TUGAS AKHIR - TM184835

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PENYIMPANAN BAHAN BAKAR CAMPURAN BIODIESEL TERHADAP SIFAT BAHAN BAKAR, PERFORMA, UJI KETAHANAN, DAN EMISI MESIN DIESEL

SUMIHAR H. PANJAITAN
NRP. 02111640000095

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

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2021

TUGAS AKHIR – TM184835

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PENYIMPANAN BAHAN BAKAR CAMPURAN BIODIESEL TERHADAP SIFAT BAHAN BAKAR, PERFORMA, UJI KETAHANAN, DAN EMISI MESIN DIESEL

SUMIHAR H. PANJAITAN
NRP. 02111640000095

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

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2021

FINAL PROJECT – TM184835

EXPERIMENTAL STUDY ON EFFECT OF BIODIESEL BLEND FUEL STORAGE TIME TO FUEL PROPERTIES, PERFORMANCE, DURABILITY, AND EXHAUST GAS EMISSION OF DIESEL ENGINE

SUMIHAR H. PANJAITAN
NRP. 02111640000095

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
2021

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PENYIMPANAN BAHAN BAKAR CAMPURAN BIODIESEL TERHADAP SIFAT BAHAN BAKAR, PERFORMA, UJI KETAHANAN, DAN EMISI MESIN DIESEL

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk 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:
Sumihar H. Panjaitan
NRP. 02111640000095

Disetujui oleh Pembimbing Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc. .....(Pembimbing)
   NIP. 196604021989031002
2. Dr. Bambang Sudarmanta, ST. MT. .....(Penguji 1)
   NIP. 197301161997021001
3. Ary Bachtiar K. P., ST. MT.Ph. .....(Penguji 2)
   NIP. 197105241997021001
4. Is Bunyamin Suryo, ST. MSc .....(Penguji 3)
   NIP. 198208192012121003

SURABAYA
MARET, 2021

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PENYIMPANAN BAHAN BAKAR CAMPURAN BIODIESEL TERHADAP SIFAT BAHAN BAKAR, PERFORMA, UJI KETAHANAN, DAN EMISI MESIN DIESEL

Nama Mahasiswa : Sumihar H. Panjaitan
NRP : 02111640000095
Departemen : Teknik Mesin FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc.

ABSTRAK

Kebutuhan energi di Indonesia, khusunya minyak bumi, mengalami peningkatan di berbagai sektor setiap tahunnya. Namun, produksi minyak bumi Indonesia tidak dapat memenuhi tingkat konsumsi sehingga harus dilakukan impor dari negara lain. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengembangkan energi baru dan terbarukan, salah satunya dengan biodiesel CPO. Biodiesel memiliki sifat biodegradable dan higroskopis yang mengakibatkan rentan mengalami degradasi seperti perubahan properties dan kemunculan mikroba pada bahan bakar. Perubahan tersebut dapat mempengaruhi unjuk kerja dan emisi dari mesin diesel.

Penelitian ini menggunakan bahan bakar dexlite (B0), B30 (campuran 30% biodiesel dengan 70% dexlite), dan biodiesel CPO (B100) yang disimpan dalam tangki selama 12 minggu. Pengujian bahan bakar dilakukan pada minggu ke-0, 6, dan 12 meliputi pengujian kontaminan mikroba, pengujian properties, dan pengujian perfoma serta emisi dari bahan bakar. Kemudian dilakukan analisa mengenai pengaruh sifat bahan bakar yang didapatkan terhadap hasil unjuk kerja, emisi, dan kondisi filter setelah dilakukan uji ketahanan pada mesin diesel.

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa pertumbuhan kontaminan mikroba pada bahan bakar tidak menunjukkan adanya trend, karena pada beberapa pengujian tidak didapati adanya kontaminan mikroba. Hal ini dikarenakan tangki penyimpanan

bahan bakar kemungkinan mengandung racun untuk mikroba. Nilai densitas, viskositas, dan kandungan air terbesar dimiliki oleh bahan bakar B100. Peningkatan nilai densitas pada bahan bakar dexlite, B30, dan B100 secara berurutan sebesar 0.9%, 0.3%, 0.2%. Pada pengujian minggu ke-6 tangki dalam keadaan tertutup rapat dan didapati kandungan air turun sementara nilai kalor naik tetapi tidak signifikan. Pada pengujian minggu ke-12 tangki dapat dimasuki udara dan didapati kandungan air naik sementara nilai kalor turun cukup signifikan. Persentase perubahan kandungan air pada bahan bakar dexlite, B30, dan B100 secara berurutan sebesar 82%, 14%, dan 18%. Pada pengujian perfoma, efisiensi termal dan smoke opacity pengalami penurunan seiring dengan bertambahnya durasi penyimpanan bahan bakar, sementara untuk BSFC mengalami kenaikan. Penurunan efisiensi termal pada bahan bakar dexlite, B30, dan B100 secara berurutan sebesar 14%, 6%, dan 8%. Pengotor pada filter mengalami kenaikan yang cukup tinggi terutama pada penggunaan B100 sejalan dengan pertambahan durasi penyimpanan. Kenaikan pengotor filter pada bahan bakar dexlite, B30, dan B100 secara berurutan sebesar 28%, 47%, dan 107%.

Kata kunci: Biodiesel, Mikroba, Degradasi, Properties, Perfoma, Emisi

EXPERIMENTAL STUDY ON EFFECT OF BIODIESEL BLEND FUEL STORAGE TIME TO FUEL PROPERTIES, PERFORMANCE, DURABILITY, AND EXHAUST GAS EMISSION OF DIESEL ENGINE

Name : **Sumihar H. Panjaitan**
NRP : **02111640000095**
Department : **Mechanical Engineering**
Advisor : **Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc.**

ABSTRACT

Energy demand in Indonesia, especially petroleum, has increased in various sectors every year. However, Indonesia's petroleum production cannot meet the level of consumption, so imports from other countries must be carried out. Various attempts have been made to develop new and renewable energy, one of which is CPO biodiesel. Biodiesel has biodegradable and hygroscopic properties that make it prone to degradation such as changes in properties and the appearance of microbes in fuel. These changes can affect performance and emissions from diesel engines.

This study used dexlite (B0), B30 (a mixture of 30% biodiesel with 70% dexlite), and CPO biodiesel (B100) stored in the tank for 12 weeks. Fuel testing was carried out at week 0, 6, and 12 including testing for microbial contaminants, testing for properties, and testing for performance and emissions from fuel. Then an analysis is carried out regarding the effect of the properties of the fuel obtained on the performance, emissions, and filter conditions after the endurance test is carried out on the diesel engine.

From the research results, it was found that the growth of microbial contaminants on fuel did not show a trend, because in some tests there were no microbial contaminants. This is because the fuel storage tank may contain toxins for microbes. The largest values for density, viscosity, and water content are owned by B100

fuel. The increase in density values for dexlite, B30, and B100 fuels were 0.9%, 0.3%, 0.2%, respectively. In the 6th week of testing the tank is tightly closed and it is found that the water content has decreased while the heating value has increased but not significantly. In the 12th week of testing the tank was able to enter the air and it was found that the water content increased while the calorific value decreased quite significantly. Percentage change in water content in fuel dexlite, B30, and B100 respectively at 82%, 14%, and 18%. In the performance test, the thermal efficiency and smoke opacity decreased along with the increase in fuel storage duration, meanwhile for BSFC it increased. The reduction in thermal efficiency for dexlite, B30, and B100 fuels is 14%, 6%, and 8%, respectively. The impurity in the filter has increased quite high, especially when using B100, in line with the increase in storage duration. The increase in filter impurity in dexlite, B30, and B100 fuels was 28%, 47%, and 107%, respectively. and B100, respectively, at 14%, 6%, and 8%. The impurity in the filter has increased quite high, especially when using B100, in line with the increase in storage duration. The increase in filter impurity in dexlite, B30, and B100 fuels was 28%, 47%, and 107%, respectively. and B100, respectively, at 14%, 6%, and 8%. The impurity in the filter has increased quite high, especially when using B100, in line with the increase in storage duration. The increase in filter impurity in dexlite, B30, and B100 fuels was 28%, 47%, and 107%, respectively.

Keywords: Biodiesel, Microbes, Degradation, Properties, Performance, Emissions

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kehadirat Tuhan 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 dan Rekayasa Sistem, 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 membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. **Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT, Ary Bachtiar K. P., ST. MT. Ph., Is Bunyamin Suryo, ST. MSc** selaku dosen penguji yang telah memberikan saran maupun kritik pada penulisan tugas akhir ini.
3. **Laboratorium Mikrobiologi Departemen Biologi FSAD-ITS** yang telah berkenan membantu dalam pengujian kontaminan mikroba pada tugas akhir ini.
4. **Laboratorium Energi dan Lingkungan LPPM-ITS** yang telah berkenan membantu dalam pengujian *properties* fisik pada tugas akhir ini.
5. Orang tua penulis, **B. Panjaitan & R. Tambunan** yang telah membimbing, mendoakan dan memberikan segala hal terbaik pada penulis.
6. Saudara penulis **Andika Panjaitan, Ardino Panjaitan, Sutrisna Panjaitan, Vincent Panjaitan dan juga segenap keluarga besar** yang telah memberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. **Rumah Yudas dan seisinya** yang menjadi rumah paling lama bagi penulis selama tinggal di Surabaya dan membantu penulis selama perkuliahan.

8. **Keluargaku angkatan M59** yang telah memberikan tempat kepada penulis dalam persaudaraan dan semoga tak lekang oleh waktu.
9. Segenap **Dosen dan Karyawan Departemen Teknik Mesin FTIRS-ITS,** terima kasih untuk ilmu yang diberikan, semoga bermanfaat untuk kedepannya.
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, Maret 2021

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK i
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Batasan Masalah 4
1.4 Tujuan Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 5
1.6 Sistematika Penulisan 5
BAB II 7
TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Bahan Bakar 7
2.1.1 Bahan Bakar Diesel 7
2.1.2 Dexlite 10
2.1.3 Biodiesel 11
2.1.4 Metode Pencampuran *(Blending)* 13
2.2 Dasar Teori Pembakaran 14
2.2.1 Perhitungan Stokiometri Kebutuhan Udara 15
2.2.2 Pembakaran Non Stokiometri 16

2.3 Dasar Teori Mesin Diesel 17
2.3.1 Tahapan Pembakaran Pada Mesin Diesel 18
2.3.2 Unjuk Kerja Mesin Diesel 22
2.4 Penelitian Terdahulu 28
2.4.1 Penelitan oleh Hanis Zakaria (2013) 28
2.4.2 Penelitian oleh Faizal Ibrahim (2019) 29
2.4.3 Penelitian oleh Leily Nurul Komariah (2018) 31
2.4.4 Penelitian oleh Prawoto dan Ihwan Haryono (2015) 32
BAB III 33
METODE PENELITIAN 33
3.1 Metode Penelitian 33
3.2 Penyimpanan Bahan Bakar 33
3.2.1 Prosedur Penyimpanan 34
3.2.2 Pengambilan Sampel 34
3.3 Pengujian Kandungan Mikroba 34
3.4 Pengujian Propertis Bahan Bakar 34
3.5 Pengujian Unjuk Kerja 35
3.5.1 Alat uji 35
3.5.2 Alat Ukur unjuk kerja 36
3.6 Rancangan Eksperimen 37
3.6.1 Skema Alat 37
3.6.2 Parameter Eksperimen 37
3.7 Flowchart Penelitian 38

3.7.1 Flowchart Uji Perfoma 39
3.7.2 Flowchart Uji Ketahanan..... 40
BAB IV 41
PEMBAHASAN 41
Hasil Pengujian Bahan Bakar..... 41
4.1 Pengujian Kandungan Mikroba 42
4.2 Pengujian Kandungan Properties..... 43
4.2.1 Densitas 43
4.2.2 Viskositas 45
4.2.3 Kandungan Air (*Water Content*) 46
4.2.4 Nilai Kalor..... 48
4.3 Contoh Perhitungan 50
4.3.1 Daya..... 50
4.3.2 *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC)..... 51
4.3.3 Efisiensi Termal (ηth)..... 52
4.4 Hasil dan Analisa Pengujian Perfoma Mesin 53
4.4.1 Efisiensi Termal 53
4.4.2 *Brake Spesific Fuel Consumption* 55
4.4.3 *Smoke Opacity*..... 57
4.5 Hasil Dan Analisa Grafik Uji Ketahanan Mesin Terhadap Unjuk Kerja 60
4.5.1 Daya..... 60
4.5.2 *Spesific Fuel Concumption* (SFC)..... 61
4.5.3 *Smoke Opacity*..... 63

4.5.4 Penyumbatan Filter Bahan Bakar 64
BAB V 67
PENUTUP 67
5.1 Kesimpulan 67
5.2 Saran 68
DAFTAR PUSTAKA 69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme *In-Line Blending*. 13
Gambar 2.2 Mekanisme splash blending pada tangki terminal ... 14
Gambar 2.3 Siklus kerja mesin diesel empat langkah 17
Gambar 2.4 Proses pembakaran mesin diesel 19
Gambar 2.5. *Ignition delay period* (Siagian & Silaban, 2013).... 19
Gambar 2.6 Eksponen n untuk Model *Polytropic* pada Proses Kompresi (Heywood J. B., 1988)..... 21
Gambar 2.7 Grafik bilangan keasaman biodiesel..... 29
Gambar 2.8 Grafik pembentukan mikroba (a) dan perubahan densitas (b) terhadap durasi penyimpanan 30
Gambar 2.9 Grafik smoke opacity terhadap durasi penyimpanan 30
Gambar 2.10 Penyumbatan pada filter dengan bahan bakar biodiesel 31
Gambar 2.11 Grafik unjuk kerja sebelum dan sesudah uji ketahanan..... 32
Gambar 3.1 Tangki penyimpanan bahan bakar..... 33
Gambar 3.2 Lampu pembebanan..... 35
Gambar 3.3 Skema peralatan pengujian..... 37
Gambar 3.4 *Flowchart* Penelitian 38
Gambar 3.5 *Flowchart* pengujian unjuk kerja mesin 39
Gambar 3.6 *Flowchart* uji ketahanan dengan penambahan filter 40
Gambar 4.1 Grafik jumlah mikroba terhadap durasi penyimpanan pada setiap bahan bakar..... 42
Gambar 4.2 Grafik densitas terhadap durasi penyimpanan bahan bakar..... 44
Gambar 4.3 Grafik viskositas terhadap durasi penyimpanan bahan bakar..... 46
Gambar 4.4 Grafik kandungan air terhadap durasi penyimpanan bahan bakar 47
Gambar 4.5 Grafik nilai kalor terhadap durasi penyimpanan bahan bakar..... 48

Gambar 4.6 Grafik efisiensi termal terhadap daya yang dihasilkan 53
Gambar 4.7 Grafik efisiensi termal rata- rata terhadap durasi penyimpanan 54
Gambar 4.8 Grafik BSFC terhadap daya yang dihasilkan 55
Gambar 4.9 Grafik BSFC rata- rata terhadap durasi penyimpanan 56
Gambar 4.10 Grafik smoke opacity terhadap daya 58
Gambar 4.11 Grafik smoke opacity rata- rata terhadap durasi penyimpanan 59
Gambar 4.12 Grafik daya terhadap waktu uji ketahanan 60
Gambar 4.13 Grafik BSFC terhadap waktu uji ketahanan 62
Gambar 4.14 Grafik prosentase smoke pada uji ketahanan..... 63
Gambar 4.15 Perbandingan filter setelah dilakukan uji ketahan selama 24 jam 64
Gambar 4.16 Perbandingan berat pengotor pada setiap filter bahan bakar 65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi bahan bakar dexlite 10
Tabel 2.2 Spesifikasi Bahan Bakar Biodiesel..... 11
Tabel 3.1 Tabel matriks pengujian 37
Tabel 4.1 Data contoh perhitungan 50

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi dalam berbagai sektor di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahunnya. Pertumbuhan penduduk, laju perkembangan industri, serta semakin tingginya arus lalu lintas barang dan jasa, menyebabkan tingginya tingkat kebutuhan energi. Salah satunya dapat dilihat dari konsumsi minyak bumi Indonesia. Menurut *BP Statistical 2020,* konsumsi minyak bumi Indonesia pada tahun 2019 mencapai 1.732 ribu barel per hari. Sementara produksi minyak bumi Indonesia pada tahun 2019 sebesar 781 ribu barel per hari. Dari data tersebut, terdapat selisih sebesar 951 ribu barel yang harus dipenuhi dengan cara impor dari luar negeri. Salah satu sektor yang menggunakan bahan bakar fosil secara masif adalah bidang industri yang menggunakan mesin diesel. Mesin diesel menggunakan bahan bakar Solar, Pertadex, atau Dexlite yang berasal dari proses distilasi fraksi minyak bumi. Selain itu, penggunaan bahan bakar fosil juga berdampak buruk bagi lingkungan. Pembakaran dari bahan bakar fosil menghasilkan emisi gas buang, seperti CO, CO_2, dan UHC. Emisi tersebut menyebabkan efek rumah kaca. Efek rumah kaca merupakan proses alami bumi dalam menjaga suhunya dengan memerangkap panas. Ketika sinar matahari mencapai permukaan bumi, beberapa energi panasnya diserap untuk menghangatkan permukaan, sedangkan sisa panasnya akan dikembalikan ke luar atmosfer bumi dalam bentuk inframerah. Dalam proses menuju luar atmosfer bumi, gas yang berada di atmosfer bumi, seperti CO_2 dan gas lainnya akan mengikat beberapa energi panas tersebut dan mengembalikannya kembali ke permukaan bumi. Semakin banyak jumlah gas tersebut, maka semakin banyak panas yang dipantulkan kembali permukaan bumi. Hal ini menyebabkan adanya pemanansan global yang berdampak negatif bagi bumi.

Melihat kondisi energi di Indonesia saat ini, Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan berbagai perangkat kebijakan yang dibuat untuk mengembangkan energi baru dan terbarukan guna meningkatkan efisiensi, konservasi, dan diversifikasi energi. Salah satu sumber energi baru terbarukan yang tersedia di Indonesia adalah biodiesel yang berasal *dari Crude Palm Oil* (CPO) atau minyak sawit mentah, sebagai negara yang memiliki perkebunan sawit terluas dunia. Biodiesel adalah jenis bahan bakar yang termasuk kedalam kelompok Bahan Bakar Nabati (BBN) yang diproduksi melalui reaksi kimia yang disebut transesterifikasi. Biodiesel dapat dicampur dengan minyak solar *(diesel fuel)* dalam berbagai rasio, serta memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan minyak solar di sebagian besar aspek teknis, yaitu dapat mereduksi emisi gas buang kecuali NOx, bersifat *biodegradeable*, memiliki titik nyala lebih tinggi sehingga aman untuk ditangani dan disimpan, kandungan sulfur yang lebih rendah, dan merupakan sumber energi terbarukan. Biodiesel juga memiliki kekurangan yaitu bersifat higroskopis (zat yang mempunyai kemampuan menyerap molekul air yang baik), sehingga ketika disimpan dalam waktu yang lama akan mengubah propertis fisik, kimia, dan juga memungkinkan mikro-organisme untuk hidup.

Kajian penelitian terhadap bahan bakar biodiesel telah banyak dilakukan. Salah satunya mengenai pengaruh durasi penyimpanan terhadap degradasi biodiesel (Silviana dan Buchori,2015). Lama waktu penyimpanan biodiesel menyebabkan kenaikan pada angka asam biodiesel, angka penyabunan, dan kadar gliserol. Sebaliknya bilangan iodine, kadar ester dan nilai kalor semakin menurun sejalan dengan lama penyimpanan. Indikator tersebut menunjukkan telah terjadi degradasi pada biodiesel. Perubahan *properties* juga dilakukan oleh (Amir Khalid, 2013) dimana peningkatan durasi penyimpanan terhadap bahan bakar menyebabkan kenaikan pada densitas dan viskositas dari bahan bakar tersebut. Penambahan biodiesel pada campuran bahan bakar juga mengakibatkan penurunan emisi dikarenakan kandungan

oksigen yang dimiliki biodiesel yang lebih tinggi dibanding bahan bakar konvensional.

Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif juga memiliki pengaruh terhadap unjuk kerja mesin (Martin dan Wirawan, 2010). Pengujian menunjukkan bahwa daya yang dibangkitkan B100 lebih rendah dibandingkan daya yang dihasilkan B0. Hal ini disebabkan karena nilai kalori biodiesel lebih rendah dibandingkan bahan bakar solar murni. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa penambahan biodiesel menyebabkan pengaruh pada pemakaian bahan bakar spesifik (Prawoto dan Ihwan, 2015). Pemakaian bahan bakar spesifik untuk B0 lebih rendah dibandingkan dengan B10 dan B15. Perbedaan ini terjadi nilai kalor biodiesel yang lebih rendah. Biodiesel juga dikhawatirkan dapat memperpendek daya tahan dan life span dari mesin dan komponennya, salah satunya filter (Komariah, 2017). Penggunaan biodiesel menyebabkan terjadinya penyumbatan pada filter bahan bakar. Adanya endapan lendir pada filter akibat penggunaan biodiesel mengindikasikan terjadi peningkatan kontaminan karena kandungan dari bahan bakar tersebut.

Berdasarkan uraian di atas, bahan bakar dengan kandungan biodiesel yang disimpan dalam waktu lama akan mengalami degradasi, yaitu perubahan pada propertisnya seperti viskositas, densitas, dan bilangan asam. Perubahan tersebut juga akan mempengaruhi unjuk kerja dan emisi yang dihasilkan oleh mesin. Oleh karena itu, dilakukannya penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penyimpanan bahan bakar terhadap sifat bahan bakar, filter bahan bakar dengan uji ketahanan, dan performa mesin diesel.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Biodiesel berasal dari bahan organik dan memiliki sifat higroskopis yang membuat bahan bakar tersebut mampu menyerap air dari lingkungan.
2. Kandungan air merupakan media yang baik untuk pertumbuhan dan perkembangan mikroba.
3. Lama waktu penyimpanan dan adanya kandungan mikroba pada bahan bakar akan meyebabkan degradasi properties bahan bakar.

1.3 Batasan Masalah

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

1. Pengujian menggunakan mesin diesel satu silinder empat langkah, Diesel Diamond DI 800.
2. Bahan bakar yang digunakan adalah Dexlite produksi PT. Pertamina (Persero), Biodiesel CPO (B100) produksi PT. Wilmar, dan B30 (30% Biodiesel dan 70% Dexlite).
3. Pengujian *properties* bahan bakar meliputi densitas, viskositas, kandungan air (*water content)*, bilangan asam *(acid number), cetane index*, dan kandungan sulfur.
4. Pengujian kadungan mikroba meliputi jumlah koloni mikroba terkandung
5. Penelitian ini tidak membahas jenis mikroba yang terkandung dalam bahan bakar.
6. Tangki penyimpanan yang digunakan adalah tangki dengan kapasitas 200L dengan material PVC.
7. Penyimpanan bahan bakar dilakukan di dalam ruang dengan temperature *ambient.*
8. Kurun waktu lama penyimpanan bahan bakar ditetapkan selama 12 minggu dan periode pengambilan sampel pada minggu ke-0, 6 dan 12.

9. 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. Menganalisis pengaruh lama waktu penyimpanan bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 terhadap keberadaan kontaminan mikroba.
2. Menganalisis perubahan *properties* bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 selama masa penyimpanan.
3. Menganalisis pengaruh lama waktu penyimpanan bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 terhadap unjuk kerja dan emisi pada mesin diesel.
4. Menganalisis pengaruh waktu penyimpanan Dexlite, B30, dan B100 terhadap uji ketahanan dan kondisi filter pada mesin diesel.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat dijadikan acuan dan bahan pertimbangan dalam pemanfaatan bahan bakar biodiesel sebagai bahan bakar alternatif. Melalui penelitian ini juga diharapkan mampu memberikan sumbangan pemikiran untuk penelitian lebih lanjut dalam usaha optimasi teknologi bahan bakar.

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 peneliitan, 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 Bahan Bakar

Bahan bakar merupakan material yang memiliki kandungan energi, dimana energi tersebut dapat diubah menjadi energi lain melalui proses konversi energi. Berdasarkan wujud zatnya, bahan bakar dikelompokkan menjadi 3 jenis yaitu padat, cair dan gas. Pada mesin pembakaran dalam, khususnya mesin diesel hanya meggunakan 2 jenis bahan bakar yaitu cair dan gas.

2.1.1 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°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:

$$\mathrm{SG}_{\text{terhadap udara}} = \frac{\rho_{\text{bahan bakar}}}{\rho_{air}}$$

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.

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

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 kendaran 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 cetana merupakan derajat kemampuan suatu bahan bakar untuk dapat terbakar dengan sendirinya karena tekanan dan temperatur tinggi. Angka cetana 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 cetana yang tinggi menyebabkan *ignition delay* yang pendek, sedangkan nilai cetane yang rendah menimbulkan *knocking* pada diesel.

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:

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

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.

2.1.2 Dexlite

Tabel 2.1 Spesifikasi bahan bakar dexlite

No	Karakteristik	Unit	Batasan		Metode Uji	
			Min	Max	ASTM	Lain
1	Angka Setana	-	51	-	D613-95	
2	Indeks Setana	-	48	-	D 4737-96a	
3	Densitas	kg/m^3	820	860	D 4052-96	
4	Viskositas	mm^2/s	2.0	4.5	D 445-97	
5	Kandungan FAME	% v/v	-	10		
6	Bilangan Asam	mgKOH/g		0.3	D 664	
7	Partikula	mg/l		10	D 2276-99	

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. Spesifikasi dari Dexlite dapat dilihat pada tabel 2.1 sebagai berikut

.

2.1.3 Biodiesel

Bahan bakar biodiesel adalah sejenis bahan bakar yang termasuk kedalam kelompok bahan bakar nabati (BBN). Bahan bakunya bisa berasal dari berbagai sumber daya nabati, yaitu kelompok minyak dan lemak. Biodiesel mempunyai keunggulan dibandingkan dengan bahan bakar diesel dari minyak bumi. Biodiesel merupakan bahan bakar ideal untuk industri transportasi karena dapat digunakan pada berbagai mesin diesel.

Bahan bakar biodiesel merupakan minyak nabati atau lemak hewani yang diproduksi melalui reaksi kimia yang disebut transesterifikasi. Biodiesel dapat dicampur dengan minyak solar *(diesel fuel)* dalam berbagai rasio, serta memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan minyak solar di sebagian besar aspek teknis, yaitu dapat mereduksi emisi gas buang kecuali NOx, bersifat *biodegradeable*, memiliki titik nyala lebih tinggi sehingga aman untuk ditangani dan disimpan, kandungan sulfur yang lebih rendah, dan merupakan sumber energi terbarukan. Spesifikasi dari bahan bakar biodiesel dapat dilihat pada tabel 2.2 sebagai berikut.

Tabel 2.2 Spesifikasi Bahan Bakar Biodiesel

No	Parameter uji	Satuan, Min/maks	Persyaratan	Metode uji
1	Massa jenis pada 40’C	kg/m^3	850 -890	ASTM D 1298
2	Viskositas Kinematik pada 40^oC	mm^2/s (cSt)	2,3 - 6,0	ASTM D 445
3	Angka setana	min	51	ASTM D 613
4	Titik nyala	^oC, min	100	ASTM D 93

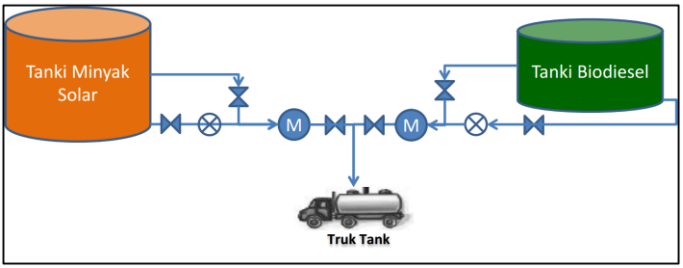
5	Titik kabut	C, maks	18	ASTM D 2500
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50°C)		nomor 1	ASTM D 130
7	Residu karbon	%-massa, maks	0,05	ASTM D 4530
8	Air dan sedimen	%-vol, maks	0,05	ASTM D 2709
9	Temperatur distilasi 90%	°C, maks	360	ASTM D 1160
10	Abu tersulfatkan	%-massa, maks	0,02	ASTM D 874
11	Belerang	mg/kg, maks	100	ASTM D 5453
12	Fosfor	mg/kg, maks	10	AOCS Ca 12-55
13	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,5	AOCS Cd 3d-63
14	Gliserol bebas	%-massa, maks	0,02	AOCS Ca 14-56
15	Gliserol total	%-massa, maks	0,24	AOCS Ca 14-56
16	Kadar ester metil	%-massa, min	96,5	-
17	Stabilitas oksidasi Metode Racimant	menit	360	EN 15751

2.1.4 Metode Pencampuran *(Blending)*

Dalam istilah perdagangan campuran biodiesel dengan minyak solar umumnya dinamakan dengan notasi BXX. Misalnya, B20 menunjukkan bahwa campuran bahan bakar tersebut mengandung 20%-vol biodiesel dan 80%-vol minyak solar. Di Indonesia jenis bahan ini dipasarkan oleh PT. Pertamina (Persero) dengan nama Biosolar. Untuk mendapatkan campuran biosolar yang homogen perlu dilakukan metode *blending* yang tepat. Pencampuran biodiesel dengan minyak solar harus memperhatikan ketepatan konsentrasi biodiesel yang ditargetkan. Pencampuran dapat dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu *In-line Blending* dan *Splash Blending* / *In-Tank Blending*.

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.

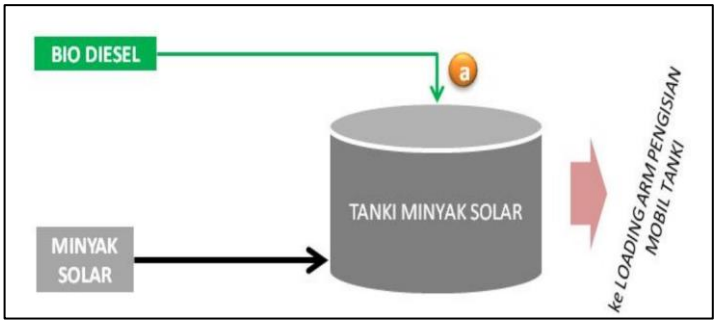


Gambar 2.1 Mekanisme *In-Line Blending*.

b) Metode *In-Tank Blending / Splash 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 2.2 Mekanisme splash blending pada tangki terminal

2.2 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 (O2) yang cukup. Jumlah oksigen mencapai 20,9% dari udara, dan sebanyak hampir 79% merupakan nitrogen (N2) 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 CO2 akan menghasilkan lebih banyak panas per satuan bahan bakar daripada bila menghasilkan CO atau asap.

2.2.1 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:

$$C_\alpha H_\beta + \alpha\,(O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow bCO_2 + cH_2O + dN_2$$

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:

$$C_\alpha H_\beta + \left(\alpha + \frac{\beta}{4}\right)(O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow \alpha CO_2 + \frac{\beta}{2} H_2O + 3{,}76\left(\alpha + \frac{\beta}{4}\right)N_2$$

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

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

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

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

2.2.2 Pembakaran Non Stokiometri

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:

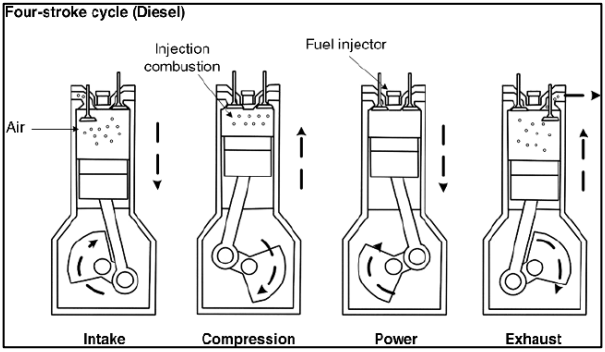
$$C_\alpha H_\beta + \gamma\left(\alpha + \frac{\beta}{4}\right)(O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow \alpha CO_2 + \frac{\beta}{2}H_2O + dN_2 + eCO + fO_2$$

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 $18 \leq \text{AFR} \leq 70$.

2.3 Dasar Teori Mesin Diesel

Motor diesel menggunakan konsep pembakaran melalui proses penyalaan kompresi udara pada tekanan tinggi. Pembakaran terjadi akibat udara yang dikompresi pada ruang memiliki tekanan dan temperatur yang melebihi tekanan dan temperatur penyalaan bahan bakar. Terdapat 2 jenis motor diesel berdasarkan langkah atau gerakan piston dalam menghasilkan satu kali kerja, yakni dua langkah dan empat langkah. Pada motor diesel empat langkah terdapat empat tahap tiap piston bergerak:



Gambar 2.3 Siklus kerja mesin diesel empat langkah

1. Langkah Pemasukan

   Saluran dinding silinder yang terbuka dan tertutup oleh gerakan piston memungkinkan udara mengalir ke dalam silinder. Ketika piston berada pada titik mati bawah, saluran masukan udara akan terbuka sehingga udara mengalir ke dalam silinder. Tekanan tinggi dari blower yang membuat udara dapat mengalir ke dalam silinder

2. Langkah Kompresi

   Pada saat piston akan naik, saluran masuk dan katup buang akan menutup sehingga udara didalam silinder tertekan. Saat piston mendekati titik mati atas, bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder. Hal ini menyebabkan bahan bakar terbakar oleh panas yang dihasilkan dari penekanan udara.

3. Langkah Ekspansi

Proses pembakaran ini menghasilkan tenaga dari proses ekspansi gas yang menekan piston hingga mencapai titik mati bawah. Pada saat ini, kedua katup tertutup.

4. Langkah Buang

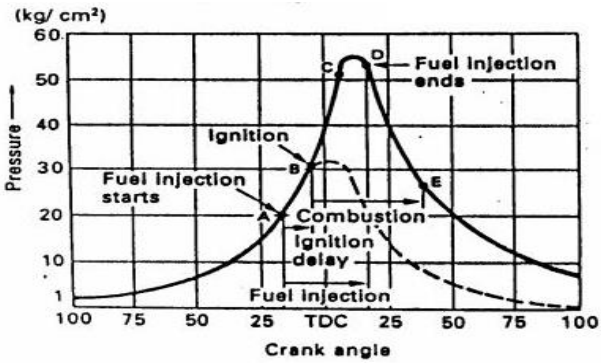
Gas buang hasil pembakaran terbuang keluar melalui katup buang yang terbuka pada bagian atas silinder ketika piston hampir mencapai titik mati bawah hingga piston kembali menuju titik mati atas. Akhir langkah ini adalah ketika piston mencapai titik mati atas. Siklus berulang lagi dari awal.

2.3.1 Tahapan Pembakaran Pada Mesin Diesel

Pembakaran pada ruang bakar dapat terjadi apabila terdapat campuran bahan bakar yang dapat terbakar, sesuatu yang menyulut pembakaran, dan propagasi dari api dalam ruang bakar. Berikut tahapan-tahapan pembakaran pada mesin diesel yang digambarkan dengan diagram P – θ seperti pada gambar 2.4.

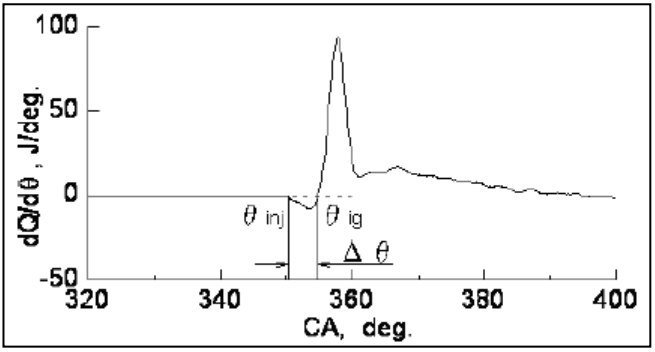
a. Tahap Pertama: *Ignition Delay* (A-B)

Periode ini disebut sebagai kelambatan pembakaran (*Ignition Delay Period*). Pada tahap ini sebagian bahan bakar telah diinjeksikan pada titik A dan baru akan muncul nyala pembakaran pada titik B. Maka dari itu, pada periode ini bahan bakar belum terbakar setelah diinjeksikan. Banyak faktor yang memengaruhi cepat lambat suatu *ignition delay* pada mesin diesel, seperti kecepatan putaran mesin diesel, pembebanan pada mesin, temperatur udara masuk, temperatur pendingin, temperatur oli, temperatur bahan bakar, ukuran droplet, dan tekanan *intake* udara.



Gambar 2.4 Proses pembakaran mesin diesel

Ignition delay dalam mesin diesel didefinisikan sebagai interval waktu antara awal injeksi bahan bakar (*start of injection*) sampai awal proses pembakaran (*start of combustion*). Beberapa faktor fisik dan kimia dapat mempengaruhi durasi *ignition delay*. Untuk faktor fisik diantaranya yaitu waktu injeksi pilot, kuantitas injeksi, ukuran dan kecepatan droplet, tekanan dan temperatur intake, dinding ruang bakar, laju putaran udara dalam silinder, serta konsentrasi oksigen dalam udara. Sedangkan untuk faktor kimia yaitu propertis bahan bakar yang didefinisikan sebagai *cetane number*. Grafik yang didapatkan dari pengambilan data *iginition delay* ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. *Ignition delay period* (Siagian & Silaban, 2013)

Sebuah rumus empiris dikembangkan oleh Hardenberg dan Hase dalam (Heywood, 1988) untuk memprediksi durasi *ignition delay* dalam mesin diesel *Direct-Injection* dalam berbagai kondisi operasi mesin. Untuk *ignition delay* dalam derajat *crankshaft*:

$$\tau_{id}(CA) = \left(0.36 + 0.22S_p\right) exp\left[E_A\left(\frac{1}{RT} - \frac{1}{17190}\right)\left(\frac{21.2}{p - 12.4}\right)^{0.63}\right]$$

dimana S_p adalah rata-rata kecepatan piston (m/s), R adalah konstanta gas universal (8.3143 J/mol.K) dan E_A adalah aktivasi energi yang nyata (J/mol).

$$\mathrm{E_A} = \frac{618840}{\mathrm{CN} + 25}$$

dimana CN adalah *cetane number*. Untuk *ignition delay* dalam miliseconds:

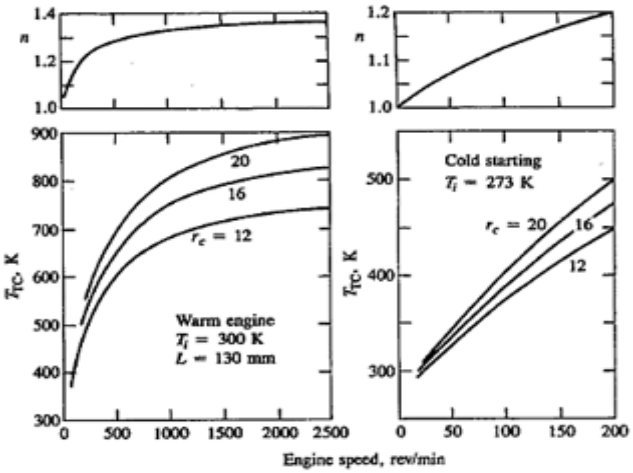
$$\tau_{id}(ms) = \frac{\tau_{id}(CA)}{0.006N}$$

dimana N adalah kecepatan mesin dalam RPM. Nilai untuk T dan p dan diestimasi menggunakan model polytropic untuk proses kompresi:

$$T_{TC} = T_i r_c \mathrm{n\text{-}1}$$

$$p_{TC} = p_i r_c \mathrm{n}$$

dimana n adalah eksponen *polytropic*, r_c adalah rasio kompresi, dan *i* dinotasikan sebagai kondisi *intake manifold*. Nilai eksponen *polytropic* untuk semua kondisi operasi mesin diesel *Direct-Injection* dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut ini:



Gambar 2.6 Eksponen n untuk Model *Polytropic* pada Proses Kompresi
(Heywood, 1988)

b. Tahap Kedua: *Uncontrolled Combustion* (B-C)

Pada tahap ini pembakaran tejadi secara cepat dan tidak terkendali. Periode ini terjadi setelah pembakaran awal terjadi yang diindikasikan oleh titik B – C. Bagian terluar dari droplet-droplet bahan bakar yang lebih dulu menerima panas, menguap, dan mengalami pembakaran. Akibat panas yang naik secara drastis dari pembakaran tersebut, bagian droplet-droplet yang belum terbakar ikut terbakar dengan cepat dan tidak beraturan. Hal ini menyebabkan tekanan naik sampai titik maksimum (Titik C). Sekitar sepertiga panas pembakaran dibebaskan selama periode ini.

c. Tahap Ketiga: *Controlled Combustion* (C-D)

Pada tahap ini terjadi pembakaran terkendali atau *controlled combustion*. Pada akhir tahap kedua, tekanan dan temperatur sudah sangat tinggi sehingga bahan bakar langsung terbakar setelah diinjeksikan. Pada periode ini nyala pembakaran bergerak

bersama menuju droplet-droplet yang baru diinjeksikan. Proses kontrol bahan bakar dapat dilakukan dengan mengatur laju penginjeksian. Periode ini berakhir setelah injektor berhenti menginjeksikan bahan bakar ke ruang bakar.

d. Tahap Keempat: *After Burning* (D-E)

Pada tahap ketiga proses injeksi bahan bakar sudah berakhir. Namun, tidak semua bahan bakar terbakar seluruhnya. Hal ini menyebabkan adanya pembakaran lanjutan sampai seluruh sisa bahan bakar terbakar. Apabila 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 yang belum terbakar tersebut akan ikut keluar bersama gas buang sebagai UHC (*Unburnt Hydrocarbon*).

2.3.2 Unjuk Kerja Mesin Diesel

Karakteristik operasi dan unjuk kerja dari mesin diesel antara lain :

1. Daya

Daya mesin merupakan daya yang diberikan untuk mengatasi beban yang diberikan. Untuk pengukuran diberikan beban lampu dengan daya 500 watt – 4000 watt. Daya yang dihasilkan pada mesin diesel yang dikopel dengan generator listrik dapat dihitung berdasarkan beban pada generator listrik dan dinyatakan sebagai daya efektif pada generator (*Ne*). Daya efektif (Ne) dapat dihitung dengan persamaan:

$$Ne = \frac{V x\ l\ x\ Cos\varphi}{\eta_{generator} x \eta_{transmisi}} (Watt)$$

Dimana:

Ne : Daya mesin (W)
V : Tegangan listrik (Volt)
I : Arus listrik (Ampere)

η_{trnsm} : Effisiensi transmisi (0,95)
$Cos\ \theta$: Faktor daya listrik (Cos φ) = 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. Momen torsi dihitung dengan persamaan seperti berikut:

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

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 (*bmep*)

Proses pembakaran campuran udara-bahan bakar menghasilkan tekanan yang bekerja pada piston sehingga melakukan langkah kerja. Besarnya tekanan ini berubah-ubah sepanjang langkah piston tersebut. Bila diambil tekanan yang berharga konstan yang bekerja pada piston dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan tersebut dikatakan sebagai kerja per siklus per volume langkah piston. Tekanan efektif rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang volume langkah piston sehingga

menghasilkan daya yang besarnya sama dengan daya efektif. Perumusan *bmep* adalah:

$$bmep = \frac{NexZx60}{A\ x\ l\ x\ n\ x\ i}\ (N/m^2)$$

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 :

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

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:

$$\eta th = \frac{Daya\ efektif\ yang\ dihasilkan}{\dot{m}\ bahan\ bakar\ x\ LHV\ bahan\ bakar}\ x\ 100\%$$

Dimana *LHV* bahan bakar adalah niai 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:

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

dimana:

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

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

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

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

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

2.3.3 Emisi Gas Buang Mesin Diesel

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

a) Sumber

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

b) 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.

c) 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.

Pada mesin diesel, bahan bakar dan udara tercampur di dalam ruang bakar. Proses pembakarannya terjadi karena udara terkompresi pada tekanan tinggi sehingga menghasilkan temperatur tinggi yang membuat bahan bakar terbakar setelah diinjeksikan. Pada pembakaran sempurna seharusnya mesin diesel hanya menghasilkan emisi gas buang CO_2 dan H_2O. Namun pada kenyataannya tidak semua bahan bakar habis terbakar atau disebut pembakaran tidak sempurna, karena disebabkan beberapa faktor seperti *ignition timing*, kandungan bahan bakar, kondisi mesin, dan masih banyak faktor lainnya.

1. 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 di dalam 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.

2. UHC (Unburned Hidrocarbon)

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 di tangki bahan bakar dan dari kebocoran gas yang melalui celah antara silinder dari torak masuk ke dalam 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.

3. Carbon Monoksida (CO)

Karbon dan oksigen dapat bergabung membentuk senyawa karbon monoksida (CO) sebagai hasil pembakaran yang tidak sempurna dan karbon dioksida (CO_2) 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.

4. Nitrogen Oksida (NO_x)

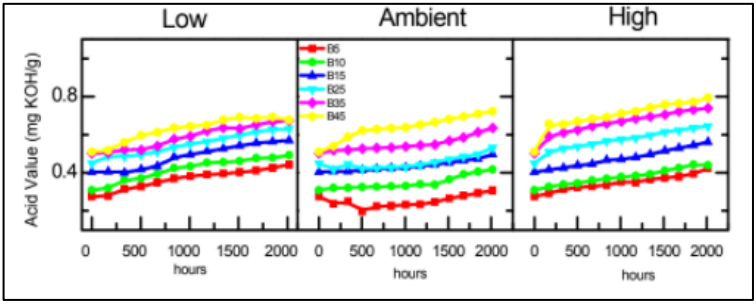
Senyawa nitrogen oksida yang sering menjadi pokok pembahasan dalam masalah polusi udara adalah NO dan NO_2. Kedua senyawa ini terbuang langsung ke udara bebas dari hasil pembakaran bahan bakar. Nitrogen monoksida (NO) merupakan gas berwarna cokelat kemerahan dan berbau tajam. Gas NO merupakan gas yang berbahaya karena mengganggu syaraf pusat. Gas NO terjadi karena adanya reaksi antara ion-ion N_2 dan O_2.

2.4 Penelitian Terdahulu

2.4.1 Penelitan oleh Hanis Zakaria (2013)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari temperatur dan durasi penyimpanan biodiesel terhadap *properties*nya sebagai bahan bakar alternatif. Penelitian dilakukan dengan melakukan variasi campuran bahan bakar. Kemudian sampel disimpan dalam gelas transparan dengan 3 kondisi temperatur (*low*, *ambient*, dan *high*). Sampel disimpan selama 2016 jam dan dilakukan pengujian setiap minggu.

Dari gambar 2.7 dapat dilihat bahwa semua variasi mengalami kenaikan nilai *acid value*. Besarnya rasio biodiesel pada bahan bakar juga meyebabkan tingginya laju kenaikan *acid value* dan lebih tidak stabil dibandingkan bahan bakar dengan rasio lebih kecil.



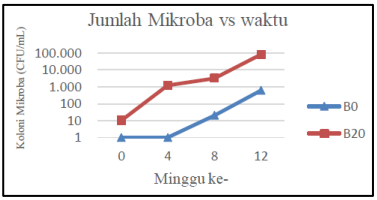
Gambar 2.7 Grafik bilangan keasaman biodiesel

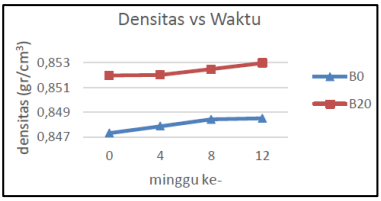
Pengaruh durasi dan temperatur penyimpanan juga mengakibatkan kenaikan water content, density, kinematic viscosity. Proses oksidasi terjadi pada semua sampel namun tidak signifikandan masih pada batas yang diterima.

2.4.2 Penelitian oleh Faizal Ibrahim (2019)

Biodiesel memiliki sifat higroskopis, yaitu zat yang mempunyai kemampuan menyerap molekul air dengan baik, sehingga ketika bahan bakar ini disimpan akan mengubah *properties*nya dan memunculkan mikroorganisme. Pada penelitian ini bahan bakar yang digunakan adalah B20 (20%-vol biodiesel dan 80%-vol petroleum diesel) dan petroleum diesel sebagai pembanding. Metode yang dilakukan adalah eksperimental dengan tiga jenis pengujian yaitu pengujian mikroba, pengujian *properties*, dan pengujian unjuk kerja serta emisi. Dilakukan penyimpanan selama 12 minggu dan dilakukan pengujian pada minggu ke 0, 4, 8 dan 12.

Dari hasil penelitian yang dilakukan, terjadi peningkatan kontaminan mikroba pada kedua bahan bakar, tetapi pada B20 kandungan mikrobanya jauh lebih banyak. Peningkatan juga diikuti *properties* lainnya seperti water content, angka keasaman, densias, dan viskositas selama penyimpanan seperti terlihat pada gambar 2.8 di atas.

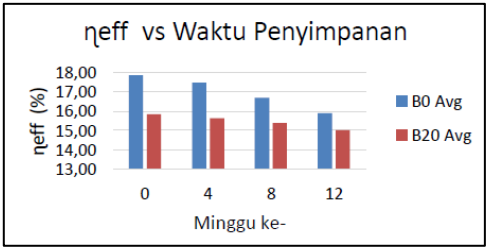




(a) (b)

Gambar 2.8 Grafik pembentukan mikroba (a) dan perubahan densitas (b) terhadap durasi penyimpanan

Pada pengujian unjuk kerja, seperti pada gambar 2.9, dari pengaruh penyimpanan bahan bakar terjadi penurunan effisiensi termal pada kedua bahan bakar, dan juga terjadi peningkatan BSFC. Efek lain dari penyimpanan ini juga terjadi pada emisi yang dihasilkan, dimana mengalami penurunan selama durasi penyimpanan.



Gambar 2.9 Grafik smoke opacity terhadap durasi penyimpanan

2.4.3 Penelitian oleh Leily Nurul Komariah (2018)

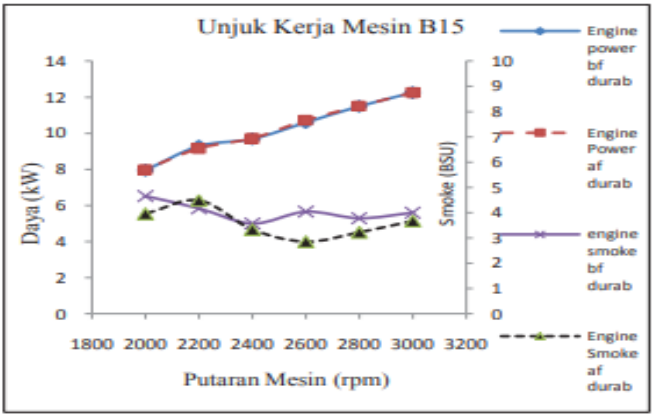
Pada penelitian ini bahan bakar terlebih dahulu disimpan selama 6-7 bulan dalam tangki dengan bahan bakar stainless steel. Sampel kemudian dianalisa untuk melihat perbedaan terhadap beberapa *properties* bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan adalah B20 dan B100. Pengujian dilakukan pada boiler fuel system, dimana bahan bakar dilewatkan melalui filter selama 3500 jam.

Gambar 2.10 Penyumbatan pada filter dengan bahan bakar biodiesel

Besarnya perubahan *properties* yang terjadi pada biodiesel dan campurannya sejalan dengan peningkatan pembentukan kontaminan pada bahan bakar. Hal ini dapat meningkatkan terjadinya penyumbatan pada filter bahan bakar. Semakin tinggi rasio biodiesel pada bahan bakar semakin besar kemungkinan terjadinya penyumbatan tersebut terjadi. Dari hasil pengamatan pada gambar 2.10, dapat dilihat bahwa permukaan filter yang menggunakan bahan bakar biodiesel lebih banyak terdapat endapan minyak berupa lumpur. Hal ini menunjukkan tingginya kandungan asam lemak pada biodiesel dan pembentukan senyawa kontaminan dengan mudah menjadi gel.

2.4.4 Penelitian oleh Prawoto dan Ihwan Haryono (2015)

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui unjuk kerja dan ketahanan mesin serta mengevaluasi pangaruh penggunaan bahan bakar biodiesel tersebut. Hal ini dilakukan melalui beberapa tahap yaitu uji kerja dan pengujian ketahanan 1000 jam. Pengujian dilakukan pada mesin diesel stasioner (generator set) dengan menggunakan bahan bakar campuran biodiesel-solar dengan komposisi B10 (10% biodiesel), B15 (15% biodiesel) dan B0 (100% solar0 sebagai pembanding.



Gambar 2.11 Grafik unjuk kerja sebelum dan sesudah uji ketahanan

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan bakar biodiesel FAME pada jangka waktu yang panjang dilakukan uji unjuk kerja awal dan akhir. Pada gambar 2.11 dapat dilihat bahwa daya mesin dengan bahan bakar B15 sebelum dan sesudah uji ketahanan relatif sama. Hal ini juga terjadi pada mesin dengan bahan bakar B0 dan B10. Untuk emisi gas asap smoke, bahan bakar B15 mengalami penurunan. Namun pada bahan bakar B0 terjadi kenaikan emisi. Penambahan biodiesel dalam jumlah tertentu dapat menurunkan emisi gas asap.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental. Terdapat tiga jenis pengujian yang dilakukan yaitu pengujian jumlah mikroba terkandung di Laboratorium Mikrobiologi Departemen Biologi FSAD-ITS, pengujian propertis bahan bakar di Laboratorium Energi dan Lingkungan LPPM-ITS, dan pengujian unjuk kerja yang dilakukan pada mesin diesel Diamond 800 sebagai alat uji dengan poros utama yang telah terkopel langsung dengan *electrical generator* sebagai *electrical dynamometer* di Laboratorium Rekayassa Termal & Sistem Energi Teknik Mesin FTIRS-ITS.

3.2 Penyimpanan Bahan Bakar

Tahap penyimpanan dilakukan secara bertahap meliputi rancang bangun tangki penyimpanan untuk bahan bakar Dexlite, B-30, dan B-100 dengan kapasitas 150L, analisa awal produk bahan bakar dan studi laju degradasi pada tahap penyimpanan produk. Proses penyimpanan dilakukan di dalam ruangan dengan temperatur ambient.

Gambar 3.1 Tangki penyimpanan bahan bakar

3.2.1 Prosedur Penyimpanan

Adapun tahapan dalam prosedur penyimpanan adalah sebagai berikut:

a. Persiapan alat- alat penyimpanan yang digunakan
b. Pembersihan tangki bahan bakar
c. Bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 dimasukkan ke dalam tangki dan disimpan pada ruangan temperatur ambient
d. Bahan bakar disimpan selama 12 minggu

3.2.2 Pengambilan Sampel

Adapun tahapan dalam prosedur pengambilan sampel uji adalah sebagai berikut:

a. Pengambilan bahan bakar untuk pengujian dilakukan pada minggu 0, 6, dan 12.
b. Sebelum pengambilan sampel uji terlebih dahulu dilakukan pengadukan bahan bakar untuk memastikan bahan bakar dalam kondisi homogen.

3.3 Pengujian Kandungan Mikroba

Pengujian ini menggunakan metode TPC (*total plate count)* pada medium *Nutrient Agar* (NA) untuk mengetahui kelimpahan bakteri pada sampel bahan bakar. Hal yang akan diamati berupa jumlah koloni bakteri dalam kandungan sampel koloni yang dapat dihitung menggunakan *colony counter*. Pengambilan sampel uji bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 dilakukan pada minggu ke-0, 6, dan 12. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Departemen Biologi FSAD-ITS.

3.4 Pengujian Propertis Bahan Bakar

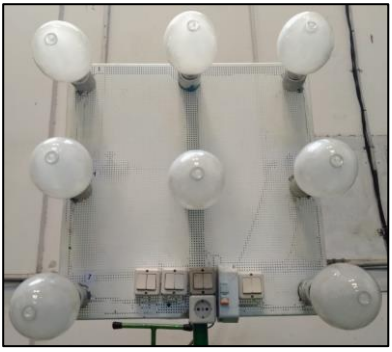
Pengujian *properties* bahan bakar yang terdiri dari: densitas (Piknometer), viskositas (ASTM D 445-97), nilai kalor (IK/LEL-ITS/BK), *water content (*ASTM D 6304*)*, Total sulfur (SNI 7431:2008), bilangan asam (ASTM D 664). Pengantaran sampel bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 dilakukan pada minggu ke-0, 6, dan 12. Pengujian properties bahan bakar dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan LPPM-ITS.

3.5 Pengujian Unjuk Kerja

3.5.1 Alat uji

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

1. Motor Diesel Empat Langkah, dengan spesifikasi:
   - *Merk* : Diesel Diamond
   - *Type* : DI 800
   - *Model* : 1 Silinder Diesel 4 langkah
   - *Bore* x *Stroke* : 82 mm x 78 mm
   - *Displacement* : 411 cc
   - *Max. Power* : 8 HP (6 KW) / 2400 rpm
   - *Continuous Power* : 7 HP (5.22 KW)/2200 rpm
   - *Compression Ratio* : 18:1
   - *Cooling system* : Hopper/ Condenser
   - *Lube capacity* : 1,8liter
2. *Generator Electrical Dynamometer*, dengan spesifikasi:
   - *Type* : ST-6
   - *Voltage - Ampere* : 230 V – 26,1 A (AC)
   - Max AC Output : 6 KW
   - *Frequency* : 50 Hz
   - *Loading System* : *Electric Bulb System*
   - *Electric Control* : *Volt meter,Amperemeter, Switch*
3. Beban Listrik



Gambar 3.2 Lampu pembebanan

Beban lampu terdiri atas lampu pijar sebanyak 8 buah dengan konsumsi daya masing- masing lampu sebesar 500 Watt. Lampu- lampu tersebut disusun secara paralel dengan masing-masing lampu dilengkapi dengan tombol stop/ kontak untuk pengaturan beban bahan bakar yang akan diuji. Susunan lampu pembebanan dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut.

3.5.2 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 yang dikonsumsi mesin dalam waktu tertentu.

2. Stopwatch

   Alat ini digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan mesin diesel untuk mengkonsumsi bahan bakar dalam pipet columetrik.

3. Multimeter

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

4. Tachometer Digital

   Alat ini digunakan untuk mengukur putaran *engine*.

5. *Smoke Tester*

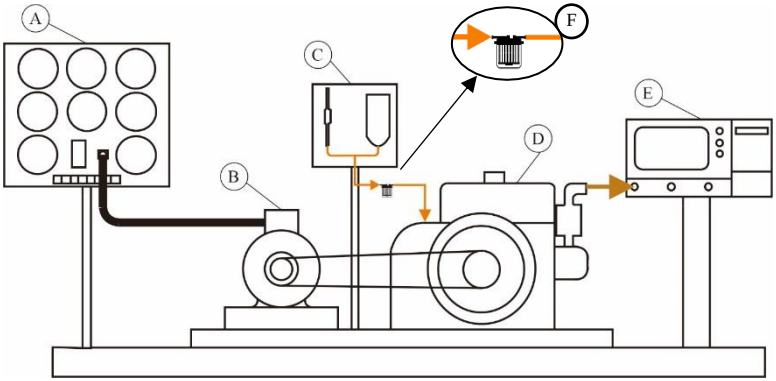
   Alat ini digunakan untuk mengukur smoke opacity dari gas buang yang dihasilkan oleh mesin diesel. Dalam pengujian ini digunakan *Gas Analyzer* STAR GAS 898 sebagai *reader*.

6. *Thermocouple*, *Thermo Selector* dan *Display*

   Thermocoumple digunakan berfungsi sebagai sensor untuk mengukur temperatur gas buang yang dihasilkan mesin diesel.Pembacaan temperaturnya akan ditampilkan memlalui *thermo selector* dan *display*.

3.6 Rancangan Eksperimen

3.6.1 Skema Alat



Gambar 3.3 Skema peralatan pengujian

Keterangan:

A. Lampu pembebanan
B. Generator
C. Pipet ukur bahan bakar
D. Mesin diesel
E. *Gas analyzer* (*reader smoke tester*)
F. Eksternal filter bahan bakar (opsional)

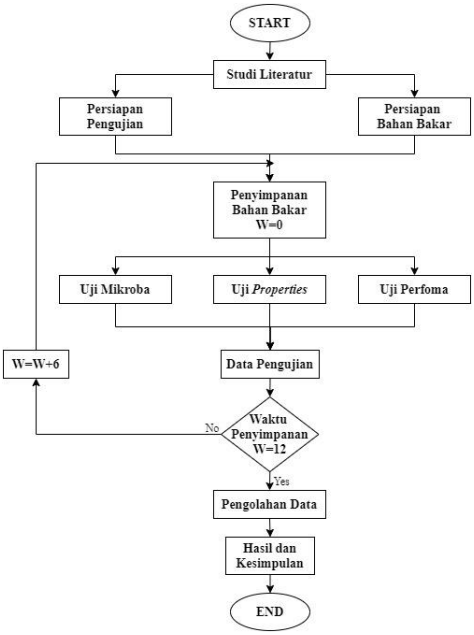
3.6.2 Parameter Eksperimen

Tabel 3.1 Tabel matriks pengujian

Parameter Input				**Parameter Output**	
Konstan	Variasi			Diukur	Dihitung
1. Putaran mesin diesel 2500 rpm 2. Tipe generat	*Fuel*	*Storage Duration*	Beban	• Waktu konsumsi bahan bakar 25 ml (s) • Arus (I)	• Daya • Torsi • SFC • Efisiensi termal • BMEP
	B0	• Minggu ke-0 • Minggu ke-6	• 500 W • 1000 W		

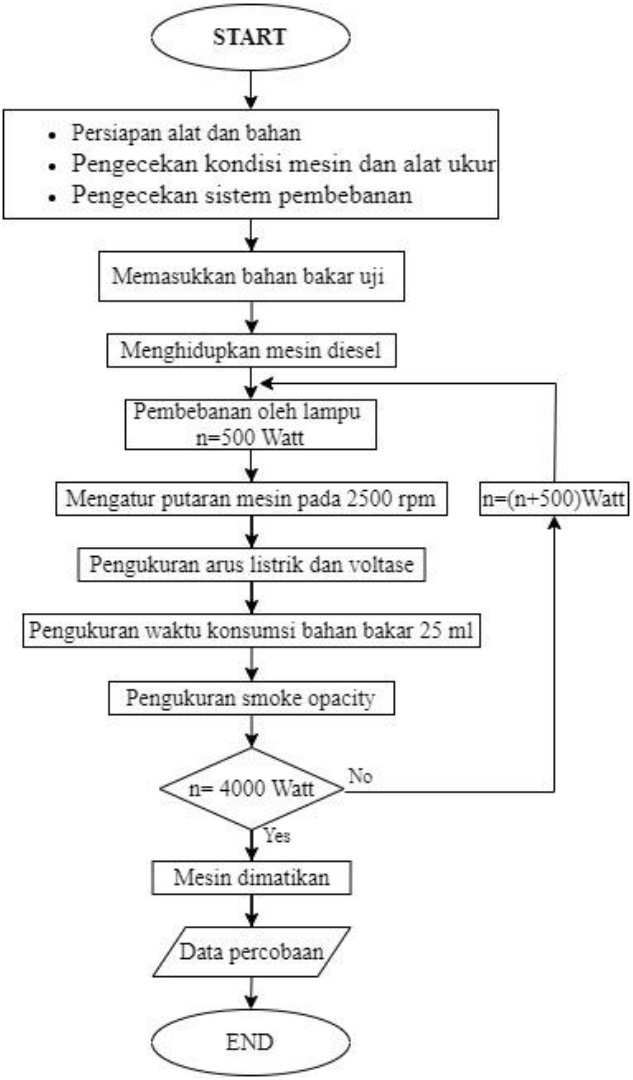
or set mesin diesel 3. *Start of injection* 13° BTDC	B30 B100	• Minggu ke-12	• 1500 W • 2000 W • 2500 W • 3000 W • 3500 W • 4000 W	• Tegangan (V) • Smoke opacity (%) • Temperatur gas buang (°C) • Pengotor pada filter (gr)	

3.7 Flowchart Penelitian



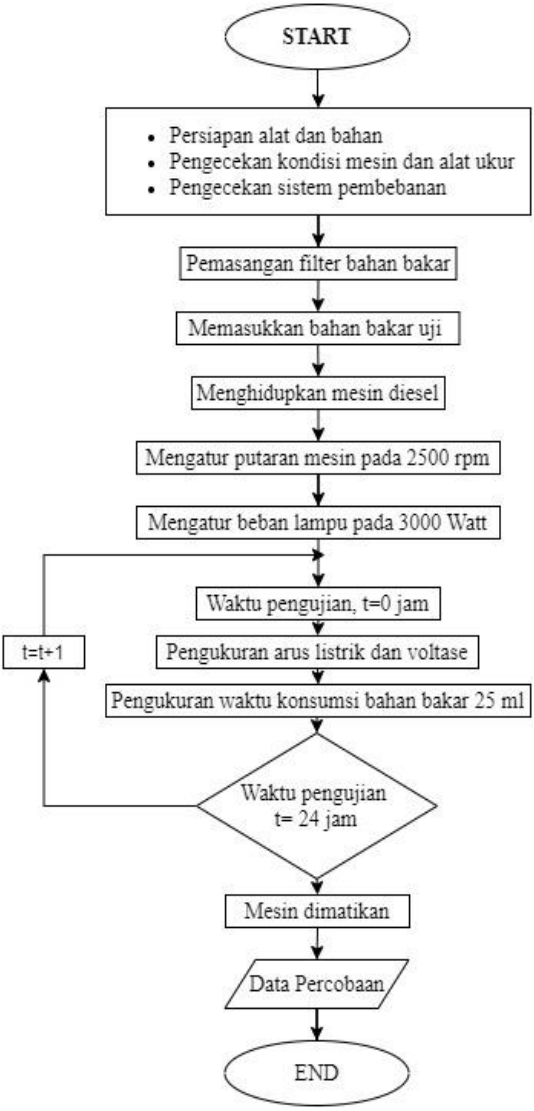
Gambar 3.4 *Flowchart* Penelitian

3.7.1 Flowchart Uji Perfoma



Gambar 3.5 *Flowchart* pengujian unjuk kerja mesin

3.7.2 Flowchart Uji Ketahanan



Gambar 3.6 *Flowchart* uji ketahanan dengan penambahan filter

BAB IV
PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas tentang hasil penelitian yang meliputi pengujian, perhitungan, dan analisa. Adapun pengujian yang dilakukan yaitu kandungan mikroba, sifat fisis dan kimia dari bahan bakar serta berat pengotor pada filter bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan adalah Dexlite (B0), B20, dan Biodiesel (B100) yang disimpan selama 12 minggu dan dilakukan pengamatan dan pengujian pada minggu ke-0, 6, 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 unjuk kerja mesin. Adapun untuk data penelitian ini hanya data- data tertentu yang akan ditampilkan dalam bab ini yaitu data yang digunakan sebagai contoh perhitungan. Sedangkan data hasil penelitian dapat dilihat pada lembar lampiran.

Bahan bakar disimpan dalam tangki PVC pada temperatur ruangan. Penyimpanan bahan bakar dilakukan untuk memodelkan penyimpanan dalam jumlah besar, dimana tangki bahan bakar memiliki ventilasi untuk akses udara. Dalam pengerjaan di lapangan, tangki penyimpanan pada minggu ke-0 sampai minggu ke-6 dalam keadaan tertutup rapat (*sealed)* sehingga tidak ada akses masuk udara. Hal ini berdampak pada beberapa pengujian bahan bakar. Selanjutnya penyimpanan bahan bakar pada minggu ke-6 sampai mnggu ke-12 dilakukan pembukaan *sealed* pada tangki PVC. Pembukaan *sealed* mengakibatkan ada ventilasi sebagai akses masuk udara.

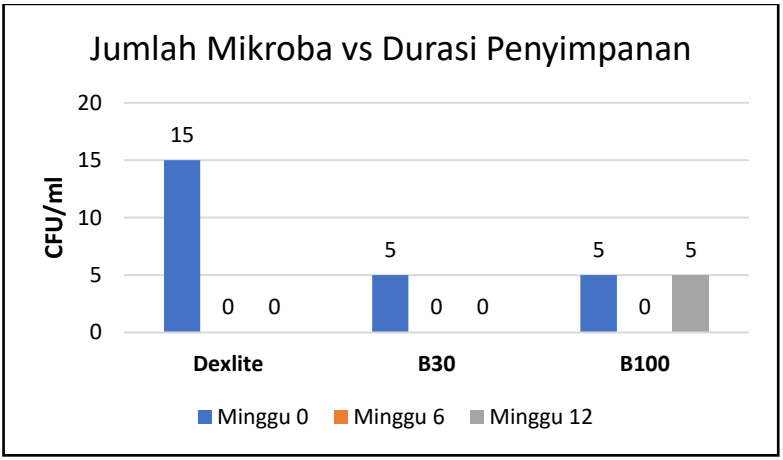
Hasil Pengujian Bahan Bakar

Pengujian bahan bakar yang dilakukan meliputi pengujian kandungan mikroba di Laboratorium Mikrobiologi Departemen Biologi FSAD-ITS, pengujian properties bahan bakar di Laboratorium Energi dan Lingkungan LPPM-ITS, dan pengujian perfoma di Laboratorium Rekayasa Termal & Sistem Energi Departemen Teknik Mesin FTIRS-ITS. Penyimpanan bahan bakar

dilakukan selama 12 minggu dan dilakukan pengujian pada minggu ke-0, 6 dan 12. Selanjutnya akan dilakukan analisa terhadap hasil pengujian tersebut.

4.1 Pengujian Kandungan Mikroba

Pengujian kandungan mikroba pada bahan bakar yang disimpan selama 12 minggu dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Departemen Biologi FSAD-ITS. Pengujian tersebut dilakukan pada minggu ke-0, 6, dan 12. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan mikroba yang terbentuk selama penyimpanan bahan bakar.



Gambar 4.1 Grafik jumlah mikroba terhadap durasi penyimpanan pada setiap bahan bakar

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Departemen Biologi FSAD-ITS menunjukkan hasil yang berbeda dari hipotesa awal. Dari penelitian terdahulu dapat dilihat bahwa penyimpanan bahan bakar akan menyebabkan peningkatan kandungan mikroba. Namun dari hasil penelitian terlihat bahwa lama penyimpanan tidak menyebabkan adanya peningkatan kandungan mikroba, bahkan pada beberapa keadaan dapat dilihat bahan bakar tidak

mengandung mikroba. Pada awal penyimpanan bahan bakar dapat dilihat kandungan mikroba paling banyak terdapat pada bahan bakar Dexlite sebesar 15 CFU/ml, kemudian pada bahan bakar B30 dan B100 memiliki jumlah mikroba yang sama besar yaitu 5 CFU/ml. Pada pengamatan kedua (minggu ke-6) menunjukkan hasil yang sangat berbeda, dimana ketiga bahan bakar tidak mengandung mikroba sama sekali. Pada pengamatan ketiga (minggu ke-12), bahan bakar Dexlite dan B30 tidak mengandung mikroba, sementara bahan bakar B100 mengandung mikroba sebesar 5 CFU/ml.

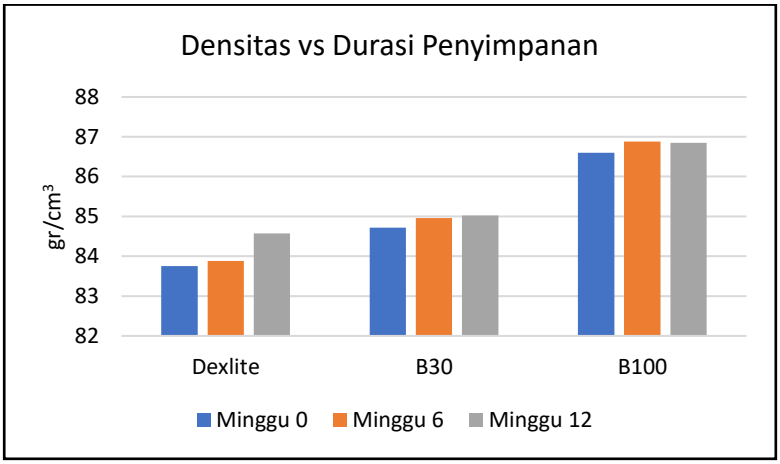
Dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan seperti pada gambar 2.8, dapat dilihat bahwa semua bahan bakar mengalami pengingkatan kandungan mikroba selama dilakukan penyimpanan selama 12 minggu. Penelitian sebelumnya berbeda dari penelitian ini yaitu tempat penyimpanan bahan bakar terbuat dari bahan *stainless steel*. Sehingga disimpulkan yang menyebabkan hasil pengujian tidak sesuai dengan hipotesa awal adalah tempat penyimpanan bahan bakar. Setelah dilakukan pencarian informasi lebih lanjut, didapatkan bahwa tempat penyimpanan tersebut berasal dari Pabrik Kimia Tjiwi Sidoarjo dan hanya dilakukan pembersihan seadanya dengan sabun. Tempat penyimpanan bahan bakar tersebut kemungkinan bisa meracuni mikroba yang terdapat pada bahan bakar.

4.2 Pengujian Kandungan Properties

4.2.1 Densitas

Densitas merupakan salah satu properties dari bahan bakar yang dapat mempengaruhi kualitas pembakaran dari mesin. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh durasi penyimpanan bahan bakar terhadap perubahan densitas bahan bakar. Grafik densitas terhadap durasi penyimpanan pada gambar 4.2 menunjukkan densitas paling tinggi terdapat pada bahan bakar biodiesel (B100), kemudian B30, dan densitas paling kecil yaitu bahan bakar dexlite. Secara umum semua bahan bakar mengalami peningkatan densitas seiring dengan bertambahnya durasi penyimpanan. Pada pengamatan pertama (minggu ke-0),

nilai densitas bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 83.75gr/cm^3, 84.72gr/cm^3, dan 86.6gr/cm^3. Pada pengamatan kedua (minggu ke-6), nilai densitas bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 83.88gr/cm^3, 84.96gr/cm^3, dan 86.88gr/cm^3. Pada pengamatan terakhir (minggu ke-12), nilai densitas bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 84.57gr/cm^3, 85.02gr/cm^3, dan 86.85gr/cm^3. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan densitas pada bahan bakar dexlite, B30, dan B100 secara berurutan sebesar 0.15%, 0.35%, dan 0.29% dari kondisi awal.



Gambar 4.2 Grafik densitas terhadap durasi penyimpanan bahan bakar

Meningkatnya nilai densitas dari bahan bakar disebabkan oleh peningkatan interaksi molekul dalam rangka pembentukan produk oksidasi. Proses oksidasi dapat berlangsung bila terjadi kontak antara sejumlah oksigen dengan minyak atau lemak.oksidasi biasanya dimulai dengan pembentukan peroksida dan hidroperoksida. Tingkat selanjutnya ialah terurainya asam-asam lemak disertai dengan konversi hidroperoksida menjadi aldehid dan keton serta asam- asam lemak bebas. Oksidasi pada biodiesel dapat menghasilkan senyawa hasil dekomposisi berupa

asam, aldehid, ester, keton, peroksida, maupun alcohol, yang dapat mempengaruhi karakteristik biodiesel maupun aktivitas pembakaran dalam mesin. Degradasi oksidatif selama penyimpanan yang lama dapat terjadi terjadi karena adanya udara, panas, cahaya, dan zat pro-oksidan. Anti oksidan dapat ditambahkan ke dalam biodiesel untuk mencegah oksidasi maupun meningkatkan stabilitas oksidasi biodiesel.

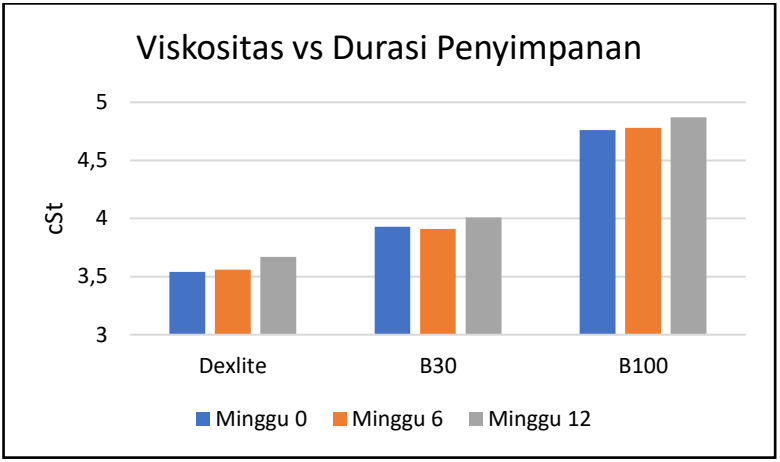
Peningkatan densitas ini juga terjadi pada penelitian sebelumnya seperti pada gambar 2.8, peningkatan paling besar terjadi pada bahan bakar B20. Bahan bakar yang memiliki rantai hidrokarbon yang lebih pendek dan lebih banyak asam lemak jenuh cenderung lebih rentan untuk terjadi kristalisasi, sehingga menyebabkan penurunan volume dan akibatnya terjadi peningkatan densitas. Secara bersamaan massa dari bahan bakar akan meningkat sebagai akibat dari oksidasi tesebut.

4.2.2 Viskositas

Viskositas suatu bahan bakar dapat mempengaruhi proses atomisasi saat dilakukan injeksi bahan bakar ke dalam ruang bakar, sehingga akan mempengaruhi kualitas dari suatu pembakaran. Penelitian ini bertujuan untuk melihat efek dari durasi penyimpanan bahan bakar terhadap viskositas bahan bakar.

Pengaruh durasi penyimpanan bahan bakar terhadap viskositas ditunjukkan pada gambar 4.4, dimana semua bahan bakar mengalami kenaikan viskositas seiring dengan bertambahnya durasi penyimpanan bahan bakar. Nilai viskositas paling besar dimiliki oleh bahan bakar biodiesel, kemudian B30, dan viskositas paling kecil pada bahan bakar dexlite. Pada pengamatan pertama (minggu ke-0), nilai viskositas bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 3.54cSt, 3.93cSt, dan 4.76cSt. Pada pengamatan kedua (minggu ke-6), nilai viskositas bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 3.56cSt, 3.91cSt, dan 4.78cSt. Pada pengamatan terakhir (minggu ke-12), nilai viskositas bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 3.67cSt, 4.01cSt, dan 4.87cSt. Dari

data tersebut dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan viskositas pada bahan bakar dexlite, B30, dan B100 secara berurutan sebesar 3.67%, 2.03%, dan 2.31% dari kondisi awal.



Gambar 4.3 Grafik viskositas terhadap durasi penyimpanan bahan bakar

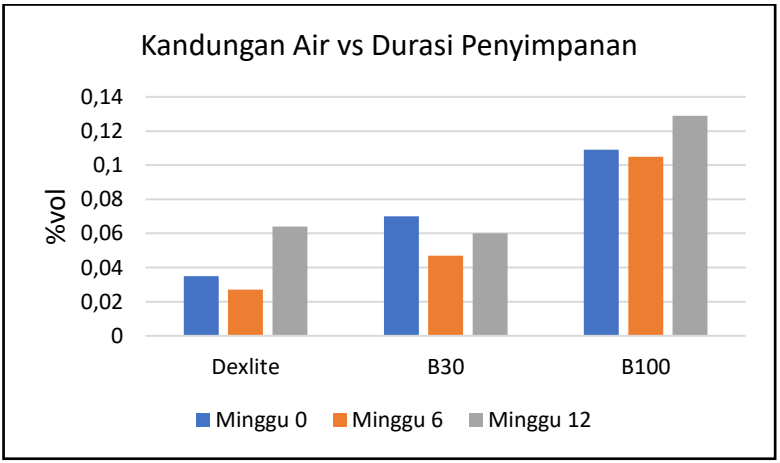
Peningkatan nilai viskositas pada bahan bakar disebabkan karena terjadinya proses oksidasi. Proses oksidasi menyebabkan pembentukan asam lemak, isomerisasi ikatan rangkap, saturasi dan produksi molekul yang lebih berat sehingga nilai viskositas bahan bakar meningkat dengan meningkatnya oksidasi selama proses penyimpanan.

4.2.3 Kandungan Air (*Water Content*)

Kandungan air dalam suatu bahan bakar diduga merupakan pemicu munculnya kontaminan mikroba. Adanya kandungan air dalam suatu bahan bakar juga akan mempengaruhi kualitas dari pembakaran mesin tersebut. Sehingga dilakukan pengujian untuk melihat pengaruh durasi penyimpanan terhadap kandungan air dalam bahan bakar.

Pengujian kanduangan air pada bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.4. Secara umum terlihat bahwa kandungan air pada

bahan bakar Biodiesel lebih tinggi dibandingkan bahan bakar lainnya, kemudian disusul B30 dan kandungan air paling rendah pada bahan bakar Dexlite. Jika diperhatikan kandungan air pada ketiga bahan bakar memiliki trend yang sama, dimana kandungan air pada minggu ke-6 lebih rendah dibandingkan pada minggu ke-0. Adanya penurunan kandungan air pada minggu ke-6 memang tidak signifikan, hal ini mungkin terjadi karena pada saat dilakukan penyimpanan bahan bakar dari minggu ke-0 sampai minggu ke-6 penyimpanan dalam kondisi anaerob, sehingga tidak ada akses udara untuk memasuki tangki dan berinteraksi langsung dengan bahan bakar. Pada pengamatan pertama (minggu ke-0), nilai kandungan air bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 0.035%, 0.07%, dan 0.109%. Pada pengamatan kedua (minggu ke-6), nilai kandungan air bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 0.027%, 0.047%, dan 0.105%. Pada pengamatan terakhir (minggu ke-12), nilai kandungan air bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 0.064%, 0.06%, dan 0.129%.

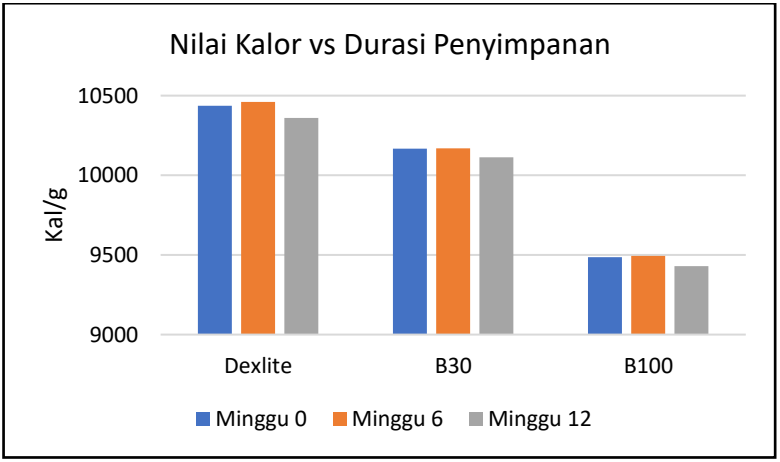


Gambar 4.4 Grafik kandungan air terhadap durasi penyimpanan bahan bakar

Kandungan air pada minggu ke-12 mengalami peningkatan pada semua bahan bakar. Hal ini mungkin terjadi karena kondisi penyimpanan dari minggu ke-6 hingga minggu ke-12 dalam kondisi aerob. Kondisi ini menyebabkan adanya akses udara untuk masuk kedalam tangki dan memungkinkan adanya interaksi langsung dengan bahan bakar. Perbedaan jumlah kandungan air pada bahan bakar juga dipengaruhi dari asal bahan bakar tersebut, dimana bahan bakar biodiesel yang digunakan berasal dari minyak kelapa sawit. Selain itu biodiesel juga memiliki sifat higroskopis yang menyebabkan bahan bakar lebih mudah menyerap air dibandingkan bahan bakar lainnya. Persentase biodiesel pada bahan bakar akan menyebabkan kenaikan kandungan air pada bahan bakar campuran.

4.2.4 Nilai Kalor

Nilai kalor dari suatu bahan bakar merupakan jumlah panas yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan udara. Pengujian ini bertujuan untuk melihat pengaruh penyimpanan bahan bakar terhadap nilai kalor bahan bakar.



Gambar 4.5 Grafik nilai kalor terhadap durasi penyimpanan bahan bakar

Pengaruh durasi penyimpanan bahan bakar terhadap nilai kalor suatu bahan bakar ditunjukkan seperti pada gambar 4.5. Nilai kalor paling tinggi dimiliki oleh bahan bakar Dexlite (B0), kemudian B30 dan paling rendah pada biodiesel (B100). Pada pengamatan pertama (minggu ke-0), nilai kalor bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 10436Kal/kg, 10167Kal/kg, dan 9486Kal/g. Pada pengamatan kedua (minggu ke-6), nilai kalor bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 10461Kal/kg, 10169Kal/kg, dan 9493Kal/g. Adanya kenaikan nilai kalor pada minggu ke-6 memang tidak signifikan, hal ini mungkin terjadi karena pada saat dilakukan penyimpanan bahan bakar dari minggu ke-0 sampai minggu ke-6 penyimpanan dalam kondisi anaerob, sehingga tidak ada akses udara untuk memasuki tangki dan berinteraksi langsung dengan bahan bakar yang menyebabkan penurunan kandungan air pada bahan bakar.

Pada pengamatan terakhir (minggu ke-12), nilai kalor dari semua bahan bakar mengalami penurunan. Nilai kalor bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 10361Kal/kg, 10112Kal/kg, dan 9430Kal/g. Setelah dilakukan penyimpanan selama 12 minggu terjadi penurunan nilai kalor pada bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan sebesar 0.71%, 0.54%, dan 0.59%. Hal ini mungkin terjadi karena kondisi penyimpanan dari minggu ke-6 hingga minggu ke-12 dalam kondisi aerob. Kondisi ini menyebabkan adanya akses udara untuk masuk kedalam tangki dan memungkinkan adanya interaksi langsung dengan bahan bakar.

4.3 Contoh Perhitungan

Perhitungan yang ditampilkan berikut ini adalah perhitungan untuk bahan bakar Dexlite pada kondisi penyimpanan minggu ke-0. Perhitungan dilakukan pada pembebanan lampu 500Watt pada putaran mesin 2500 rpm dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data contoh perhitungan

Beban (Watt)	**RPM**	**Generator**		**Bahan Bakar**	
		Arus (A)	**Tegangan (V)**	**Volume**	**Waktu Konsumsi (s)**
500	2500	3.1	220	25	137

4.3.1 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 (Ne), yang mana satuannya dalam bentuk watt (W). Hubungan tersebut dinyatakan dengan persamaan dibawah ini:

$$Ne = \frac{Vx\ l\ x\ Cos\varphi}{\eta_{generator}}(Watt)$$

Dimana:

V : 220 V
I : 3.1 A
$Cos\varphi$: 1
η generator : 0.9

maka:

$$Ne = \frac{220\ x\ 3.1\ x\ 1}{0{,}9} Watt$$

$$Ne = \frac{682}{0{,}9} Watt$$

$$Ne = 757.78\ Watt$$

Dari perhitungan didapatkan daya yang dihasilkan *engine* Diesel berbahan bakar Dexlite pada kondisi awal dengan pembebanan 500Watt adalah 757.78Watt.

4.3.2 *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:

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

$$m_{bb} = \rho_{bb} x \, v_{bb} \; (kg)$$

Sedangkan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah:

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

Dimana:

ρ_{bb} : 0.837 gr/cm^3
v_{bb} : 10^{-5} m^3
s : 137 s
Ne : 757.78Watt

Maka:

$$m_{bb} = \rho_{bb} \; x \; v_{bb} \; (gr)$$

$$m_{bb} = 0.837 \; x \; 25 \; (gr)$$

$$m_{bb} = 20.925 \; gr$$

$$\dot{m}_{bb} = \frac{20.925}{137} (\, gr/s \,)$$

$$\dot{m}_{bb} = 0{,}1527 \left(\frac{gr}{s} \right)$$

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

$$sfc = 3600 \frac{0{,}1527}{757.78} \left(\frac{kg}{W.jam} \right)$$

$$sfc = 0{,}7256 \left(\frac{gr}{W.jam} \right)$$

$$sfc = 0{,}7256 \left(\frac{kg}{kW.jam} \right)$$

Dari perhitungan didapatkan *Spesific Fuel Consumtion* yang dihasilkan *engine* diesel dengan bahan bakar Dexlite pada penyimpanan minggu ke-0 dengan pembebanan 500Watt adalah 0,7256 kg/kWh.

4.3.3 Efisiensi Termal (ηth)

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:

$$\eta th = \frac{Ne}{\dot{m}\ bahan\ bakar\ x\ LHV\ bahan\ bakar}\ x\ 100\%$$

Dimana: Ne = 757.78Watt

ṁ = 0.1527 gr/s

LHV bb = 43831.2J/gr

Maka:

$$\eta th = \frac{757.78 Watt}{0.1527 \mathrm{gr/s} \times 43831 \mathrm{J/kg}}\ x\ 100\%$$

$$\eta th = \frac{757.78 Watt}{6692.99 J/s}\ x\ 100\%$$

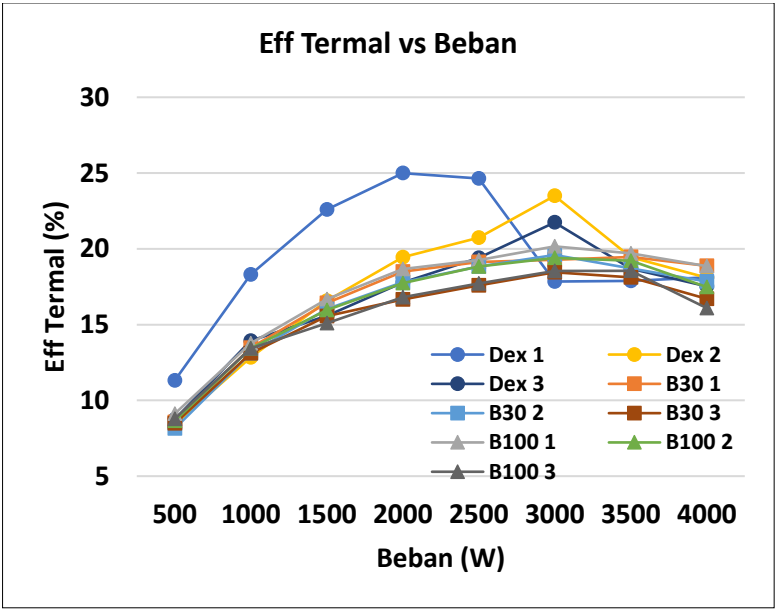
$$\eta th = 11.31\%$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai efisiensi termal yang dihasilkan oleh mesin diesel dengan bahan bakar Dexlite pada pembebanan 500Watt penyimpanan minggu ke-0 adalah 11.31%.

4.4 Hasil dan Analisa Pengujian Perfoma Mesin

4.4.1 Efisiensi Termal

Gambar di atas menunjukkan grafik efisiensi termal yang dihasilkan mesin terhadap daya yang dihasilkan. Perbandingan antara efisiensi terhadap daya yang dihasilkan dilakukan karena pembebanan yang dilakukan menggunakan lampu kurang baik. Ketika daya yang dihasilkan tidak mencapai total pembebanan oleh lampu, yang terjadi adalah lampu menjadi redup. Sehingga dengan melakukan perbandingan terhadapa daya yang dihasilkan akan lebih jelas menunjukkan fenomena yang terjadi antara penyimpanan bahan bakar terhadap unjuk kerja mesin tersebut.

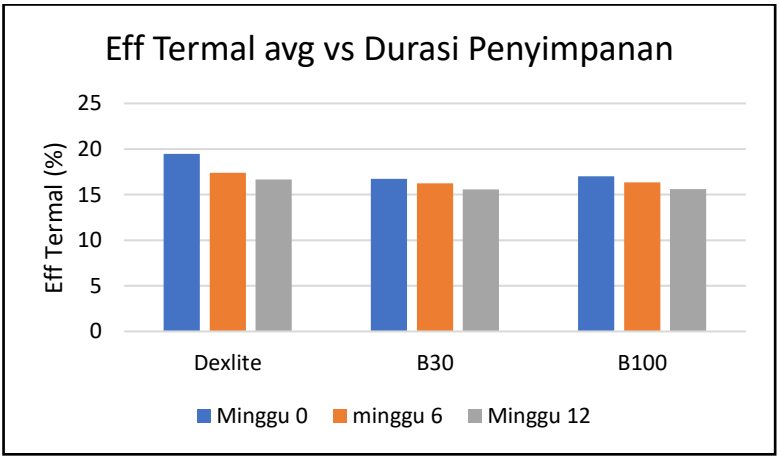


Gambar 4.6 Grafik efisiensi termal terhadap daya yang dihasilkan

Dari gambar 4.6 dapat dilihat bahwa trendline grafik pada semua bahan bakar mengalami kenaikan dan pada saat beban tinggi mengalami penurunan. Peningkatan tersebut terjadi disebabkan peningkatan temperatur yang akan menyebabkan bahan bakar yang

diinjeksikan semakin mudah terbakar dan terkonversi menjadi daya. Pada bahan bakar Dexlite penyimpanan minggu ke-0 memiliki grafik yang cukup berbeda dibandingkan bahan bakar lainnya. Pada beban diatas 3000Watt, efisiensi mengalami penurunan yang cuku signifikan mencapai 17.83% sementara daya yang dihasilkan terus meningkat. Adanya penurunan ini disebabkan konsumsi bahan bakar yang tinggi pada saat pembebanan tinggi.

Dari gambar 4.7 memperlihatkan grafik efisiensi termal rata- rata yang dihasilkan mesin dengan bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 pada interval pengujian 6 minggu. Didapatkan efisiensi termal rata- rata pada pengujian pertama (minggu ke-0) untuk bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 19.46%, 16.71%, dan 17.02%. Pengujian kedua (minggu ke-6) untuk bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 17.38%, 16.25%, dan 16.33%. Pengujian ketiga (minggu ke-12) untuk bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 16.67%, 15.58%, dan 15.62%.

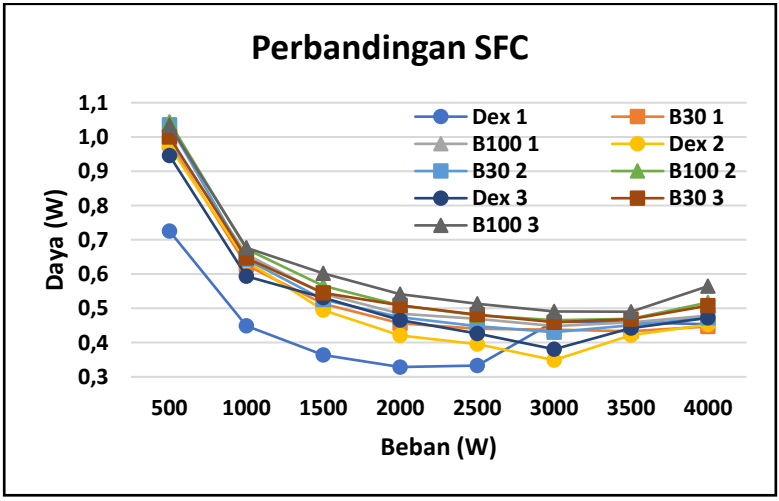


Gambar 4.7 Grafik efisiensi termal rata- rata terhadap durasi penyimpanan

Grafik diatas menunjukkan trend yang sama, dimana semua bahan bakar mengalami penurunan efisiensi setelah dilakukan penyimpanan bahan bakar. Rata- rata penurunan efisiensi termal dari awal hingga akhir untuk bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 adalah 14.33%, 6.7%, dan 8.22%. penurunan paling besar terjadi pada saat penggunaan bahan bakar Dexlite. Penurunan efisiensi termal yang terjadi ini berkaitan dengan degradasi yang terjadi selama proses penyimpanan. Kenaikan nilai densitas dan viskositas selama penyimpanan bahan bakar menjadi pemicu turunnya efisiensi termal tersebut. Meningkatnya viskositas akan menyebabkan proses atomisasi bahan bakar kurang baik, sehingga *droplet* yang dihasilkan cenderung lebih besar. Hal tersebut akan menyebabkan flame propagation yang terjadi di ruang bakar lebih lama dan memperbesar terjadinya *incomplete combustion*.

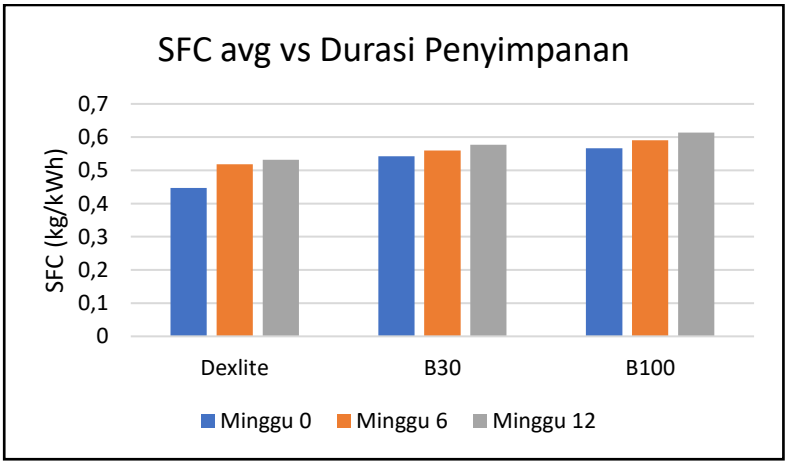
4.4.2 *Brake Spesific Fuel Consumption*

Grafik yang menunjukkan *brake spesific fuel consumption* (BSFC) yang dihasilkan oleh mesin terhadap daya yang dihasilkan untuk mengatasi beban dapat dilihat pada gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.8 Grafik BSFC terhadap daya yang dihasilkan

Grafik tersebut menunjukkan trend yang mirip, dimana BSFC mengalami penurunan seiring dengan kenaikan beban yang diberikan. Pada pembebanan awal 500Watt hingga beban 3000Watt pada hampir semua bahan bakar mengalami penurunan BSFC yang cukup signifikan, kemudian terjadi kenaikan pada pembebanan yang lebih tinggi. Hal ini terjadi karena pada pembakaran semakin baik sejalan dengan kenaikan beban, dimana temperatur akan meningkat yang membuat proses pembakaran bahan bakar lebih baik. Pada grafik bahan bakar Dexlite menunjukkan perbedaan dibandingkan bahan bakar yang lain, dimana BSFC menurun hingga pembebanan 2500Watt, dan untuk pembebanan yang lebih tinggi BSFC mengalami kenaikan. Hal ini terjadi karena konsumsi bahan bakar pada pembebanan tinggi mengalami kenaikan yang cukup signifikan sehingga gtafik BSFC mengalami kenaikan. Penambahan B100 pada bahan bakar Dexlite juga menyebabkna kenaikan BSFC.



Gambar 4.9 Grafik BSFC rata- rata terhadap durasi penyimpanan

Grafik *brake spesific consumption* rata- rata terhadap durasi penyimpanan bahan bakar Dexlite, B30 dan B100 yang dilakukan selama 12 minggu ditunjukkan pada gambar 4.9 di atas. Pada pengujian pertama (minggu ke-0) didapatkan rata- rata BSFC

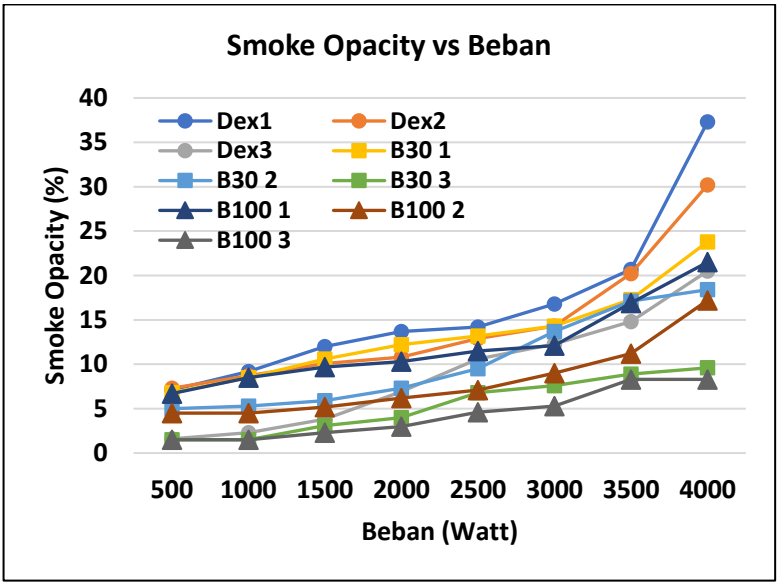
untuk bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 0.44kg/kWh, 0.54kg/kWh, dan 0.56kg/kWh. Pengujian kedua (minggu ke-6) didapatkan rata- rata BSFC untuk bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 0.51kg/kWh, 0.55kg/kWh, dan 0.59kg/kWh. Pengujian ketiga (minggu ke-12) didapatkan rata- rata BSFC untuk bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 0.53kg/kWh, 0.57kg/kWh, dan 0.61kg/kWh.

Secara umum bahan bakar Dexlite menghasilkan BSFC rata-rata yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar lainnya untuk setiap pengujian. Jika dilihat pada grafik, BSFC mengalami kenaikan pada semua bahan bakar setelah dilakukan penyimpaban bahan bakar. Kenaikan BSFC pada bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara beurutan adalah 19.16%, 6.47%, dan 8.46%. Dari hasil tersebut menunjukkan Dexlite cenderung mengalami kenaikan BSFC yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar lannya. Fenomena ini terjadi karena penurunan nilai kalor bahan bakar selama dilakukan proses penyimpanan, sehingga mengakibatkan BSFC menjadi meningkat. Kenaikan BSFC ini juga terjadi karena adanya penurunan efisiensi termal setelah dilakukan penyimpanan bahan bakar.

4.4.3 *Smoke Opacity*

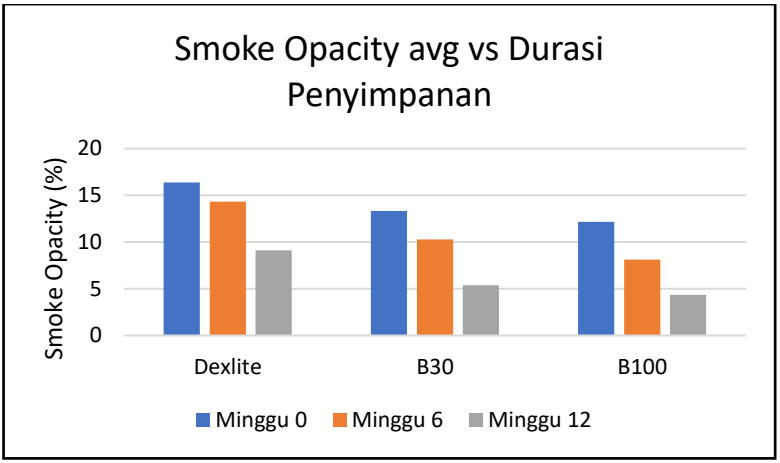
Grafik yang menunjukkan *smoke opacity* yang dihasilkan dari proses pembakaran terhadap daya yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 4.10. *Smoke opacity* adalah tingkat ketebalan asap yang dihasilkan oleh proses pembakaran pada mesin. Asap ini adalah bentuk padatan atau butiran karbon yang tercampur dengan gas buang yang merupakan hasil dari pembakaran tidak sempurna. Pada grafik dapat dilihat bahwa *smoke opacity* pada semua bahan bakar menunjukkan trendline yang mirip dimana terjadi kenaikan seiring dengan adanya kenaikan beban. Peningkatan ini terjadi karena suplai bahan bakar akan meningkat seiring dengan kenaikan beban yang diberikan. Penyimpanan bahan bakar menyebabkan terjadi penurunan *smoke opacity* pada semua bahan bakar. Selain itu penambahan B100 pada Dexlite menyebabkan penurunan kadar

smoke dapat dilihat pada grafik B30. Rendahnya kadar *smoke* pada B100 karena B100 memiliki kandungan oksigen yang lebih tinggi pada bahan bakar sehingga menyebabkan pembakaran yang lebih baik.



Gambar 4.10 Grafik smoke opacity terhadap daya

Grafik *smoke opacity* rata- rata terhadap durasi penyimpanan ditunjukkan oleh gambar 4.12. Pada pengujian pertama (minggu ke-0) didapatkan rata- rata *smoke opacity* untuk bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 16.37%, 13.33%, dan 12.15%. Pengujian kedua (minggu ke-6) didapatkan rata- rata *smoke opacity* untuk bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 14.31%, 10.27%, dan 8.11%. Pengujian ketiga (minggu ke-12) didapatkan rata- rata *smoke opacity* untuk bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 9.10%, 5.37%, dan 4.35%.



Gambar 4.11 Grafik smoke opacity rata- rata terhadap durasi penyimpanan

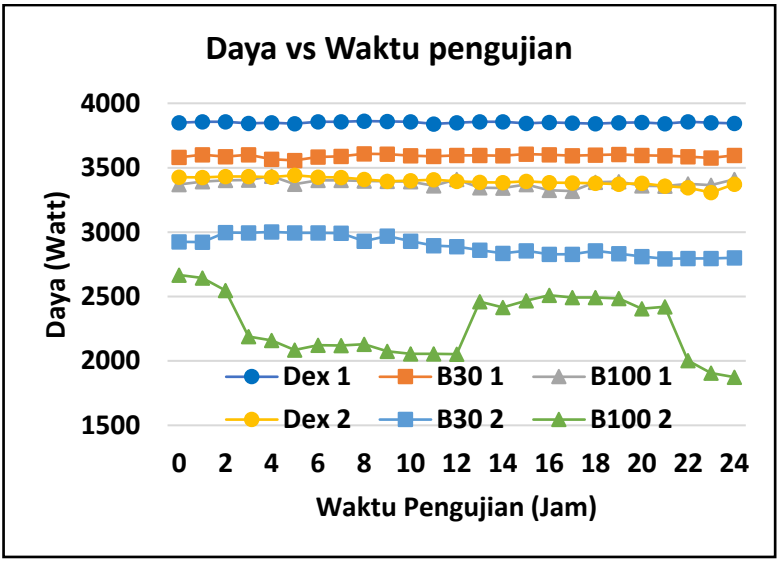
Secara umum bahan bakar Dexlite menghasilkan smoke opacity rata- rata yang kebih tinggi dibandingkan bahan bakar lainnya. Penyimpanan bahan bakar selama 12 minggu memberikan pengaruh penurunan smoke opacity yang dihasilkan. Dari grafik dapat dilihat menunjukkan penurunan nilai smokenya dengan bertambhnya durasi penyimpanan bahan bakar. Rata- rata penurunan yang terjadi pada bahan bakar Dexlite, B30, dan B100 adalah 44.41%, 59.71%, dan 64.19%. Hal ini menunjukkan B100 mengalami penurunan smoke opacity paling tinggi setelah dilakukan penyimpanan bahan bakar. Penurunan tersebut terjadi karena kandungan oksigen yang lebih tinggi dan kadar sulfur yang rendah pada biodiesel dibandingkan bahan bakar fosil. Kandungan oksigen dapat membantu proses pembakaran yang lebih baik.

4.5 Hasil Dan Analisa Grafik Uji Ketahanan Mesin Terhadap Unjuk Kerja

Berikut ini akan disajikan hasil uji ketahanan mesin yang dilakukan selama 24 jam. Hasil pengujian berupa grafik daya, konsumsi bahan bakar, efisiensi termal, smoke opacity, dan pengotor pada filter bahan bakar. Pengujian dilakukan pada minggu ke-6 dan minggu ke-12 penyimpanan bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan dalam pengujian ini adalah Dexlite, B30, dan B100. Pengujian dilakukan dengan melakukan pemberian beban 3000Watt pada mesin diesel dengan putaran konstan 2500rpm. Pada grafik hasil yang akan ditampilkan diberikan pemberian index angka 1 diakhir bahan bakar untuk menunjukkan uji ketahan I dan angka 2 untuk menunjukkan uji ketahanan II.

4.5.1 Daya

Grafik daya yang dihasilkan oleh mesin terhadap waktu pengujian dapat dilihat pada gambar 4.12. Daya mesin merupakan daya yang dihasilkan untuk mengatasi beban yang diberikan.



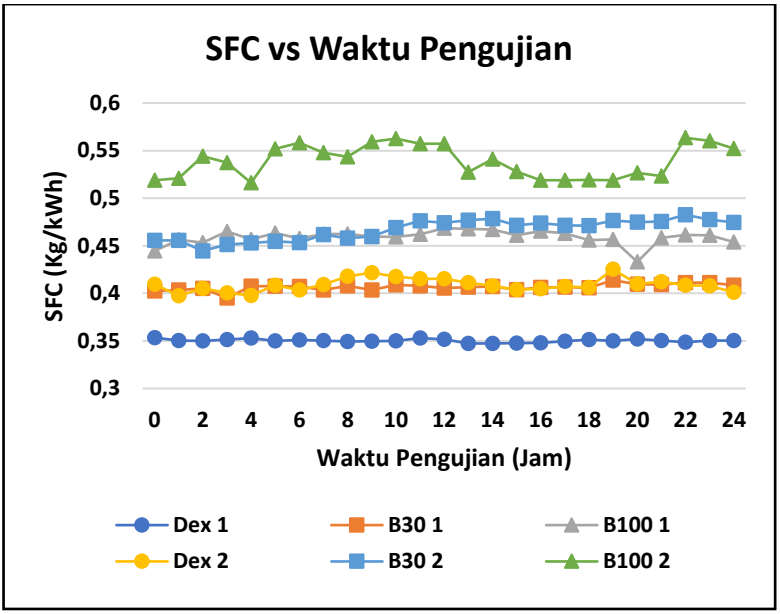
Gambar 4.12 Grafik daya terhadap waktu uji ketahanan

Pada uji ketahanan I dan II didapatkan bahwa daya yang dihasilkan mesin paling tinggi pada bahan bakar dexlite, kemudian B30, dan paling rendah B100. Adapaun rata- rata daya yang dihasilkan mesin dengan bahan bakar dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 3851.47Watt, 3591.67Watt, dan 3379.42Watt. Pada uji ketahanan II, rata- rata daya yang dihasilkan mesin dengan bahan bakar dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 3395.92Watt, 2892.73Watt, dan 2273.19Watt.

Pada uji ketahanan I, dapat dilihat bahwa ketiga bahan bakar menunjukkan trendline yang hampir sama dimana tidak ada perubahan daya yang signifikan selama pengujian. Daya paling besar dihasilkan oleh mesin dengan bahan bakar dexlite hal ini karena bahan bakar dexlite memiliki viskositas yang lebih kecil dibandingkan bahan bakar lainnya sehingga atomisasi saat injeksi bahan bakar ke ruang bakar lebih baik. Selain itu dexlite juga memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar lainnya. Pada uji ketahanan II, daya pada ketiga bahan bakar mengalami penurunan dibandingkan pengujian I. Fenomena ini dapat terjadi karena penyimpanan bahan bakar menyebabkan kenaikan viskositas sehingga mempengaruhi proses atomisasi bahan bakar dan akan menyebabkan proses pembakaran kurang baik. Jika dilihat pada grafik dengan bahan bakar B100, memasuki jam ke-3 lampu pembebanan turun menjadi 2500Watt dan saat memasuki jam ke-22 lampu pembebanan turun menjadi 2000Watt.

4.5.2 *Spesific Fuel Concumption* (SFC)

Grafik *brake spesific fuel consumption* pada uji ketahanan dapat dilihat pada gambar 4.13. Pada uji ketahanan I dan II didapatkan bahwa sfc yang dihasilkan mesin paling tinggi pada bahan bakar B100, B30, dan Dexlite. Adapaun rata- rata sfc yang dihasilkan mesin dengan bahan bakar dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 0.35kg/kWh, 0.41kg/kWh, dan 0.46kg/kWh. Pada uji ketahanan II, rata- rata sfcyang dihasilkan mesin dengan bahan bakar dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 0.41kg/kWh, 0.47kg/kWh, dan 0.54kg/kWh.

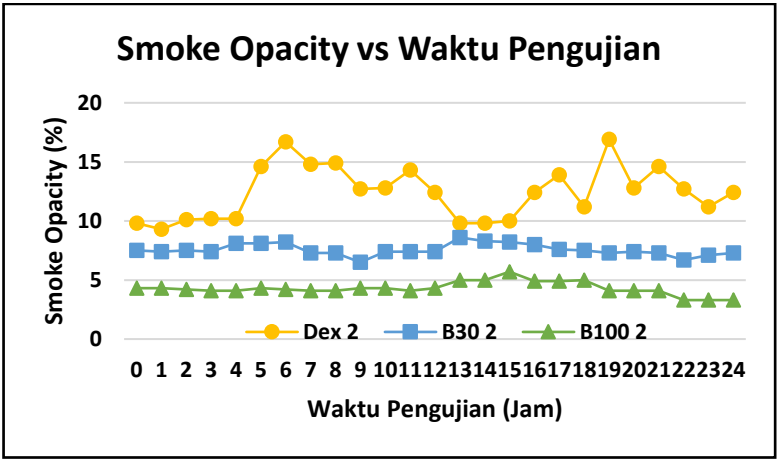


Gambar 4.13 Grafik BSFC terhadap waktu uji ketahanan

Pada grafik diatas, dapat dilihat bahwa trendline grafik cenderung konstan selama dilakukan uji ketahanan. Namun pada pengujian II dengan menggunakan bahan bakar B100 terjadi penurunan beban lampu pada jam ke-3 menjadi 2500Watt dan pada jam ke-22 menjadi 2000Watt sehingga grafik yang dihasilkan cenderung fluktiatif. Hal ini dikarenakan perubahan beban menyebabkan daya yang dihasilkan menurun dan waktu konsumsi bahan bakar juga akan meningkat. Ketiga bahan bakar mengalami kenaikan sfc setelah dilakukan proses penyimpanan, hal ini disebabkan karena propertis bahan bakar mengalami degradasi. Salah satu propertis tersebut adalah viskositas yang mengalami kenaikan, hal ini mengakibatkan proses atomisasi bahan bakar menjadi kurang baik. Selain itu nilai kalor yang rendah juga menyebabkan kenaikan sfc pada mesin.

4.5.3 *Smoke Opacity*

Grafik *smoke opacity* pada uji ketahanan ditunjukkan pada gambar 4.14. *Smoke opacity* adalah tingkat ketebalam asap yang dihasilkan oleh mesin. Asap ini adalah bentuk padatan atau butiran karbon yang tercampur kedalam gas buang mesin dan merupakan hasil dari proses pembakaran yang tidak sempurna.



Gambar 4.14 Grafik prosentase smoke pada uji ketahanan

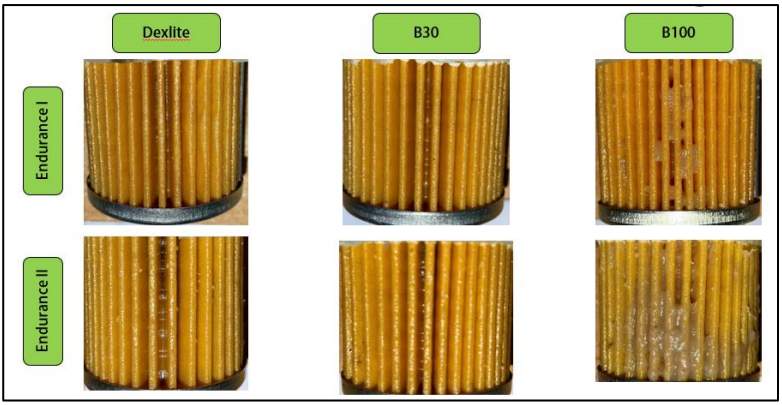
Pada uji ketahanan ini, pengukuran *smoke opacity* hanya dilakukan pada uji ketahanan II (setelah bahan bakar disimpan selama 12 minggu). Dari grafik dapat dilihat *smoke opacity* paling tinggi dihasilkan oleh mesin dengan bahan bakar Dexlite. Adapun rata-rata *smoke opacity* dengan bahan bakar dexlite, B30, dan B100 secara berurutan adalah 12.42%, 7.55%, dan 4.30%.

Biodiesel memiliki *smoke opacity* paling rendah dibandingkan bahan bakar lainnya, hal ini karena biodiesel kaya akan kandungan oksigen yang membantu saat proses pembakaran. Penambahan biodiesel pada bahan bakar juga menyebabkan penurunan *smoke opacity* yang dihasilkan, hal ini dapat dilihat pada bahan bakar B30 menghasilkan *smoke opacity* yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar dexlite.

4.5.4 Penyumbatan Filter Bahan Bakar

Pada uji ketahanan yang dilakukan selama 24 jam, terdapat filter yang dipasang pada jalur pemasukan bahan bakar untuk menyaring pengotor yang terdapat pada bahan bakar selama proses pengujian. Langkah awal dilakukan pengukuran berat filter dalam keadaan kering, kemudian dalam keadaan basah (dimasukkan bahan bakar) yang akan digunakan sebagai massa awal filter sebelum terdapat pengotor. Setelah dilakukan pengujian, bahan bakar sisa di dalam filter akan dikeluarkan dan dilakukan penimbangan filter. Selisih berat filter sebelum dan sesudah pengujian merupakan pengotor pada filter.

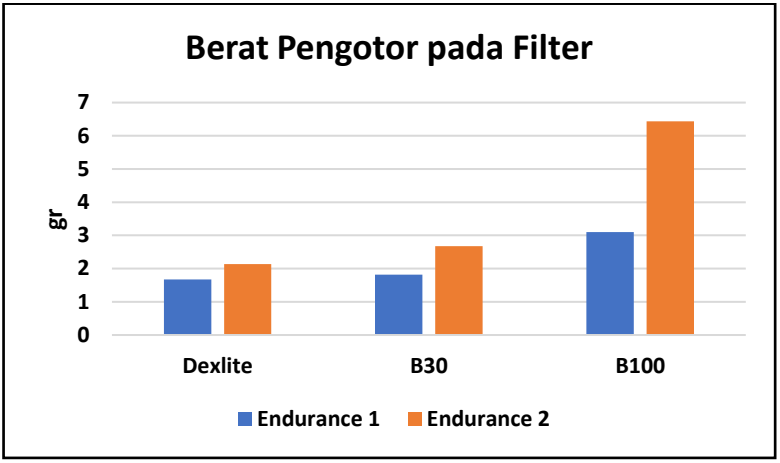
Perbandingan kondisi filter setelah uji ketahanan mesin selama 24 jam dapat dilihat pada gambar 4.15. Dari gambar tersebut terlihat dengan jelas bahwa filter pada bahan bakar biodiesel (B100) terdapat lumpur endapan minyak (*sludge*). Pada uji ketahanan I (setelah dilakukan penyimpanan bahan bakar selama 6 minggu), pengotor pada filter paling banyak terdapat pada



Gambar 4.15 Perbandingan filter setelah dilakukan uji ketahan selama 24 jam

bahan bakar B100. Besar pengotor pada filter dengan bahan bakar B100, B30, dan Dexlite secara berurutan adalah 3.1gr, 1.82gr, dan 1.67gr. Pada uji ketahanan II (setelah dilakukan penyimpanan

bahan bakar selama 12 minggu), pengotor pada filter paling banyak terdapat pada filter dengan bahan bakar B100. Adapun berat pengotor pada filter dengan bahan bakar B100, B30, dan Dexlite secara berurutan adalah 6.44, 2.68, dan 2.14. Dari data ini dapat dilihat bahwa penyimpanan bahan bakar menyebabkan kenaikan pengotor pada bahan bakar. Perbandingan pengotor pada setiap bahan bakar dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.16 Perbandingan berat pengotor pada setiap filter bahan bakar

Proses pembentukan biodiesel melalui tahapan esterifikasi dan proses transesterifikasi. Proses transesterifikasi membentuk gliserol ban biodiesel. Akibat lamanya proses penyimpanan maka akan terjadi reaksi transesterifikasi yang mengakibatkan kadar gliserol biodiesel meningkat. Seperti yang ditunjukkan grafik, uji ketahan II dengan bahan bakar biodiesel menghasilkan *sludge* yang signifikan. Selain itu proses penyimpanan juga mengakibatkan kenaikan bilangan asam pada bahan bakar. Selain endapan lumpur minyak, pengotor pada filter juga berupa material padatan yang tersisa dari hasil pengolahan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kontaminan mikroba pada bahan bakar tidak mengalami pertumbuhan yang baik, dimana dari pengujian yang dilakukan ada penurunan kandungan mikroba dan bahkan tidak mengandung mikroba. Keadaan ini terjadi karena tempat penyimpanan bahan bakar berasal dari bekas penyimpanan zat kimia dari suatu pabrik sehingga mengandung racun bagi pertumbuhan mikroba.

Degradasi propertis bahan bakar terjadi setelah dilakukan penyimpanan bahan bakar dalam kuran waktu 12 minggu. Dimana densitas dan viskositas mengalami kenaikan untuk setiap bahan bakar yang disimpan. Kandungan air mengalami penurunan sementara nilai kalor mengalami kenaikan pada minggu ke-6 karena tempat penyimpanan ditutup secara rapat yang mengkibatkan kenaikan kelembaban relatif, sehingga kandungan air pada bahan bakar berpindah ke udara. Pada penyimpanan selanjutnya tempat penyimpanan dibuka sehingga udara dapat masuk dan melakukan kontak dengan bahan bakar, akibatnya terjadi kenaikan kandungan air dan penurunan nilai kalor.

Terjadi penurunan efisiensi termal dan peningkatan BSFC selama penyimpanan bahan bakar dalam kurun waktu 12 minggu untuk semua jenis bahan bakar. Hal tersebut terjadi karena degradasi propertis yang mengakibatkan kenaikan viskositas yang mempengaruhi proses pembentukan droplet selama proses injeksi bahan bakar. Penurunan nilai kalor juga mempengaruhi penurunan efisiensi dan kenaikan BSFC tersebut. Smoke opacity mengalami penurunan setelah proses penyimapanan. Biodiesel memiliki kandungan oksigen yang lebih tinggi dan kandungan sulfur yang lebih rendah.

Proses penyimpanan bahan bakar mengakibatkan kenaikan jumlan pengotor pada bahan bakar. Dari uji ketahanan yang dilakukan selama 24 jam didapatkan pengotor pada filter

meningkat setelah dilakukan penyimpanan bahan bakar. Berat pengotor paling tinggi didapatkan pada B100 dan dapat dilihat pada filter bahan bakar terdapat endapan lumpur minyak yang jika dibiarkan dapat menyebabkan penyumbatan suplai bahan bahan bakar. Penyimpanan bahan bakar dapat menyebabkan kenaikan gliserol pada biodiesel sehingga memudahkan terjadinya *clogging*.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengecekan lebih jauh dalam menentukan tempat penyimpanan bahan bakar agar didapatkan penyimpanan yang lebih steril dari zat- zat kimia atau beracun.
2. Alat peraga penelitian yang digunakan butuh dilakukan penggantian karena umur alat yang sudah tua dan telah banyak mengalami modifikasi sehingga akan berpengaruh dalam melakukan pengujian
3. SOP dalam melakukan penelitian lebih diperhatikan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat
4. Perlu dilakukan penambahan peralatan uji yang berkaitan dengan bahan bakar dan perfoma mesin serta dilakukan pelatihan untuk memudahkan mahasiswa dalam melakukan pengujian

DAFTAR PUSTAKA

[1] Alleman, T. L., & McCormick, R. L. (2016). *Biodiesel Handling and Use Guide.* Washington D. C.: U.S. Department of Energy.

[2] BP p.l.c. (2020). *Statistical Review of World Energy 2020 69th edition.* London: BP p.l.c.

[3] BPPT. (2020). *Outlook Energi Indonesia 2020.* Jakarta: PPIPE BPPT.

[4] Djamin, M., & Wirawan, S. (2010). Pengaruh komposisi biodiesel terhadap kinerja mesin dan emisi gas buang. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.

[5] Fregolente, P., Maciel, M. W., & Oliveria, L. S. (2015). Removal of Water Content from Biodiesel and Diesel Fuel Using Hydrogel Adsorbents. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 895-901.

[6] GAPKI Indonesia. (2020). *Kinerja Industri Sawit Indonesia 2019.* Jakarta: GAPKI Indonesia.

[7] Heywood, J. B. (1988). Internal Combustion Engine Fundamentals. In J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals* (p. 53). Massachusetts Institute of Technology: McGraw-Hill, Inc.

[8] Ibrahim, F. (2019). Studi Eksperimen Pengaruh Penyimpanan Bahan Bakar B20 Terhadap Sifat Bahan Bakar, Performa, Dan Emisi Mesin Diesel Empat-Langkah Silinder Tunggal. *Jurnal Teknik ITS Vol. X*.

[9] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2013). *Blending BBM Dengan BBN.* Jakarta: Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral.

[10] Kementerian ESDM. (2020). *Bahan Kementeriam ESDM Capaian Kinerja 2019 dan Program 2020.* Jakarta: Kementerian ESDM.

[11]Khalid, A., Tamaldin, N., Jaat, M., Ali, M., Manshoor, B., & Zaman, I. (2013). Impact of Biodiesel Storage Duration on Fuel Properties and Emissions. *Procedia Engineering*, 225-230.

[12]Komariah, L. N., Marwani, Aprisah, S., & Rosa, Y. S. (2017). Storage tank materials for biodiesel blends; the analysis of fuel property changes. *EDP Sciences*.

[13]Komariah, L., Hadiah, F., Aprianjaya, F., & Nevriadi, F. (2018). Biodiesel effects on fuel filter; assessment of clogging characteristics. *Journal of Physics: Conference Series*.

[14]Madiwale, S., & Bhojwani, V. (2016). An Overview on Production, Properties, Perfomance and Emission Analysis of Blends of Biodiesel. *ScienceDirect*, 963-973.

[15]Prabowo, G. L. (2019). Studi Eksperimen Pengaruh Penyimpanan Bahan Bakar Biodiesel Terhadap Sifat Bahan Bakar, Perfoma, Dan Emisi Mesin Diesel 4-Langkah Silinder Tunggal. *Jurnal Teknik ITS Vol. X*.

[16]Prawoto, & Haryono, I. (2015). Unjuk Kerja dan Emisi Gas Asap Genset Berbahan Bakar Biodiesel FAME. In BPPT, *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia Vol. 17 No. 3* (pp. 89-96). Jakarta: BPPT.

[17]Siagian, A., & Silaban, M. (2013). *Prediksi Ignition Delay Mesin Diesel Berbahan Bakar Ganda.* Banten: B2TE.

[18]Silviana, & Buchori, L. (2015). Efek Penyimpanan Biodiesel Berdasarkan Studi Kajian Degradasi Biodiesel CPO. *Jurnal Reaktor*, 148-153.

[19]Wibowo, C. S., Anggarani, R., Hermawan, N., & Aisyah, L. (2016). Pengaruh Kondisi Penyimpanan Terhadap Stabilitas Oksidasi Bahan Bakar Jenis Biodiesel (B-100), Biosolar (B-20) Dan Minyak Solar Murni (B-0). *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*.

[20]Zakaria, H., Khalid, A., Sies, M. F., Mustaffa, N., & Manshoor, B. (2014). Effect of storage temperature and storage duration on Biodiesel properties and characteristics. *Applied Mechanics and Materials Vols. 465-466*, 316-321.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS

Penulis memiliki nama lengkap Sumihar Humala Panjaitan. Lahir di Tambunan pada tanggal 03 Desember 1997. Merupakan anak ketiga dari lima bersaudara. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di SD N 174552 Tambunan pada tahun 2003-2009. Melanjutakan pendidikan sekolah menengah pertama di SMP SW Budhi Dharma Balige pada tahun 2009-2012 dan sekolah menengah atas di SMA N 2 Balige pada tahun 2012-2015. Kemudian Penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang yang lebih tinggi di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menempuh perkuliahan di ITS, penulis juga aktif mengikuti serangkaian kegiatan pengembangan diri di dalam dan di luar kampus sepeti Mahasiswa Bona Pasogit ITS, Himpunan Mahasiswa Mesin sebagai Kabiro Keprofesian Departemen Pengembangan Profesi dan Ilmiah Mahasiswa, Laboratorium Rekayassa Termal & Sistem Energi, dan juga kegiatan pelatihan dan pengembangan lainnya.