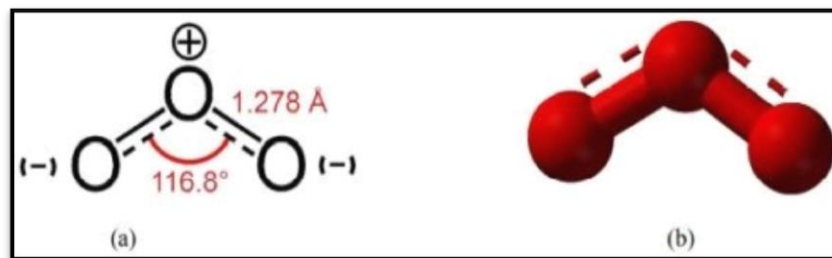
Ozon dihasilkan dari O₂ atau udara dengan pelepasan yang dihasilkan pada permukaan elemen pelepasan ditempatkan di reaktor pelepasan (W. Sun, 2019). Sebagian besar reaksi dengan senyawa anorganik, ozon bereaksi dengan partisipasi satu atom oksigen dan dua lainnya terpisah sebagai O₂. Biasanya, unsur-unsur dioksidasi ke tingkat oksidasi tertingginya. Ketika konsentrasi ozon melebihi 15-20%, ia memiliki warna biru. Pada tekanan atmosfer dan suhu 161,3 K, ozon menjadi cair dan berwarna biru tua (Wubin Weng, 2015)

Tabel 2.4 Waktu pengaruh ozon

Suhu (°C)	Waktu
-50	3 Bulan
-35	18 Hari
-25	8 Hari
20	3 Hari
120	1,5 jam
250	1,5 detik

a. Interaksi Ozon-Hidro Karbon

Ozon adalah molekul anorganik dengan rumus kimia O₃. Ozon adalah alotrop oksigen yang jauh lebih stabil dibandingkan dengan alotrop diatomik O₂.



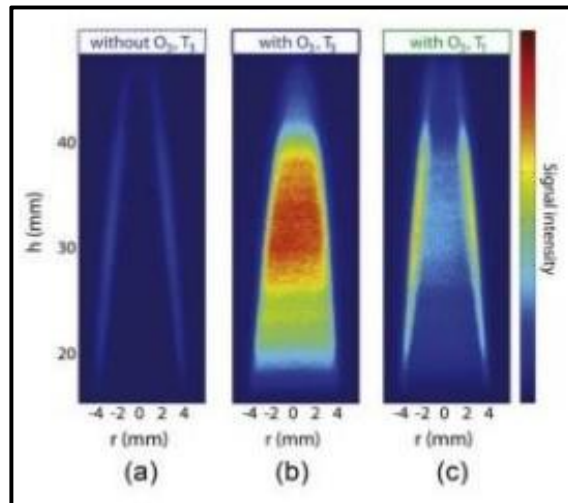
Gambar 2.13 Rumus kerangka ozon (a) model bola dan (b) model batang dari molekul Ozon

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.

b. Pengaruh Ozon Pada Karakteristik Pembakaran

Menambahkan ozon terbukti mampu menjadi terobosan baru dalam mekanisme oksidasi. Perubahan unsur dalam kimia pembakaran ini menyebabkan terjadinya 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

CH₂O dilakukan untuk memahami mekanisme dari dampak ozon pada oksidasi metana. peningkatan yang cukup besar dalam produksi formaldehida diamati ketika ozon ditambahkan ke campuran CH₄- udara. Efek ini diamati untuk suhu dan rasio kesetaraan yang berbeda. Efek ini diamati untuk suhu dan rasio kesetaraan yang berbeda.



Gambar 2.14 Peningkatan produksi CH₂O yang diinduksi oleh ozon.

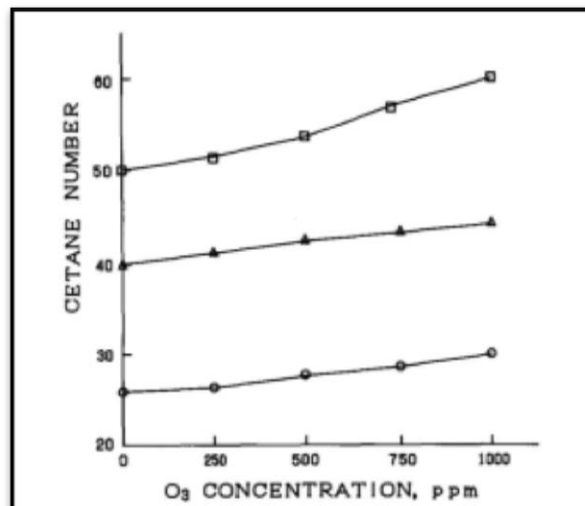
Kimia oksidasi dengan mudah mengungkap mekanisme di balik peningkatan produksi formaldehida. Begitu ozon menyemai campuran bahan bakar-udara, atom oksigen yang berasal dari dekomposisi molekul O₃ bereaksi dengan molekul CH₄, menghasilkan radikal OH yang bereaksi cepat dengan metana. Metana kemudian diubah menjadi formaldehida melalui urutan reaksi $\text{CH}_4 \rightarrow \text{CH}_3 - \text{CH}_3\text{O} \rightarrow \text{CH}_2\text{O}$. Melalui reaksi ini beberapa radikal OH diproduksi, sehingga akan meningkatkan reaktivitas sistem secara keseluruhan (Pinazzi, 2017).

a. Dampak ozon pada pembakaran mesin IC (*Internal Combustion*)

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

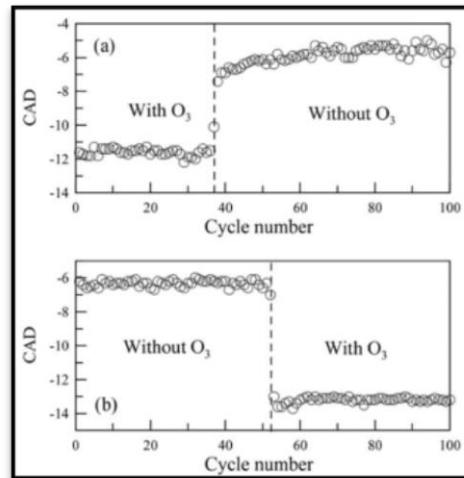
bakar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tergantung pada kondisi awal yang dipilih, 500 ppm ozon berhubungan dengan peningkatan *catane number* (CN) dari 2 menjadi 4, yang secara jelas menunjukkan efek peningkatan ozon pada reaktivitas bahan bakar.

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. aplikasi komersial skala besar.



Gambar 2.15 Korelasi antara ozon dan *catane number* (CN) bahan bakar untuk kondisi awal yang berbeda

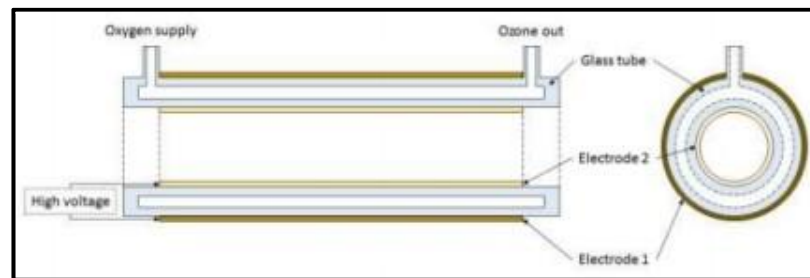
Potensi generator ozon untuk kontrol siklus-ke-siklus pembakaran diselidiki, dan hasilnya menunjukkan bahwa dengan mengalihkan *power supply* dengan generator ozon terjadi perubahan konsekuen dari 0 menjadi 49 ppm konsentrasi ozon dalam aliran udara masuk menyebabkan variasi fase pembakaran dalam satu siklus mesin, seperti yang dapat diamati pada Gambar 2.16 berikut:



Gambar 2.16 Variasi penahanan nyala api utama yang diinduksi dengan menghidupkan dan mematikan generator ozon. (a) Kasus langsung off-on. (b) Balikkan kasus off – on.

2.13. 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 2.17 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 O₃. 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).

2.14. Ion

Kata *ion* berasal dari bahasa Yunani: *ión*, *ion*, "sedang pergi", kata kerja bentuk sedang dari bahasa Yunani: *íēvai*, *ienai*, "pergi". Istilah ini diperkenalkan oleh fisikawan dan kimiawan Inggris Michael Faraday pada tahun 1834 untuk menyebut spesies tak dikenal yang pergi dari satu elektrode ke elektrode lain melalui media berair. Faraday tidak mengetahui sifat spesies ini, tetapi ia mengetahui bahwa ketika logam larut ke dalam dan memasuki larutan pada satu elektrode, logam baru muncul dari larutan pada elektrode lainnya; zat tersebut telah bergerak melalui larutan dalam suatu arus. Ini membawa materi dari satu tempat ke tempat lain.

Faraday juga memperkenalkan kata *anion* untuk ion bermuatan negatif, dan *kation* untuk ion bermuatan positif. Dalam tatanama Faraday, kation dinamakan demikian karena mereka tertarik ke katode dalam perangkat galvanik dan anion dinamakan demikian karena mereka tertarik ke anode. Svante Arrhenius mengajukan penjelasannya, pada disertasinya tahun 1884, bahwa faktanya garam kristal padat terdisosiasi menjadi pasangan partikel bermuatan ketika melarut. Disertasinya ini membuat Arrhenius memperoleh Nobel Kimia tahun 1903. Penjelasan Arrhenius adalah bahwa dalam pembentukan larutan, garam terdisosiasi menjadi ion-ion Faraday. Arrhenius mengusulkan bahwa ion terbentuk meskipun tanpa adanya arus listrik.

Ion dalam keadaan mirip gasnya bersifat sangat reaktif dan akan cepat berinteraksi dengan ion yang memiliki muatan berlawanan menghasilkan molekul netral atau garam ionik. Ion juga dihasilkan dalam keadaan cair atau padat ketika garam berinteraksi dengan pelarut (misalnya, air) menghasilkan "ion tersolvasi", yang lebih stabil. Ion-ion bergerak saling menjauhi untuk berinteraksi dengan cairan dengan alasan yang melibatkan perubahan energi dan entropi. Spesies yang terstabilkan ini lebih banyak dijumpai di lingkungan bertemperatur rendah. Contoh umum adalah ion yang terdapat dalam air laut, yang berasal dari garam-garam terlarut.

Seluruh ion memiliki muatan, yang berarti, seperti objek-objek bermuatan lainnya, mereka:

- Tertarik dengan muatan listrik yang berlawanan (positif kepada negatif dan sebaliknya),
- Menolak muatan sejenis
- Ketika bergerak, *trayektori* (lintasan) mereka dapat dibelokkan oleh medan magnet.

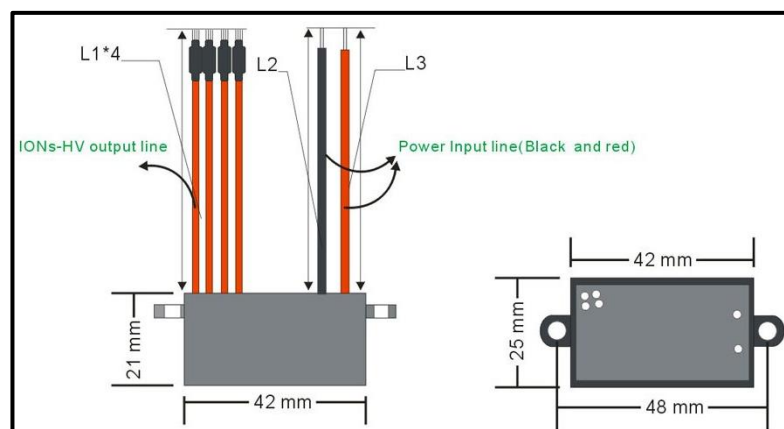
Elektron, karena massanya yang kecil sehingga sifat menempati ruangnya yang besar dianggap sebagai gelombang materi (*matter wave*). Ini menentukan seluruh ukuran atom dan molekul yang memiliki elektron. Anion (ion bermuatan negatif) lebih besar daripada molekul atau atom induknya, karena kelebihan elektron saling tolak-menolak satu sama lain sehingga menambah ukuran fisik ion, dan ukurannya ditentukan oleh awan elektronnya. Dengan demikian, secara umum, kation berukuran lebih kecil daripada atom atau molekul induknya karena ukuran awan elektronnya juga lebih kecil. Kation hidrogen tidak memiliki elektron sama sekali, sehingga hanya memiliki proton tunggal - jauh lebih kecil daripada atom hidrogen.

Ionisasi adalah proses fisik mengubah atom atau molekul menjadi ion dengan menambahkan atau mengurangi partikel bermuatan seperti elektron atau lainnya. Proses ionisasi ke muatan positif atau negatif sedikit berbeda. Ion bermuatan positif didapat ketika elektron yang terikat pada atom atau molekul menyerap energi cukup agar dapat lepas dari potensial listrik yang

mengikatnya. Energi yang dibutuhkan tersebut disebut potensial ionisasi. Ion bermuatan negatif didapat ketika elektron bebas bertabrakan dengan atom dan terperangkap dalam kulit atom dengan potensial listrik tertentu.

2.15. *Negative Ion Generator*

Negative Ion Generator adalah alat yang berguna untuk menghasilkan ion ion negatif. Ion-ion negatif yang dihasilkan ini berguna untuk membersihkan udara sehingga udara yang masuk kedalam ruang bakar akan menjadi bersih. Pada prinsipnya adalah alat ini digunakan untuk mengionsasi bahan bakar modern. Dengan proses tersebut alat ini mampu menambah ion negatif dalam udara sehingga pada proses pembakaran ion negatif diudara akan berikatan dengan ion positif pada bahan bakar sehingga memperoleh keseimbangan untuk pembakaran yang sempurna. Sehingga mampu mengurangi getaran dan kebisingan pada mesin diesel.



Gambar 2.18 *Negative Ion Generator*

2.16. Dasar - Dasar Perhitungan Kinerja Motor Bakar

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

a. Daya Efektif (BP)

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).

$$BP = \frac{2\pi \cdot N \cdot T}{60 \cdot 1000}$$

Dimana:

BP = Daya efektif, (BP)
 N = Putaran poros, (rpm)
 T = Torsi, (N.m)

b. Daya indikasi (IP)

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

$$IP = \frac{Pm \times s \times A \times 10^{-9} \times 10^2 \times \frac{N}{n}}{t}$$

Dimana:

IP = Daya indikasi, (kW)
 N = Putaran Poros, (rpm)
 Pm = Tekanan efektif rata-rata, (bar)
 s = Panjang langkah silinder, (110 mm)
 A = Luas penampang silinder, (mm²)
 t = Waktu pemakaian bahan bakar, (kg)
 10² = Konversi dari bar ke kPa
 10⁻⁹ = Konversi dari mm³ ke m³

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

c. Konsumsi Bahan Bakar (FC)

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

$$FC = \frac{VGU \times 10^{-6} \times \rho f \times 3600}{t}$$

Dimana :

- FC = Konsumsi Bahan Bakar (kg/h)
- VGU = Volume gelas ukur (cc)
- ρf = Massa jenis bahan bakar (kg/m³)
- t = Waktu pemakaian bahan bakar, (s)
- 10⁻⁶ = Faktor konversi cc ke m³
- 3600 = Faktor konversi detik ke jam

d. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

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

$$SFC = \frac{FC}{BP}$$

Dimana:

- SFC = Konsumsi bahan bakar spesifik, (kg/kW.h)
- FC = Konsumsi bahan Bakar, (kg/h)
- BP = Daya Efektif, (BP)

e. Konsumsi Udara Aktual (M_a)

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 M_a adalah:

$$M_a = Kd \times \frac{\pi}{4} \times D_o^2 \times 10^{-6} \times 3600 \times 4,4295 \times \sqrt{h_o \times \rho_{ud}}$$

Dimana:

M_a = Laju Aliran Udara aktual (kg/h)

Kd = Koefisien *discharge orifice* = (0,6)

D_o = Diameter *orifice*, (mm)

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

h_o = Beda tekanan pada manometer (mmWC)

ρ_{ud} = Massa jenis udara pada kondisi masuk, (kg/m^3)

3600 = Faktor konversi detik ke jam

f. Konsumsi 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:

$$M_{th} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times s \times \frac{N}{n} \times 60 \times 10^{-9} \times \rho_{ud}$$

Dimana:

10^{-9} = Faktor konversi dari mm^3 ke m^3

N = Putaran poros (rpm)

ρ_{ud} = Massa jenis udara (kg/m^3)

D = Diameter silinder (87,5 mm)

s = Panjang langkah silinder (110 mm)

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

g. Perbandingan Udara Bahan Bakar (AFR)

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

$$AFR = \frac{M_a}{FC}$$

Dimana:

M_a = Konsumsi udara aktual (kg/h)

FC = Konsumsi bahan bakar (kg/h)

h. Efisiensi Volumetris (η_{vol})

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

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

Dimana:

M_a = Konsumsi udara aktual (kg/h)

M_{th} = Konsumsi udara teoritis (kg/h)

i. Efisiensi Thermis (η_{th})

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

rumus berikut,

$$Q_{tot} = \frac{FC \times LHV_{bb}}{3600}$$

Dimana:

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

LHV_{bb} = Nilai kalor bawah bahan bakar (kJ/kg)

3600 = Faktor konversi jam ke detik

BP = Daya efektif (kW)