

TESIS

**Efek Zat *additive* Nanopartikel Al₂O₃ pada Bahan Bakar Biodiesel B30
Terhadap Opasitas Emisi Gas Buang dan Performa Mesin Diesel**

*Effects of Additive Al₂O₃ Nanoparticles in B30 Biodiesel Fuel on Exhaust
Emission Opacity and Diesel Engine Performance*

MUH. ABDILLAH

D022211001



PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023

HALAMAN JUDUL

**Efek Zat additive Nanopartikel Al₂O₃ pada Bahan Bakar Biodiesel B30
Terhadap Opasitas Emisi Gas Buang dan Performa Mesin Diesel**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Mesin / Energi Baru Terbarukan

Disusun dan diajukan oleh

Muh. Abdillah

D022211001

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023

LEMBAR PENGESAHAN**EFEK ZAT *ADDITIVE* NANOPARTIKEL Al_2O_3 PADA BAHAN BAKAR
BIODIESEL B30 TERHADAP OPASITAS EMISI GAS BUANG DAN PERFORMA
MESIN DIESEL**

Disusun dan diajukan oleh

MUH. ABDILLAH**D022211001**Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik MesinFakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

pada tanggal 12 Juni 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui
Komisi Penasehat,

Pembimbing Utama

**Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST, MT**
NIP. 197911122008122002

Pembimbing Pendamping

**Prof. Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT**
NIP. 197112211998021001Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin**Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli,**
ST.,MT.,IPM.,ASEAN.Eng
NIP. 197309262000121002Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin**Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST, MT**
NIP. 197911122008122002

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muh. Abdillah
Nomor mahasiswa : D022211001
Program studi : Teknik Mesin/Enrergi Baru Terbarukan
Jenjang : Magister (S2)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa karya tulis berupa Tesis dengan judul “Efek *Zat additive* Nanopartikel Al_2O_3 pada Bahan Bakar Biodiesel B30 Terhadap Opasitas Emisi Gas Buang dan Performa Mesin Diesel” merupakan hasil karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST, MT dan Prof. Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT). Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka Tesis ini.

Gowa, 12 Juni 2023

Yang menyatakan



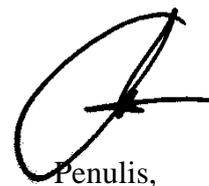
Muh. Abdillah

UCAPAN TERIMA KASH

Puji syukur kehadirat Allah ﷻ yang telah memberikan karunia kesehatan, dan kesempatan hingga saya dapat menyelesaikan tesis dengan baik. Sholawat serta salam semoga tercurahkan selalu kepada junjungan Nabi Besar Muhammad ﷺ. Terima kasih kepada Bapak dan Ibu yang telah memelihara dan mendidik saya dengan tulus. Saya berharap semoga tesis yang berjudul “Efek Zat *Additive* Nanopartikel Al₂O₃ pada Bahan Bakar Biodiesel B30 Terhadap Opasitas Emisi Gas Buang dan Performa Mesin Diesel” ini dapat memberikan manfaat terutama yang tertarik pada bidang yang sama dengan kajian tesis ini. Saya menyadari tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga saran dan kritik membangun dapat disampaikan kepada saya. Tak lupa secara tulus saya sampaikan terima kasih tak terhingga kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof. Dr.Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.
4. Ibu Dr.Eng Novriany Amaliyah, ST., MT. Ketua Program Studi Pasca Sarjana S2 Teknik Mesin Universitas Hasanuddin serta dosen pembimbing I tesis
5. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT selaku dosen pembimbing II tesis.
6. Bapak Dr. Ir. Nasruddin Azis, M.Si selaku dosen penguji tesis.
7. Ibu Prof. Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT selaku dosen penguji tesis.
8. Bapak Dr.Eng Ir. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M. Eng selaku dosen penguji tesis.
7. Bapak dan Ibu dosen, serta teman-teman mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

Gowa, 12 Juni 2023



Penulis,

ABSTRAK

MUH. ABDILLAH. *Efek Zat Additive Nanopartikel Al₂O₃ pada Bahan Bakar Biodiesel B30 Terhadap Opasitas Emisi Gas Buang dan Performa Mesin Diesel* (dibimbing oleh Novriany Amaliyah dan Andi Erwin Eka Putra)

Biodiesel telah digunakan di banyak negara karena banyak keunggulannya, termasuk peningkatan efisiensi pembakaran, pengurangan emisi karbon monoksida (CO), dan tidak mengandung sulfur atau senyawa aromatik sehingga dapat membantu meningkatkan emisi gas buang mesin diesel, meningkatkan angka setana serta memperpendek waktu tunda pengapian. Namun biodiesel juga memiliki beberapa kelemahan dibandingkan solar, yaitu nilai kalor dan volatilitas yang lebih rendah serta viskositas yang lebih tinggi. Volatilitas yang rendah dan viskositas yang tinggi dapat menyebabkan *super-knocking*. Penelitian ini bertujuan menganalisis efek pencampuran nanopartikel Al₂O₃ terhadap performa dan Al₂O₃ dan opasitas emisi gas buang yang dihasilkan mesin diesel. Pengujian performa dan opasitas emisi gas buang dari mesin diesel serta pengujian karakteristik bahan bakar telah dilakukan pada mesin tipe diesel. Dimana, sampel yang digunakan adalah bahan bakar B30, campuran bahan bakar B30+nanopartikel dan Dexlite. Penambahan nanopartikel Al₂O₃ dengan variasi 30, 50, 70 dan 90 ppm ke dalam bahan bakar B30. Hasil dari penelitian ini terlihat bahwa performa campuran bahan bakar B30+nanopartikel lebih baik sekitar 45% dibandingkan dengan bahan bakar B30, dan campuran bahan bakar B30+nanopartikel juga dapat mengurangi opasitas emisi gas buang sekitar 50%.

Kata kunci: biodiesel, nanopartikel, performa mesin, opasitas emisi

ABSTRACT

MUH. ABDILLAH. *Effects of Additive Al₂O₃ Nanoparticles in B30 Biodiesel Fuel on Exhaust Emission Opacity and Diesel Engine Performance* (supervised by Novriany Amaliyah dan Andi Erwin Eka Putra)

Biodiesel has been used in many countries because of its many advantages, including increasing combustion efficiency, reducing carbon monoxide (CO) emissions, and does not contain sulfur or aromatic compounds so that it can help increase diesel engine exhaust emissions, increase cetane levels and shorten ignition times. However, biodiesel also has several weaknesses compared to diesel fuel, namely lower calorific value and volatility and higher viscosity. Low volatility and high viscosity can cause super-knocking. This study aims to analyze the effect of mixing Al₂O₃ nanoparticles on performance and Al₂O₃ and the opacity of exhaust emissions produced by diesel engines. Tests for the performance and opacity of exhaust emissions from diesel engines as well as fuel characteristics tests have been carried out on type diesel engines. The samples used were B30 fuel, a mixture of B30+nanoparticle fuel and Dexlite. Addition of Al₂O₃ nanoparticles with variations of 30, 50, 70 and 90 ppm into B30 fuel. The results of this study show that the performance of the B30+nanoparticle fuel mixture is about 45% better than the B30 fuel, and the B30+nanoparticle fuel mixture can also reduce the opacity of exhaust emissions by about 50%.

Keywords: biodiesel, nanoparticles, engine performance, emission opacity

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iii
UCAPAN TERIMA KASH	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR SIMBOL.....	xi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Penelitian yang Relevan	5
2.2. Karakteristik Bahan Bakar Diesel	9
2.3. Stoikiometri Pembakaran	11
2.4. Opasitas Emisi Gas Buang	12
2.5. Peforma Mesin.....	14
2.6. Rasio Kompresi	17
2.7. <i>Fourier Transformed Infrared (FTIR)</i>	20
2.8. <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)</i>	22
2.9. Nanopartikel	23
BAB III. METODE PENELITIAN.....	26
3.1. Jenis Penelitian	26
3.2. Parameter Penting dalam Pengambilan Data	26
3.3. Pembuatan Sampel bahan bakar B30+nanopartikel	27

3.4.	Proses Pengambilan Data Eksperimental	28
3.7.	Skema Penelitian	30
3.5.	Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.6.	Alat dan Bahan	31
3.7.	Proses Pengambilan Data Eksperimental	38
3.8.	Skema Penelitian	40
3.9.	Diagram Alur Penelitian.....	40
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		42
4.1.	Karakteristik Bahan Bakar	42
4.2.	Pengujian FTIR dan GCMS Bahan Bakar.....	44
4.3.	Performa Pembakaran	56
4.4.	Performa Mesin Diesel.....	62
4.5.	Opasitas Emisi Gas Buang	66
4.6.	Perhitungan Keseimbangan Reaksi Kimia	67
BAB V. PENUTUP.....		71
5.1.	Kesimpulan.....	71
5.2.	Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA		72
LAMPIRAN.....		81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skematik Diagram Dinamometer.....	15
Gambar 2. 2. Skematik Rasio Kompresi.....	18
Gambar 2.3. Pengaruh Rasio Kompresi Dan Kekuatan Campuran Terhadap Efisiensi.....	19
Gambar 2. 4. Pengaruh Kekuatan Campuran Pada Efisiensi Termal Untuk Berbagai Rasio Kompresi.....	19
Gambar 2. 5. Pengaruh Rasio Kompresi Pada Suhu Udara Maksimum Dan Suhu Penyalan Otomatis Minimum.....	20
Gambar 2. 6 Skematik Proses FT-IR).....	22
Gambar 2. 7. Faktor yang Mempengaruhi Konduktifitas Thermal Nanopartikel .	25
Gambar 3. 1 Pencampuran Bahan Bakar B30 dengan Nanopartikel Al ₂ O ₃	28
Gambar 3. 2 Skema Penelitian	30
Gambar 3. 3 <i>Ultrasonic Cleaner</i>	31
Gambar 3. 4 <i>Magnetic Starrier</i>	32
Gambar 3. 5 <i>Bomb calorimeter</i>	32
Gambar 3. 6 Alat Uji Titik Nyala.....	33
Gambar 3. 7 <i>Viskometer</i>	33
Gambar 3. 8 Timbangan Digital.....	33
Gambar 3. 9 Termometer	34
Gambar 3. 10 <i>Gas Chromatography Mass Spectroscopy (GCMS)</i>	34
Gambar 3. 11 FTIR (Fourier Transform Infra Red).....	35
Gambar 3. 12. Mesin Diesel.....	36
Gambar 3. 13 Panel Mesin.....	36
Gambar 3. 14 Opacity Meter.....	37
Gambar 3. 15 Biodiesel (B30)	37
Gambar 3. 16 Nanopartikel Al ₂ O ₃	38
Gambar 3. 17. Skema Penelitian	40
Gambar 3. 18 Alur Penelitian.....	41
Gambar 4. 1. Sampel Bahan Bakar	43
Gambar 4. 2. Hasil data FTIR Biodiesel B30	44
Gambar 4. 3. Hasil data GC-MS Biodiesel B30	45
Gambar 4. 4. Hasil Data FTIR B30 + Al ₂ O ₃ 30 ppm.....	46
Gambar 4. 5. Hasil Data GCMS B30 + Al ₂ O ₃ 30 ppm.....	47
Gambar 4. 6. Hasil Data FTIR B30 + Al ₂ O ₃ 50 ppm.....	48
Gambar 4. 7. Hasil Data GCMS B30 + Al ₂ O ₃ 50 ppm.....	49
Gambar 4. 8. Hasil Data FTIR B30 + Al ₂ O ₃ 70 ppm.....	50
Gambar 4. 9. Hasil Data GCMS B30 + Al ₂ O ₃ 70 ppm.....	51
Gambar 4. 10. Hasil Data FTIR B30 + Al ₂ O ₃ 90 ppm.....	52
Gambar 4. 11. Hasil Data GCMS B30 + Al ₂ O ₃ 90 ppm.....	53
Gambar 4. 12. Hasil Data FTIR Dexlite	54

Gambar 4. 13. Hasil Data GCMS Dexlite.....	55
Gambar 4. 14. Tekanan Sililinder Terhadap Sudut Engkol Rasio 14:1 Beban 5 Kg	56
Gambar 4. 15. Tekanan Sililinder Terhadap Sudut Engkol Rasio 16:1 Beban 5 Kg	56
Gambar 4. 16. Tekanan Sililinder Terhadap Sudut Engkol Rasio 16:1 Beban 5 Kg	57
Gambar 4. 17. Pelepasan Panas Rasio 14:1 Beban 5 Kg	58
Gambar 4. 18. Pelepasan Panas Rasio 16:1 Beban 5 Kg	58
Gambar 4. 19. Pelepasan Panas Rasio 18:1 Beban 5 Kg	59
Gambar 4. 20. Tekanan Terhadap Volume Silinder Rasio 14:1 Beban 5 Kg	60
Gambar 4. 21. Tekanan Terhadap Volume Silinder Rasio 16:1 Beban 5 Kg	60
Gambar 4. 22. Tekanan Terhadap Volume Silinder Rasio 18:1 Beban 5 Kg	61
Gambar 4. 23. Konsumsi Bahan Bakar	62
Gambar 4. 24. Efisiensi Termis	63
Gambar 4. 25. Efisiensi Volumetrik	64
Gambar 4. 26. Daya Efektif	65
Gambar 4. 27. Opasitas Emisi Gas Buang	66

DAFTAR SIMBOL

BHP	Daya efektif	Kw
η_{vo}	Efisiensi Volumetrik	%
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 actual	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
η_{th}	Efisiensi thermis	%
s	Panjang langkah selinder	Mm
z	Jumlah selinder	-
AFR	Rasio udara-bahan bakar	-
Q _{tot}	Kalor total	kW
LHV _{bb}	Nilai kalor bahan bakar	kJ/kg

BAB I. PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Energi sudah menjadi salah satu kebutuhan pokok yang menunjang aktifitas sehari-hari. Total konsumsi energi final pada tahun 2019 adalah sebesar 989,9 juta BOE (*barrels of oil equivalent*). Jumlah konsumsi energi final pada masing-masing jenis masih didominasi oleh bahan bakar (avgas, avtur, bensin, minyak tanah, solar, dan bahan bakar minyak). Hal itu dikarenakan peralatan teknologi berbahan bakar masih lebih hemat biaya pemakaiannya dibandingkan peralatan yang menggunakan energi lainnya. Terutama di sektor transportasi, industri, komersial, dan pembangkit listrik. (Outlook Energi, 2021). Pada sektor transportasi, penambahan kendaraan bermotor di Indonesia semakin meningkat dari tahun ke tahun. Data Badan Pusat Statistik tahun 2021 memperlihatkan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia sebesar 143,797,227 unit, jika dibandingkan dengan tahun 2020 sebesar 136,137,451 unit (Badan Pusat Statistik, 2021). Hal ini mendorong angka permintaan BBM pada sektor transportasi juga meningkat. Di sisi permintaan, dengan skenario *BAU (Business As Usual)*, kebutuhan energi nasional diperkirakan akan terus meningkat pada 2019-2050 berdasarkan pertumbuhan ekonomi, jumlah penduduk, harga energi, dan kebijakan pemerintah. Total permintaan energi final diperkirakan akan tumbuh pada tingkat tahunan rata-rata 3,5%. Permintaan energi final untuk setiap jenis tetap didominasi bahan bakar minyak, meningkat rata-rata tahunan sebesar 2,8%, karena penggunaan peralatan teknologi bahan bakar minyak tetap lebih efisien daripada peralatan lainnya. Namun disisi lain, hal ini dapat menimbulkan emisi gas rumah kaca (GRK). Pada tahun 2020, tingkat emisi aktual GRK adalah sebesar 1.050,4 juta Ton CO₂e (Kementerian Lingkungan dan Kehutanan, 2022). Dalam upaya mendukung Peraturan Presiden 2017 yang telah disahkan dengan Peraturan Presiden No. 22/2017 (Peraturan Presiden RI, 2017) maka digunakan biodiesel B30 sebagai alternatif bahan bakar yang terbarukan dan ramah lingkungan (Outlook Energi, 2021).

Biodiesel telah digunakan di banyak negara karena banyak keunggulannya, termasuk peningkatan efisiensi pembakaran, pengurangan emisi karbon monoksida (CO) (Barnwal & Sharma, 2005). Selain itu biodiesel juga tidak mengandung sulfur atau senyawa aromatik dimana kedua kandungan tersebut juga membantu meningkatkan emisi gas buang mesin diesel (Kalligeros et al., 2003). Demikian dengan angka setana-nya lebih tinggi, sehingga memperpendek waktu tunda pengapian (Dunn, 2005). Campuran bahan bakar biodiesel, atau bahkan biodiesel murni, dapat digunakan pada mesin diesel dengan sedikit modifikasi (Van Gerpen, 2005), dan biodiesel dapat meningkatkan pelumasan, sehingga memperpanjang umur komponen mesin (Alptekin & Canakci, 2008). Namun biodiesel juga memiliki beberapa kelemahan dibandingkan solar, yaitu energi dengan nilai kalor dan volatilitas yang lebih rendah serta viskositas yang lebih tinggi (Shehata, 2013). Volatilitas yang rendah dan viskositas yang tinggi dapat menyebabkan *super-knocking* (Tuan Hoang & Viet Pham, 2021).

Upaya mengurangi kelemahan-kelemahan dari biodiesel tersebut salah satunya menggunakan zat *additive*, salah satunya menggunakan zat *additive* potassium hydroxide (KOH) yang dicampurkan ke biodiesel. Pada penelitian tersebut digunakan minyak peterseli dengan nilai viskositas 14.9 mm²/s, setelah menggunakan zat *additive* KOH menunjukkan penurunan nilai viskositas menjadi 4.77 mm²/s. Nilai tersebut memenuhi standard ASTM D6751 (Bitire et al., 2021). Penurunan nilai viskositas juga dilakukan dengan menggunakan zat *additive* Ni/Zeolite (Satriadi et al., 2022). Dengan menurunnya nilai viskositas maka nilai volatilitas akan naik (Resitoglu, 2021).

Penggunaan zat *additive* nanopartikel CuO₂ juga mampu menaikkan nilai kalor hingga 6% dibandingkan tanpa menggunakan zat *additive* nanopartikel CuO₂ yang dicampurkan dengan biodiesel B20 (Kalaimurugan et al., 2019). Penelitian lain menggunakan zat *additive* yang sama yaitu nanopartikel namun dengan jenis Al₂O₃, penelitian tersebut meningkatkan tekanan silinder dan laju pelepasan panas masing-masing sebesar 6% dan 13%, dibandingkan dengan B20 tanpa aditif Al₂O₃. Selain itu, konsumsi bahan bakar spesifik menurun sebesar 7,3%, efisiensi termal

meningkat sebesar 4,7%, dibandingkan dengan B20 tanpa aditif dan nilai kalor bertambah 6% untuk konsentrasi yang tertinggi dibandingkan dengan tanpa aditif (Fayad & Dhahad, 2021). Hal tersebut disebabkan kandungan oksigen yang tinggi yang terdapat pada campuran bahan bakar biodiesel dan nanopartikel, yang mana oksigen mendukung terjadinya proses pembakaran yang lebih baik (Ağbulut et al., 2020). Dari beberapa jenis nanopartikel, Al_2O_3 merupakan jenis yang terbaik dibandingkan dengan jenis yang lain karena ukuran *drop late* yang paling kecil dan pengurangan konsumsi bahan bakar yang lebih baik (Hasanuddin et al., 2018).

Berdasarkan penelitian di atas, maka perlu dilakukan penelitian yang membahas beberapa parameter performa mesin, kinerja bahan bakar dan opasitas emisi gas buang menggunakan bahan bakar B30. Pada penelitian ini juga digunakan bahan bakar Dexlite. Namun, sampel tersebut hanya sebagai pembanding. Oleh karena itu, maka peneliti melakukan penelitian yang berjudul **Efek Zat *additive* Nanopartikel Al_2O_3 pada Bahan Bakar Biodiesel B30 Terhadap Opasitas Emisi Gas Buang dan Performa Mesin Diesel.**

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka peneliti dapat merumuskan masalah adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh pencampuran nanopartikel Al_2O_3 terhadap peforma yang dihasilkan mesin?
2. Bagaimanakah pengaruh pencampuran nanopartikel Al_2O_3 terhadap opasitas emisi gas buang yang dihasilkan mesin?

1.3. Batasan Masalah

Pada penelitian ini proses pengujian penambahan nanopartikel Al_2O_3 pada bahan bakar akan dibatasi sebagai berikut:

1. Bahan bakar yang digunakan adalah biodiesel 30%, B30% dicampuran nanopartiikel Al_2O_3 dengan konsentrasi 30, 50, 70, 90 ppm dan Dexlite.
2. Menggunakan mesin diesel.
3. Beban yang di gunakan 1, 3, 5, 7 dan 9 kg.

4. Pembakaran bahan bakar yang dihasilkan mesin diesel meliputi :
 - a. Tekanan silinder terhadap sudut engkol
 - b. Pelepasan panas
 - c. Tekanan Terhadap Volume Silinder
5. Pembakaran bahan bakar yang dihasilkan mesin diesel meliputi :
 - a. Konsumsi bahan bakar
 - b. Efisiensi termis
 - c. Efisiensi volumetrik
 - d. *Brake Power*
6. Opasitas emisi gas buang yang dihasilkan mesin diesel.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yang ingin dicapai adalah untuk mengetahui:

1. Menganalisis efek pencampuran nanopartikel Al_2O_3 terhadap performa yang dihasilkan mesin menggunakan bahan bakar B30.
2. Menganalisis efek pencampuran nanopartikel Al_2O_3 terhadap opasitas emisi gas buang yang dihasilkan mesin menggunakan bahan bakar B30.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Untuk memberi informasi tentang seberapa besar efek pencampuran nanopartikel Al_2O_3 terhadap performa yang dihasilkan mesin menggunakan bahan bakar B30.
2. Untuk memberi informasi tentang seberapa besar efek pencampuran nanopartikel Al_2O_3 terhadap opasitas emisi gas buang yang dihasilkan mesin menggunakan bahan bakar B30.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk penelitian lebih lanjut yang berkaitan dengan efek pencampuran nanopartikel Al_2O_3 terhadap performa dan opasitas emisi gas buang yang dihasilkan menggunakan bahan bakar B30.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian yang Relevan

Penelitian relevan merupakan penelitian yang telah dilakukan seseorang yang telah diakui legalitasnya dan sesuai dengan judul dari penelitian. Peninjauan ke penelitian yang relevan penting untuk dilakukan guna untuk menghindari kesalahan dalam meneliti sehingga dapat menggunakan waktu dan biaya penelitian yang efektif. Relevansi dalam meneliti juga berguna untuk mengetahui alat, bahan, lokasi, metode dan hasil dari masing-masing penelitian.

Penelitian ini meneliti pengaruh nanofluida TiO_2 terhadap emisi hidrokarbon, karbon monoksida, nitrogen oksida, dan asap dari mesin diesel berbahan bakar metil ester minyak mustard murni. Nanopartikel TiO_2 dengan ukuran partikel rata-rata 50 nm disintesis dengan metode sol-gel. Partikel yang disintesis didispersikan dengan konsentrasi yang berbeda (100 dan 200 ppm) metil ester minyak mustard menggunakan homogenizer mekanik dan sonikator. Eksperimen dilakukan dalam mesin diesel empat langkah, silinder tunggal, berbahan bakar diesel, metil ester minyak mustard murni dan metil ester berlapis nanofluida. Dari hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa metil ester pada minyak sawi merupakan kandidat potensial untuk bahan bakar alternatif pada mesin diesel yang ada. Selain itu, nanofluida TiO_2 yang terkait dengan metil ester minyak mustard juga diamati untuk mengurangi berbagai emisi dibandingkan dengan metil ester minyak mustard murni (Yuvarajan et al., 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja dan emisi gas buang mesin diesel yang menggunakan campuran biodiesel jarak pagar melalui penambahan nano-aditif. Percobaan dipasang pada mesin diesel satu silinder untuk mengukur kinerja dan emisi pada beban mesin yang berbeda. Pengujian telah menunjukkan bahwa campuran biodiesel yang mengandung 100 ppm nano- Al_2O_3 dapat meningkatkan efisiensi termal hingga 6,5% dibandingkan dengan semua bahan bakar yang diuji lainnya. Campuran biodiesel jarak pagar yang mengandung 50 ppm CNT mengurangi emisi CO dan NO_x masing-masing sekitar 35% dan 52%,

dibandingkan dengan semua bahan bakar. Biodiesel jarak pagar yang dicampur dengan 25 ppm TiO_2 mengurangi emisi HC dan asap masing-masing sekitar 22% dan 50%, dibandingkan dengan semua bahan bakar lainnya. Biodiesel jarak pagar yang dicampur dengan nanopartikel meningkatkan kinerja mesin dan mengurangi emisi dibandingkan dengan bahan bakar lainnya (Gad & Jayaraj, 2020).

Penelitian ini menyelidiki kinerja dan karakteristik emisi biodiesel minyak biji asam. Penggunaan aditif untuk meningkatkan karakteristik pembakaran biodiesel. Campuran Asam Jawa dengan aditif Alumina (Al_2O_3) adalah B10 + 20 PPM Al_2O_3 , B20 + 20PPM Al_2O_3 dan B30 + 20 PPM Al_2O_3 . Campuran ini dianalisis dan kinerja serta karakteristik emisinya dibandingkan dengan mesin diesel. Diuji pada seluruh rentang operasi alat berat dalam berbagai kondisi beban. Emisi gas buang mesin menurun dengan meningkatnya konsentrasi biodiesel (Shaisundaram et al., 2020).

Dalam penelitian ini, studi eksperimental dilakukan untuk merekomendasikan konsentrasi optimal nanopartikel alumina (Al_2O_3) dalam campuran bahan bakar biodiesel-diesel jojoba (JB20D) untuk kinerja mesin diesel yang optimal dan emisi gas buang. Nanopartikel Al_2O_3 dengan konsentrasi mulai dari 10 hingga 50 mg/l dicampur ke dalam campuran bahan bakar JB20D secara bertahap 10 mg/l dengan bantuan stabilisasi ultrasonik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa JB20D sedikit mengurangi kinerja mesin dan meningkatkan karakteristik emisinya dibandingkan dengan diesel murni dalam semua kondisi operasi yang diuji pada mesin. Penggunaan aditif Al_2O_3 ditemukan mampu meningkatkan semua karakteristik kinerja mesin. Namun, karakteristik emisi terbaik diperoleh pada tingkat dosis 20 mg/L, dengan pengurangan emisi yang signifikan diamati; 70% untuk NO, 80% untuk CO, 60% untuk UHC, dan 35% untuk opasitas asap (El-Seesy et al., 2018).

Penelitian ini berfokus pada analisis karakteristik pembakaran, performa dan emisi mesin diesel satu silinder menggunakan bahan bakar biodiesel Polanga (PBD) dengan aditif nano- Al_2O_3 pada konsentrasi 25 ppm dan 50 ppm. Hasilnya dibandingkan dengan bahan bakar diesel baseline pada beban mesin yang berbeda (25%, 50%, 75% dan 100%), dengan rasio kompresi 17,5 dan putaran mesin

konstan 1500 rpm. Campurkan nanoadditive Al_2O_3 dengan PBD menggunakan magnetic stirrer dan sonicator. Hasil percobaan menunjukkan bahwa nanoadditif meningkatkan karakteristik pembakaran dan emisi bahan bakar karena rasio luas permukaan terhadap volume yang lebih tinggi. Selanjutnya, penambahan nanopartikel Al_2O_3 meningkatkan efisiensi termal rem (BTE) dan mengurangi konsumsi bahan bakar spesifik rem (BSFC) masing-masing sebesar 6,58% dan 7,38%. Selanjutnya, penambahan aditif bahan bakar ke PBD meningkatkan emisi HC, CO, NO_x dan opacity asap karena peningkatan efisiensi pembakaran (Venu & Appavu, 2020).

Penelitian ini menunjukkan pengaruh biodiesel yang didoping nanopartikel nikel oksida pada kinerja mesin CI pada waktu injeksi bahan bakar yang berbeda. Bahan bakar dasar yang digunakan (NBE25) adalah campuran biodiesel *Azadirachta indica* (25%) dan solar konvensional (75%). nanopartikel nikel oksida didoping dalam campuran NBE25 dan empat tingkat dosis 25, 50, 75, dan 100 ppm. Nanopartikel dibuat dengan metode adisi homogen dan berbagai teknik karakterisasi dilakukan untuk memverifikasi signifikansi sifat struktural dan fisik oksida nikel. Percobaan dilakukan pada mesin DI-CI Tangentially Vertical Type VCR pada tiga waktu injeksi (IT) 23°bTDC , 19°bTDC , dan 27°bTDC . Rekaman mengungkapkan bahwa memajukan waktu injeksi bahan bakar menghasilkan tingkat pelepasan panas dan tingkat NO_x yang lebih tinggi. Rata-rata penurunan konsumsi bahan bakar spesifik Rem untuk timing 27°bTDC dibandingkan dengan 23°bTDC untuk takaran 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, dan 100 ppm pada bahan bakar dasar adalah 5,29%, 6,91%, 7,13%, dan 7,86% masing-masing. Efisiensi termal rem untuk 27°bTDC ditemukan lebih tinggi dibandingkan dengan 23°bTDC dan keberadaan nanopartikel memberikan atomisasi sekunder yang karenanya meningkatkan pembakaran bahan bakar yang sempurna (Srinidhi et al., 2019).

Percobaan juga diulang dengan nanopartikel besi oksida (Fe_2O_3) dan analisis statistik dilakukan untuk membandingkan dengan nanopartikel grafit. Nanopartikel G dan Fe_2O_3 pada konsentrasi 50, 100, dan 150 miligram per liter (mg/l) dicampur dengan solar dengan pengadukan magnet untuk membuat campuran bahan bakar

yang homogen. Menentukan sifat fisikokimia campuran bahan bakar. Untuk campuran grafit, penurunan viskositas maksimum 4,9% dan peningkatan indeks setana 3,26% diamati. Parameter yang dipelajari meliputi putaran mesin dari 1500 hingga 3000 rpm dengan interval 300 rpm pada beban penuh. Hasilnya menunjukkan bahwa pada tingkat kepercayaan 95%, G-blend menunjukkan torsi, daya, dan peningkatan BTE yang lebih tinggi, serta pengurangan BSFC yang lebih besar, dibandingkan dengan campuran Fe_2O_3 (Ahmed et al., 2020).

Dalam penelitian ini, biodiesel diperoleh dari minyak kotoran unggas menggunakan asam dan ditransesterifikasi dengan metanol menggunakan katalis basa sedangkan menggunakan asam sulfat dan kalium hidroksida sebagai katalis. Penelitian dilakukan di mesin CI menggunakan campuran biodiesel B20, minyak kotoran unggas dan biodiesel B20 dengan 30 mg/l nanopartikel alumina sebagai aditif. Kinerja, emisi dan karakteristik pembakaran biodiesel B20 dan campuran biodiesel B20 yang ditambahkan alumina diselidiki dengan membandingkannya dengan solar murni. Hasil pengujian eksperimental menunjukkan bahwa karakteristik dan kinerja pembakaran meningkat dengan campuran biodiesel B20 dengan dan tanpa nanopartikel. Menggunakan campuran biodiesel B20 dapat secara signifikan mengurangi karbon monoksida, hidrokarbon yang tidak terbakar, dan meningkatkan emisi nitrogen oksida. Namun, emisi CO, UBHC dan NO_x berkurang secara signifikan untuk campuran biodiesel B20 menggunakan nanopartikel sebagai aditif (Ramesh et al., 2018).

Penelitian ini menyelidiki pengaruh penggunaan bahan bakar nanopartikel Al_2O_3 500ppm dalam campuran bahan bakar biodiesel-diesel 20% minyak sawit terhadap karakteristik nyala api, radiasi, suhu dan emisi polutan dari pembakar minyak. Radiasi nyala inframerah (IR), suhu nyala, luminositas, fluks panas radiasi, dan emisi polutan CO dan NO_x diukur dan dibandingkan dengan bahan bakar B20. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanopartikel Al_2O_3 meningkatkan laju evaporasi droplet nanofuel dan menggeser temperatur nyala maksimum ke daerah hulu. Peningkatan 10% dalam emisivitas api rata-rata dari campuran B20 dan konsentrasi nanopartikel yang lebih tinggi menghasilkan peningkatan yang signifikan dalam

fluks panas radiasi. Akhirnya, menggunakan nanofuel sebagai pengganti bahan bakar B20 mengurangi emisi NO_x sebesar 11% (Pourhoseini & Ghodrat, 2021).

Dalam penelitian ini, 20% minyak *Neochlorella* (B20) dicampur dengan bahan bakar diesel dan nanopartikel ceria (CeO₂) pada dosis masing-masing 25ppm, 50ppm, 75ppm dan 100ppm. Studi ini dilakukan pada mesin satu silinder berpendingin udara yang terhubung ke dinamometer listrik tanpa perubahan mesin dan dengan tekanan injeksi dan waktu yang dipertahankan pada standar awal mesin yang tepat. Energi ceria yang dicampur dengan biodiesel meningkatkan kinerja pembakaran mesin dan mengarah pada pengurangan simpanan karbon di dinding silinder (Kalaimurugan et al., 2020).

2.2. Karakteristik Bahan Bakar Diesel

Densitas, viskositas, titik nyala, titik tuang, angka setana, dll. dianggap sebagai sifat paling penting dari bahan bakar yang digunakan dalam mesin. Sifat-sifat ini menunjukkan kualitas bahan bakar. Tenaga mesin dan emisi juga berhubungan langsung dengan ini. Ada berbagai jenis standar seperti ASTM, EN, ISO, dll. untuk menentukan batasan untuk setiap karakteristik bahan bakar. Di antara mereka, ASTM adalah standar yang paling banyak digunakan. Untuk mencapai kinerja dan emisi mesin standar, nilai sifat bahan bakar harus berada dalam kisaran tersebut. Dalam hal ini, mempelajari sifat bahan bakar adalah bagian terpenting dari penggunaan cairan sebagai bahan bakar. Saat ini, pencampuran banyak digunakan untuk meningkatkan sifat bahan bakar biodiesel. Terkadang biodiesel adalah campuran dari dua atau lebih bahan baku untuk meningkatkan kinerja (Arbab et al., 2013).

1. Viskositas Bahan Bakar

Karakteristik aliran bahan bakar, semprotan dan atomisasi secara langsung diatur oleh viskositas kinetik bahan bakar. Viskositas yang lebih tinggi meningkatkan konsumsi daya pompa bahan bakar dan menyebabkan semprotan dan atomisasi yang buruk dan juga meningkatkan konsumsi bahan bakar (Arbab et al., 2013).

2. Densitas

Kepadatan dan viskositas berbanding lurus satu sama lain. Kepadatan yang lebih tinggi meningkatkan konsentrasi energi bahan bakar dan meminimalkan kebocoran bahan bakar. Ini juga mempengaruhi efisiensi atomisasi bahan bakar. Tetapi kepadatan yang lebih tinggi menyebabkan viskositas yang lebih tinggi yang pada gilirannya menghasilkan pembakaran yang buruk dan mempengaruhi kinerja dan emisi mesin (Arbab et al., 2013).

3. Angka Setana

Angka setana (CN) adalah indikator utama kualitas bahan bakar yang digunakan dalam mesin penyalaan kompresi (CI). Ini adalah deskriptor tanpa dimensi. Hal ini terkait dengan waktu tunda pengapian, yaitu waktu yang berlalu antara injeksi bahan bakar dan permulaan penyalaan. Penundaan pengapian yang lebih pendek sesuai dengan CN yang lebih tinggi dan sebaliknya. CN yang lebih tinggi diinginkan untuk bahan bakar mesin CI (Arbab et al., 2013).

4. Nilai Kalor

Nilai kalor suatu bahan bakar didefinisikan sebagai jumlah panas yang dilepaskan selama pembakaran ketika satu unit kuantitas bahan bakar dibakar. Nilai kalori yang lebih tinggi untuk bahan bakar diinginkan karena memfasilitasi pelepasan panas selama pembakaran dan meningkatkan kinerja mesin. Biasanya biodiesel memiliki nilai kalori yang lebih rendah daripada diesel murni. Tetapi biodiesel biji kapas memiliki nilai kalori yang sangat dekat dengan diesel murni dan lebih tinggi dari biodiesel lainnya. Biodiesel jarak pagar, kelapa sawit, dan kedelai juga memiliki nilai kalori yang sebanding. Sehingga biodiesel ini dapat memberikan performa mesin yang lebih baik dibandingkan biodiesel lainnya (Arbab et al., 2013).

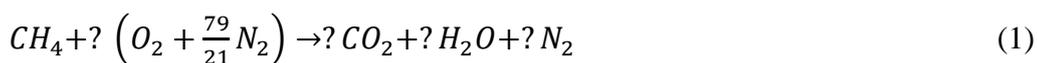
5. Titik Nyala

Titik nyala adalah salah satu sifat yang paling penting dari bahan bakar. Ini menunjukkan suhu pengapian minimum bahan bakar. Titik nyala yang lebih tinggi membuat bahan bakar lebih aman untuk ditangani dan disimpan dan mencegah pengapian bahan bakar yang tidak terduga selama pembakaran. Kebanyakan biodiesel memiliki titik nyala yang lebih tinggi dari diesel murni

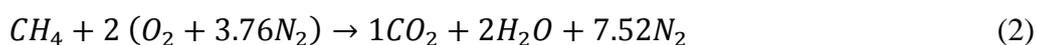
tersebut. Standar ASTM merekomendasikan titik nyala minimum biofuel menjadi 130⁰ C. Oleh karena itu, jelas bahwa biodiesel jarak pagar dan kelapa sawit lebih baik daripada yang lain dalam hal ini (Arbab et al., 2013).

2.3. Stoikiometri Pembakaran

Untuk mesin pembakaran tertentu, katakanlah mesin piston, berapa banyak bahan bakar dan udara yang harus masukkan agar keduanya benar-benar terbakar? Pertanyaan ini dapat dijawab dengan menyetarakan persamaan reaksi pembakaran untuk bahan bakar tertentu. Campuran stoikiometri mengandung jumlah bahan bakar dan oksidator yang tepat sehingga setelah pembakaran selesai, semua bahan bakar dan oksidator dikonsumsi untuk membentuk produk. Campuran ideal ini kira-kira menghasilkan suhu nyala maksimum, karena semua energi yang dilepaskan dari pembakaran digunakan untuk memanaskan produk. Misalnya, persamaan reaksi berikut dapat ditulis untuk menyeimbangkan pembakaran metana-udara (McAllister et al., 2006):

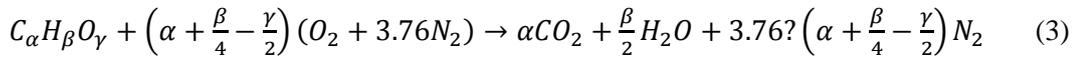


Dimana udara yang terdiri dari 21% O₂ dan 79% N₂ diasumsikan. Koefisien yang terkait dengan setiap spesies dalam persamaan di atas tidak diketahui. Dengan menyeimbangkan kelimpahan atom pada kedua sisi reaktan dan produk, kita dapat menemukan koefisien untuk setiap spesies. Misalnya, mari kita tentukan koefisien CO₂: di sisi reaktan, kita memiliki 1 mol atom C; maka sisi produk juga harus memiliki 1 mol atom C. Oleh karena itu, koefisien CO₂ adalah satu. Dengan menggunakan prosedur ini kita dapat menentukan semua koefisien. Koefisien ini disebut koefisien reaksi stoikiometrik. Untuk pembakaran metana stoikiometri dengan udara, persamaan reaksi yang seimbang berbunyi (McAllister et al., 2006):

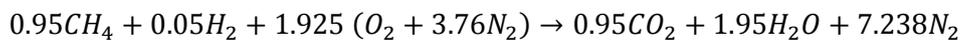


Perhatikan bahwa pada sisi reaktan terdapat 2·(1 + 3,76) atau 9,52 mol udara dan massa molekulnya adalah 28,96 kg/kmol. Dalam teks ini, reaksi disetarakan menggunakan 1 mol bahan bakar. Hal ini dilakukan di sini untuk menyederhanakan perhitungan kalor reaksi dan suhu api nanti. Stoikiometri pembakaran untuk bahan

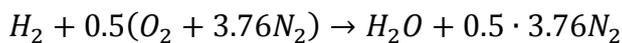
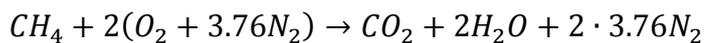
bakar hidrokarbon umum, $C_\alpha H_\beta O_\gamma$, dengan udara dapat dinyatakan sebagai (McAllister et al., 2006):



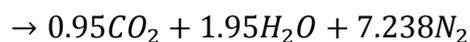
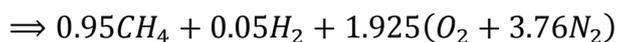
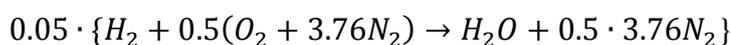
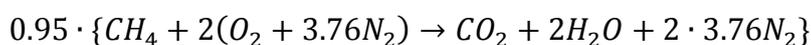
Jumlah udara yang dibutuhkan untuk membakar campuran stoikiometri disebut udara stoikiometrik atau teoritis. Rumus di atas adalah untuk bahan bakar komponen tunggal dan tidak dapat diterapkan pada bahan bakar yang terdiri dari beberapa komponen. Ada dua pendekatan tipikal untuk sistem dengan banyak bahan bakar. Contoh diberikan di sini untuk campuran bahan bakar yang mengandung 95% metana dan 5% hidrogen. Metode pertama mengembangkan stoikiometri pembakaran menggunakan prinsip umum keseimbangan atom, memastikan bahwa jumlah total setiap jenis atom (C, H, N, O) adalah sama dalam produk dan reaktan (McAllister et al., 2006).



Metode lain untuk menyetarakan campuran bahan bakar adalah pertama-tama mengembangkan hubungan stoikiometri untuk CH_4 dan H_2 secara terpisah (McAllister et al., 2006):



Kemudian, kalikan persamaan stoikiometri individu dengan fraksi mol komponen bahan bakar dan tambahkan (McAllister et al., 2006):



2.4. Opasitas Emisi Gas Buang

Smoke dan smoke opacity meter adalah instrumen yang mengukur sifat optik dari knalpot diesel. Instrumen ini telah dirancang untuk mengukur emisi asap hitam yang terlihat dengan memanfaatkan fenomena fisik seperti pemadaman berkas cahaya dengan hamburan dan penyerapan. Secara umum, pengukur asap dan opasitas jauh lebih sederhana (beberapa di antaranya sangat sederhana) dan lebih

murah dibandingkan dengan sebagian besar instrumen lain yang digunakan untuk pengukuran PM. Mereka sering digunakan untuk mengevaluasi emisi asap di lokasi di luar laboratorium, seperti di bengkel pemeliharaan atau di lapangan. Faktanya, pengukuran opasitas asap adalah satu-satunya metode yang relatif murah dan tersedia secara luas untuk mengukur parameter emisi terkait PM di lapangan. Untuk alasan ini, batas opasitas digunakan di sebagian besar program inspeksi dan pemeliharaan (I&M) atau inspeksi teknis berkala (PTI) untuk mesin diesel. Batas opasitas asap juga dapat dimasukkan sebagai batas tambahan dalam standar emisi engine baru (Majewski & Jääskeläinen, 2013).

Mengingat tuntutan mesin diesel emisi rendah yang canggih, bidang hal berikut dapat diidentifikasi dalam teknologi pengukur opasitas asap konvensional:

- Resolusi tidak memadai: Tingkat asap pada mesin diesel tanpa asap dan emisi rendah (misalnya, Euro IV) mendekati resolusi pengukur opasitas konvensional. Resolusi, stabilitas, dan kebisingan harus ditingkatkan untuk memungkinkan pengukuran opasitas pada mesin diesel canggih.
- Sensitivitas silang terhadap nitrogen dioksida: Perangkat aftertreatment knalpot katalitik, seperti zat *additive* oksidasi atau filter partikulat, dapat meningkatkan persentase NO₂ dalam total NO_x dari kurang dari 10% hingga 40% dan lebih. Nitrogen dioksida menyerap cahaya hijau, yang digunakan dalam pengukur opasitas konvensional. Opacity meter terbaca antara 0,00016 dan 0,00024 m⁻¹ per ppm NO₂, tergantung pada bandwidth sensor (Jones, 2002). Konsentrasi 300 ppm NO₂ dalam mesin moder bukan asumsi yang tidak realistis akan menyebabkan 0,06 m⁻¹ pembacaan opacity, yang setara dengan 40% dari tingkat kelulusan EEV Euro III, dimaksudkan untuk emisi jelaga. Untuk mesin yang dilengkapi dengan filter partikulat katalitik, hampir semua sinyal opasitas akan disebabkan oleh nitrogen dioksida.
- Ketidakepekaan terhadap partikel kecil: Sebagian besar partikel diesel memiliki diameter di bawah 200 nm. Partikel berdiameter 200 nm atau lebih besar menghalangi lampu hijau sebanding dengan luas permukaan penampangnya. Partikel berdiameter 50 nm, bagaimanapun, hanya memblokir sekitar 15% dari luas permukaannya (Jones, 2002). Ini berarti bahwa pembacaan opasitas

bergantung pada ukuran partikel dan akan diremehkan jika partikel yang lebih kecil diukur (Majewski & Jääskeläinen, 2013).

Berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan sensitivitas meter opasitas diesel, misalnya dengan menggunakan sistem jalur cahaya ganda dengan cermin (Zahoransky et al., n.d.). Sensitivitas silang NO₂ dapat dihilangkan dengan beralih ke panjang gelombang cahaya yang berbeda, misalnya, ke lampu merah. Merah, bagaimanapun, kurang sensitif terhadap partikel kecil daripada hijau. Peralihan dari hijau ke ultraviolet, pada gilirannya, dapat meningkatkan "visibilitas" partikel kecil (Jones, 2002). Mengingat solusi yang saling bertentangan ini, peralihan sederhana ke panjang gelombang yang berbeda tidak akan cukup (Majewski & Jääskeläinen, 2013).

Namun, karena belum ada solusi yang memuaskan yang ditemukan, pengukur opasitas konvensional berdasarkan pengukuran pemadaman cahaya dapat diganti dengan perangkat yang menggunakan prinsip pengukuran lain. Pengukur opasitas "generasi kedua" berdasarkan hamburan sinar laser jauh lebih sensitif. Mereka tampaknya menjanjikan aplikasi untuk mesin yang lebih baru dengan emisi partikulat yang jauh lebih rendah, termasuk mesin yang dilengkapi dengan filter partikulat (Majewski & Jääskeläinen, 2013).

Pembacaan opasitas asap umumnya tidak berkorelasi baik dengan parameter pengukuran PM lainnya. Banyak korelasi antara opacity atau pembacaan asap dan massa PM yang telah dikembangkan hanya dapat memberikan hasil perkiraan. Karena pembacaan opasitas dapat dipengaruhi oleh sulfat, HC, uap air, serta oleh komposisi PM atau kondisi fisik (misalnya, koagulasi), tidak ada korelasi akurat yang mungkin (Majewski & Jääskeläinen, 2013).

2.5. Performa Mesin

1. Brake Power

Brake power adalah keluaran daya yang dapat digunakan dari mesin, tidak termasuk daya yang dibutuhkan untuk bahan bakar, pelumas, atau panas mesin, sirkulasi pendingin ke mesin, atau mengoperasikan perangkat after-treatment. Juga

merupakan daya yang dikembangkan oleh mesin pada poros keluaran. Daya rem diberikan oleh persamaan :

$$BP = \frac{2nNT}{60} \quad (4)$$

Dimana :

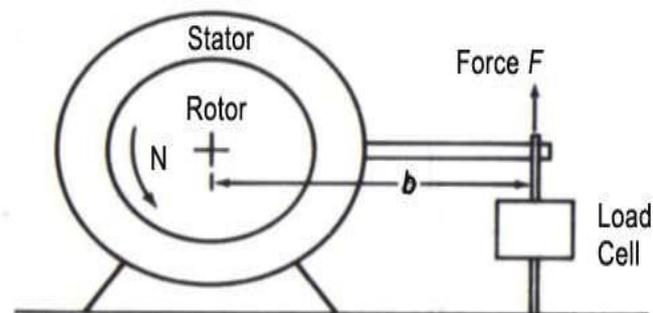
BP = brake power (kW)

N = Angular Speed (rpm)

T = Torque (Nm) (Muhammad Usman & Pam, 2013).

2. Torsi Mesin

Energi adalah kemampuan mesin untuk melakukan kerja, sedangkan daya adalah laju kerja yang dilakukan. Daya P, yang dihasilkan oleh mesin dan diserap oleh dinamometer adalah produk dari torsi dan kecepatan sudut. Gambar 1 menunjukkan diagram skema dinamometer yang dapat digunakan dalam studi torsi mesin dan daya mesin:



Gambar 2. 1 Skematik Diagram Dinamometer (Muhammad Usman & Pam, 2013)

Dari Gambar 2.5, beban yang ditunjukkan pada pelat membaca gaya F yang diterapkan pada jarak b dari pusat rotor. Torsi yang diberikan oleh mesin pada dinamometer adalah T :

$$T = F \cdot b \quad (5)$$

Dimana,

F = gaya yang dipakai

b = jarak dari titik ke aksi dari gaya (Muhammad Usman & Pam, 2013)

3. Break Mean Effective Pressure

Mean Effective Pressure (P_m) adalah tekanan konstan hipotetis yang diasumsikan bekerja pada piston selama langkah ekspansinya yang menghasilkan keluaran kerja yang sama dengan siklus sebenarnya.

Break Mean Effective Pressure (BMEP) mesin adalah tekanan rata-rata (rata-rata) yang, jika dipaksakan pada piston secara seragam dari atas ke bawah setiap langkah daya, akan menghasilkan keluaran daya (rem) yang terukur mesin dua langkah dengan persamaan:

$$P_{im} = \frac{60000 BP}{LANK} \quad (6)$$

Dimana,

P_{im} = Brake Mean effective pressure (N/m^2)

L = length of the stroke (m)

A = area of piston (m^2)

N = speed in rpm

K = number of cylinder (Muhammad Usman & Pam, 2013)

4. Fuel Consumption

Tingkat konsumsi bahan bakar adalah hasil dari laju aliran volume bahan bakar dan densitas bahan bakar. Secara matematis,

$$\text{Consumption rate, } \dot{m} = \frac{v}{t} \rho_f$$

Dimana,

V = volume of fuel consumed

T = time taken consume the fuel

ρ_f = density fuel used

sama dengan,

$$\rho_f = s.g. \text{ of Fuel } \times \text{ dens of water} \quad (7)$$

Densitas air 1000 kg/m^3 (Muhammad Usman & Pam, 2013).

5. Specific Fuel Consumption

Didefinisikan sebagai rasio laju aliran massa bahan bakar ke dalam mesin dengan daya rem mesin. Secara matematis;

$$SFC = \dot{m}_f / BP \quad (8)$$

Dimana,

\dot{m} = rate of fuel flow into the engine

BP = Brake power (Muhammad Usman & Pam, 2013).

6. Brake Thermal Efficiency

Efisiensi termal rem adalah rasio daya rem terhadap input energi bahan bakar. Terlihat bahwa penggunaan bahan bakar biodiesel kaya oksigen mendorong pembentukan campuran dan pembakaran yang lebih baik, sehingga meningkatkan efisiensi termal (T. Nafi'u, 2011). Peningkatan efisiensi termal rem dapat dikaitkan dengan kandungan oksigen yang ditingkatkan, yang meningkatkan pembakaran terutama selama fase pembakaran difusi, dan pelumasan biodiesel yang lebih tinggi yang mengurangi kehilangan gesekan (T. Nafi'u, 2011). Brake Efficiency Thermal dengan persamaan berikut oleh (K. Erol, 2005):

$$\eta_{bth} = \frac{BP}{\dot{m}_f \cdot Q_{LHV}} \quad (9)$$

Dimana,

η_{bth} = brake thermal efficiency

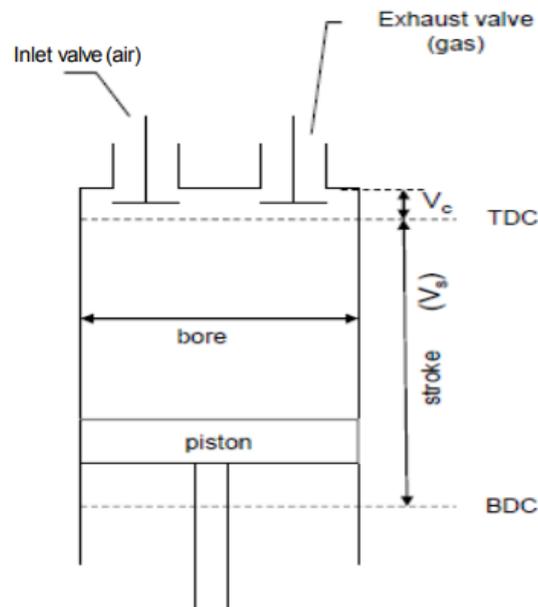
BP = brake power

\dot{m}_f = mass of fuel supplied

Q_{LHV} = lower heating value of fuel (Muhammad Usman & Pam, 2013).

2.6. Rasio Kompresi

Rasio kompresi didefinisikan sebagai rasio 2 volume ruang bakar terhadap volume silinder. Peningkatan rasio kompresi memiliki dampak menguntungkan pada kinerja mesin secara keseluruhan (Kumar, 2019).

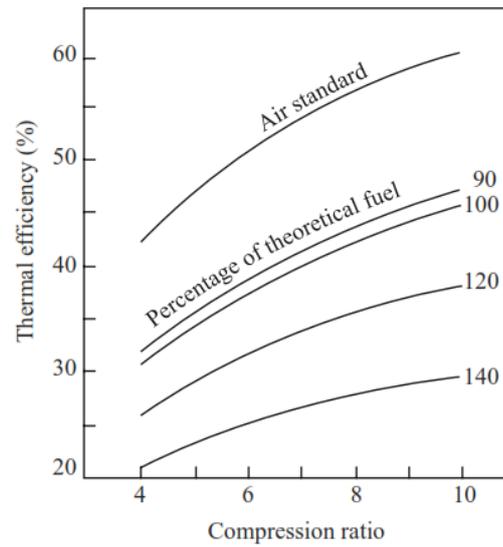


Gambar 2. 2. Skematik Rasio Kompresi

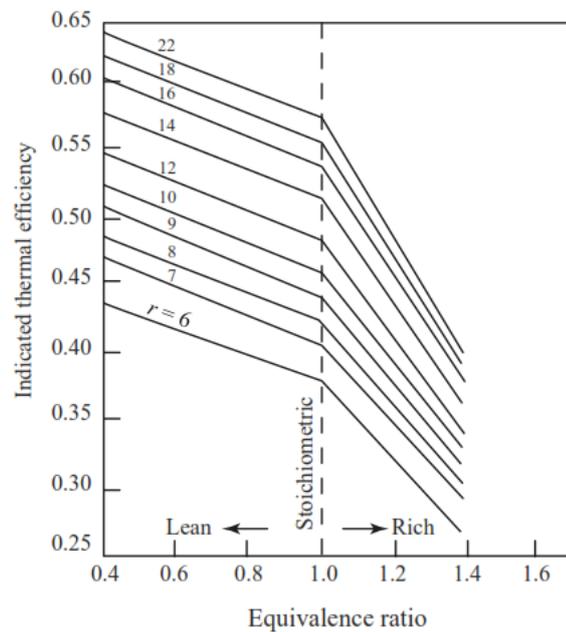
$$\text{Rasio Kompresi} = \frac{V_c + V_s}{V_c} \quad (10)$$

Efisiensi siklus bahan bakar-udara meningkat dengan rasio kompresi dengan cara yang sama seperti efisiensi siklus udara-standar, terutama karena alasan yang sama (lebih banyak ruang lingkup pekerjaan ekspansi). Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.2. (Ganesan, 2017).

Variasi efisiensi termal yang ditunjukkan sehubungan dengan rasio kesetaraan untuk berbagai rasio kompresi dijelaskan pada Gambar 2.3 Rasio kesetaraan, ϕ , didefinisikan sebagai rasio bahan bakar-udara aktual dengan bahan bakar-udara yang benar secara kimiawi berdasarkan massa (Ganesan, 2017) .



Gambar 2. 3. Pengaruh Rasio Kompresi Dan Kekuatan Campuran Terhadap Efisiensi (Ganesan, 2017)

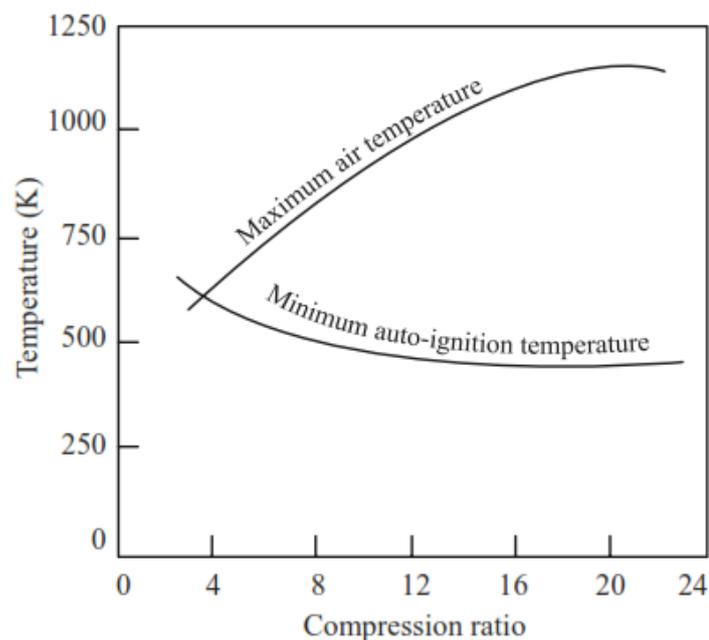


Gambar 2. 4. Pengaruh Kekuatan Campuran Pada Efisiensi Termal Untuk Berbagai Rasio Kompresi (Ganesan, 2017)

Peningkatan rasio kompresi hanya menyebabkan sedikit peningkatan suhu gas di dekat titik mati atas; tetapi, karena pemuaiannya yang lebih besar, akan terjadi penurunan suhu gas yang cukup besar di dekat pusat mati bawah di mana dinding silinder besar terbuka. Temperatur gas buang juga akan jauh lebih rendah karena pemuaiannya yang lebih besar sehingga panas yang dibuang saat blowdown akan lebih

sedikit. Secara umum, dengan meningkatnya rasio kompresi cenderung ada pengurangan marjinal dalam penolakan panas (Ganesan, 2017).

Peningkatan suhu kompresi udara dengan peningkatan rasio kompresi yang dievaluasi pada akhir langkah kompresi ditunjukkan pada Gambar 2.4. Juga terlihat dari gambar yang sama bahwa suhu penyalaan otomatis minimum bahan bakar menurun karena peningkatan densitas udara terkompresi. Ini menghasilkan kontak yang lebih dekat antara molekul bahan bakar dan oksigen yang mengurangi waktu reaksi. Peningkatan suhu kompresi serta penurunan suhu penyalaan otomatis minimum mengurangi periode penundaan. Tekanan puncak selama proses pembakaran hanya sedikit dipengaruhi oleh rasio kompresi (karena periode tunda lebih pendek dengan rasio kompresi yang lebih tinggi sehingga kenaikan tekanan lebih rendah) (Ganesan, 2017).



Gambar 2. 5. Pengaruh Rasio Kompresi Pada Suhu Udara Maksimum Dan Suhu Penyalaan Otomatis Minimum (Ganesan, 2017)

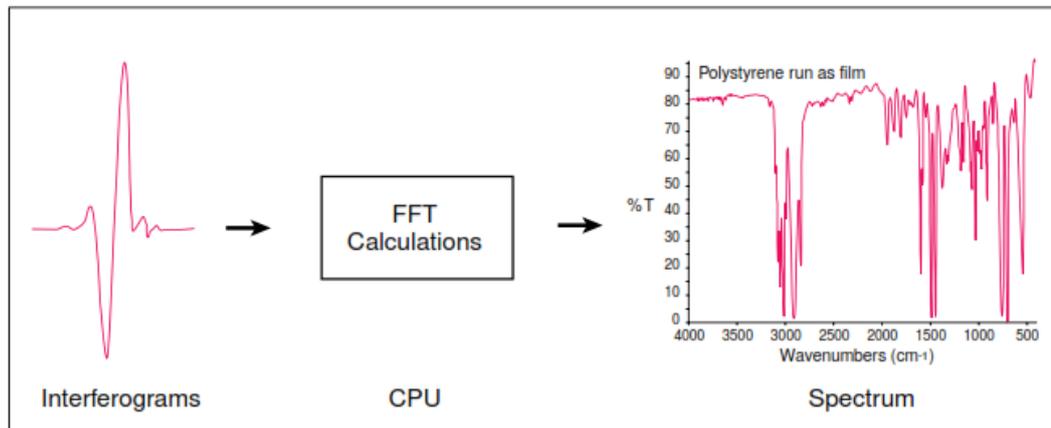
2.7. *Fourier Transformed Infrared (FTIR)*

Spektrometri Fourier Transform Infrared (FT-IR) dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan yang dihadapi dengan instrumen dispersif. Kesulitan utama adalah proses pemindaian yang lambat. Sebuah metode untuk mengukur semua

frekuensi inframerah secara bersamaan, bukan secara individual, diperlukan sebuah solusi yang dikembangkan menggunakan perangkat optik yang sangat sederhana yang disebut interferometer. Interferometer menghasilkan jenis sinyal unik yang memiliki semua frekuensi inframerah yang "dikodekan" ke dalamnya. Sinyal dapat diukur dengan sangat cepat, biasanya dalam urutan satu detik atau lebih. Dengan demikian, elemen waktu per sampel dikurangi menjadi hitungan beberapa detik daripada beberapa menit. (Ganzoury et al., 2015).

Kebanyakan interferometer menggunakan beamsplitter yang mengambil sinar inframerah yang masuk dan membaginya menjadi dua sinar optik. Satu sinar dipantulkan dari cermin datar yang dipasang pada tempatnya. Balok lainnya memantul dari cermin datar yang berada pada mekanisme yang memungkinkan cermin ini bergerak dalam jarak yang sangat pendek (biasanya beberapa milimeter) menjauh dari beamsplitter. Kedua balok memantul dari cermin masing-masing dan digabungkan kembali ketika mereka bertemu kembali di beamsplitter. Karena jalur yang dilalui satu tempat sinar yang memiliki panjang yang tetap dan yang lainnya terus berubah saat cerminnya bergerak, sinyal yang keluar dari interferometer adalah hasil dari dua berkas yang "berinterferensi" satu sama lain. Sinyal yang dihasilkan disebut interferogram yang memiliki sifat unik bahwa setiap titik data (fungsi dari posisi cermin bergerak) yang membentuk sinyal memiliki informasi tentang setiap frekuensi inframerah yang berasal dari sumbernya (Ganzoury et al., 2015).

Ini berarti bahwa ketika interferogram diukur, semua frekuensi diukur secara bersamaan. Dengan demikian, penggunaan interferometer menghasilkan pengukuran yang sangat cepat. Karena analisis memerlukan spektrum frekuensi (plot intensitas pada setiap frekuensi individu) untuk melakukan identifikasi, sinyal interferogram yang diukur tidak dapat diinterpretasikan secara langsung. Sebuah sarana "decoding" frekuensi individu diperlukan. Ini dapat dicapai melalui teknik matematika terkenal yang disebut transformasi Fourier. Transformasi ini dilakukan oleh komputer yang kemudian menyajikan kepada pengguna informasi spektral yang diinginkan untuk dianalisis (Ganzoury et al., 2015).



Gambar 2. 6 Skematik Proses FT-IR (Ganzoury et al., 2015)

2.8. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

Analisis Gas chromatography mass spectrometry (GC/MS) adalah alat pengujian dan pemecahan masalah yang efektif untuk mengidentifikasi dan mengukur bahan kimia dalam campuran kompleks (Fauzi et al., 2017). Beberapa bidang teknis yang menggunakan analisis GC-MS adalah industri parfum (Van Asten, 2002), makanan (Chiu & Kuo, 2020; Vene et al., 2013), penelitian farmasi, penelitian bahan bakar hidrokarbon (He et al., 2016), forensik (Bridge et al., n.d.) dan terkadang menjadi lebih kuat untuk mendeteksi agen perang kimia (Li et al., 2020).

GC dan MS memberikan hasil yang berbeda namun saling melengkapi; sementara GC memisahkan komponen campuran, MS dapat menganalisis dan mengidentifikasi komponen ini. Metode ini pertama kali digunakan bersama-sama pada 1950-an, dan masih diterapkan secara luas di klinik dan laboratorium di seluruh dunia (Simon-Manso et al., 2013).

Selain itu, pemisahan dengan kromatografi gas juga memberikan informasi dan berkontribusi pada identifikasi zat organik yang tidak ambigu. Proses identifikasi saat ini didukung oleh algoritma pencarian otomatis; namun, identifikasi yang mendalam membutuhkan pengetahuan mendalam tentang interpretasi data spektrometri massa dan kromatografi gas. Oleh karena itu, penelitian ini ditujukan untuk mengumpulkan dan merangkum cara membaca dan menginterpretasikan keluaran GC/MS secara praktis dan sistematis. Aspek utama dari interpretasi data GC/MS diberikan terlebih dahulu dengan deskripsi singkat tentang proses

identifikasi terkini dan, terakhir, dengan beberapa contoh dari latar belakang penelitian laboratorium dan penggunaan industri sebagai analisis masalah teknis (Nugraha et al., 2021).

2.9. Nanopartikel

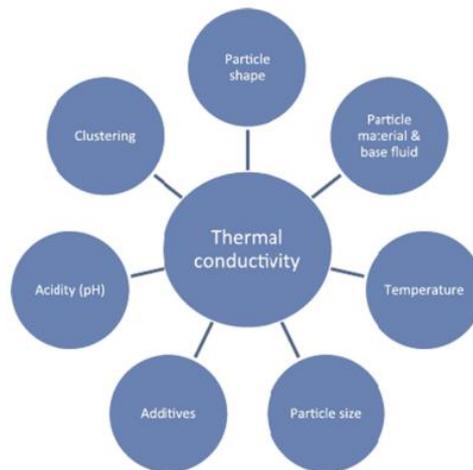
Oksida logam berperan yang sangat penting dalam banyak bidang kimia, fisika, dan ilmu material (Henrich, 1995; Kung, 1989; Noguera, 1996). Unsur-unsur logam mampu membentuk keragaman besar senyawa oksida. Dalam aplikasi teknologi, oksida digunakan dalam pembuatan sirkuit mikroelektronika, sensor, perangkat piezoelektrik, sel bahan bakar, pelapis untuk permukaan terhadap korosi, dan sebagai zat *additive*. Di bidang nanoteknologi yang muncul, tujuannya adalah untuk membuat struktur nano atau nanoarray dengan sifat khusus sehubungan dengan partikel massal atau partikel tunggal, nanopartikel sisi dapat menunjukkan sifat fisik dan kimia yang unik karena ukurannya yang terbatas dan kepadatan sudut atau tepi yang tinggi. situs permukaan. Ukuran partikel diperkirakan mempengaruhi tiga kelompok penting dari sifat dasar dalam bahan apapun. Yang pertama terdiri dari karakteristik struktural, yaitu simetri kisi dan parameter sel. Oksida curah biasanya merupakan sistem yang kuat dan stabil dengan struktur kristalografi yang terdefinisi dengan baik. Namun, semakin pentingnya energi bebas permukaan dan stres dengan penurunan ukuran partikel harus dipertimbangkan: perubahan stabilitas termodinamika yang terkait dengan ukuran dapat menyebabkan modifikasi parameter sel dan/atau transformasi struktural dan dalam kasus ekstrim, nanopartikel dapat menghilang karena interaksi dengan lingkungan sekitarnya dan energi bebas permukaan yang tinggi. Untuk menampilkan stabilitas mekanik atau struktural, nanopartikel harus memiliki energi bebas permukaan yang rendah. Sebagai konsekuensi dari persyaratan ini, fase yang memiliki stabilitas rendah dalam bahan curah dapat menjadi sangat stabil dalam struktur nano. Fenomena struktural ini telah terdeteksi dalam TiO_2 , VO_x , Al_2O_3 , atau MoO_x oksida (Fernández-García & Rodríguez, 2009).

Banyak peneliti melakukan berbagai percobaan untuk meningkatkan stabilitas nanofluida melalui getaran ultrasonik, penambahan surfaktan dan pengendalian pH

untuk mendapatkan campuran nanopartikel yang tepat dengan bahan bakar cair. Teknologi dispersi fluida terdiri dari tiga metode: kontrol mekanis, kontrol medium, dan kontrol agen. Kontrol mekanis menggunakan disintegrasi, osilator ultrasonik, dan pengadukan elektromagnetik untuk dispersi partikel. Kontrol media menggunakan media yang berbeda untuk partikel yang berbeda dalam hal sifat permukaan seperti polaritas untuk mencapai efek dispersi yang lebih baik. Kontrol agen berlaku untuk berbagai dispersan ke berbagai partikel dalam hal keadaan fisik dan kimia medium untuk meningkatkan penolakan antar partikel (Mondragon et al., 2012). Secara termodinamika, bahan bakar emulsi tidak stabil, dan karenanya secara bertahap dipisahkan menjadi dua fase yang tidak dapat bercampur. Proses destabilisasi bahan bakar emulsi yang paling sering adalah penggabungan droplet-droplet, flokulasi, dan creaming (Tcholakova et al., 2006).

Para peneliti memberikan kontemplasi ekstra terhadap konduktivitas termal nanofluida. Efek pada konduktivitas termal nanofluida tergantung pada parameter berikut: (1) ukuran partikel adalah salah satu parameter paling signifikan yang mempengaruhi konduktivitas termal nanofluida. nanopartikel dapat disintesis dalam berbagai ukuran, dari kisaran 5 dan 100 nm, (2) bentuk partikel terdiri dari partikel silinder dan bola. Untuk rasio panjang terhadap diameter yang besar, bentuk silinder digunakan, (3) bahan partikel dan fluida dasar memainkan peran penting dalam konduktivitas termal nanofluida. Nanopartikel oksida seperti SiO_2 , CuO , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dll., CNT dan logam seperti Cu, Ag, Au, dll. Dicampur dalam cairan dasar seperti oli mesin, etilen glikol, propilen glikol, air, dll. .mengakibatkan peningkatan konduktivitas termal campuran, dan (4) konduktivitas termal fluida dasar dan partikel bergantung pada suhu. Gambar 2.3. mengilustrasikan faktor-faktor yang dibahas di atas yang mempengaruhi konduktivitas termal. Dua mekanisme signifikan dalam peningkatan konduktivitas termal nanofluida adalah pelapisan cairan di sekitar nanopartikel dan gerakan Brown dari nanopartikel. Kedua mekanisme bekerja dengan sempurna ketika ukuran partikel berkurang dan meningkatkan konduktivitas termal. Pengelompokan nanopartikel berguna dalam meningkatkan konduktivitas termal. Namun, pengelompokan berlebihan menciptakan efek sebaliknya pada konduktivitas termal

karena sedimentasi terkait (Raja et al., 2016). (Karthikeyan et al., 2008) menggunakan teknik presipitasi sederhana untuk mempelajari sintesis nanopartikel oksida tembaga dengan diameter rata-rata 8 nm, serta sifat termal suspensi dalam air dan etilen glikol sebagai fluida dasar (Soudagar et al., 2020).

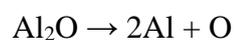


Gambar 2. 7. Faktor yang Mempengaruhi Konduktifitas Thermal Nanopartikel

Nanopartikel aluminium oksida pada suhu tinggi terdisosiasi menjadi Al_2O dan oksigen:



Al_2O_3 tidak stabil pada suhu tinggi selama pembakaran di ruang bakar, sehingga juga terurai sebagai berikut:



Banyak peneliti menemukan bahwa perilaku pembakaran metil ester dengan penambahan bahan energik berukuran nano sebagai aditif meningkatkan pembakaran dan kinerja mesin mesin diesel (Aalam & Saravanan, 2017)