



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – TM184835

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PENYIMPANAN
BAHAN BAKAR B20 TERHADAP SIFAT BAHAN
BAKAR, PERFORMA DAN EMISI MESIN DIESEL 4-
LANGKAH SILINDER TUNGGAL**

FAIZAL IBRAHIM
0211144000084

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 B20 TERHADAP SIFAT BAHAN
BAKAR, PERFORMA DAN EMISI MESIN DIESEL 4-
LANGKAH SILINDER TUNGGAL**

**FAIZAL IBRAHIM
0211144000084**

**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 EFFECT OF B20 FUEL
STORAGE TIME TO FUEL PROPERTIES,
PERFORMANCE AND EXHAUST GAS EMISSION OF
4-STROKE SINGLE CYLINDER DIESEL ENGINE***

**FAIZAL IBRAHIM
0211144000084**

**ACADEMIC ADVISOR:
Dr. Ir. ATOK SETIYAWAN, M.Eng.Sc.**

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

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PENYIMPANAN
BAHAN BAKAR B20 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:

FAIZAL IBRAHIM

NRP. 0211144000084

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 Dwiyanoro, 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 B20 TERHADAP SIFAT BAHAN BAKAR, PERFORMA DAN EMISI MESIN DIESEL 4- LANGKAH SILINDER TUNGGAL

Nama : Faizal Ibrahim
NRP : 02111440000084
Departemen : Teknik Mesin
Pembimbing : Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc

ABSTRAK

B20 merupakan bahan bakar campuran 20% biodiesel dan 80% petroleum diesel. Kandungan biodiesel tersebut menyebabkan sifat higroskopis dalam bahan bakar yaitu kecenderungan untuk menyerap air dari lingkungan. Maka penyimpanan bahan bakar B20 dalam kurun waktu yang cukup lama dapat menimbulkan lapisan antara air dan B20 sehingga memicu kemunculan kontaminan mikroba dan perubahan properties fisik maupun kimia. Perubahan tersebut dapat mempengaruhi performa dan emisi mesin diesel.

Penelitian ini menggunakan bahan bakar campuran 20% biodiesel dan 80% dextrite. Media penyimpanan menggunakan tangki dengan material steel yang tetap diberi akses masuknya udara. Proses penyimpanan dilakukan dalam kurun waktu 12 minggu dengan pengambilan sampel uji pada minggu ke-0, 4, 8 dan 12. Pada setiap pengambilan sampel dilakukan 3 pengujian yang dilakukan secara paralel yaitu uji jumlah kontaminan mikroba, uji properties bahan bakar, uji performa dan emisi mesin diesel.

Melalui penelitian ini didapatkan bahwa jumlah kontaminan setelah 12 minggu penyimpanan pada B20 lebih tinggi dibandingkan B0 dengan laju peningkatan masing-masing sebesar 799.900% dan 59.900%. Kandungan air dan bilangan asam pada B20 mengalami peningkatan lebih besar dibandingkan B0 dengan laju peningkatan pada B20 masing-masing sebesar 14.03% dan

100.13% dan B0 masing-masing sebesar 10,64% dan 43,51%. Sedangkan laju peningkatan densitas dan viskositas selama 12 minggu penyimpanan pada B20 lebih kecil dibandingkan B0 dengan laju masing-masing sebesar 0,12%, 3,12% pada B20 dan 0,14%, 7,35% pada B0. Untuk laju penurunan efisiensi termal dan BSFC pada B20 lebih kecil dibandingkan B0 selama proses penyimpanan bahan bakar sedangkan untuk laju penurunan emisi CO dan UHC pada B20 lebih besar dibandingkan B0.

Kata kunci : Biodiesel, Dexlite, B20, Mikroba, Properties Bahan Bakar, Unjuk Kerja Mesin Diesel, Emisi.

EXPERIMENTAL STUDY ON EFFECT OF B20 FUEL STORAGE TIME TO FUEL PROPERTIES, PERFORMANCE AND EXHAUST GAS EMISSION OF 4-STROKE SINGLE CYLINDER DIESEL ENGINE

Name : Faizal Ibrahim
NRP : 0211144000084
Department : Mechanical Engineering
Advisor : Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc

ABSTRACT

B20 is a mixture of 20% biodiesel and 80% petroleum diesel. Biodiesel content causes the mixture more hygroscopic which is the tendency to absorb water from the environment. Then the storage of B20 fuel over a long period of time can cause a layer between water and B20 that triggers the appearance of microbial contaminants and changes in physical and chemical properties. These changes can affect the performance and emissions of diesel engines.

This research uses a mixture of 20% biodiesel and 80% dextrite. Storage media using tanks with steel material that is still given access to the entry of air. The storage process is carried out within a period of 12 weeks by taking test samples at weeks 0, 4, 8 and 12. At each sampling carried out 3 tests in parallel which is the test of the number of microbial contaminants, test fuel properties, performance and emission tests diesel engine.

Through this study it was found that the amount of contaminants after 12 weeks of storage at B20 was higher than B0 with an increase rate of 799,900% and 59,900%, respectively. The water content and acid number in B20 experienced a greater increase than B0 with an increase in of B20 is 14.03% and 100.13% and of B0 is 10.64% and 43.51%. The rate of increase in density and viscosity during 12 weeks of storage at B20 is smaller than B0 with rates of 0.12%, 3.12% at B20 and 0.14%, 7.35% at

B0, respectively. The rate of reduction on thermal efficiency and BSFC at B20 is smaller than B0 during the fuel storage process while the rate of reduction on CO and UHC emissions at B20 is greater than B0.

Keywords: Biodiesel, Dexlite, B20, Microbes, Fuel Properties, Diesel Engine Performance, Emissions.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang memberikan kasih dan sayang sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan S-1 Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Melalui tulisan ini penulis juga ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah bekerjasama dan memberikan bantuan baik materil maupun moril, antara lain:

1. **Dr. Ir. Atok Setiyawan, M. Eng. Sc** selaku dosen pembimbing yang sangat tulus bahkan harus memberikan bimbingan sampai larut malam karena aktivitas penulis yang bekerja sambil menyelesaikan tugas akhir ini.
2. **Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT, Bambang Arip D, ST, M.Eng, Ph.D, Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT** selaku dosen penguji yang telah memberikan saran maupun kritik pada penulisan tugas akhir ini.
3. **Laboratorium Hilir Migas dan Mineral STEM Akamigas Cepu terutama Bapak Dr. Ayende Hilman, S.T., M.K.K.K dan Ibu Tun Sriana, ST.,MT.,M.Sc.,Ph.D** yang telah berkenan untuk kolaborasi dan membantu dalam pengujian *properties* fisik pada tugas akhir ini.
4. **Laboratorium Mikrobiologi Departemen Biologi ITS terutama Bu Daya, Mbak Sally dan personel lab** yang telah berkenan untuk kolaborasi dan membantu dalam pengujian kontaminan mikroba pada tugas akhir ini.
5. Orang tua penulis, Ibu **Sri Hartutik** dan Bapak **M. Ali Yanto** yang telah membimbing, mendoakan dan memberikan segala hal terbaik pada penulis. Mereka

adalah motivasi utama penulis dalam mengarungi dinamika perkuliahan.

6. Adik-adik penulis, **Lucky Ismail** dan **Dewi Kartika Chandra** yang telah memberikan semangat selalu pada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
7. **Teman-teman lab PSE** khususnya A-Squad, Tim Hybrid dan Tim Dual Fuel yang telah menemani perjalanan penulis selama pengerjaan tugas akhir ini.
8. **Teman-Teman Amblazz Bengkelers 2014**, penulis ucapkan terimakasih atas cerita, pengalaman hidup dan keorganisasian yang penuh suka duka selama penulis berkuliah.
9. **Keluargaku angkatan M57** yang telah memberikan tempat kepada penulis dalam persaudaraan dan semoga tak lekang oleh waktu.
10. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, Terimakasih.

Penulis sadar bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang penulis miliki. Semoga hasil penulisan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.1.1 Penelitian oleh Leily Nurul Komariah dkk	5
2.1.2 Penelitian oleh Silviana dan Luqman Buchori.....	7
2.1.3 Penelitian oleh Eduardo Homen dkk	8
2.1.4 Penelitian oleh Abed dkk.....	9
2.2 Bahan Bakar	10
2.2.1 Bahan Bakar Diesel	10
2.2.2 Dexlite	14
2.2.3 Biodiesel.....	15

2.2.4	Bahan Bakar Campuran	16
2.2.5	Biodegradasi	19
2.3	Dasar Teori Pembakaran.....	19
2.3.1	Perhitungan Stokimetri Kebutuhan Udara	19
2.3.2	Pembakaran Non Stokimetri	20
2.4	Dasar Teori Mesin Diesel	22
2.4.1	Tahapan Pembakaran Pada Mesin Diesel	22
2.4.2	Sistem Pemasukan Bahan Bakar.....	24
2.4.3	Unjuk Kerja Mesin Diesel	27
2.4.4	Emisi Gas Buang Mesin Diesel	30
BAB III METODE PENELITIAN		33
3.1	Metode Penelitian.....	33
3.2	Penyimpanan Bahan Bakar	33
3.2.1	Skema Alat Penyimpanan	33
3.2.2	Prosedur Penyimpanan	34
3.3.3	Pengambilan sampel	34
3.3	Pengujian Kandungan Mikroba	35
3.4	Pengujian Properties Bahan Bakar	35
3.5	Pengujian Unjuk Kerja	35
3.5.1	Skema Peralatan Uji Unjuk Kerja	35
3.5.2	Peralatan Uji Unjuk Kerja.....	36
3.5.3	Alat Ukur Unjuk Kerja	38
3.5.4	Flowchart Uji Unjuk Kerja	42
3.6	Flowchart Penelitian	43

3.7 Rancangan Data Pengujian	44
BAB IV PEMBAHASAN	45
4.1 Hasil Pengamatan Bahan Bakar	45
4.1.1 Pengamatan Kandungan Mikroba	45
4.1.2 Pengamatan Kandungan Properties	48
4.2 Contoh Perhitungan Uji Unjuk Kerja Mesin	54
4.2.1 Daya	55
4.2.2 Torsi	56
4.2.3 Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)	56
4.2.4 Efisiensi Thermal (η_{th})	57
4.3 Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Pada Bahan Bakar B0 dan B20 Selama 12 Minggu Penyimpanan	58
4.3.1 Efisiensi Thermal (η_{th})	59
4.3.2 Specific Fuel Consumption (SFC)	61
4.3.3 Temperatur <i>Engine</i> dan <i>Exhaust Gas</i>	63
4.3.4 <i>Smoke Opacity</i>	65
4.3.5 Unburnt Hydrocarbon (UHC)	67
4.3.6 Kadar CO	69
4.4 Hasil dan Analisa Data Rata-Rata Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang pada Bahan Bakar B20 dan Dexlite B0 Selama Kurun Waktu Penyimpanan.	70
4.4.1 Efisiensi Thermal (η_{th})	71
4.4.2 <i>Brake Specific Fuel Consumption</i> (BSFC)	73
4.4.3 Temperatur <i>Engine</i> dan <i>Exhaust Gas</i>	74

4.4.4	<i>Smoke Opacity</i>	77
4.4.5	<i>Unburnt Hydrocarbon (UHC)</i>	78
4.4.6	Kadar CO.....	80
BAB V PENUTUP.....		83
5.1	Kesimpulan.....	83
5.2	Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA.....		85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perubahan densitas pada B20.....	5
Gambar 2.2 Perubahan Viskositas pada B20.....	6
Gambar 2.3 Perubahan Kandungan Air pada B20.....	6
Gambar 2.4 Grafik angka keasaman vs waktu.....	7
Gambar 2.5 Perubahan terhadap waktu [a] kandungan air [b] viskositas kinematik	8
Gambar 2.6 Perubahan terhadap waktu [a] densitas [b] bilangan asam	8
Gambar 2.7 Kekeruhan akibat munculnya kontaminan mikroba..	9
Gambar 2.8 Kekeruhan akibat munculnya kontaminan mikroba	10
Gambar 2.9 Mekanisme Proses Pencampuran Biodiesel dengan Minyak Solar dengan Metode <i>In-Line Blending</i>	18
Gambar 2.10 Mekanisme Proses Pencampuran Biodiesel dengan Minyak Solar dengan Metode <i>In-Tank Blending</i>	18
Gambar 2.11 Siklus kerja mesin diesel 4 langkah	22
Gambar 2.12 Tahapan pembakaran pada mesin diesel	23
Gambar 2.13 Skema kerja governor <i>mekanis-hidraulis</i>	25
Gambar 2.14 Pompa diesel.....	26
Gambar 3.1 [a] Tangki penyimpanan dengan valve [b] Skema penyimpanan dalam ruang.....	33
Gambar 3.2 Skema peralatan generator set	35
Gambar 3.3 Satu set engine diesel (Yanmar) – generator (Noqiwa)	36
Gambar 3.4 Beban lampu 3000 watt	38
Gambar 3.5 <i>Pitot Static Tube</i>	39
Gambar 3.6 Flowchart pengujian unjuk kerja mesin	42
Gambar 3.7 Flowchart Penelitian	43

Gambar 4.1 Grafik jumlah mikroba terhadap durasi penyimpanan bahan bakar	46
Gambar 4.2 Grafik Kandungan air terhadap durasi penyimpanan bahan bakar	49
Gambar 4.3 Grafik Bilangan keasaman terhadap durasi penyimpanan bahan bakar	50
Gambar 4.4 Grafik densitas terhadap durasi penyimpanan bahan bakar.....	52
Gambar 4.5 Grafik viskositas terhadap durasi penyimpanan bahan bakar.....	53
Gambar 4.6 Grafik Efisiensi Termal B0 (awal-akhir) dan B20 (awal-akhir) terhadap Beban	59
Gambar 4.7 Grafik BSFC B0 (awal-akhir) dan B20 (awal-akhir) terhadap Beban.....	61
Gambar 4.8 Grafik Temperatur Mesin B0 (awal-akhir) dan B20 (awal-akhir) terhadap Beban	63
Gambar 4.9 Grafik Temperatur Gas Buang B0 (awal-akhir) dan B20 (awal-akhir) terhadap Beban.....	63
Gambar 4.10 Grafik Prosentase Smoke B0 (awal-akhir) dan B20 (awal-akhir) terhadap Beban	65
Gambar 4.11 Grafik UHC B0 (awal-akhir) dan B20 (awal-akhir) terhadap Beban.....	67
Gambar 4.12 Grafik Emisi CO B0 (awal-akhir) dan B20 (awal-akhir) terhadap Beban	69
Gambar 4.13 Grafik Efisiensi Termal B0 (awal-akhir) dan B20 (awal-akhir) terhadap Beban	71
Gambar 4.14 Grafik BSFC bahan bakar uji terhadap durasi penyimpanan	73
Gambar 4.15 Grafik temperature mesin bahan bakar uji terhadap durasi penyimpanan.....	74

Gambar 4.16 Grafik temperature exhaust bahan bakar uji terhadap durasi penyimpanan.....	75
Gambar 4.17 Grafik kadar emisi partikulat bahan bakar uji terhadap durasi penyimpanan	77
Gambar 4.18 Grafik unburnt hydrocarbon bahan bakar uji terhadap durasi penyimpanan.....	78
Gambar 4.19 Grafik emisi CO bahan bakar uji terhadap durasi penyimpanan	80

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Dexlite (Solar 51).....	14
Tabel 2.2 <i>Certificate of analysis FAME</i>	15
Tabel 3.1 Matrik rancangan data pengujian.....	44
Tabel 4.1 Data Contoh Perhitungan.....	54

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara penghasil minyak CPO (*crude palm oil*) terbesar dunia mempunyai peluang untuk menghasilkan dan memainkan peranan penting dalam produksi bahan bakar biodiesel. Salah satu produk olahan dari biodiesel adalah B20 yang merupakan bahan bakar diesel campuran minyak nabati 20% dan minyak bumi (petroleum diesel) 80%. Seiring dengan percepatan peningkatan pemanfaatan B20 melalui program pemerintah yang diberlakukan sejak tahun 2016, muncul beberapa isu teknis dalam pemanfaatannya terutama dalam kasus penyimpanan bahan bakar tersebut.

Penggunaan biodiesel yang masih sesuai dengan spesifikasinya (baru) pada motor diesel, selama ini tidak mempunyai kendala yang berarti, meskipun terjadi sedikit penurunan unjuk kerja dari motor diesel. Namun dengan sifat biodiesel yang higroskopis dan sebagai zat yang organik, maka biodiesel yang disimpan dalam waktu yang cukup lama akan mengubah *properties* fisik, kimia dan juga memperbesar kemungkinan munculnya mikro-organisme. Munculnya mikro-organisme yang ada didalam biodiesel selama penyimpanan sudah menjadi masalah di lapangan terutama pada tangki-tangki bahan bakar biodiesel yang selama ini dioperasikan di luar Jawa dimana harus menyimpan bahan bakar dalam waktu yang cukup lama sebelum digunakan. Waktu penyimpanan B20 yang cukup lama juga diperkirakan dapat menyebabkan degradasi kualitas bahan bakar tersebut karena mengandung biodiesel di dalamnya.

Riset mengenai perubahan *properties* biodiesel selama proses penyimpanannya telah banyak dilakukan. Penelitian tentang pengaruh durasi penyimpanan terhadap perubahan *properties* pada *crude palm oil* dengan variasi kandungan CPO 5%, 10%, 15% dalam kurun waktu 10 minggu. Dalam penelitian ini *properties* yang

dianalisa antara lain adalah densitas, viskositas, bilangan asam, kandungan air dan titik nyala. Semua variasi menunjukkan angka titik nyala cenderung tetap terhadap waktu penyimpanan. Selanjutnya bilangan asam, viskositas dan juga densitas menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya waktu penyimpanan [14]

Prof. Dr. Eng. Scarpete D dkk [5] menyimpulkan dalam penelitiannya bahwa semakin meningkatnya kadar air yang terkandung dalam bahan bakar diesel menyebabkan penurunan torsi dari engine. Namun juga menurunkan kadar emisi berupa NOx. Penelitian lain dilakukan melakukan analisa dan review dari banyak jurnal menyimpulkan bahwa konsumsi bahan bakar spesifik akan meningkat seiring dengan meningkatnya densitas dan viskositas. Selain itu menurunnya nilai kalor dari biodiesel juga mengakibatkan semakin meningkatnya konsumsi bahan bakar spesifik tersebut. Kadar emisi CO, HC dan PM juga menurun seiring dengan meningkatnya kadar oksigen dalam biodiesel [19].

Berdasarkan uraian di atas, semakin lama bahan bakar B20 disimpan maka akan memberi dampak peningkatan viskositas, bilangan asam, kandungan air dan densitas. Peningkatan nilai tersebut ternyata dapat menurunkan unjuk kerja dari mesin. Penelitian yang ada sejauh ini hanya sebatas menguraikan dampak lama penyimpanan terhadap perubahan *properties* B20 saja atau pengaruh penggunaan bahan bakar B20 terhadap unjuk kerja dan emisi mesin diesel saja. Melalui penelitian ini diharapkan mampu mendapatkan korelasi antara pengaruh lama penyimpanan B20 terhadap performa mesin diesel tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dicari pemecahannya melalui penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh waktu penyimpanan bahan bakar B20 terhadap kontaminan mikroba.
2. Menganalisis perubahan *properties* bahan bakar B20 akibat lama waktu penyimpanan.

- 3 Menganalisis pengaruh lama waktu penyimpanan bahan bakar B20 terhadap unjuk kerja dan emisi pada mesin diesel stationer.

1.3 Batasan Masalah

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

1. Pengujian menggunakan mesin diesel satu silinder empat langkah, *Natural Aspirated*, dan *Direct Injection* Yanmar TF 55 R standar.
2. Pengujian properties bahan bakar B20 meliputi bilangan asam, densitas, viskositas dan kandungan air (*water content*).
3. Pengujian kadungan mikroba meliputi jumlah koloni mikroba terkandung dengan metode TPC (*total plate counting*).
4. Penelitian ini tidak membahas jenis mikroba yang terkandung dalam bahan bakar B20.
5. Tangki penyimpanan yang digunakan adalah dengan volume 50L dengan material *steel*.
6. Penyimpanan bahan bakar B20 dilakukan di dalam ruang dengan temperature *ambient*.
7. Kurun waktu lama penyimpanan bahan bakar B20 ditetapkan selama 12 minggu dan periode pengambilan sampel pada minggu ke-0, 4, 8 dan 12.
8. Penelitian ini tidak membahas mengenai reaksi kimia yang terjadi pada proses pembakaran.

1.4 Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui pengaruh lama waktu penyimpanan bahan bakar B20 terhadap keberadaan kontaminan mikroba.

2. Mengetahui perubahan properties bahan bakar B20 selama masa penyimpanan.
3. Mengetahui pengaruh lama waktu penyimpanan bahan bakar B20 terhadap unjuk kerja dan emisi pada mesin diesel stationer.

1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan dapat menjadi masukan kepada pihak-pihak terkait baik pemerintah, pelaku usaha maupun *end user* untuk dapat mengambil sikap terkait penggunaan dan penyimpanan B20. Penelitian ini juga dapat menjadi sumbangan pemikiran untuk penelitian lebih lanjut yang lebih komprehensif.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut

- a. BAB I PENDAHULUAN
Pada bagian ini diuraikan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.
- b. BAB II TINJAUAN PUSTAKA
Pada bagian ini diuraikan landasan teori penelitian ini dan juga dipaparkan hasil-hasil dari penelitian sebelumnya.
- c. BAB III METODE PENELITIAN
Pada bagian ini akan diuraikan metode penelitian, spesifikasi peralatan yang digunakan, cara pengujian dan data yang diambil.
- d. BAB IV PEMBAHASAN
Dalam bab ini dibahas mengenai perhitungan dan analisa data yang telah didapat.
- e. BAB V PENUTUP
Bab ini memaparkan kesimpulan dan saran yang diperoleh dari hasil penelitian.

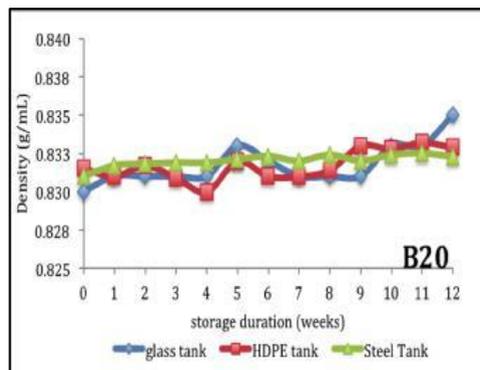
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

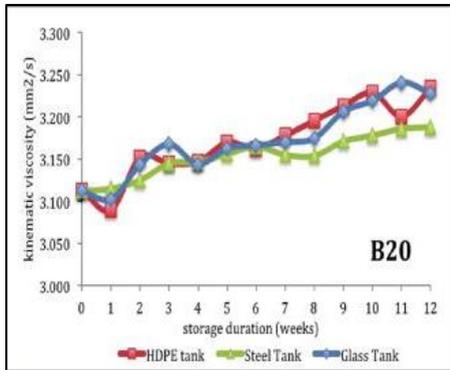
Dalam melakukan penelitian ini, dibutuhkan studi literatur dari penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dan menunjang penelitian yang akan dilakukan mengenai penyimpanan bahan bakar B20.

2.1.1 Penelitian oleh Leily Nurul Komariah dkk

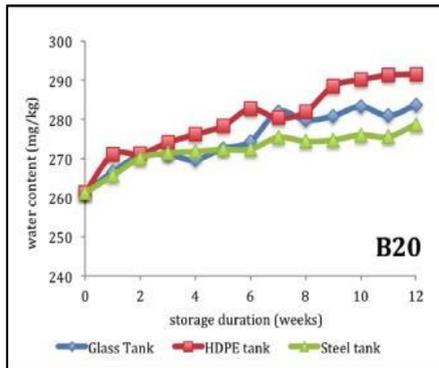
Penelitian ini mengambil waktu selama 12 minggu dimana sampel dianalisa setiap 1 minggu sekali yang menggunakan 3 jenis material tangki diantaranya kaca, HDPE, dan juga *stainless steel*. *Properties* bahan bakar yang diamati dibatasi menjadi 3 diantaranya densitas, viskositas dan kandungan air. Selain itu digunakan tiga jenis bahan bakar yang dianalisa diantaranya adalah B0, B20 dan B100.



Gambar 2.1 Perubahan densitas pada B20



Gambar 2.2 Perubahan Viskositas pada B20



Gambar 2.3 Perubahan Kandungan Air pada B20

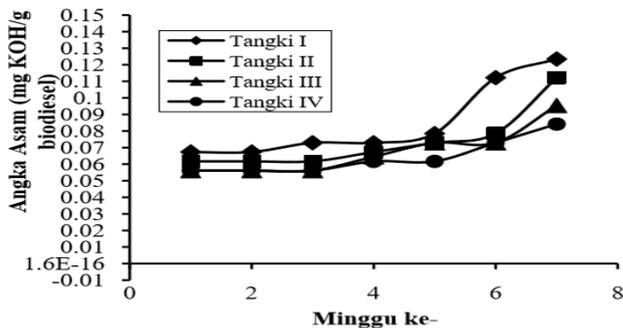
Penelitian ini memperlihatkan bahwa dalam kurun waktu penyimpanan selama 12 minggu terjadi peningkatan nilai densitas pada bahan bakar B20. Namun peningkatan tersebut tidak terlalu signifikan. Penambahan nilai densitas ini pada umumnya dikarenakan pembentukan produk-produk oksidasi yang mengakibatkan penambahan berat. Sedangkan peningkatan yang tidak terlalu signifikan diakibatkan karena temperatur udara sekitar

berkisar 22-35°C dimana oksidasi biodiesel terjadi pada temperatur yang lebih tinggi dari 40°C.

Peningkatan densitas pada umumnya berbanding lurus dengan peningkatan viskositas. Hanya saja pada penelitian ini peningkatan viskositas cenderung lebih drastis dibandingkan dengan nilai densitas. Hal ini juga terlihat pada grafik *water content* yang cenderung mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu penyimpanan. Hal ini dikarenakan sifat kandungan biodiesel yang lebih higroskopik terhadap air.

2.1.2 Penelitian oleh Silviana dan Luqman Buchori

Dalam penelitian ini penyimpanan biodiesel dilakukan selama 60 hari dan diuji setiap 1 minggu sekali dengan menggunakan material tangki PVC dan Galvanis yang divariskan menjadi 4 cara penyimpanan.



Keterangan

Tangki 1:PVC terbuka

Tangki 2:PVC tertutup

Tangki 3;Galvanis terbuka

Tangki 4;Galvanis tertutup

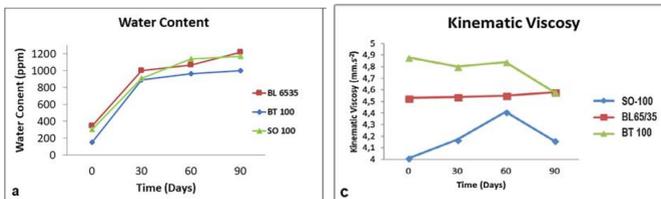
Gambar 2.4 Grafik angka keasaman vs waktu

Dari gambar 2.4 dapat disimpulkan bahwa semakin lama penyimpanan biodiesel maka akan membuat angka keasamaan

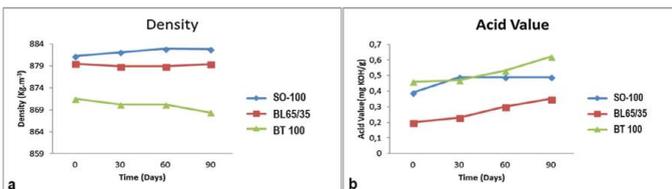
juga bertambah. Peningkatan angka keasaman mulai terlihat pada minggu ke 4 dan perubahan angka keasaman paling tinggi terjadi pada tangki 1 dari nilai keasaman 0,05-0,12 mgKOH/g yang terbuat dari PVC dengan pengondisian tangki disimpan di ruangan terbuka dan peningkatan angka keasamaan terkecil didapatkan pada tangki nomer 4 yang terbuat dari Galvanis steel dengan pengondisian tangki disimpan pada ruangan tertutup.

2.1.3 Penelitian oleh Eduardo Homen dkk

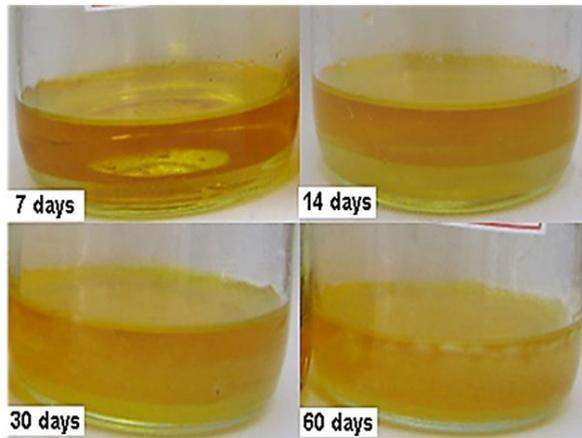
Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 3 jenis biodiesel dengan bahan berbeda. Penelitian dilakukan dengan menyimpan biodiesel tersebut selama 90 hari dalam tangki baja karbon AISI 1020. Dalam kurun waktu penyimpanan tersebut diambil sampel setiap 30 hari untuk dianalisa kandungan air, kestabilan oksidasi, densitas, viskositas kinematik dan juga bilangan asam.



Gambar 2.5 Perubahan terhadap waktu [a] kandungan air [b] viskositas kinematik



Gambar 2.6 Perubahan terhadap waktu [a] densitas [b] bilangan asam

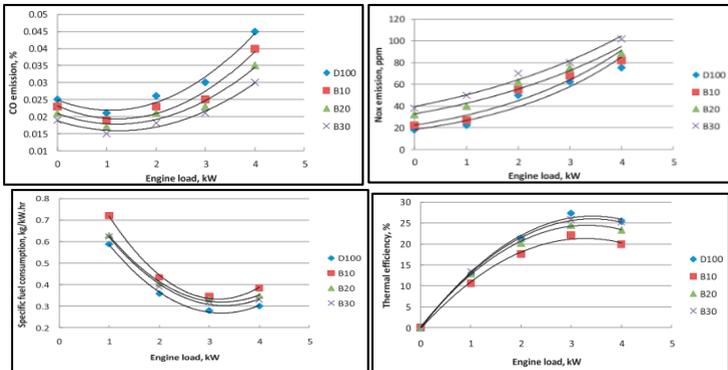


Gambar 2.7 Kekeruhan akibat munculnya kontaminan mikroba

Dari penelitian ini didapatkan bahwa kandungan air dalam biodiesel menjadi penyebab utama timbulnya pertumbuhan mikroba. Hal ini dapat dilihat dengan munculnya mikroorganisme di semua jenis biodiesel. Rentannya biodiesel terdampak kontaminasi mikroba dikarenakan beberapa faktor diantaranya komposisi dari koloni mikroba terkandung dan ketersediaan nutrient.

2.1.4 Penelitian oleh Abed dkk

Abed dkk melakukan penelitian tentang biodiesel dari limbah minyak goreng terhadap performa dan emisi gas buang mesin diesel dengan menggunakan campuran bahan bakar diesel-biodiesel (B-10, B-20, B-30, B-0)



Gambar 2.8 Kekeruhan akibat munculnya kontaminan mikroba

Dari gambar 2.8 dapat disimpulkan bahwa *Thermal efficiency* dan *Specific Fuel Consumption (SFC)* biodiesel dari limbah minyak goreng lebih tinggi daripada bahan bakar diesel, dan selanjutnya mengalami penurunan secara signifikan terhadap Carbon monoksida (CO) dan Hydrocarbon (HC). seiring meningkatnya kadar biodiesel dalam bahan bakar maka NOX dan CO₂ ikut meningkat.

2.2 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. Walaupun bahan bakar padat seperti batu bara juga dapat digunakan, tapi sebelumnya akan diproses terlebih dahulu yang nantinya menjadi wujud gas.

2.2.1 Bahan Bakar Diesel

Bahan bakar diesel atau pada umumnya juga disebut minyak diesel adalah cairan mudah terbakar yang digunakan sebagai bahan bakar untuk mesin diesel. Bahan bakar diesel diproduksi dari

berbagai sumber, yang paling umum adalah minyak bumi. Sumber lain termasuk biomassa, lemak hewan, biogas, gas alam, dan pencairan batubara. Secara umum formulasi kimia untuk bahan bakar diesel adalah $C_{12}H_{24}$ yaitu berkisar sekitar dari $C_{10}H_{20}$ hingga $C_{15}H_{28}$.

Bahan bakar diesel melepaskan lebih banyak energi pada pembakaran daripada volume bahan bakar bensin yang sama, sehingga mesin diesel umumnya menghasilkan penghematan bahan bakar yang lebih baik daripada mesin bensin. Di sisi lain, bahan bakar diesel juga menghasilkan sejumlah besar polutan udara tertentu seperti partikel sulfur dan karbon padat. Selain itu, bahan bakar diesel menghasilkan lebih banyak karbon dioksida per unit daripada bensin untuk mengimbangi beberapa manfaat efisiensi dengan emisi gas rumah kaca. Properties umum yang perlu diketahui untuk menilai kinerja bahan bakar mesin diesel yaitu :

a) *Density, Specific Gravity dan API Gravity*

Density didefinisikan sebagai perbandingan massa bahan bakar terhadap *volume* bahan bakar pada suhu acuan $15^{\circ}C$. 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:

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

Hubungan antara *specific gravity* dengan *API gravity* adalah untuk mencari nilai *API gravity* harus terlebih dahulu mengetahui besarnya *specific gravity* dari bahan yang akan kita hitung nilai *API gravity*nya.

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

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 memengaruhi 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 tidak optimal.

c) Titik Nyala

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 adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak sehingga minyak tersebut masih dapat mengalir karena gaya gravitasi. Pour point merupakan ukuran daya atau kemampuan bahan bakar pada temperatur rendah, yang berarti bahwa kendaraan dapat menyala pada temperatur rendah karena bahan bakar masih dapat mengalir. Selain itu terkait dengan proses penyimpanan dalam tangki dan pengaliran pada suatu pipa.

e) Sulphur Content

Sulphur content atau kandungan belerang dalam bahan bakar 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*

Karakteristik distilasi dari bahan bakar menunjukkan kemampuan bahan bakar berubah menjadi uap (*volatility*) pada temperatur tertentu. Nilai dari *mid boiling* atau *50% recovery* dapat digunakan untuk menghitung nilai *cetane index*.

g) *Cetane Number*

Angka cetane merupakan derajat kemampuan suatu bahan bakar untuk dapat terbakar dengan sendirinya karena tekanan dan temperatur tinggi. Angka cetane menyatakan perlambatan penyalaan (*ignition delay*) dibandingkan campuran volumetris *cetane* ($C_{16}H_{34}$) dan *α -methylnaphthalene* ($C_{10}H_7CH_3$) yang diuji pada CFR engine pada kondisi yang sama. Cetane mempunyai nilai 100 dan *α -methylnaphthalene* mempunyai nilai 0, tetapi referensi yang digunakan sekarang adalah *heptamethylnonane* yang mempunyai nilai 15. Angka cetane merupakan ukuran kemampuan penyalaan dari bahan bakar mesin diesel. Nilai cetane yang tinggi menyebabkan *ignition delay* yang pendek, sedangkan nilai cetane yang rendah menimbulkan *knocking* pada diesel. Karena keterbatasan peralatan nilai cetane bisa diperkirakan dengan menggunakan perhitungan *cetane index*. Berikut persamaan *Cetane index* :

$$CCI = 454.74 - 1641.416 D + 774.74 D^2 - 0.554 B + 97.803(\log B)^2$$

Dimana :

B = temperatur mid-boiling ($^{\circ}C$) berdasarkan metode uji D 86

D = densitas pada $15^{\circ}C$ (g/ml) berdasarkan metode uji 1298

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.

2.2.2 Dexlite

Dexlite adalah bahan bakar minyak terbaru dari Pertamina untuk kendaraan bermesin diesel di Indonesia. Dexlite diluncurkan sebagai varian baru bagi konsumen yang menginginkan BBM dengan kualitas di atas Solar biasa (bersubsidi) Cetane Number minimal 48, tetapi dengan harga yang lebih murah daripada Pertamina Dex Cetane Number minimal 53. Berikut merupakan spesifikasi dari pertamax turbo sebagai berikut. BBM varian baru Pertamina ini memiliki Cetane Number minimal 51 dan mengandung Sulfur maksimal 1200 part per million (PPM). Spesifikasi dari Dexlite (Solar 51) sebagai berikut.

Tabel 2.1 Spesifikasi Dexlite (Solar 51)

No.	Karateristik	Unit	Batasan		Metode Uji	
			Min	Max	ASTM	Lain
1	Angka Setana	-	51	-	D 613-95	
2	Indeks Setana	-	48	-	D 4737-96a	

3	Berat Jenis (Pada Suhu 15 ⁰ C)	kg/m ³	820	860	D 4052-96	
4	Viskositas (Pada Suhu 40 ⁰ C)	mm ² /s	2.0	4.5	D 445-97	
5	Kandungan FAME	% v/v	-	10		
6	Bilangan Asam Total	mg KOH/g		0.3	D 664	
7	Partikulat	mg/l		10	D 2276-99	

2.2.3 Biodiesel

Biodiesel adalah bahan bakar nabati untuk aplikasi mesin/motor diesel berupa ester metil asam lemak (*fatty acid methyl ester*, FAME) yang terbuat dari minyak nabati atau lemak hewani dan memenuhi standar mutu yang disyaratkan. Sumber utama bahan baku minyak lemak biodiesel di Indonesia adalah kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) dengan total produksi 36 juta ton per tahun (2017). Secara umum, biodiesel bersifat mudah terdegradasi (*biodegradable*), tidak mengandung senyawa aromatik dan sulfur, sehingga dipastikan emisi gas buang yang dihasilkan lebih baik dibandingkan minyak solar. Hasil penelitian (Dewan Minyak Sawit Indonesia, 2013) menunjukkan bahwa campuran biodiesel 20% (B20) memiliki emisi gas buang ±50% lebih rendah dibandingkan minyak solar. Berikut merupakan kualitas dari bahan bakar biodiesel yang diambil dari PT. Wilmar Nabati Indonesia.

Tabel 2.2 *Certificate of analysis FAME*

No	Parameter Uji	Satuan, min/maks	Hasil	Standar	Metode Uji
----	---------------	------------------	-------	---------	------------

1	Massa jenis pada 40°C	kg/m ³	857	850 - 890	ASTM D 1298 / D 4052
2	Massa jenis pada 15°C	kg/m ³	875	-	ASTM D 1298 / D 4052
3	Viskositas kinematik pada 40°C	mm ² /s	4,5	2,3 – 6,0	ASTM D 445
4	Angka setana	min	58	51	ASTM D 613 / D 6890
5	Titik nyala (mangkok tertutup)	°C, min	140	100	ASTM D 93
6	Air dan sedimen	%-vol, maks	< 0,05	0,05	ASTM D 2709
7	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,3	0,5	AOCS Cd 3d-63 atau ASTM D 664

Biodiesel menjadi sangat menarik karena dapat diperbarui, bersumber dari bio-based material dan mengandung oksigen sehingga berpotensi mengurangi emisi partikel pada pembakaran.

2.2.4 Bahan Bakar Campuran

Biodiesel memiliki sifat fisika yang mirip dengan minyak solar sehingga memudahkan proses pencampuran. Bahan bakar

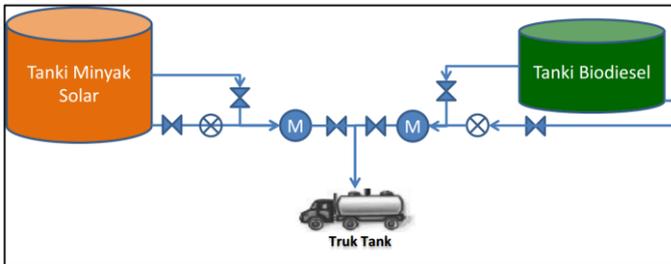
campuran biodiesel dinotasikan dengan B-XX dimana 'XX' menunjukkan besarnya persentase biodiesel yang ditambahkan dalam minyak solar. Pencampuran bio-diesel dengan minyak solar biasanya diberikan sistem penamaan tersendiri, seperti B2, B3 atau B5 yang berarti campuran bio-diesel dan minyak solar yang masing-masing mengandung 2%, 3%, dan 5% biodiesel. Sedangkan B20 atau B100 merupakan campuran bio-diesel dan minyak solar yang masing-masing mengandung 20% dan 100% bio-diesel. Pada umumnya konsentrasi tertinggi yang sudah dioperasikan secara komersial adalah B20.

Bahan bakar campuran biodiesel diproduksi dengan cara pencampuran atau blending. Proses pencampuran ini umumnya berlangsung di terminal bahan bakar minyak (TBBM) atau dilakukan sendiri oleh pihak pengguna di fasilitas yang tersedia. Pada umumnya, pencampuran biodiesel dengan minyak solar tidak sulit. Sifat biodiesel sedikit lebih berat dan kental daripada minyak solar, oleh karena itu semakin sering dilakukan pengadukan, maka semakin homogen campuran yang didapatkan.

Ada dua macam metode pencampuran yang banyak dilakukan di Indonesia yaitu sebagai berikut :

a. Metode *in-line blending*

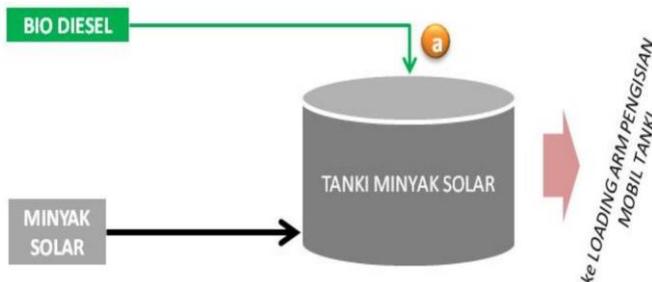
Metode ini dilakukan dengan menambahkan biodiesel ke dalam aliran minyak solar di dalam pipa atau selang penyaluran. Pencampuran terjadi pada saat pergerakan turbulensi minyak solar dan biodiesel di dalam pipa yang digunakan untuk mengalirkan bahan bakar ke dalam suatu tangki. Metode ini umumnya dilakukan di Depo atau *blending point* yang mempunyai tanki biodiesel dan minyak solar.



Gambar 2.9 Mekanisme Proses Pencampuran Biodiesel dengan Minyak Solar dengan Metode *In-Line Blending*.

b. Metode *in-tank blending*

Metode ini dilakukan dengan cara memasukkan biodiesel pada bagian atas tangki yang telah berisi minyak solar. Prinsip pencampuran ini adalah memanfaatkan perbedaan densitas dari Biodiesel dan minyak solar. Biodiesel memiliki densitas yang lebih besar sehingga pada saat dituangkan di atas minyak solar, biodiesel bergerak ke bawah sehingga terjadi pencampuran. Keuntungan dari metode ini adalah sistem operasinya yang mudah dan tidak memerlukan tambahan fasilitas pada infrastruktur yang sudah ada. Akan tetapi, tingkat homogenitas campuran yang dihasilkan tidak sebaik metode *in-line blending*. Pada umumnya, metode *in-tank blending* digunakan untuk lokasi dimana tempat *loading* biodiesel dan *loading* minyak solar terpisah.



Gambar 2.10 Mekanisme Proses Pencampuran Biodiesel dengan Minyak Solar dengan Metode *In-Tank Blending*.

2.2.5 Biodegradasi

Kontaminasi mikrobiologikal seperti *aerobic fungus* (jamur), bakteri, dan *yeast* dapat timbul akibat tingginya kadar air di dalam Biodiesel. *Anaerobic colonies*, yang biasanya mereduksi sulfur, dapat aktif di dalam sedimen pada permukaan tangki dan menyebabkan korosi. Untuk mencegah adanya kontaminasi mikrobiologis di dalam biodiesel yang akan disimpan cukup lama (katakanlah lebih dari sebulan), dapat ditambahkan bahan aditif (*biocides*) yang biasa digunakan untuk solar.

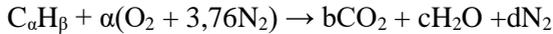
2.3 Dasar Teori Pembakaran

Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas dan cahaya. Bahan bakar akan terbakar sempurna hanya jika ada pasokan oksigen (O_2) yang cukup. Jumlah oksigen mencapai 20,9% dari udara, dan sebanyak hampir 79% merupakan nitrogen (N_2) dan sisanya adalah elemen lain. Nitrogen sendiri mempunyai fungsi sebagai pengencer yang menurunkan suhu yang harus ada untuk mencapai oksigen yang dibutuhkan dalam pembakaran. Nitrogen mengurangi efisiensi pembakaran dengan cara menyerap panas dari pembakaran bahan bakar dan mengencerkan gas buang. Nitrogen dapat bergabung dengan oksigen terutama pada suhu nyala yang tinggi untuk menghasilkan oksida nitrogen yang merupakan pencemar udara yang beracun. Pada kondisi tertentu, karbon juga dapat bergabung dengan oksigen membentuk karbon monoksida, dengan melepaskan sejumlah kecil panas (2,430 kkal/kg karbon). Karbon terbakar yang membentuk CO_2 akan menghasilkan lebih banyak panas per satuan bahan bakar daripada bila menghasilkan CO atau asap.

2.3.1 Perhitungan Stokiometri Kebutuhan Udara

Jika ketersediaan oksigen untuk reaksi oksidasi mencukupi, maka bahan bakar hidrokarbon akan dioksidasi secara menyeluruh, yaitu karbon dioksidasi menjadi karbon dioksida (CO_2) dan hidrogen dioksidasi menjadi uap air (H_2O). Pembakaran yang

demikian disebut sebagai pembakaran stoikiometri dan selengkapnya persamaan reaksi kimia untuk pembakaran stoikiometri dari suatu bahan bakar hidrokarbon ($C_\alpha H_\beta$) dengan udara dituliskan sebagai berikut :

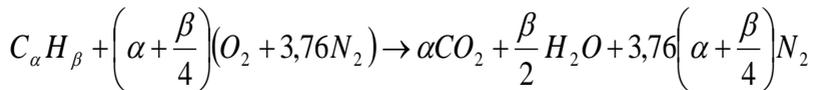


Kesetimbangan C : $\alpha = b$ Kesetimbangan H : $\beta = 2c \rightarrow c = \beta / 2$

Kesetimbangan O : $2a = 2b + c \rightarrow a = b + c/2 \rightarrow a = \alpha + \beta / 4$

Kesetimbangan N : $2(3,76)a = 2d \rightarrow d = 3,76a \rightarrow d = 3,76(\alpha + \beta / 4)$

Substitusi dari persamaan kesetimbangan di atas ke dalam persamaan reaksi pembakaran $C_\alpha H_\beta$ menghasilkan persamaan sebagai berikut :



Sehingga didapatkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendapatkan pembakaran stoikiometri adalah :

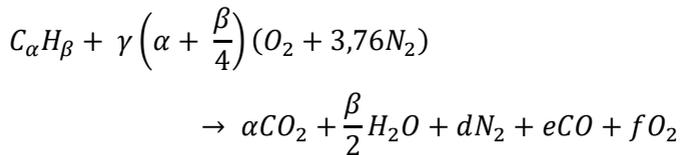
$$m_{O_2} = \frac{m_{\text{atom } O_2}}{m_{\text{mol } C_\alpha H_\beta}} \times \text{persentase } C_\alpha H_\beta \text{ (kg/kg bahan bakar)}$$

Stokiometri massa berdasarkan rasio udara dan bahan bakar sendiri untuk bahan bakar hidrokarbon didapatkan :

$$\left(\frac{A}{F} \right)_s = \frac{m_{\text{air}}}{m_{\text{fuel}}} = \frac{\left(\sum n_i \bar{M}_i \right)_{\text{air}}}{\left(\sum n_i \bar{M}_i \right)_{\text{fuel}}} = \frac{\left(\alpha + \frac{\beta}{4} \right) \bar{M}_{O_2} + 3,76 \left(\alpha + \frac{\beta}{4} \right) \bar{M}_{N_2}}{\alpha \bar{M}_C + \beta \bar{M}_H}$$

2.3.2 Pembakaran Non Stoikiometri

Dalam aplikasinya, mekanisme pembakaran dituntut dapat berlangsung secara cepat sehingga sistem-sistem pembakaran dirancang dengan kondisi udara berlebih. Hal ini dimaksudkan untuk mengantisipasi kekurangan udara akibat tidak sempurnanya proses pencampuran antara udara dan bahan bakar. Pembakaran yang demikian disebut sebagai pembakaran non stoikiometri dan selengkapnya persamaan reaksi kimia untuk pembakaran non stoikiometri dari suatu bahan bakar hidrokarbon ($C_\alpha H_\beta$) dengan udara dituliskan sebagai berikut:



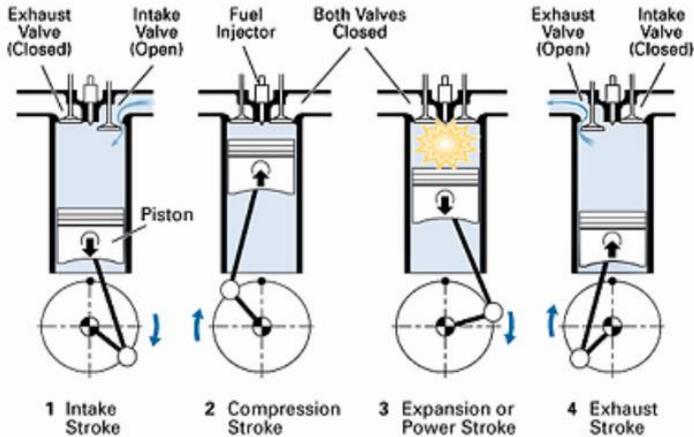
- a. Pembakaran dengan komposisi campuran stoikiometri
Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum dengan kehilangan panas yang minimum. Hasil pembakaran berupa CO_2 , uap air, dan N_2 .
- b. Pembakaran dengan komposisi campuran miskin
Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum tetapi diikuti dengan bertambahnya kehilangan panas karena udara berlebih. Hasil pembakaran berupa CO_2 , uap air, O_2 dan N_2 .
- c. Pembakaran dengan komposisi campuran kaya
Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang kurang maksimum karena ada bahan bakar yang belum terbakar. Hasil pembakaran berupa HC, CO, CO_2 , H_2O , dan N_2 . Sedangkan fraksi karbon terbentuk dari reaksi sekunder antara CO dan H_2O .

Rasio udara-bahan bakar ideal untuk pembakaran dalam ruang bakar CI *engine* berada pada kisaran $18 \leq AFR \leq 70$.

2.4 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.

Adapun mesin yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin diesel 4 langkah satu silinder tunggal. Adapun langkah kerja dapat dilihat pada gambar berikut ini.

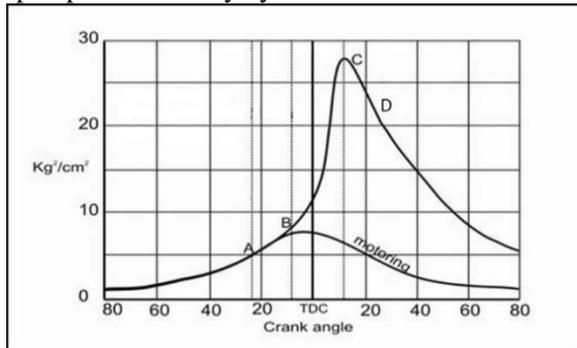


Gambar 2.11 Siklus kerja mesin diesel 4 langkah

2.4.1 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 2.12 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.

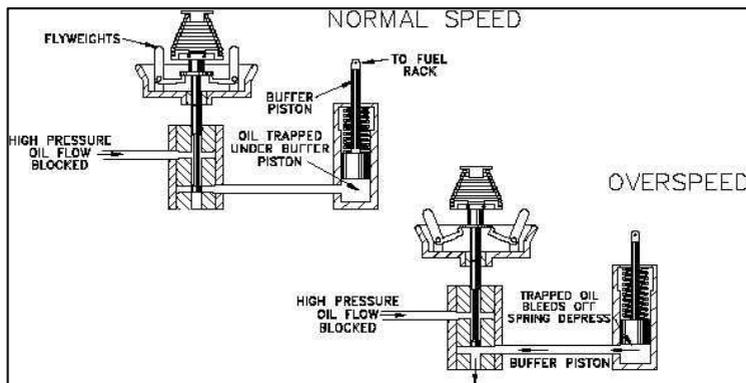
d. Tahap keempat

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*.

2.4.2 Sistem Pemasukan Bahan Bakar

Pada mesin diesel pengaturan jumlah bahan bakar dilakukan oleh *governor*. Sistem pengendalian dengan *governor* digunakan

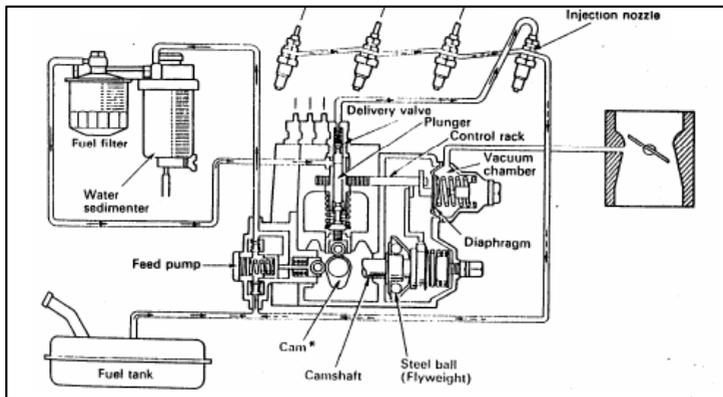
baik pada mesin stasioner maupun mesin otomotif seperti pada mobil dan traktor. Pada mesin modern seperti saat ini mekanisme *governor* umumnya menggunakan mekanisme mekanis-hidrolik (*woodward governor*), walaupun terdapat juga versi *governor* elektrik. Gambar 2.15 menunjukkan cara kerja *governor* yang menggunakan mekanisme mekanis-hidrolik dalam pengendalian putaran mesin yang berlebihan pada mesin diesel. Dalam hal ini, *governor* mengendalikan posisi tuas pengontrol bahan bakar yang dikombinasikan dengan aksi dari *piston* hidrolik dan gerakan bandul berputar. Posisi dari bandul ditentukan oleh kecepatan putaran dari mesin, jika putaran mesin naik atau turun maka bandul berputar mekar atau menguncup. Gerakan dari bandul ini, karena perubahan putaran mesin, akan menggerakkan *piston* kecil (*pilot valve*) pada sistem hidroliknya. Gerakan ini mengatur aliran cairan hidrolik ke *piston* hidrolik (*piston motor servo*). *Piston motor servo* dihubungkan dengan tuas pengatur bahan bakar (*fuel rack*) dan gerakannya akan menyebabkan penambahan atau pengurangan jatah bahan bakar yang di-supply.



Gambar 2.13 Skema kerja governor mekanis-hidrolik

Ada empat tipe pengendalian mesin menggunakan *governor*:

- Pertama, jika hanya satu kecepatan yang dikontrol maka digunakan tipe *governor* kecepatan tetap atau *constant-speed type governor*.
- Kedua, jika putaran mesin dapat dikendalikan beberapa tingkat secara manual melalui pengaturan dengan alat bantu, maka disebut tipe *governor* kecepatan variabel atau *variable-speed type governor*.
- Tipe ketiga ini adalah pengontrolan agar putaran mesin dapat dipertahankan di atas batas minimum atau di bawah batas maksimum, dan disebut *governor* pembatas kecepatan atau *speed limiting type governor*.
- Tipe pengontrolan keempat adalah tipe *governor* yang digunakan untuk membatasi beban mesin, dan disebut tipe *governor* pembatas beban atau *load-limiting type governor*.



Gambar 2.14 Pompa diesel

Pada sistem pemasukan bahan bakar, *engine* diesel menggunakan pompa untuk memasukkan bahan bakar ke ruang bakar *engine*. Bahan bakar yang berada pada *Fuel tank* dihisap menggunakan *feed pump*, lalu pompa mendorong bahan bakar ke *delivery valve* melalui *fuel filter* dan *water sedimenter*. Pada *delivery valve*, *plunger* akan bergerak membuka menutup (keatas

dan kebawah) bergantung kepada mekanisme *cam* timing injeksi. Saat *plunger* didorong *cam*, *valve* membuka lalu mendorong ke *injector* untuk disemprotkan ke ruang bakar.

2.4.3 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 (N_e). Hubungan tersebut dinyatakan dengan rumus:

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

Dimana :

- N_e : Daya mesin (W)
- V : Tegangan listrik (Volt)
- I : Arus listrik (Ampere)
- η_{gen} : Effisiensi mekanisme generator (0,9)
- η_{trmsm} : Effisiensi 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:

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

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 (b_{mep})

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 :

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

Dimana:

- Ne : 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 bhp (HP) maka pemakaian bahan bakar perjam m_{bb} adalah :

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

Sedangkan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah :

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

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.

2.4.4 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 dan hidro-karbon (HC) langsung dibuang ke udara bebas dan mempertahankan bentuknya seperti pada saat pembuangan. Polutan sekunder seperti ozon (O₃) 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, ester dan lain-lain. 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 (NO_x)

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.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental. Dalam proses penyimpanan bahan bakar B20 melalui 3 tahap yang dilakukan secara paralel yaitu pengujian jumlah koloni mikroba terkandung di Laboratorium Mikrobiologi Departemen Biologi ITS, analisa properties dilakukan di Laboratorium PEM Akamigas Cepu, dan pengujian unjuk kerja yang dilakukan pada mesin diesel yanmar TF55R sebagai alat uji dengan poros utama yang telah terkopel langsung dengan *electrical generator* sebagai *electrical dynamometer* di Laboratorium Pembakaran dan Sistem Energi Departemen Teknik Mesin ITS.

3.2 Penyimpanan Bahan Bakar

Pada tahap penyimpanan dilaksanakan secara bertahap meliputi rancang bangun tangki penyimpanan produk B20 dan B0 dengan kapasitas masing-masing 50 liter, analisa awal produk bahan bakar dan studi laju degradasi pada tahap penyimpanan produk. Proses penyimpanan dilakukan di dalam ruangan dengan temperature *ambient*. Peralatan utama adalah tangki penyimpanan produk yang dilengkapi dengan tempat pengambilan sampel.

3.2.1 Skema Alat Penyimpanan



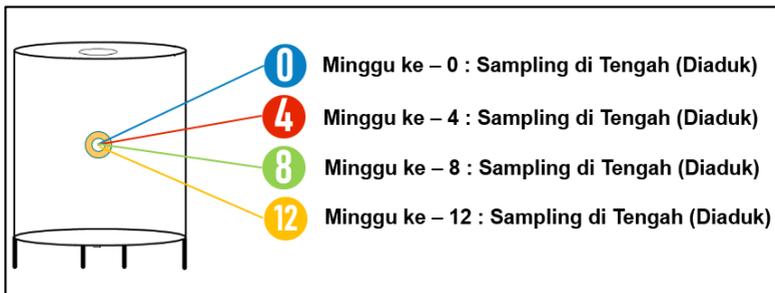
Gambar 3.1 [a] Tangki penyimpanan [b] Skema penyimpanan dalam ruang

3.2.2 Prosedur Penyimpanan

Adapun tahapan dalam prosedur penyimpanan adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat-alat penyimpanan yang digunakan.
2. Membersihkan tangki bahan bakar.
3. Masukkan bahan bakar campuran Dexlite-Biodiesel (B20) ke dalam tangki.
4. Menempatkan posisi tangki pada ruangan dengan temperatur ambient.
5. Bahan bakar disimpan selama 12 minggu.

3.3.3 Pengambilan sampel



Gambar 3.2 Cara pengambilan sampel uji

Adapun tahapan dalam prosedur pengambilan sampel uji adalah sebagai berikut :

1. Pengambilan sampel uji (B0 dan B20) dilakukan pada minggu ke-0, 4, 8 dan 12.
2. Sebelum pengambilan sampel uji, dilakukan pengadukan bahan bakar ± 1 menit untuk memastikan sampel uji yang diambil telah homogen.
3. Mengambil sampel uji pada tengah tangki dengan volume sebagai berikut:

- Untuk uji kontaminan mikroba : 100mL per sampel uji.
- Untuk uji properties : 1 L per sampel uji.
- Untuk uji unjuk kerja mesin : 1,5 L per sampel uji.

3.3 Pengujian Kandungan Mikroba

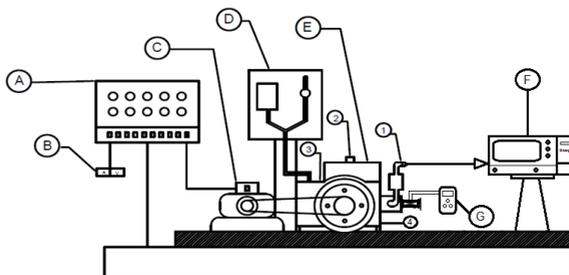
Pengujian ini menggunakan metode TPC (*total plate count*). Hal yang akan diamati berupa jumlah koloni bakteri dalam kandungan sampel koloni yang dapat dihitung menggunakan *colony counter*. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi departemen Biologi ITS Surabaya.

3.4 Pengujian Properties Bahan Bakar

Pengujian properties bahan bakar yang terdiri dari : densitas (ASTM D4052), viskositas (ASTM D445), *water content* (ASTM D6304) dan bilangan asam (ASTM D974) dilakukan di Laboratorium Hilir Migas dan Mineral PEM Akamigas Cepu dengan alat yang telah terkalibrasi.

3.5 Pengujian Unjuk Kerja

3.5.1 Skema Peralatan Uji Unjuk Kerja



Gambar 3.2 Skema peralatan generator set

Keterangan :

A. Lampu Pembebanan

1. Suhu Gas Buang

- B. Avometer
 - C. Generator
 - D. Pipet ukur
 - E. Radiator
 - F. Gas Analyzer
 - G. Manometer Digital
- 2. Suhu Radiator
 - 3. Suhu Engine
 - 4. Suhu Oli

3.5.2 Peralatan Uji Unjuk Kerja

Alat uji yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:



Gambar 3.3 Satu set engine diesel (Yanmar) – generator (Noqiwa)

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

- Diameter x panjang langkah : 75 x 80 (mm)
- Volume silinder : 353 (cc)
- Daya kontinu : 4,5/2200 (hp/rpm)
- Daya maksimum : 5,5/2200 (hp/rpm)
- Perbandingan kompresi : 17,9 : 1
- Pompa bahan bakar : Tipe Bosch
- Tekanan injektor : 200 kg/cm²
- Sistem pelumasan : pelumas paksa
- Kapasitas minyak pelumas : 1,8 liter
- Kapasitas tangki bahan bakar : 7,1 liter
- Jenis minyak pelumas : SAE 40 kelas CC/CD
- Sistem pendingin : Radiator

Dimensi mesin

- Panjang : 607,5 (mm)
- Lebar : 311,5 (mm)
- Tinggi : 469,0 (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.



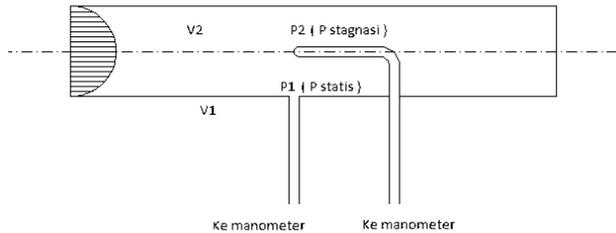
Gambar 3.4 Beban lampu 3000 watt

Beban lampu terdiri atas lampu pijar sebanyak 10 buah dengan konsumsi daya masing-masing lampu sebesar 200 Watt. Lampu-lampu tersebut disusun secara paralel dengan masing-masing lampu dilengkapi dengan tombol stop/kontak untuk pengaturan beban bahan bakar B20 yang akan diuji.

3.5.3 Alat Ukur Unjuk Kerja

Adapun alat ukur yang digunakan dalam pengambilan data percobaan adalah sebagai berikut:

1. Pipet volumetrik
Alat ini digunakan untuk mengukur jumlah bahan bakar B20 yang dikonsumsi oleh mesin diesel.
2. Stopwatch
Alat ini digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan mesin diesel untuk mengkonsumsi bahan bakar B20.
3. *Pitot static tube* dan *Pressure Manometer Digital*
Alat ini dipergunakan untuk mengukur jumlah udara pembakaran mesin diesel.



Gambar 3.5 Pitot Static Tube

Pitot tube with static wall pressure tap dihubungkan dengan *pressure manometer* untuk mengetahui besarnya perbedaan tekanan yang terjadi antara tekanan stagnansi dan statis. Lalu digunakan persamaan *Bernoulli* sebagai berikut :

$$\frac{P_0}{\rho} + \frac{V_0^2}{2} + gz_0 = \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1$$

Dimana :

P_0 : Tekanan stagnasi (pada titik 0) (Pa)

P_1 : Tekanan statis (pada titik 1) (Pa)

ρ : Massa jenis fluida yang mengalir (kg/m^3)

V_1 : Kecepatan di titik 1 (m/s)

V_0 : Kecepatan di titik 0, kecepatan pada titik *stagnasi*
= 0 m/s

Dengan mengasumsikan $\Delta_z = 0$ maka persamaan menjadi :

$$\frac{V_1^2}{2} = \frac{P_0 - P_1}{\rho}$$

Untuk mencari kecepatan udara yang masuk kedalam ruang bakar dari persamaan diatas menjadi:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2(P_0 - P_1)}{\rho_{udara}}}$$

Dimana :

$P_0 - P_1$ = Didapatkan dari pembacaan *Pressure Manometer Digital*

namun V_1 merupakan kecepatan maksimal, terlihat dari profil kecepatan aliran pada *internal flow*. Hal ini dikarenakan posisi pitot berada pada *centerline* pipa. Sehingga perlu dirubah menjadi *average velocity* (\bar{V}) yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{\bar{V}}{V_{max}} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)}$$

Dimana:

\bar{V} : Kecepatan rata – rata (m/s)

V_{max} : Kecepatan maksimal dari profil kecepatan aliran.

n : *variation of power law exponent*.

Yang di rumuskan sebagai berikut:

$$n = -1,7 + 1,8 \log Re_{V_{max}}$$

untuk $Re_{V_{max}} > 2 \times 10^4$ (aliran turbulen).

Sedangkan untuk aliran laminar dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

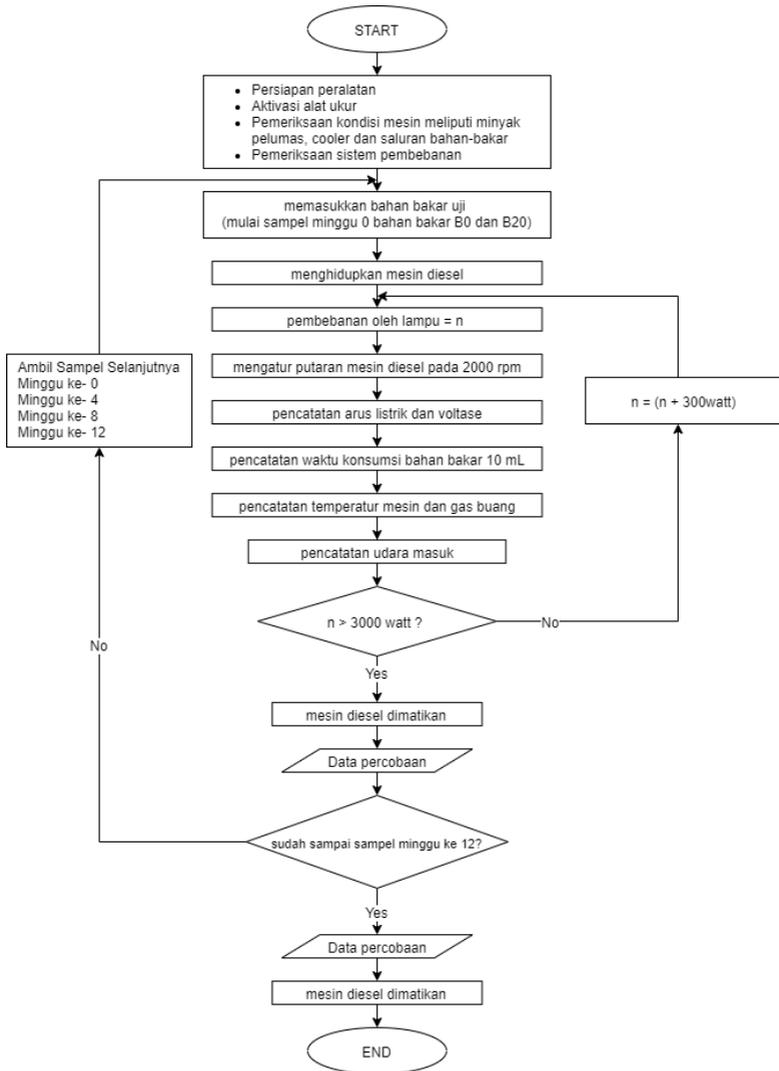
$$V_{max} = 2\bar{V}$$

4. Amperemeter dan Voltmeter

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

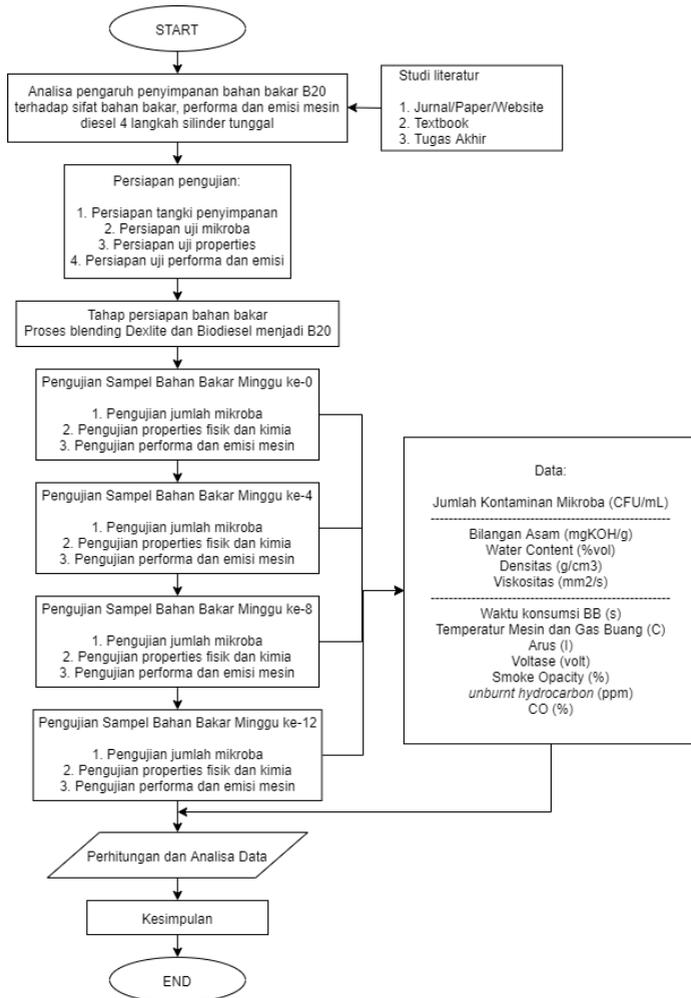
5. Tachometer digital
Alat ini digunakan untuk mengukur putaran *engine*.
6. Gas Analyzer
Alat ini digunakan untuk mengetahui kadar gas emisi yang dihasilkan oleh Mesin Diesel. Gas Analyzer yang digunakan adalah STAR GAS 898.
7. Thermocouple, Thermo Selector dan Display
Thermocouple terpasang langsung pada *engine* sebagai sensor thermal, lalu pembacaan tempraturenya ditampilkan melalui *thermo selector* dan *display*.

3.5.4 Flowchart Uji Unjuk Kerja



Gambar 3.6 Flowchart pengujian unjuk kerja mesin

3.6 Flowchart Penelitian



Gambar 3.7 Flowchart Penelitian

3.7 Rancangan Data Pengujian

Berikut merupakan matrik rancangan pengujian :

Tabel 3.1 Matrik rancangan data pengujian

Konstan	Parameter Input				Parameter Output	
	Parameter Berubah				Diukur	Dihitung
	Waktu Minggu ke-	Uji Mikroba	Uji Properties	Beban (Watt)		
<ul style="list-style-type: none"> Putaran mesin Diesel 2000 rpm 	0	Sampel 1	Sampel 1	<ul style="list-style-type: none"> 300 600 900 1200 1500 1800 2100 2400 2700 3000 	<ul style="list-style-type: none"> Waktu Konsumsi bahan bakar (s) Temperatur diesel (oli, mesin, pendingin, gas buang) °C Arus (I) Tegangan (V) Smoke Opacity (%) Kadar UHC (ppm) Kadar CO (%Vol) 	<ul style="list-style-type: none"> Daya Sfc η_{th}
	4	Sampel 2	Sampel 2			
	8	Sampel 3	Sampel 3			
	12	Sampel 4	Sampel 4			

BAB IV PEMBAHASAN

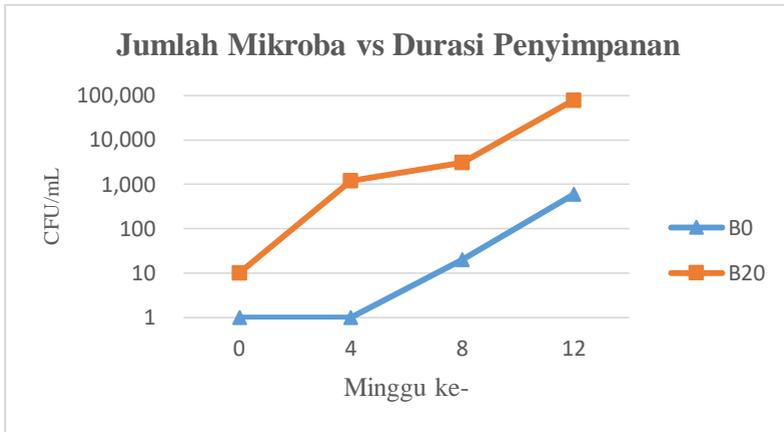
Pada bab ini membahas tentang hasil dari penelitian yang meliputi pengamatan, perhitungan dan analisa. Adapun pengamatan yang dilakukan adalah terhadap kandungan mikroba, sifat fisis dan kimia dari bahan bakar B20 dan B0 selama kurun waktu penyimpanan yaitu pada minggu ke-0, 4, 8 dan 12. Perhitungan yang dilakukan adalah terhadap unjuk kerja mesin berupa daya, torsi, bsfc dan efisiensi termal. Selanjutnya akan dilakukan analisa terkait pengaruh keberadaan mikroba yang akan mempengaruhi *properties* bahan bakar dan juga unjuk kerja mesin. Adapun untuk data penelitian hanya data-data tertentu saja yang ditampilkan dalam bab ini yaitu data yang digunakan sebagai contoh perhitungan unjuk kerja. Sedangkan data hasil penelitian dan pengamatan dapat dilihat pada lampiran.

4.1 Hasil Pengamatan Bahan Bakar

Proses pengamatan bahan bakar meliputi pengamatan terhadap kandungan mikroba yang dianalisa mulai dari awal sampai akhir penyimpanan bahan bakar dengan interval setiap 4 minggu. Pengamatan tersebut dilakukan bersamaan terhadap *properties* bahan bakar yang meliputi water content, angka keasaman, densitas dan viskositas.

4.1.1 Pengamatan Kandungan Mikroba

Dari proses penyimpanan bahan bakar selama 12 minggu dan dilakukan penghitungan jumlah mikroba (cfu/ml) di laboratorium maka dapat diamati perkembangan jumlah kontaminan mikroba seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik jumlah mikroba terhadap durasi penyimpanan bahan bakar

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium tersebut menunjukkan bahwa secara umum kedua jenis bahan bakar tersebut mengalami peningkatan kontaminasi mikroba seiring dengan makin lamanya disimpan. Pada awal penyimpanan dapat dilihat bahwa tidak terdapat kontaminasi mikroba yang terdeteksi pada bahan bakar B0 sedangkan pada B20 sudah terlihat kontaminasi mikroba sejumlah 10 CFU/mL. Terdapat hal yang menarik pada pengujian minggu keempat dimana untuk bahan bakar B0 masih tidak terdeteksi adanya kontaminan mikroba yang terkandung di dalamnya namun pada B20 justru mengalami peningkatan jumlah kontaminan mikroba yang sangat signifikan sebesar 11.900% dari minggu awal. Selanjutnya kedua jenis bahan bakar mengalami peningkatan jumlah kontaminan mikroba sampai pada minggu ke-12. Hingga minggu ke-12 terlihat bahwa jumlah kontaminan mikroba pada B20 lebih banyak dibandingkan B0 dengan perbedaan mencapai 13,2%. Secara umum selama 12 minggu penyimpanan bahan bakar B20 mengalami peningkatan jumlah kontaminan mikroba yang lebih besar yaitu sebesar

799.900% jika dibandingkan dengan B0 yang hanya sebesar 59.900% dari kondisi awal.

Biodiesel sendiri bersifat higroskopis yang cenderung lebih menyerap air dibanding minyak solar [18]. Dengan metode penyimpanan yang memungkinkan adanya udara masuk ke dalam tangki menyebabkan kandungan air dalam bahan bakar cenderung meningkat seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2. Dengan adanya kandungan air dalam bahan bakar menyebabkan terbentuknya lapisan antara bahan bakar dan air. Kondisi tersebut merupakan media yang baik untuk mikroba dapat berkembang. Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa B0 memiliki tingkat stabilitas lebih tinggi terhadap kontaminasi bakteri dibandingkan dengan bahan bakar campuran B20. Keberadaan kandungan biodiesel dalam bahan bakar B20 menjadi pemicu sifat higroskopis pada bahan bakar B20. Hal tersebut lah yang mengakibatkan kandungan mikroba dalam B20 lebih banyak dibandingkan dengan B0. Di sisi lain, kandungan air pada kondisi awal penyimpanan B20 lebih tinggi jika dibandingkan dengan B0 sehingga menyebabkan mikroba muncul lebih cepat dan dapat segera berkembang biak. Jika menelaah dari sumber bahan bakar, biodiesel merupakan senyawa organik hasil dari distilasi CPO sehingga membawa unsur lain seperti minyak dan lemak. Kandungan tersebut merupakan sumber energi bagi mikroba sehingga tumbuh lebih cepat jika dibandingkan dengan B0 yang berasal dari minyak bumi.

Mikroba juga memiliki siklus hidup dimana terdapat 4 fase yaitu fase lag, fase log, fase stasioner dan fase kematian. Pada kasus penelitian ini dapat diamati hanya terdapat dua fase awal yang terlihat. B0 pada minggu ke 0 sampai 4 merupakan fase lag atau biasa disebut dengan fase adaptasi dimana mikroba yang terkandung baru menyesuaikan diri dengan media yang ia tempati. Selanjutnya minggu ke 4 sampai 12 sudah mulai memasuki fase log yaitu bakteri yang ada terus berkembang biak seiring dengan masih banyaknya ketersediaan nutrien dalam media bahan bakar

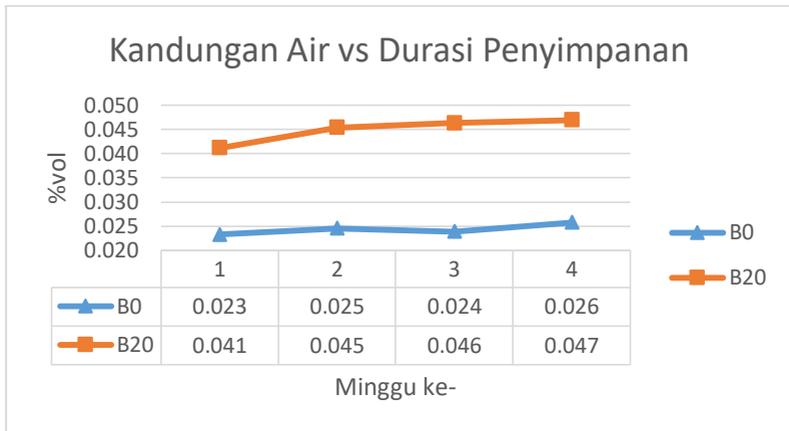
tersebut. Namun pada B20 tidak terlihat fase adaptasi dimana dari minggu awal sudah langsung terdapat kontaminan mikroba dan jumlahnya terus meningkat selama kurun waktu penyimpanan. Dari kedua jenis bahan bakar tersebut diketahui bahwa sampai minggu ke 12 ketersediaan nutrient dalam bahan bakar masih sangat melimpah sehingga mikroba dapat terus mengalami perkembangbiakan.

4.1.2 Pengamatan Kandungan Properties

Untuk mengetahui sebab dan akibat dari terjadinya pertumbuhan kontaminan mikroba dalam bahan bakar B0 dan B20 yang telah di bahas pada 4.1.1 maka dilakukan juga pengujian terhadap beberapa *properties* yang diduga berkaitan.

4.1.2.1 Kandungan Air

Kandungan air yang terdapat dalam bahan bakar diduga sebagai pemicu utama penyebab kemunculan kontaminan mikroba. Selain itu keberadaan kandungan air dalam bahan bakar juga akan berpengaruh terhadap unjuk kerja mesin. Lama penyimpanan bahan bakar dapat mempengaruhi jumlah kadar air yang terkandung dalam bahan bakar yang ditunjukkan pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Grafik Kandungan air terhadap durasi penyimpanan bahan bakar

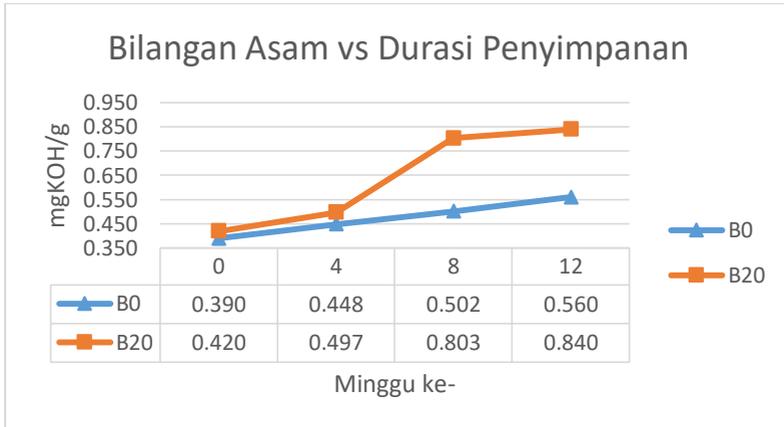
Dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan kadar air pada kedua jenis bahan bakar. Secara umum terlihat bahwa kandungan air yang terdapat pada B0 lebih rendah dibandingkan dengan B20 dengan selisih rata-rata sebesar 0.02% vol. Selanjutnya peningkatan kandungan air paling besar terjadi pada B20 sebesar 14% selama kurun waktu penyimpanan 12 minggu dibandingkan dengan B0 yang meningkat hanya sebesar 10.6%.

Kondisi penyimpanan yang aerob menyebabkan akses udara dapat dengan mudah masuk ke dalam tangki dan berinteraksi langsung dengan bahan bakar. Perbedaan jumlah air yang terkandung pada kedua jenis bahan bakar tersebut erat kaitannya dengan kecenderungan masing-masing bahan bakar dalam menyerap air yang berada pada lingkungan. Dalam B20 sendiri terdapat 20% biodiesel yang bersifat higroskopis sehingga menyebabkan bahan bakar tersebut lebih mudah menyerap air dibandingkan dengan B0 yang merupakan bahan bakar fosil. Seiring dengan waktu penyimpanan bahan bakar maka kandungan air tersebut akan mengendap pada dasar tangki karena densitas air

yang lebih besar. Pada kondisi itu akan terbentuk lapisan antara antara bahan bakar dan air dimana menjadi pemicu kemunculan mikroba.

4.1.2.2 Angka Keasaman

Bilangan keasaman dapat menjadi indikasi kelimpahan kandungan air dalam bahan bakar karena menandakan adanya proses hidrolisis yang terjadi. Dengan terdapatnya kandungan air dalam kedua jenis bahan bakar menyebabkan kemungkinan terjadinya proses hidrolisis semakin meningkat dan menghasilkan asam lemak bebas.



Gambar 4.3 Grafik Bilangan keasaman terhadap durasi penyimpanan bahan bakar

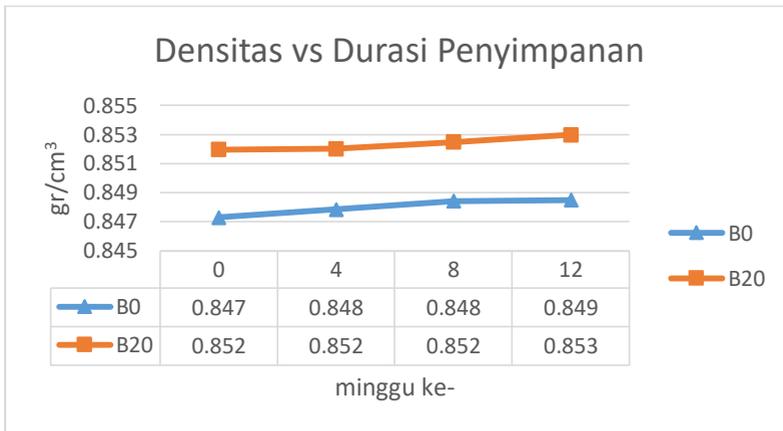
Dari pengujian laboratorium yang menguji bilangan keasaman pada setiap 4 minggu maka didapatkan data yang ditunjukkan pada gambar 4.3. Secara umum kedua jenis bahan bakar menunjukkan peningkatan bilangan keasaman. Untuk bilangan keasaman pada awal penyimpanan tidak terlalu menunjukkan perbedaan yang signifikan dimana dari kedua jenis

bahan bakar hanya memiliki selisih 0.02951 mgKOH/g dimana kandungan bilangan asam pada B20 lebih tinggi sebesar 7.56% dari B0. Angka ini terus meningkat seiring dengan durasi penyimpanan yang dilakukan hingga pada kondisi penyimpanan minggu ke 12 pada kedua jenis bahan bakar terdapat selisih bilangan keasaman yang cukup jauh hingga terpaut 50% lebih tinggi B20 terhadap B0. Bilangan asam paling tinggi pada B0 terdapat pada kondisi penyimpanan minggu ke-12 dengan nilai sebesar 0.56 mgKOH/g dan B20 juga pada minggu ke-12 dengan nilai sebesar 0.84 mgKOH/g. Sehingga untuk besarnya peningkatan bilangan asam rata-rata selama 12 minggu pada B0 dan B20 secara berurutan adalah sebesar 12.8% dan 28.2%.

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 [8]. Selanjutnya, faktor lainnya adalah reaksi *oxidative* dan *hydrolytic*. Paparan udara mendorong terjadinya *oxidative degradation* yang menghasilkan hidropersida. Hidropersida 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 [19].

4.1.2.3 Densitas

Densitas merupakan salah satu properties dari bahan bakar yang dapat mempengaruhi kualitas pembakaran dari mesin. Dalam banyak penelitian penyimpanan bahan bakar biodiesel campuran hampir selalu menganalisa tentang densitas. Maka dilakukanlah pengujian laboratorium untuk mengukur nilai densitas selama durasi penyimpanan B0 dan B20.



Gambar 4.4 Grafik densitas terhadap durasi penyimpanan bahan bakar

Gambar 4.4 menunjukkan grafik pengujian nilai densitas bahan bakar pada minggu ke-0 hingga minggu ke-12 selama masa penyimpanan. Hingga minggu ke-12, kedua jenis bahan bakar menunjukkan terjadi peningkatan nilai densitas yang tidak terlalu signifikan dari kondisi inisial. Secara umum dapat juga dilihat bahwa nilai densitas dari B20 lebih tinggi dari B0. Pada minggu ke-0 nilai densitas B0 dan B20 secara berurutan adalah sebesar 0.8473 dan 0.85197 atau dengan kata lain densitas B0 meningkat sebesar 0.5512% setelah ditambahkan 20% biodiesel. Di samping

itu peningkatan rata-rata bahan bakar B0 dan B20 selama kurun waktu penyimpanan 12 minggu secara berurutan adalah sebesar 0.14% dan 0.12%.

Peningkatan nilai densitas ini 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 dikristalisasi, sehingga menyebabkan penurunan volume dan akibatnya meningkatkan densitasnya. Secara bersamaan, massa bahan bakar meningkat pula sebagai akibat dari produk oksidasi [19].

4.1.2.4 Viskositas

Viskositas juga merupakan salah satu properties dari bahan bakar yang dapat mempengaruhi kualitas pembakaran dari mesin. Dalam banyak penelitian penyimpanan bahan bakar biodiesel campuran juga tidak lepas dari analisa tentang viskositas. Maka dilakukanlah pengujian laboratorium untuk mengukur nilai viskositas selama durasi penyimpanan B0 dan B20.



Gambar 4.5 Grafik viskositas terhadap durasi penyimpanan bahan bakar

Gambar 4.5 menunjukkan grafik pengaruh durasi penyimpanan bahan bakar terhadap viskositas. Secara umum dapat dilihat bahwa nilai viskositas B20 lebih tinggi dibandingkan dengan viskositas B0. Pada kondisi awal nilai viskositas B0 adalah sebesar $3.46816 \text{ mm}^2/\text{s}$ dan B20 adalah sebesar $3.6882 \text{ mm}^2/\text{s}$ atau memiliki perbedaan sebesar 4.92%. Di samping itu pada kedua jenis bahan bakar tersebut menunjukkan adanya peningkatan nilai viskositas selama penyimpanan 12 minggu. Secara menyeluruh terjadi peningkatan nilai viskositas pada B0 dan B20 masing-masing sebesar 7.51% dan 3.12%.

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 juga 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. Hal ini sesuai, karena B20 yang memiliki nilai kadar air dan laju peningkatan viskositas lebih rendah dibandingkan B0.

4.2 Contoh Perhitungan Uji Unjuk Kerja Mesin

Perhitungan yang dihitung di bawah ini adalah untuk bahan bakar B20 pada kondisi penyimpanan minggu ke-0. Perhitungan dilakukan pada pembebanan lampu 1200 Watt dengan data-data sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Contoh Perhitungan

Beban (watt)	RPM	Generator		Bahan Bakar		Delta Pressure (mbar)
		Arus (A)	Tegangan (V)	Volume (ml)	Waktu (s)	
2400	2000	9.2	220	10	32	0.1

4.2.1 Daya

Daya mesin adalah daya yang diberikan untuk mengatasi beban yang diberikan oleh generator. Daya yang dihasilkan mesin disambungkan dengan generator listrik dapat dihitung berdasarkan beban pada generator listrik dan dinyatakan sebagai daya efektif generator (N_e), yang mana satuannya dalam bentuk watt (W). Hubungan tersebut dinyatakan dengan persamaan dibawah ini:

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

Dimana:

V	: 220 V
I	: 9,2 A
$\cos\phi$: 1
η generator	: 0,9
η transmisi	: 0,95

maka:

$$N_e = \frac{220 \times 9,2 \times 1}{0,9 \times 0,95} \text{ Watt}$$

$$N_e = \frac{2.024}{0,855} \text{ Watt}$$

$$N_e = 2.367 \text{ Watt}$$

$$N_e = 2,367 \text{ Kilowatt}$$

Dari perhitungan didapatkan daya yang dihasilkan *engine* Diesel berbahan bakar B20 pada kondisi awal dengan pembebanan 2400 W adalah 2,367 KW.

4.2.2 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). Momen torsi dihitung dengan persamaan seperti berikut:

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

Dimana:

Ne : 2,367 KW
n : 2000 rev/min

Maka:

$$T = \frac{60000 \times 2,367}{2 \times 3,14 \times 2000} (N.m)$$

$$T = \frac{142.020}{12.560} (N.m)$$

$$T = 11,308 (N.m)$$

Dari perhitungan didapatkan Torsi yang dihasilkan *engine* Diesel berbahan bakar B20 pada kondisi awal dengan pembebanan 2400 W adalah 11,308 N.m.

4.2.3 Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)

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:

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

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

Sedangkan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah:

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

Dimana:

$$\rho_{bb} : 851,97 \text{ Kg/m}^3$$

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

$$s : 32 \text{ s}$$

$$Ne : 2,367 \text{ KW}$$

Maka:

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

$$m_{bb} = 851,97 \times 0,000010 \text{ (kg)}$$

$$m_{bb} = 0,0085197 \text{ kg}$$

$$\dot{m}_{bb} = \frac{0,0085197}{32} \text{ (kg/s)}$$

$$\dot{m}_{bb} = 0,000266 \left(\frac{kg}{s} \right)$$

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

$$sfc = 3600 \frac{0,000266}{2,367} \left(\frac{kg}{kW.jam} \right)$$

$$sfc = 0,405 \left(\frac{kg}{kW.jam} \right)$$

Dari perhitungan didapatkan *Specific Fuel Consumption* yang dihasilkan *engine* diesel dengan bahan bakar B20 pada penyimpanan minggu ke-0 dengan pembebanan 2400 W adalah 0,405 kg/kW.jam.

4.2.4 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:

$$\begin{aligned} Ne &: 2,367 \text{ KW} \\ \dot{m} \text{ bb} &: 0,000266 \text{ kg/s} \\ LHV \text{ bb} &: \text{KJ/Kg} \\ LHV \text{ bb} &: (16280 + (60 \times API)) \times 2,326 \\ API &: (141,5 / SG) - 131,5 \\ SG &: 0,85274 \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned} API &: (141,5 / 0,85274) - 131,5 \\ API &: 34,436 \\ LHV \text{ bb} &: (16280 + (60 \times 34,436)) \times 2,326 \\ LHV \text{ bb} &: 42.673,17 \text{ KJ/Kg} \end{aligned}$$

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

$$\eta_{th} = \frac{2,367}{0,000266 \times 42.673,17} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = 20,836 \%$$

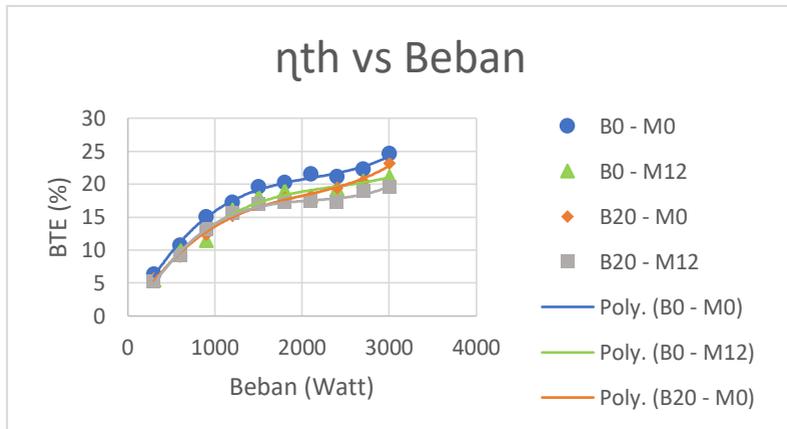
Dari perhitungan didapatkan *Efisiensi Thermal* yang dihasilkan *engine Diesel* dengan bahan bakar B20 pada penyimpanan minggu ke-0 dengan pembebanan 2400 W adalah 20,836 %.

4.3 Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Pada Bahan Bakar B0 dan B20 Selama 12 Minggu Penyimpanan

Berikut ini akan disajikan hasil pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang menggunakan bahan bakar dexlite 100% yang seterusnya akan disebut dengan B0 dan dexlite 80% + biodiesel 20% yang seterusnya akan disebut B20 selama masa penyimpanan 12 minggu. Untuk selanjutnya sampel B0 pada kondisi awal (minggu ke-0) akan disebut B0-M0, sampel B0 pada kondisi akhir

penyimpanan (minggu ke-12) akan disebut B0-M12. Sedangkan sampel B20 pada kondisi awal (minggu ke-0) akan disebut B20-M0 dan sampel B20 pada kondisi akhir penyimpanan (minggu ke-12) akan disebut B20-M12.

4.3.1 Efisiensi Thermal (η_{th})



Gambar 4.6 Grafik Efisiensi Termal B0 (awal-akhir) dan B20 (awal-akhir) terhadap Beban

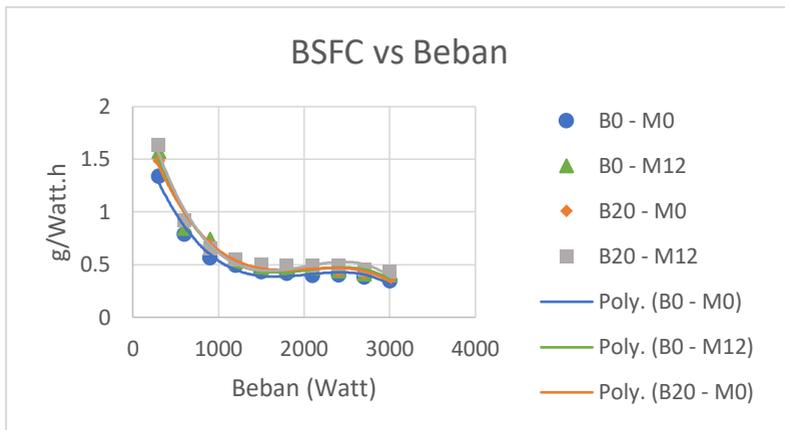
Dari Gambar 4.6 dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Brake Thermal Efficiency* yang dihasilkan oleh *engine* terhadap beban kerja yang diberikan. Efisiensi termal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh mesin pembakaran dalam. Didapatkan bahwa efisiensi termal maksimum terjadi pada beban 3000 watt dan B0-M0 merupakan jenis bahan bakar dengan nilai efisiensi termal tertinggi sebesar 24,56%. Sedangkan efisiensi termal minimum terjadi pada beban 300 watt dengan B20-M12 merupakan jenis bahan bakar dengan nilai efisiensi termal terendah sebesar 5,18%.

Kedua jenis bahan bakar menunjukkan masing-masing *trendline* grafik hampir sama, yaitu cenderung meningkat seiring bertambahnya beban yang diberikan pada mesin. Peningkatan

tersebut disebabkan oleh peningkatan temperatur pada ruang bakar akibat bahan bakar yang diinjeksikan semakin banyak. Semakin tinggi temperatur akan menyebabkan bahan bakar yang diinjeksikan semakin mudah terbakar dan terkonversi jadi daya. Selain itu, terdapat perbedaan nilai efisiensi termal pada kedua jenis bahan bakar antara kondisi awal dan akhir penyimpanan. Pada beban 300 watt didapatkan bahwa terjadi penurunan sebesar 14,76% dari penyimpanan B0 selama 12 minggu. Selanjutnya pada beban 1800 watt didapatkan bahwa terjadi penurunan sebesar 6,31%. Dan pada beban 3000 watt didapatkan bahwa terjadi penurunan sebesar 13,93%. Sedangkan untuk bahan bakar B20 juga terjadi penurunan pada beban 300 watt sebesar 9,14% selama penyimpanan 12 minggu. Pada beban 1800 watt terjadi penurunan efisiensi termal pada B20 sebesar 3,96%. Dan pada beban 3000 watt terjadi penurunan efisiensi termal sebesar 15,47%. Fenomena ini dapat terjadi karena pengaruh viskositas yang meningkat seperti yang dijelaskan pada subbab 4.1.2.3. Peningkatan viskositas akan membuat proses atomisasi bahan bakar kian memburuk dan menyebabkan proses pembakaran menjadi kurang optimal.

Terdapat hal menarik dimana pada beban 300 watt hingga 1500 watt nilai efisiensi termal B20-M0 relatif sama dibandingkan dengan B20-M12. Namun pada beban 1500 watt hingga 3000 watt terjadi penurunan efisiensi termal yang cukup besar pada B20-M12 dibandingkan dengan B20-M0. Hal tersebut menunjukkan bahwa perubahan *properties* bahan bakar cenderung mempengaruhi efisiensi termal pada beban yang relatif tinggi.

4.3.2 Specific Fuel Consumption (SFC)



Gambar 4.7 Grafik BSFC B0 (awal-akhir) dan B20 (awal-akhir) terhadap Beban

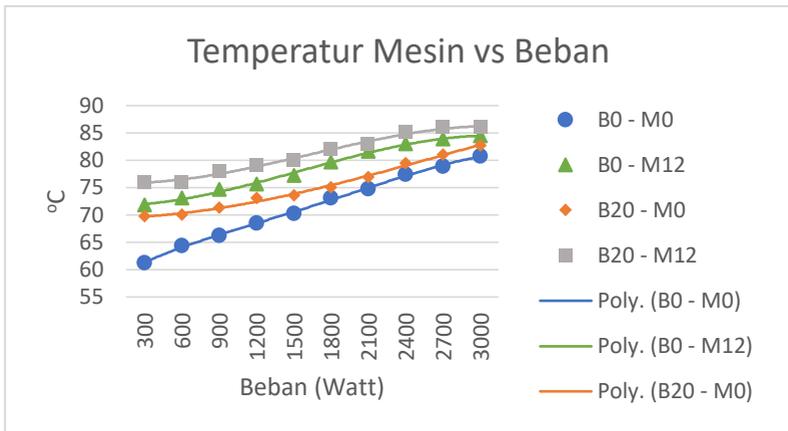
Dari Gambar 4.7 dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)* yang dihasilkan oleh *engine* terhadap beban kerja yang diberikan. Didapatkan bahwa BSFC maksimum digunakan pada beban 300 watt dan B20-M12 merupakan jenis bahan bakar dengan BSFC tertinggi sebesar 1,63 g/Watt.h. Sedangkan BSFC minimum digunakan pada beban 3000 watt dengan B0-M0 merupakan jenis bahan bakar dengan nilai BSFC terendah sebesar 0,34 g/Watt.h.

Kedua jenis bahan bakar menunjukkan masing-masing *trendline* grafik hampir sama, yaitu cenderung semakin menurun seiring bertambahnya beban yang diberikan pada mesin. Pada beban awal yaitu 300watt hingga 1500watt terjadi penurunan BSFC yang signifikan. Hal ini sesuai dengan grafik efisiensi termal yang ditunjukkan pada subbab 4.3.1 dimana dalam rentang beban tersebut kondisi pembakaran belum optimal yang juga dikarenakan oleh temperatur yang masih rendah seperti yang akan dijelaskan dalam subbab 4.3.3. Namun pada rentang beban 1500 watt hingga 3000 watt penurunan BSFC tidak terlalu signifikan. Selain itu,

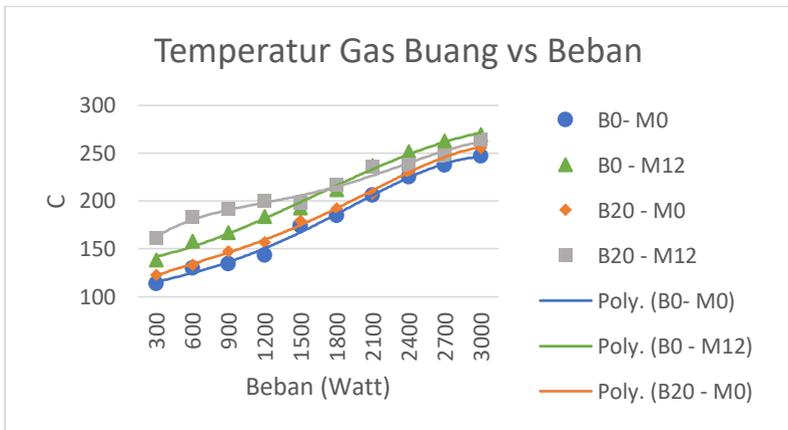
terdapat perbedaan nilai BSFC pada kedua jenis bahan bakar antara kondisi awal dan akhir penyimpanan. Pada beban 300 watt didapatkan bahwa terjadi peningkatan sebesar 17,41% dari penyimpanan B0 selama 12 minggu. Selanjutnya pada beban 1800 watt didapatkan bahwa terjadi peningkatan sebesar 6,82%. Dan pada beban 3000 watt didapatkan bahwa terjadi peningkatan sebesar 16,27%. Sedangkan untuk bahan bakar B20 juga terjadi peningkatan BSFC pada beban 300 watt sebesar 10,13% selama penyimpanan 12 minggu. Pada beban 1800 watt terjadi peningkatan BSFC pada B20 sebesar 4,19%. Dan pada beban 3000 watt terjadi peningkatan BSFC sebesar 18,38%. Fenomena peningkatan BSFC selama masa penyimpanan tersebut dapat terjadi karena pengaruh viskositas yang meningkat seperti yang dijelaskan pada subbab 4.1.2.3. Peningkatan viskositas akan membuat proses atomisasi bahan bakar kian memburuk dan menyebabkan proses pembakaran menjadi kurang optimal.

Secara umum, penggunaan B20 juga ternyata meningkatkan penggunaan BSFC pada mesin jika dibandingkan dengan B0 baik pada minggu awal ataupun akhir penyimpanan. Hal ini dikarenakan nilai *lower heating value (LHV)* dari bahan bakar B20 yang cenderung lebih rendah dibandingkan B0. Kondisi tersebut memicu suplai bahan bakar yang lebih banyak untuk menghasilkan daya yang sama pada mesin.

4.3.3 Temperatur *Engine* dan *Exhaust Gas*



Gambar 4.8 Grafik Temperatur Mesin B0 (awal-akhir) dan B20 (awal-akhir) terhadap Beban



Gambar 4.9 Grafik Temperatur Gas Buang B0 (awal-akhir) dan B20 (awal-akhir) terhadap Beban

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 mesin.

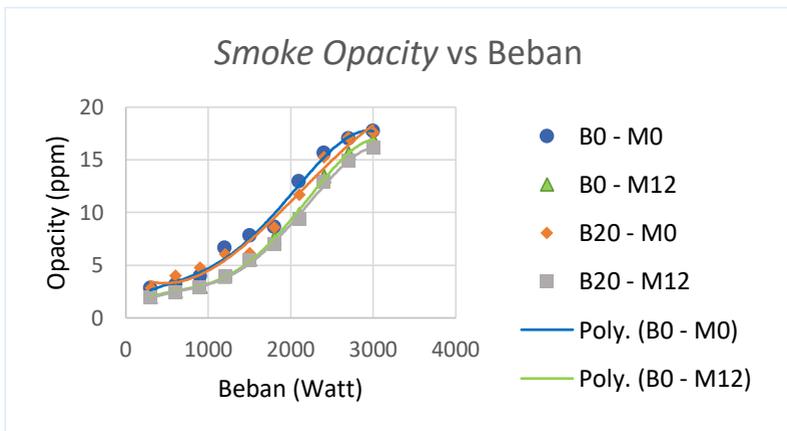
Temperatur mesin merupakan hasil pembacaan *thermocouple* yang diinstalasi pada blok silinder mesin, sementara temperature gas buang merupakan pembacaan pada knalpot. Didapatkan bahwa temperatur mesin untuk minimum terjadi pada beban 300 watt untuk B0-M0, B0-M12, B20-M0 dan B20 M12 secara berurutan dengan satuan °C adalah sebesar 61,2, 71,75, 69,75 dan 76. Sedangkan temperatur mesin maksimum terjadi pada beban 3000 watt untuk B0-M0, B0-M12, B20-M0 dan B20 M12 secara berurutan dengan satuan °C adalah sebesar 80,7, 84,4, 82,65 dan 86. Untuk temperatur gas buang minimum juga terjadi pada beban 300 watt untuk B0-M0, B0-M12, B20-M0 dan B20 M12 secara berurutan dengan satuan °C adalah sebesar 113,55, 138,1, 122,6, dan 161. Sedangkan temperatur gas buang maksimum juga terjadi pada beban 300 watt untuk B0-M0, B0-M12, B20-M0 dan B20 M12 secara berurutan dengan satuan °C adalah sebesar 246,85, 269,35, 255,05 dan 264.

Kedua jenis bahan bakar menunjukkan masing-masing *trendline* grafik baik temperatur mesin maupun gas buang yang hampir sama, yaitu cenderung semakin meningkat seiring bertambahnya beban yang diberikan pada mesin. Untuk temperatur mesin pada beban 300 watt, 1800 watt dan 3000 watt didapatkan bahwa terjadi peningkatan sebesar 17,24%, 8,89% dan 4,58% secara berurutan dari penyimpanan B0 selama 12 minggu. Dan pada bahan bakar B20 selama 12 minggu penyimpanan temperatur mesin pada beban 300 watt, 1800 watt dan 3000 watt didapatkan bahwa terjadi peningkatan sebesar 8,96%, 9,26% dan 4,05% secara berurutan.

Selanjutnya untuk temperatur gas buang pada beban 300 watt, 1800 watt dan 3000 watt didapatkan bahwa terjadi peningkatan sebesar 21,62%, 14,41% dan 9,11% secara berurutan dari penyimpanan B0 selama 12 minggu. Dan pada bahan bakar B20 selama 12 minggu penyimpanan temperatur gas buang pada beban 300 watt, 1800 watt dan 3000 watt didapatkan bahwa terjadi peningkatan sebesar 31,32%, 12,35% dan 3,51% secara berurutan. Data tersebut menunjukkan bahwa perubahan temperatur kerja mesin selama 12

minggu penyimpanan semakin tidak terlihat seiring penambahan beban kerja pada mesin. Hal ini dikarenakan pada beban puncak 3000 watt terjadi efisiensi pembakaran yang paling optimal.

4.3.4 *Smoke Opacity*



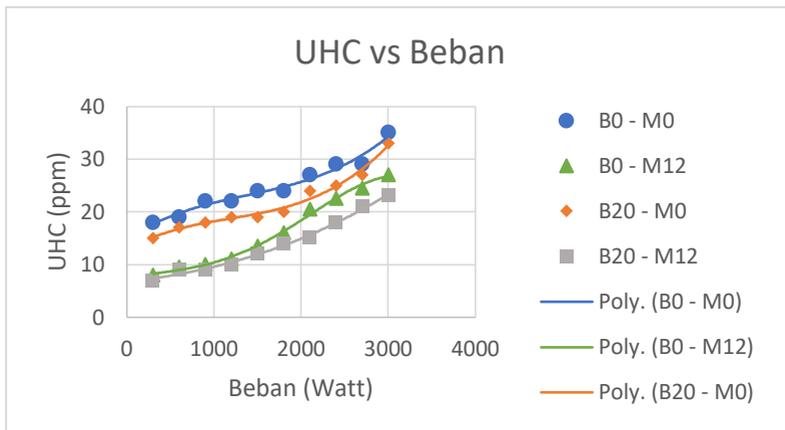
Gambar 4.10 Grafik Prosentase Smoke B0 (awal-akhir) dan B20 (awal-akhir) terhadap Beban

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 karbon yang tercampur kedalam *exhaust gas* dan merupakan hasil dari proses pembakaran yang tidak sempurna. Didapatkan bahwa kadar *smoke* minimum dihasilkan pada beban 300 watt dan B20-M12 merupakan jenis bahan bakar dengan kadar *smoke* terendah sebesar 1,9%. Sedangkan kadar *smoke* maksimum dihasilkan pada beban 3000 watt dengan B0-M0 merupakan jenis bahan bakar dengan kadar *smoke* tertinggi sebesar 17,7%.

Kedua jenis bahan bakar menunjukkan masing-masing *trendline* grafik hampir sama, yaitu cenderung meningkat seiring

bertambahnya beban yang diberikan pada mesin. Peningkatan tersebut disebabkan oleh suplai bahan bakar ke mesin yang semakin meningkat sehingga mencapai campuran kaya [abed]. Selain itu, terdapat perbedaan kadar *smoke* pada kedua jenis bahan bakar antara kondisi awal dan akhir penyimpanan. Pada beban 300 watt didapatkan bahwa terjadi penurunan sebesar 28,57% dari penyimpanan B0 selama 12 minggu. Selanjutnya pada beban 1800 watt didapatkan bahwa terjadi penurunan sebesar 12,21%. Dan pada beban 3000 watt didapatkan bahwa terjadi penurunan sebesar 4,52%. Sedangkan untuk bahan bakar B20 juga terjadi penurunan pada beban 300 watt sebesar 32,14% selama penyimpanan 12 minggu. Pada beban 1800 watt terjadi penurunan kadar *smoke* pada B20 sebesar 18,13%. Dan pada beban 3000 watt terjadi penurunan kadar *smoke* sebesar 7,97%. Data tersebut menunjukkan bahwa perubahan kadar *smoke* selama 12 minggu penyimpanan semakin tidak terlihat seiring penambahan beban kerja pada mesin. Hal ini dikarenakan pada beban puncak 3000 watt terjadi efisiensi pembakaran yang paling optimal. Sedangkan secara umum, penggunaan B20 juga ternyata mampu menurunkan kadar *smoke* pada emisi mesin jika dibandingkan dengan B0 baik pada minggu awal ataupun akhir penyimpanan. Hal ini dikarenakan pada bahan bakar B20 mengandung biodiesel yang lebih kaya kandungan oksigen dibandingkan B0. Peningkatan kandungan mikroba dalam B20 yang lebih tinggi juga dapat mengindikasikan pemutusan rantai karbon oleh aktivitas mikroba sehingga membuat *ignition delay* lebih singkat dan pembakaran pada B20 lebih bersih dibandingkan B0.

4.3.5 Unburnt Hydrocarbon (UHC)



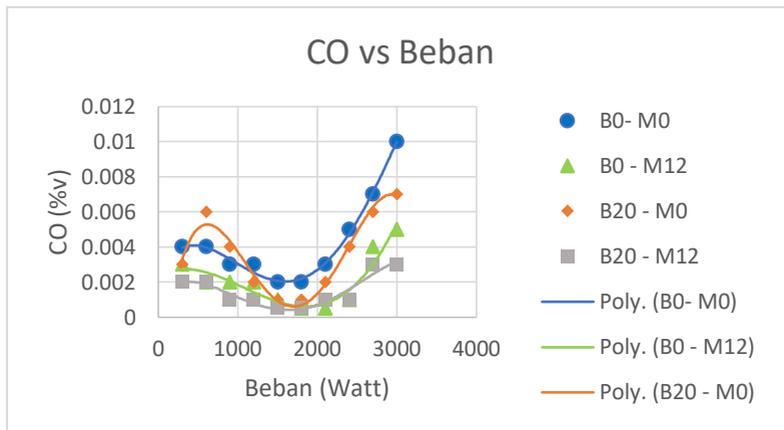
Gambar 4.11 Grafik UHC B0 (awal-akhir) dan B20 (awal-akhir) terhadap Beban

Dari Gambar 4.11 dapat dilihat grafik yang menunjukkan kadar *Unburnt Hydrocarbon (UHC)* dalam ppm yang didapatkan pada *exhaust gas* dihasilkan dari pembakaran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. UHC adalah gas yang terbentuk karena pembakaran dengan yang tidak sempurna. Didapatkan bahwa UHC minimum dihasilkan pada beban 300 watt dan B20-M12 merupakan jenis bahan bakar dengan UHC terendah sebesar 6 ppm. Sedangkan UHC maksimum dihasilkan pada beban 3000 watt dengan B0-M0 merupakan jenis bahan bakar dengan kadar UHC tertinggi sebesar 35 ppm.

Kedua jenis bahan bakar menunjukkan masing-masing *trendline* grafik hampir sama, yaitu cenderung meningkat seiring bertambahnya beban yang diberikan pada mesin. Peningkatan tersebut disebabkan oleh suplai bahan bakar ke mesin yang semakin meningkat sehingga mencapai campuran kaya [abed]. Selain itu, terdapat perbedaan kadar UHC pada kedua jenis bahan bakar antara kondisi awal dan akhir penyimpanan. Pada beban 300 watt didapatkan bahwa terjadi penurunan sebesar 55,56% dari

penyimpanan B0 selama 12 minggu. Selanjutnya pada beban 1800 watt didapatkan bahwa terjadi penurunan UHC sebesar 33,33%. Dan pada beban 3000 watt didapatkan bahwa terjadi penurunan UHC sebesar 22,86%. Sedangkan untuk bahan bakar B20 juga terjadi penurunan UHC pada beban 300 watt sebesar 60% selama penyimpanan 12 minggu. Pada beban 1800 watt terjadi penurunan UHC pada B20 sebesar 32,5%. Dan pada beban 3000 watt terjadi penurunan UHC sebesar 30,3%. Data tersebut menunjukkan bahwa perubahan kadar UHC selama 12 minggu penyimpanan semakin tidak terlihat seiring penambahan beban kerja pada mesin pada kedua jenis bahan bakar. Hal ini dikarenakan pada beban puncak 3000 watt terjadi efisiensi pembakaran yang paling optimal. Sedangkan secara umum, penggunaan B20 juga ternyata mampu menurunkan kadar UHC pada emisi mesin jika dibandingkan dengan B0 baik pada minggu awal ataupun akhir penyimpanan. Hal ini dikarenakan pada bahan bakar B20 mengandung biodiesel yang lebih kaya kandungan oksigen dibandingkan B0. Peningkatan kandungan mikroba dalam B20 yang lebih tinggi juga dapat mengindikasikan pemutusan rantai karbon oleh aktivitas mikroba sehingga membuat *ignition delay* lebih singkat dan pembakaran pada B20 lebih bersih dibandingkan B0.

4.3.6 Kadar CO



Gambar 4.12 Grafik Emisi CO B0 (awal-akhir) dan B20 (awal-akhir) terhadap Beban

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 mesin. CO atau karbon monoksida adalah gas yang terbentuk karena pembakaran pada AFR dan temperature yang tidak tepat. Didapatkan bahwa kadar CO minimum dihasilkan pada beban 1800 watt dan B20-M12 merupakan jenis bahan bakar dengan kadar CO terendah sebesar 0,0005%V. Sedangkan kadar CO maksimum dihasilkan pada beban 3000 watt dengan B0-M0 merupakan jenis bahan bakar dengan kadar CO tertinggi sebesar 0,005%V.

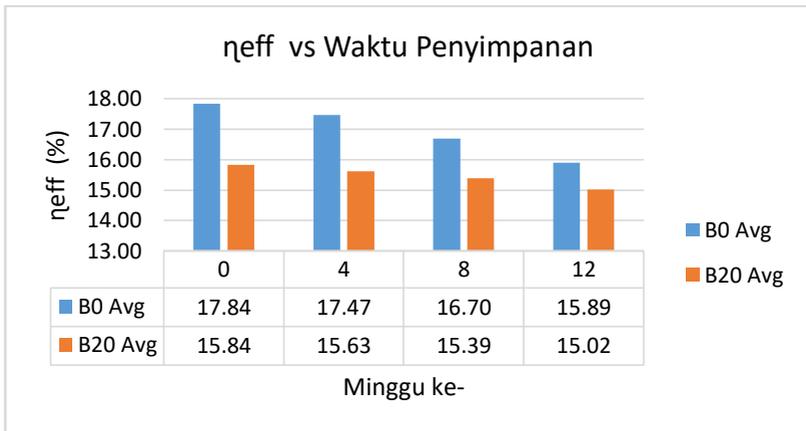
Kedua jenis bahan bakar menunjukkan masing-masing *trendline* grafik hampir sama, yaitu pada awal beban menghasilkan emisi CO yang besar dan mengalami penurunan pada beban tengah lalu meningkat kembali sampai beban penuh. Hal ini terjadi karena pada rentang beban 300 watt hingga 1500 watt suplai bahan bakar masih sedikit seperti yang ditunjukkan pada subbab 4.3.2 dan menyebabkan campuran miskin. Efisiensi termal yang rendah,

Temperatur yang rendah dan kelimpahan udara pada beban rendah inilah yang mampu mengakibatkan kadar CO tinggi pada beban awal tersebut [21]. Selain itu, terdapat perbedaan kadar CO pada kedua jenis bahan bakar antara kondisi awal dan akhir penyimpanan. Pada beban 300 watt didapatkan bahwa terjadi penurunan sebesar 25% dari penyimpanan B0 selama 12 minggu. Selanjutnya pada beban 1800 watt didapatkan bahwa terjadi penurunan CO sebesar 75%. Dan pada beban 3000 watt didapatkan bahwa terjadi penurunan sebesar 50%. Sedangkan untuk bahan bakar B20 juga terjadi penurunan CO pada beban 300 watt sebesar 33,33% selama penyimpanan 12 minggu. Pada beban 1800 watt terjadi penurunan kadar CO pada B20 sebesar 50%. Dan pada beban 3000 watt terjadi penurunan kadar CO sebesar 57,14%. Sedangkan secara umum, penggunaan B20 juga ternyata mampu menurunkan kadar CO pada emisi mesin jika dibandingkan dengan B0 baik pada minggu awal ataupun akhir penyimpanan. Hal ini dikarenakan pada bahan bakar B20 mengandung biodiesel yang lebih kaya kandungan oksigen dibandingkan B0 [Pattamaprom]. Peningkatan kandungan mikroba dalam B20 yang lebih tinggi juga dapat mengindikasikan pemutusan rantai karbon oleh aktivitas mikroba sehingga membuat *ignition delay* lebih singkat dan pembakaran pada B20 lebih bersih dibandingkan B0.

4.4 Hasil dan Analisa Data Rata-Rata Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang pada Bahan Bakar B20 dan Dexlite B0 Selama Kurun Waktu Penyimpanan.

Pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang ini menggunakan bahan bakar dexlite (B0) dan B20 dengan variasi durasi penyimpanan selama 0, 4, 8 dan 12 pekan dalam bentuk grafik. Berikut disajikan data yang merupakan rata-rata dari hasil pengujian pada mesin yang diberi beban sebesar 300 hingga 3000 watt dengan interval sebesar 300 watt.

4.4.1 Efisiensi Thermal (η_{th})



Gambar 4.13 Grafik Efisiensi Termal B0 (awal-akhir) dan B20 (awal-akhir) terhadap Beban

Dari Gambar 4.13 memperlihatkan grafik yang menunjukkan *Brake Thermal Efficiency* yang dihasilkan oleh mesin dengan bahan bakar B0 dan B20 pada interval pengujian yang dilakukan setiap 4 minggu sekali. Didapatkan efisiensi termal rata-rata pada bahan bakar B0 pada pengujian yang dilakukan di minggu ke 0, 4, 8 dan 12 secara berurutan adalah sebesar 17,84%, 17,47%, 16,70% dan 15,89%. Sedangkan untuk bahan bakar B20 menghasilkan efisiensi termal rata-rata pada pengujian yang dilakukan di minggu ke 0, 4, 8 dan 12 secara berurutan adalah sebesar 15,84%, 15,63%, 15,39% dan 15,02%.

Secara umum bahan bakar B0 menghasilkan efisiensi termal rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan B20. Pada kondisi awal penyimpanan, B0 menghasilkan efisiensi termal rata-rata sebesar 17,84% lalu mengalami penurunan sebesar 11,21% menjadi 15,84% pada penggunaan B20. Sedangkan di sisi lain, penyimpanan kedua jenis bahan bakar tersebut ternyata juga mempengaruhi efisiensi termal rata-rata yang dihasilkan. Terlihat bahwa trendline dari masing-masing bahan bakar mengalami

penurunan seiring waktu penyimpanan bahan bakar. Rata-rata penurunan efisiensi termal setiap bulan yang terjadi pada B0 dan B20 masing-masing sebesar 3,85% dan 1,45%. Hal ini menunjukkan bahwa B0 cenderung mengalami penurunan efisiensi termal yang lebih besar dibandingkan dengan B20 jika dilakukan penyimpanan dalam kurun waktu tertentu. Efisiensi termal yang dihasilkan tersebut berkaitan juga dengan nilai densitas. Diketahui dari hasil pengujian laboratorium bahwa nilai densitas cenderung meningkat seiring durasi penyimpanan yang mengakibatkan laju alir bahan bakar juga meningkat. Dengan meningkatnya laju alir bahan bakar menjadi pemicu efisiensi termal menurun karena merupakan fungsi kebalikan. Nilai viskositas juga dapat menjadi pemicu menurunnya nilai efisiensi termal tersebut. Meningkatnya nilai viskositas akan menyebabkan proses atomisasi bahan bakar tidak optimal dimana droplet bahan bakar yang dihasilkan melalui proses injeksi akan lebih besar. Hal tersebut menyebabkan *flame propagation* yang terjadi pada ruang bakar lebih lama dan memperbesar potensi terjadinya *incomplete combustion* yang ditandai dengan meningkatnya kadar UHC. Selain itu peningkatan temperature pada mesin dan gas buang juga dapat menjadi indikasi penurunan efisiensi termal tersebut yang akan dijelaskan lebih lanjut pada subbab 4.4.3

4.4.2 Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)



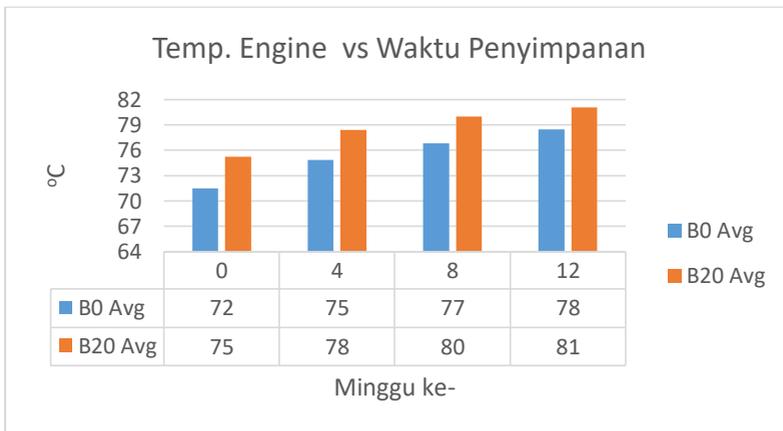
Gambar 4.14 Grafik BSFC bahan bakar uji terhadap durasi penyimpanan

Dari Gambar 4.14 memperlihatkan grafik yang menunjukkan *Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)* yang dihasilkan oleh mesin dengan bahan bakar B0 dan B20 pada interval pengujian yang dilakukan setiap 4 minggu sekali. Didapatkan BSFC rata-rata bahan bakar B0 pada pengujian yang dilakukan di minggu ke 0, 4, 8 dan 12 secara berurutan dengan satuan $kg/kw.h$ adalah sebesar 0,553, 0,573, 0,594 dan 0,615. Sedangkan untuk bahan bakar B20 menghasilkan BSFC rata-rata pada pengujian yang dilakukan di minggu ke 0, 4, 8 dan 12 secara berurutan dengan satuan $kg/watt.hour$ adalah sebesar 0,630, 0,635, 0,645 dan 0,659.

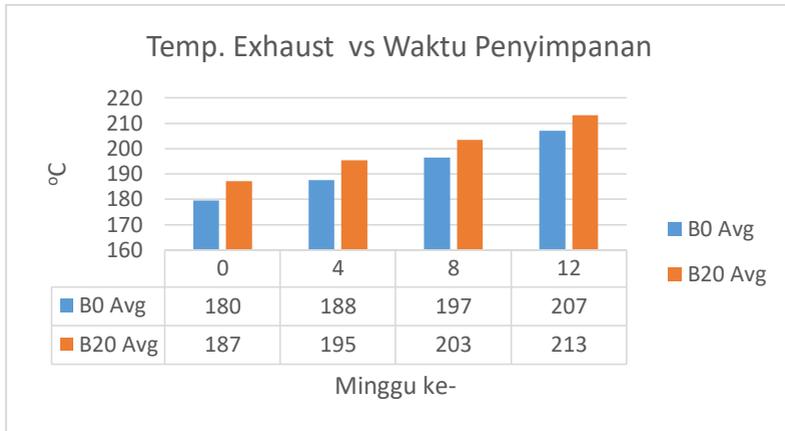
Secara umum bahan bakar B0 menghasilkan BSFC rata-rata yang lebih rendah dibandingkan dengan B20. Pada kondisi awal penyimpanan, B0 menggunakan BSFC rata-rata sebesar 0,553 $kg/kw.hour$ lalu mengalami peningkatan sebesar 13,95% pada penggunaan B20. Sedangkan di sisi lain, penyimpanan kedua jenis bahan bakar tersebut ternyata juga mempengaruhi BSFC rata-rata yang digunakan. Terlihat bahwa trendline dari masing-masing bahan bakar mengalami peningkatan seiring waktu penyimpanan

bahan bakar. Rata-rata peningkatan BSFC setiap bulan yang terjadi pada B0 dan B20 masing-masing sebesar 4,41% dan 1,49%. Hal ini menunjukkan bahwa B0 lebih cenderung mengalami peningkatan BSFC rata-rata yang lebih besar dibandingkan dengan B20 jika dilakukan penyimpanan dalam kurun waktu tertentu. Fenomena tersebut dapat terjadi karena penurunan nilai kalor bahan bakar seiring dengan penyimpanan yang berakibat pada peningkatan nilai BSFC. Penggunaan bahan bakar yang memiliki nilai kalor yang rendah akan berakibat pada peningkatan konsumsi bahan bakar untuk mencapai daya mesin yang diinginkan [21]. Di sisi lain peningkatan BSFC juga sangat dipengaruhi oleh menurunnya nilai efisiensi termal yang telah dijelaskan pada subbab 4.4.2.

4.4.3 Temperatur *Engine* dan *Exhaust Gas*



Gambar 4.15 Grafik temperature mesin bahan bakar uji terhadap durasi penyimpanan

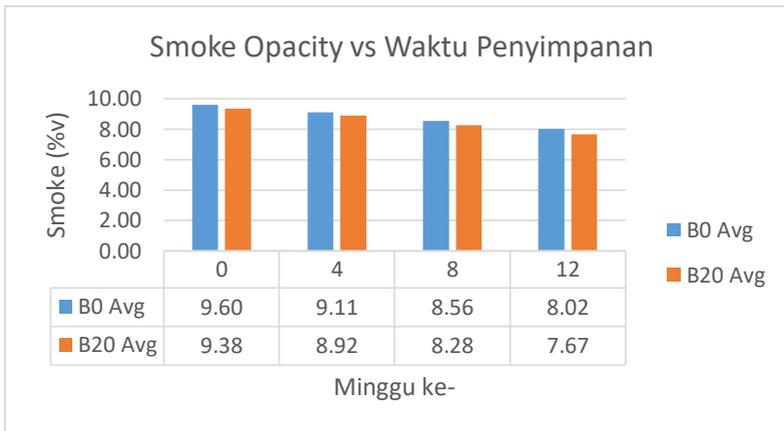


Gambar 4.16 Grafik temperature exhaust bahan bakar uji terhadap durasi penyimpanan

Dari Gambar 4.15 memperlihatkan grafik yang menunjukkan temperatur mesin rata-rata dengan satuan °C yang terukur saat pengujian unjuk kerja dengan bahan bakar B0 dan B20 pada minggu ke-0, 4, 8 dan 12. Sedangkan gambar 4.16 menunjukkan temperature gas buang rata-rata dengan satuan °C pada masing-masing minggu. Temperatur mesin merupakan hasil pembacaan *thermocouple* yang diinstalasi pada blok silinder mesin, sementara temperature gas buang merupakan pembacaan pada knalpot. Didapatkan temperatur mesin rata-rata bahan bakar B0 pada pengujian yang dilakukan di minggu ke 0, 4, 8 dan 12 secara berurutan adalah sebesar 71,505, 74,85, 76,8 dan 78,46. Sedangkan untuk bahan bakar B20 didapatkan temperature mesin rata-rata secara berurutan adalah sebesar 75,265, 78,4, 80 dan 81,1. Sedangkan temperatur gas buang rata-rata bahan bakar B0 pada pengujian yang dilakukan di minggu ke 0, 4, 8 dan 12 secara berurutan diketahui sebesar 179,52, 187,65, 196,5 dan 207,08. Sedangkan untuk bahan bakar B20 didapatkan temperature gas buang rata-rata secara berurutan adalah sebesar 187,125, 195,35, 203,45 dan 213,2.

Secara umum bahan bakar B0 menunjukkan temperatur mesin dan gas buang rata-rata yang lebih rendah dibandingkan dengan B20. Pada kondisi awal penyimpanan, B0 menunjukkan temperatur mesin rata-rata sebesar 71,505 lalu mengalami peningkatan sebesar 5,26% pada penggunaan B20. Sedangkan untuk temperatur gas buang pada kondisi inisial yaitu B0 menunjukkan temperatur rata-rata sebesar 179,52 lalu mengalami peningkatan sebesar 4,24% pada penggunaan B20. Terlihat bahwa dari masing-masing bahan bakar menunjukkan *trendline* temperatur yang meningkat seiring penyimpanan. Rata-rata peningkatan temperatur mesin yang terjadi setiap bulan pada B0 dan B20 masing-masing sebesar 3,24% dan 2,55%. Sedangkan rata-rata peningkatan temperatur gas buang B0 dan B20 masing-masing sebesar 5,28% dan 5,22%. Peningkatan temperatur baik engine maupun gas buang selama masa penyimpanan tersebut juga dipengaruhi oleh peningkatan BSFC yang dijelaskan pada subbab 4.5.2. Semakin banyak bahan bakar yang diinjeksikan dalam ruang bakar akan menyebabkan peningkatan temperatur dalam ruang bakar itu sendiri. Hal ini dikarenakan dalam bahan bakar terkandung energi yang akan dilepaskan ketika proses pembakaran dalam ruang bakar mesin terjadi. Idealnya semua energi tersebut dapat terkonversi menjadi daya efektif dan tidak dilepaskan dalam bentuk panas ke lingkungan. Peningkatan temperatur baik mesin maupun gas buang yang diukur juga mengindikasikan terjadinya *heatloss*. Berdasarkan data yang diperoleh dari subbab 4.4.1 didapatkan bahwa terjadi penurunan efisiensi termal dari kedua jenis bahan bakar seiring dengan durasi penyimpanan yang berarti sebagian energi yang tersimpan oleh bahan bakar dilepaskan menjadi panas yang diserap mesin dan dikeluarkan oleh knalpot. Selanjutnya, B20 memiliki peningkatan temperatur mesin maupun gas buang yang lebih rendah dibandingkan dengan B0 dimana hal ini sesuai dengan penurunan efisiensi termal dan juga peningkatan BSFC pada B20 yang lebih rendah dari B0 pada setiap minggunya.

4.4.4 Smoke Opacity



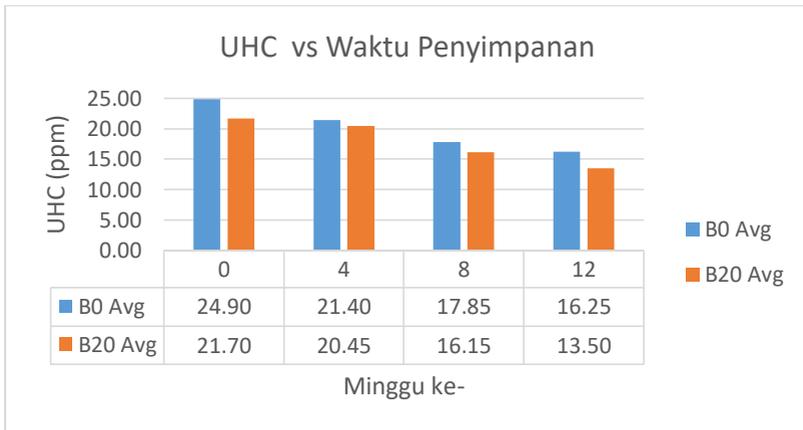
Gambar 4.17 Grafik kadar emisi partikulat bahan bakar uji terhadap durasi penyimpanan

Dari Gambar 4.17 dapat dilihat grafik yang menunjukkan *smoke opacity* rata-rata pada minggu 0, 4, 8 dan 12 dari bahan bakar B0 dan B20 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. Didapatkan bahwa kandungan smoke rata-rata bahan bakar B0 pada pengujian yang dilakukan di minggu ke 0, 4, 8 dan 12 dengan satuan %V secara berurutan adalah sebesar 9,6, 9,105, 8,555 dan 8,02. Sedangkan untuk bahan bakar B20 menghasilkan smoke rata-rata secara berurutan adalah sebesar 9,38, 8,92, 8,28 dan 7,67.

Secara umum bahan bakar B0 menghasilkan smoke rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan B20. Pada kondisi awal penyimpanan, B0 menghasilkan smoke rata-rata sebesar 9,6 %v lalu mengalami penurunan sebesar 2,29% pada penggunaan B20. Sedangkan di sisi lain, penyimpanan kedua jenis bahan bakar

tersebut dalam kurun waktu 12 minggu ternyata juga mempengaruhi smoke rata-rata yang dihasilkan. Terlihat bahwa *trendline* dari masing-masing bahan bakar mengalami penurunan seiring waktu penyimpanan bahan bakar. Rata-rata penurunan setiap bulan yang terjadi pada B0 dan B20 masing-masing sebesar 6,82% dan 8,12%. Hal ini menunjukkan bahwa B0 cenderung menghasilkan penurunan kadar smoke yang lebih rendah dibandingkan dengan B20 jika dilakukan penyimpanan dalam kurun waktu tertentu. Reduksi dari emisi *smoke* diakibatkan oleh kandungan oksigen yang lebih tinggi serta rendahnya kandungan sulfur pada biodiesel bila dibandingkan dengan bahan bakar diesel konvensional. Kandungan oksigen pada bahan bakar dapat membantu terjadinya pembakaran agar lebih sempurna sehingga dapat mengurangi emisi yang tidak diinginkan dari sisa pembakaran. Selain itu peningkatan viskositas dan densitas pada bahan bakar juga dapat memajukan timing injeksi. Hal tersebut dapat mengakibatkan penurunan kadar smoke pada emisi.

4.4.5 Unburnt Hydrocarbon (UHC)

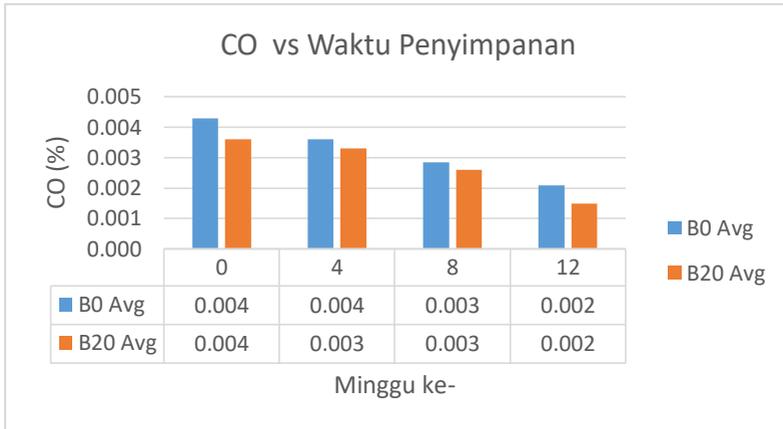


Gambar 4.18 Grafik unburnt hydrocarbon bahan bakar uji terhadap durasi penyimpanan

Dari Gambar 4.18 dapat dilihat grafik yang menunjukkan *unburnt hydrocarbon (UHC)* rata-rata pada minggu 0, 4, 8 dan 12 dari bahan bakar B0 dan B20 yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. Didapatkan bahwa kandungan UHC rata-rata bahan bakar B0 pada pengujian yang dilakukan di minggu ke 0, 4, 8 dan 12 dengan satuan *part per million (ppm)* secara berurutan adalah sebesar 24,9, 21,4, 17,85 dan 16,25. Sedangkan untuk bahan bakar B20 menghasilkan UHC rata-rata secara berurutan adalah sebesar 21,7, 20,45, 16,15 dan 13,5.

Secara umum bahan bakar B0 menghasilkan UHC rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan B20. Pada kondisi awal penyimpanan, B0 menghasilkan UHC rata-rata sebesar 24,9 ppm lalu mengalami penurunan sebesar 12,8% pada penggunaan B20. Sedangkan di sisi lain, penyimpanan kedua jenis bahan bakar tersebut dalam kurun waktu 12 minggu ternyata juga mempengaruhi UHC rata-rata yang dihasilkan. Terlihat bahwa *trendline* dari masing-masing bahan bakar mengalami penurunan seiring waktu penyimpanan bahan bakar. Rata-rata penurunan setiap bulan yang terjadi pada B0 dan B20 masing-masing sebesar 14,69% dan 15,48%. Hal ini menunjukkan bahwa B0 cenderung menghasilkan penurunan kadar UHC yang lebih rendah dibandingkan dengan B20 jika dilakukan penyimpanan dalam kurun waktu tertentu. Pada subbab 4.5.2 ditunjukkan bahwa penggunaan BSFC pada bahan bakar B20 lebih tinggi dibandingkan dengan B0 dan terus meningkat selama masa penyimpanan 12 minggu. Bahan bakar B20 itu sendiri memiliki kandungan oksigen bawaan akibat komposisi biodiesel di dalamnya. Sehingga peningkatan BSFC pada B20 mengindikasikan kandungan oksigen lebih banyak yang menyebabkan pembakaran yang terjadi dapat menghasilkan emisi lebih bersih. Kandungan oksigen pada bahan bakar dapat membantu terjadinya pembakaran agar lebih sempurna sehingga dapat mengurangi emisi yang tidak diinginkan dari sisa pembakaran.

4.4.6 Kadar CO



Gambar 4.19 Grafik emisi CO bahan bakar uji terhadap durasi penyimpanan

Dari Gambar 4.19 dapat dilihat grafik yang menunjukkan *carbonmonoxide* (CO) rata-rata pada minggu 0, 4, 8 dan 12 dari bahan bakar B0 dan B20 yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. Didapatkan bahwa kandungan CO rata-rata bahan bakar B0 pada pengujian yang dilakukan di minggu ke 0, 4, 8 dan 12 dengan satuan % secara berurutan adalah sebesar 0,0043, 0,0036, 0,00285 dan 0,0021. Sedangkan untuk bahan bakar B20 menghasilkan UHC rata-rata secara berurutan adalah sebesar 0,0036, 0,0033, 0,0026 dan 0,0015.

Secara umum bahan bakar B0 menghasilkan CO rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan B20. Pada kondisi awal penyimpanan, B0 menghasilkan UHC rata-rata sebesar 0,0043% lalu mengalami penurunan sebesar 16,28% pada penggunaan B20. Sedangkan di sisi lain, penyimpanan kedua jenis bahan bakar tersebut dalam kurun waktu 12 minggu ternyata juga mempengaruhi CO rata-rata yang dihasilkan. Terlihat bahwa *trendline* dari masing-masing bahan bakar mengalami penurunan

seiring waktu penyimpanan bahan bakar. Rata-rata penurunan setiap bulan yang terjadi pada B0 dan B20 masing-masing sebesar 16,36% dan 19,73%. Hal ini menunjukkan bahwa B0 cenderung menghasilkan penurunan kadar CO yang lebih rendah dibandingkan dengan B20 jika dilakukan penyimpanan dalam kurun waktu tertentu. Pada subbab 4.5.2 ditunjukkan bahwa penggunaan BSFC pada bahan bakar B20 lebih tinggi dibandingkan dengan B0 dan terus meningkat selama masa penyimpanan 12 minggu. Bahan bakar B20 itu sendiri memiliki kandungan oksigen bawaan akibat komposisi biodiesel di dalamnya. Sehingga peningkatan BSFC pada B20 mengindikasikan kandungan oksigen lebih banyak yang menyebabkan pembakaran yang terjadi dapat menghasilkan emisi lebih bersih. Kandungan oksigen pada bahan bakar dapat membantu terjadinya pembakaran agar lebih sempurna sehingga dapat mengurangi emisi yang tidak diinginkan dari sisa pembakaran.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan jumlah kontaminan mikroba pada kedua jenis bahan bakar. Dalam B20 terkandung jumlah kontaminan mikroba yang lebih besar dibandingkan dengan B0. Selain itu B20 juga mengalami peningkatan jumlah kontaminan mikroba yang lebih besar dengan laju peningkatan sebesar 799.900% dibandingkan B0 sebesar 59.900%.

Seiring dengan itu terjadi peningkatan *watercontent*, angka keasaman, densitas dan viskositas selama 12 minggu masa penyimpanan pada bahan bakar B0 secara berurutan sebesar 10,64%, 43,51%, 0,14% dan 7,35%. Sedangkan untuk B20 secara berurutan adalah sebesar 14,03%, 100,13%, 0,12% dan 3,12%.

Terjadi penurunan efisiensi termal dan peningkatan BSFC selama masa penyimpanan bahan bakar 12 minggu untuk kedua jenis bahan bakar. Untuk bahan bakar B0 penurunan efisiensi termal sebesar 10,9% dan BSFC meningkat sebesar 13,78%. Sedangkan untuk bahan bakar B20 terjadi penurunan efisiensi sebesar 5,194% dan peningkatan BSFC sebesar 4,53%.

Proses penyimpanan bahan bakar selama 12 minggu ternyata juga menurunkan kadar emisi yang dihasilkan dari kedua jenis bahan bakar. Penurunan kadar *smoke*, UHC dan CO pada bahan bakar B0 secara berurutan adalah sebesar 16,46%, 34,74% dan 51,16%. Sedangkan pada bahan bakar B20 terjadi penurunan secara berurutan adalah sebesar 18,23%, 37,78% dan 58,33%.

Penelitian ini menunjukkan bahwa B20 memiliki laju penurunan efisiensi termal dan BSFC yang lebih kecil dibandingkan B0 selama proses penyimpanan bahan bakar sedangkan untuk laju penurunan emisi CO dan UHC pada B20 lebih besar dibandingkan B0.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu diadakan penelitian yang lebih mendalam, komprehensif dan berkolaborasi dengan departemen-departemen terkait untuk mengetahui lebih rinci jenis-jenis mikroba terkandung dan aktivitasnya yang dapat mengubah properties bahan bakar.
2. Perlu dilakukan pengujian bomb calorimeter untuk mengetahui perubahan nilai kalor bahan bakar uji.
3. Perlu dilakukan pengujian *combustion analyzer* untuk mengetahui korelasi antara peningkatan densitas dan viskositas terhadap injection timing.
4. Alat peraga penelitian butuh peremajaan agar meminimalisir faktor yang dapat memengaruhi validitas hasil pengujian.
5. SOP Pengambilan sampel lebih diperhatikan agar mendapatkan data yang lebih akurat.
6. Perlunya pengadaan peralatan uji *properties* bahan bakar serta pelatihan SOP penggunaannya, mengingat dibutuhkannya biaya dan usaha yang cukup besar untuk melakukan kerjasama pengujian dengan pihak ketiga.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abed, K.A, M.S Gad, A.K. El Morsi, M.M. Sayed, dan S. Abud Elyazeed. 2019. "Effect of Biodiesel Fuels on Diesel Engine Emissions." *Egyptian Journal of Petroleum* 183-188.
- [2] Adeileh, Wail M., dan Khaled S. AlQdah. 2012. "Performance of Diesel Engine Fuelled by a Biodiesel Extracted From A Waste Cooking Oil." *Energy Procedia*. 1317-1334.
- [3] Adikusuma, Wijaya. 2009. *Studi Eksperimental Tentang Perbandingan Unjuk Kerja Motor Diesel Putaran Konstan Berbahan Bakar Vegetable Oil dan Minyak Solar*. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
- [4] Cavalcanti, Eduardo Homem de Siqueira, Adriane Ramos Zimmer, Fatima Menezes Bento, dan Marco Flores Ferrao . 2019. "Chemical and microbial storage stability studies and shelf life determinations of commercial Brazilian biodiesel stored in carbon steel containers in subtropical conditions." *Fuel* 993-1007.
- [5] D, Prof. Dr.Eng.Scarpete, Prof. Dr.-Ing.Krause H-H, dan Dr. Eng.Gheorghe M. t.thn. "Effect of Water Content in Diesel-Water Emulsified Fuel on Diesel Engine Performance." *Scientific Proceedings XXI International Scientific-Technical Conference*.
- [6] Direktorat Jendral Energi Baru, Terbarukan dan Konversi Energi. 2018. *Pedoman Umum Penanganan dan Penyimpanan Bahan Bakar Biodiesel (B100) dan Campuran Biodiesel (BXX)*. Buku Panduan, Jakarta: ESDM.
- [7] Dodos, G. S., T. Konstantakos, S. Longinos, dan F. Zannikos. 2011. "Effect of Microbiological Contamination in The Quality of Biodiesel Fuels." *Proceedings of the 12th*

International Conference on Environmental Science and Technology. Rhodes, Greece.

- [8] Fadhlullah, Arif. 2018. *Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Rasio Kompresi Terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Mesin Diesel 4 Langkah Silinder Tunggal Berbahan Bakar Campuran Dextrite dan Etanol*. Surabaya: Departemen Teknik Mesin FTI ITS.
- [9] Heywood, John B. 1989. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. Singapore: McGraw-Hill.
- [10] Humairak, Y; Tamaldin, N.; Abdollah, M. F. B., Al. 2015. "The Storage Effect on Fuel Properties and Emission for Variety Biodiesel Blends." *Applied Mechanics and Materials* 773-774, 455–459.
- [11] Kawano, D. Sungkono. 2014. *Motor Bakar Torak (Diesel)*. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
- [12] Knothe, Gerhard. 2004. *The Biodiesel Handbook*. Illinois: AOCS Press.
- [13] Komariah, Leily Nurul, Marwani, Sucia Aprisah, dan Yangia S.L Rosa. 2017. "Storage tank materials for biodiesel blends; the analysis of fuel property changes." Palembang: Matec Web of Conferences .
- [14] Nanihar, Nadiarulah, Amir Khalid, Fathul Hakim, Norshuhaila Mohamed Sunar, Bukhari Manshoor, dan Izzuddin Zaman. 2017. "Influence of Storage Duration on The Fuel Properties of Biodiesel derived from Jatropa and Waste Cooking Oil." *Journal of Physics*.
- [15] Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "Lemigas". 2015. *Seminar Kajian Teknis dan Uji Pemanfaatan Biodiesel (B20) Pada Kendaraan Bermotor dan Alat Berat*. Powerpoint, Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral.

- [16] Riza, Bina Restituta, dan Imam Paryanto. 2015. *Kajian Teknis dan Uji Pemanfaatan Biodiesel B20 pada Kendaraan Bermotor dan Alat Berat* . Seminar, Jakarta: BPPT.
- [17] Schleicer, T, R Werkmeister, Russ R., dan R Meyerpittrof. 2009. "Microbiological stability of biodiesel-diesel mixtures." *Bioresource Technology* 724-730.
- [18] Shahabuddin, M, M A Kalam, H. H Masjuki, M.M.K Bhuiya, dan M Mofijur. 2012. "An Experimental investigation Into biodiesel stability by means of oxidation and property determination." *Energy* 616-622.
- [19] Silviana, dan Luqman Buchori. 2015. "Efek Penyimpanan Biodiesel Berdasarkan Studi Kajian Degradasi Biodiesel CPO." April: 148-153.
- [20] Xue, Jinlin, Tony E. Grift, dan Alan C. Hansen. 2011. "Effect of Biodiesel on Engine Performances and Emissions." 1098-1116.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Faizal Ibrahim yang lahir di Tangerang, 11 April 1996. Merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di tiga tempat sejak tahun 2002-2008 yaitu di SD N 02 Batuceper Tangerang, SD N 03 Wonomarto Lampung, dan SD N 01 Tanjung Riau Batam. Melanjutkan sekolah menengah pertama di SMP N 3 Batam pada tahun 2008-2011 dan sekolah menengah atas di SMA N 1 Batam pada tahun 2011-2014. Lalu penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang yang lebih tinggi di Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan bidang studi konversi energi.

Selama berkuliah di ITS, penulis juga aktif mengikuti serangkaian kegiatan ekstrakurikuler baik dalam maupun luar kampus. Kerukunan Pelajar Mahasiswa Kepulauan Riau Surabaya sebagai Dewan Pertimbangan Organisasi, Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin sebagai Kabiro Eksternal divisi hubungan luar, ITS Team Sapuangin sebagai Engine & Drivetrain Engineer dan aktif terlibat dalam kegiatan riset konversi energi terutama di laboratorium Pembakaran dan Sistem Energi sebagai koordinator.

Penulis memiliki prinsip bahwa setiap kejadian buruk ataupun baik pasti mengandung nilai, pembelajaran dan pendewasaan.