



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – TM184835

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PENYIMPANAN
BAHAN BAKAR BODIESEL TERHADAP SIFAT
BAHAN BAKAR, PERFORMA, DAN EMISI MESIN
DIESEL 4-LANGKAH SILINDER TUNGGAL**

GILANG LUKITO PRABOWO
02111440000148

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. ATOK SETIYAWAN, M.Eng.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA
SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020



TUGAS AKHIR – TM184835

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PENYIMPANAN
BAHAN BAKAR BIODIESEL TERHADAP SIFAT
BAHAN BAKAR, PERFORMA, DAN EMISI MESIN
DIESEL 4-LANGKAH SILINDER TUNGGAL**

**GILANG LUKITO PRABOWO
NRP. 0211144000148**

**Dosen Pembimbing :
Dr. Ir. ATOK SETIYAWAN, M.Eng.Sc**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA
SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



FINAL PROJECT – TM184835

**EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF
BIODIESEL FUEL STORAGE ON FUEL
PROPERTIES, PERFORMANCE, AND EMISSIONS
OF SINGLE CYLINDER 4-STROKE DIESEL ENGINE**

**GILANG LUKITO PRABOWO
NRP. 0211144000148**

**Academic Advisor :
Dr. Ir. ATOK SETIYAWAN, M.Eng.Sc**

**BACHELOR PROGRAM
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND
SYSTEMS ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020**

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PENYIMPANAN
BAHAN BAKAR BODIESEL TERHADAP SIFAT
BAHAN BAKAR, PERFORMA, DAN EMISI MESIN
DIESEL 4-LANGKAH SILINDER TUNGGAL**

TUGAS AKHIR

Diajukan ntuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

GILANG LUKITO PRABOWO

NRP. 02111440000148

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc (Pembimbing)
NIP. 196604021989031002
2. Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT (Penguji I)
NIP. 197301161997021001
3. Bb. Arip Dwiyantoro, ST, M.Eng, PhD. (Penguji II)
NIP. 197804012002121001
4. Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT (Penguji III)
NIP. 197104051997021001

**SURABAYA
JANUARI, 2020**

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PENYIMPANAN BAHAN BAKAR BIODIESEL TERHADAP SIFAT BAHAN BAKAR, PERFORMA, DAN EMISI MESIN DIESEL 4-LANGKAH SILINDER TUNGGAL

Nama : Gilang Lukito Prabowo
NRP : 02111440000148
Departemen : Teknik Mesin
Pembimbing : Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc

ABSTRAK

Kebutuhan energi dalam negeri yang terus meningkat menyebabkan impor migas Indonesia mencapai 49,1 ton pada tahun 2018. Biodiesel merupakan salah satu energi alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk menekan jumlah impor migas. Salah satu kelebihan penggunaan biodiesel adalah rendah emisi, sehingga lebih ramah lingkungan. Namun, biodiesel memiliki sifat *biodegradable* yang mengakibatkan biodiesel rentan mengalami penurunan kualitas ketika disimpan dalam waktu yang lama. Sehingga, sasaran dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penyimpanan biodiesel terhadap sifat bahan bakar, performa, dan emisi mesin diesel.

Pada penelitian ini, digunakan bahan bakar B0, B20, dan B100 yang kemudian disimpan selama 12 minggu. Dilakukan pengujian bahan bakar pada minggu ke-0, 4, 8 dan 12 yang terdiri dari pengujian kontaminasi biologi, *properties* kimia, *properties* fisika, dan pengujian performa serta emisi mesin diesel. Kemudian dilakukan analisa komprehensif mengenai pengaruh sifat bahan bakar yang didapatkan dari pengujian terhadap hasil unjuk kerja dan emisi mesin diesel.

Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa B100 memiliki nilai densitas dan viskositas yang lebih tinggi dibanding B20 dan B0 selama penyimpanan bahan bakar. Penggunaan B100 pada mesin diesel pun memberikan nilai efisiensi mesin yang lebih rendah dibanding B20 dan B0 selama 12 minggu penyimpanan. Namun, bila ditinjau dari persentase penurunan efisiensi termal

seiring penyimpanan bahan bakar, persentase terbesar dimiliki B0 dibandingkan B20 dan B100. Penurunan efisiensi termal pada B0, B20, dan B100 masing-masing sebesar 3,77%, 1,76%, dan 1,88% setiap bulan. Di sisi lain, penggunaan B100 memberikan hasil penurunan emisi gas buang yang paling signifikan dibanding B20 dan B0 seiring masa penyimpanan. Tercatat terjadi penurunan emisi *smoke*, UHC, dan CO pada penggunaan B100 dengan rerata masing-masing sebesar 13,27%, 14,41%, dan 30,94% setiap bulan.

EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF BIODIESEL FUEL STORAGE ON FUEL PROPERTIES, PERFORMANCE, AND EMISSIONS OF SINGLE CYLINDER 4-STROKE DIESEL ENGINE

Nama : Gilang Lukito Prabowo
NRP : 02111440000148
Departemen : Teknik Mesin
Pembimbing : Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc

ABSTRACT

The increasing domestic energy demand causes Indonesia's oil and gas imports to reach 49.1 tons in 2018. Biodiesel is one alternative energy that can be utilized to reduce the amount of oil and gas imports. One of the advantages of using biodiesel is low emissions, making it more environmentally friendly. However, biodiesel has biodegradable properties which results in biodiesel being susceptible to quality degradation when stored for a long time. Thus, the aim of this study is to determine the effect of biodiesel storage on fuel properties, performance, and emissions of diesel engines.

In this study, B0, B20 and B100 fuels were used which were then stored for 12 weeks. Fuel testing is carried out at weeks 0, 4, 8 and 12 which consists of testing biological contamination, chemical properties, physical properties, and testing the performance and emissions of diesel engines. Then a comprehensive analysis of the effect of the fuel properties obtained from testing on the results of the performance and emissions of diesel engines.

From this research, the result is that B100 has higher density and viscosity values than B20 and B0 during fuel storage. The use of B100 in diesel engines also gives a lower engine efficiency value than the B20 and B0 for 12 weeks of storage. However, when viewed from the percentage decrease in thermal

efficiency with fuel storage, the largest percentage is owned by B0 compared to B20 and B100. The decrease in thermal efficiency at B0, B20, and B100 is 3.77%, 1.76% and 1.88% every month. On the other hand, the use of B100 provides the most significant reduction in exhaust emissions compared to B20 and B0 over the storage period. Noted a decrease in smoke, UHC, and CO emissions on the use of B100 with an average of 13.27%, 14.41%, and 30.94% each month.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah menghadirkan kemudahan dan kesukaran yang begitu mesra hingga tercetaknya buku Tugas Akhir ini. Tak lupa sholawat dan salam ditujukan kepada Nabi Muhammad SAW. Penulis menyadari bahwa pengerjaan Tugas Akhir ini merupakan proses yang tak singkat dan harus menghadirkan peranan dari berbagai pihak. Untuk itu, sebagai simbol syukur, penulis merasa perlu untuk mencantumkan beberapa diantaranya:

1. Bapak Gatot Harwijono dan Ibu Driyanti sebagai orang tua, serta Dina Indriana selaku kakak dari penulis untuk segala pemakluman serta kasih sayang yang dilimpahkan kepada penulis.
2. Seluruh jajaran dosen, khususnya Dr. Ir. Atok Setiyawan M.Eng.Sc selaku dosen wali yang telah memberikan sekian banyak jam terbang tentang *sens of engineering* yang sangat bermanfaat bagi penulis.
3. Kawan-kawan di Laboratorium Pembakaran dan Sistem Energi, khususnya A-Squad, Tim Hybrid Prius, dan penghuni Kos Mas Tito yang telah setia menemani pasang-surut semangat penulis dalam menulis dalam mengerjakan Tugas Akhir.
4. Keluarga besar Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin, yang telah memberi saya modal yang fundamental dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
5. Tak lupa, saudari Sabrina Puspa Gassany yang merupakan pelanggan setia Go-Lang dan *partner* setia bercerita bagi penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.

Daftar Isi

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar.....	xi
Daftar Tabel	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Bahan Bakar.....	5
2.1.1 Bahan Bakar Biodiesel.....	7
2.2 Dasar Teori Mesin Diesel.....	9
2.2.1 Tahapan Pembakaran pada Mesin Diesel	9
2.2.2 Unjuk Kerja Mesin Diesel.....	11
2.2.3 Emisi Gas Buang Mesin Diesel.....	14
2.3 Penelitian Terdahulu	17
2.3.1 Penelitian oleh Gad, M. S., El-Araby, R., Abed, K. A., El-Ibiari, N. N., El Morsi, A. K., dan El-Diwani, G. I.	17
2.3.2 Penelitian oleh C. Pattamaprom, W. Pakdee, dan S. Ngamjaroen.....	18
2.3.3 Penelitian oleh Dodos, G. S., Konstantakos, T., Longinos, S., dan Zannikos, F.....	19
BAB III METODOLOGI	23
3.1 Metode Penelitian	23
3.1.1 Sampel Bahan Bakar	23
3.1.2 Penyimpanan Bahan Bakar	23
3.2 Pengujian Bahan Bakar	24
3.2.1 Pengambilan Sampel.....	24

3.2.2	Pengujian Kontaminasi Biologi.....	25
3.2.3	Pengujian <i>Properties</i> Kimia	25
3.2.4	Pengujian <i>Properties</i> Fisika	25
3.2.5	Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Mesin	26
3.3	Sistematika Penelitian	28
3.4	Rancangan Eksperimen	29
3.4.1	Skema Alat.....	29
3.4.2	Parameter Eksperimen	30
3.5	<i>Flowchart</i> Penelitian	32
3.5.1	Flowchart Pengujian	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Hasil Pengujian <i>Properties</i> Bahan Bakar	35
4.1.1	Kontaminasi Biologi	36
4.1.2	Sifat Kimia	39
4.1.3	Sifat Fisika	40
4.2	Contoh Perhitungan Uji Unjuk Kerja Mesin	42
4.2.1	Specific Fuel Consumption (SFC).....	43
4.2.2	Efisiensi Thermal (η_{th})	44
4.3	Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang, Bahan Bakar Biodiesel Murni (B100).....	45
4.3.1	Efisiensi Thermal (η_{th})	45
4.3.2	Specific Fuel Consumption (SFC).....	47
4.3.3	Temperatur <i>Engine</i> dan <i>Exhaust Gas</i>	48
4.3.4	<i>Smoke Opacity</i>	50
4.3.5	<i>Unburnt Hydrocarbon</i> (UHC).....	52
4.3.6	Kadar CO	53
4.4	Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang, Bahan Bakar Campuran (B20)	54
4.4.1	Efisiensi Thermal (η_{th})	55
4.4.2	<i>Specific Fuel Consumption</i> (SFC)	56
4.4.3	Temperatur <i>Engine</i> dan <i>Exhaust Gas</i>	57
4.4.4	<i>Smoke Opacity</i>	59
4.4.5	<i>Unburnt Hydrocarbon</i> (UHC).....	61
4.4.6	Kadar CO	62

4.5 Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang, Bahan Bakar Dexlite Murni (B0)	63
4.5.1 Efisiensi Thermal (η_{th})	64
4.5.2 Specific Fuel Consumption (SFC)	65
4.5.3 Temperatur <i>Engine</i> dan <i>Exhaust Gas</i>	66
4.5.4 <i>Smoke Opacity</i>	68
4.5.5 Unburnt Hydrocarbon (UHC)	70
4.5.6 Kadar CO	71
4.6 Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang, Bahan Bakar Biodiesel (B100), B20, dan Dexlite (B0)	72
4.6.1 Efisiensi Thermal (η_{th})	73
4.6.2 <i>Specific Fuel Consumption</i> (SFC)	74
4.6.3 Temperatur <i>Engine</i> dan <i>Exhaust Gas</i>	76
4.6.4 <i>Smoke Opacity</i>	78
4.6.5 <i>Unburnt Hydrocarbon</i> (UHC)	80
4.6.6 Kadar CO	81
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	83
5.1 Kesimpulan	83
5.2 Saran	85
Daftar Pustaka	87

Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Tahapan Pembakaran pada Mesin Diesel.....	10
Gambar 2. 2 Grafik Penelitian Gad	17
Gambar 2. 3 Grafik Penelitian Pattamaprom	19
Gambar 2. 4 Grafik Penelitian Dodos.....	20
Gambar 3. 1 Sampel Bahan Bakar.....	23
Gambar 3. 2 Tangki Penyimpanan Bahan Bakar	24
Gambar 3. 3 Skema Penelitian	30
Gambar 3. 4 Flowchart Penelitian	32
Gambar 3. 5 Flowchart Pengujian Performa Mesin.....	33
Gambar 4. 1 Visualisasi Pengujian Kontaminasi Biologi	36
Gambar 4. 2 Grafik Pengujian Kontaminasi Mikroba	37
Gambar 4. 3 Grafik Pengujian Bilangan Keasaman	39
Gambar 4. 4 Grafik Pengujian Densitas	40
Gambar 4. 5 Grafik Pengujian Viskositas	41
Gambar 4. 6 Grafik Efisiensi Termal B100.....	45
Gambar 4. 7 Grafik SFC B100	47
Gambar 4. 8 Grafik Temperature Engine B100.....	48
Gambar 4. 9 Grafik Temperatur Exhaust B100	49
Gambar 4. 10 Grafik Persentase Smoke B100.....	50
Gambar 4. 11 Grafik UHC B100.....	52
Gambar 4. 12 Grafik Emisi CO B100	53
Gambar 4. 13 Grafik Efisiensi Termal B20.....	55
Gambar 4. 14 Grafik SFC B20	56
Gambar 4. 15 Grafik Temperatur Engine B20.....	57
Gambar 4. 16 Temperatur Exhaust B20	58
Gambar 4. 17 Grafik Persentase Smoke B20.....	59
Gambar 4. 18 Grafik UHC B20.....	61
Gambar 4. 19 Grafik Emisi CO B20	62
Gambar 4. 20 Grafik Efisiensi Termal B0.....	64
Gambar 4. 21 Grafik SFC B0.....	65
Gambar 4. 22 Grafik Temperatur Engine B0.....	66

Gambar 4. 23 Grafik Temperatur Exhaust B0	67
Gambar 4. 24 Grafik Persentase Smoke B0.....	68
Gambar 4. 25 Grafik UHC B0.....	70
Gambar 4. 26 Grafik Emisi CO B0	71
Gambar 4. 27 Grafik Efisiensi Termal.....	73
Gambar 4. 28 Grafik SFC.....	74
Gambar 4. 29 Grafik Temperatur Engine	76
Gambar 4. 30 Grafik Temperatur Exhaust.....	77
Gambar 4. 31 Grafik Persentase Smoke	78
Gambar 4. 32 Grafik UHC	80
Gambar 4. 33 Grafik Emisi CO	81

Daftar Tabel

Tabel 2. 1 Properties Bahan Bakar Biodiesel	8
Tabel 3. 1 Parameter Eksperimen	31
Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian Sifat Bahan Bakar	35
Tabel 4. 2 Data Pendukung Bahan Bakar	36
Tabel 4. 3 Data Contoh Perhitungan.....	42

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan bahan bakar fosil masih sangat dekat dengan kegiatan masyarakat di Indonesia, utamanya pada bidang industri, transportasi, dan sistem pembangkit. Sementara ketersediaan bahan bakar fosil sangat terbatas. Mesin diesel menggunakan bahan bakar minyak solar yang merupakan hasil distilasi fraksi dari minyak bumi (bahan bakar fosil). Sehingga ketersediaan bahan bakar tersebut juga terbatas. Penggunaan bahan bakar fosil juga berdampak buruk bagi lingkungan. Emisi gas buang yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar adalah salah satu penyebab utama efek rumah kaca (seperti CO, CO₂, HC).

Untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta mengurangi dampak buruk pada lingkungan perlu dilakukan penelitian terhadap sumber energi alternatif, terutama yang terbarukan dan ramah lingkungan. Biodiesel merupakan salah satu produk minyak nabati pengganti bahan bakar diesel yang terbuat dari minyak bumi. Kelebihan yang dimiliki biodiesel antara lain adalah ramah lingkungan, karena biodiesel memiliki sifat yang tidak beracun, rendah emisi, dan *biodegradable* [1]. Namun sifat biodiesel yang dapat terurai tersebut memberikan masalah baru, utamanya dalam hal *handling* dan *storage* biodiesel. Sifat bahan bakar dapat berubah selama masa *storage* pada bahan bakar yang memiliki kandungan biodiesel [2, 3].

Kajian penelitian tentang degradasi biodiesel selama penyimpanan telah banyak dilakukan. Namun, masih sedikit kajian mengenai efek penyimpanan biodiesel terhadap perubahan sifat bahan bakar yang dimilikinya dan efeknya terhadap performa mesin. Beberapa diantaranya adalah kajian efek penyimpanan terhadap degradasi biodiesel [4], ketidakstabilan biodiesel [5], stabilitas biodiesel dalam jangka panjang penyimpanan [6], dan pengkajian jenis minyak sebagai sumber bahan baku biodiesel yang relatif stabil sehingga tidak memerlukan zat aditif untuk

kestabilan biodiesel [7]. Secara umum, biodiesel merupakan salah satu senyawa organik yang berasal dari minyak nabati, dimana senyawa organik dapat dikategorikan mudah terdegradasi, berpotensi terdegradasi, dan tahan terdegradasi [8].

Berdasarkan uraian di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa biodiesel, yang merupakan senyawa organik, mengalami degradasi selama masa penyimpanan. Degradasi yang dimaksud, dapat dilihat dari keberadaan mikroorganisme dan perubahan sifat fisis dan kimia yang dimiliki oleh bahan bakar. Penurunan kualitas yang terjadi dapat terjadi akibat proses oksidasi selama penyimpanan [9]. Selain itu, degradasi bahan bakar ini pun dapat disebabkan keberadaan mikroorganisme [10]. Dan selanjutnya, perubahan sifat bahan bakar akan berujung pada perubahan performa mesin dan emisi yang dikeluarkan. Oleh karena itu, tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penyimpanan bahan bakar biodiesel terhadap unjuk kerja dan emisi mesin diesel 4-langkah. Penelitian ini meliputi simulasi penyimpanan bahan bakar biodiesel. Selanjutnya, menguji *properties* biologis, kimia, dan fisis bahan bakar. Kemudian bahan bakar diuji pada mesin diesel 4-langkah silinder tunggal untuk melihat performa dan emisinya. Dari penelitian ini diharapkan mampu disimpulkan pengaruh penyimpanan terhadap perubahan sifat bahan bakar serta terhadap performa dan emisi mesin diesel 4-langkah.

1.2 Rumusan Masalah

Dari permasalahan yang ada, krisis energi mendorong kita untuk beralih ke energi alternatif terbarukan. Biodiesel merupakan salah satu opsi yang memiliki banyak sekali keuntungan baik dari segi lingkungan maupun terhadap ekonomi nasional. Namun terdapat permasalahan pada penyesuaian penyimpanan biodiesel agar dapat mengurangi kecenderungannya untuk mengalami penurunan kualitas sebagai bahan bakar.

Dari latar belakang permasalahan yang ada, maka yang menjadi permasalahan utama dalam penelitian ini adalah untuk

mengetahui pengaruh penyimpanan bahan bakar biodiesel terhadap sifat bahan bakar dan performa mesin diesel 4-langkah.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa batasan masalah agar secara tepat mencapai tujuan. Adapun batasan permasalahannya adalah sebagai berikut:

1. Bahan bakar yang digunakan adalah B100 (Biodiesel) yang diproduksi oleh PT. Wilmar Nabati Indonesia.
2. Pengujian menggunakan mesin diesel satu silinder empat langkah, *Natural Aspirated*, dan *Direct Injection* Yanmar TF 55 R standar.
3. Pengujian properties bahan bakar meliputi viskositas, densitas, kandungan air (*water content*), dan bilangan asam.
4. Tangki penyimpanan yang digunakan adalah tangki berkapasitas 40 liter dengan material *steel*.
5. Lama penyimpanan bahan bakar ditetapkan selama 12 minggu dihitung sejak bahan bakar didapatkan dari PT. Wilmar Nabati Indonesia dan periode pengambilan sampel setiap 4 minggu.
6. Penelitian ini tidak membahas mengenai reaksi kimia yang terjadi pada proses pembakaran.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perubahan jumlah bakteri pada bahan bakar biodiesel selama masa penyimpanan dalam *storage tank*.
2. Mengetahui perubahan properties bahan bakar biodiesel selama masa penyimpanan dalam *storage tank*.
3. Mengetahui pengaruh lama waktu penyimpanan bahan bakar biodiesel terhadap unjuk kerja dan emisi pada mesin diesel stationer.

1.5 Manfaat

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat diterapkan pada masyarakat khususnya pengguna motor diesel baik skala industri maupun perorangan. Penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam penggunaan bahan bakar biodiesel sebagai bahan bakar alternatif. Selain itu melalui penelitian ini juga diharapkan mampu memberikan sumbangan untuk penelitian lebih lanjut sebagai usaha optimasi teknologi bahan bakar. Serta sebagai bahan pertimbangan dalam kebijakan penggunaan energi alternatif oleh para penentu kebijakan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Bakar

Bahan bakar adalah material dengan suatu jenis energi yang bisa diubah menjadi energi berguna lainnya. Bahan bakar dalam aplikasi mesin pembakaran memiliki 3 (tiga) jenis bentuk fisik atau wujudnya baik itu berupa padat, cair dan gas. Tapi untuk mesin pembakaran dalam, khususnya mesin diesel menggunakan 2 jenis bahan bakar yaitu cair dan gas. Bahan bakar juga memiliki properti yang mempengaruhi kinerja bahan bakar tersebut dalam proses atomisasi dan pembakaran. Properti umum yang perlu diketahui untuk menilai kinerja bahan bakar mesin diesel antara lain:

a. *Density, Specific Gravity dan API Gravity*

Density didefinisikan sebagai perbandingan massa bahan bakar terhadap *volume* bahan bakar pada suhu acuan 15°C. Sedangkan *Specific Gravity (SG)* didefinisikan sebagai perbandingan berat dari sejumlah *volume* minyak bakar terhadap berat air untuk *volume* yang sama pada suhu tertentu densitas bahan bakar, relatif terhadap air. *Specific Gravity* dinyatakan dalam persamaan:

$$SG_{\text{terhadap air}} = \frac{\rho_{\text{bahan bakar}}}{\rho_{\text{air}}}$$

Sementara hubungan nilai *Spesific Gravity* dengan *API Gravity* adalah sebagai berikut:

$$API\ Gravity = \frac{141,5}{SG} - 131,5$$

b. *Viskositas*

Viskositas atau kekentalan dari suatu cairan adalah salah satu sifat cairan yang menentukan besarnya perlawanan terhadap gaya geser. Viskositas terjadi terutama karena adanya interaksi antara molekul-molekul cairan. Viskositas merupakan sifat penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar. Viskositas mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk *handling*, penyimpanan dan atomisasi yang memuaskan dan jika

viskositas terlalu tinggi maka akan menyulitkan dalam pemompaan dan sulit untuk diinjeksi sehingga atomisasi bahan bakar menjadi jelek.

c. Titik nyala bahan bakar

Titik nyala suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar dapat menyala dengan sendirinya sehingga pada saat memasuki ruang bakar, bahan bakar dapat menimbulkan ledakan.

d. *Pour Point*

Pour point atau titik tuang suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar masih dapat mengalir karena gaya gravitasi. Ini merupakan indikasi yang sangat kasar untuk suhu terendah dimana bahan bakar minyak siap untuk dipompakan.

e. *Shulpur Content*

Shulpur content atau kandungan belerang dalam bahan bakar diesel dari hasil penyulingan sangat tergantung pada asal minyak mentah yang akan diolah. Keberadaan belerang tidak diharapkan karena sifatnya merusak yaitu apabila oksida belerang bereaksi dengan air merupakan bahan yang korosif terhadap logam di ruang bakar. Selain itu menimbulkan polusi lingkungan akibat oksidasi belerang dengan oksigen selama proses pembakaran.

f. *Distillation atau Destilasi*

Karakteristik destilasi dari bahan bakar menunjukkan kemampuan bahan bakar berubah menjadi uap pada suhu tertentu.

g. *Cetane Number*

Cetane number atau angka setana merupakan bilangan yang menyatakan perlambatan penyalaaan (*ignition delay*) dibandingkan dengan campuran volumetris *cetane* ($C_{16}H_{34}$) dan α -*methylnaphthalene* ($C_{10}H_7CH_3$) pada *CFR engine* pada kondisi yang sama. Angka setana yang tinggi menunjukkan bahwa bahan bakar dapat menyala pada temperatur yang relatif rendah, dan sebaliknya angka setana rendah menunjukkan bahan bakar baru dapat menyala pada temperatur yang relatif tinggi.

h. *Calorific Value*

Calorific value atau nilai kalor merupakan suatu angka yang menyatakan jumlah panas atau kalori yang dihasilkan dari proses

pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan udara atau oksigen. Nilai kalor dinyatakan dalam 2 ukuran besaran, yaitu nilai kalor atas, NKA (jika air hasil pembakaran dalam phase cair) dan nilai kalor bawah, NKB (jika air hasil pembakaran dalam phase uap). Besarnya nilai kalor atas diuji dengan *bomb calorimeter*, dan nilai kalor bawah dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$NKB = NKA - \left(\frac{m_{\text{air}}}{m_{\text{sample}}} \times LH \right)$$

i. *Carbon Residue*

Banyaknya deposit atau kerak pada dinding ruang bakar mengindikasikan tingginya kandungan *carbon residue* suatu bahan bakar. *Carbon residue* atau residu karbon dalam ruang pembakaran dapat mengurangi kinerja mesin, karena pada suhu tinggi karbon ini dapat membara sehingga menaikkan suhu ruang bakar.

j. *Ash Content*

Ash content atau kadar abu adalah jumlah sisa-sisa dari minyak yang tertinggal apabila suatu minyak dibakar sampai habis. Kadar abu erat kaitannya dengan bahan *inorganic* atau garam dalam bahan bakar minyak. Garam-garam tersebut mungkin dalam bentuk senyawa sodium, vanadium, kalsium, magnesium, silikon, besi, aluminium, nikel, dll.

2.1.1 Bahan Bakar Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar mesin diesel yang terdiri dari ester-ester monoalkil dari minyak nabati atau lemak hewani yang diproduksi melalui proses transesterifikasi. Proses transesterifikasi tersebut pada dasarnya dimaksudkan untuk mengeluarkan gliserin dari minyak dan mereaksikan asam lemak dengan alkohol menjadi alkohol ester (*Fatty Acid Methyl Ester/FAME*).

Bahan bakar biodiesel memiliki sifat pelumas yang lebih baik dari minyak solar. Kandungan oksigennya dapat meningkatkan proses pembakaran, sehingga menurunkan emisi. Biodiesel dapat dicampur dengan minyak solar (*diesel fuel*) dalam berbagai rasio, serta memiliki beberapa keuntungan dibandingkan

dengan minyak solar di sebagian besar aspek teknis, salah satunya yaitu dapat mereduksi emisi gas buang kecuali NO_x, bersifat *biodegradeable*, memiliki titik nyala lebih tinggi, kandungan sulfur yang lebih rendah, dan merupakan sumber energi terbarukan.

Tabel 2. 1 Properties Bahan Bakar Biodiesel

No	Parameter uji	Satuan Min/maks	Persyaratan	Metode uji
1	Massa jenis pada 40°C	kg/m ³	850 -890	ASTM D 1298 atau ASTM D 4052
2	Viskositas Kinematik pada 40°C	mm ² /s (cSt)	2,3 - 6,0	ASTM D 445
3	Angka setana	min	51	ASTM D 613
4	Titik nyala	°C, min	100	ASTM D 93
5	Titik kabut	C, maks	18	ASTM D 2500
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50°C)		nomor 1	ASTM D 130
7	Residu karbon	%-massa, maks	0,05	ASTM D 4530
8	Air dan sedimen	%-vol, maks	0,05	ASTM D 2709
9	Temperatur distilasi 90%	°C, maks	360	ASTM D 1160
10	Abu tersulfatkan	%-massa, maks	0,02	ASTM D 874
11	Belerang	mg/kg, maks	100	ASTM D 5453 atau ASTM D 1266 a
12	Fosfor	mg/kg, maks	10	AOCS Ca 12-55

13	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,5	AOCS Cd 3d-63 atau ASTM D 664
14	Gliserol bebas	%-massa, maks	0,02	AOCS Ca 14-56 atau ASTM D 6584
15	Gliserol total	%-massa, maks	0,24	AOCS Ca 14-56 atau ASTM D 6584
16	Kadar ester metil	%-massa, min	96,5	-
17	Stabilitas oksidasi Metode Racimant	menit	360	EN 15751

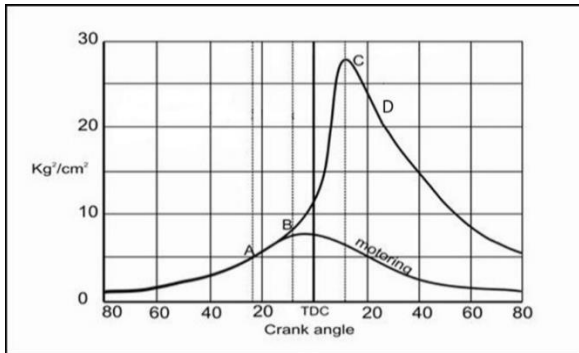
2.2 Dasar Teori Mesin Diesel

Motor diesel bekerja dengan menghisap udara luar murni, kemudian dikompresikan sehingga mencapai tekanan dan temperature yang tinggi. Sesaat sebelum mencapai TMA, bahan bakar diinjeksikan dengan tekanan yang sangat tinggi dalam bentuk butiran-butiran halus dan lembut. Kemudian butiran-butiran lembut bahan bakar tersebut bercampur dengan udara bertemperatur tinggi dalam ruang bakar dan menghasilkan pembakaran.

2.2.1 Tahapan Pembakaran pada Mesin Diesel

Untuk terjadinya pembakaran pada ruang bakar, ada beberapa syarat yang harus dipenuhi, antara lain : adanya campuran yang dapat terbakar, adanya sesuatu yang menyulut terjadinya pembakaran, stabilisasi dan propagasi dari api dalam ruang bakar.

Proses pembakaran pada motor diesel memiliki beberapa tahapan yang digambarkan dalam diagram P- θ seperti pada gambar 2.1. Tahapan pembakarannya yaitu:



Gambar 2. 1 Tahapan Pembakaran pada Mesin Diesel

a. Tahap Pertama

Tahap ini disebut juga *Ignition Delay Period* yaitu area dalam rentang A-B pada Gambar 2.1. Tahapan ini merupakan periode atau rentang waktu yang dibutuhkan bahan bakar ketika saat pertama kali bahan bakar diinjeksikan (titik A) hingga saat pertamakali muncul nyala pembakaran (titik B). Artinya, selama periode tersebut tidak terjadi proses pembakaran. Panjangnya periode ini biasanya dipengaruhi oleh properties yang dimiliki bahan bakar yaitu temperatur terbakar sendiri bahan bakar, tekanan injeksi atau ukuran droplet, sudut awal injeksi, rasio kompresi, temperatur udara masuk, temperatur cairan pendingin, temperature bahan bakar, tekanan udara masuk (*supercharge*), kecepatan/putaran mesin diesel, rasio udara-bahan bakar, ukuran mesin, jenis ruang bakar.

b. Tahap kedua

Pada tahap ini terjadi apa yang disebut *Rapid or Uncontrolled Combustion* yang maksudnya adalah periode awal pembakaran hingga *flame* mulai berkembang yang diindikasikan oleh area B-C pada Gambar 2.1. Bahan bakar berupa droplet-droplet di selubungi oleh udara bertemperatur tinggi, sehingga panas yang diterima akan menguapkan droplet-droplet bahan bakar tersebut. Bagian terluar droplet-droplet tersebut yang lebih dulu menerima panas dan menguap kemudian terbakar. Panas yang

ditimbulkan oleh pembakaran tersebut naik sangat drastis dan memicu proses yang sama pada bagian lain yang belum terbakar dengan cepat dan tidak beraturan. Proses ini menyebabkan kenaikan tekanan yang sangat besar.

c. Tahap ketiga

Pada tahap ini terjadi apa yang disebut *Controlled Combustion* seperti diindikasikan oleh area C-D pada Gambar 2.1, dimana bahan bakar segera terbakar setelah diinjeksikan. Hal ini disebabkan nyala pembakaran yang terjadi pada periode sebelumnya bergerak bersama menuju droplet-droplet yang baru diinjeksikan. Pembakaran dapat dikontrol dengan sejumlah bahan bakar yang diinjeksikan pada periode ini. Periode ini berakhir setelah injektor berhenti menginjeksikan bahan bakar ke ruang bakar.

d. Tahap keempat

Meskipun pada tahap ketiga telah selesai proses injeksi bahan bakar, kenyataannya masih ada bahan bakar yang belum terbakar seluruhnya. Dalam hal ini nyala pembakaran terus berkembang membakar bahan bakar yang tersisa pada ruang bakar. Periode ini disebut juga *after burning* yang diindikasikan oleh area setelah titik D pada Gambar 2.1. Apabila kenyataannya masih ada bahan bakar yang belum terbakar sementara piston telah bergerak dari Titik Mati Bawah (TMB) ke Titik Mati Atas (TMA) untuk melakukan langkah buang, maka sisa-sisa bahan bakar tersebut akan ikut keluar bersama gas buang sebagai *unburnt fuel*.

2.2.2 Unjuk Kerja Mesin Diesel

Karakteristik operasi dan unjuk kerja dari mesin diesel biasanya berhubungan dengan:

1. Daya

Daya mesin merupakan daya yang diberikan untuk mengatasi beban yang diberikan. Untuk pengukuran diberikan beban lampu dengan daya 200 watt – 2000 watt. Daya yang dihasilkan pada mesin diesel yang dikopel dengan generator listrik dapat dihitung berdasarkan beban pada generator listrik dan

dinyatakan sebagai daya efektif pada generator (Ne). Hubungan tersebut dinyatakan dengan rumus:

$$Ne = \frac{V \times I \times \cos\phi}{\eta_{generator} \times \eta_{transmisi}} \text{ (Watt)}$$

Dimana :

- Ne : Daya mesin (W)
- V : Tegangan listrik (Volt)
- I : Arus listrik (Ampere)
- η_{gen} : Efisiensi mekanisme generator (0,9)
- η_{trmsm} : Efisiensi transmisi (0,95)
- $\cos \theta$: Faktor daya listrik ($\cos \phi = 1$)

2. Torsi

Torsi merupakan ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja. Torsi adalah hasil pembagian daya dalam satu menit dengan putaran mesin (rpm) sehingga memiliki satuan Nm (SI) atau *ft.lb* (British). Dalam prakteknya, torsi dari mesin berguna untuk mengatasi hambatan sewaktu berkendara, ataupun terperosok. Momen torsi dihitung dengan persamaan seperti berikut:

$$Mt = \frac{60000 \times Ne}{2\pi n} \text{ (N.m)}$$

Dimana:

- Mt : Torsi (N.m)
- Ne : Daya (W)
- n : Putaran mesin (rev/min)

Dari persamaan tersebut, torsi sebanding dengan daya yang diberikan dan berbanding terbalik dengan putaran mesin. Semakin besar daya yang diberikan mesin, maka torsi yang dihasilkan akan mempunyai kecenderungan untuk semakin besar. Semakin besar putaran mesin, maka torsi yang dihasilkan akan semakin kecil.

3. Brake Tekanan Efektif Rata-Rata ($bmep$)

Proses pembakaran campuran udara-bahan bakar menghasilkan tekanan yang bekerja pada piston sehingga melakukan langkah kerja. Besarnya tekanan ini berubah-ubah

sepanjang langkah piston tersebut. Bila diambil tekanan yang berharga konstan yang bekerja pada piston dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan tersebut dikatakan sebagai kerja per siklus per volume langkah piston. Tekanan efektif rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang volume langkah piston sehingga menghasilkan daya yang besarnya sama dengan daya efektif.

Perumusan b_{mep} adalah :

$$b_{mep} = \frac{N_{ex} Z x 60}{A x l x n x i} (N/m^2)$$

Dimana:

- N_e : Daya poros mesin (Watt)
- A : Luas penampang piston (m^2)
- l : Panjang langkah piston (m)
- i : Jumlah silinder
- n : putaran mesin diesel (rpm)
- z : 1 (mesin 2 langkah) atau 2 (mesin 4 langkah)

4. *Specific Fuel Consumption (SFC)*

Specific fuel consumption (Sfc) adalah jumlah bahan bakar yang dipakai mesin untuk menghasilkan daya efektif 1 (satu) hp selama 1 (satu) jam. Apabila dalam pengujian diperoleh data mengenai penggunaan bahan bakar m (kg) dalam waktu s (detik) dan daya yang dihasilkan sebesar b_{hp} (HP) maka pemakaian bahan bakar perjam m_{bb} adalah :

$$\dot{m}_{bb} = \frac{m_{bb}}{s} (kg)$$

Sedangkan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah :

$$sfc = 3600 \frac{\dot{m}_{bb}}{N_e} \left(\frac{kg}{kW \cdot jam} \right)$$

5. Efisiensi Thermal (η_{th})

Efisiensi termal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh mesin pembakaran dalam. Secara teoritis dituliskan dalam persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{\text{Daya efektif yang dihasilkan}}{\dot{m} \text{ bahan bakar} \times LHV \text{ bahan bakar}} \times 100\%$$

Dimana *LHV* bahan bakar adalah nilai kalor bawah (*Lower Heating Value, LHV*) atau panas pembakaran bawah bahan bakar [Kcal/kg bahan bakar]. Nilai kalor adalah jumlah energi panas maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna per satuan massa atau volume bahan bakar. *LHV* dapat dinyatakan dengan rumus empiris (bahan bakar solar) sebagai berikut:

$$LHV = [16280 + 60(API)] \text{ Btu/lb}$$

dimana:

$$1 \text{ Btu/lb} = 2,326 \text{ kJ/kg}$$

$$1 \text{ kJ/kg} = \left[\frac{1}{4187} \right] \text{ kkal/kg}$$

API Gravity adalah suatu pernyataan yang menyatakan densitas dari suatu material. *API Gravity* diukur pada temperatur minyak bumi 60°F. Harga *API Gravity* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$API = \frac{141,5}{\text{Spesific Gravity pada } 60^{\circ}\text{F}} - 131,5$$

Dimana *specific gravity* untuk bahan bakar mesin diesel adalah 0,84.

2.2.3 Emisi Gas Buang Mesin Diesel

Bahan pencemar (Polutan) yang berasal dari gas buang dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori sebagai berikut:

1. Sumber

Polutan dibedakan menjadi Polutan primer dan sekunder. Polutan primer seperti nitrogen oksida (NO_x) dan hidro-karbon (HC) langsung dibuang ke udara bebas dan mempertahankan bentuknya seperti pada saat pembuangan. Polutan sekunder seperti ozon (O_3) dan peroksiasetil nitrat (PAN) adalah Polutan yang terbentuk di atmosfer melalui reaksi fotokimia atau oksidasi.

2. Komposisi Kimia

Polutan dibedakan menjadi organik dan inorganik. Polutan organik mengandung karbon dan *hydrogen*, juga beberapa elemen seperti oksigen, nitrogen, sulfur atau fosfor. Contohnya

hidrokarbon, alkohol, dan ester. Polutan inorganik seperti karbon monoksida (CO), karbonat, nitrogen oksida, ozon dan lain-lain.

3. Bahan penyusun

Polutan dibedakan menjadi partikulat atau gas. Partikulat dibagi menjadi padatan, dan cairan seperti debu, asap, abu, kabut dan spray. Partikulat dapat bertahan di atmosfer, sedangkan polutan berupa gas tidak bertahan di atmosfer dan bercampur dengan udara bebas.

a. Partikulat

Polutan partikulat yang berasal dari kendaraan bermotor umumnya merupakan fasa padat yang terdispersi dalam udara dan magnetik asap. Fasa padatan tersebut berasal dari pembakaran tidak sempurna bahan bakar dengan udara sehingga terjadi tingkat ketebalan asap yang tinggi. Selain itu partikulat juga mengandung timbal yang merupakan bahan aditif untuk meningkatkan kinerja pembakaran bahan bakar pada mesin kendaraan. Apabila butir-butir bahan bakar yang terjadi pada penyemprotan ke dalam silinder motor terlalu besar atau apabila butir-butir berkumpul menjadi satu maka akan terjadi dekomposisi yang menyebabkan terbentuknya karbon-karbon padat atau angus. Hal ini disebabkan karena pemanasan udara yang bertemperatur tinggi tetapi penguapan dan pencampuran bahan bakar dengan udara yang ada didalam silinder tidak dapat berlangsung sempurna terutama pada saat-saat dimana terlalu banyak bahan bakar disemprotkan yaitu pada waktu daya motor akan diperbesar misalnya untuk akselerasi maka terjadinya angus itu tidak dapat dihindarkan. Jika angus yang terjadi itu terlalu banyak maka gas buang yang keluar dari gas buang motor akan berwarna hitam.

b. UHC (*Unburned Hydrocarbon*)

Hidrokarbon yang tidak terbakar dapat terbentuk tidak hanya karena campuran udara bahan bakar yang gemuk, tetapi bisa saja pada campuran kurus bila suhu pembakarannya rendah dan lambat serta bagian dari dinding ruang pembakarannya yang dingin dan agak besar. Motor memancarkan banyak hidrokarbon jika baru saja dihidupkan atau berputar bebas atau pemanasan. Pemanasan

dari udara yang masuk dengan menggunakan gas buang meningkatkan penguapan dari bahan bakar dan mencegah pemancaran hidrokarbon. Jumlah hidrokarbon tertentu selalu ada dalam penguapan bahan bakar ditangki bahan bakar dan dari kebocoran gas yang melalui celah antara silinder dari torak masuk kedalam poros engkol yang disebut dengan *blow by gasses* (gas lalu). Pembakaran tak sempurna pada kendaraan juga akan menghasilkan gas buang yang mengandung hidrokarbon. Hal ini pada motor diesel terutama disebabkan oleh campuran lokal udara bahan bakar tidak dapat mencapai batas mampu bakar.

c. Carbon Monoksida (CO)

Karbon dan oksigen dapat bergabung membentuk senyawa karbon monoksida (CO) sebagai hasil pembakaran yang tidak sempurna dan karbon dioksida (CO₂) sebagai hasil pembakaran sempurna. Karbon monoksida merupakan senyawa yang tidak berbau, tidak berasa dan pada suhu udara normal berbentuk gas yang tidak berwarna. Gas ini akan dihasilkan bila karbon yang terdapat dalam bahan bakar (kira-kira 85% dari berat dan sisanya hidrogen) terbakar tidak sempurna karena kekurangan oksigen. Hal ini terjadi bila campuran udara bahan bakar lebih gemuk daripada campuran stoikiometris dan terjadi selama idling pada beban rendah atau pada output maksimum. Karbon monoksida tidak dapat dihilangkan jika campuran udara bahan bakar gemuk, bila campuran kurus karbon monoksida tidak terbentuk.

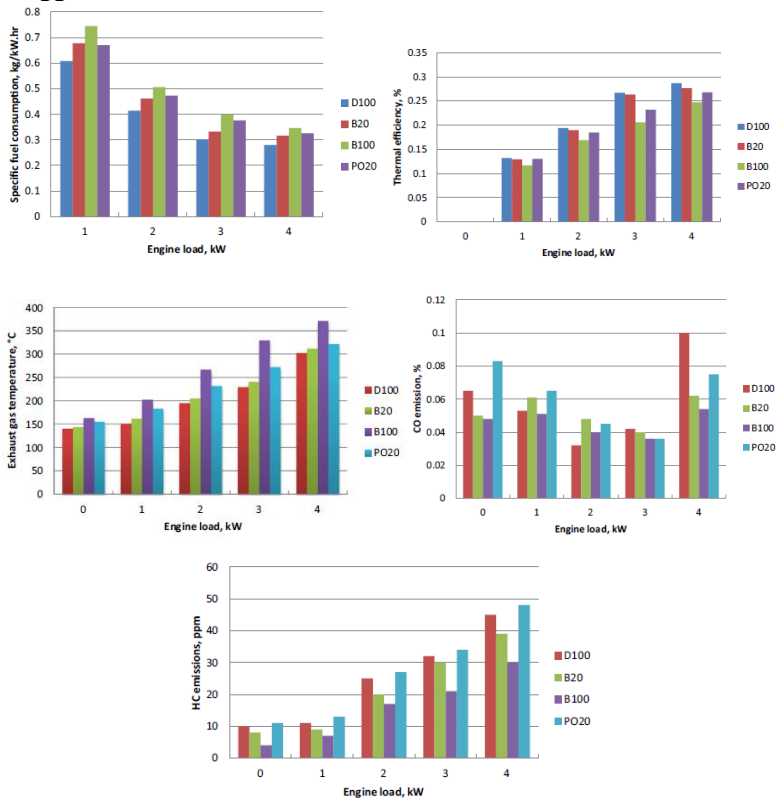
d. Nitrogen Oksida ()

Senyawa nitrogen oksida yang sering menjadi pokok pembahasan dalam masalah polusi udara adalah NO dan NO₂. Kedua senyawa ini terbuang langsung ke udara bebas dari hasil pembakaran bahan bakar. Nitrogen monoksida (NO) merupakan gas berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam. Gas NO merupakan gas yang berbahaya karena mengganggu syaraf pusat. Gas NO terjadi karena adanya reaksi antara ion – ion N₂ dan O₂.

2.3 Penelitian Terdahulu

2.3.1 Penelitian oleh Gad, M. S., El-Araby, R., Abed, K. A., El-Ibiari, N. N., El Morsi, A. K., dan El-Diwani, G. I.

Gad melakukan penelitian efek penggunaan minyak sawit, biodiesel, dan campuran diesel-biodiesel (B20) terhadap performa dan emisi mesin diesel. Mesin diesel yang digunakan memiliki satu silinder, sistem kerja 4-langkah, pendingin udara, *direct injection*, hisapan udara natural, dan rasio kompresi konstan. Pengujian dilakukan pada rpm mesin 1500 dengan variasi beban dari nol hingga beban maksimal.

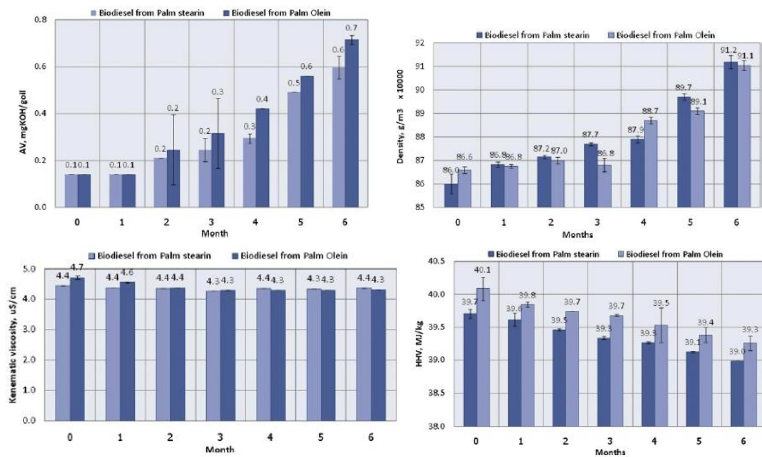


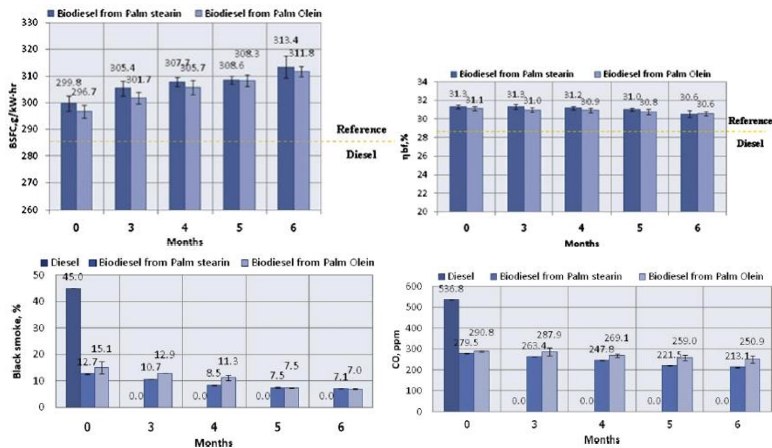
Gambar 2. 2 Grafik Penelitian Gad

Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan oleh Gad antara lain, lebih rendahnya efisiensi biodiesel dan minyak sawit dibandingkan bahan bakar diesel konvensional, sedangkan BSFC-nya lebih tinggi. Kemudian, emisi CO dan HC biodiesel dan minyak sawit lebih rendah dibanding bahan bakar diesel konvensional. Penelitian ini membuktikan bahwa performa dan emisi campuran biodiesel-diesel hingga 20% memenuhi standar.

2.3.2 Penelitian oleh C. Pattamaprom, W. Pakdee, dan S. Ngamjaroen

Pattamaprom melakukan penelitian yang membandingkan karakteristik degradasi pada *storage* biodiesel yang terbuat dari *palm olein* dan *palm stearin* dari sisi sifat kimia, performa mesin, dan emisi gas buang. Penyimpanan bahan bakar dilakukan dengan pengondisian dalam wadah tertutup dan gelap serta disimpan pada suhu ruang selama 6 bulan. Selama masa penyimpanan, uji performa dan emisi dilakukan di bulan ke-3, 4, 5, dan 6. Sedangkan pengujian sifat bahan bakar dilakukan setiap bulan selama masa penyimpanan. Pengujian mesin dilakukan pada beban dan rpm mesin yang bervariasi, dengan rentang rpm 1800 hingga 4000.





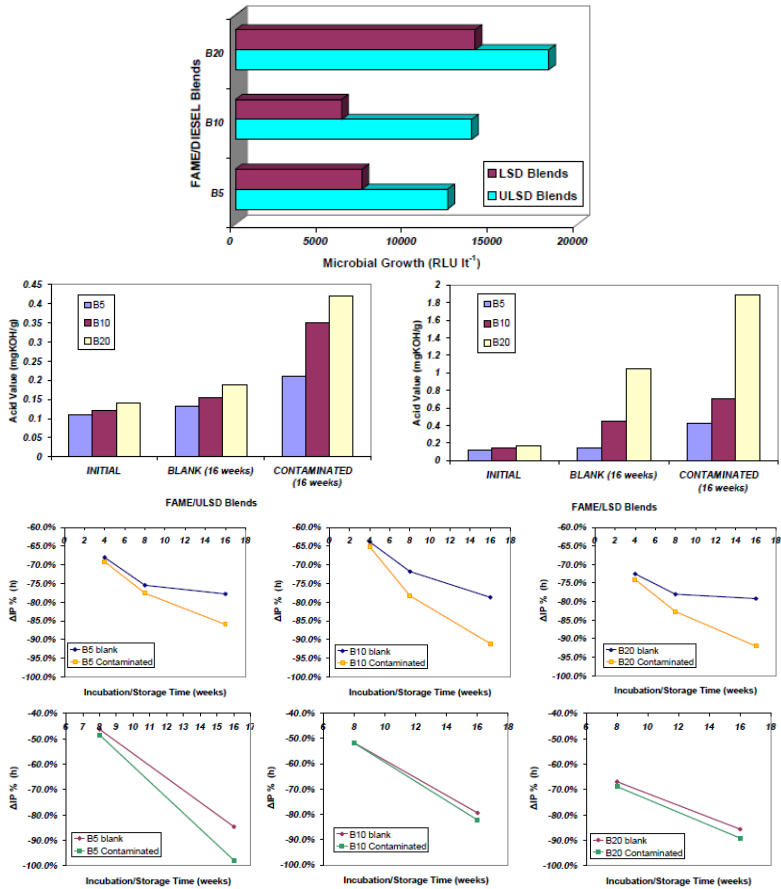
Gambar 2. 3 Grafik Penelitian Pattamaprom

Hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Pattamaprom adalah terdapatnya korelasi antara perubahan sifat kimia bahan bakar, performa, dan emisi mesin. Dalam penyimpanan 6 bulan, semakin lama waktu penyimpanan menyebabkan meningkatnya tingkat reaksi oksidatif pada ikatan ganda molekul biodiesel. Reaksi ini menghasilkan hidroperoksida dengan rantai yang lebih pendek yang menyebabkan terjadinya perubahan pada sifat kimia dari biodiesel. Perubahan sifat kimia ini mempengaruhi performa mesin. Secara garis besar, terjadi penurunan efisiensi bahan bakar bersamaan dengan meningkatnya tingkat konsumsi bahan bakar. Untuk emisi, degradasi bahan bakar menyebabkan pembakaran yang lebih sempurna karena kandungan oksigen dalam molekul bahan bakar yang bertambah.

2.3.3 Penelitian oleh Dodos, G. S., Konstantakos, T., Longinos, S., dan Zannikos, F.

Tujuan dari penelitian yang dilakukan oleh Dodos adalah untuk menyelidiki stabilitas mikrobiologis campuran FAME-diesel dampak mikroba pada kualitas bahan bakar. FAME yang terdapat secara komersial dicampur dengan *ultra-low sulphur diesel* (ULSD) dan *low sulphur diesel* (LSD) dengan rasio campuran 5,

10, dan 20% v/v. Kemudian, campuran bahan bakar diberi kontaminasi air yang terdapat pada tangki bahan bakar diesel komersial dan disimpan selama 16 minggu dalam wadah kaca dengan volume 1 liter. Bahan bakar disimpan dengan kondisi *ambient* dan terdapat sirkulasi udara melalui lubang bukaan wadah penyimpanan.



Gambar 2. 4 Grafik Penelitian Dodos

Hasil yang didapatkan antara lain, peningkatan konsentrasi FAME hingga 20% v/v mengakibatkan penurunan stabilitas mikroba bahan bakar. Pertumbuhan mikroba dapat mempengaruhi stabilitas oksidasi dan bilangan keasaman dari bahan bakar. Ketika tingkat kontaminasi mikroba yang tinggi terdeteksi dalam bahan bakar, maka akan terjadi tingkat kerusakan yang lebih cepat. Campuran yang terkontaminasi pun menghasilkan bilangan keasaman yang jauh lebih tinggi dibanding yang tidak terkontaminasi setelah melewati 16 minggu penyimpanan. Meminimalisir kandungan sulfur memungkinkan peningkatan aktivitas mikroba.

BAB III METODOLOGI

3.1 Metode Penelitian

3.1.1 Sampel Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan adalah minyak diesel (dexlite, angka setan 51) dan biodiesel (dari minyak sawit). Minyak diesel diperoleh dari stasiun pengisian bahan bakar umum (SPBU) PT. Pertamina yang bertempat di jalan Arief Rahman Hakim, Surabaya. Sedangkan biodiesel diperoleh dari PT. Wilmar Nabati Indonesia yang berlokasi di jalan Kaptan Darmo Sugondo, Kab. Gresik.

Campuran bahan bakar diperoleh dengan mencampur biodiesel dengan minyak diesel dengan perbandingan volume biodiesel/minyak diesel: 20/80, yang kemudian akan disebutkan sebagai B20.



Gambar 3. 1 Sampel Bahan Bakar

3.1.2 Penyimpanan Bahan Bakar

Bahan bakar yang telah disiapkan kemudian disimpan dalam tangki (*steel*) berkapasitas 40 liter. Masing-masing tangki akan

diisi dengan bahan bakar yang berbeda sebanyak 30 liter. Tangki disimpan selama 12 minggu pada temperatur *ambient* dengan kondisi tangki berventilasi. Tangki diletakkan di dalam ruangan yang tidak terpapar sinar matahari langsung.



Gambar 3. 2 Tangki Penyimpanan Bahan Bakar

3.2 Pengujian Bahan Bakar

3.2.1 Pengambilan Sampel

Pengujian dilakukan pada minggu ke-0, 4, 8, dan 12 selama masa penyimpanan bahan bakar. Pengambilan sampel bahan bakar dari dalam tangki penyimpanan dilakukan setiap akan melaksanakan pengujian bahan bakar. Pengambilan sampel dilakukan dengan mengaduk bahan bakar dalam tangki penyimpanan terlebih dahulu dengan alat pengaduk selama 3 menit dengan kecepatan pengadukan yang konstan. Hal ini dilakukan untuk menjaga homogenitas bahan bakar saat pengambilan sampel.

Sejumlah bahan bakar diambil untuk pengujian kontaminasi biologi, sifat kimia, sifat fisika, dan pengujian mesin diesel dengan

volume bahan bakar masing-masing sebanyak 200 mL, 300 mL, 1000 mL, dan 1500 mL.

3.2.2 Pengujian Kontaminasi Biologi

Kontaminasi mikroorganisme pada sampel bahan bakar dapat terlihat dengan metode *colony forming unit (CFU)* [10, 11, 12]. Teknik yang digunakan adalah *total plate count*. Sebelum koloni bakteri dihitungkan, terlebih dahulu diinkubasi selama 5 hari di suhu 37°C pada medium *Nutrient Agar*.

Pengujian dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi dan Bioteknologi, Departemen Biologi, ITS.

3.2.3 Pengujian Properties Kimia

Acid value merupakan indikator yang dapat digunakan untuk mengevaluasi tingkat degradasi pada bahan bakar [13]. Peningkatan angka keasaman dapat terjadi karena terbentuknya produk oksidasi bahan bakar yang bersifat asam, sehingga mempengaruhi bilangan keasaman bahan bakar. Dampak dari peningkatan bilangan asam dapat merusak tangki serta jalur bahan bakar yang kemudian dapat mengganggu *supply* bahan bakar.

Pengujian dilakukan dengan metode analisa ASTM D974-14. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknologi Air dan Konsultasi Industri, Departemen Teknik Kimia, ITS.

3.2.4 Pengujian Properties Fisika

Penyimpanan bahan bakar dapat memengaruhi sifat fisis dari bahan bakar [2]. Pengujian yang dilakukan antara lain densitas (ASTM D4052), viskositas (ASTM D445), *water content* (ASTM D6304), dan distilasi (ASTM D86). Pengujian dilakukan di

Laboratorium Hilir Migas dan Mineral, Politeknik Energi dan Mineral.

3.2.5 Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Mesin

3.2.5.1 Alat Uji

Alat uji yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Mesin diesel dengan spesifikasi:
 - Merk : Yanmar
 - Model : TF 55 R
 - Kerja mesin : 4 langkah, pendingin air
 - Sistem pembakaran : *direct injection*
 - Jumlah silinder : 1 silinder
 - Saat pengabutan : 17° sebelum TMA
 - Bore x Stroke : 75 x 80 (mm)
 - Volume silider : 353 (cc)
 - Daya kontinu : 4,5/2200 (hp/rpm)
 - Daya maksimum : 5,5/2200 (hp/rpm)
 - Rasio kompresi : 17,9 : 1
 - Pompa bahan bakar : Tipe Bosch
 - Tekanan injector : 200 kg/cm²
 - Sistem pelumasan : pelumas paksa
 - Kapasitas oli : 1,8 liter
 - Kapasitas solar : 7,1 liter
 - Minyak pelumas : SAE 40 kelas CC atau CD
 - Sistem pendingin : Radiator
 - Dimensi : 607,5 x 311,5 x 469 (mm)

2. Generator listrik dengan spesifikasi:
 - Merk : Noqiwa
 - Model : ST-3
 - Frekuensi (Hz) : 50
 - RPM : 1500

- *Voltage* (V) : 220
- *Phase* : 1
- *Base* (kW) : 3
- *Ev Volt* (V) : 42
- *Ex Curr* (A) : 2

3. Beban listrik

Beban lampu terdiri atas lampu pijar sebanyak 10 buah dengan konsumsi daya masing-masing lampu sebesar 300 Watt. Lampu-lampu tersebut disusun secara paralel dengan masing-masing lampu dilengkapi dengan tombol stop/kontak untuk pengaturan beban bahan bakar yang akan diuji.

3.2.5.2 Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan dalam pengambilan data percobaan antara lain:

1. Pipet Volumetrik

Alat ini digunakan untuk mengukur jumlah bahan bakar *biodiesel* yang dikonsumsi oleh mesin diesel.

2. Stopwatch

Alat ini digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan mesin diesel untuk mengkonsumsi bahan bakar *biodiesel*.

3. Amperemeter dan Voltmeter

Alat ini digunakan untuk mengukur arus listrik (I) dan tegangan listrik (V) yang terjadi akibat pemberian beban pada generator listrik.

4. Tachometer Digital

Alat ini digunakan untuk mengukur putaran *engine*.

5. Gas Analyzer

Alat ini digunakan untuk mengetahui kadar gas emisi yang dihasilkan oleh Mesin Diesel. Gas *Analyzer* yang digunakan adalah STAR GAS 898.

6. *Thermocouple, Thermo Selector dan Display*

Thermocouple terpasang langsung pada *engine* sebagai sensor thermal, lalu pembacaan tempraturenya ditampilkan melalui *thermo selector* dan *display*.

7. *Thermometer dan Hygrometer*

Alat ini digunakan untuk mengukur temperature dan kelembaban udara di sekitar penyimpanan bahan bakar.

3.3 Sistematika Penelitian

Secara garis besar, pengujian ini dilakukan dengan menguji unjuk kerja mesin diesel dengan bahan bakar yang sudah dipersiapkan. Berikut ini adalah sistematika penelitian yang akan dilakukan:

1. Persiapan Pengujian

Hal-hal yang perlu dilakukan antara lain:

- a. Memeriksa kondisi alat uji dan alat ukur untuk pengujian unjuk kerja dan emisi mesin.
- b. Menetapkan parameter serta rekan kerjasama pengujian sifat biologis, kemis, dan fisis bahan bakar.
- c. Menyiapkan *data sheets* untuk pencatatan data.

2. Persiapan Bahan Bakar

Hal-hal yang perlu dilakukan antara lain:

- a. Menentukan parameter kondisi penyimpanan bahan bakar.
- b. Menyiapkan tangki penyimpanan bahan bakar.
- c. Menyiapkan bahan bakar.

3. Pengujian Performa dengan Mesin Diesel

Pengujian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Menghidupkan mesin diesel.
- b. Melakukan pemanasan mesin diesel selama ± 20 menit hingga temperatur mesin mencapai temperatur kondisi operasi.

- c. Mengatur pembebanan pada mesin diesel mulai 300 w sampai dengan 3000 w dengan interval kenaikan setiap 300 w dengan tetap menjaga putaran mesin sebesar 2000 rpm setiap pembebanan.
- d. Mencatat data-data yang dibutuhkan setiap kenaikan beban, seperti:
 - Waktu konsumsi bahan bakar setiap 10 ml.
 - Beda ketinggian manometer V.
 - Temperatur oli, cairan pendingin, gas buang.
 - Tegangan listrik (V) dan arus listrik (I).
- e. Setelah pengambilan data selesai dilakukan, maka beban diturunkan secara bertahap hingga beban nol.
- f. Mesin dibiarkan dalam kondisi tanpa beban selama ± 5 menit.
- g. Mesin dimatikan dan ditunggu kembali dingin.

4. Pengolahan Data

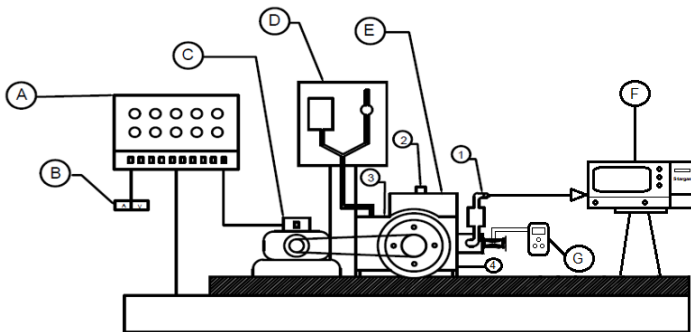
Proses pengolahan data antara lain:

- a. Mengumpulkan data-data dari pihak terkait selaku *partner* kerjasama pengujian.
- b. Menelaah dan mengaitkan hubungan antar data.
- c. Membuat pembahasan dan simpulan sebab-akibat dari penelitian.

3.4 Rancangan Eksperimen

3.4.1 Skema Alat

Berikut ini adalah skema penelitian yang akan dilakukan:



Gambar 3. 3 Skema Penelitian

Keterangan :

- | | |
|----------------------|--------------------|
| A. Lampu Pembebanan | 1. Suhu Gas Buang |
| B. Avometer | 2. Suhu Radiator |
| C. Generator | 3. Suhu Oli |
| D. Pipet Volumetrik | 4. Suhu Blok Mesin |
| E. Mesin Diesel | |
| F. Gas Analyzer | |
| G. Manometer Digital | |

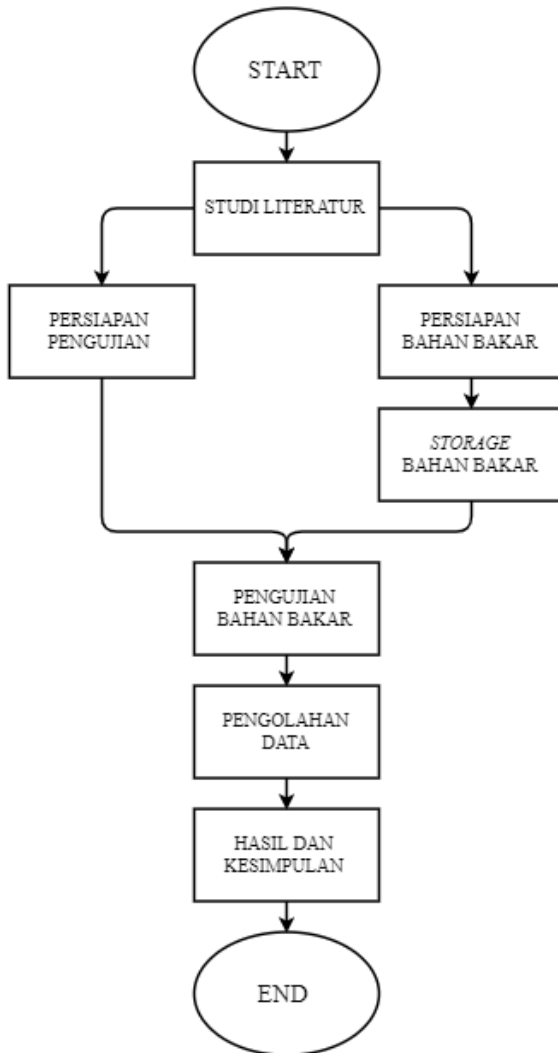
3.4.2 Parameter Eksperimen

Dalam perancangan eksperimen ini ada beberapa parameter yang ingin didapatkan dalam penelitian ini dengan menetapkan parameter *input* dan parameter *output* sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Parameter Eksperimen

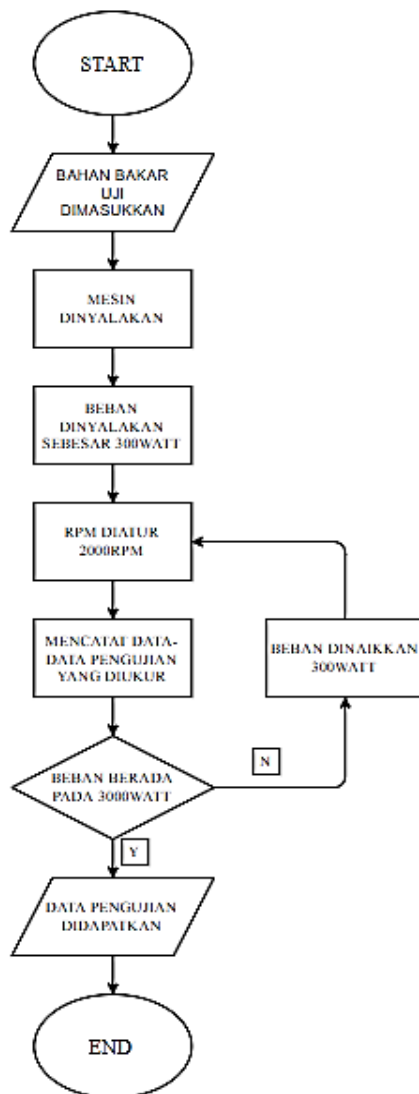
Konstan	Parameter Input			Parameter Output	
	Variasi			Diukur	Dihitung
	Fuel	Durasi Storage	Load		
Putaran mesin Diesel 2000 rpm	B100	Minggu ke-0	• 300 W	<ul style="list-style-type: none"> • Konsumsi bahan bakar Biodiesel • Temperatur diesel (gas buang dan blok mesin) (°C) • Arus (I) • Tegangan (V) • Kadar Partikulat (microgram/mm³) • Kadar UHC (ppm) • Kadar CO (% Vol) 	<ul style="list-style-type: none"> • SFC • BTE
			• 600 W		
		Minggu ke-4	• 900 W		
			• 1200 W		
	Minggu ke-8	• 1500 W			
		• 1800 W			
	Minggu ke-12	• 2100 W			
		• 2400 W			
	B20	Minggu ke-0	• 2700 W		
			• 3000 W		
		Minggu ke-4			
		Minggu ke-8			
		Minggu ke-12			
	B0	Minggu ke-0			
		Minggu ke-4			
		Minggu ke-8			
Minggu ke-12					

3.5 *Flowchart Penelitian*



Gambar 3. 4 Flowchart Penelitian

3.5.1 Flowchart Pengujian



Gambar 3. 5 Flowchart Pengujian Performa Mesin

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas mengenai hasil dari penelitian, berikut dengan proses-proses perhitungan, data pendukung, dan pembasahan dari hasil yang didapatkan. Adapun hasil akhir dari penelitian ini adalah perubahan sifat bahan bakar dan unjuk kerja mesin yang meliputi *BSFC*, efisiensi termal, dan temperatur kerja pada *engine* dan *exhaust port*. Serta analisa emisi gas buang meliputi *smoke opacity*, *UHC*, dan kadar CO.

4.1 Hasil Pengujian *Properties* Bahan Bakar

Setelah dilakukan pengujian, didapatkan data sifat bahan bakar seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian Sifat Bahan Bakar

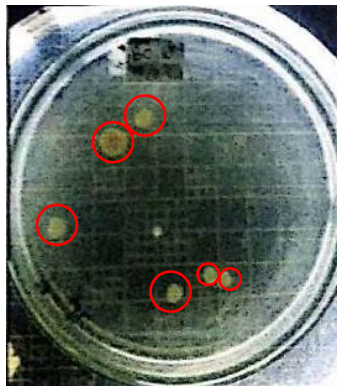
Pengujian	Unit	B0			
		Week 0	Week 4	Week 8	Week12
Jumlah mikroba	CFU/mL	0	0	20	600
<i>Acid Value</i>	mg KOH/g	0,39	0,45	0,5	0,56
Densitas	gr/cm ³	0,84730	0,84786	0,84842	0,8485
Viskositas	mm ² /s	3,46816	3,51672	3,57791	3,7285
Pengujian	Unit	B20			
		M0	M4	M8	M12
Jumlah mikroba	CFU/mL	10	1200	3100	80000
<i>Acid Value</i>	mg KOH/g	0,42	0,5	0,8	0,84
Densitas	gr/cm ³	0,85197	0,85202	0,85248	0,853
Viskositas	mm ² /s	3,63882	3,64056	3,71551	3,7524
Pengujian	Unit	B100			
		M0	M4	M8	M12

Jumlah mikroba	CFU/mL	100	200	700	150000
Acid Value	mg KOH/g	0,45	0,72	0,84	0,91
Densitas	gr/cm ³	0,87513	0,87521	0,87541	0,87663
Viskositas	mm ² /s	4,40668	4,40670	4,49468	4,49666

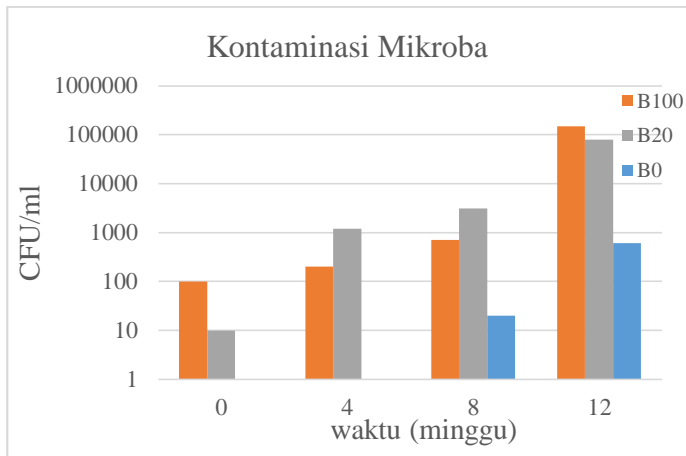
Tabel 4. 2 Data Pendukung Bahan Bakar

<i>Properties</i>	<i>unit</i>	<i>Fuel</i>	<i>Week 0</i>	<i>Week 4</i>	<i>Week 8</i>	<i>Week 12</i>
<i>Water Content</i>	% vol	B0	0,0209	0,0233	0,0283	0,0339
		B20	0,0329	0,0411	0,0568	0,0594
		B100	0,0989	0,1136	0,1189	0,1205
Nilai Kalor	KJ/Kg	B0	42751,9	42736,5	42721,2	42719
		B20	42624,5	42623,2	42610,7	42597,4
		B100	42012,9	42010,9	42005,7	41974,4
<i>CCI</i>	-	B0	53,32	54,91	55,47	55,9
		B20	53,66	54,51	54,87	54,99
		B100	56,89	57,56	57,66	57,86

4.1.1 Kontaminasi Biologi



Gambar 4. 1 Visualisasi Pengujian Kontaminasi Biologi



Gambar 4. 2 Grafik Pengujian Kontaminasi Mikroba

Gambar 4.1 merupakan visualisasi hasil pengujian kontaminasi biologi dengan metode TPC (*Total Plate Count*). Sampel yang digunakan pada Gambar 4.1 merupakan B0 pada masa penyimpanan minggu ke-12. Terlihat terdapat enam titik koloni mikroba (di dalam lingkaran merah) pada *plate* setelah dua kali pengenceran sampel, sehingga didapatkan jumlah mikroba adalah 6×10^2 CFU/mL.

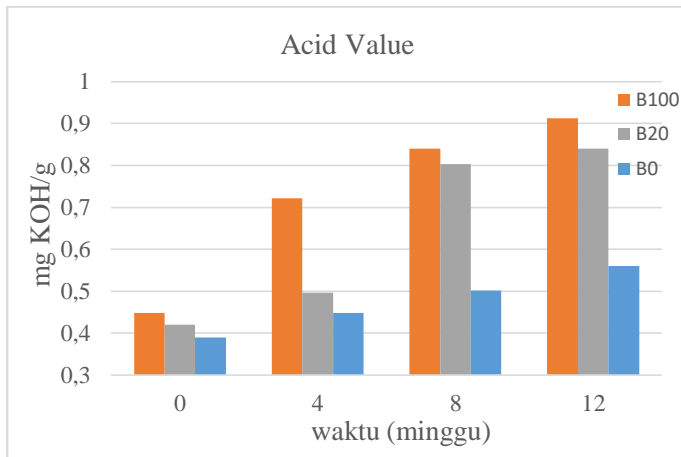
Hasil pengujian jumlah mikroba pada penyimpanan sejak minggu ke-0 hingga minggu ke-12 adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Berdasarkan grafik di atas, diketahui bahwa ketiga bahan bakar menunjukkan *trend* yang meningkat. Pada awal penyimpanan, dapat dilihat bahwa tidak terdapat bakteri yang terdeteksi pada bahan bakar B0. Namun, pada B20 dan B100 terdapat bakteri yang terdeteksi masing-masing sebanyak 10 CFU/ml dan 100 CFU/ml. Pada minggu keempat, untuk bahan bakar B0 masih tidak terdeteksi keberadaan bakteri yang terkandung di dalamnya. Akan tetapi, pada B20 dan B100 justru mengalami peningkatan jumlah mikroba masing-masing sebesar 11.900% dan 100%. Di minggu ke-8 dan ke-12, terjadi peningkatan pada semua jenis bahan bakar. Hingga minggu ke-12, bahan bakar

B0 mengalami tingkat pertumbuhan paling rendah, yaitu hanya meningkat sebesar 59.900% dari kondisi awal. Sedangkan, peningkatan tertinggi, sebesar 799.900%, terjadi pada B20 dibanding B100 yang hanya meningkat sebesar 149.900% dari kondisi awalnya.

Air memegang peranan penting dalam pertumbuhan dan perkembang-biakan mikroba. Aktivitas mikroba terjadi terutama pada lapisan antara bahan bakar dan air di mana ketersediaan nutrisi dan air optimal. Sebagai hasilnya, terbentuklah lapisan tipis yang disebut biofilm [11]. Sesuai pada Tabel 4.2, didapatkan bahwa kandungan air pada tiap sampel bahan bakar meningkat seiring bertambahnya waktu penyimpanan bahan bakar. Hal ini dimungkinkan karena kondisi penyimpanan yang tidak kedap udara [1]. Di sisi lain, didapatkan pula bahwa kandungan air lebih tinggi pada bahan bakar dengan kandungan biodiesel yang lebih tinggi. Fenomena ini terjadi karena biodiesel bersifat higroskopis yang cenderung lebih menyerap air dibanding minyak solar [14].

Namun bila menelaah grafik pada Gambar 4.2, terdapat ketidaksesuaian hubungan antara keberadaan mikroba dan kandungan air pada bahan bakar. Hal tersebut terdapat pada minggu ke-4 dan minggu ke-8, dimana jumlah mikroba pada B20 melebihi yang ditemukan pada B100, sedangkan kandungan air pada B100 lebih tinggi dari B20. Fenomena tersebut disebabkan kondisi penyimpanan yang memungkinkan terjadinya sirkulasi udara ke dalam tangki penyimpanan, dimana mikroorganisme yang muncul pada sampel B20 dapat tumbuh lebih baik pada kondisi aerob, sedangkan pada sampel B100 sebaliknya [10].

4.1.2 Sifat Kimia



Gambar 4. 3 Grafik Pengujian Bilangan Keasaman

Hasil pengujian angka keasaman bahan bakar pada penyimpanan minggu ke-0 hingga minggu ke-12 adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. Terlihat bahwa nilai keasaman bahan bakar meningkat seiring bertambahnya durasi penyimpanan untuk semua variasi bahan bakar. Di kondisi awal pada minggu ke-0, B100 memiliki nilai keasaman yang tertinggi, yaitu 0,45 mg KOH/g, diikuti B20 dan B0 masing-masing sebesar 0,42 dan 0,39 mg KOH/g secara berurutan. Selanjutnya, pengujian bilangan keasaman dilakukan kembali pada minggu ke-4, ke-8, dan ke-12. Hasil pengujian menunjukkan bahwa B100 mengalami peningkatan tertinggi, yaitu sebesar 103,46% setelah disimpan selama 12 minggu dengan rata-rata kenaikan tiap bulannya sebesar 28,65%. Sedangkan B20 dan B0 masing-masing meningkat sebesar 100,13% dan 43,51% dengan rata-rata peningkatan setiap bulan masing-masing sebesar 28,2% dan 12,8%.

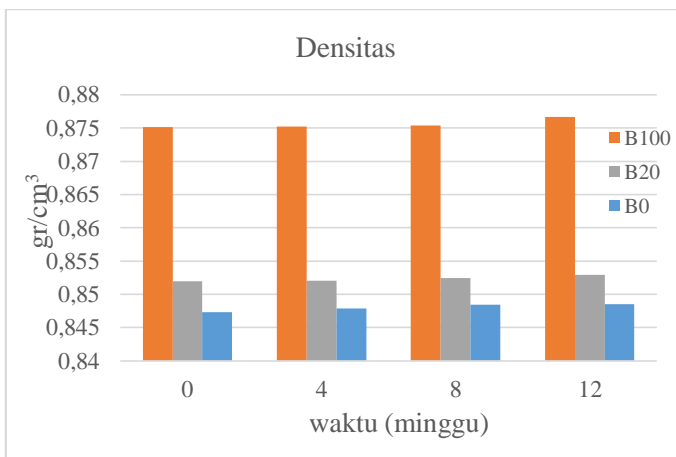
Terdapat banyak faktor yang memengaruhi peningkatan bilangan keasaman pada bahan bakar. Keberadaan mikroba diketahui merupakan salah satu faktor yang menyebabkan peningkatan bilangan keasaman. Mikroba yang tumbuh pada bahan

bakar dapat memetabolisme hidrokarbon yang terkandung dalam bahan bakar [11]. Selanjutnya, faktor lainnya adalah reaksi *oxidative* dan *hydrolytic*. Paparan udara mendorong terjadinya *oxidative degradation* yang menghasilkan hidroperoksida. Hidroperoksida kemudian mengalami reaksi sekunder yang kompleks termasuk pemecahan menjadi aldehida yang lebih reaktif, yang selanjutnya beroksidasi menjadi asam, yang mengarah ke peningkatan nilai asam. Asam juga dapat terbentuk ketika keberadaan air mendorong terjadinya reaksi hidrolisis ester menjadi alkohol dan asam [15].

Bila merujuk pada pertumbuhan mikroba pada bahan bakar, didapatkan aktifitas pertumbuhan mikroba yang paling tinggi pada B20. Namun, kandungan air tertinggi dimiliki B100. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh kandungan air lebih dominan dibanding aktifitas mikroba dalam meningkatkan bilangan keasaman bahan bakar.

4.1.3 Sifat Fisika

4.1.3.1 Densitas

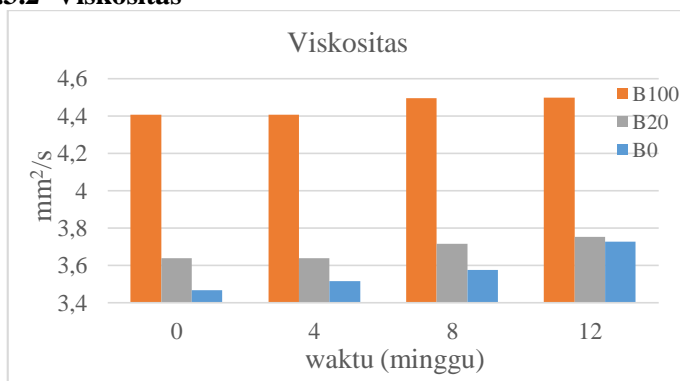


Gambar 4. 4 Grafik Pengujian Densitas

Gambar 4.4 menunjukkan grafik pengujian nilai densitas bahan bakar pada minggu ke-0 hingga minggu ke-12 masa penyimpanan. Terlihat bahwa densitas meningkat seiring bertambahnya durasi penyimpanan untuk semua jenis bahan bakar. Pada kondisi awal (minggu ke-0), terlihat bahwa biodiesel memiliki densitas yang lebih tinggi dibanding bahan bakar diesel konvensional dengan nilai masing-masing sebesar 0,875 dan 0,847 gr/cm^3 . Sedangkan B20, yang memiliki komposisi 20% biodiesel dan 80% solar, memiliki densitas 0,852 gr/cm^3 . Nilai tersebut sesuai dengan perbandingan komposisi 20% densitas biodiesel dan 80% densitas solar. Peningkatan nilai densitas yang terjadi pada semua jenis bahan bakar cenderung sama, dengan rata-rata peningkatan densitas B100, B20, dan B0 masing-masing sebesar 0,06%, 0,04%, dan 0,05% setiap bulan.

Peningkatan nilai densitas terjadi disebabkan oleh peningkatan interaksi molekul dalam rangka pembentukan produk oksidasi. Bahan bakar yang memiliki rantai hidrokarbon yang lebih pendek dan lebih banyak asam lemak jenuh cenderung lebih rentan untuk terkristalisasi, sehingga menyebabkan penurunan volume dan akibatnya meningkatkan densitasnya. Secara bersamaan, massa bahan bakar meningkat pula sebagai akibat dari produk oksidasi [1, 15].

4.1.3.2 Viskositas



Gambar 4. 5 Grafik Pengujian Viskositas

Gambar 4.5 menunjukkan grafik pengujian nilai viskositas bahan bakar pada minggu ke-0 hingga minggu ke-12 masa penyimpanan. Terlihat bahwa viskositas meningkat seiring bertambahnya durasi penyimpanan untuk semua jenis bahan bakar. Pada kondisi awal (minggu ke-0), terlihat bahwa biodiesel memiliki viskositas yang lebih tinggi dibanding bahan bakar diesel konvensional dengan nilai masing-masing sebesar 4,41 dan 3,47 mm²/s. Sedangkan B20, yang memiliki komposisi 20% biodiesel dan 80% solar, memiliki viskositas 3,64 mm²/s. Nilai tersebut sesuai dengan perbandingan komposisi 20% viskositas biodiesel dan 80% viskositas solar. Setelah melewati masa *storage* selama 12 minggu, terjadi peningkatan viskositas pada B0, B20, dan B100 masing-masing adalah 7,5%, 3,1%, dan 2%.

Peningkatan viskositas disebabkan oleh terjadinya proses oksidasi. Proses oksidasi mengarah pada pembentukan asam lemak, isomerisasi ikatan rangkap, saturasi dan produksi molekul yang lebih berat. Oleh sebab itu, viskositas meningkat dengan meningkatnya oksidasi seiring periode penyimpanan. Di lain pihak, kadar air dalam bahan bakar dapat menjaga nilai viskositas karena viskositas kinematik adalah ukuran resistensi zat terhadap aliran [1]. Hal ini sesuai, karena B100 yang memiliki kadar air tertinggi mengalami peningkatan viskositas yang paling rendah, sementara B0 sebaliknya.

4.2 Contoh Perhitungan Uji Unjuk Kerja Mesin

Perhitungan yang dihitung di bawah ini adalah untuk bahan bakar biodiesel (B100) penyimpanan minggu ke-0. Perhitungan dilakukan pada pembebanan lampu 1500 Watt dengan data-data sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Data Contoh Perhitungan

Beban (watt)	RPM	Generator		Bahan Bakar	
		Arus (A)	Tegangan (V)	Volume (ml)	Waktu (s)
1500	2000	6,1	220	10	40

4.2.1 Specific Fuel Consumption (SFC)

Specific fuel consumption (SFC) adalah jumlah bahan bakar yang dipakai mesin untuk menghasilkan daya efektif 1 (satu) *hp* selama 1 (satu) jam. Didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\dot{m}_{bb} = \frac{m_{bb}}{S} \text{ (kg/s)}$$

$$m_{bb} = \rho_{bb} \times v_{bb} \text{ (kg)}$$

Sedangkan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah:

$$sfc = 3600 \frac{\dot{m}_{bb}}{Ne} \left(\frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{jam}} \right)$$

Dimana:

$$\rho_{bb} : 875,13 \text{ Kg/m}^3$$

$$v_{bb} : 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$S : 40 \text{ s}$$

$$Ne : 1,49 \text{ KW}$$

Maka:

$$m_{bb} = \rho_{bb} \times v_{bb} \text{ (kg)}$$

$$m_{bb} = 875,13 \times 0,000010 \text{ (kg)}$$

$$m_{bb} = 0,00875 \text{ kg}$$

$$\dot{m}_{bb} = \frac{0,00875}{40} \text{ (kg/s)}$$

$$\dot{m}_{bb} = 0,00022 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)$$

$$sfc = 3600 \frac{\dot{m}_{bb}}{Ne} \left(\frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{jam}} \right)$$

$$sfc = 3600 \frac{0,00022}{1,49} \left(\frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{jam}} \right)$$

$$sfc = 0,528 \left(\frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{jam}} \right)$$

Dari perhitungan didapatkan *Specific Fuel Consumption* yang dihasilkan *engine* diesel dengan bahan bakar Biodiesel pada

penyimpanan minggu ke-0 dengan pembebanan 1500 W adalah 0,528 kg/kWh.

4.2.2 Efisiensi Thermal (η_{th})

Efisiensi termal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh mesin pembakaran dalam. Secara teoritis dituliskan dalam persamaan:

$$\eta_{th} = \frac{Ne}{\dot{m} \text{ bahan bakar} \times LHV \text{ bahan bakar}} \times 100\%$$

Dimana:

$$\begin{aligned} Ne &: 1,49 \text{ KW} \\ \dot{m} \text{ bb} &: 0,00022 \text{ kg/s} \\ LHV \text{ bb} &: \text{KJ/Kg} \\ LHV \text{ bb} &: (16280 + 60 \times API) \times 2,326 \\ API &: (141,5 / SG) - 131,5 \\ SG &: \rho_{bb} / \rho_{air} = 875,13 / 997 = 0,87776 \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned} API &: (141,5 / 0,87776) - 131,5 \\ API &: 29,7052 \\ LHV \text{ bb} &: (16280 + 60 \times 29,7052) \times 2,326 \\ LHV \text{ bb} &: 42012,9 \text{ KJ/Kg} \end{aligned}$$

$$\eta_{th} = \frac{Ne}{\dot{m} \text{ bahan bakar} \times LHV \text{ bahan bakar}} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = \frac{1,49}{0,00022 \times 42012,9} \times 100\%$$

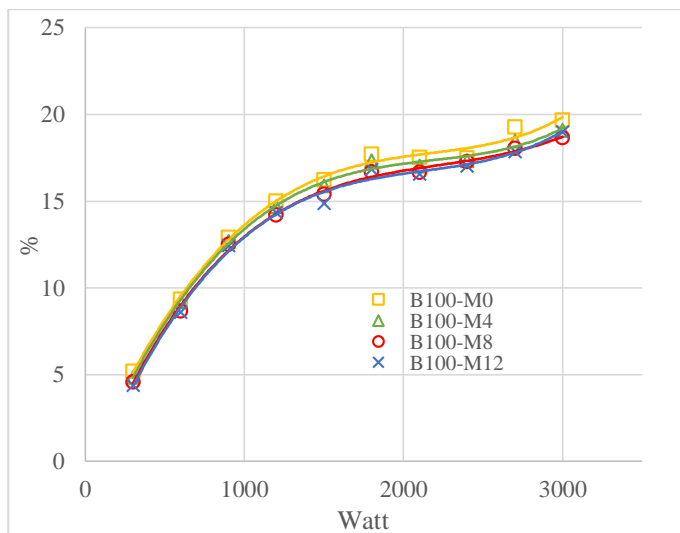
$$\eta_{th} = 16,22 \%$$

Dari perhitungan didapatkan *Efisiensi Thermal* yang dihasilkan *engine* Diesel berbahan bakar Biodiesel pada penyimpanan minggu ke-0 dengan pembebanan 1500 W adalah 16,22 %.

4.3 Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang, Bahan Bakar Biodiesel Murni (B100)

Berikut ini akan disajikan hasil dan analisa dari pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang menggunakan bahan bakar B100 pada penyimpanan selama 0, 4, 8, dan 12 minggu dalam bentuk grafik.

4.3.1 Efisiensi Thermal (η_{th})



Gambar 4. 6 Grafik Efisiensi Termal B100

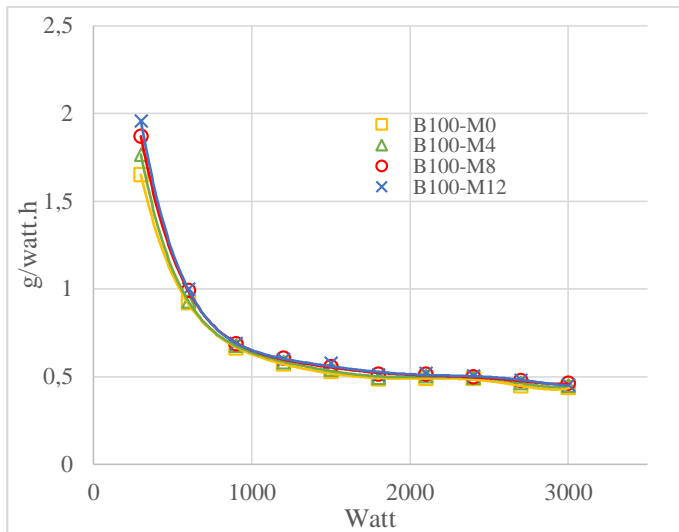
Dari Gambar 4.6, dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Brake Thermal Efficiency* yang dihasilkan oleh *engine* terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. *Brake Thermal Efficiency* menunjukkan perbandingan antara daya yang dikeluarkan oleh mesin dengan energi yang terkandung dalam sejumlah bahan bakar yang dibakar.

Trendline dari masing-masing grafik terlihat hampir sama, yaitu cenderung meningkat seiring bertambahnya beban yang diberikan pada mesin. Peningkatan efisiensi dipicu meningkatnya suhu mesin seiring bertambahnya beban. Jika mesin telah pada

suhu optimal, maka energi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar akan lebih sedikit terserap ke dinding silinder dan komponen mesin lainnya sebagai energi panas. Selain itu, atomisasi bahan bakar yang di injeksikan menjadi lebih baik karena tekanan injektor yang lebih tinggi seiring bertambahnya beban mesin menjadikan pembakaran yang terjadi lebih baik.

Dapat disimpulkan pula bahwa efisiensi termal tertinggi dihasilkan oleh B100 pada penyimpanan minggu ke-0, sedangkan efisiensi termal terendah dihasilkan oleh B100 pada penyimpanan minggu ke-12. Efisiensi termal B100 di minggu ke-0 penyimpanan pada beban minimal sebesar 5,19% dan pada beban maksimal 19,67%. Namun, di minggu ke-12 penyimpanan, rata-rata efisiensi termal yang dihasilkan menurun dengan persentase 5,54% dibandingkan pada minggu ke-0. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya laju aliran bahan bakar. Dari Tabel 4.2 terlihat bahwa terjadi penurunan nilai kalor bahan bakar seiring penyimpanan, hal tersebutlah yang menyebabkan peningkatan kebutuhan bahan bakar [16].

4.3.2 Specific Fuel Consumption (SFC)



Gambar 4. 7 Grafik SFC B100

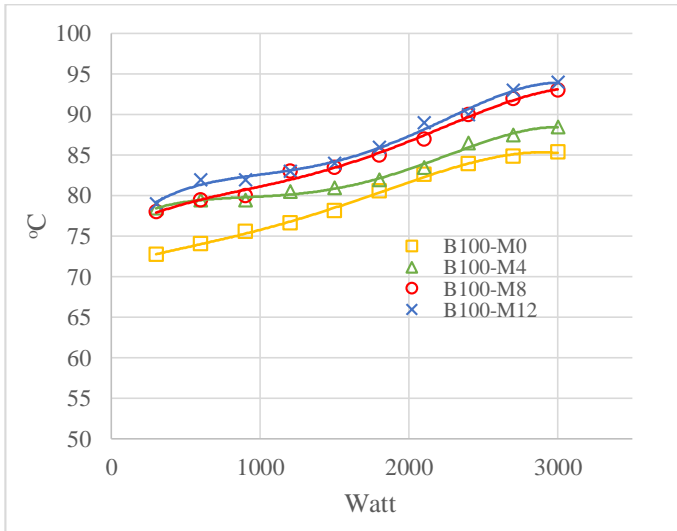
Dari Gambar 4.7, dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Brake Specific Fuel Consumption* yang dihasilkan oleh *engine* terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. BSFC adalah jumlah bahan bakar dalam gram yang digunakan untuk menghasilkan 1 watt daya dalam waktu 1 jam.

Trendline dari masing-masing grafik hampir serupa. Terlihat bahwa semakin bertambahnya beban yang diberikan pada mesin akan memberikan nilai BSFC yang cenderung lebih rendah. Penurunan BSFC disebabkan efisiensi termal yang meningkat seiring bertambahnya beban. Sehingga peningkatan konsumsi bahan bakar lebih rendah dibanding peningkatan daya mesin untuk memenuhi permintaan beban mesin.

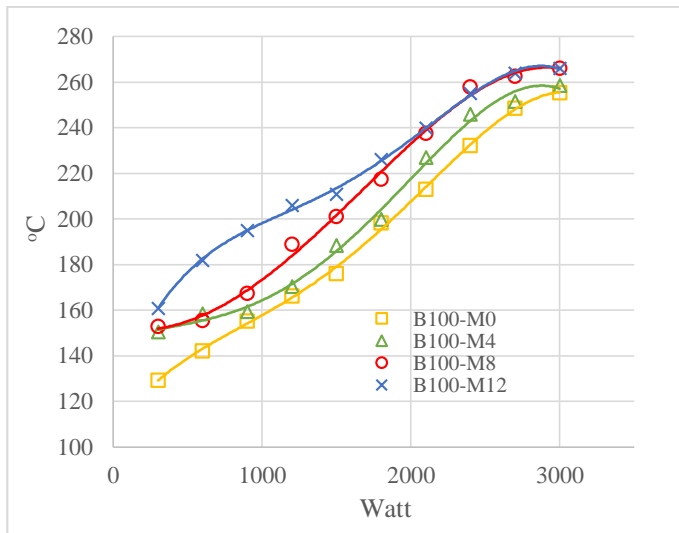
Dapat disimpulkan pula bahwa BSFC terendah dihasilkan oleh B100 pada penyimpanan minggu ke-0, sedangkan BSFC tertinggi dihasilkan oleh B100 pada penyimpanan minggu ke-12. BSFC B100 di minggu ke-0 penyimpanan pada beban minimal sebesar 1,65 g/Wh dan pada beban maksimal 0,44 g/Wh. Namun,

di minggu ke-12 penyimpanan, rata-rata BSFC yang dihasilkan meningkat dengan persentase 9,05% dibandingkan pada minggu ke-0. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya laju aliran bahan bakar. Dari Tabel 4.2 terlihat bahwa terjadi penurunan nilai kalor bahan bakar seiring penyimpanan, hal tersebutlah yang menyebabkan peningkatan kebutuhan bahan bakar [16].

4.3.3 Temperatur *Engine* dan *Exhaust Gas*



Gambar 4. 8 Grafik Temperature Engine B100



Gambar 4. 9 Grafik Temperatur Exhaust B100

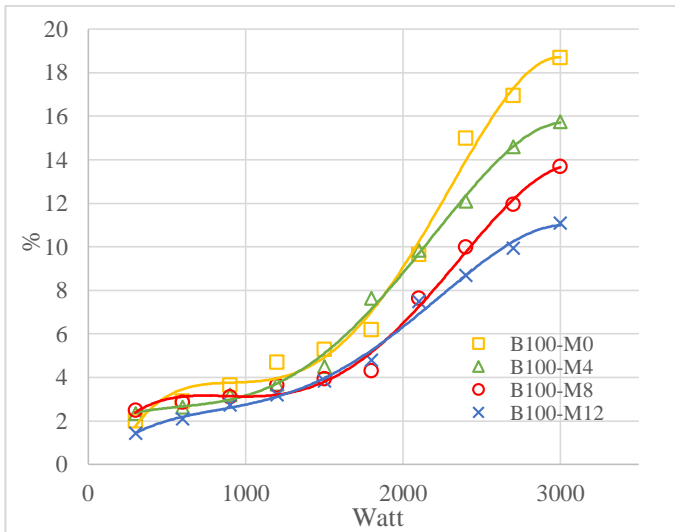
Dari Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 dapat dilihat grafik yang menunjukkan temperatur yang didapatkan pada mesin dan gas buang terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. Temperatur *engine* merupakan hasil pembacaan *thermocouple* yang diinstalasi pada blok silinder *engine*, sementara temperature *exhaust gas* merupakan pembacaan pada knalpot.

Terlihat bahwa grafik suhu mesin dan suhu gas buang memiliki trend yang hampir sama untuk semua bahan bakar, yaitu meningkat seiring pertambahan beban. Hal ini terjadi karena pada beban yang lebih tinggi, mesin akan membutuhkan *supply* bahan bakar yang lebih banyak untuk memenuhi permintaan beban mesin. Semakin banyak jumlah bahan bakar yang dibakar, maka pembakaran yang terjadi juga akan menghasilkan panas yang lebih banyak.

Dapat disimpulkan pula bahwa suhu mesin maupun suhu gas buang terendah dihasilkan oleh B100 pada penyimpanan minggu ke-0, sedangkan yang tertinggi dihasilkan oleh B100 pada penyimpanan minggu ke-12. Suhu mesin B100 di minggu ke-0

penyimpanan pada beban minimal sebesar 72,75°C dan pada beban maksimal 85,4°C. Sedangkan suhu gas buang B100 di minggu ke-0 penyimpanan pada beban minimal sebesar 129,35°C dan pada beban maksimal 255,4°C. Namun, di minggu ke-12 penyimpanan, rata-rata suhu mesin dan suhu gas buang yang dihasilkan meningkat dengan persentase masing-masing sebesar 8,48% dan 15,1% dibandingkan pada minggu ke-0. Dari Tabel 4.2 terlihat bahwa terjadi penurunan nilai kalor bahan bakar seiring penyimpanan. Penurunan nilai kalor mengakibatkan peningkatan kebutuhan bahan bakar yang kemudian menyebabkan suhu dalam ruang bakar lebih tinggi.

4.3.4 *Smoke Opacity*



Gambar 4. 10 Grafik Persentase Smoke B100

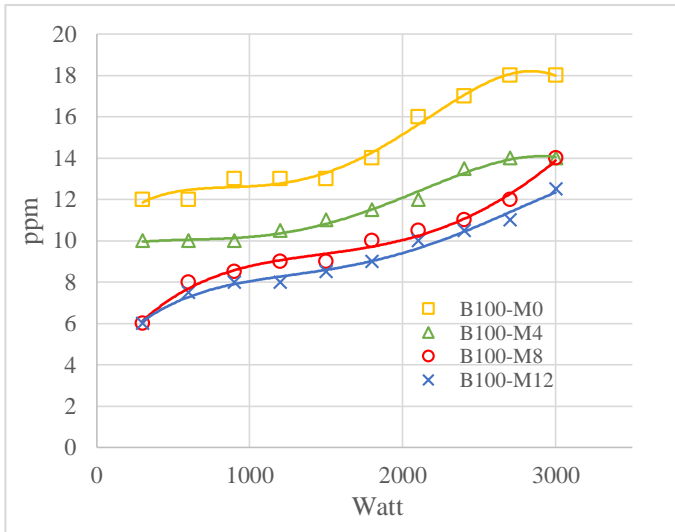
Dari Gambar 4.10 dapat dilihat grafik yang menunjukkan *smoke opacity* yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. *Smoke Opacity* adalah tingkat ketebalan asap yang dihasilkan oleh *engine*. Asap ini adalah bentuk padatan atau butiran

kabon yang tercampur kedalam *exhaust gas* dan merupakan hasil dari proses pembakaran yang tidak sempurna.

Dari grafik dapat disimpulkan bahwa, trendline dari semua jenis bahan bakar hampir sama, yaitu cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban. Fenomena ini dapat terjadi karena ketika beban mesin dinaikkan, maka jumlah bahan bakar yang disemprotkan ke dalam ruang bakar pun akan semakin banyak. Pada saat penyemprotan bahan bakar, terdapat kemungkinan butir-butir bahan bakar tersebut mengumpul menjadi satu membentuk deposit berupa padatan karbon yang kemudian keluar melalui knalpot sebagai asap.

Dapat disimpulkan pula bahwa emisi *smoke* tertinggi dihasilkan oleh B100 pada penyimpanan minggu ke-0, sedangkan yang terendah dihasilkan oleh B100 pada penyimpanan minggu ke-12. *Smoke opacity* B100 di minggu ke-0 penyimpanan pada beban minimal sebesar 2% dan pada beban maksimal 18,7%. Namun, di minggu ke-12 penyimpanan, rata-rata emisi *smoke* yang dihasilkan menurun dengan persentase 34,86% dibandingkan pada minggu ke-0. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya kandungan oksigen dalam bahan bakar pada bahan bakar terdegradasi. Kandungan oksigen dalam bahan bakar dapat membantu terjadinya pembakaran yang lebih sempurna [17].

4.3.5 Unburnt Hydrocarbon (UHC)



Gambar 4. 11 Grafik UHC B100

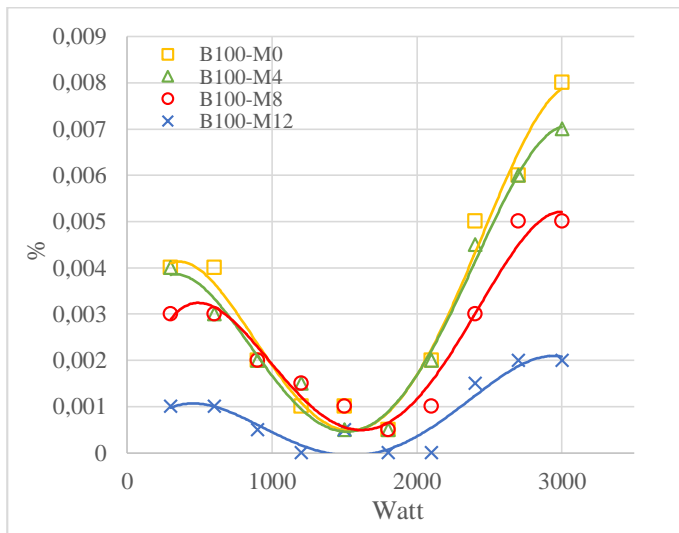
Dari Gambar 4.11 dapat dilihat grafik yang menunjukkan kadar *Unburnt Hydrocarbon* dalam ppm yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. *Unburnt Hydrocarbon* adalah gas yang terbentuk karena pembakaran dengan yang tidak sempurna.

Terlihat bahwa nilai HC dari semua jenis bahan bakar menunjukkan *trendline* yang cenderung meningkat seiring bertambahnya beban mesin. Hal ini terjadi karena dibutuhkan bahan bakar yang lebih banyak untuk memenuhi permintaan beban mesin. Namun, bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam silinder memiliki kemungkinan untuk tidak terbakar dan keluar melalui knalpot menjadi emisi UHC.

Dapat disimpulkan pula bahwa emisi UHC tertinggi dihasilkan oleh B100 pada penyimpanan minggu ke-0, sedangkan yang terendah dihasilkan oleh B100 pada penyimpanan minggu ke-

12. *Unburnt Hydrocarbon* B100 di minggu ke-0 penyimpanan pada beban minimal sebesar 12 ppm dan pada beban maksimal 18 ppm. Namun, di minggu ke-12 penyimpanan, rata-rata emisi UHC yang dihasilkan menurun dengan persentase 37,67% dibandingkan pada minggu ke-0. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya kandungan oksigen dalam bahan bakar pada bahan bakar terdegradasi. Kandungan oksigen dalam bahan bakar dapat membantu terjadinya pembakaran yang lebih sempurna [17, 19].

4.3.6 Kadar CO



Gambar 4. 12 Grafik Emisi CO B100

Dari Gambar 4.12 dapat dilihat grafik yang menunjukkan kadar CO dalam (%V) yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. CO atau karbon monoksida adalah gas yang terbentuk karena pembakaran pada AFR yang tidak tepat dan temperature *exhaust gas* yang tidak tepat.

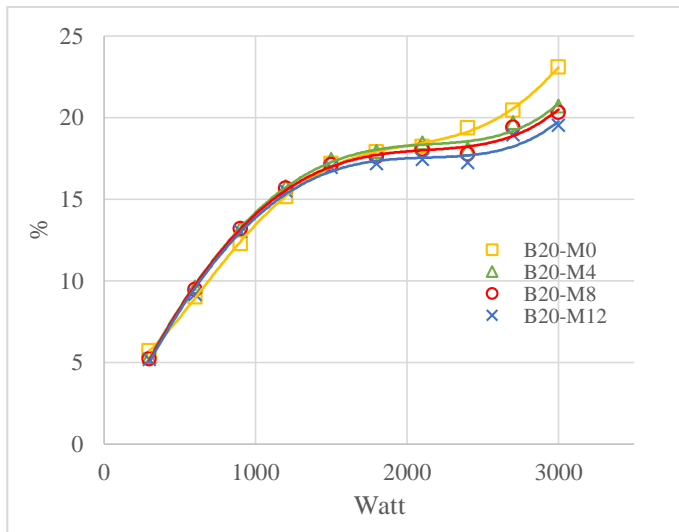
Dari grafik, terlihat bahwa *trend* semua jenis bahan bakar hampir sama, yaitu emisi CO menurun hingga beban menengah, kemudian naik kembali pada beban atas. Tingginya emisi CO pada beban rendah disebabkan oleh proses pencampuran bahan bakar dan udara yang buruk. Seiring meningkatnya beban, tekanan injeksi bahan bakar akan meningkat sehingga menghasilkan pencampuran bahan bakar dan udara yang lebih baik [18]. Namun pada beban atas, tampak bahwa emisi CO meningkat kembali. Hal ini disebabkan campuran yang semakin kaya pada beban atas menghasilkan sisa pembakaran berupa emisi CO yang tidak sempat untuk berinteraksi dengan udara agar menjadi CO₂ sebelum keluar melalui knalpot.

Dapat disimpulkan pula bahwa emisi CO tertinggi dihasilkan oleh B100 pada penyimpanan minggu ke-0, sedangkan yang terendah dihasilkan oleh B100 pada penyimpanan minggu ke-12. Emisi CO yang dihasilkan B100 di minggu ke-0 penyimpanan memiliki nilai minimal sebesar 0,0005% dan nilai maksimal 0,008%. Namun, di minggu ke-12 penyimpanan, rata-rata emisi CO yang dihasilkan menurun dengan persentase 74,63% dibandingkan pada minggu ke-0. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya kandungan oksigen dalam bahan bakar pada bahan bakar terdegradasi. Kandungan oksigen dalam bahan bakar dapat membantu terjadinya pembakaran yang lebih sempurna [16,17,18].

4.4 Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang, Bahan Bakar Campuran (B20)

Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang ini, menggunakan bahan bakar Biodiesel dengan variasi durasi penyimpanan selama 0, 4, 8, dan 12 pekan dalam bentuk grafik.

4.4.1 Efisiensi Thermal (η_{th})



Gambar 4. 13 Grafik Efisiensi Termal B20

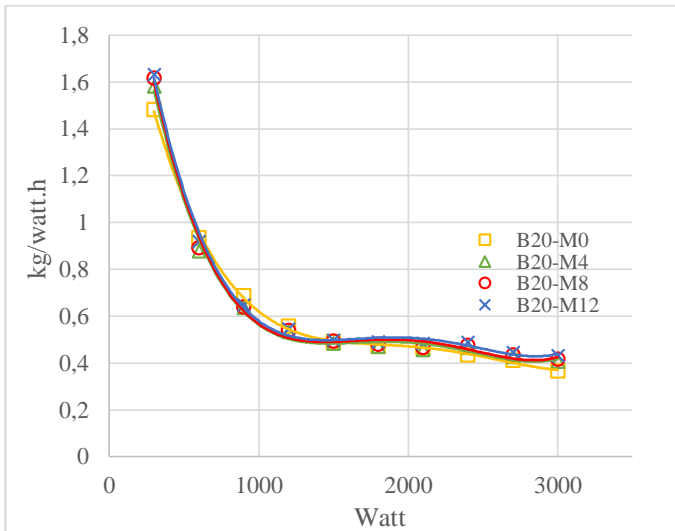
Dari Gambar 4.13, dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Brake Thermal Efficiency* yang dihasilkan oleh *engine* terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*.

Trendline dari masing-masing grafik terlihat hampir sama, yaitu cenderung meningkat seiring bertambahnya beban yang diberikan pada mesin. Peningkatan efisiensi dipicu meningkatnya suhu mesin seiring bertambahnya beban. Sebelum mencapai suhu kerja optimal, sebagian energi yang dihasilkan dari pembakaran akan terserap oleh blok mesin dan komponen-komponen mesin lainnya. Selain itu, atomisasi bahan bakar yang di injeksikan menjadi lebih baik karena tekanan injektor yang lebih tinggi seiring bertambahnya beban mesin menjadikan pembakaran yang terjadi lebih baik.

Dapat disimpulkan pula bahwa efisiensi termal tertinggi dihasilkan oleh B20 pada penyimpanan minggu ke-0, sedangkan efisiensi termal terendah dihasilkan oleh B20 pada penyimpanan minggu ke-12. Efisiensi termal B20 di minggu ke-0 penyimpanan

pada beban minimal sebesar 5,7%, sedangkan pada beban maksimal 23,1%. Namun, di minggu ke-12 penyimpanan, rata-rata efisiensi termal yang dihasilkan menurun dengan persentase 5,19% dibandingkan pada minggu ke-0. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya laju aliran bahan bakar. Dari Tabel 4.2 terlihat bahwa terjadi penurunan nilai kalor bahan bakar seiring penyimpanan, hal tersebutlah yang menyebabkan peningkatan kebutuhan bahan bakar [16].

4.4.2 *Specific Fuel Consumption (SFC)*



Gambar 4. 14 Grafik SFC B20

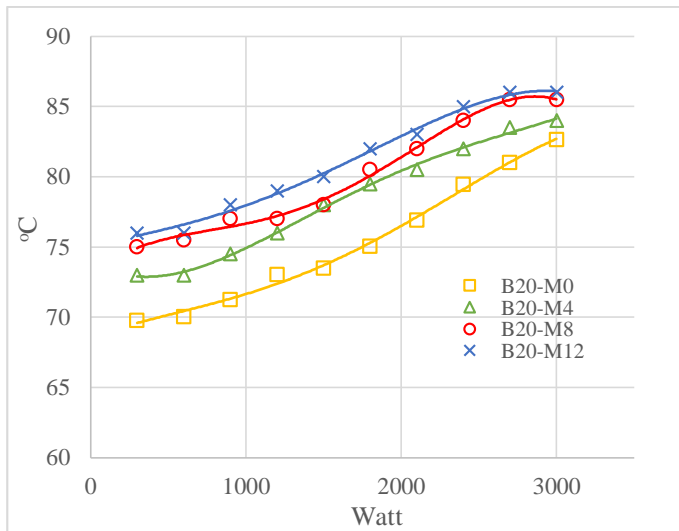
Dari Gambar 4.14, dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Brake Specific Fuel Consumption* yang dihasilkan oleh *engine* terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. BSFC adalah jumlah bahan bakar dalam gram yang digunakan untuk menghasilkan 1 watt daya pada waktu 1 jam.

Trendline dari masing-masing grafik hampir serupa. Terlihat bahwa semakin bertambahnya beban yang diberikan pada mesin akan memberikan nilai BSFC yang cenderung lebih rendah.

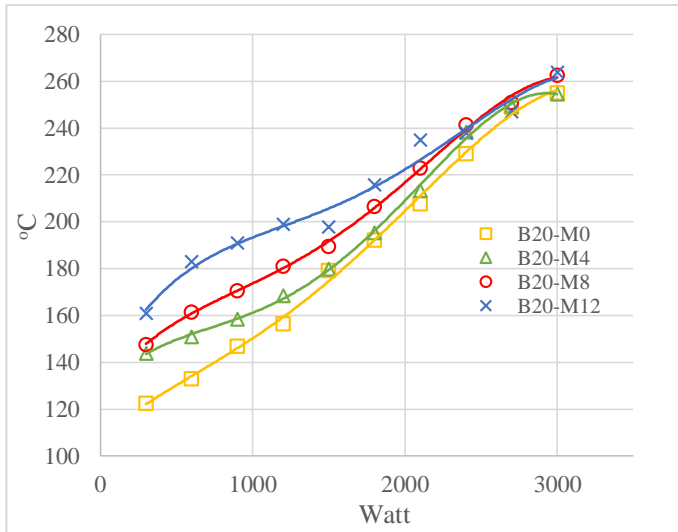
Penurunan BSFC disebabkan efisiensi termal yang meningkat seiring bertambahnya beban. Oleh karena itu, proses pembakaran yang terjadi pada beban tinggi akan menghasilkan daya yang lebih tinggi, sehingga SFC menurun.

Dapat disimpulkan pula bahwa BSFC terendah dihasilkan oleh B20 pada penyimpanan minggu ke-0, sedangkan BSFC tertinggi dihasilkan oleh B20 pada penyimpanan minggu ke-12. BSFC B100 di minggu ke-0 penyimpanan pada beban minimal sebesar 1,48 g/Wh dan pada beban maksimal 0,37 g/Wh. Namun, di minggu ke-12 penyimpanan, rata-rata BSFC yang dihasilkan meningkat dengan persentase 4,54% dibandingkan pada minggu ke-0. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya laju aliran bahan bakar. Dari Tabel 4.2 terlihat bahwa terjadi penurunan nilai kalor bahan bakar seiring penyimpanan, hal tersebutlah yang menyebabkan peningkatan kebutuhan bahan bakar [16].

4.4.3 Temperatur *Engine* dan *Exhaust Gas*



Gambar 4. 15 Grafik Temperatur Engine B20



Gambar 4. 16 Temperatur Exhaust B20

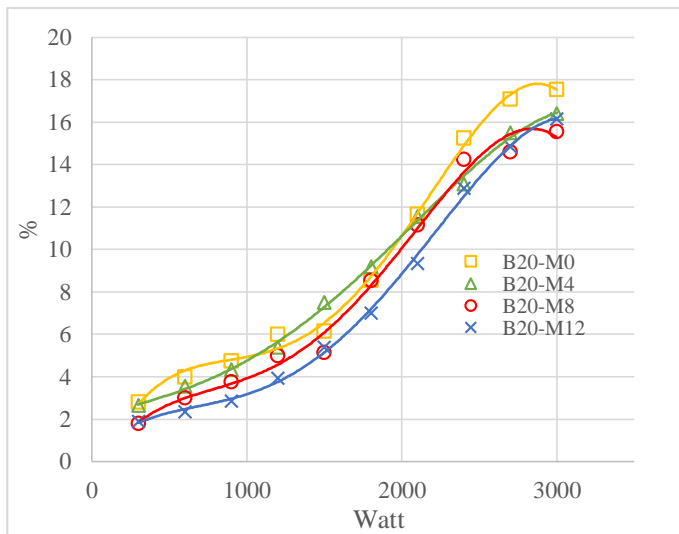
Dari Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 dapat dilihat grafik yang menunjukkan temperatur yang didapatkan pada mesin dan gas buang terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. Temperatur *engine* merupakan hasil pembacaan *thermocouple* yang diinstalasi pada blok silinder *engine*, sementara temperature *exhaust gas* merupakan pembacaan pada knalpot.

Terlihat bahwa grafik suhu mesin dan suhu gas buang memiliki trend yang hampir sama untuk semua bahan bakar, yaitu meningkat seiring pertambahan beban. Hal ini terjadi karena pada beban yang lebih tinggi, mesin akan membutuhkan *supply* bahan bakar yang lebih banyak untuk memenuhi permintaan beban mesin. Semakin banyak jumlah bahan bakar yang dibakar, maka pembakaran yang terjadi juga akan menghasilkan panas yang lebih banyak.

Dapat disimpulkan pula bahwa suhu mesin maupun suhu gas buang terendah dihasilkan oleh B20 pada penyimpanan minggu ke-0, sedangkan yang tertinggi dihasilkan oleh B20 pada penyimpanan minggu ke-12. Suhu mesin B20 di minggu ke-0

penyimpanan pada beban minimal sebesar $69,75^{\circ}\text{C}$ dan pada beban maksimal $82,65^{\circ}\text{C}$. Sedangkan suhu gas buang B20 di minggu ke-0 penyimpanan pada beban minimal sebesar $122,6^{\circ}\text{C}$ dan pada beban maksimal $255,05^{\circ}\text{C}$. Namun, di minggu ke-12 penyimpanan, rata-rata suhu mesin dan suhu gas buang yang dihasilkan meningkat dengan persentase masing-masing sebesar 7,75% dan 13,93% dibandingkan pada minggu ke-0. Dari Tabel 4.2 terlihat bahwa terjadi penurunan nilai kalor bahan bakar seiring penyimpanan. Penurunan nilai kalor mengakibatkan peningkatan kebutuhan bahan bakar yang kemudian menyebabkan suhu dalam ruang bakar lebih tinggi.

4.4.4 *Smoke Opacity*



Gambar 4. 17 Grafik Persentase Smoke B20

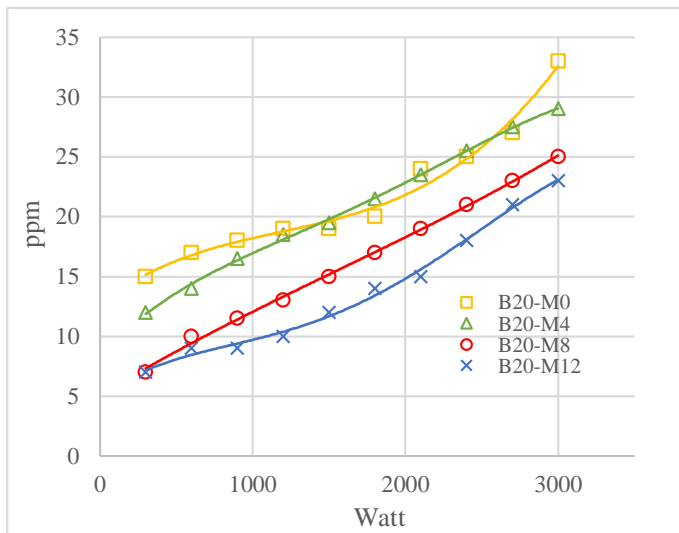
Dari Gambar 4.17 dapat dilihat grafik yang menunjukkan *smoke opacity* yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. *Smoke Opacity* adalah tingkat ketebalan asap yang dihasilkan oleh *engine*. Asap ini adalah bentuk padatan atau butiran

kabon yang tercampur kedalam *exhaust gas* dan merupakan hasil dari proses pembakaran yang tidak sempurna.

Dari grafik dapat disimpulkan bahwa, trendline dari semua jenis bahan bakar hampir sama, yaitu cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban. Fenomena ini dapat terjadi karena ketika beban mesin dinaikkan, maka jumlah bahan bakar yang disemprotkan ke dalam ruang bakar pun akan semakin banyak. Pada saat penyemprotan bahan bakar, terdapat kemungkinan butir-butir bahan bakar tersebut mengumpul menjadi satu membentuk deposit berupa padatan karbon yang kemudian keluar melalui knalpot sebagai asap.

Dapat disimpulkan pula bahwa emisi *smoke* tertinggi dihasilkan oleh B20 pada penyimpanan minggu ke-0, sedangkan yang terendah dihasilkan oleh B20 pada penyimpanan minggu ke-12. *Smoke opacity* B20 di minggu ke-0 penyimpanan pada beban minimal sebesar 2,8% dan pada beban maksimal 17,55%. Namun, di minggu ke-12 penyimpanan, rata-rata emisi *smoke* yang dihasilkan menurun dengan persentase 18,23% dibandingkan pada minggu ke-0. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya kandungan oksigen dalam bahan bakar pada bahan bakar terdegradasi. Kandungan oksigen dalam bahan bakar dapat membantu terjadinya pembakaran yang lebih sempurna [17].

4.4.5 Unburnt Hydrocarbon (UHC)



Gambar 4. 18 Grafik UHC B20

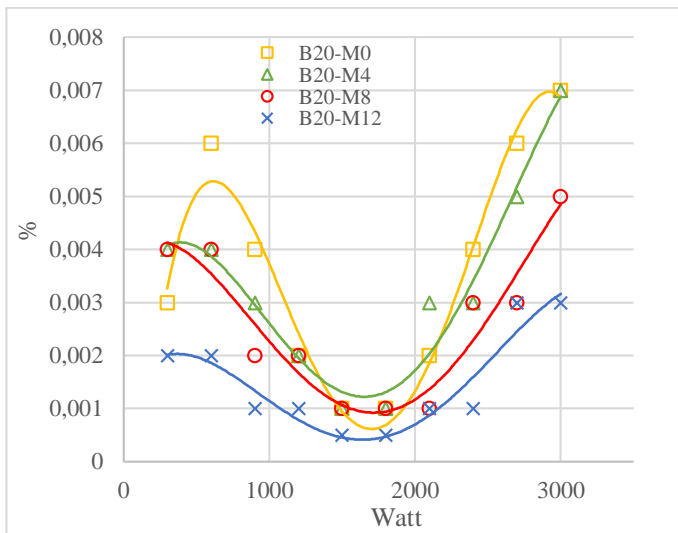
Dari Gambar 4.18 dapat dilihat grafik yang menunjukkan kadar *Unburnt Hydrocarbon* dalam ppm yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. *Unburnt Hydrocarbon* adalah gas yang terbentuk karena pembakaran dengan yang tidak sempurna.

Terlihat bahwa nilai HC dari setiap bahan bakar menunjukkan trenline yang cenderung meningkat seiring meningkatnya beban mesin. Hal ini terjadi karena dibutuhkan bahan bakar yang lebih banyak untuk memenuhi permintaan beban mesin. Namun, bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam silinder memiliki kemungkinan untuk tidak terbakar dan keluar melalui knalpot menjadi emisi UHC.

Dapat disimpulkan pula bahwa emisi UHC tertinggi dihasilkan oleh B20 pada penyimpanan minggu ke-0, sedangkan yang terendah dihasilkan oleh B20 pada penyimpanan minggu ke-12. *Unburnt Hydrocarbon* B20 di minggu ke-0 penyimpanan pada

beban minimal sebesar 15 ppm dan pada beban maksimal 33 ppm. Namun, di minggu ke-12 penyimpanan, rata-rata emisi UHC yang dihasilkan menurun dengan persentase 36,41% dibandingkan pada minggu ke-0. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya kandungan oksigen dalam bahan bakar pada bahan bakar terdegradasi. Kandungan oksigen dalam bahan bakar dapat membantu terjadinya pembakaran yang lebih sempurna [17, 19].

4.4.6 Kadar CO



Gambar 4. 19 Grafik Emisi CO B20

Dari Gambar 4.19 dapat dilihat grafik yang menunjukkan kadar CO dalam (%V) yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. CO atau karbon monoksida adalah gas yang terbentuk karena pembakaran pada AFR yang tidak tepat dan temperature *exhaust gas* yang tidak tepat.

Dari grafik, didapatkan bahwa *trend* semua jenis bahan bakar hampir sama, yaitu emisi CO menurun hingga beban menengah, kemudian naik kembali pada beban atas. Tingginya

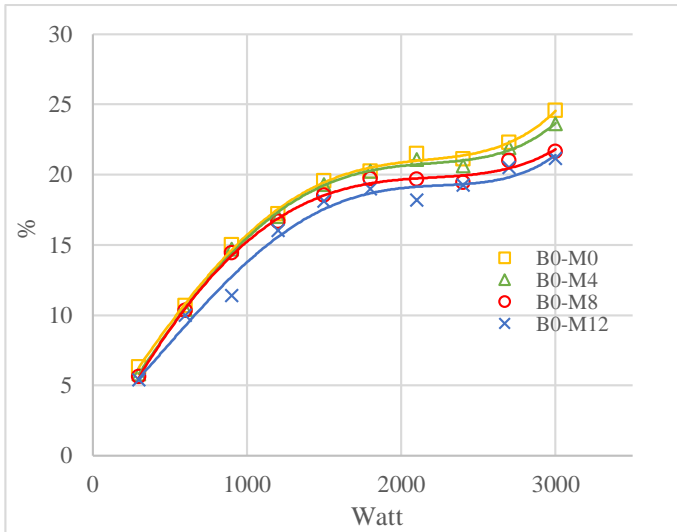
emisi CO pada beban rendah disebabkan oleh proses pencampuran bahan bakar dan udara yang buruk. Seiring meningkatnya beban, tekanan injeksi bahan bakar akan meningkat sehingga menghasilkan pencampuran bahan bakar dan udara yang lebih baik [18]. Namun pada beban atas, tampak bahwa emisi CO meningkat kembali. Hal ini disebabkan campuran yang semakin kaya pada beban atas menghasilkan sisa pembakaran berupa emisi CO yang tidak sempat untuk berinteraksi dengan udara agar menjadi CO₂ sebelum keluar melalui knalpot.

Dapat disimpulkan pula bahwa emisi CO tertinggi dihasilkan oleh B20 pada penyimpanan minggu ke-0, sedangkan yang terendah dihasilkan oleh B20 pada penyimpanan minggu ke-12. Emisi CO yang dihasilkan B20 di minggu ke-0 penyimpanan memiliki nilai minimal sebesar 0,003% dan nilai maksimal 0,007%. Namun, di minggu ke-12 penyimpanan, rata-rata emisi CO yang dihasilkan menurun dengan persentase 58,33% dibandingkan pada minggu ke-0. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya kandungan oksigen dalam bahan bakar pada bahan bakar terdegradasi. Kandungan oksigen dalam bahan bakar dapat membantu terjadinya pembakaran yang lebih sempurna [16, 17, 18].

4.5 Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang, Bahan Bakar Dexlite Murni (B0)

Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang ini, menggunakan bahan bakar Biodiesel dengan variasi durasi penyimpanan selama 0, 4, 8, dan 12 pekan dalam bentuk grafik.

4.5.1 Efisiensi Thermal (η_{th})



Gambar 4. 20 Grafik Efisiensi Termal B0

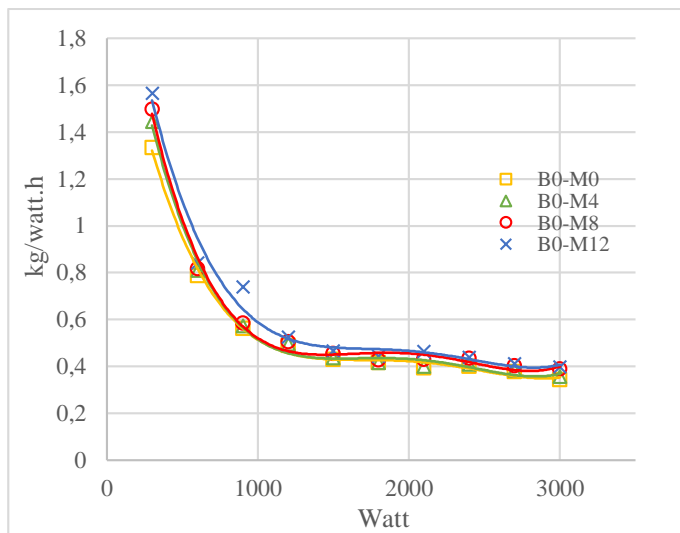
Dari Gambar 4.20, dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Brake Thermal Efficiency* yang dihasilkan oleh *engine* terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*.

Trendline dari masing-masing grafik terlihat hampir sama, yaitu cenderung meningkat seiring bertambahnya beban yang diberikan pada mesin. Peningkatan efisiensi dipicu meningkatnya suhu mesin seiring bertambahnya beban. Kondisi mesin yang lebih panas cenderung akan menyerap lebih sedikit energi panas dari pembakaran bahan bakar. Selain itu, atomisasi bahan bakar yang di injeksikan menjadi lebih baik karena tekanan injektor yang lebih tinggi seiring bertambahnya beban mesin menjadikan pembakaran yang terjadi lebih baik.

Dapat disimpulkan pula bahwa efisiensi termal tertinggi dihasilkan oleh B0 pada penyimpanan minggu ke-0, sedangkan efisiensi termal terendah dihasilkan oleh B0 pada penyimpanan minggu ke-12. Efisiensi termal B0 di minggu ke-0 penyimpanan pada beban minimal sebesar 6,31% dan pada beban maksimal

24,56%. Namun, di minggu ke-12 penyimpanan, rata-rata efisiensi termal yang dihasilkan menurun dengan persentase 10,9% dibandingkan pada minggu ke-0. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya laju aliran bahan bakar. Dari Tabel 4.2 terlihat bahwa terjadi penurunan nilai kalor bahan bakar seiring penyimpanan, hal tersebutlah yang menyebabkan peningkatan kebutuhan bahan bakar [16].

4.5.2 Specific Fuel Consumption (SFC)



Gambar 4. 21 Grafik SFC B0

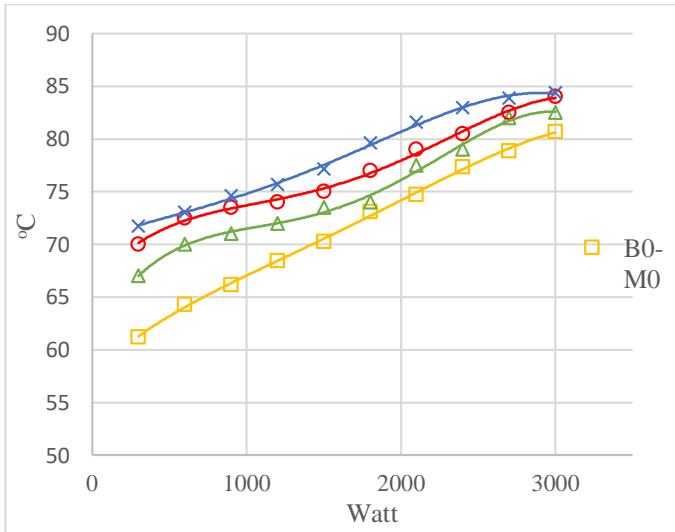
Dari Gambar 4.21, dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Brake Specific Fuel Consumption* yang dihasilkan oleh *engine* terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. BSFC adalah jumlah bahan bakar dalam gram yang digunakan untuk menghasilkan 1 watt daya pada waktu 1 jam.

Trendline dari masing-masing grafik hampir serupa. Terlihat bahwa semakin bertambahnya beban yang diberikan pada mesin akan memberikan nilai BSFC yang cenderung lebih rendah. Penurunan BSFC disebabkan efisiensi termal yang meningkat

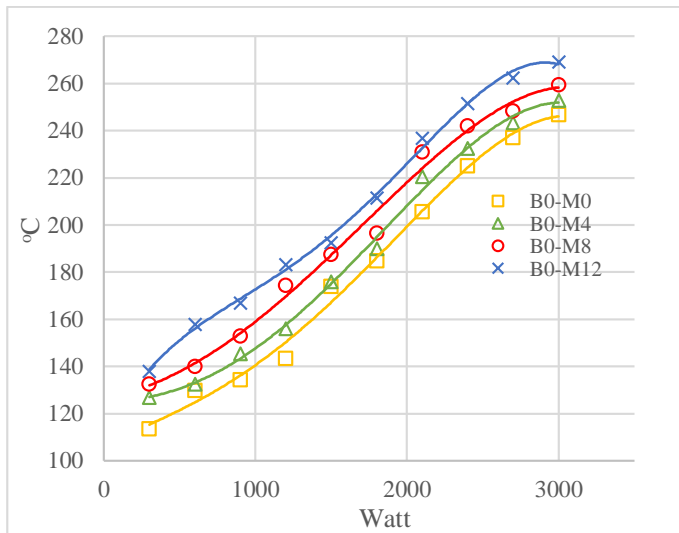
seiring bertambahnya beban. Oleh karena itu, proses pembakaran yang terjadi pada beban tinggi akan menghasilkan daya yang lebih tinggi, sehingga SFC menurun.

Dapat disimpulkan pula bahwa BSFC terendah dihasilkan oleh B0 pada penyimpanan minggu ke-0, sedangkan BSFC tertinggi dihasilkan oleh B0 pada penyimpanan minggu ke-12. BSFC B100 di minggu ke-0 penyimpanan pada beban minimal sebesar 1,33 g/Wh dan pada beban maksimal 0,34 g/Wh. Namun, di minggu ke-12 penyimpanan, rata-rata BSFC yang dihasilkan meningkat dengan persentase 13,79% dibandingkan pada minggu ke-0. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya laju aliran bahan bakar. Dari Tabel 4.2 terlihat bahwa terjadi penurunan nilai kalor bahan bakar seiring penyimpanan, hal tersebutlah yang menyebabkan peningkatan kebutuhan bahan bakar [16].

4.5.3 Temperatur *Engine* dan *Exhaust Gas*



Gambar 4. 22 Grafik Temperatur Engine B0



Gambar 4. 23 Grafik Temperatur Exhaust B0

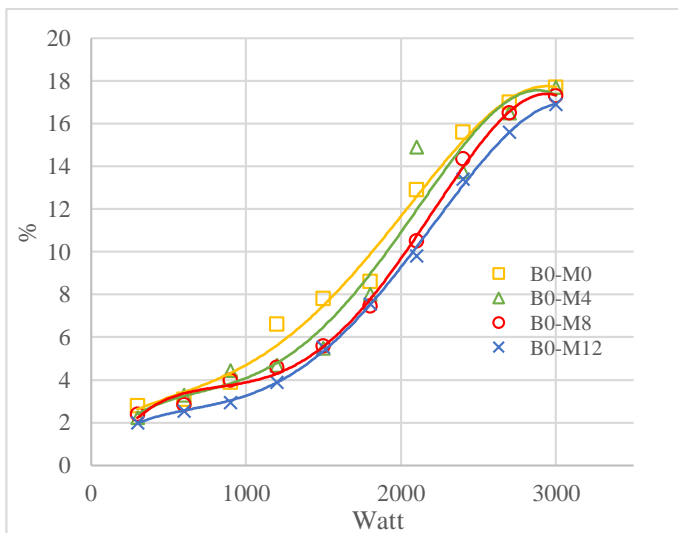
Dari Gambar 4.22 dan Gambar 4.23 dapat dilihat grafik yang menunjukkan temperatur yang didapatkan pada mesin dan gas buang terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. Temperatur *engine* merupakan hasil pembacaan *thermocouple* yang diinstalasi pada blok silinder *engine*, sementara temperature *exhaust gas* merupakan pembacaan pada knalpot.

Terlihat bahwa grafik suhu mesin dan suhu gas buang memiliki trend yang hampir sama untuk semua bahan bakar, yaitu meningkat seiring pertambahan beban. Hal ini terjadi karena pada beban yang lebih tinggi, mesin akan membutuhkan *supply* bahan bakar yang lebih banyak untuk memenuhi permintaan beban mesin. Semakin banyak jumlah bahan bakar yang dibakar, maka pembakaran yang terjadi juga akan menghasilkan panas yang lebih banyak.

Dapat disimpulkan pula bahwa suhu mesin maupun suhu gas buang terendah dihasilkan oleh B20 pada penyimpanan minggu ke-0, sedangkan yang tertinggi dihasilkan oleh B0 pada penyimpanan minggu ke-12. Suhu mesin B0 di minggu ke-0 penyimpanan pada

beban minimal sebesar $61,2^{\circ}\text{C}$ dan pada beban maksimal $80,7^{\circ}\text{C}$. Sedangkan suhu gas buang B0 di minggu ke-0 penyimpanan pada beban minimal sebesar $113,55^{\circ}\text{C}$ dan pada beban maksimal $246,85^{\circ}\text{C}$. Namun, di minggu ke-12 penyimpanan, rata-rata suhu mesin dan suhu gas buang yang dihasilkan meningkat dengan persentase masing-masing sebesar 9,73% dan 15,35% dibandingkan pada minggu ke-0. Dari Tabel 4.2 terlihat bahwa terjadi penurunan nilai kalor bahan bakar seiring penyimpanan. Penurunan nilai kalor mengakibatkan peningkatan kebutuhan bahan bakar yang kemudian menyebabkan suhu dalam ruang bakar lebih tinggi.

4.5.4 *Smoke Opacity*



Gambar 4. 24 Grafik Persentase Smoke B0

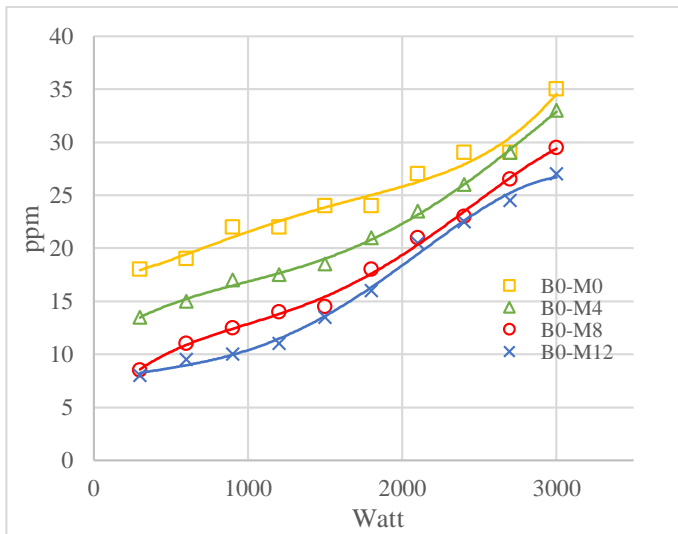
Dari Gambar 4.24 dapat dilihat grafik yang menunjukkan *smoke opacity* yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. *Smoke Opacity* adalah tingkat ketebalan asap yang dihasilkan oleh *engine*. Asap ini adalah bentuk padatan atau butiran

kabon yang tercampur kedalam *exhaust gas* dan merupakan hasil dari proses pembakaran yang tidak sempurna.

Dari grafik dapat disimpulkan bahwa, trendline dari semua jenis bahan bakar hampir sama, yaitu cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban. Fenomena ini dapat terjadi karena ketika beban mesin dinaikkan, maka jumlah bahan bakar yang disemprotkan ke dalam ruang bakar pun akan semakin banyak. Pada saat penyemprotan bahan bakar, terdapat kemungkinan butir-butir bahan bakar tersebut mengumpul menjadi satu membentuk deposit berupa padatan karbon yang kemudian keluar melalui knalpot sebagai asap.

Dapat disimpulkan pula bahwa emisi *smoke* tertinggi dihasilkan oleh B0 pada penyimpanan minggu ke-0, sedangkan yang terendah dihasilkan oleh B0 pada penyimpanan minggu ke-12. *Smoke opacity* B0 di minggu ke-0 penyimpanan pada beban minimal sebesar 2,8% dan pada beban maksimal 17,7%. Namun, di minggu ke-12 penyimpanan, rata-rata emisi *smoke* yang dihasilkan menurun dengan persentase 16,46% dibandingkan pada minggu ke-0. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya kandungan oksigen dalam bahan bakar pada bahan bakar terdegradasi. Kandungan oksigen dalam bahan bakar dapat membantu terjadinya pembakaran yang lebih sempurna [17].

4.5.5 Unburnt Hydrocarbon (UHC)



Gambar 4. 25 Grafik UHC B0

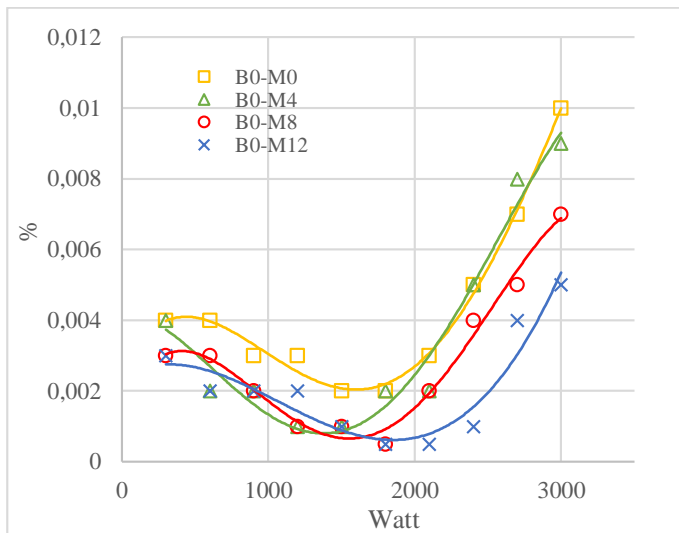
Dari Gambar 4.25 dapat dilihat grafik yang menunjukkan kadar *Unburnt Hydrocarbom* dalam ppm yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. *Unburnt Hydrocarbon* adalah gas yang terbentuk karena pembakaran dengan yang tidak sempurna.

Terlihat bahwa nilai HC dari semua bahan bakar menunjukkan trenline yang cenderung meningkat seiring meningkatnya beban mesin. Hal ini terjadi karena dibutuhkan bahan bakar yang lebih banyak untuk memenuhi permintaan beban mesin. Namun, bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam silinder memiliki kemungkinan untuk tidak terbakar dan keluar melalui knalpot menjadi emisi UHC.

Dapat disimpulkan pula bahwa emisi UHC tertinggi dihasilkan oleh B0 pada penyimpanan minggu ke-0, sedangkan yang terendah dihasilkan oleh B0 pada penyimpanan minggu ke-12. *Unburnt Hydrocarbon* B0 di minggu ke-0 penyimpanan pada

beban minimal sebesar 18 ppm dan pada beban maksimal 35 ppm. Namun, di minggu ke-12 penyimpanan, rata-rata emisi UHC yang dihasilkan menurun dengan persentase 34,74% dibandingkan pada minggu ke-0. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya kandungan oksigen dalam bahan bakar pada bahan bakar terdegradasi. Kandungan oksigen dalam bahan bakar dapat membantu terjadinya pembakaran yang lebih sempurna [17, 19].

4.5.6 Kadar CO



Gambar 4. 26 Grafik Emisi CO B0

Dari Gambar 4.26 dapat dilihat grafik yang menunjukkan kadar CO dalam (%V) yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. CO atau karbon monoksida adalah gas yang terbentuk karena pembakaran pada AFR yang tidak tepat dan temperature *exhaust gas* yang tidak tepat.

Dari grafik, didapatkan bahwa emisi CO semua bahan bakar menurun hingga beban menengah dan kemudian meningkat kembali pada beban atas. Tingginya emisi CO pada beban rendah

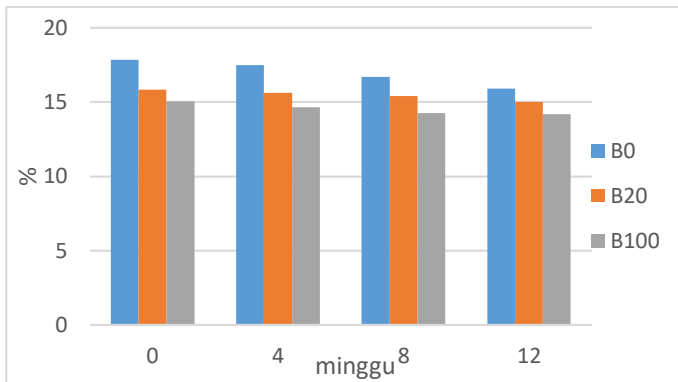
disebabkan oleh proses pencampuran bahan bakar dan udara yang buruk. Seiring meningkatnya beban, tekanan injeksi bahan bakar akan meningkat sehingga menghasilkan pencampuran bahan bakar dan udara yang lebih baik [18]. Namun pada beban atas, tampak bahwa emisi CO meningkat kembali. Hal ini disebabkan campuran yang semakin kaya pada beban atas menghasilkan sisa pembakaran berupa emisi CO yang tidak sempat untuk berinteraksi dengan udara agar menjadi CO₂ sebelum keluar melalui knalpot.

Dapat disimpulkan pula bahwa emisi CO tertinggi dihasilkan oleh B0 pada penyimpanan minggu ke-0, sedangkan yang terendah dihasilkan oleh B0 pada penyimpanan minggu ke-12. Emisi CO yang dihasilkan B0 di minggu ke-0 penyimpanan memiliki nilai minimal sebesar 0,004% dan nilai maksimal 0,01%. Namun, di minggu ke-12 penyimpanan, rata-rata emisi CO yang dihasilkan menurun dengan persentase 51,16% dibandingkan pada minggu ke-0. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya kandungan oksigen dalam bahan bakar pada bahan bakar terdegradasi. Kandungan oksigen dalam bahan bakar dapat membantu terjadinya pembakaran yang lebih sempurna [16, 17, 18].

4.6 Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang, Bahan Bakar Biodiesel (B100), B20, dan Dexlite (B0)

Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang ini, menggunakan bahan bakar Biodiesel (B100), B20, dan Dexlite (B0) dengan variasi durasi penyimpanan selama 0, 4, 8, dan 12 pekan dalam bentuk grafik. Data yang akan disajikan pada grafik merupakan rata-rata dari hasil pengujian pada mesin yang diberi beban sebesar 300 hingga 3000 watt dengan interval 300 watt.

4.6.1 Efisiensi Thermal (η_{th})



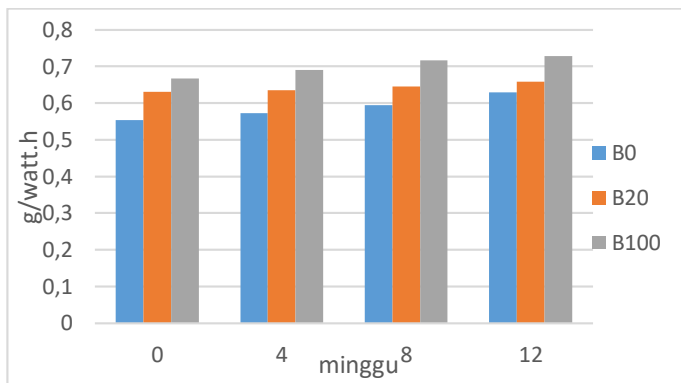
Gambar 4. 27 Grafik Efisiensi Termal

Gambar 4.27 menunjukkan grafik rata-rata *Brake Thermal Efficiency* yang dihasilkan oleh *engine* dengan bahan bakar B0, B20, dan B100 pada pengujian yang dilakukan setiap 4 minggu masa penyimpanan. Terlihat pada kondisi awal penyimpanan (minggu ke-0), B0 memiliki efisiensi termal tertinggi dengan nilai 17,84%. Sedangkan B20 lebih rendah dengan persentase 11,21% dibanding B0, dan B100 pun memiliki nilai 15,72% lebih rendah dibanding B0. Fenomena tersebut dapat terjadi karena biodiesel memiliki nilai kalor yang lebih rendah dibanding B0. Hal tersebut menyebabkan dibutuhkananya lebih banyak bahan bakar biodiesel untuk dibakar agar dapat mencapai permintaan beban mesin. Ditambah lagi, biodiesel memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan B0. Nilai densitas yang tinggi juga berpengaruh terhadap peningkatan laju aliran massa bahan bakar. Disamping itu, biodiesel memiliki viskositas yang lebih tinggi disbanding B0. Hal ini membuat atomisasi biodiesel terganggu sehingga pembakaran yang terjadi pun menjadi tidak maksimal [16].

Terlihat pula bahwa terjadi penurunan efisiensi termal pada semua jenis bahan bakar seiring penyimpanan bahan bakar. Penurunan terbesar pada efisiensi termal terjadi pada bahan bakar B0 dengan rata-rata penurunan sebesar 3,77% setiap bulan,

sedangkan rata-rata penurunan pada B20 dan B100 masing-masing hanya sebesar 1,76% dan 1,88%. Fenomena tersebut dapat terjadi disebabkan oleh penurunan nilai kalor bahan bakar seiring penyimpanan yang berakibat pada peningkatan kebutuhan bahan bakar untuk mencapai daya mesin yang diinginkan. Sesuai teori, B20 mengalami penurunan efisiensi termal terkecil karena memiliki rata-rata penurunan nilai kalor yang paling kecil pula, yaitu sebesar 0,021%. Namun, pada bahan bakar B0 terjadi penurunan efisiensi termal yang paling besar walaupun memiliki penurunan nilai kalor yang tidak lebih besar dari B100. Rata-rata penurunan nilai kalor B0 dan B100 masing-masing sebesar 0,026% dan 0,031% setiap bulan masa penyimpanan. Hal ini disebabkan oleh peningkatan viskositas yang cukup tinggi pada B0, yaitu sebesar 2,45% setiap bulan. Sedangkan rata-rata peningkatan viskositas pada B100 hanya sebesar 0,68% setiap bulan. Nilai viskositas yang tinggi dapat mempengaruhi kualitas atomisasi bahan bakar. Atomisasi bahan bakar yang buruk akan mempengaruhi pencampuran bahan bakar dan udara di dalam silinder, sehingga pembakaran yang terjadi tidak maksimal [16].

4.6.2 *Specific Fuel Consumption (SFC)*



Gambar 4. 28 Grafik SFC

Dari Gambar 4.28, dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Brake Specific Fuel Consumption* yang dihasilkan oleh *engine*

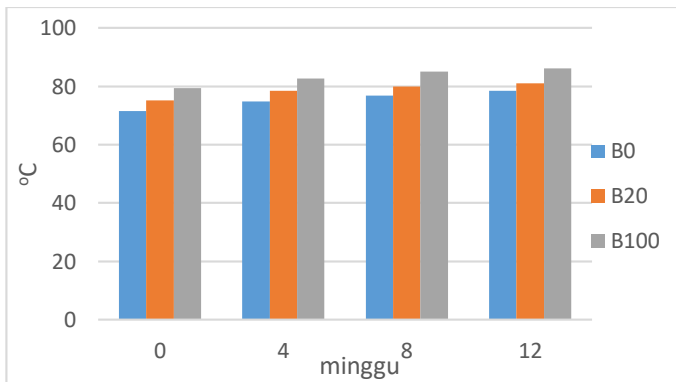
dengan bahan bakar B0, B20, dan B100 pada pengujian yang dilakukan setiap 4 minggu masa penyimpanan bahan bakar. BSFC adalah jumlah bahan bakar dalam kg yang digunakan untuk menghasilkan daya 1 watt selama 1 jam.

Terlihat bahwa pada awal penyimpanan, yaitu minggu ke-0, B0 menunjukkan nilai BSFC terendah dibandingkan B20 dan B100. Nilai BSFC B0 pada minggu ke-0 adalah 0,55 g/Wh. Sedangkan BSFC B20 dan B100 masing-masing lebih tinggi 13,95% dan 20,63% dibandingkan B0. *Brake Specific Fuel Consumption* sangat dipengaruhi oleh laju aliran massa bahan bakar. Diketahui bahwa densitas bahan bakar merupakan salah satu faktor yang berbanding lurus dengan *mass flow rate* bahan bakar, sehingga biodiesel yang memiliki densitas lebih tinggi dibanding B0 merupakan penyebab meningkatnya nilai SFC biodiesel dibandingkan B0. Kemudian, konsumsi bahan bakar juga dipengaruhi nilai kalor dan kualitas pembakaran yang terjadi. Biodiesel memiliki nilai kalor yang lebih rendah dibanding B0, hal ini lah yang menyebabkan meningkatnya konsumsi bahan bakar karena kebutuhan bahan bakar lebih tinggi pada biodiesel dibanding B0 untuk mencapai daya mesin yang sama. Biodiesel juga memiliki nilai viskositas bahan bakar yang lebih rendah dari B0 yang menyebabkan terganggunya aromisasi bahan bakar. Hal tersebut menyebabkan pembakaran yang kurang maksimal sehingga mesin akan membutuhkan lebih banyak bahan bakar untuk menghasilkan daya yang diinginkan [16].

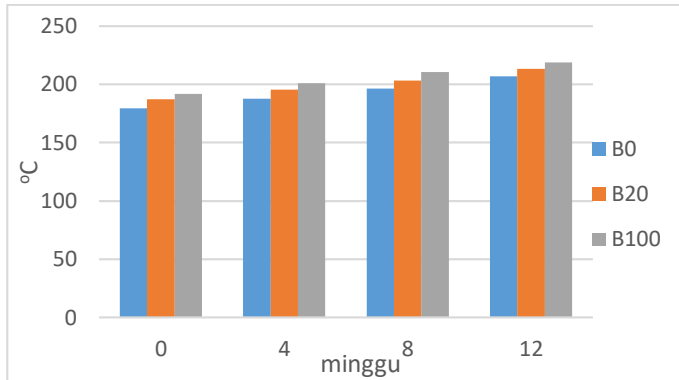
Dari Gambar 4.28 pun dapat terlihat bahwa semua jenis bahan bakar mengalami peningkatan BSFC seiring penyimpanan bahan bakar. Peningkatan BSFC terbesar terjadi pada B0, yaitu sebesar 4,41% setiap bulan. Sedangkan rata-rata peningkatan setiap bulan yang terjadi pada B20 dan B100 masing-masing sebesar 1,49% dan 2,93%. Konsumsi bahan bakar sangat dipengaruhi oleh nilai kalor dari bahan bakar. Penggunaan bahan bakar yang memiliki nilai kalor yang rendah akan berakibat pada peningkatan konsumsi bahan bakar untuk mencapai daya mesin yang diinginkan [17]. Nilai kalor B20 diketahui memiliki tingkat

penurunan yang paling rendah, yaitu dengan rata-rata sebesar 0,021% setiap bulan. Oleh karena itu, B20 mengalami perubahan BSFC yang paling rendah pula. Peningkatan nilai kalor tertinggi terjadi pada B100 dengan rata-rata sebesar 0,031% setiap bulan. Namun peningkatan BSFC tertinggi justru terjadi pada B0 walaupun nilai kalornya hanya menurun sebesar 0,026% setiap bulan. Hal ini disebabkan oleh peningkatan viskositas B0 yang cukup besar, yaitu 2,45% per bulan. Sedangkan, B100 mengalami perubahan viskositas terkecil, yaitu dengan rata-rata 0,68%. Perubahan viskositas bahan bakar mempengaruhi kualitas atomisasi bahan bakar ketika diinjeksikan ke dalam silinder. Ketika atomisasi bahan bakar terganggu akan mempengaruhi pencampuran bahan bakar dan udara sehingga pembakaran yang terjadi pun menjadi tidak maksimal.

4.6.3 Temperatur *Engine* dan *Exhaust Gas*



Gambar 4. 29 Grafik Temperatur Engine



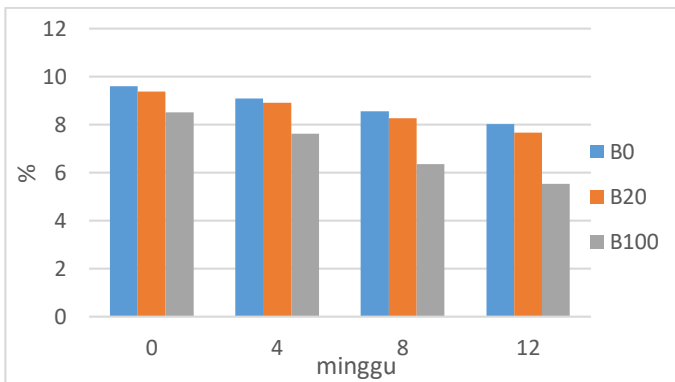
Gambar 4. 30 Grafik Temperatur Exhaust

Dari Gambar 4.29 dan Gambar 4.30 dapat dilihat grafik yang menunjukkan temperatur yang didapatkan pada mesin dan gas buang dari bahan bakar B0, B20, dan B100. Temperatur *engine* merupakan hasil pembacaan *thermocouple* yang diinstalasi pada blok silinder *engine*, sementara temperature *exhaust gas* merupakan pembacaan pada knalpot.

Terlihat bahwa pada minggu ke-0 masa penyimpanan bahan bakar, B0 menunjukkan nilai terendah pada suhu mesin maupun suhu gas buang dengan nilai masing-masing 71,51°C dan 179,52 °C. Suhu mesin B20 dan B100 masing-masing lebih tinggi 5,26% dan 11,13% dari B0. Sementara suhu gas buang B20 dan B100 masing masing lebih tinggi 4,24% dan 6,76% dibanding B0. Perbedaan suhu mesin dan gas buang antara B0, B20, dan B100 juga disebabkan oleh perbedaan efisiensi termal yang dihasilkan oleh bahan bakar tersebut. Tercatat bahwa terdapat penurunan efisiensi B100 terhadap B0 sebesar 15,72%. Sedangkan penurunan efisiensi termal pada bahan bakar B20 terhadap B0 sebesar 11,21%. Penurunan efisiensi termal yang besar mengindikasikan banyaknya energi dari bahan bakar yang terbuang salah satunya sebagai panas yang terserap oleh blok mesin dan komponen-komponen mesin lainnya.

Dari Gambar 4.29 dan Gambar 4.30 pun terlihat bahwa suhu mesin dan suhu gas buang semua jenis bahan bakar meningkat seiring penyimpanan bahan bakar. Peningkatan tertinggi pada suhu mesin maupun suhu gas buang terjadi pada B0. Rata-rata peningkatan suhu mesin dan suhu gas buang yang terjadi setiap bulan pada B0 masing-masing sebesar 3,15% dan 4,88%. Rata-rata peningkatan tiap bulan pada suhu mesin B20 dan B100 masing-masing sebesar 2,53% dan 2,76%. Sedangkan rata-rata peningkatan tiap bulan pada suhu gas buang B20 dan B100 masing-masing sebesar 4,44% dan 4,80%. Penurunan efisiensi termal pada bahan bakar yang terdegradasi menyebabkan meningkatnya *heatloss*. Hal ini disebabkan tingginya suhu di dalam silinder mesin yang disebabkan sejumlah bahan bakar yang disemprotkan ke dalam ruang bakar tidak semua terkonversi menjadi energi kinetik, melainkan ada yang hilang menjadi energi panas yang terserap mesin dan ikut keluar melalui gas buang [16]. Sesuai dengan teori, B20 memiliki peningkatan suhu mesin maupun suhu gas buang terendah karena memiliki penurunan efisiensi termal paling rendah pula. Bergitu pula pada B100 dan B0.

4.6.4 *Smoke Opacity*



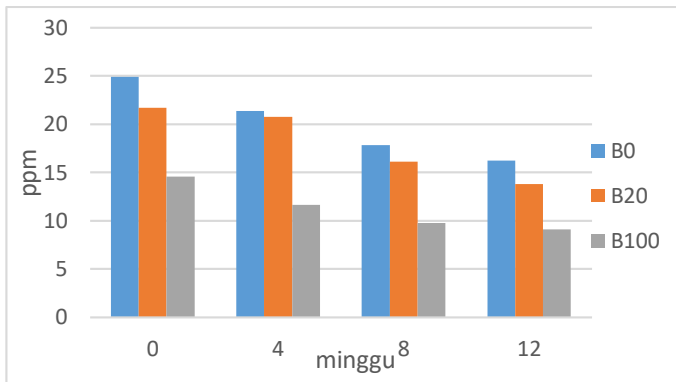
Gambar 4. 31 Grafik Persentase Smoke

Dari Gambar 4.31 dapat dilihat grafik yang menunjukkan *smoke opacity* yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. *Smoke Opacity* adalah tingkat ketebalan asap yang dihasilkan oleh *engine*. Asap ini adalah bentuk padatan atau butiran karbon yang tercampur kedalam *exhaust gas* dan merupakan hasil dari proses pembakaran yang tidak sempurna.

Terlihat bahwa pada minggu ke-0 penyimpanan, bahan bakar B0 memiliki emisi *smoke* tertinggi dengan nilai 9,6%. Sedangkan emisi *smoke* B20 dan B100 masing-masing memiliki nilai yang lebih rendah dengan persentase 2,29% dan 11,41% dibanding B0. Reduksi dari emisi *smoke* diakibatkan oleh kandungan oksigen yang lebih tinggi serta rendahnya kandungan sulfur pada biodiesel bila dibandingkan dengan bahan bakar diesel konvensional [18]. Kandungan oksigen pada bahan bakar dapat membantu terjadinya pembakaran agar lebih sempurna sehingga dapat mengurangi emisi yang tidak diinginkan dari sisa pembakaran.

Terlihat pula bahwa *trendline* dari masing-masing bahan bakar mengalami penurunan seiring waktu penyimpanan bahan bakar. B100 memiliki rata-rata penurunan yang paling besar, yaitu menurun 13,27% tiap bulan. Sedangkan rata-rata penurunan setiap bulan yang terjadi pada B20 dan B0 masing-masing sebesar 6,48% dan 5,82%. Fenomena tersebut dapat terjadi karena kandungan oksigen yang terdapat pada bahan bakar terdegradasi menyebabkan pembakaran yang terjadi menjadi lebih bersih [17]. Hal itu lah yang menyebabkan reduksi emisi *smoke* pada bahan bakar terdegradasi [19].

4.6.5 Unburnt Hydrocarbon (UHC)



Gambar 4. 32 Grafik UHC

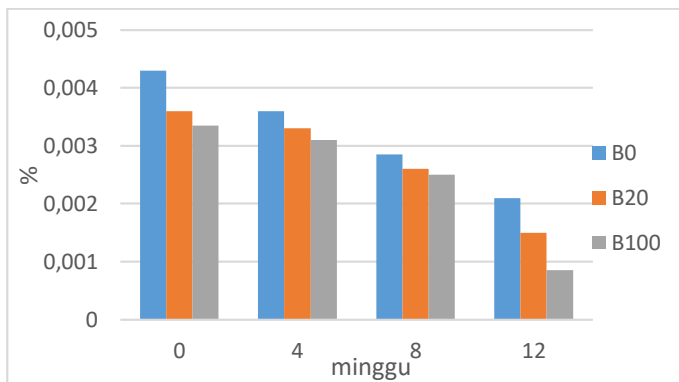
Dari Gambar 4.32 dapat dilihat grafik yang menunjukkan kadar *Unburnt Hydrocarbom* dalam ppm yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. *Unburnt Hydrocarbon* adalah gas yang terbentuk karena pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna.

Terlihat bahwa pada awal penyimpanan, yaitu pada minggu ke-0, emisi HC tertinggi dimiliki oleh B0 dengan nilai 24,9 ppm. Sementara B20 dan B100 memiliki emisi HC yang lebih rendah dibandingkan B0 dengan nilai masing-masing sebesar 12,85% dan 41,37%. Penggunaan biodiesel pada mesin diesel dapat menghasilkan pembakaran yang lebih bersih. Hal tersebut disebabkan kandungan oksigen pada biodiesel yang membantu terjadinya pembakaran dalam ruang bakar. Sehingga didapatkan pembakaran yang lebih sempurna dan emisi mesin yang lebih bersih [16, 19].

Terlihat pula bahwa *trendline* dari masing-masing bahan bakar mengalami penurunan seiring waktu penyimpanan bahan bakar. Rata-rata penurunan terbesar terjadi pada bahan bakar B100, yaitu sebesar 14,41% setiap bulan. Sedangkan penurunan yang terjadi pada B0 dan B20 masing-masing sebesar 13,2% dan 13,7% setiap bulan. Emisi HC cenderung berkurang seiring waktu

penyimpanan karena kandungan oksigen yang lebih tinggi pada bahan bakar yang terdegradasi, sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih bersih [17, 19].

4.6.6 Kadar CO



Gambar 4. 33 Grafik Emisi CO

Dari Gambar 4.33 dapat dilihat grafik yang menunjukkan kadar CO (% v) yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. CO atau karbon monoksida adalah gas yang terbentuk karena pembakaran pada AFR yang tidak tepat dan temperature *exhaust gas* yang tidak tepat.

Terlihat bahwa pada awal penyimpanan (minggu ke-0), B0 memiliki tingkat emisi CO tertinggi sebesar 0,0043%. Sedangkan emisi CO dari B20 dan B100 masing-masing memiliki nilai yang lebih rendah dengan persentase 16,28% dan 22,09% dibanding B0. Penurunan emisi CO pada B100 dan B20 dibanding B0 disebabkan oleh kandungan oksigen dalam bahan bakar biodiesel pada biodiesel yang lebih tinggi disbanding B0. Hal tersebut membantu terjadinya pembakaran yang lebih bersih sehingga dapat mengurangi emisi pembakaran yang tidak diinginkan [16, 17, 18].

Terlihat pula bahwa *trendline* dari masing-masing bahan bakar mengalami penurunan seiring waktu penyimpanan bahan bakar. Rata-rata penurunan terbesar terjadi pada bahan bakar B100, yaitu sebesar 30,94% setiap bulan. Sedangkan penurunan yang

terjadi pada B0 dan B20 masing-masing sebesar 21,14% dan 23,95% setiap bulan. Fenomena tersebut terjadi disebabkan oleh kandungan oksigen yang lebih tinggi pada bahan bakar yang terdegradasi menyebabkan proses pembakaran yang lebih bersih, sehingga mengurangi produksi emisi CO [16, 17, 18]. Di samping itu, penurunan CO disebabkan juga oleh peningkatan nilai CCI (*Calculated Cetane Index*) pada semua jenis bahan bakar seiring penyimpanan. Peningkatan CCI menyebabkan *ignition delay* saat pembakaran lebih singkat, serta mengurangi kemungkinan terbentuknya zona campuran kaya saat pembakaran [19].

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Bahan bakar yang memiliki kandungan biodiesel lebih rentan terhadap kemunculan mikroorganisme dibandingkan bahan bakar diesel konvensional murni. Pada masa *storage* 12 minggu, terjadi peningkatan jumlah mikroorganisme pada B0 sebesar 59.900%. Sedangkan pada B100 dan B20 masing-masing sebesar 149.900% dan 799.900%.
2. Penyimpanan bahan bakar menyebabkan terjadinya perubahan sifat bahan bakar. Hal ini terlihat dari meningkatnya bilangan keasaman pada semua jenis bahan bakar. Setelah 12 minggu penyimpanan, peningkatan tertinggi pada bilangan keasaman bahan bakar terjadi pada B100 yang meningkat sebesar 103,46%. Sedangkan B20 dan B0 meningkat masing-masing sebesar 100,13% dan 43,51%.
3. Perubahan sifat fisis bahan bakar juga terjadi seiring penyimpanan bahan bakar. Untuk densitas bahan bakar, rata-rata peningkatan tertinggi terjadi pada B100 yang meningkat sebesar 0,06% setiap bulan. Sedangkan pada B0 dan B20 masing-masing sebesar 0,05% dan 0,04%. Namun, peningkatan viskositas tertinggi terjadi pada B0 dengan rata-rata peningkatan per bulan sebesar 2,45%. Sedangkan peningkatan pada B20 dan B100 masing-masing sebesar 1,03% dan 0,68%.
4. Terjadi penurunan performa mesin pada semua jenis bahan bakar seiring penyimpanan. Pada awal penyimpanan efisiensi termal tertinggi dihasilkan oleh B0 dengan nilai

- rata-rata 17,84%. Sedangkan efisiensi mesin B20 dan B100 lebih rendah dengan persentase masing-masing 11,21% dan 15,72% dibandingkan B0. Kemudian, terjadi penurunan efisiensi termal yang paling besar pada B0 yang menurun dengan persentase rata-rata 3,77% setiap bulan. Sementara pada B20 dan B100 masing-masing hanya sebesar 1,76% dan 1,88% setiap bulan. Untuk BSFC, nilai terendah dimiliki oleh B0 dengan nilai rata-rata 0,55 g/Wh. Sedangkan B20 dan B100 lebih tinggi dengan persentase masing-masing 13,95 % dan 20,63 % dibandingkan B0. Peningkatan BSFC terbesar pun terjadi pada B0 dengan rata-rata 4,41% per bulan. Sementara B20 dan B100 masing-masing hanya sebesar 1,49% dan 2,93% per bulan.
5. Terjadi penurunan emisi gas buang pada semua jenis bahan bakar seiring penyimpanan. Pada awal penyimpanan B0 menghasilkan emisi *smoke*, UHC, dan CO yang tertinggi dengan nilai rata-rata masing-masing 9,6%, 24,9 ppm, dan 0,0043%. Sedangkan emisi *smoke* B20 dan B100 lebih rendah dengan persentase masing-masing 2,29% dan 11,41% dibandingkan B0. Emisi UHC B20 dan B100 lebih rendah dengan persentase masing-masing 12,85% dan 41,37% dibandingkan B0. Dan emisi CO B20 dan B100 lebih rendah dengan persentase masing-masing 16,28% dan 22,09% dibandingkan B0. Kemudian, terjadi penurunan terbesar emisi *smoke*, UHC, dan CO pada B100 yang menurun dengan persentase rata-rata masing-masing 13,27%, 14,41%, dan 30,94% setiap bulan. Sementara penurunan emisi *smoke* pada B0 dan B20 masing-masing hanya sebesar 5,82% dan 6,48% setiap bulan. Penurunan emisi UHC pada B0 dan B20 masing-masing sebesar 13,2% dan 13,7% setiap bulan. Dan penurunan emisi CO pada B0 dan B20 masing-masing hanya sebesar 21,14% dan 23,95% setiap bulan.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1 Alat peraga penelitian butuh peremajaan agar meminimalisir faktor yang dapat memengaruhi validitas hasil pengujian.
- 2 Perlunya pengadaan peralatan uji *properties* bahan bakar serta pelatihan SOP penggunaannya, mengingat dibutuhkan biaya dan usaha yang cukup besar untuk melakukan kerjasama pengujian dengan pihak ketiga.
- 3 Perlu dibuatnya SOP yang jelas dan tegas untuk teknis pengambilan sampel bahan bakar.
- 4 Perlu dilanjutkannya penelitian lebih mendalam mengenai aktivitas mikroorganisme dalam bahan bakar, dan reaksi kimia yang terjadi selama penyimpanan bahan bakar.

Daftar Pustaka

- [1]. Zakaria, H., Khalid, A., Sies, M. F., Mustaffa, N., & Manshoor, B. (2014). Effect of storage temperature and storage duration on biodiesel properties and characteristics. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 465, pp. 316-321). Trans Tech Publications.
- [2]. Khalid, A., Tamaldin, N., Jaat, M., Ali, M. F. M., Manshoor, B., & Zaman, I. (2013). Impacts of biodiesel storage duration on fuel properties and emissions. *Procedia Engineering*, 68, 225-230.
- [3]. Berrios, M., Martín, M. A., Chica, A. F., & Martín, A. (2012). Storage effect in the quality of different methyl esters and blends with diesel. *Fuel*, 91(1), 119-125.
- [4]. Silviana, S., & Buchori, L. Efek Penyimpanan Biodiesel Berdasarkan Studi Kajian Degradasi Biodiesel CPO. *Reaktor*, 15(3), 148-153.
- [5]. Jakeria, M. R., Fazal, M. A., & Haseeb, A. S. M. A. (2014). Influence of different factors on the stability of biodiesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 154-163.
- [6]. Serrano, M., Martínez, M., & Aracil, J. (2013). Long term storage stability of biodiesel: influence of feedstock, commercial additives and purification step. *Fuel processing technology*, 116, 135-141.
- [7]. Kumar, M., & Sharma, M. P. (2015). Assessment of potential of oils for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 814-823.
- [8]. Salvi, B. L., & Panwar, N. L. (2012). Biodiesel resources and production technologies—A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(6), 3680-3689.
- [9]. Pullen, J., & Saeed, K. (2012). An overview of biodiesel oxidation stability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 5924-5950.

- [10]. Schleicher, T., Werkmeister, R., Russ, W., & Meyer-Pittroff, R. (2009). Microbiological stability of biodiesel–diesel-mixtures. *Bioresource Technology*, *100*(2), 724-730.
- [11]. Dodos, G. S., Konstantakos, T., Longinos, S., & Zannikos, F. (2012). Effects of microbiological contamination in the quality of biodiesel fuels. *Global NEST Journal*, *14*(2), 175-182.
- [12]. Bücken, F., Santestevan, N. A., Roesch, L. F., Jacques, R. J. S., Peralba, M. D. C. R., de Oliveira Camargo, F. A., & Bento, F. M. (2011). Impact of biodiesel on biodeterioration of stored Brazilian diesel oil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, *65*(1), 172-178.
- [13]. Cao, J., Li, H., Xia, X., Zou, X. G., Li, J., Zhu, X. M., & Deng, Z. Y. (2015). Effect of fatty acid and tocopherol on oxidative stability of vegetable oils with limited air. *International journal of food properties*, *18*(4), 808-820.
- [14]. Sørensen, G., Pedersen, D. V., Nørgaard, A. K., Sørensen, K. B., & Nygaard, S. D. (2011). Microbial growth studies in biodiesel blends. *Bioresource technology*, *102*(8), 5259-5264.
- [15]. Shahabuddin, M., Kalam, M. A., Masjuki, H. H., Bhuiya, M. M. K., & Mofijur, M. (2012). An experimental investigation into biodiesel stability by means of oxidation and property determination. *Energy*, *44*(1), 616-622.
- [16]. Gad, M. S., El-Araby, R., Abed, K. A., El-Ibiari, N. N., El Morsi, A. K., & El-Diwani, G. I. (2018). Performance and emissions characteristics of CI engine fueled with palm oil/palm oil methyl ester blended with diesel fuel. *Egyptian Journal of Petroleum*, *27*(2), 215-219.
- [17]. Pattamaprom, C., Pakdee, W., & Ngamjaroen, S. (2012). Storage degradation of palm-derived biodiesels: Its effects on chemical properties and engine performance. *Renewable energy*, *37*(1), 412-418.
- [18]. Teoh, Y. H., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Amalina, M. A., & How, H. G. (2014). Effects of *Jatropha* biodiesel on the

performance, emissions, and combustion of a converted common-rail diesel engine. *RSC Advances*, 4(92), 50739-50751.

- [19]. Xue, J., Grift, T. E., & Hansen, A. C. (2011). Effect of biodiesel on engine performances and emissions. *Renewable and Sustainable energy reviews*, 15(2), 1098-1116.



Gilang Lukito Prabowo adalah nama lengkap dari panulis. Lahir di Surabaya pada tanggal 3 Oktober 1995, penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Setelah memulai pendidikan formal di SDN Kendangsari 1 Surabaya pada tahun 2008, penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Surabaya (2008-2011) dan SMA Negeri 5 Surabaya (2011-2014). Tidak berhenti sampai di situ, melalui seleksi bersama Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN), penulis melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada program studi S1 Teknik Mesin.

Aktif di Organisasi Siswa Intra Sekolah SMP Negeri 1 Surabaya dan SMA Negeri 5 Surabaya, penulis juga aktif di organisasi mahasiswa Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin yang bergerak di bidang pengembangan minat dan bakat otomotif. Diamanahi sebagai Ketua organisasi, penulis juga sempat berkontribusi sebagai Kepala Divisi Roda Empat pada organisasi yang sama. Di luar lingkungan kampus, penulis juga aktif sebagai Cak dan Ning Surabaya yang merupakan duta wisata kota Surabaya. Penulis dapat dihubungi di nomor ponsel +62 853 3090 1102 atau melalui *email* dengan alamat gilanglukito@gmail.com.