

SKRIPSI

**ANALISIS GETARAN DAN KEBISINGAN MESIN DIESEL TIPE TV 1
DENGAN PENAMBAHAN OZON DAN ION NEGATIF PADA SUPLAY
UDARA PEMBAKARAN**

Disusun Dan Diajukan Oleh:

ANDI DANDI RESKI ALAM SYAH

D021181310



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

SKRIPSI

**ANALISIS GETARAN DAN KEBISINGAN MESIN DIESEL TIPE TV 1
DENGAN PENAMBAHAN OZON DAN ION NEGATIF PADA SUPLAY
UDARA PEMBAKARAN**

Disusun dan diajukan oleh

ANDI DANDI RESKI ALAM SYAH

D021181310

**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 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL :

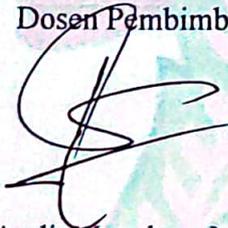
**ANALISIS GETARAN DAN KEBISINGAN MESIN DIESEL TIPE TV 1
DENGAN PENAMBAHAN OZON DAN ION NEGATIF PADA SUPLAT
UDARA PEMBAKARAN**

ANDI DANDI RESKI ALAM SYAH

D021 18 1310

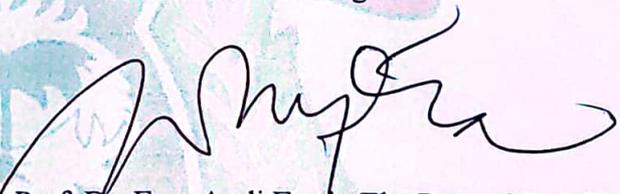
Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I



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

Dosen Pembimbing II



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

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT

NIP. 19720825 20003 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda – tangan dibawah ini:

Nama : Andi Dandi Reski Alam Syah

Nim : D021 18 1310

Judul Skripsi : Analisis Getaran dan Kebisingan Mesin Diesel Tipe
TV 1 dengan Penambahan Ozon dan Ion Negatif pada
Suplay Udara Pembakaran

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 dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Gowa, 18 Oktober 2022

Yang membuat pernyataan,


Andi Dandi Reski Alam Syah

ABSTRAK

Getaran dan kebisingan pada mesin dipengaruhi oleh kesempurnaan terjadinya proses pembakaran bahan bakar didalam silinder motor diesel tersebut. Dalam mengurangi getaran dan kebisingan pada mesin pembakaran, penambahan ozon dan ion negatif ke udara yang disuplai di ruang bakar dipelajari. Dalam penelitian ini, ozon dapat diproduksi dengan menggunakan teknologi plasma (plasma-ozone) yang menggunakan metode Dielectric Barrier Discharge (DBD). Udara dilewatkan dalam reaktor plasma-ozon pada tegangan yang berbeda dengan variasi ozon 3 ppm, 12 ppm, dan 18 ppm diperoleh. Konsentrasi ozon dideteksi menggunakan Ozone meter O3 Air Quality Detector. Sedangkan ion negatif diproduksi dengan Sebuah perangkat generator ion negatif yang dapat menghasilkan ion negatif yang berfungsi mengionisasi udara, dapat digunakan untuk udara masuk mesin dengan tujuan meningkatkan kualitas campuran bahan bakar. Hasil penelitian sebagai berikut: (1) nilai getaran minimum terjadi pada arah pengukuran horisontal dengan beban 5 kg rasio kompresi 14:1 dengan konsentrasi ion negatif 12 ppm, dimana nilai root mean square sebesar $0,21 \text{ m/sec}^2$. Sedangkan getaran maksimum terjadi pada arah pengukuran axial beban 7 kg rasio kompresi 18:1 dengan konsentrasi ozon 3 ppm, dimana nilai root mean square sebesar $1,227 \text{ m/sec}^2$. (2) Tingkat kebisingan pada mesin diesel tipe TV 1 berada pada range 82-88 db. Dengan kebisingan minimum terjadi pada rasio kompresi 14:1 dengan konsentrasi ozon dengan nilai kebisingan 82,9 db. Dan tingkat kebisingan maksimum terjadi pada rasio kompresi 18:1 dengan konsentrasi ion negatif, dengan nilai kebisingan 86,83 db. sehingga mesin diesel type TV1 pada laboratorium motor bakar di golongan sebagai intensitas bunyi sangat keras dengan skala intensitas bunyi sehingga waktu pengoperasian dibatasi 4 jam/hari.

Kata kunci : Ozon (O₃), Ion Negatif, Getaran, Kebisingan

ABSTRACT

Vibration and noise in the engine are influenced by the perfection of the fuel combustion process in the cylinders of the diesel motor. In reducing vibration and noise in the combustion engine, the addition of ozone and negative ions to the air supplied in the combustion chamber is studied. In this study, ozone can be produced using plasma technology (plasma-ozone) using the Dielectric Barrier Discharge (DBD) method. Air is passed in plasma-ozone reactors at different voltages with ozone variations of 3 ppm, 12 ppm, and 18 ppm obtained. Ozone concentrations are detected using an Ozone meter O₃ Air Quality Detector. While negative ions are produced with a generator ion negative that can produce negative ions that function to ionize air, can be used for air in the engine with the aim of improving the quality of the fuel mixture. The results of the study are as follows: (1) the minimum vibration value occurs in the direction of horizontal measurement with a load of 5 kg compression ratio of 14:1 with a negative ion concentration of 12 ppm, where the root mean square value is 0.21 m/sec². While the maximum vibration occurs in the direction of axial measurement of the load 7 kg compression ratio of 18:1 with an ozone concentration of 3 ppm, where the root mean square value is 1.227 m/sec². (2) The noise level in the TV 1 type diesel engine is in the range of 82-88 db. With a minimum noise, it is at a compression ratio of 14:1 with an ozone concentration with a noise value of 82.9 db. And the maximum noise level occurs at a compression ratio of 18:1 with a concentration of negative ions, with a noise value of 86.83 db. so that the TV1 type diesel engine in the combustion motor laboratory is classified as a very loud sound intensity with a sound intensity scale so that the operating time is limited to 4 hours / day.

Key words : Ozone (O₃), Negative Ions, Vibration, Noise

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur senantiasa kita panjatkan ke-hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan berkat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Analisis Getaran Dan Kebisingan Mesin Diesel Tipe Tv 1 Dengan Penambahan Ozon Dan Ion Negatif Pada Suplay Udara Pembakaran”** yang mana 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 peneliti ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta Bapak Muh Amir dan Ibu Andi Lenni yang selalu mendampingi, memberi semangat dan mendoakan.
2. Bapak Dr. Ir. Eng. Jalaluddin, ST., MT. sebagai Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudahan yang diberikan.
3. Bapak Ir. Andi Mangkau, MT. dan Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT sebagai Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II yang telah memberikan waktu, arahan, dan saran selama proses pengerjaan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Baharuddin Mire., MT. dan Bapak Dr. Ir. Nasruddin Azis, M.Si selaku penguji yang telah memberikan saran-saran selama proses pengerjaan skripsi.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, MT. sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan ilmu dan nasehat sejak menjadi mahasiswa baru.
6. Bapak/Ibu dosen Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu, nasehat dan pengalaman kepada penulis selama menempuh studi di dunia perkuliahan.

7. Kanda Surahman S.Pd., MT. selaku laboran di Laboratorium Motor Bakar yang senantiasa menjadi teman diskusi yang sudah membantu penulis dalam memecahkan berbagai kendala dalam penelitian.
8. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2018/REACTOR'18 terkhusus teman penelitian Awal Efendi, Roy Christopher Ham Winarta, dan Muhammad Sukmal Faraid, yang senantiasa mendukung, menjadi teman diskusi dan tentunya berjuang bersama dalam penelitian.
9. Andi Ika Sri Wulandari sebagai saudara saya yang selalu menjadi motivator untuk cepat menyelesaikan studi.
10. Mey Anjayani Amzi selaku support system yang menemani dari masa abu-abu sampai sebelum wisuda.
11. Serta seluruh pihak yang telah membantu yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna walaupun telah menerima bantuan dari berbagai pihak. Apabila terdapat kesalahan-kesalahan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis dan bukan para pemberi bantuan. Kritik dan saran yang membangun akan lebih menyempurnakan skripsi ini.

Gowa, 15 Oktober 2022



Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SIMBOL	xvi
BAB I	1
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
BAB II LANDASAN PUSTAKA	6
2.1 Pengertian Mesin Diesel.....	6
2.2 Proses Pembakaran Mesin Siesel.....	10
2.3 Siklus Termodinamika Motor Bakar	13
2.4 Plasma.....	15
2.5 Ozon Dalam Meningkatkan Pembakaran	18

2.6	Generator Ozon	21
2.7	Generator Ion Negatif.....	22
2.8	Getaran	24
2.9	Karakteristik Getaran.....	27
2.10	Standar <i>Vibration</i> ISO 10816	29
2.11	Kebisingan.....	30
2.12	Standar Kebisingan	31
2.13	Dasar – Dasar Perhitungan Kinerja Motor Bakar.....	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		37
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	37
3.2	Alat dan Bahan	37
3.3	Metode Pengambilan Data.....	42
3.4	Prosedur Penelitian.....	42
3.5	Skema Penelitian	45
3.6	Flowchart Penelitian.....	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		47
4.1	Perhitungan (Udara Suplay Tanpa Ozon & Ion).....	47
4.2	Perhitungan (Udara Suplay Dengan Ion = 12 ppm)	49
4.3	Perhitungan (Udara Suplay Dengan O ₃ = 3 ppm).....	51
4.4	Perhitungan (Udara Suplay Dengan O ₃ = 12 ppm).....	53
4.5	Perhitungan (Udara Suplay Dengan O ₃ = 18 ppm).....	55
4.6	Kinerja Mesin Diesel.....	57
4.7	Kinerja Pembakaran Mesin Diesel Tipe TV 1	62
4.8	Pengukuran Getaran Dari Arah Horisontal dan Axial.....	70
4.9	Pengaruh Ozon dan Ion Negatif Terhadap Kebisingan.....	79

4.10 Perbandingan Antara Tekanan Silinder dan Kebisingan.....	81
BAB V PENUTUP.....	83
5.1 Kesimpulan.....	83
5.2 Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA.....	84
LAMPIRAN.....	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses kerja mesin diesel 4 tak.....	6
Gambar 2.2	Mesin diesel TV 1	9
Gambar 2.3	Tekanan pembakaran pada motor diesel	10
Gambar 2.4	Tahapan pembakaran pada motor diesel	10
Gambar 2.5	Siklus udara tekanan konstan	13
Gambar 2.6	Siklus aktual Diesel	14
Gambar 2.7	Ilustrasi fase	16
Gambar 2.8	Bentuk konfigurasi elektroda lucutan plasma penghalang dielektrik	17
Gambar 2.9	Molukel ozon	18
Gambar 2.10	Peningkatan produksi CH ₂ O yang diinduksi oleh ozon	19
Gambar 2.11	Korelasi antara ozon dan <i>catane number</i> (CN) bahan bakar untuk kondisi awal yang berbeda.....	20
Gambar 2.12	Variasi penahanan nyala api utama yang diinduksi dengan menghidupkan dan mematikan generator ozon. (a) kasus langsung off-on. (b) Balikan kasus of-on.....	21
Gambar 2.13	Representasi skematis dari generator ozon yang bekerja berdasarkan prinsip <i>Dielectric Barrier Discharge</i> (BDB).....	21
Gambar 2.14	Gerak harmonik.....	25
Gambar 2.15	Gerak periodik.....	25
Gambar 2.16	Gerak acak.....	26
Gambar 2.17	karakteristik getaran	27
Gambar 2.18	<i>Phase</i> getaran	28
Gambar 3.1	Mesin diesel TV 1	37
Gambar 3.2	Panel mesin	38
Gambar 3.3	Komputer.....	38
Gambar 3.4	Pompa.....	39
Gambar 3.5	Generator ozon	39
Gambar 3.6	Detektor ozon.....	40

Gambar 3.7	Generator ion negatif	40
Gambar 3.8	<i>Vibexpert II</i>	41
Gambar 3.9	<i>Sound level meter</i>	41
Gambar 3.10	Biodiesel (B30)	42
Gambar 3.11	Skema penelitian	45
Gambar 3.12	Diagram alir penelitian.....	46
Gambar 4.1	Perbandingan daya efektif terhadap beban dengan variasi ozon dan ion.....	57
Gambar 4.2	Perbandingan torsi terhadap beban dengan variasi ozon dan ion..	58
Gambar 4.3	Perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap beban dengan variasi ozon dan ion.....	59
Gambar 4.4	Perbandingan efisiensi volumetrik terhadap beban dengan variasi ozon dan ion	60
Gambar 4.5	Perbandingan efisiensi thermis terhadap beban dengan variasi ozon dan ion	61
Gambar 4.6	Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol tanpa ozon dan ion pada beban 5 kg.....	62
Gambar 4.7	Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol dengan konsentrasi ozon 3 ppm pada beban 5 kg.....	63
Gambar 4.8	Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol dengan konsentrasi ozon 12 ppm pada beban 5 kg.....	63
Gambar 4.9	Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol dengan konsentrasi ozon 18 ppm pada beban 5 kg.....	64
Gambar 4.10	Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol dengan konsentrasi ion 12 ppm pada beban 5 kg	64
Gambar 4.11	Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol dengan konsentrasi ozon dan ion pada rasio kompresi 18 beban 5 kg	65
Gambar 4.12	Perbandingan tekanan silinder terhadap volume silinder tanpa ozon dan ion pada beban 9 kg	67
Gambar 4.13	Perbandingan tekanan silinder terhadap volume silinder dengan konsentrasi ion 12 ppm pada beban 9 kg	67

Gambar 4.14	Perbandingan tekanan silinder terhadap volume silinder dengan konsentrasi ozon 3 ppm pada beban 9 kg.....	68
Gambar 4.15	Perbandingan tekanan silinder terhadap volume silinder dengan konsentrasi ozon 12 ppm pada beban 9 kg.....	68
Gambar 4.16	Perbandingan tekanan silinder terhadap volume silinder dengan konsentrasi ozon 18 ppm pada beban 9 kg.....	69
Gambar 4.17	Perbandingan tekanan silinder terhadap volume silinder dengan ion negatif dan variasi ozon pada rasio kompresi 18 beban 9 kg	69
Gambar 4.18	Gambar grafik <i>time waveform</i> pada pengukuran arah horisontal pada beban 5 kg.....	71
Gambar 4.19	Gambar grafik <i>time waveform</i> pada pengukuran arah axial pada beban 5 kg	72
Gambar 4.20	Gambar grafik <i>time waveform</i> pada pengukuran arah horisontal pada beban 7 kg.....	73
Gambar 4.21	Gambar grafik <i>time waveform</i> pada pengukuran arah axial pada beban 7 kg	74
Gambar 4.22	Gambar grafik <i>time waveform</i> pada pengukuran arah horisontal pada beban 9 kg.....	75
Gambar 4.23	Gambar grafik <i>time waveform</i> pada pengukuran arah axial pada beban 9 kg	76
Gambar 4.24	Diagram batang kebisingan pada mesin dengan variasi rasio kompresi, penambahan ozon dan ion pada udara suplay pembakaran	79
Gambar 4.25	Diagram batang perbandingan antara tekanan silinder dengan kebisingan	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar vibration ISO 10816.....	29
Tabel 2.2 Skala intensitas kebisingan (dBA)	31
Tabel 2.3 Nilai ambang kebisingan (dBA)	32
Tabel 4.1 Fraksi massa terbakar.....	65
Tabel 4.2 Nilai RMS pada pengukuran arah horisontal dan axial pada beban 5,7,dan 9 kg	78
Tabel 4.3 Rata-rata pengukuran kebisingan.....	80

DAFTAR SIMBOL

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/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 _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	-
u _d	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_{yo}	Efisiensi volumetris	%
η_{th}	Efisiensi thermis	%
Q_{tot}	Kalor total	kW
LHV_{bb}	Nilai kalor bahan bakar	kJ/kg

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin Diesel merupakan motor bakar dengan proses pembakaran yang terjadi di dalam mesin itu sendiri (*internal combustion engine*). Proses pembakaran terjadi karena udara murni dimampatkan (dikompresi) dalam suatu ruang bakar (silinder) sehingga diperoleh udara bertekanan tinggi, bersamaan dengan itu bahan bakar disemprotkan/dikabutkan sehingga terjadi proses pembakaran (Achmad Kusairi, 2018). Motor diesel merupakan motor bakar torak internal. Getaran dan kebisingan yang terjadi juga disebabkan karena gerakan torak, sistem penyaluran dan reaksi pembakaran bahan bakar dalam ruang silinder, tekanan penyemprotan bahan bakar oleh *nozzle* dan pompa plunger, dan tekanan gas pada katup isap buang, *muffler* akibat kerja ekspansi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar (Wiwoho 2015). Peneliti sebelumnya (Arjat 2022) telah melakukan penelitian pada mesin diesel dengan menambahkan ozon pada bahan bakar dengan tujuan meningkatkan efisiensi pembakaran.

Analisis getaran digunakan untuk menentukan kondisi operasi dan mekanik peralatan. Keuntungan analisis getaran dapat mengidentifikasi masalah atau kerusakan yang berkembang sebelum hal tersebut menjadi terlalu serius dan menyebabkan *downtime* yang tidak terjadwal. 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). Peneliti sebelumnya (La ode Nuzul Fajrin 2020) telah melakukan penelitian pengujian getaran dan kebisingan dengan metode purifikasi pada bahan bakar.

Kebisingan menjadi satu dari sekian banyak permasalahan lingkungan yang perlu untuk diperhatikan. Tidak hanya terhadap lingkungan, dampak negatif dari kebisingan bisa berpengaruh terhadap kesehatan manusia (Su'udi, 2010). Kendaraan bermotor menjadi sumber utama dari kebisingan yang paling sering kita dengarkan. Seiring meningkatnya jumlah kendaraan bermotor yang signifikan memiliki konsekuensi terhadap turunnya kualitas lingkungan berdasarkan jumlah kebisingan yang dihasilkan kendaraan bermotor. (Khairina, Arisanty, & Adyatma, 2014)

Pengaruh penambahan ozon dalam ruang pembakaran juga dapat mengimbangi tekanan silinder yang berlebihan karena konsentrasi bahan bakar yang tinggi, P.M Pinazzi 2019 telah menyelidiki efek penambahan ozon terhadap pembakaran pada mesin diesel *compression ignition* (CI), Eksperimen tersebut dilakukan dalam *mesin cooperative fuel research* (CFR) dan hasilnya menunjukkan bahwa efek penambahan ozon dapat meningkatkan nilai cetane number (CN) (P.M Pinazzi.2019). Saat ini, produksi ozon dapat dilakukan dengan teknologi plasma yang mana merupakan teknologi yang sederhana dan ramah lingkungan. (D. Yoshino. 2015).

Dalam penelitian ini, ozon diproduksi dengan memanfaatkan teknologi plasma. Pembakaran dengan bantuan plasma telah menunjukkan potensi untuk meningkatkan dan mengontrol proses pembakaran (S. M. Starikovskaia, 2006). Prinsip dasar pembakaran dengan bantuan plasma adalah bahwa zat aktif yang dihasilkan oleh plasma, seperti atom oksigen, O_2 tereksitasi, dan ozon (O_3), dapat meningkatkan proses pembakaran. Ozon yang dihasilkan dari plasma disebut plasma-ozon. Plasma-ozon menggunakan metode *Dielectric Barrier Discharge* (DBD) plasma. Cara ini dapat menghasilkan ratusan kilogram ozon per jam dengan konsumsi daya yang tinggi (Megawatt).

Kandungan pada udara yang mempengaruhi reaksi pembakaran adalah unsur Oksigen (O). Oksigen sangat membantu dalam proses pembakaran, membuat pembakaran lebih sempurna dan meminimalisir gas buang CO yang

menjadi racun ditubuh manusia. Berkebalikan dengan unsur Nitrogen (N) yang mana secara umum digunakan untuk pendinginan seperti pada industri pengolah makanan. (Rahman fauzan, 2018)

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. Hal 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. Penyempurnaan proses pencampuran bahan bakar ini dapat dilakukan dengan cara memasang alat ionisasi udara pada saluran udara masuk Saat ini dipasaran sudah banyak beredar alat alat ionisasi udara dengan berbagai merek. Salah satu alat ionisasi udara yang akan dipakai pada penelitian ini adalah Generator Ion Negatif. Generator Ion Negatif adalah alat yang dapat menghasilkan ion-ion negatif yang dapat membersihkan udara yang masuk ke ruang pembakaran dan menambah massa udara yang masuk keruang bakar sehingga bahan bakar dan udara tercampur dengan baik. sehingga dapat meningkatkan *performance* mesin dengan pencapaian torsi *maximum* pada putaran rendah dan mengurangi kadar emisi gas buang. (Muhammad Ady Susanto, 2011).

Berdasarkan penjelasan di atas, maka penambahan ozon dan ion negatif pada udara sebelum masuk ke ruang bakar yang diharapkan dapat membuat pembakaran dalam mesin semakin sempurna yang mengakibatkan gerakan-gerakan di dalam ruang pembakaran lebih halus sehingga mengurangi getaran dan kebisingan pada mesin diesel.

Maka dari itu penulis melakukan penelitian dengan judul **“ANALISIS GETARAN DAN KEBISINGAN MESIN DIESEL TIPE TV 1 DENGAN PENAMBAHAN OZON DAN ION NEGATIF PADA SUPLAY UDARA PEMBAKARAN”**

1.2 Rumusan Masalah

Adapun beberapa rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan ozon dan ion negatif pada suplay udara pembakaran terhadap getaran mesin diesel tipe TV1.
2. Bagaimana pengaruh penambahan ozon dan ion negatif pada pada suplay udara pembakaran terhadap kebisingan mesin diesel tipe TV1.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh penambahan ozon dan ion negatif pada pada suplay udara pembakaran terhadap getaran mesin diesel tipe TV1.
2. Menganalisis pengaruh penambahan ozon dan ion negatif pada pada suplay udara pembakaran terhadap kebisingan mesin diesel tipe TV1.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Bahan bakar yang digunakan adalah biodiesel B30.
2. Rasio kompresi yang digunakan adalah rasio kompresi 14, 16 dan 18.
3. Menggunakan mesin diesel tipe TV1.
4. Beban yang diteliti yaitu 5 kg, 7 kg dan 9 kg.
5. Variasi jumlah ozon yang dibangkitkan.
6. Pengukuran getaran dan kebisingan dilakukan dengan menggunakan alat vibXpert II dan sound level meter.
7. Pengukuran getaran dilakukan pada arah horizontal dan axial pada mesin diesel.
8. Pengukuran kebisingan dilakukan dengan 3 kali ulangan, jarak soundlevel meter dari mesin sejauh satu meter dan setinggi dada (95 cm) sesuai dengan standar ergonomika

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh penambahan ozon dan ion negatif pada pada suplay udara pembakaran terhadap getaran dan kebisingan pada mesin diesel tipe TV1.
2. Menjadi bahan informasi untuk penelitian selanjutnya yang kemudian dapat dikembangkan untuk penelitian lebih lanjut.

BAB II LANDASAN PUSTAKA

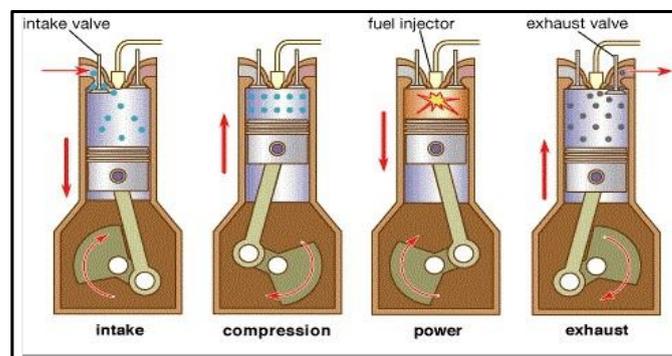
2.1 Mesin Diesel

A. Pengertian Mesin Diesel

Mesin diesel adalah mesin yang sistem pembakarannya di dalam (*internal combustion engine*) dan pembakaran terjadi karena udara murni dimampatkan (dikompresi) dalam suatu ruang bakar (silinder) sehingga diperoleh udara bertekanan tinggi serta panas yang tinggi, bersamaan dengan itu disemprotkan/dikabutkan bahan bakar sehingga terjadilah pembakaran. Pembakaran yang berupa ledakan akan menghasilkan panas mendadak naik dan tekanan menjadi tinggi didalam ruang bakar . Tekanan ini mendorong piston kebawah yang berlanjut dengan poros engkol berputar. Sesuai dengan gerakan piston untuk mendapatkan satu kali proses tersebut maka mesin diesel tersebut dibagi dalam 2 macam: 1.Mesin diesel 4 langkah (4 tak) dan 2. Mesin diesel 2 langkah (2 tak).

B. Prinsip Kerja Mesin Diesel 4 Langkah

Mesin diesel empat langkah mempunyai empat prinsip kerja, yaitu langkah hisap, langkah kompresi, langkah usaha dan langkah buang. Keempat langkah mesin diesel ini bekerja secara bersamaan untuk menghasilkan sebuah tenaga yang menggerakkan komponen lainnya.



Gambar 2.1 Proses kerja motor diesel 4 tak.

Sumber: Dody darsono, 2010. Simulasi CFD. FT UI

1. Langkah Isap (*Intake*)

Langkah isap yaitu ketika piston bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB), pada saat ini kondisi katup hisap membuka dan katup buang menutup. Kondisi ini menyebabkan volume ruang bakar dan kevakuman meningkat sehingga campuran bahan bakar dan udara masuk ke dalam ruang silinder atau pembakaran. Proses pemasukkan udara ke dalam ruang bakar diakibatkan oleh tekanan atmosfer di luar silinder lebih besar dibandingkan di dalam silinder, kemudian bahan bakar masuk dikarenakan kevakuman yang besar di ruang bakar.

2. Langkah Kompresi (*Compression*)

Langkah kompresi yaitu piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA), katup hisap dan katup buang tertutup. Campuran bahan bakar dan udara yang masuk ke dalam ruang silinder atau ruang bakar dikompresikan atau dimampatkan, proses ini terjadi dikarenakan adanya penyempitan ruangan yang terjadi sehingga tekanan dan suhu di silinder mengalami peningkatan.

3. Langkah Ekspansi (*Power*)

Langkah Ekspansi (*Power*) yaitu setelah bunga api membakar campuran bahan bakar dan udara terkompresikan, terjadilah ledakan yang berakibat tekanan dan suhu meningkat kondisi kedua katup menutup. Tekanan yang besar menggerakkan piston dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB). Pada saat ini, gerakan translasi dari piston diubah oleh poros engkol menjadi gerak putar, sehingga kendaraan dapat bergerak maju atau mundur sesuai dengan kecepatan.

4. Langkah Buang (*Exhaust*)

Langkah buang yaitu pada akhir langkah usaha, piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA), gas sisa hasil pembakaran dibuang menuju katup buang. *Overlapping* terjadi disaat katup buang dan katup hisap terbuka bersama-sama, kondisi ini memiliki tujuan untuk membantu proses pembilasan di dalam ruang

silinder. Setelah langkah buang selesai siklus dimulai lagi dari langkah hisap dan seterusnya. Piston bergerak dari TMA-TMB-TMA-TMB-TMA membentuk satu siklus. Ada satu langkah tenaga dengan dua putaran poros engkol. Motor bakar yang bekerja dengan siklus lengkap tersebut termasuk golongan motor 4 langkah.

C. VCR (*Variable Compression Ratio*)

Mesin diesel terhubung ke dynamometer tipe arus eddy untuk memuat. Itu rasio kompresi dapat diubah tanpa menghentikan mesin dan tanpa mengubah geometri ruang bakar dengan blok silinder miring yang dirancang khusus pengaturan. 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 berdiri sendiri kotak 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.



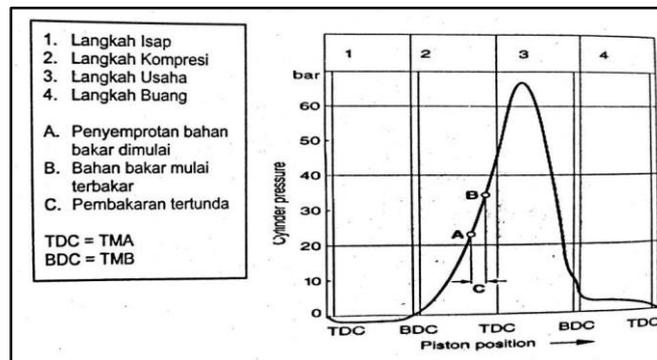
Gambar 2.2 Mesin Diesel TV1

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.

2.2 Proses Pembakaran Mesin Diesel

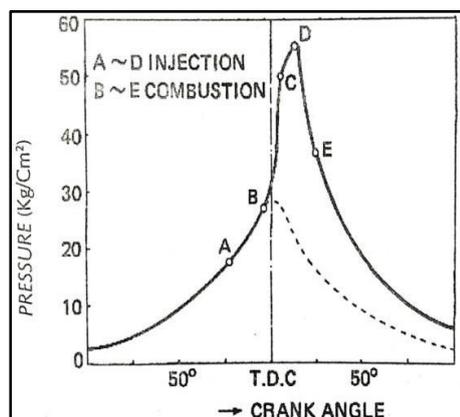
A. Diagram Pembakaran



Gambar 2.3 Tekanan pembakaran pada motor diesel

Sumber: Rabiman and Z. Arifin, Sistem Bahan Bakar Motor Diesel, First. Yogyakarta, 2015.

Pada waktu pompa injeksi mulai menginjeksikan bahan bakar maka akan terjadi proses yang disebut dengan penundaan pembakaran antara awal menyemprotkan dengan mulainya bahan bakar terbakar (A-B) atau sepanjang daerah C (gambar 2.3). Saat bahan bakar mulai disemprokan pada titik A (pada akhir langkah kompresi) maka bahan bakar tidak akan langsung terbakar pada titik A tersebut, akan tetapi awal pembakaran baru terjadi pada titik B. Injector akan terus menyemprotkan bahan bakar sampai piston melewati TMA setelah langkah kompresi atau awal langkah usaha.



Gambar 2.4 Tahapan pembakaran pada motor diesel

Sumber: Rabiman and Z. Arifin, Sistem Bahan Bakar Motor Diesel, First. Yogyakarta,

2015

1. Pembakaran tertunda (A-B)

Tahap ini merupakan tahap persiapan pembakaran. Bahan bakar disemprotkan oleh injektor berupa kabut ke udara panas dalam ruang bakar sehingga menjadi campuran yang mudah terbakar. Pada tahap ini bahan bakar belum terbakar atau dengan kata lain pembakaran belum dimulai. Pembakaran akan dimulai pada titik B, peningkatan tekanan terjadi secara konstan, karena piston terus bergerak menuju TMA.

2. Rambatan api (B – C)

Campuran yang mudah terbakar telah terbentuk dan merata di seluruh bagian dalam ruang bakar. Awal pembakaran mulai terjadi di beberapa bagian dalam silinder. Pembakaran ini berlangsung sangat cepat sehingga terjadilah letupan (*explosive*). Letupan ini berakibat tekanan dalam silinder meningkat dengan cepat pula. Akhir tahap ini disebut tahap pembakaran letupan.

3. Pembakaran langsung (C-D)

Injektor terus menyemprotkan bahan bakar dan berakhir pada titik D. Karena injeksi bahan bakar terus berlangsung didalam udara yang bertekanan dan bersuhu tinggi, maka bahan bakar yang diinjeksikan akan langsung terbakar. Pada tahap ini pembakaran dikontrol oleh jumlah bahan bakar yang diinjeksikan, sehingga tahap ini disebut juga tahap pengontrolan bahan pembakaran

4. Pembakaran Lanjutan (D-E)

Pada titik D, injeksi bahan bakar berhenti, namun bahan bakar masih ada yang belum terbakar. Pada priode ini sisa bahan bakar diharapkan terbakar seluruhnya. Apabila tahap ini terlalu panjang akan menyebabkan suhu gas buang meningkat dan efisiensi pembakaran berkurang.

B. *Knocking* Pada Motor Diesel

Apabila pembakaran tertunda diperpanjang atau lebih banyak bahan bakar yang tertunda, maka banyaknya campuran yang sedang terbakar akan berlebihan, terlalu lama perambatan api, akan menyebabkan terlalu cepat naiknya tekanan dalam silinder, sehingga akan menimbulkan getaran dan bunyi. Ini disebut *diesel knock*. Untuk mencegah *diesel knock* maka perlu dihindari meningkatnya tekanan secara tiba-tiba dengan adanya terbentuknya campuran yang mudah terbakar saat temperatur rendah. Dengan pembakaran diperpendek atau mengurangi bahan bakar yang diinjeksikan selama pembakaran tertunda. Untuk mengurangi *knock diesel*, terjadinya pengapian spontanitas dibuat lebih awal.

C. Jenis Pembakaran

Produk pembakaran campuran udara – bahan bakar dapat dibedakan menjadi:

1. Pembakaran sempurna (pembakaran ideal)

Setiap pembakaran sempurna menghasilkan karbon dioksida dan air. Peristiwa ini hanya dapat berlangsung dengan perbandingan udara-bahan bakar stoikiometris dan waktu pembakaran yang cukup bagi proses ini.

2. Pembakaran tak sempurna

Peristiwa ini terjadi bila tidak tersedia cukup oksigen. Produk pembakaran ini adalah hidrokarbon tak terbakar dan bila sebagian hidrokarbon terbakar maka aldehide, ketone, asam karbosiklis dan sebagian karbon monoksida menjadi polutan dalam gas buang.

3. Pembakaran dengan udara berlebihan

Pada kondisi temperatur tinggi nitrogen dan oksigen dari udara pembakaran akan bereaksi dan akan membentuk oksida nitrogen (NO dan NO₂). Di samping itu produk yang dihasilkan dari proses pembakaran dapat berupa oksida timah, oksida halogenida, oksida sulfur, serta emisi evaporatif seperti hidrokarbon ringan yang teremis

dari sistem bahan bakar.

2.3 Siklus Termodinamika Motor Bakar

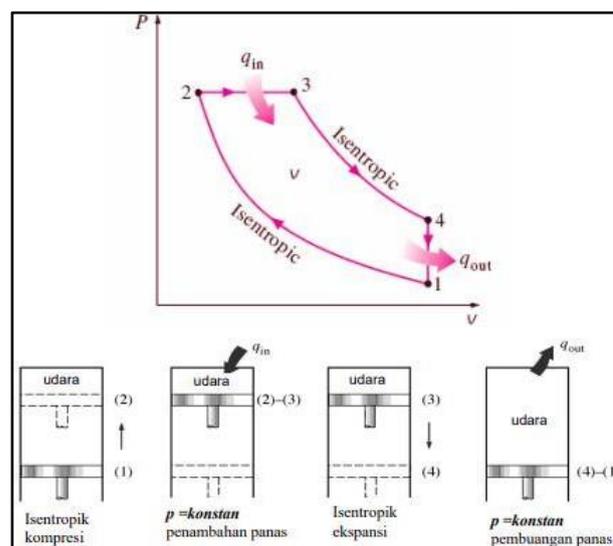
A. Siklus Udara Ideal

Penggunaan siklus ini berdasarkan beberapa asumsi adalah sebagai berikut:

1. Fluida kerja dianggap udara sebagai gas ideal dengan kalor spesifik konstan (tidak ada bahan bakar).
2. Langkah isap dan buang pada tekan konstan.
3. Langkah kompresi dan tenaga pada keadaan adiabatic.
4. Kalor diperoleh dari sumber kalor dan tidak ada proses pembakaran atau tidak ada reaksi kimia.

Siklus termodinamika dalam motor bakar terbagi menjadi tiga pokok bagian yaitu:

1. Siklus udara pada volume konstan (Siklus Otto)
2. Siklus udara pada tekanan konstan (Siklus Diesel)
3. Siklus udara tekanan terbatas (Siklus gabungan).



Gambar 2.5 Siklus Udara Tekanan Konstan

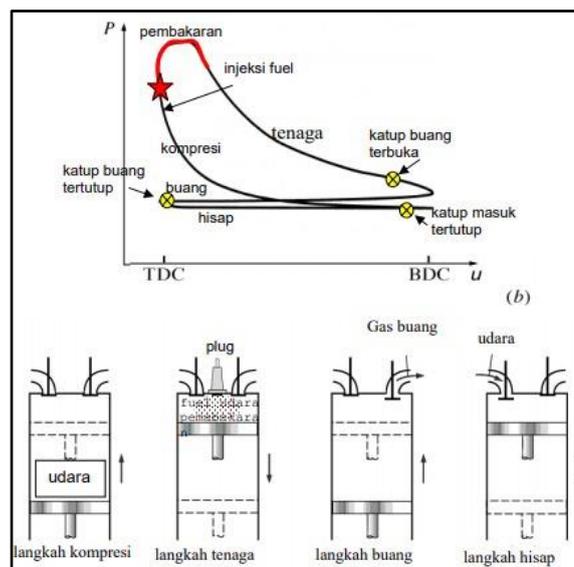
Sumber : Basyirun, Winarno, and Karnowo, 2008 Semarang,
Universitas Negeri Semarang

Siklus ideal tekanan konstan ini adalah siklus untuk mesin diesel. Gambar 2.5 adalah diagram P-V untuk siklus ideal Diesel. Adapun urutan prosesnya adalah sebagai berikut:

1. Langkah isap (0-1) merupakan proses tekanan konstan.
2. Langkah kompresi (1-2) merupakan proses adiabatik.
3. Langkah kerja (3-4) merupakan proses adiabatik.
4. Langkah buang (1-0) merupakan proses tekanan konstan.

Dapat dilihat dari urutan proses diatas bahwa pada siklus tekanan konstan pemasukan kalornya pada tekanan konstan berbeda dengan siklus volume konstan yang proses pemasukan kalornya pada kondisi volume konstan. Siklus tekanan konstan sering disebut dengan siklus diesel. Rudolf Diesel yang pertama kali merumuskan siklus ini dan sekaligus pembuat pertama mesin diesel. Proses penyalaan pembakaran terjadi tidak menggunakan busi, tetapi terjadi penyalaan sendiri karena temperatur didalam ruang bakar tinggi karena kompresi.

B. Siklus Aktual



Gambar 2.6 Siklus Aktual Diesel

Sumber : Basyirun, Winarno, and Karnowo, "Mesin Konversi Energi Universitas Negeri Semarang", 2008.

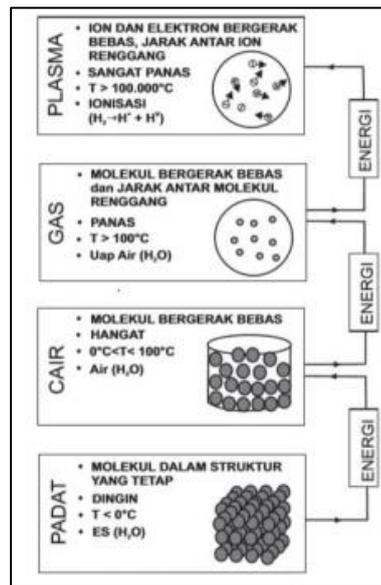
Pada gambar 2.6 diatas adalah siklus aktual dari mesin diesel. Alasan yang sama dengan mesin, dengan perbedaan pada disel pada langkah isap hanya udara saja, bahan bakar diseprotkan melalui nosel di kepala silinder. Proses pembakaran untuk menghasilkan panas karena kompresi, atau pembakaran kompresi.

2.4 Plasma

Plasma adalah suatu lautan muatan listrik. Plasma juga sering disebut gas yang bermuatan listrik atau gas yang terionisasi (gas yang elektronnya lepas). Menurut Chen (2002), plasma merupakan daerah reaksi tumbukan elektron yang sangat signifikan untuk terjadi. Plasma dapat terjadi ketika temperatur atau energi suatu gas dinaikkan sehingga memungkinkan atom-atom gas terionisasi akan membuat gas tersebut melepaskan elektron-elektronnya yang pada keadaan normal mengelilingi inti (Chen.F.F, 1985)

Plasma dapat pula didefinisikan sebagai percampuran kuasi-netral dari elektron, radikal, ion positif dan negatif. Percampuran antara ion-ion yang bermuatan positif dengan elektron-elektron yang bermuatan negatif memiliki sifat-sifat yang sangat berbeda dengan gas pada umumnya dan materi pada fase ini disebut fase plasma. Maka secara sederhana plasma didefinisikan sebagai gas terionisasi dan dikenal sebagai fase materi ke empat setelah fase padat, cair, dan fase gas

"Terionisasi" berarti bahwa setidaknya satu elektron tidak terikat pada atom atau molekul, mengubah Atom atau molekul menjadi ion bermuatan positif. Dalam hal ini plasma bersifat konduktor listrik sehingga sangat kuat bereaksi dengan medan elektromagnetik.



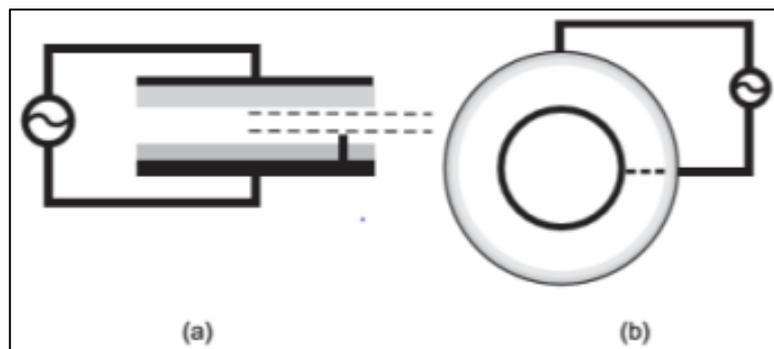
Gambar 2.7 Ilustrasi Fase

Dilihat dari gambar diatas bahwa fase plasma memiliki sifat – sifat yang berbeda dengan fase padatan, fase cairan, dan fase gas. Ilustrasi pada gambar 2.7 menunjukkan terbentuknya plasma dari proses perubahan melalui urutan padat, cair, gas dan akhirnya plasma. Gambar tersebut menunjukkan bahwa jika es (merupakan materi padat) mendapat energi, maka ia akan mencair pada suhu di atas 0°C menjadi air. Jika air diberikan energi, setelah melewati suhu 100°C akan menjadi uap air dengan molekul H_2O . Pemberian energi secara terus menerus pada uap air akan memecahkan molekul air menjadi H_2 dan O_2 dan akhirnya molekul-molekul ini akan terionisasi menjadi ion-ion positif dan elektron yang dalam keadaan tertentu dan ruang tertentu (*microspace*) terjadi keseimbangan antara ion dan elektron. Pada keadaan ini disebut plasma.

Lucutan plasma senyap (*Silent Discharge Plasma*) juga dikenal dengan sebutan lucutan plasma berpenghalang dielektrik (*Dielectric Barrier Discharge*) adalah lucutan plasma yang dapat dioperasikan pada tekanan atmosfer. Lucutan plasma senyap ini dalam industri skala besar digunakan sebagai pembangkit ozon. Dengan gas sumber yang digunakan adalah udara bebas maupun oksigen. Karakteristik utama dari lucutan senyap adalah celah

lucutan yang sempit dengan jarak milimeter dan salah satu elektrodanya ditutupi dengan lapisan isolator. Berdasarkan aplikasinya, lucutan plasma senyap juga dikenal sebagai lucutan penghasil ozon. Pada lucutan plasma senyap terjadi proses oksidasi yang dapat menghasilkan radikal bebas secara kimia pada temperatur udara dan tekanan atmosfer, untuk mengoksidasi fase gas yang terkandung di dalam reaktor tersebut.

Sistem pembangkit lucutan plasma penghalang dielektrik menggunakan gas sumber udara bebas pada tekanan atmosfer sebagai gas masukan. Ozon diproduksi di dalam lucutan plasma penghalang dielektrik dari gas di udara atau gas oksigen murni yang melewati celah diantara dua elektroda.



Gambar 2.8 Bentuk konfigurasi elektroda lucutan plasma penghalang dielektrik, (a) Geometri elektroda tampak samping, (b) Geometri elektroda tampak depan

Pada Gambar 2.8, ditunjukkan konfigurasi elektroda dari lucutan plasma penghalang dielektrik dan warna abu-abu menunjukkan bahan dielektrik, dengan karakteristik sebagai berikut: lucutan plasma penghalang dielektrik dioperasikan pada tekanan atmosfer diantara logam elektroda yang salah satunya dilindungi oleh penghalang dielektrik. Pembangkit AC (*alternating current*) tegangan tinggi akan menghasilkan lucutan di antara celah elektroda sehingga gas akan terionisasi. Bahan gelas dan keramik yang berbeda pada umumnya digunakan sebagai material penghalang. Lucutan biasanya terjadi dalam jumlah besar sepanjang daerah filamen (100-200 μ m) (M.Nur, 2011).

2.5 Ozon Dalam Meningkatkan Pembakaran

A. Interaksi Ozon-Hidro Karbon

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

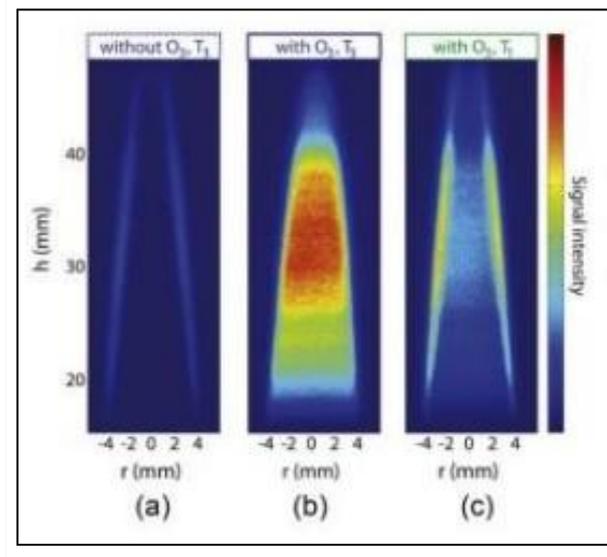


Gambar 2.9 Molekul Ozon

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 CH_2O dilakukan untuk memahami mekanisme dari dampak ozon pada oksidasi metana. peningkatan yang cukup besar dalam produksi formaldehida diamati ketika ozon ditambahkan ke campuran CH_4 - udara. Efek ini diamati untuk suhu dan rasio kesetaraan yang berbeda.



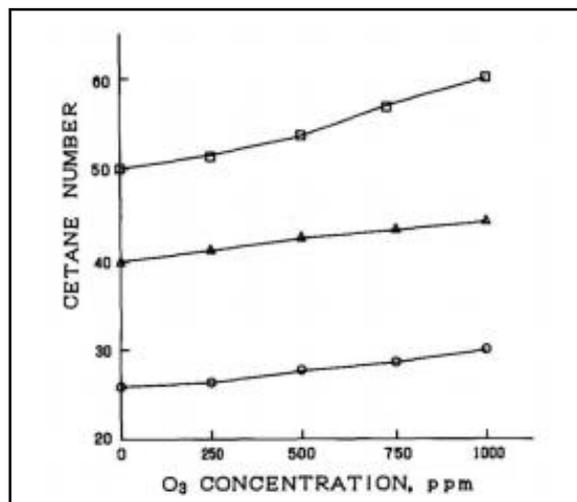
Gambar 2.10 Peningkatan produksi CH₂O yang diinduksi oleh ozon.

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).

C. Dampak ozon pada pembakaran mesin IC

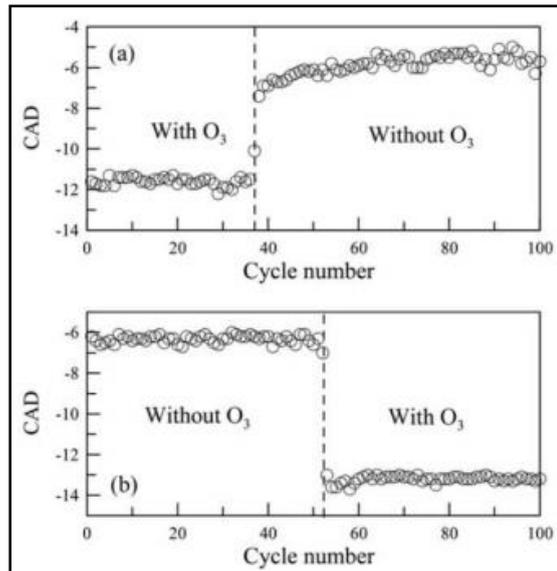
Aplikasi ozon pertama untuk mesin IC diusulkan oleh Tachibana pada tahun 1991. Dalam studi mereka, penulis menyelidiki efek ozon pada pembakaran di mesin Diesel CI. Eksperimen yang dilakukan pada mesin CFR, penelitian bahan bakar diesel menunjukkan bahwa efek penambahan ozon mampu meningkatkan *catane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



Gambar 2.11 Korelasi antara ozon dan *catane number* (CN) bahan bakar untuk kondisi awal yang berbeda.

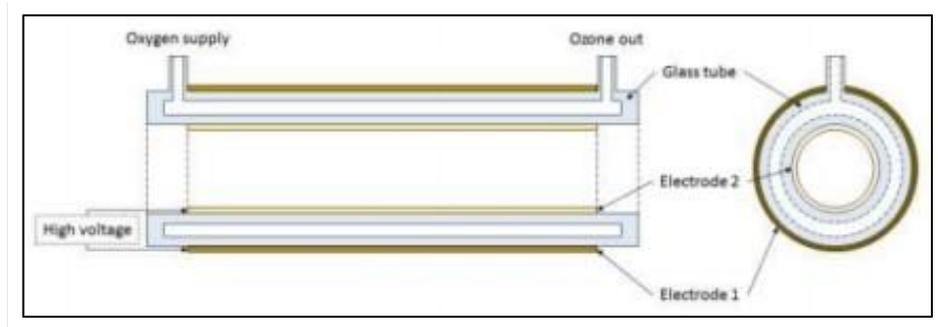
Potensi generator ozon untuk kontrol siklus ke-siklus pembakaran diselidiki, dan hasilnya menunjukkan bahwa dengan mengalihkan *power supply* dengan generator ozon terjadi perubahan konsekuen dari 0 menjadi 49 ppm konsentrasi ozon dalam aliran udara masuk menyebabkan variasi fase pembakaran dalam satu siklus mesin, seperti yang dapat diamati pada Gambar 2.11.



Gambar 2.12 Variasi penahanan nyala api utama yang diinduksi dengan menghidupkan dan mematikan generator ozon. (a) Kasus langsung off-on. (b) Balikkan kasus off – on.

2.6 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 2.13 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).

2.7 Generator Ion Negatif

Generator Ion 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 meningkatkan performa mesin kendaraan dan mengurangi polusi gas buang yang dihasilkan.

A. Ionisasi

Kata ion berasal dari bahasa Yunani: *ión*, ion, "sedang pergi", kata kerja bentuk sedang dari bahasa Yunani: *ίέναι*, 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:

1. tertarik dengan muatan listrik yang berlawanan (positif kepada negatif dan sebaliknya),
2. menolak muatan sejenis
3. 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 (bahasa Inggris:

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 dari pada 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.

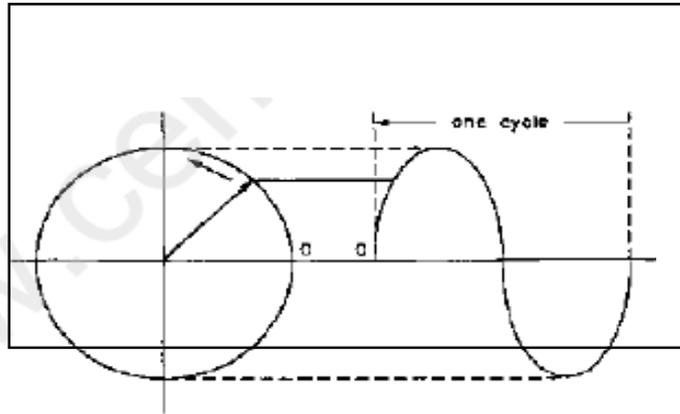
2.8 Getaran

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 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 sekon 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,

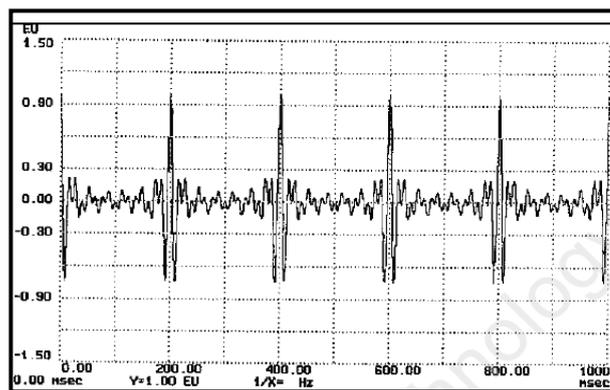
dengan banyak variabel seperti masalah gigi, kelonggaran, cacat bantalan, misalignment, dan lain-lain, gerak harmonik semacam itu tidak sering ditemukan. (James, 2003)



Gambar 2.14. Gerak Harmonik (James, 2003)

B. Gerak Periodik

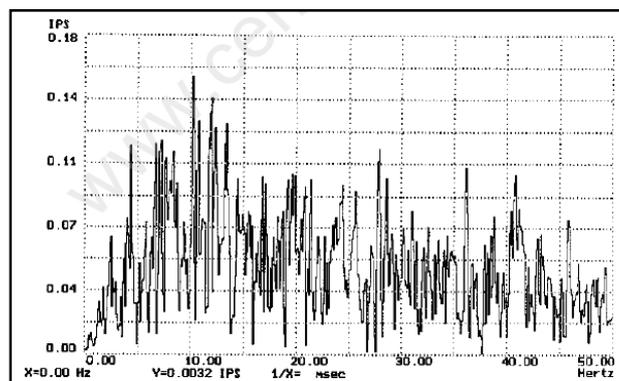
Gerakan periodik adalah semua gerakan yang berulang secara berkala. Gerakan periodik adalah setiap gerakan yang terulangi sendirinya dalam periode waktu yang sama. Misalnya, kopling motor yang tidak selaras dan longgar dapat memiliki tonjolan sekali per putaran poros. Meskipun gerakan ini tidak harmonis,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



Gambar 2.15 Gerak Periodik (James, 2003)

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 2.16 Gerak Acak (James, 2003)

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

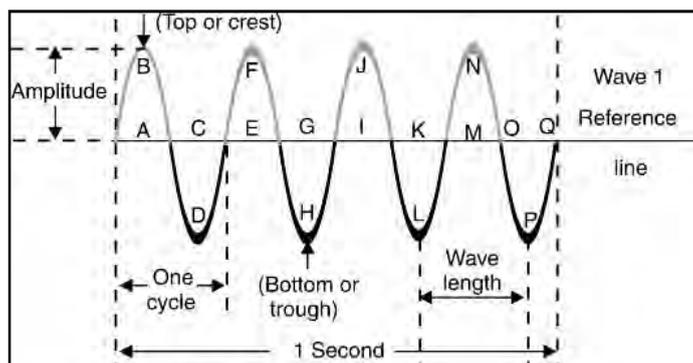
Frekuensi yaitu banyaknya jumlah getaran gelombang dalam satu putaran waktu. Frekuensi dari pengukuran vibrasi dapat mengartikan jenis gangguan yang terjadi. Frekuensi juga biasanya ditunjukkan dalam satuan hertz (Hz).

3. Fase Vibrasi

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

2.9 Karakteristik Getaran

Mengacu pada pergerakan pegas, kita dapat mempelajari karakteristik getaran dengan memetakan pergerakan pegas sebagai fungsi waktu. Karakteristik getaran yang penting antara lain adalah :



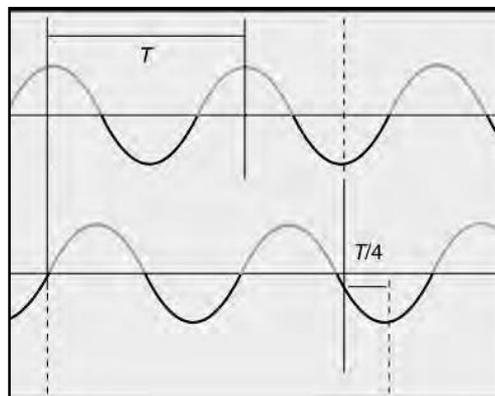
Gambar 2.17 Karakteristik Getaran (Scheffer dan Girdhar, 2004)

1. Frekuensi getaran (*vibration displacement*) menunjukkan jumlah gerakan bolak-balik (satu siklus lengkap) per unit waktu. Hubungan antara frekuensi dan periode getaran dapat dinyatakan dengan rumus sederhana :
$$\text{frekuensi} = 1 / \text{periode}$$

Frekuensi getaran biasanya dinyatakan sebagai jumlah siklus getaran yang terjadi setiap menit (CPM = Siklus per menit). Misalnya, mesin bergetar 60 kali (siklus, dalam 1 menit frekuensi getaran motor adalah 60 CPM, frekuensi juga dapat dinyatakan dalam CPS (siklus per detik) atau dalam Hertz
2. Perpindahan Getaran (*vibration displacement*) adalah jarak yang ditempuh dari satu puncak ke puncak getaran lainnya. Perpindahan biasanya dinyatakan dalam satuan mikron (μm) atau mil. ($1 \mu\text{m} = 0.001 \text{ mm}$ dan 1

mils = 0.001 inch).

3. Kecepatan Getaran (*vibration velocity*). Karena getaran adalah gerakan, sehingga memiliki kecepatan. Dalam gerak periodik kecepatan maksimum terjadi pada saat posisi netral, sedangkan kecepatan minimum adalah pada saat posisi puncak (*peak*). Kecepatan getaran ini biasanya dinyatakan dalam mm/det. Karena kecepatan ini selalu berubah secara sinusoidal, mm/detik (nilai rms) sering digunakan. Kadang-kadang juga digunakan dalam satuan inci/detik(peak) atau inci/detik(rms). 1 inci = 25,4 mm.
4. Percepatan Getaran (*vibration acceleration*) adalah fitur getaran penting lainnya. Pada saat posisi puncak kecepatan getaran sama dengan nol tetapi di bagian ini, akselerasi akan maksimum. Pada saat posisi netral, akselerasi getaran adalah nol. Secara teknis, akselerasi adalah laju perubahan kecepatan. Akselerasi getaran biasanya dinyatakan dalam satuan puncak gs, di mana g adalah akselerasi yang disebabkan oleh gaya gravitasi di permukaan bumi.
5. *Phase* Getaran. Pengukuran *phase* getaran memberikan informasi untuk menentukan bagaimana suatu bagian bergetar relatif terhadap bagian yang lain, atau untuk menentukan posisi suatu bagian yang bergetar pada suatusaat, terhadap suatu referensi atau terhadap bagian lain yang bergetar dengan frekuensi yang sama.



Gambar 2.18 *Phase* Getaran (Scheffer dan Girdhar, 2004)

2.10 Standar *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 2.2. yang menunjukkan pedoman bagi kelayakan permesinan (ISO 10186-1:1995).

Tabel 2.1 Standar *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.

- d. *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

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

- a. *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.
- b. *Steady State Narrow Band Noise*, yaitu kebisingan yang seluruh energi akustiknya terbesar didalam daerah atau range frekuensi yang lebih sempit atau seolah-olah terpusat pada suatu frekuensi. Contoh : suara katup gas.
- c. 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).

2.12 Standar Kebisingan

Kebisingan merupakan bunyi yang tidak diinginkan dalam tingkat dan waktu tertentu karena dapat menyebabkan gangguan terhadap kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No : KEP - 48/MENLH/11/1996, 1996). Tingkat kebisingan menunjukkan ukuran energi bunyi dalam satuan desibel disingkat dB (Djalante, 2010). Untuk mengukur tingkat kebisingan, alat yang umum digunakan adalah *sound level meter* (SLM). Tingkat kebisingan dapat diklasifikasikan berdasarkan intensitas yang diukur dengan satuan *decibel* (dB) seperti Tabel 2.2 berikut.

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	Sangat amat keras
>120	Kereta bawah tanah	Menulikan

Sumber: Khairina et al. (2014)

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

Sumber: Kepmenaker no.51 tahun 1999

2.13 Dasar- Dasar Perhitungan Kinerja Motor Bakar

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

1. Daya indikasi (IP)
2. Konsumsi Bahan Bakar (FC)
3. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)
4. Konsumsi Udara Aktual (M_{ac}) Konsumsi Udara Teoritis (M_{tt})
5. Perbandingan Udara Bahan Bakar (AFR)
6. Efisiensi Volumetris (η_{vol})
7. Efisiensi Thermis (η_{th})s
8. Efisiensi Thermis (η_{th})

a. 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,

$$IP = \frac{P_m \times s \times A \times 10^{-9} \times 10^2 \times \frac{N}{n}}{w} \text{ (kW)}$$

Dimana:

IP = Daya indikasi, (kW)

N = Putaran Poros, (rpm)

P_m = Tekanan efektif rata-rata, (bar)

s = Panjang langkah silinder, (110 mm)

A = Luas penampang silinder, (mm²)

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

b. 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,

$$FC = \frac{VGU \times 10^{-6} \times \rho f \times 3600}{w} \text{ (kg/h)}$$

Dimana :

FC = Konsumsi Bahan Bakar (kg/h)

VGU = Volume gelas ukur (cc)

ρf = Massa jenis bahan bakar (kg/m³)

10⁻⁶ = Faktor konversi cc ke m³

3600 = Faktor konversi detik ke jam

c. 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:

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

Dimana:

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

d. 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:

$$M_a = Kd \times \frac{\pi}{4} \times Do^2 \times 10^{-6} \times 3600 \times 4,4295 \times \sqrt{ho \times \rho ud} \text{ (kg/h)}$$

Dimana:

M_a = Laju Aliran Udara aktual (kg/h)

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

Do = diameter *orifice*, (mm)

10⁻⁶ = faktor konversi dari mm² ke m²

h_o = beda tekanan pada manometer (mmWC)

ρ_{ud} = massa jenis udara pada kondisi masuk, (kg/m³)

3600 = Faktor konversi detik ke jam

e. 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:

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

Dimana:

10^{-9} = faktor konversi dari mm³ ke m³

N = putaran poros (rpm)

ρ_{ud} = massa jenis udara (kg/m³)

Ka = 2 (konstanta untuk motor 4 langkah)

D = Diameter selinder (87,5 mm)

s = panjang langkah silinder (110 mm)

n = jumlah putaran persiklus
= 2 untuk motor empat langkah
= 1 untuk motor dua langkah

f. 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)

g. 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)

h. Efisiensi Thermis (η_{th})

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

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

$$Q_{tot} = \frac{FC \times LHV_{bb}}{3600} \text{ (kW)}$$

Dimana:

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

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

3600 = faktor konversi jam ke detik

BP = daya efektif (kW)