



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

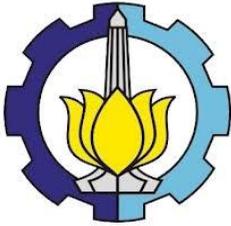
TUGAS AKHIR-TM184835

# STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI PERSENTASE *CRUDE PALM OIL* PADA CAMPURAN BAHAN BAKAR DEXLITE, *CRUDE PALM OIL*, DAN ETANOL TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI MESIN DIESEL

Muhammad Almeir Wirma  
NRP. 021116400000124

Dosen Pembimbing:  
Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc

Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020



**TUGAS AKHIR-TM184835**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI  
PERSENTASE CRUDE PALM OIL PADA  
CAMPURAN BAHAN BAKAR DEXLITE, CRUDE  
PALM OIL, DAN ETANOL TERHADAP UNJUK  
KERJA DAN EMISI MESIN DIESEL**

**Muhammad Almeir Wirma  
02111640000124**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc.**

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



**FINAL PROJECT-TM184835**

**EXPERIMENTAL STUDY ON EFFECT OF CRUDE  
PALM OIL PERCENTAGE VARIATION IN  
DEXLITE, CRUDE PALM OIL, AND ETHANOL  
FUEL BLEND TOWARD DIESEL ENGINE  
PERFORMANCES AND EMISSION**

**Muhammad Almeir Wirma**  
02111640000124

Dosen Pembimbing  
**Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc.**

**BACHELOR'S DEGREE  
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND  
SYSTEM ENGINEERING  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2020**

## HALAMAN PENGESAHAN

# STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI PERSENTASE *CRUDE PALM OIL* PADA CAMPURAN BAHAN BAKAR DEXLITE, *CRUDE PALM OIL*, DAN ETANOL TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI MESIN DIESEL

## TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Muhammad Almeir Wirma**

NRP. 0211164000124

Disetujui oleh:

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

AGUSTUS, 2020

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI  
PERSENTASE *CRUDE PALM OIL* PADA CAMPURAN  
BAHAN BAKAR DEXLITE, *CRUDE PALM OIL*, DAN  
ETANOL TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI MESIN  
DIESEL**

**Nama** : Muhammad Almeir Wirma  
**NRP** : 02111640000124  
**Jurusan** : Teknik Mesin ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc

**ABSTRAK**

Indonesia memiliki tingkat konsumsi minyak bumi lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah yang dapat diproduksi tiap harinya sehingga perlu melakukan impor dari negara lainnya. Hal berbeda justru terjadi dengan jumlah produksi *Crude Palm Oil* yang melimpah akibat adanya embargo Uni Eropa terhadap komoditas ini. Maka dari itu, perlu adanya proses pergantian bahan bakar dari fosil dengan bahan bakar terbarukan serta pemanfaatan *Crude Palm Oil* sebagai upaya mengatasi kerugian akibat embargo. Akan tetapi, *Crude Palm Oil* memiliki viskositas lebih besar sepuluh kali lipat daripada *High Speed Diesel* (HSD). Maka dari itu, perlu adanya pengencer dari sumber daya energi terbarukan lainnya agar viskositasnya turun, seperti etanol. Penelitian akan dilakukan dengan melakukan variasi persentase bahan bakar *Crude Palm Oil* yang akan dicampur Dexlite dan Etanol.

Penelitian dimulai dengan mencampurkan bahan bakar Dexlite dengan variasi persentase *Crude Palm Oil* 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 15% dengan variasi persentase Etanol 10% dan 15% pada tiap persentase *Crude Palm Oil*. Setelah itu, diberikan waktu tunggu selama 10 menit untuk mengetahui separasi pada campuran bahan bakar. Bahan bakar campuran yang tidak mengalami separasi selama waktu tunggu 10 menit akan digunakan dalam

pengujian. Lalu, dilakukan pengujian pada campuran bahan bakar Dexlite dengan variasi persentase *Crude Palm Oil* 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 15% dengan variasi persentase Etanol 10% dan 15% pada tiap persentase *Crude Palm Oil*.

Hasil dari penelitian yang didapatkan adalah semua variasi bahan bakar yang dicampurkan dan diberi waktu tunggu selama 10 menit tidak ada yang mengalami separasi. Dari semua variasi bahan bakar yang dicampurkan, didapatkan hasil bahwa Dexlite atau D100 memiliki daya, torsi, dan BMEP lebih tinggi dibandingkan semua bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol maupun Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol. Pada bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol, nilai *bsfc* cenderung lebih tinggi seiring peningkatan persentase volume *Crude Palm Oil* pada *Fuel Blend* Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol, sedangkan nilai efisiensi termal cenderung lebih rendah seiring peningkatan persentase volume *Crude Palm Oil* pada *Fuel Blend*. Pada bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol, D100 memiliki nilai *bsfc* lebih rendah dibandingkan semua bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol.. Efisiensi termal bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol mengalami penurunan terhadap nilai rata-rata efisiensi termal D100 pada bahan bakar campuran D82,5 C7,5 E10, D80 C10 E10, dan D75 C15 E10, sedangkan peningkatan terhadap nilai rata-rata efisiensi termal D100 terjadi pada bahan bakar campuran D87,5 C2,5 E10 dan D85 C5 E10. Efisiensi termal bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol mengalami penurunan terhadap nilai rata-rata efisiensi termal D100 pada bahan bakar campuran D82,5 C2,5 E15, D80 C5 E15, dan D70 C15 E15, sedangkan peningkatan terhadap nilai rata-rata efisiensi termal D100 terjadi pada bahan bakar campuran D77,5 C7,5 E15 dan D75 C10 E15. *Smoke opacity* dari Dexlite atau D100 memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan semua bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol serta Dexlite, *Crude Palm Oil*,

dan 15% Etanol dengan hasil D87,5 C2,5 E10 memiliki kadar *smoke* paling rendah dan bahan bakar D75 C15 E10 memiliki kadar *smoke* paling tinggi dibandingkan dengan bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol lainnya, sedangkan untuk bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol dengan kadar *smoke* paling rendah dimiliki oleh D77,5 C7,5 E15.

**Kata Kunci:** Mesin, Diesel, Etanol, *Crude Palm Oil*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

# **EXPERIMENTAL STUDY ON EFFECT OF CRUDE PALM OIL PERCENTAGE VARIATION IN DEXLITE, CRUDE PALM OIL, AND ETHANOL FUEL BLEND TOWARD DIESEL ENGINE PERFORMANCES AND EMISSION**

**Name** : Muhammad Almeir Wirma  
**NRP** : 02111640000124  
**Department** : Mechanical Engineering ITS  
**Advisor** : Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc

## **ABSTRACT**

Indonesia has higher fossil fuel consumption rate than its every day production rate. To overcome this, Indonesia must import fossil fuel from another countries. Different problem occurs with high production rate of Crude Palm Oil caused by Uni Eropa's embargo. From this problems, Indonesia needs to change fossil fuel with another renewable fuels and use of Crude Palm Oil as an effort to subdue embargo's losses. However, Crude Palm Oil has ten times higher viscosity High Speed Diesel (HSD). Therefore, dilution from renewable fuels needed to lower blend viscosity, like ethanol. This research will be focused on percentage variation of Crude Palm Oil in Dexlite and Ethanol blend.

This research begins with mixing of Dexlite fuel with percentage variations of Crude Palm Oil 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, and 15% and Ethanol percentage 10% dan 15% for every Crude Palm Oil variations. Furthermore, fuel blends that already mixed has to be wait for 10 minutes to know its separation. Fuel blends with no separation for 10 minutes will be used for experiment. Afterward, experiment of performance and emission using Dexlite with percentage variations of Crude Palm 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, and 15% and Ethanol percentage 10% dan 15% for every Crude Palm Oil variations will be conducted.

The results from this experiment show there's no separation within 10 minutes for all of fuel blends. From performance results, it appears that D100 produce power, torque, and BMEP higher than D82,5 C7,5 E10, D80 C10 E10, and D75 C15 E10, while thermal efficiency value get lower along with the increment of percentage volume Crude Palm Oil in Fuel Blend D82,5 C7,5 E10, D80 C10 E10, and D75 C15 E10, while that occurs increment compared to average value of D100 thermal efficiency are fuel blend D87,5 C2,5 E10 and D85 C5 E10. Thermal efficiency of fuel blend D82,5 C2,5 E15, D80 C5 E15, dan D70 C15 E15, while that occurs increment compared to average value of D100 thermal efficiency are fuel blend D77,5 C7,5 E15 dan D75 C10 E15. Smoke opacity from D82,5 C2,5 E10 has lowest smoke opacity and D75 C15 E10 has highest smoke opacity compared to all variations of D82,5 C2,5 E15, D80 C5 E15, dan D70 C15 E15, while D82,5 C2,5 E15, D80 C5 E15, dan D70 C15 E15 has lowest smoke opacity and D77,5 C7,5 E15 dan D75 C10 E15 has highest smoke opacity compared to all variations of D82,5 C2,5 E15, D80 C5 E15, dan D70 C15 E15.

**Keywords: Engine, Diesel, Ethanol, Crude Palm Oil**

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas rahmat, rezeki, dan karunianya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Persentase *Crude Palm Oil* pada Campuran Bahan Bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan Etanol Terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Mesin Diesel” sebagai salah satu syarat kelulusan dalam menempuh pendidikan program Sarjana (S1) Departemen Teknik Mesin ITS.

Dalam proses pengerjaan tugas akhir ini, penulis mendapatkan dukungan moral dan motivasi dari orang-orang terdekat penulis. Oleh sebab itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Nurhamzah dan Ibu Istutiani yang selalu mendukung dan memotivasi penulis selama masa perkuliahan.
2. Bapak Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc., selaku pembimbing tugas akhir penulis. Terima kasih banyak atas ilmu, waktu, serta pembelajaran yang diberikan kepada penulis.
3. Bapak Is Bunyamin Suryo, ST, MSc, Bapak Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT, serta Bapak Ary Bachtiar K.P., ST, MT, PhD, selaku dosen penguji tugas akhir. Terima kasih atas saran dan kritik yang diberikan kepada penulis.
4. Anggota bimbingan Tugas Akhir Bapak Atok, yakni Irsyad Aufa Barraq dan Andreas Tommy Irawan yang telah memberi banyak bantuan selama penyusunan tugas akhir mulai dari proses pengaambilan data hingga sidang tugas akhir.
5. Smalane M59: Suksma, Raihan, Hanif, Bob, Dhony, Favian, dan Kenny, sebagai keluarga pertama di angkatan yang sudah membantu adaptasi selama kuliah di Teknik Mesin.

6. Teman-teman seperjuangan penulis selama kuliah: Adib, Raka, Ajie, Vega, Lanang, Fatir, Damar, Dion dan Sita, atas bantuan selama perkuliahan dan pada saat genting sekalipun.
7. Teman-teman fungsionaris Departemen Sosial Masyarakat HMM 2019 – 2020: Emy, Budi, dan Benny, atas pembelajaran dan ilmunya selama perkuliahan
8. Teman-teman Laboratorium Rekayasa Termal: Agung, Alfa, Shafira, Richap, dan lainnya yang tidak bisa disebutkan satu per satu. Terima kasih atas ilmu dan bantuan selama proses perkuliahan.
9. Mbak Amanda, Mas Rayhan, dan Mas Afif yang telah memberikan ilmu dan pengalaman selama perkuliahan.
10. Teman-teman Divisi Kamzin: Noval, Alvit, Fatah, Fajri, Faiq, dan lainnya, atas bantuannya selama proses perkuliahan
11. Teman-teman Teknik Mesin FTIRS-ITS Angkatan 2016 atas segala bantuan dan dukungannya selama proses perkuliahan.
12. Kerangsentris: Raihanto, Faradina, Ricko, Didin, Ravi, Kevin, Irfan, Dito, Bagas, Brahma, Ega, dan Win, atas nasihat dan ilmu kehidupan selama perkuliahan
13. Sahabat lama penulis: Frizky, Aik, Tania, Mazaya, Aufa, Reper, Edo, Fahmi, Aci, dan Aldo, atas dukungan dan motivasi selama perkuliahan.
14. Danty Nafisa atas waktu, motivasi, dan dukungan dalam proses pengerjaan tugas akhir.
15. Seluruh civitas akademika Departemen Teknik Mesin FTIRS-ITS atas bantuannya selama proses pengambilan data maupun proses terselenggaranya seminar serta sidang tugas akhir.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Oleh sebab itu penulis mengharapkan adanya saran serta masukan dari seluruh pihak. Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis,

Muhammad Almeir Wirma

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>BAB 1</b> .....	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Perumusan Masalah.....	6
1.3    Batasan Masalah.....	7
1.4    Tujuan Penelitian.....	8
1.5    Manfaat Penelitian.....	8
<b>BAB II</b> .....	<b>9</b>
<b>TINJAUAN PUSAKA</b> .....	<b>9</b>
2.1    Bahan Bakar .....	9
2.1.1    Bahan Bakar Diesel .....	9
2.1.2    Bahan Bakar Dexlite .....	11
2.1.3    Bahan Bakar Etanol.....	11
2.1.4    Bahan Bakar <i>Crude Palm Oil</i> .....	14
2.1.5    Standar Nasional Bahan Bakar Nabati .....	16
2.2    Pencampuran Bahan Bakar ( <i>Fuel Blend</i> ) .....	17

2.3	Dasar Teori Pembakaran .....	18
2.4	Dasar Teori Mesin Diesel.....	19
2.4.1	Tahapan Pembakaran Pada Mesin Diesel.....	21
2.4.2	Unjuk Kerja Mesin Diesel.....	24
2.4.3	Emisi Gas Buang Mesin Diesel.....	27
2.5	Penelitian Terdahulu.....	30
2.5.1	Penelitian oleh Pijakala Dinesha, 2019: Combustion, performance, and emissions of a compression ignition engine using Pongamia biodiesel, diesel and bioethanol .....	30
2.5.2	Penelitian oleh Lei Zhu, 2011: Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fueled with ethanol–biodiesel blends.....	32
	Gambar 2.6 Efek Campuran Bahan Bakar pada Persentase Berbeda terhadap (a) Kadar CO dan (b) Kadar HC.....	33
2.5.3	Penelitian oleh T.F. Yusaf, 2011: Crude palm oil fuel for diesel-engines: Experimental and ANN simulation approaches .....	34
<b>BAB III .....</b>		<b>37</b>
<b>METODOLOGI .....</b>		<b>37</b>
3.1	Metode Penelitian.....	37
3.2	Peralatan Eksperimen .....	37
3.2.1	Alat Uji.....	37
3.2.2	Alat Ukur.....	39
3.3	Sistematika Penelitian .....	39
3.3.1	Tahap-tahap Penelitian .....	39

3.4	Persiapan Bahan Bakar (Fuel Blend) dan Uji Properties.....	41
3.4.1	Flowchart Persiapan Bahan Bakar (Fuel Blend) ..	45
3.4.2	Tahap – tahap Persiapan Bahan Bakar (Fuel Blend) dan Uji Properties .....	47
3.5	Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi .....	48
3.5.1	Skema Alat .....	53
3.5.2	Tahap-tahap Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi ..	53
3.5.3	Flowchart Penelitian.....	56
<b>BAB IV</b>	<b>.....</b>	<b>59</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>.....</b>	<b>59</b>
4.1	Hasil Persiapan Bahan Bakar (Fuel Blend) .....	59
4.2	<i>Properties</i> Bahan Bakar Standar dan <i>Fuel Blend</i> ....	69
4.2.1	<i>Properties</i> Bahan Bakar Standar dan <i>Fuel Blend</i> Dexlite, <i>Crude Palm Oil</i> , dan Etanol 10% .....	69
4.2.2	<i>Properties</i> Bahan Bakar Standar dan <i>Fuel Blend</i> Dexlite, <i>Crude Palm Oil</i> , dan Etanol 15% .....	72
4.3	Contoh Perhitungan Unjuk Kerja .....	74
4.3.1	Daya.....	75
4.3.2	Torsi .....	76
4.3.3	BMEP.....	76
4.3.4	BSFC .....	77
4.3.5	Efisiensi Termal .....	78
4.4	Hasil dan Analisis Grafik Pengujian Unjuk Kerja Mesin dan Emisi Gas Buang Bahan Bakar Dexlite dengan Variasi Penambahan <i>Crude Palm Oil</i> dan Etanol 10% .....	80

4.4.1	Torsi .....	80
4.4.2	BMEP .....	82
4.4.3	<i>BSFC</i> .....	84
4.4.4	Efisiensi Termal .....	86
4.4.5	Temperatur Air Pendingin, Oli, Engine, dan Exhaust .....	88
4.4.6	<i>Smoke Opacity</i> .....	92
4.5	Hasil dan Analisis Grafik Pengujian Unjuk Kerja Mesin dan Emisi Gas Buang Bahan Bakar Dexlite dengan Variasi Penambahan <i>Crude Palm Oil</i> dan Etanol 15% .....	94
4.5.1	Torsi .....	94
4.5.2	BMEP .....	96
4.5.3	<i>BSFC</i> .....	98
4.5.4	Efisiensi Termal .....	100
4.5.5	Temperatur Air Pendingin, Oli, Engine, dan Exhaust .....	102
4.5.6	<i>Smoke Opacity</i> .....	106
<b>BAB V .....</b>		<b>109</b>
<b>KESIMPULAN.....</b>		<b>109</b>
5.1	Kesimpulan.....	109
5.2	Saran.....	110
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>111</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>		<b>117</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pembuatan Etanol.....	12
Gambar 2.2 Proses Pembakaran Pada Mesin Diesel .....	18
Gambar 2.3 Mesin Diesel Empat Langkah.....	20
Gambar 2.4 Tahap Pembakaran .....	22
Gambar 2.5 Efek Campuran Bahan Bakar dengan Persentase Berbeda terhadap (a) <i>brake specific fuel consumption</i> , <i>brake thermal efficiency</i> , (b) Kadar HC .....	32
Gambar 2.7 Efek Campuran Bahan Bakar dengan Persentase Berbeda terhadap (a) <i>brake thermal efficiency</i> dan (b) <i>brake specific fuel consumption</i> .....	34
Gambar 2.8 Efek Campuran Bahan Bakar dengan Persentase Berbeda terhadap (a) <i>fuel consumption</i> , (b) <i>brake power</i> , dan (c) Kadar CO.....	36
Gambar 3.1 Skema Peralatan Generator Set .....	53
Gambar 4.1 Grafik Torsi pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, <i>Crude Palm Oil</i> , dan 10% Etanol.....	80
Gambar 4.2 Grafik BMEP pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, <i>Crude Palm Oil</i> , dan 10% Etanol.....	82
Gambar 4.3 Grafik <i>bsfc</i> pada Bahan Bakar Campuran Dexlite. <i>Crude Palm Oil</i> , dan 10% Etanol.....	84
Gambar 4.4 Grafik Efisiensi Termal pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, <i>Crude Palm Oil</i> , dan 10% Etanol .....	86
Gambar 4.5 Grafik Temperatur Oli pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, <i>Crude Palm Oil</i> , dan 10% Etanol.....	88
Gambar 4.6 Grafik Temperatur Air Pendingin pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, <i>Crude Palm Oil</i> , dan 10% Etanol.....	89

Gambar 4.7 Grafik Temperatur <i>Engine</i> pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, <i>Crude Palm Oil</i> , dan 10% Etanol.....	89
Gambar 4.8 Grafik Temperatur <i>Exhaust</i> pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, <i>Crude Palm Oil</i> , dan 10% Etanol.....	90
Gambar 4.9 Grafik <i>Smoke Opacity</i> pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, <i>Crude Palm Oil</i> , dan 10% Etanol. ....	92
Gambar 4.10 Grafik Torsi pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, <i>Crude Palm Oil</i> , dan 15% Etanol.....	94
Gambar 4.11 Grafik BMEP pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, <i>Crude Palm Oil</i> , dan 15% Etanol.....	96
Gambar 4.12 Grafik <i>bsfc</i> pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, <i>Crude Palm Oil</i> , dan 15% Etanol.....	98
Gambar 4.13 Grafik Efisiensi Termal pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, <i>Crude Palm Oil</i> , dan 15% Etanol.....	100
Gambar 4.14 Grafik Temperatur Oli pada Bahan Bakar Campuran Dexlite. <i>Crude Palm Oil</i> , dan 15% Etanol.....	102
Gambar 4.15 Grafik Temperatur Air Pendingin pada Bahan Bakar Campuran Dexlite. <i>Crude Palm Oil</i> , dan 15% Etanol.....	103
Gambar 4.16 Grafik Temperatur <i>Engine</i> pada Bahan Bakar Campuran Dexlite. <i>Crude Palm Oil</i> , dan 15% Etanol.....	103
Gambar 4.17 Grafik Temperatur <i>Exhaust</i> pada Bahan Bakar Campuran Dexlite. <i>Crude Palm Oil</i> , dan 15% Etanol.....	104
Gambar 4.18 Grafik <i>Smoke Opacity</i> pada Bahan Bakar Campuran Dexlite. <i>Crude Palm Oil</i> , dan 15% Etanol.....	106

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Bahan Bakar Diesel .....	10
Tabel 2.2 Tabel Spesifikasi Bahan Bakar Etanol .....	13
Tabel 2.3 Tabel Spesifikasi Bahan Bakar <i>Crude Palm Oil</i> .....	14
Tabel 2.4 Standar Bahan Bakar Nabati di Indonesia.....	16
Tabel 3.1 Tabel Matriks Pengujian .....	50
Tabel 4.1 Dokumentasi Pencampuran Bahan Bakar (Fuel Blending) Dexlite, <i>Crude Palm Oil</i> , dan Etanol 10% dengan Emulgator.....	60
Tabel 4.2 Dokumentasi Pencampuran Bahan Bakar (Fuel Blending) Dexlite, <i>Crude Palm Oil</i> , dan Etanol 10% .....	61
Tabel 4.3 Dokumentasi Pencampuran Bahan Bakar (Fuel Blending) Dexlite, <i>Crude Palm Oil</i> , dan Etanol 15% .....	63
Tabel 4.4 Dokumentasi Pencampuran Bahan Bakar (Fuel Blending) Dexlite, <i>Crude Palm Oil</i> , dan Etanol dalam Waktu Seminggu.....	67
Tabel 4.5 <i>Properties</i> Bahan Bakar Standar dan <i>Fuel Blend</i> Dexlite, <i>Crude Palm Oil</i> , dan Etanol 10% .....	69
Tabel 4.6 <i>Properties</i> Bahan Bakar Standar dan <i>Fuel Blend</i> Dexlite, <i>Crude Palm Oil</i> , dan Etanol 15% .....	72
Tabel 4.7 Data Eksperimen Bahan Bakar Campuran D82,5 C7,5 E10 .....	74

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam maupun manusia. Salah satu kekayaan alam yang hingga saat ini masih menjadi sumber energi utama Indonesia adalah minyak bumi. Menurut BP Statistical Review 2019, konsumsi dan produksi minyak bumi Indonesia pada tahun 2018 mencapai 1,785 juta barel per hari dan 808 ribu barel per hari. Dari data tersebut, terdapat selisih 977 ribu barel minyak bumi yang harus dipenuhi oleh Indonesia. Opsi yang dilakukan pemerintah untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah impor minyak mentah dari beberapa negara, seperti Singapura, Malaysia, Arab Saudi, Nigeria, dan lainnya. Hal ini sesuai dengan data tahun 2018 dari Dewan Energi Nasional dimana Indonesia menghasilkan 283 juta barel per tahun serta mengonsumsi 465,7 juta barel per tahun sehingga pemerintah melakukan impor minyak mentah sebanyak 16,932 juta barel per tahun dan hasil minyak bumi sebanyak 26,737 juta barel per tahun. Dari usaha impor tersebut, Indonesia masih memerlukan minyak bumi sebanyak 139,031 juta barel per tahun. Akibatnya, pemerintah harus memenuhi konsumsi minyak tersebut dengan mengambil cadangan minyak bumi milik negara. Semakin lama kondisi ini berlanjut Indonesia akan kehabisan cadangan minyak bumi. Dampaknya akan terasa pada semua bidang. Salah satu bidang yang menggunakan bahan bakar fosil secara masif adalah bidang industri yang menggunakan mesin diesel. Mesin diesel menggunakan bahan bakar Solar, Pertadex, atau Dextrite 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<sub>2</sub>, 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<sub>2</sub> 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 pemanasan global yang berdampak negatif bagi bumi [3].

Hal berbeda justru terjadi pada minyak kelapa sawit atau *crude palm oil* saat ini dimana jumlah produksinya melimpah akibat larangan untuk ekspor ke Uni Eropa. Berdasarkan kutipan dari CNBC [4], Uni Eropa melakukan embargo terhadap minyak kelapa sawit Indonesia dikarenakan masalah pencemaran lingkungan. Akibatnya, Indonesia akan rugi miliaran dollar. Pada tahun 2018, nilai ekspor minyak kelapa sawit dan turunannya ke Eropa mencapai US\$ 2,28 miliar. Sekitar 51% dari total keseluruhan ekspor minyak sawit merupakan produk biodiesel. Meskipun minyak kelapa sawit menghasilkan emisi gas buang lebih sedikit dan ramah lingkungan, Uni Eropa merasa proses produksi dan pengelolaan lahan kelapa sawit menghasilkan emisi gas efek rumah kaca secara terus menerus.

Dari penjelasan diatas, Pemerintah Indonesia perlu melakukan pemanfaatan energi alternatif sebagai upaya menghemat konsumsi minyak bumi serta pemanfaatan *crude palm oil* sebagai upaya mengatasi kerugian akibat embargo. Keadaan mendesak tersebut perlu ditanggapi dengan serius oleh pemerintah dengan cara melakukan penelitian dan pengembangan terkait sumber daya energi terbarukan dan ramah lingkungan dari *crude palm oil*. Minyak kelapa sawit mentah ini sendiri memiliki harga yang lebih murah sebesar 8.153 rupiah per liter dibandingkan dengan bahan bakar nabati yang sering digunakan, yakni biodiesel

dengan harga 8.494 rupiah per liter. Akan tetapi, *crude palm oil* memiliki viskositas lebih besar sepuluh kali lipat daripada High Speed Diesel (HSD). Maka dari itu, perlu adanya pengencer dari sumber daya energi terbarukan lainnya agar viskositasnya turun. Salah satu energi terbarukan yang memiliki viskositas lebih rendah daripada High Speed Diesel (HSD) adalah Etanol. Etanol berasal dari sumber nabati, seperti singkong, jarak, bunga matahari, dan lainnya. Produksinya melalui proses fermentasi biomassa hingga menjadi bahan bakar cair. Sebagai bahan bakar nabati, bioetanol dan *crude palm oil* memiliki kelemahan yang akan memengaruhi performa mesin akibat pengaruh properties tertentu, seperti densitas, calorific value, dan lainnya. Oleh sebab itu, perlu adanya proses rekayasa pada bahan bakar dengan menyesuaikan *engine* yang ada sehingga *engine* dengan bahan bakar campuran yang ramah lingkungan dapat menghasilkan performa yang sama atau lebih baik daripada bahan bakar fosil.

Riset mengenai unjuk kerja mesin dengan bahan bakar campuran antara dua atau tiga bahan bakar sudah banyak dilakukan. Pijakala Dinesha [5], melakukan penelitian terkait bahan bakar campuran dari bioetanol, biodiesel (B20), dan diesel, dimana perpaduannya dibagi menjadi B20E5D75, B20E7,5D72,5 dan B20E10D70. Unjuk kerja mesin diesel diteliti secara eksperimental dengan jenis mesin single cylinder 4 stroke pada 1500 rpm dengan pembebanan 25%, 50%, 75%, dan 100%. Bahan bakar campuran bioetanol dengan B20 menghasilkan emisi gas buang CO, UHC, dan NO lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar B20 terutama saat mencapai titik minimum pada campuran bioetanol 7,5%. BTE (*Brake Thermal Efficiency*) yang dihasilkan akan semakin meningkat seiring dengan penambahan load. BTE akan mencapai maksimum pada penambahan bioetanol pada 7,5%. Hal ini disebabkan oleh viskositas etanol yang lebih rendah daripada B20. Distribusi pembakaran akan terjadi secara merata serta jumlah kadar oksigen yang tinggi mengakibatkan pembakaran terjadi secara sempurna. Akan tetapi, semakin banyak

kadar bioetanol, nilai kalornya akan semakin rendah. Akibatnya, ignition delay juga bertambah seiring dengan penambahan kadar bioetanol. Bioetanol dapat mengkompensasi hal tersebut dengan tingkat pembakaran/flame speed yang lebih cepat daripada bahan bakar lain. Hal ini terlihat dari peningkatan BTE hingga mencapai maksimum pada campuran bioetanol 7,5% dan penurunan BTE pada campuran bioetanol 10%. Lei Zhu [6], melakukan penelitian campuran bahan bakar etanol dengan biodiesel dimana perpaduannya dibagi menjadi BE5, BE10, dan BE15. Unjuk kerja mesin diteliti pada *engine* 4 silinder pada kecepatan konstan 1800 rpm dengan pembebanan sesuai *brake mean effective pressures (bmep)* pada 0,08 MPa, 0,2 Mpa, 0,38 MPa, 0,55 MPa, dan 0,7 MPa. Bahan bakar campuran etanol dan biodiesel menghasilkan BTE yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar Euro V diesel. BTE dari bahan bakar etanol dan biodiesel mencapai maksimum pada bmep 0,7 MPa. BSFC atau *brake specific fuel consumption* pada bahan bakar campuran etanol dan biodiesel lebih tinggi dibandingkan dengan Euro V diesel dikarenakan bahan bakar campuran etanol dan biodiesel memiliki calorific value yang lebih rendah. Etanol juga memiliki air fuel ratio yang lebih kecil daripada biodiesel dan Euro V diesel sehingga campuran biodiesel dan etanol menjadi campuran bahan bakar yang lean. Hal ini terlihat pada emisi CO dan HC dari campuran biodiesel dan etanol lebih rendah daripada Euro V diesel. Akan tetapi, pada campuran BE5 justru lebih rendah daripada BE10 dan BE15. Semakin banyak etanol, semakin tinggi emisi CO dan HC. Ini diakibatkan oleh nilai kalor etanol yang rendah dimana terdapat pengaruhnya pada kecepatan pembakaran.

Penelitian yang menggunakan *crude palm oil* pada mesin diesel baru sedikit dilakukan. Yusaf T.F.[7], melakukan penelitian untuk membandingkan antara campuran bahan bakar *crude palm oil* dan diesel dengan diesel dimana persentase *crude palm oil* yang digunakan adalah 25%, 50%, dan 75% dari kecepatan 1000 – 3000 rpm dengan kenaikan tiap 200 rpm. Bahan bakar campuran diesel

dan *crude palm oil* memiliki fuel consumption lebih sedikit dibandingkan diesel pada putaran tinggi, yakni 1800 – 2200 rpm. Semakin sedikit rasio campuran diesel, maka semakin sedikit konsumsi bahan bakarnya. Hasil unjuk kerja mesin lainnya berupa torsi dan *brake horse power* dimana torsi dan bhp yang dihasilkan oleh campuran *crude palm oil* dan diesel lebih tinggi daripada diesel dari 1000 – 1800 rpm. Pada 2000 rpm hanya campuran CPO 75% yang memiliki nilai torsi dan bhp lebih tinggi daripada diesel. Selanjutnya, grafik torsi dan bhp untuk seluruh bahan bakar terlihat menurun karena flow rate bahan bakar yang semakin rendah pada putaran tinggi. Hasil dari emisi gas buang yang dihasilkan menunjukkan bahwa CO dan NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh bahan bakar campuran diesel dan CPO lebih rendah dibandingkan diesel pada putaran rendah. Ampira C. dkk, melakukan penelitian break specific fuel consumption dan emisi mesin diesel dengan bahan bakar campuran diesel-*crude palm oil*-microemulsion-etanol. Microemulsion fuel adalah campuran surfaktan dan cosurfaktan untuk membentuk emulsi. Pencampuran microemulsion dan ethanol pada bahan bakar dapat menurunkan viskositas campuran diesel-*crude palm oil* hingga memiliki nilai yang sama dengan bahan bakar diesel. Persentase yang digunakan pada diesel dan *crude palm oil* dengan rasio 1:1 adalah 32,5%; 29%; dan 27,5%. Selain itu, persentase etanol yang digunakan adalah 20%. Hasil menunjukkan bahwa bahan bakar yang diberi microemulsion dan etanol memiliki fuel consumption dan emisi CO lebih tinggi daripada bahan bakar diesel dan campuran diesel-*crude palm oil*. Akan tetapi, bahan bakar dengan microemulsion memiliki emisi CO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub> lebih rendah dari bahan bakar lainnya.

Berdasarkan uraian diatas, diketahui bahwa penambahan etanol pada campuran bahan bakar diesel dapat mengurangi kadar emisi gas buang CO dan UHC. Akan tetapi, etanol memiliki nilai kalor yang relatif rendah sehingga peningkatan persentase etanol justru menyebabkan peningkatan jumlah gas buang CO dan UHC. Dampak dari nilai kalor yang relatif kecil adalah ignition delay

yang semakin lama. Akan tetapi, hal ini dapat dikompensasikan dengan kemampuan etanol dalam penyebaran pembakaran. Etanol juga memiliki pengaruh untuk menurunkan viskositas dari suatu campuran bahan bakar bersamaan dengan penggunaan emulsi. Selain etanol, penambahan *crude palm oil* pada bahan bakar diesel juga berdampak pada konsumsi bahan bakar yang semakin rendah pada *engine* putaran tinggi atau diatas 2000 rpm. Torsi dan brake horse power yang dihasilkan akan mengalami kenaikan seiring penambahan *crude palm oil* pada *engine* putaran rendah atau dibawah 2000 rpm. Viskositas *crude palm oil* yang hampir sepuluh kali dari diesel perlu untuk diberi campuran etanol serta emulsi dengan persentase tertentu terlebih dahulu agar dapat mencapai nilai viskositas yang sama dengan diesel. Berdasarkan hasil tersebut, penelitian ini akan menggunakan Etanol Fuel Grade Anhydrous 99,6% serta *crude palm oil* sebagai campuran pada bahan bakar diesel agar tidak terjadi separasi antar cairan bahan bakar. Bahan bakar diesel yang digunakan adalah Dexlite yang diproduksi dan dipasarkan oleh PT. Pertamina di Indonesia. Penelitian akan dilakukan dengan melakukan variasi persentase bahan bakar *crude palm oil* yang akan dicampur dexlite-etanol. Unjuk kerja mesin diesel diharapkan dapat mencapai performa maksimum serta emisi gas buang yang ramah lingkungan dengan penambahan *crude palm oil* serta etanol yang tepat. Dengan hasil yang didapat, bahan bakar campuran dexlite, *crude palm oil*, dan etanol dapat dijadikan solusi terhadap ketergantungan akan minyak bumi dan kerugian embargo komoditas *crude palm oil* serta dapat menjadi sumber energi yang ramah lingkungan dan terbarukan.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan permasalahan yang sudah dibahas, jumlah konsumsi bahan bakar minyak bumi Indonesia melebihi jumlah produksinya sehingga pemerintah harus melakukan impor dari negara lain. Selain permasalahan itu, jumlah produksi minyak kelapa sawit melimpah akibat adanya pelarangan ekspor *palm oil* ke Eropa. Maka dari itu, diperlukan pengganti minyak bumi dari

bahan bakar terbarukan yang terbuat dari minyak kelapa sawit. Tujuan akhirnya adalah untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil serta mengurangi emisi gas buang mesin diesel.

Salah satu teknologi bahan bakar terbarukan yang sudah dilakukan adalah penggunaan etanol sebagai campuran bahan diesel. Akan tetapi, diperlukan penggunaan *Palm Oil* sebagai bahan tambahan untuk dicampurkan dalam bahan bakar sebagai upaya menyelesaikan masalah tersebut. Etanol juga memiliki peran untuk mengurangi viskositas bahan bakar *Crude Palm Oil* pada *Fuel Blend*.

Dari latar belakang dapat diketahui bahwa yang menjadi permasalahan utama dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi persentase *Crude Palm Oil* dengan bahan bakar campuran Dexlite serta persentase Etanol tertentu terhadap unjuk kerja mesin dan emisi bahan bakar yang dihasilkan.

### **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Percobaan menggunakan mesin diesel satu silinder empat langkah dan Direct Injection Yanmar TF 55 R.
2. Bahan bakar yang digunakan adalah campuran Dexlite-*Palm Oil*-Etanol dimana Dexlite adalah produksi PT. Pertamina (Persero), *Crude Palm Oil* dari PT. Wilmar, dan Etanol (Anhydrous 99,6%).
3. Penelitian tidak membahas mengenai reaksi kimia yang terjadi antara Dexlite, Etanol, dan *Crude Palm Oil*.
4. Penelitian tidak membahas tentang pengaruh penyimpanan bahan bakar.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi persentase *Crude Palm Oil* dengan bahan bakar campuran Dexlite serta persentase Etanol tertentu terhadap unjuk kerja mesin dan emisi bahan bakar yang dihasilkan.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mampu menghasilkan teknologi yang dapat mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dan ramah lingkungan.
2. Mendapatkan penerapan teknologi yang tepat guna meningkatkan performa mesin serta mengurangi gas emisi buang diesel Dexlite-*Palm Oil*-Etanol.
3. Mampu memanfaatkan minyak kelapa sawit untuk teknologi bahan bakar campuran sebagai upaya meningkatkan kemandirian energi terbarukan dan mengatasi kerugian akibat pelarangan ekspor kelapa sawit ke Eropa.
4. Mampu mengembangkan pemikiran dalam penemuan-penemuan teknologi bahan bakar yang dapat diperbarui untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat.

## BAB II

### TINJAUAN PUSAKA

#### 2.1 Bahan Bakar

Bahan bakar merupakan material dengan kandungan energi yang dapat diubah menjadi energi lain melalui proses konversi energi seperti pembakaran. Bahan bakar terbagi menjadi 3 jenis berdasarkan wujud zatnya. Pada mesin pembakaran dalam terkhusus untuk mesin diesel terdiri dari 2 jenis, yakni cair dan gas. Contoh bahan bakar cair pada mesin diesel adalah biodiesel, bioetanol, dan diesel [9].

##### 2.1.1 Bahan Bakar Diesel

Mesin diesel adalah mesin yang menggunakan diesel sebagai bahan bakar dalam proses pembakarannya. Bahan bakar diesel didapatkan dari proses distilasi bertingkat minyak bumi mentah (*crude oil*) pada tingkat suhu 250 sampai 370 °C. Bahan bakar diesel dibagi menjadi tiga jenis, yakni tingkat 1-D, tingkat 2-D, dan tingkat 4-D. Tingkat 1-D merupakan bahan bakar yang digunakan pada mesin dengan perubahan kecepatan dan *loading* yang berfrekuensi, seperti untuk kendaraan bermotor. Tingkat 2-D merupakan bahan bakar yang memiliki volatilitas lebih rendah untuk mesin industri, mesin kapal laut, dan lokomotif. Tingkat 4-D digunakan untuk mesin berkecepatan rendah dan sedang. Bahan bakar diesel memiliki sifat fisis yang berpengaruh pada kinerja mesin. Pada *High Speed Diesel* terdapat ciri-ciri utama, yakni tidak mempunyai warna atau hanya sedikit kekuningan dan berbau, encer dan tidak mudah menguap pada suhu normal, mempunyai titik nyala yang tinggi (40°C sampai 100°C), terbakar secara spontan pada suhu 350°C, mempunyai berat jenis sekitar 0.82 – 0.86, mampu menimbulkan panas yang besar (10.500 kcal/kg), dan mempunyai kandungan sulfur yang lebih besar daripada bensin [10].

**Tabel 2.1 Spesifikasi Bahan Bakar Diesel  
(PT. Pertamina Persero)**

<b>No</b>	<b>Properties</b>	<b>Limit</b>	
		<b>Min</b>	<b>Max</b>
1	<i>Sulphur content % wt</i>	-	0,5
2	<i>Specific Gravity pada 60/60°F</i>	0,82	0.87
3	<i>Cetane Number</i>	45	-
4	<i>Viscosity Kinematic pada cSt</i>	1,6	5,8
5	<i>Sulphur Content % wt</i>	-	0,5
6	<i>Residu Carbon % wt (on 10% volume bottom)</i>	-	0,1
7	<i>Water content % vol</i>	-	0,05
8	<i>Ash content % wt</i>	-	0,01
9	<i>Flash point</i>	150	-

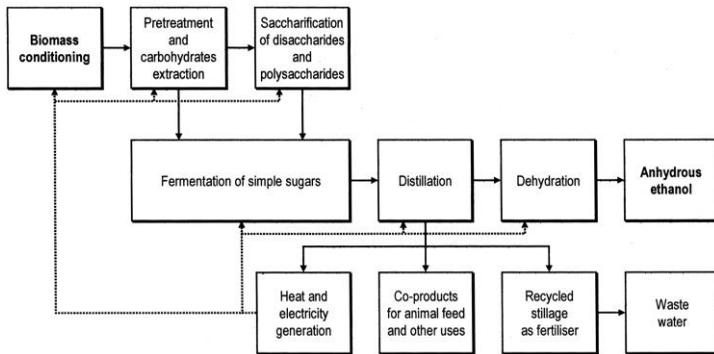
10	<i>Calorific value</i> (kcal/kg)	10500	10667
----	-------------------------------------	-------	-------

### 2.1.2 Bahan Bakar Dexlite

Dexlite merupakan bahan bakar jenis diesel terbaru dari PT. Pertamina yang diluncurkan pada 15 April 2016. Dexlite memiliki angka cetane minimal 51 dan mengandung sulfur maksimal 1200 ppm. Dexlite dihadirkan sebagai upaya untuk menghasilkan performa mesin diesel yang baik, namun dengan harga yang terjangkau [12].

### 2.1.3 Bahan Bakar Etanol

Ethanol adalah ethyl alkohol dengan rumus kimia  $C_2H_5OH$  yang memiliki massa jenis 789 g/l pada 20°C serta mudah larut dengan air. Etanol dibagi berdasarkan sumber pembuatannya, yakni sintetis dan alami. Etanol sintetis didapatkan dari reaksi kimiawi antara etilen dan uap air. Etanol alami dibuat dari fermentasi biomassa. Tahapan produksi etanol dimulai dari proses pengondisian dan ekstraksi karbohidrat. Proses tersebut menghasilkan monosakarida yang akan difermentasi dengan penambahan *Saccharomyces cerevisiae* atau ragi pada suhu 25°C – 30°C dan waktu 6 – 72 jam tergantung pada komposisi, massa jenis, dan aktivitas ragi. Selanjutnya, proses distilasi dilakukan pada suhu tertentu untuk menghasilkan campuran hydrous atau hydrated etanol (95,5% alcohol, 4,5% water). Water content yang tinggi dapat menyebabkan korosi pada *engine* sehingga dilakukan proses dehidrasi untuk menguranginya. Proses tersebut menghasilkan anhydrous ethanol (99,6% alcohol, 0,4% water).



**Gambar 2.1 Proses Pembuatan Etanol**

**(Gnansounou, 2005)**

Ethanol digunakan sebagai bahan bakar karena mengandung kadar oksigen untuk pembakaran yang lebih baik dan gas buang yang lebih ramah lingkungan. Pada mesin diesel, ethanol tidak dapat terbakar secara efektif karena rendahnya cetane number yang berakibat pada *ignition delay*. Oleh karena itu, diperlukan cara-cara khusus untuk mengaplikasikannya. Pertama, ethanol dapat dicampur dengan bahan bakar diesel secara langsung yang disertai penambahan emulsifier agar dapat tercampur dengan baik. Pencampuran ethanol pada bahan bakar diesel biasanya dibatasi sampai 15%. Kedua, ethanol dan diesel dimasukkan ke dalam *engine* secara terpisah. Ketiga, modifikasi mesin diesel dalam menyesuaikan karakteristik ethanol [13]. Etanol memiliki spesifikasi berikut apabila dibandingkan dengan diesel:

**Tabel 2.2 Tabel Spesifikasi Bahan Bakar Etanol****(Achmad Praptijanto, 2015)**

No	Parameter	Unit	Nilai	
			Etanol	Diesel
1	Massa Jenis pada 20 °C	Kg/m <sup>3</sup>	788	837
2	Angka Setana	-	5-8	50
3	<i>Kinematic Viscosity</i> pada 40°C	mm <sup>2</sup> /s	1,2	2,6
4	<i>Surface Tension</i> pada 20 °C	mm <sup>2</sup> /s	0,015	0,023
5	<i>Lower Heating Value</i>	MJ/kg	26,8	43
6	<i>Spesific Heat Capacity</i>	J/Kg. °C	2100	1850
7	<i>Boiling Point</i>	-	78	180 – 360
8	Oksigen, % wt	%	34,8	0
9	<i>Latent Heat of Evaporation</i>	KJ/kg	840	250
10	<i>Stoichiometric air-fuel ratio</i>	-	9	15

11	<i>Molecular weight</i>	-	46	170
----	-------------------------	---	----	-----

Terlihat bahwa etanol memiliki nilai kalor bawah lebih rendah daripada diesel dengan massa jenis yang tidak jauh berbeda. Etanol memiliki kandungan oksigen sekitar 34,8 % dari berat keseluruhan. Penggunaan ethanol tidak dapat dilakukan dengan kadar 100% dikarenakan ethanol mudah larut dengan air sehingga dapat menimbulkan sifat korosif terhadap material komponen mesin.

#### **2.1.4 Bahan Bakar *Crude Palm Oil***

*Crude palm oil* atau minyak kelapa sawit mentah merupakan salah satu minyak nabati yang berasal dari pengolahan buah kelapa sawit. CPO terdiri dari dua jenis, yakni produk makanan dan oleokimia. Salah satu produk oleokimia yang dihasilkan adalah minyak pengganti bahan bakar diesel [15]. Walaupun dapat dijadikan pengganti diesel, terdapat *properties* CPO yang merugikan. Salah satu *properties* yang dianggap menghambat adalah viskositas yang tinggi. Berikut spesifikasi *crude palm oil*:

**Tabel 2.3 Tabel Spesifikasi Bahan Bakar *Crude Palm Oil***

(Yusaf T.F, 2011)

No	Properties	Unit	Nilai
1	<i>High Calorific Value</i>	MJ/kg	40.14
2	<i>Kinematic Viscosity</i> pada 40°C	mm <sup>2</sup> /s	45
3	Densitas	g/cm <sup>3</sup>	0,86

4	Titik Nyala	°C	193
5	Angka Setana	-	49

Apabila tidak dilakukan pengolahan dengan baik, pembakaran tidak dapat menghasilkan daya secara maksimal serta injektor akan sulit memasukan bahan bakar ke dalam silinder. Maka dari itu, perlu adanya cara pengolahan khusus dalam mengurangi viskositas untuk meningkatkan performa mesin, seperti melakukan proses pirolisis dengan cepat, transesterifikasi, pencampuran langsung dengan diesel, dan emulsifikasi [8]. Pencampuran langsung dapat dilakukan dengan cara memanaskan bahan bakar CPO terlebih dahulu maupun tanpa dipanaskan terlebih dahulu. Batas suhu minimal pemanasan adalah 60°C dimana hasil pemanasan ini tidak memberi keuntungan pada segi performa dan membutuhkan sistem pemanas secara berkala apabila dibandingkan dengan CPO yang tidak dipanaskan [16]. Proses emulsi dan pencampuran bahan bakar CPO dengan persentase lebih sedikit tanpa proses pemanasan pada suhu 60°C dapat menjadi pilihan untuk mengurangi viskositas. Hal ini juga mempengaruhi rendahnya NO<sub>x</sub> dan CO pada gas buang [8]. Selain penggunaannya sebagai pengganti diesel, tanaman kelapa sawit juga memiliki produktivitas tinggi dalam menghasilkan minyak. Efisiensi tanaman kelapa sawit lebih tinggi dengan hasil sebesar 3,74 ton/ha tiap tahun dibandingkan minyak nabati lainnya, seperti minyak kedelai, minyak bunga matahari, dan minyak *rapessed*. Sawit hanya membutuhkan 9,86 juta ha untuk menghasilkan 36,9 juta ton minyak, sedangkan kedelai butuh 92,63 juta ha untuk menghasilkan 35,19 juta ton minyak, bunga matahari butuh 22,95 juta ha untuk menghasilkan 11,09 juta ton minyak, dan *rapessed* butuh 27,29 juta ha untuk menghasilkan 18,34 juta ton minyak.

### 2.1.5 Standar Nasional Bahan Bakar Nabati

Indonesia memiliki produk bahan bakar yang berasal dari bahan nabati. Setiap produk bahan bakar tentu memiliki standar dan mutu yang diatur agar kualitas bahan bakar terjaga dan tidak memberikan efek negatif bagi *engine*. Berdasarkan standar dan mutu yang diatur oleh Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, berikut standar yang diperlukan untuk memenuhi spesifikasi bahan bakar nabati sebelum proses distribusi:

**Tabel 2.4 Standar Bahan Bakar Nabati di Indonesia**

**(Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, 2019)**

No	Parameter Uji	Metode Uji	Persyaratan	Satuan
1	Massa Jenis pada 40°C	SNI 7182:20 15	850 – 890	Kg/m <sup>3</sup>
2	<i>Kinematic Viscosity</i> pada 40°C	SNI 7182:20 15	2,3 – 6,0	mm <sup>2</sup> /s
3	Angka Setana	SNI 7182:20 15	51	(minimum)
4	Sulfur	SNI 7182:20 15	10	mg/kg (maksimum )
5	Titik Nyala	SNI 7182:20 15	130	°C (minimum)

Berdasarkan dari data tersebut, bahan bakar nabati yang diproduksi harus sesuai dengan spesifikasi dalam rentang yang sudah diatur oleh pemerintah. Apabila tidak sesuai, produk yang dihasilkan tidak dapat diberikan izin produksi dan distribusi.

## **2.2 Pencampuran Bahan Bakar (*Fuel Blend*)**

Dalam proses pencampuran bahan bakar terdapat dua cara yang dapat digunakan, yakni dengan menggunakan *emulsion* dan *solution*. Teknik membentuk *solution* dibagi menjadi dua, yaitu mencampur bahan bakar dengan bahan bakar lainnya yang memiliki karakteristik hampir sama, seperti solar dengan biodiesel atau bensin dengan etanol dan mencampur bahan bakar dengan bahan bakar lainnya yang memiliki perbedaan dalam karakteristik dengan proses tambahan berupa pemanasan hingga suhu 50°C [17].

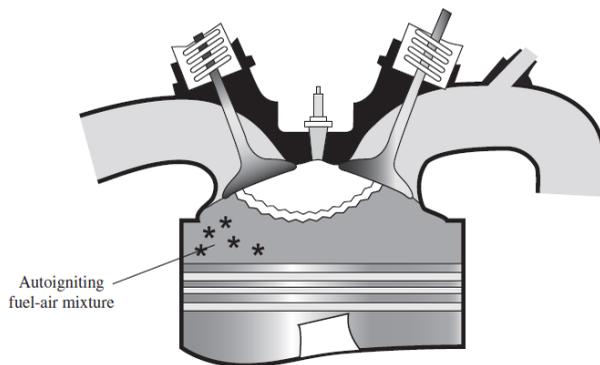
Emulsi merupakan campuran dari dua zat cair atau lebih yang terdiri dari fase terdispersi/terlarut dan pendispersi/pelarut dengan bantuan emulsifiers untuk membentuk campuran homogen. Emulsi merupakan bahan yang tidak stabil sehingga dibutuhkan suatu penambahan emulsifier. Emulsi terdiri dari dua jenis berdasarkan emulsifier, yaitu *oil in water emulsion* dimana emulsifier lebih mudah terikat dengan zat polar, seperti etanol dan *water in oil emulsion* dimana emulsifier lebih mudah terikat dengan zat non polar, seperti minyak. Tanpa adanya emulsifier, emulsi akan terpisah secara bertahap dalam waktu tertentu. Bahan campuran yang sudah teremulsi dapat stabil karena adanya surfaktan atau zat aktif permukaan pada emulsifier. Surfaktan menurunkan tegangan permukaan antara zat cair yang dicampurkan sebagai akibat dari proses adsorpsi emulsifier dalam membentuk lapisan antar cairan. Penggunaan surfaktan dibagi berdasarkan nilai HLB atau Hydrophile-Lipophile Balance. HLB digunakan untuk menentukan hubungan antara zat yang dapat berikatan dengan air (Hydrophile) dan zat yang dapat berikatan dengan minyak (Lipophile). Nilai HLB ada pada range 0 – 20

dimana emulsifier dengan nilai HLB 4 – 8 menghasilkan water in oil emulsion yang stabil, sedangkan emulsifier dengan nilai HLB diatas 10 lebih mudah berikatan dengan air sehingga dapat menghasilkan oil in water emulsion yang stabil [18].

Pada pencampuran bahan bakar diesel diketahui bahwa bahan bakar diesel berada pada fase kontinu atau pendispersi, sedangkan bahan bakar lainnya pada fase terdispersi. Emulsi untuk mesin diesel terjadi secara tiga fase emulsi, yakni Oil-in-water-in-oil-emulsion. Bagian cairan yang terdispersi akan menyelubungi bahan bakar lainnya yang dicampurkan dengan diesel yang berada pada fase kontinu atau pendispersi sehingga membentuk satu fase [19].

### 2.3 Dasar Teori Pembakaran

Pembakaran merupakan proses oksidasi bahan bakar secara cepat untuk memproduksi panas dan cahaya. Zona penyebaran nyala api dapat terlihat pada gambar berikut.



**Gambar 2.2 Proses Pembakaran Pada Mesin Diesel**

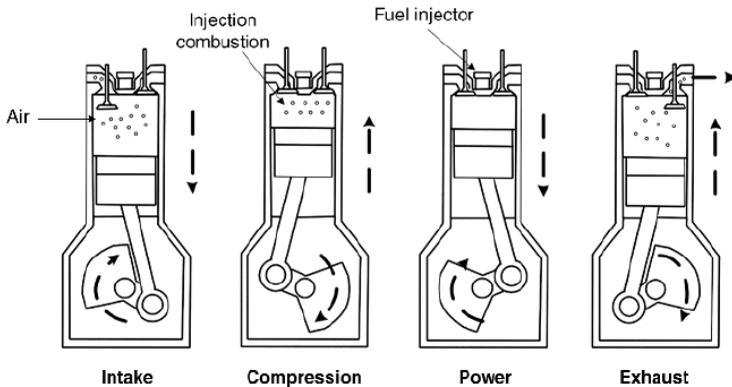
*(An Introduction to Combustion Concepts and Applications, 2012)*

Proses pembakaran pada mesin diesel terjadi karena *autoignition* yang dimiliki oleh bahan bakar. Pembakaran secara sempurna terjadi apabila pasokan oksigen yang ada memiliki jumlah yang cukup. Komposisi nitrogen di udara memiliki jumlah terbesar dengan 79%, sedangkan oksigen jumlahnya 20,9% dan sisanya merupakan elemen lain. Nitrogen berfungsi sebagai pengencer yang menurunkan temperatur dan harus ada untuk mencapai jumlah oksigen yang dibutuhkan dalam pembakaran. Nitrogen mengurangi efisiensi pembakaran karena menyerap panas dari pembakaran bahan bakar dan mengencerkan gas buang. Nitrogen bergabung dengan oksigen menghasilkan oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ) terutama pada temperatur penyalaan yang tinggi. Karbon dapat bergabung dengan oksigen membentuk karbon monoksida atau karbon dioksida. Apabila terbentuk karbon monoksida, sedikit panas akan dihasilkan (2.430 kkal/kg karbon). Panas lebih banyak akan dihasilkan apabila karbon dan oksigen membentuk karbon dioksida (8.084 kkal/kg karbon) [20].

## **2.4 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:

#### Four-stroke cycle (Diesel)



**Gambar 2.3 Mesin Diesel Empat Langkah**

*(Electric and Hybrid Vehicles: Technologies, Modeling and Control: A Mechatronic Approach, 2014)*

### 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**

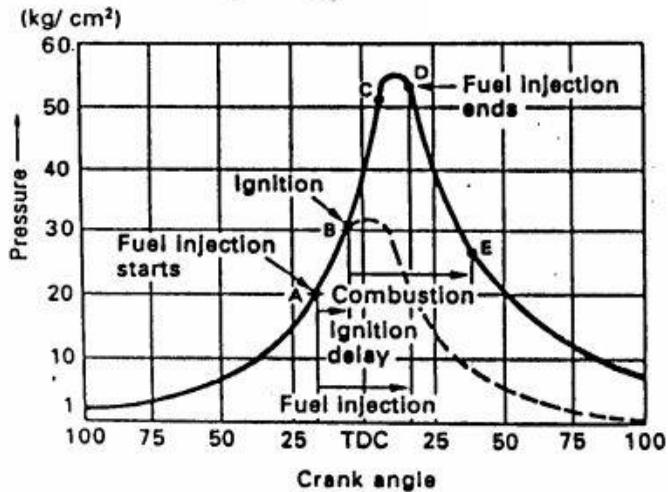
Proses pembakaran ini menghasilkan tenaga dari proses ekspansi gas yang menekan piston hingga mencapai titik mati bawah. Pada saat ini, kedua katup tertutup.

### **4. Langkah Buang**

Gas buang hasil pembakaran terbang 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.

#### **2.4.1 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  $P - \theta$  seperti pada gambar 2.1, yakni:



**Gambar 2.4 Tahap Pembakaran**

(Mesin Konversi Energi, 2013)

**a. Tahap Pertama**

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.

### **b. Tahap Kedua**

Pada tahap ini pembakaran terjadi 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**

Pada tahap ini terjadi pembakaran terkendali atau *controlled combustion* seperti pada gambar 2.1 bagian C-D. 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**

Tahap ini disebut dengan *After Burning*. 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*).

### 2.4.2 Unjuk Kerja Mesin Diesel

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

#### 1. Daya

Daya mesin adalah daya yang dihasilkan untuk mengatasi beban yang diberikan pada mesin. Proses pengukuran daya dilakukan dengan cara memberikan beban lampu dengan daya dari 200 watt hingga 2000 watt. Daya yang dihasilkan mesin diesel akan dikopel dengan generator listrik sehingga dapat dihitung berdasarkan pembebanan pada generator listrik dan dapat dinyatakan sebagai daya efektif ( $N_e$ ). Berikut persamaan untuk menentukan daya efektif:

$$N_e = \frac{V \times I \times \cos \phi}{\eta_{\text{generator}} \times \eta_{\text{transmisi}}} \text{ (Watt)} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :  
 $N_e$  : Daya mesin (W)  
 $V$  : Tegangan listrik (Volt)  
 $I$  : Arus listrik (Ampere)  
 $\eta_{\text{generator}}$  : Efisiensi mekanisme generator  
 $\cos \theta$  : Faktor daya listrik ( $\cos \phi = 1$ )

#### 2. Torsi

Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja. Torsi merupakan hasil pembagian

daya dalam sekali putaran mesin tiap menit (rpm) sehingga memiliki satuan Nm (SI) atau *ft.lb* (*British*). Torsi berguna untuk mengatasi hambatan saat berkendara, seperti terperosok. Momen torsi dihitung dengan persamaan seperti berikut:

$$Mt = \frac{60000 \times Ne}{2\pi n} (N.m) \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

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

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

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

Langkah kerja piston diakibatkan oleh tekanan yang bekerja dari proses pembakaran campuran udara dan bahan bakar. Besarnya tekanan ini berubah-ubah sepanjang langkah piston tersebut. Perubahan tekanan pada piston ini dirata-rata sehingga berharga konstan yang membuat nilai kerja menjadi sama. 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:

$$b_{mep} = \frac{N_{ex} Z \times 60}{A \times l \times n \times i} (N/m^2) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

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

#### 4. *Specific Fuel Consumption (SFC)*

*Specific fuel consumption (sfc)* adalah jumlah bahan bakar yang digunakan pada mesin untuk menghasilkan daya efektif satu hp selama satu jam. Proses pengujian menghasilkan data mengenai penggunaan bahan bakar dalam bentuk massa (kg) pada waktu tertentu (detik) dan daya efektif (Ne) atau *brake horse power* (hp) sehingga dapat dibuat persamaan pemakaian bahan bakar (*m<sub>bb</sub>*) dan *sfc* sebagai berikut:

$$\dot{m}_{bb} = \frac{m_{bb}}{s} (kg) \dots \dots \dots (2.4)$$

$$sfc = 3600 \frac{\dot{m}_{bb}}{N_e} \left( \frac{kg}{kW.jam} \right) \dots \dots \dots (2.5)$$

#### 5. Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ )

Jumlah pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif pada mesin pembakaran dalam disebut dengan efisiensi thermal. Berikut persamaan efisiensi thermal:

$$\eta_{th} = \frac{\text{Daya efektif yang dihasilkan}}{m \text{ bahan bakar} \times LHV \text{ bahan bakar}} \times 100\% \dots\dots(2.6)$$

*LHV* bahan bakar merupakan nilai kalor bawah (*Lower Heating Value*) atau panas pembakaran bawah bahan bakar (Kcal/kg bahan bakar). Nilai kalor sendiri adalah jumlah energi panas maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna per satuan massa atau volume bahan bakar. Berikut rumus empiris *LHV* khusus untuk bahan bakar diesel:

$$LHV = [16280 + 60(API)] \text{ Btu/lb} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

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

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

*API Gravity* adalah suatu pernyataan yang menyatakan densitas dari suatu material yang diukur pada temperatur minyak bumi 60°F. Berikut rumus untuk menghitung *API Gravity*:

$$API = \frac{141,5}{\text{Specific Gravity pada } 60^\circ\text{F}} - 131,5 \dots\dots\dots(2.8)$$

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

### 2.4.3 Emisi Gas Buang Mesin Diesel

Pada mesin diesel, bahan bakar dan udara tercampur di dalam ruang bakar. Proses pembakarannya terjadi karena udara

terkompresi pada tekanan tinggi sehingga menghasilkan suhu yang tinggi yang membuat bahan bakar terbakar setelah diinjeksikan. Seperti pada umumnya, karbon dan hidrogen merupakan kandungan dari diesel. Pada pembakaran sempurna seharusnya mesin diesel hanya menghasilkan emisi gas buang  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Akan tetapi, banyak penyebab seperti ignition timing, temperatur pembakaran, dan lainnya yang membuat hasil pembakaran tidak sempurna. Gas buang yang tidak diinginkan adalah UHC,  $\text{NO}_x$ , Partikulat, dan CO [24].

**a. Karbon Monoksida (CO)**

Karbon monoksida terbentuk karena proses pembakaran tidak sempurna. Pada campuran bahan bakar yang lebih kaya daripada campuran stoikiometri, komposisi udara lebih sedikit sehingga tidak seluruh bahan bakar terbakar. Tidak semua karbon berikatan dengan oksigen untuk menjadi karbon dioksida dan justru membentuk karbon monoksida (CO). Meskipun pada campuran bahan bakar yang lebih miskin, CO juga dapat terbentuk karena laju reaksi kimia pada pembakaran. Pada mesin diesel, CO dapat terbentuk apabila droplet pada injeksi bahan bakar terlalu besar. Efeknya pada kesehatan manusia adalah menghalangi darah untuk mengikat oksigen dalam darah sehingga CO berbahaya bagi manusia.

**b. Unburnt Hydrocarbons (UHC)**

Hidrokarbon terbentuk dari bahan bakar yang tidak terbakar sebagai hasil dari rendahnya temperatur pada dinding silinder. Emisi hidrokarbon mesin diesel terdapat pada pembebanan rendah. Penyebab utamanya adalah campuran bahan bakar yang kaya dimana penyalaan api terlalu lambat untuk pembakaran pada

proses langkah ekspansi sehingga tidak dapat mencapai batas mampu bakar. Jumlah *Unburnt Hydrocarbon* pada gas buang dipengaruhi oleh kecepatan mesin, injeksi yang tidak teratur, dan volume rongga *nozzle* yang berlebihan. UHC tidak hanya ditemukan pada gas buang, tetapi juga pada *crankcase*. UHC memiliki dampak berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan. Bersama polutan lainnya, UHC menjadi penyebab efek rumah kaca serta mampu menyebabkan kanker dan iritasi pada paru-paru manusia.

### c. **Partikulat**

Partikulat pada gas buang merupakan hasil dari pembakaran dimana sumbernya berasal dari campuran partikel kecil dari sebagian bahan bakar yang terbakar, sebagian pelumas, dan *ash content* pada bahan bakar. Pada saat udara ditekan dan dipanaskan pada temperatur tinggi, penguapan dan pencampuran bahan bakar dengan udara yang ada di dalam silinder tidak dapat berlangsung secara sempurna. Apabila butir-butir bahan bakar yang terjadi pada penyemprotan ke dalam silinder motor terlalu besar atau apabila butir-butir berkumpul menjadi satu, terjadilah dekomposisi yang menyebabkan terbentuknya karbon-karbon padat atau hangus. Hal ini terjadi pada saat banyak bahan bakar yang disemprotkan di dalam silinder seperti pada saat daya motor akan diperbesar atau saat sedang proses akselerasi. Partikulat dapat mengganggu jarak pandang dan membentuk lapisan gas di atmosfer yang menyebabkan efek rumah kaca.

### d. **Nitrogen Oksida**

Udara pada pembakaran sebagian besar terdiri dari oksigen dan nitrogen. Pada saat mesin diesel melakukan proses pembakaran, nitrogen seharusnya tidak bereaksi

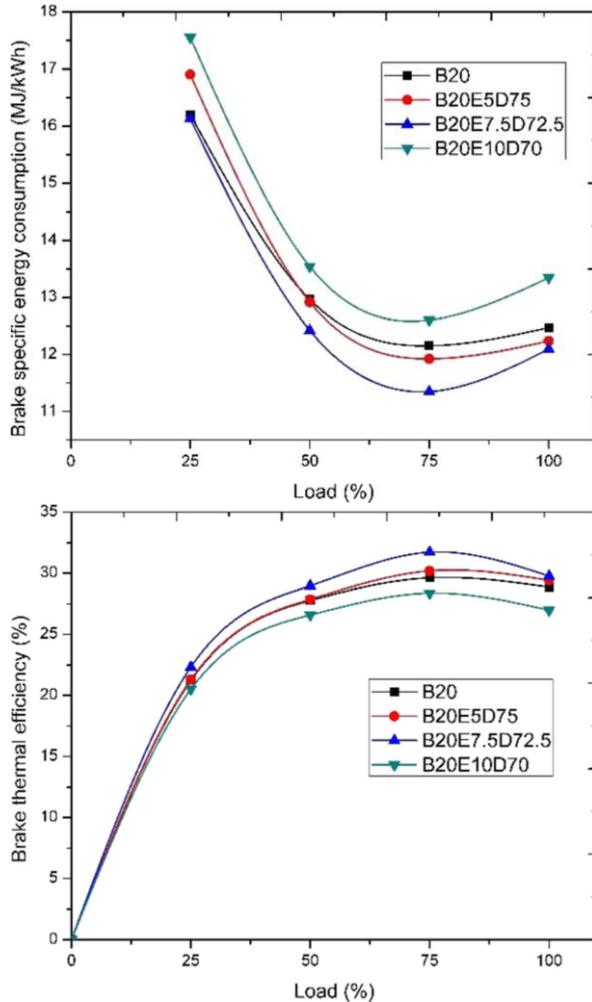
dengan oksigen dan langsung keluar melalui gas buang. Namun, suhu pembakaran yang tinggi pada silinder membuat oksigen bereaksi dengan nitrogen dan membentuk  $\text{NO}_x$  sehingga dari peristiwa tersebut yang menjadi penyebab utama terbentuknya  $\text{NO}_x$  adalah temperatur dan konsentrasi oksigen.  $\text{NO}_x$  terdiri dari NO dan  $\text{NO}_2$ . NO tidak berwarna dan tidak berbau, sedangkan  $\text{NO}_2$  berwarna merah kecoklatan dengan bau tertentu.  $\text{NO}_2$  memiliki tingkat beracun lima kali lebih besar daripada NO.

## 2.5 Penelitian Terdahulu

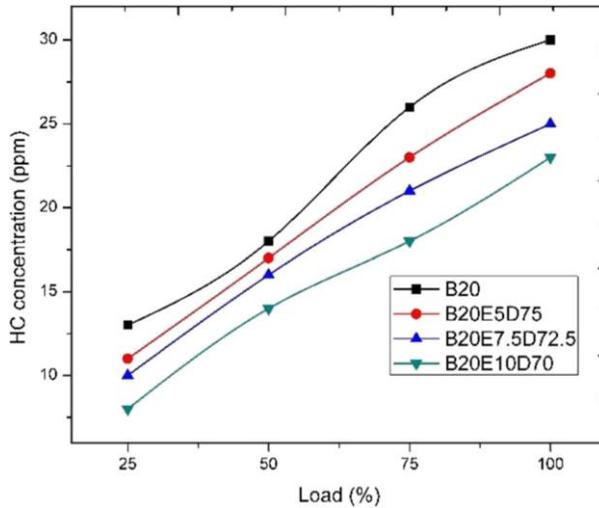
### 2.5.1 Penelitian oleh Pijakala Dinesha, 2019: Combustion, performance, and emissions of a compression ignition engine using Pongamia biodiesel, diesel and bioethanol

Studi ekperimental dilakukan untuk meneliti bahan bakar campuran dari bioetanol, biodiesel (B20), dan diesel, dimana perpaduannya dibagi menjadi B20E5D75, B20E7,5D72,5 dan B20E10D70. Unjuk kerja mesin diesel diteliti secara eksperimental dengan jenis mesin single cylinder 4 stroke pada 1500 rpm dengan pembebanan 25%, 50%, 75%, dan 100%. Bahan bakar campuran bioetanol dengan B20 menghasilkan emisi gas buang CO, UHC, dan NO lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar B20 terutama saat mencapai titik minimum pada campuran bioetanol 7,5%. BTE (*Brake Thermal Efficiency*) yang dihasilkan akan semakin meningkat seiring dengan penambahan load. BTE akan mencapai maksimum pada penambahan bioetanol pada 7,5%. Hal ini disebabkan oleh viskositas etanol yang lebih rendah daripada B20. Distribusi pembakaran akan terjadi secara merata serta jumlah kadar oksigen yang tinggi mengakibatkan pembakaran terjadi secara sempurna. Akan tetapi, semakin banyak kadar bioetanol, nilai kalornya akan semakin rendah. Akibatnya, ignition delay juga bertambah seiring dengan penambahan kadar bioetanol. Hal ini terlihat dari peningkatan BTE hingga mencapai maksimum pada

campuran bioetanol 7,5% dan penurunan BTE pada campuran bioetanol 10%.



(a)



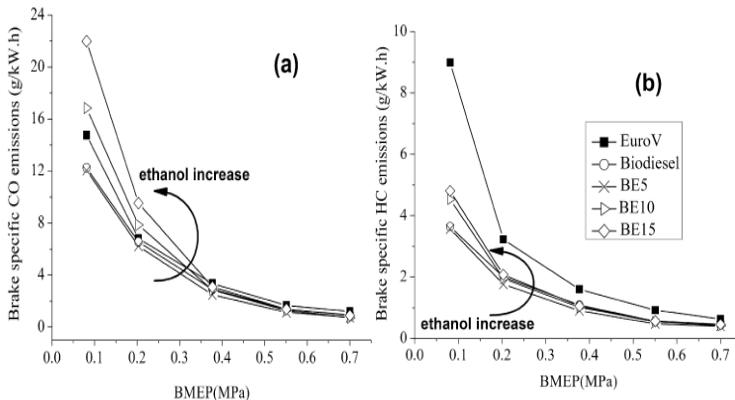
(b)

**Gambar 2.5** Efek Campuran Bahan Bakar dengan Persentase Berbeda terhadap (a) *brake specific fuel consumption* dan *brake thermal efficiency*, (b) Kadar HC

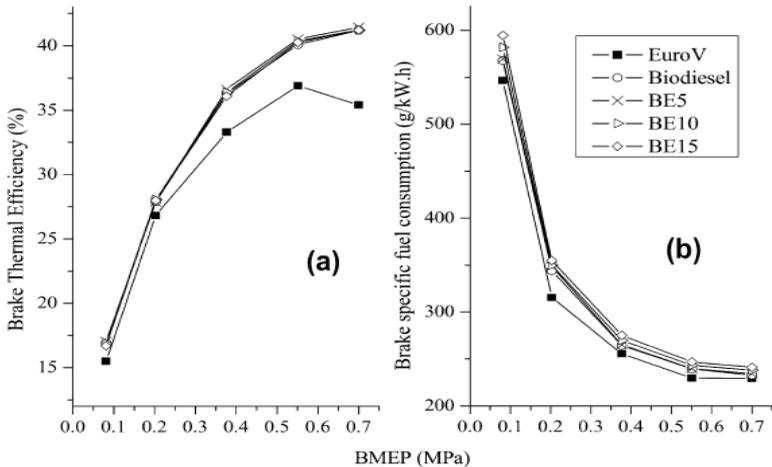
### 2.5.2 Penelitian oleh Lei Zhu, 2011: Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fueled with ethanol–biodiesel blends

Studi eksperimental dilakukan pada penelitian campuran bahan bakar etanol dengan biodiesel dimana perpaduannya dibagi menjadi BE5, BE10, dan BE15. Unjuk kerja mesin diteliti pada *engine* 4 silinder pada kecepatan konstan 1800 rpm dengan pembebanan sesuai brake mean effective pressures (bmep) pada 0,08 MPa, 0,2 Mpa, 0,38 MPa, 0,55 MPa, dan 0,7 MPa. Bahan bakar campuran etanol dan biodiesel menghasilkan BTE yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar Euro V diesel. BTE dari bahan bakar etanol dan biodiesel mencapai maksimum pada bmep 0,7 MPa. BSFC atau brake specific fuel consumption

pada bahan bakar campuran etanol dan biodiesel lebih tinggi dibandingkan dengan Euro V diesel dikarenakan bahan bakar campuran etanol dan biodiesel memiliki calorific value yang lebih rendah. Etanol juga memiliki air fuel ratio yang lebih kecil daripada biodiesel dan Euro V diesel sehingga campuran biodiesel dan etanol menjadi campuran bahan bakar yang lean. Hal ini terlihat pada emisi CO dan HC dari campuran biodiesel dan etanol lebih rendah daripada Euro V diesel. Akan tetapi, pada campuran BE5 justru lebih rendah daripada BE10 dan BE15. Semakin banyak etanol, semakin tinggi emisi CO dan HC. Ini diakibatkan oleh nilai kalor etanol yang rendah dimana terdapat pengaruhnya pada kecepatan pembakaran.



**Gambar 2.6 Efek Campuran Bahan Bakar pada Persentase Berbeda terhadap (a) Kadar CO dan (b) Kadar HC**

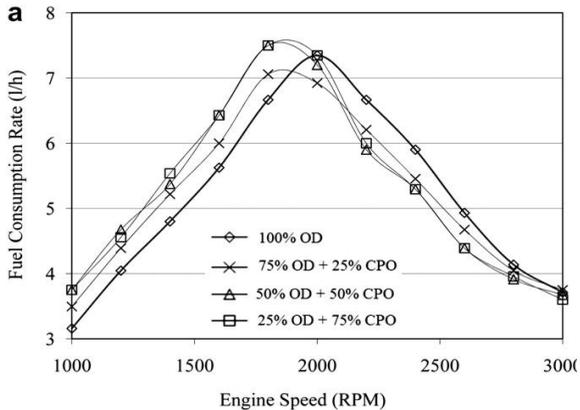


**Gambar 2.7** Efek Campuran Bahan Bakar dengan Persentase Berbeda terhadap (a) *brake thermal efficiency* dan (b) *brake specific fuel consumption*

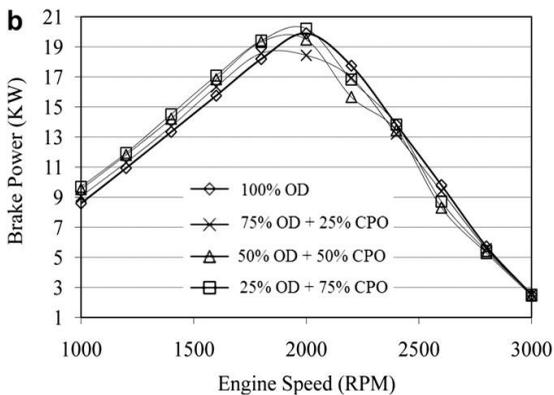
### 2.5.3 Penelitian oleh T.F. Yusaf, 2011: Crude palm oil fuel for diesel-engines: Experimental and ANN simulation approaches

Studi eksperimental dilakukan untuk membandingkan antara campuran bahan bakar *crude palm oil* dan diesel dengan diesel dimana persentase *crude palm oil* yang digunakan adalah 25%, 50%, dan 75% dari kecepatan 1000 – 3000 rpm dengan kenaikan tiap 200 rpm. Bahan bakar campuran diesel dan *crude palm oil* memiliki fuel consumption lebih sedikit dibandingkan diesel pada putaran tinggi, yakni 1800 – 2200 rpm. Semakin sedikit rasio campuran diesel, maka semakin sedikit konsumsi bahan bakarnya. Hasil unjuk kerja mesin lainnya berupa torsi dan brake horse power dimana torsi dan bhp yang dihasilkan oleh campuran *crude palm oil* dan diesel lebih tinggi daripada diesel dari 1000 – 1800 rpm. Pada 2000 rpm hanya campuran CPO 75% yang memiliki nilai torsi dan bhp lebih tinggi daripada diesel.

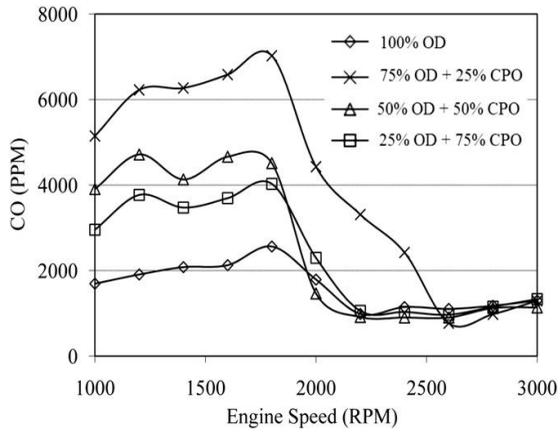
Selanjutnya, grafik torsi dan bhp untuk seluruh bahan bakar terlihat menurun karena flow rate bahan bakar yang semakin rendah pada putaran tinggi. Hasil dari emisi gas buang yang dihasilkan menunjukkan bahwa CO dan NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh bahan bakar campuran diesel dan CPO lebih rendah dibandingkan diesel pada putaran rendah.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 2.8** Efek Campuran Bahan Bakar dengan Persentase Berbeda terhadap (a) *fuel consumption*, (b) *brake power*, dan (c) **Kadar CO**

## **BAB III**

### **METODOLOGI**

#### **3.1 Metode Penelitian**

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental pada mesin diesel yang kecepatannya konstan. Mesin diesel sebagai alat uji dengan poros utama dikopel langsung dengan electrical generator sebagai electrical dynamometer. Proses pengujian dilakukan di Workshop Laboratorium Teknik Pembakaran dan Sistem Energi Gedung Teknik Mesin ITS.

#### **3.2 Peralatan Eksperimen**

Berikut alat-alat uji dan alat-alat ukur yang digunakan dalam eksperimen ini:

##### **3.2.1 Alat Uji**

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

##### 1. Mesin Diesel dengan spesifikasi berikut:

- Merk : Yanmar
- Model : TF 55 R
- Sistem pembakaran : *direct injection*
- Jumlah silinder : 1 silinder
- Kerja mesin : 4 langkah
- Diameter x panjang langkah : 75x80 (mm)
- Volume silinder : 353 (cc)
- Daya kontinu : 4,5/2200 (hp/rpm)
- Daya maksimum : 5,5/2200 (hp/rpm)
- Pompa bahan bakar : Tipe Bosch
- Perbandingan kompresi : 17.9:1
- Saat pengabutan : 17° sebelum TMA

- Tekanan injektor : 200 kg/cm<sup>2</sup>
  - Sistem pelumasan : pelumas paksa
  - Jenis minyak pelumas : SAE 40 CC/CD
  - Kapasitas minyak pelumas : 1,8 liter
  - Kapasitas tangki bahan bakar : 7,1 liter
  - Sistem pendingin : Radiator
  - Dimensi mesin
1. Panjang : 607,5 (mm)
  2. Lebar : 311,5 (mm)
  3. Tinggi : 469,0 (mm)

2. Generator listrik/*electrical dynamometer* dengan spesifikasi:

- Merk : Noqiwa
- Model : ST-3
- *Voltage* (V) : 220
- RPM : 1500
- Frekuensi (Hz) : 50
- *Phase* : 1
- Base (kW) : 3
- Ev Volt (V) : 42
- Ex Curr (A) : 2

3. Beban Listrik.

Beban listrik diatur dengan 10 lampu pijar yang masing-masing lampunya memiliki konsumsi daya 200 Watt. Pengaturan beban bahan bakar yang diuji (Dexlite-*Palm Oil*-Etanol dengan Emulsi) dilakukan dengan cara memasang tombol stop/kontak pada bagian lampu-lampu pembebanan yang terpasang secara paralel.

### 3.2.2 Alat Ukur

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

1. Stopwatch

Alat ini digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan mesin diesel untuk mengonsumsi bahan bakar yang diuji

2. Pipet Volumetrik

Alat ini digunakan untuk mengukur jumlah bahan bakar uji yang dikonsumsi oleh mesin diesel

3. Voltmeter dan Amperemeter

Alat ini digunakan untuk mengukur arus listrik (I) dan tegangan listrik (V) akibat pembebanan pada generator listrik.

4. *Smoke Tester*

Alat ini digunakan untuk mengetahui kadar gas emisi yang dihasilkan oleh mesin diesel.

5. Thermocouple, Thermo Selector, dan Display

Thermocouple ini terpasang langsung pada *engine* sebagai sensor thermal yang akan memberi data temperatur. Thermo selector dan display akan menampilkan temperatur dari hasil pembacaan sensor.

6. Tachometer Digital

Alat ini digunakan untuk mengukur putaran *engine*.

### 3.3 Sistematika Penelitian

#### 3.3.1 Tahap-tahap Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menentukan perumusan masalah.
2. Studi literatur, yang bertujuan untuk mendapatkan berbagai informasi dan data yang berkaitan dengan objek penelitian.
3. Mempersiapkan alat uji, meliputi;
  - a. Membuat kerangka dudukan *engine* dan generator.
  - b. Memasang *engine* dan generator pada kerangka dudukan.
  - c. Memasang belt penghubung *engine* dan generator.
  - d. Melakukan Tune-Up pada *engine*, seperti pemeriksaan baut, sistem pemasukan bahan bakar, air pendingin, oli mesin, saringan udara, saluran exhaust dan penyetelan klep.
  - e. Menghubungkan generator ke electric dynamometer.
  - f. Mengoperasikan *engine* untuk mengetahui *engine* berfungsi dengan baik dan normal.
4. Mempersiapkan alat ukur, meliputi;
  - a. Memastikan setiap peralatan (voltmeter, tachometer, thermometer, dan stopwatch) memiliki power supply (baterai kering) yang cukup.
  - b. Mengatur skala alat ukur sesuai kebutuhan.
  - c. Memasang kabel-kabel thermocouple pada tempat yang akan diukur suhunya, lalu diinstalali pada thermo selector dan display.
  - d. Memasang clampmeter (voltmeter) pada bagian input electric dynamometer.
5. Mempersiapkan bahan bakar (pada point 3.4).

6. Melakukan pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang *engine* diesel (pada point 3.5).
7. Pengolahan data, yaitu dengan melakukan perhitungan data hasil pengujian pada langkah 7 yang meliputi daya, torsi, BMEP, SFC, dan efisiensi thermal.
8. Data dan hasil pengolahan data pada langkah 8 disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Daya, torsi, BMEP, SFC, temperatur gas buang, temperatur pendingin, temperatur oli, temperatur mesin, efisiensi termal, dan kadar *smoke* terhadap beban serta variasi persentase campuran Dexlite-*Crude palm oil* dan campuran Dexlite-*Crude palm oil*-Ethanol yang berbeda disajikan untuk mempermudah proses analisis.

### **3.4 Persiapan Bahan Bakar (Fuel Blend) dan Uji Properties**

Proses persiapan bahan bakar dilakukan dengan menyiapkan masing-masing bahan bakar yang akan dicampur (blend). Bahan bakar dalam eksperimen ini adalah Dexlite, Ethanol, dan *Palm Oil* dengan penambahan emulsifier Tween 80 dengan persentase terbaik. Penambahan emulsifier Tween 80 dilakukan agar pencampuran antara Dexlite, Ethanol, dan *Palm Oil* dapat membentuk suatu emulsi secara homogen dalam waktu yang relatif lama.

Dalam eksperimen ini digunakan bahan bakar Dexlite yang diproduksi oleh PT. Pertamina (Persero) dengan spesifikasi sebagai berikut:

No	Properties	Limit	
		Min	Max
1	Sulphur content % wt	-	0,12
2	Specific Gravity at 60/60°F	0,82	0.87
3	Cetane Number	51	-
4	Viscosity Kinematic at cSt	1,6	5,8
5	<i>Flash point</i>	150	-
6	Calorific value (kcal/kg)	10500	10667
7	<i>Latent Heat of Evaporation</i>	250	-

Bahan bakar lainnya yang digunakan adalah *Fuel Grade Unhydrous Ethanol* dengan kandungan alkohol 99,6%. Berikut spesifikasi ethanol yang digunakan:

No	Parameter	Unit	Nilai
1	Massa Jenis pada 20 °C	Kg/m <sup>3</sup>	788
2	Angka Setana	-	5-8

3	Kinematic Viscosity pada 40°C	mm <sup>2</sup> /s	1,2
4	Surface Tension pada 20 °C	mm <sup>2</sup> /s	0,015
5	Lower Heating Value	MJ/kg	26,8
6	Spesific Heat Capacity	J/Kg. °C	2100
7	Boiling Point	-	78
8	Oxygen, % weight	%	34,8
9	Latent Heat of Evaporation	KJ/kg	840
10	Stoichiometric air-fuel ratio	-	9
11	Molecular weight	-	46

Bahan bakar ketiga yang digunakan adalah *Crude Palm Oil* yang belum mengalami proses *preheat*. Berikut spesifikasi *Crude Palm Oil* yang digunakan:

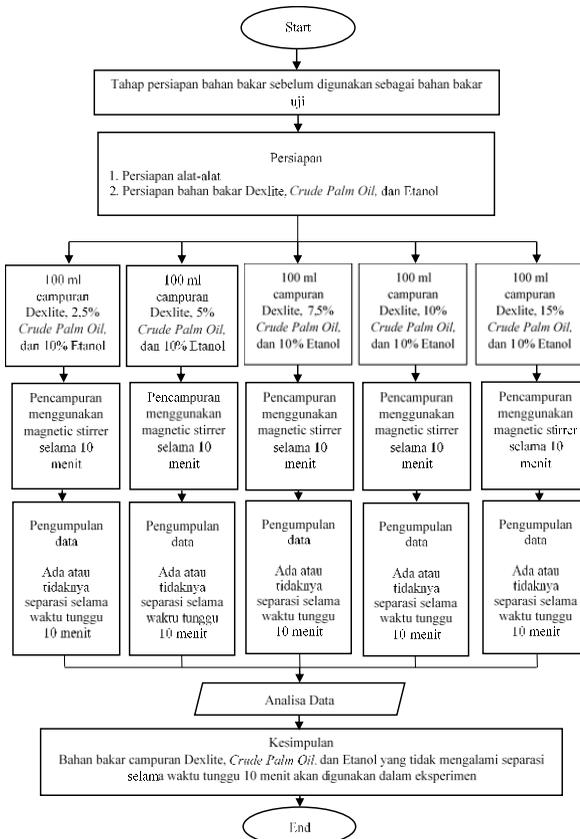
No	Properties	Unit	Nilai
1	<i>High Calorific Value</i>	MJ/kg	40.14

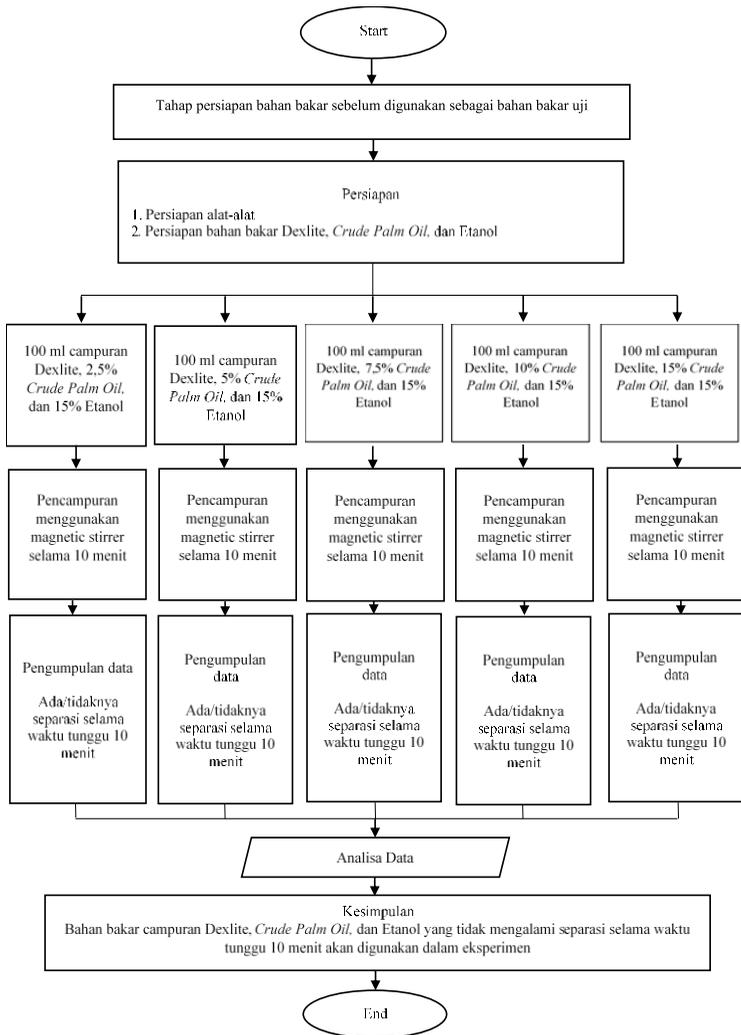
2	<i>Kinematic Viscosity</i> pada 40°C	mm <sup>2</sup> /s	45
3	Densitas	g/cm <sup>3</sup>	0,86
4	Titik Nyala	°C	193
5	Angka Cetane	-	49

### 3.4.1 Flowchart Persiapan Bahan Bakar (Fuel Blend)

Berikut flowchart untuk persiapan bahan bakar (*fuel blend*):

#### 1. Campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol



2. Campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol

### 3.4.2 Tahap – tahap Persiapan Bahan Bakar (Fuel Blend) dan Uji Properties

Adapun tahapan dalam mempersiapkan bahan bakar uji adalah sebagai berikut;

1. Mempersiapkan alat yang akan digunakan, meliputi gelas beaker, Erlenmeyer, dan magnetic stirrer.
2. Mempersiapkan 100 ml bahan bakar yang akan dicampurkan pada *beaker glass* dengan masing-masing campuran disediakan pada 3 gelas ukur, yaitu:
  - a. 87,5% Dexlite, 2,5% *Crude palm oil*, dan 10% Etanol;
  - b. 85% Dexlite, 5% *Crude palm oil*, dan 10% Etanol;
  - c. 82,5% Dexlite, 7,5% *Crude palm oil*, dan 10% Etanol;
  - d. 80% Dexlite, 10% *Crude palm oil*, dan 10% Etanol;
  - e. 75% Dexlite, 15% *Crude palm oil*, dan 10% Etanol;
  - f. 82,5% Dexlite, 2,5% *Crude palm oil*, dan 15% Etanol;
  - g. 80% Dexlite, 5% *Crude palm oil*, dan 15% Etanol;
  - h. 77,5% Dexlite, 7,5% *Crude palm oil*, dan 15% Etanol;
  - i. 75% Dexlite, 10% *Crude palm oil*, dan 15% Etanol;
  - j. 70% Dexlite, 15% *Crude palm oil*, dan 15% Etanol;
3. Setelah disiapkan, tuangkan masing-masing gelas ukur ke dalam *beaker glass*
4. Letakkan *beaker glass* diatas magnetic stirrer

5. Lalu, masukkan magnetic bar ke dalam *beaker glass*
6. Nyalakan magnetic stirrer hingga rpm maksimum untuk mencampurkan bahan bakar
7. Tunggu selama 10 menit
8. Amati perubahan campuran bahan bakar tersebut terkait tingkat separasi yang terjadi selama waktu tunggu 10 menit.
9. Dokumentasikan setelah waktu tunggu 10 menit.
10. Campuran bahan bakar yang tidak mengalami separasi selama waktu tunggu 10 menit akan digunakan.

### 3.5 Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi

Dalam eksperimen ini, dilakukan pengujian unjuk kerja mesin diesel dan emisi gas buang bahan bakar Dexlite dengan variasi etanol dan *crude palm oil*. Berikut pengujian yang akan dilakukan:

1. Pengujian 1, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan bahan bakar Dexlite murni.
2. Pengujian 2, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar Dexlite (87,5%), Etanol (10%), dan *crude palm oil* (2,5%).
3. Pengujian 3, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar Dexlite (85%), Etanol (10%), dan *crude palm oil* (5%).
4. Pengujian 4, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar Dexlite (82,5%), Etanol (10%), dan *crude palm oil* (7,5%).
5. Pengujian 5, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar Dexlite (80%), Etanol (10%), dan *crude palm oil* (10%).

6. Pengujian 6, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar Dexlite (75%), Etanol (10%), dan *crude palm oil* (15%).
7. Pengujian 7, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar Dexlite (82,5%), Etanol (15%), dan *crude palm oil* (2,5%).
8. Pengujian 8, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar Dexlite (80%), Etanol (15%), dan *crude palm oil* (5%).
9. Pengujian 9, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar Dexlite (77,5%), Etanol (15%), dan *crude palm oil* (7,5%).
10. Pengujian 10, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar Dexlite (75%), Etanol (15%), dan *crude palm oil* (10%) .
11. Pengujian 11, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar Dexlite (70%), Etanol (15%), dan *crude palm oil* (15%).

Selanjutnya, dicari data-data pengujian setiap kelompok sebagai berikut:

1. Arus Listrik (Ampere)
2. Tegangan (Volt)
3. Waktu konsumsi bahan bakar 10 ml (s)
4. Temperatur gas buang (°C)
5. Temperatur air pendingin (°C)
6. Temperatur *engine* (°C)
7. Temperatur oli (°C)
8. Kadar *smoke* (m<sup>-1</sup>)

Berikut matriks rancangan pengujian yang akan dilakukan:

**Tabel 3.1 Tabel Matriks Pengujian**

Parameter Input				Parameter Output	
Konstan	Bervariasi			Diukur	Dihitung
1. Tipe generator set mesin diesel 2. Putaran mesin diesel 2000 rpm 3. Volume campuran Bahan bakar (Dexlite, <i>Crude palm oil</i> , dan Etanol) 4. Timing Injeksi 17° BTDC.	% Etanol	% <i>CPO</i>	Beban Listrik	1. Arus Listrik (Ampere) 2. Tegangan (Volt) 3. Waktu konsumsi bahan bakar 10 ml (s) 4. Temperatur gas buang (°C) 5. Temperatur air pendingin (°C) 6. Temperatur <i>engine</i> (°C) 7. Temperatur oli (°C) 8. Kadar <i>smoke</i> (m <sup>-1</sup> )	1. Daya 2. Torsi 3. Bmep 4. SFC 5. Efisiensi Thermal
	0%	0%	200 W hingga 2000 W (interval 200 W)		
	(Pengujian 1)	(Pengujian 1)			
	10%	2,5%	200 W hingga 2000 W (interval 200 W)		
	(Pengujian 2)	(Pengujian 2)			
10%	5%	200 W hingga 2000 W (interval 200 W)			
(Pengujian 3)	(Pengujian 3)				
10%	7,5%	200 W hingga 2000 W (interval			
(Pengujian 4)	(Pengujian 4)				

			al 200 W)		
	10% (Penguin 5)	10% (Penguin 5)	200 W hingga 2000 W (interval 200 W)		
	10% (Penguin 6)	15% (Penguin 6)	200 W hingga 2000 W (interval 200 W)		
	15% (Penguin 7)	2,5% (Penguin 7)	200 W hingga 2000 W (interval 200 W)		
	15% (Penguin 8)	5% (Penguin 8)	200 W hingga 2000 W (interval 200 W)		

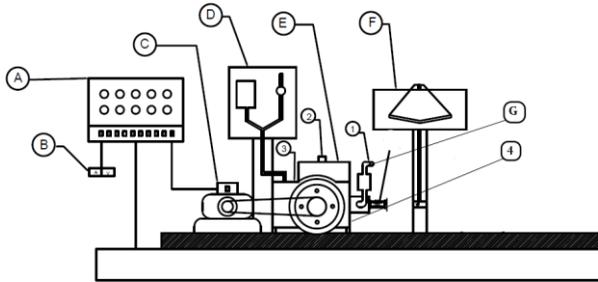
	15% (Pengujian 9)	7,5% (Pengujian 9)	200 W hingga 2000 W (interval 200 W)		
	15% (Pengujian 10)	10% (Pengujian 10)	200 W hingga 2000 W (interval 200 W)		
	15% (Pengujian 11)	15% (Pengujian 11)	200 W hingga 2000 W (interval 200 W)		

Selanjutnya, data-data yang didapatkan akan dicatat pada tabel data berikut:

Beban (Watt)	RPM	Generator		Bahan Bakar		Temperatur			
		Arus (A)	Tegangan (V)	Volume (ml)	Waktu (s)	Air Pendingin	Engine	Oli	Gas Buang
2000									

Smoke (m <sup>3</sup> )

### 3.5.1 Skema Alat



**Gambar 3.1 Skema Peralatan Generator Set**

Keterangan:

- A. Lampu pembebanan
- B. Amperemeter dan Voltmeter
- C. Generator
- D. Gelas ukur
- E. Radiator
- F. Manometer V
- G. Probe Stargas Analyser
- 1. Thermocouple gas buang
- 2. Thermocouple air pendingin
- 3. Thermocouple *engine*
- 4. Thermocouple oli

### 3.5.2 Tahap-tahap Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja dan emisi gas buang yang dihasilkan *engine* diesel yang menggunakan campuran bahan bakar Dexlite-*Crude Palm Oil*-Etanol dengan presentasi emulsi terbaik.

**a. Persiapan Pengujian**

Hal-hal yang diperlukan dalam persiapan pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Memeriksa kondisi kesiapan mesin yang meliputi kondisi fisik mesin, pelumas, sistem pendinginan, sistem bahan bakar, dan sistem udara masuk.
2. Memeriksa kondisi sistem pembebanan, sistem kelistrikan dan sambungan-sambungan listrik yang ada.
3. Memeriksa kondisi Stargas Analyser.
4. Memeriksa kesiapan alat-alat ukur.
5. Mempersiapkan alat tulis dan tabel untuk pengambilan data.

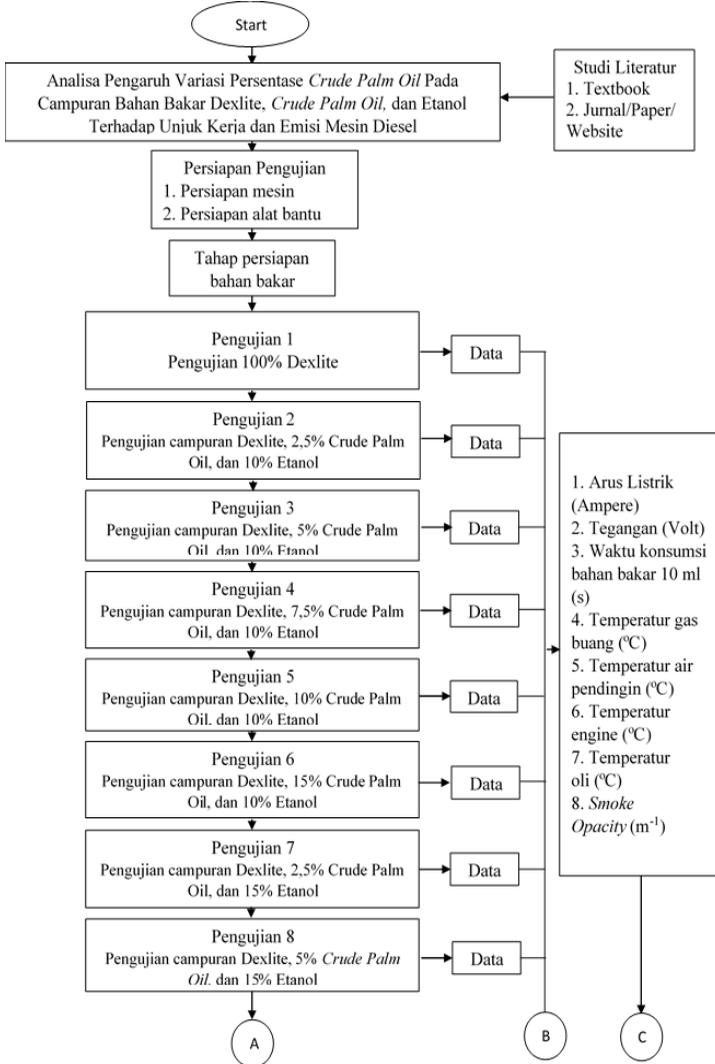
**b. Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi**

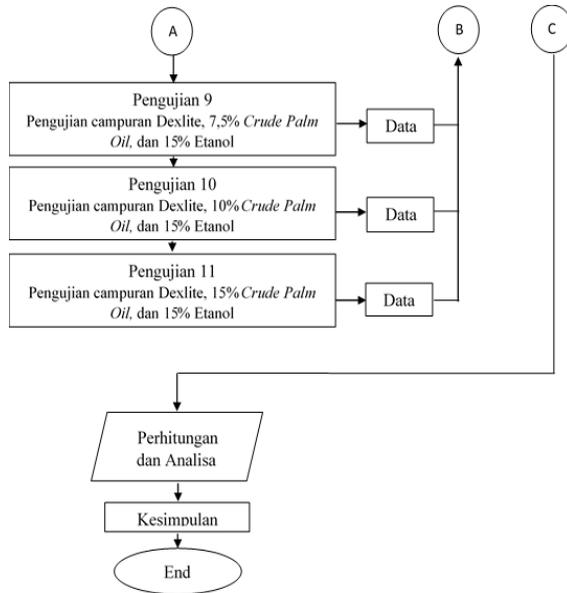
Percobaan dilakukan dengan putaran mesin tetap (stationary speed) dengan variasi beban listrik. Tahapannya adalah sebagai berikut:

1. Menghidupkan mesin diesel.
2. Melakukan pemanasan mesin diesel selama  $\pm 20$  menit hingga temperatur mesin mencapai temperatur kondisi operasi.
3. Mengatur pembebanan pada mesin diesel mulai 200 W sampai dengan 2000 W dengan interval kenaikan setiap 200 W dengan tetap menjaga putaran mesin sebesar 2000 rpm setiap pembebanan.
4. Mencatat data-data yang dibutuhkan setiap kenaikan beban, seperti:
  - a. Waktu konsumsi bahan bakar Dextrite-*Crude palm oil*-Etanol setiap 10 ml.

- b. Beda tekanan pada pitot tube.
  - c. Temperatur oli, cairan pendingin, gas buang, dan *engine*.
  - d. Tegangan listrik (V) dan arus listrik (I).
  - e. Kadar partikulat, UHC, dan CO
5. Setelah pengambilan data selesai dilakukan, maka beban diturunkan secara bertahap hingga beban nol.
  6. Mesin dibiarkan dalam kondisi tanpa beban selama  $\pm 5$  menit.
  7. Mesin dimatikan dan ditunggu kembali dingin.

### 3.5.3 Flowchart Penelitian





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan terkait hasil yang didapatkan dari penelitian dengan contoh proses perhitungan, data pendukung dari jurnal terkait, serta pembahasannya. Hasil yang didapatkan berdasarkan perhitungan data dari penelitian ini adalah unjuk kerja mesin dan emisi. Unjuk kerja mesin yang dianalisis terdiri dari daya, torsi, *BMEP*, *BSFC*, efisiensi termal, dan temperatur kerja pada air pendingin, oli, *engine*, dan *exhaust*. Adapun emisi gas buang yang dianalisis pada penelitian ini adalah *smoke opacity*.

#### 4.1 Hasil Persiapan Bahan Bakar (Fuel Blend)

Sebelum *Fuel Blend* masuk dalam *engine*, bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, serta Etanol dicampurkan dahulu dan dianalisis stabilitasnya dengan waktu tunggu 10 menit. Proses pencampuran menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan putar 1500 rpm. Untuk membedakan antara satu campuran dengan lainnya, bahan bakar campuran memiliki nama berdasarkan persentase volume bahan bakar pada volume total campuran dimana D merupakan persentase Dexlite, C merupakan persentase *Crude Palm Oil*, dan E merupakan persentase Etanol.

Berdasarkan metodologi eksperimen, dilakukan proses pencampuran bahan bakar. Pada tahap ini dilakukan analisis secara visual terhadap stabilitas bahan bakar campuran dari Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol. Stabilitas bahan bakar ditentukan berdasarkan pengamatan visual dengan parameter tidak adanya garis pemisah antar bahan bakar atau disebut juga dengan separasi. Bahan bakar campuran yang stabil tidak akan mengalami *creaming*, sedimentasi, flokulasi, dan koalesensi. Sebelumnya, dilakukan pula penambahan emulgator agar tidak terjadi separasi sebagai perbandingan dikarenakan di beberapa sumber ada yang menggunakan emulgator untuk mencampurkan bahan bakar

Dexlite dengan Etanol. Berikut hasil pencampuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol dengan emulgator.

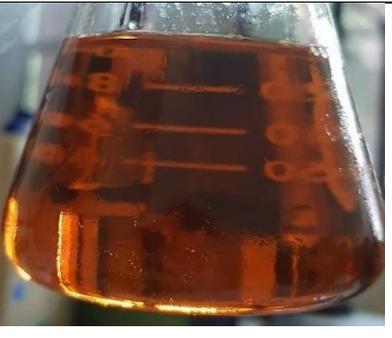
**Tabel 4.1 Dokumentasi Pencampuran Bahan Bakar (Fuel Blending) Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan Etanol 10% dengan Emulgator**

No	Nama <i>Fuel Blend</i>	Dokumentasi Hasil <i>Blending</i>	Analisis Visual
1	D87,5 C2,5 E10 dengan emulgator 2,5%		Terjadi separasi dalam waktu 5 menit
2	D87,5 C2,5 E10 dengan emulgator 5%		Terjadi separasi dalam waktu 3 menit
3	D87,5 C2,5 E10 dengan emulgator 10%		Terjadi separasi dalam waktu 2 menit

Dari hasil penggunaan emulgator dengan persentase tertentu sesuai dengan metodologi lainnya yang juga disebutkan dalam jurnal, terdapat proses separasi berupa sedimentasi pada bagian bawah dari *erlenmeyer flask* dalam waktu singkat dimana seiring dengan penambahan emulgator justru semakin cepat terjadi separasi. Hal ini menunjukkan ketidakcocokan penggunaan emulgator pada *tri-fuel* ini. Maka dari itu, metodologi pencampuran diubah berdasarkan jurnal lainnya yang mencampurkan langsung ketiganya tanpa emulgator. Berikut hasil pencampuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol tanpa emulgator.

**Tabel 4.2 Dokumentasi Pencampuran Bahan Bakar (Fuel Blending) Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan Etanol 10%**

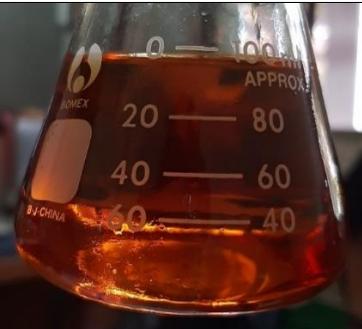
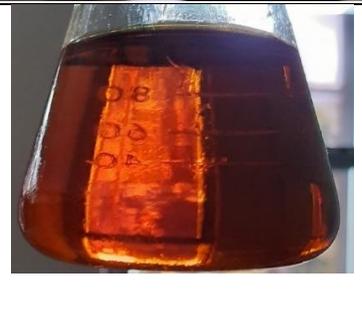
No	Nama <i>Fuel Blend</i>	Dokumentasi Hasil <i>Blending</i>	Analisis Visual
1	D87,5 C2,5 E10  (Dexlite 87,5%, CPO 2,5%, dan Ethanol 10%)		Tidak terjadi separasi selama waktu tunggu 10 menit

2	D85 C5 E10  (Dexlite 85%, CPO 5%, dan Ethanol 10%)		Tidak terjadi separasi selama waktu tunggu 10 menit
3	D82,5 C7,5 E10  (Dexlite 82,5%, CPO 7,5%, dan Ethanol 10%)		Tidak terjadi separasi selama waktu tunggu 10 menit
4	D80 C10 E10  (Dexlite 80%, CPO 10%, dan Ethanol 10%)		Tidak terjadi separasi selama waktu tunggu 10 menit

5	D75 C15 E10  (Dexlite 75%, CPO 15%, dan Ethanol 10%)		Tidak terjadi separasi selama waktu tunggu 10 menit
---	---	---	---

**Tabel 4.3 Dokumentasi Pencampuran Bahan Bakar (Fuel Blending) Dexlite, Crude Palm Oil, dan Etanol 15%**

No	Nama <i>Fuel Blend</i>	Dokumentasi Hasil <i>Blending</i>	Analisis Visual
1	D82,5 C2,5 E15  (Dexlite 82,5%, CPO 2,5%, dan Ethanol 10%)		Tidak terjadi separasi selama waktu tunggu 10 menit
2	D80 C5 E15  (Dexlite 80%, CPO 5%, dan Ethanol 15%)		Tidak terjadi separasi selama waktu tunggu 10 menit

3	D77,5 C7,5 E15  (Dexlite 77,5%, CPO 7,5%, dan Ethanol 10%)		Tidak terjadi separasi selama waktu tunggu 10 menit
4	D75 C10 E15  (Dexlite 75%, CPO 10%, dan Ethanol 15%)		Tidak terjadi separasi selama waktu tunggu 10 menit
5	D70 C15 E15  (Dexlite 70%, CPO 15%, dan Ethanol 15%)		Tidak terjadi separasi selama waktu tunggu 10 menit

Berdasarkan hasil dokumentasi tersebut, bahan bakar dengan campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan Etanol 10% maupun 15% tidak mengalami separasi selama waktu tunggu 10 menit. Sebelumnya, bahan bakar dicampurkan dalam *beaker glass* dan diaduk dengan magnetic stirrer tanpa pemanasan pada suhu tertentu selama 10 menit.

Dari semua pencampuran yang dilakukan, tidak terjadi adanya separasi hingga menit ke-10. Dari analisis secara visual, tidak terdapat garis pemisah antara dua fase pendispersi (Dexlite) dan terdispersi (Etanol). Selain itu, tidak terdapat sedimetasi atau fase pendispersi yang mengendap di bawah *Erlenmeyer Flask*, *creaming* atau fase terdispersi yang mengapung di atas *Erlenmeyer Flask*, flokulasi atau adanya globul air yang melayang pada bagian tengah *Erlenmeyer Flask*, dan koalesensi atau hilangnya stabilitas campuran dengan membentuk kumpulan fase terdispersi atau pendispersi sendiri. Maka dari itu, bahan bakar campuran Dexlite dan *Crude Palm Oil* dengan persentase 10% maupun 15% Etanol tergolong stabil selama waktu tunggu 10 menit.

Hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan teori. Pada eksperimen ini terdapat tiga bahan bakar, yakni Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan Etanol. Terdapat dua bahan bakar, yakni Dexlite dan Etanol yang memiliki sifat fisis berbeda satu dengan lainnya dimana Etanol memiliki water content. Bahan bakar Etanol merupakan fase terdispersi, sedangkan Dexlite berada pada fase kontinu atau pendispersi. Alhasil, terdapat tegangan permukaan antara Dexlite dan Etanol yang menyebabkan keduanya tidak bercampur. Karena perbedaan fase dan tegangan permukaan inilah, diperlukan adanya aditif pada bahan bakar campuran tersebut. Fungsi utama aditif adalah untuk mencegah adanya separasi fase antara Dexlite dan Etanol. Pada eksperimen ini terdapat persentase *Crude Palm Oil* yang dicampurkan dimana fungsinya juga sebagai aditif untuk menjaga stabilitas campuran bahan bakar. Homogenitas pada campuran ini dapat tercapai karena sifat kimia dari *Crude Palm Oil*. Sebagian besar minyak nabati termasuk Biodiesel dan *Crude Palm Oil* bersifat *amphiphile* dimana senyawa kimianya memiliki dua sifat, yakni hidrofilik (dapat berikatan dengan air) dan lipofilik (dapat berikatan dengan lemak/minyak). Sifat hidrofilik dari *Crude Palm Oil* mampu untuk berikatan dengan Etanol dan sifat lipofilik dari *Crude Palm Oil* akan berikatan dengan Dexlite.

Kondisi tersebut membuat tegangan permukaan keduanya dapat diminimalisir dan terbentuklah satu fase dimana globul Etanol dikelilingi oleh Dexlite. Berdasarkan hasil tersebut, *Crude Palm Oil* sangat cocok untuk mengurangi tegangan permukaan antara Dexlite dan Etanol serta menjaga stabilitas campuran bahan bakar. Hasil yang didapatkan sesuai dengan penelitian-penelitian yang sebelumnya pernah dilakukan. Hasil yang didapatkan sama dengan hasil penelitian oleh L. Corral-Gomez dimana biodiesel atau *vegetable oil* dapat menjadi aditif yang baik pada *tri-fuel* (diesel-biodiesel-etanol). Campuran yang stabil terjadi pada bahan bakar yang memiliki biodiesel atau *vegetable oil* yang lebih besar persentasenya dibandingkan persentase etanol pada campuran *tri-fuel* [25]. Su Han Park dalam jurnalnya juga menyebutkan bahwa bahan bakar biodiesel mampu untuk menjadi aditif pada *tri-fuel* antara diesel dan Etanol pada keadaan wadah tertutup [26]. Penelitian oleh Bahrudin juga menyebutkan hal yang sama terkait adanya kandungan biodiesel atau *vegetable oil* yang mampu untuk mencegah terjadinya separasi pada *tri-fuel* antara diesel dan Etanol. Stabilitas bahan bakar bergantung pada jumlah persentase etanol dan biodiesel. Semakin banyak etanol maka semakin cepat bahan bakar untuk mengalami separasi. Sebaliknya, peningkatan persentase biodiesel mengurangi proses separasi pada campuran [27]. Dari hasil eksperimen pencampuran bahan bakar, Etanol dengan persentase 10% dan 15% yang disertai dengan penambahan *Crude Palm Oil* dari 2,5% hingga 15% memiliki stabilitas yang baik.

Penelitian lebih lanjut dilakukan dengan menambahkan durasi hingga waktu selama seminggu untuk mengetahui dari proses separasi yang terjadi pada bahan bakar campuran dengan mengambil sampel bahan bakar yang memiliki persentase *Crude Palm Oil* terendah dengan Etanol 10% (D87,5 C2,5 E10) dan *Crude Palm Oil* tertinggi dengan Etanol 15% (D70 C15 E15). Dalam memberikan perbandingan sebagai kontrol ditambahkan bahan bakar *Crude Palm Oil* tertinggi dengan Etanol 10% (D75 C15 E10).

**Tabel 4.4 Dokumentasi Pencampuran Bahan Bakar (Fuel Blending) Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan Etanol dalam Waktu Seminggu**

Hari	Dokumentasi Hasil <i>Blending</i>	Analisis Visual
1	 <p data-bbox="344 683 754 711"> <span data-bbox="344 683 474 711">D87,5 C2,5 E10</span> <span data-bbox="493 683 602 711">D75 C15 E10</span> <span data-bbox="621 683 751 711">D70 C15 E15</span> </p>	Tidak terjadi separasi pada hari pertama
2	 <p data-bbox="352 960 766 987"> <span data-bbox="352 960 474 987">D87,5 C2,5 E10</span> <span data-bbox="493 960 602 987">D75 C15 E10</span> <span data-bbox="621 960 751 987">D70 C15 E15</span> </p>	Tidak terjadi separasi pada hari kedua
3	 <p data-bbox="356 1197 760 1224"> <span data-bbox="356 1197 474 1224">D87,5 C2,5 E10</span> <span data-bbox="493 1197 602 1224">D75 C15 E10</span> <span data-bbox="621 1197 751 1224">D70 C15 E15</span> </p>	Tidak terjadi separasi pada hari ketiga

4	 <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">D87,5 C2,5 E10</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">D75 C15 E10</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">D70 C15 E15</div> </div>	Tidak terjadi separasi pada hari keempat
5	 <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">D87,5 C2,5 E10</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">D75 C15 E10</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">D70 C15 E15</div> </div>	Tidak terjadi separasi pada hari kelima
6	 <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">D87,5 C2,5 E10</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">D75 C15 E10</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">D70 C15 E15</div> </div>	Tidak terjadi separasi pada hari keenam
7	 <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">D87,5 C2,5 E10</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">D75 C15 E10</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">D70 C15 E15</div> </div>	Tidak terjadi separasi pada hari ketujuh

Dari hasil percobaan lanjutan untuk blending bahan bakar terlihat bahwa bahan bakar campuran D87,5 C2,5 E10, D75 C15 E10, dan D70 C15 E15 tidak mengalami separasi selama seminggu. Hal ini menunjukkan tingkat stabilitas dari semua bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan Etanol

bahkan pada kondisi Etanol dan *Crude Palm Oil* dengan persentase tertinggi sekalipun selama seminggu.

#### 4.2 *Properties Bahan Bakar Standar dan Fuel Blend*

Berikut ini adalah *properties* bahan bakar standar seperti, 100% Dexlite, 100% etanol, dan 100% *Crude Palm Oil* serta *Fuel Blend* sesuai dengan variasi yang sudah ditentukan.

##### 4.2.1 *Properties Bahan Bakar Standar dan Fuel Blend Dexlite, Crude Palm Oil, dan Etanol 10%*

**Tabel 4.5 *Properties Bahan Bakar Standar dan Fuel Blend Dexlite, Crude Palm Oil, dan Etanol 10%***

Properties	CPO <sup>1)</sup>	Ethanol <sup>2)</sup>	Dexlite <sup>3)</sup>	D87.5 C2,5 E10	D85 C5 E10	D82.5 C7.5 E10	D80 C10 E10	D75 C15 E10
Densitas pada 20°C (g/cm <sup>3</sup> )	0,86	0,78	0,815	0,812	0,813	0,814	0,816	0,818
<i>Kinematic viscosity</i> pada 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	40,55	1,2	2,92	3,688	4,629	5,570	6,511	8,392
<i>Cetane Number</i>	49	5	51	46,35	46,3	46,25	46,2	46,1
LHV (MJ/kg)	40,14	26,8	43,932	42,12	42,03	41,93	41,84	41,65
<i>Sulfur content</i> (ppm)	400	10	1200	1061	1041	1021	1001	961
<i>Oxygen content</i> (% wt)	11,26	34,8	0	3,761	4,043	4,324	4,606	5,169

Keterangan sumber bahan bakar standar:

1. T.F. Yusaf dkk, Juni 2011. “Crude palm oil fuel for diesel-engines: Experimental and ANN simulation approaches”. *Energy* 36, 2011: 4871 – 4878 dan S.Senthur Prabu dkk, January 2018. “Effect of additives on performance, combustion and emission behavior of preheated palm oil/diesel blends in DI diesel engine”. *Renewable Energy* 122, 2018: 196 – 205.
2. Lei Zhu dkk, Februari 2011. “Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fueled with ethanol–biodiesel blends”. *Fuel* 90, 2011: 1743–1750 dan Achmad Praptijanto dkk, April 2015. “Effect of ethanol percentage for diesel engine performance using virtual engine simulation tool”. *Energy Procedia* 68, 2015: 345 – 354.
3. PT. Pertamina *Industrial Fuel Specification*.

Data *properties* yang dilampirkan berdasarkan oleh perhitungan teoritis dari data sekunder yang didapatkan dari jurnal terkait. Perhitungan dilakukan berdasarkan pembagian volume bahan bakar yang dicampurkan per 100% volume total bahan bakar. Beberapa penelitian sebelumnya menggunakan cara yang sama. Pada penelitian E. A. Salykin dkk, digunakan proses perhitungan teoritis untuk bahan bakar campuran dari data sekunder Diesel (D100) dan *Palm Oil* (PO100). Dari data tersebut, *properties* bahan bakar campuran PO10, PO20, PO40, PO30, PO40, PO50, dan PO60 dihitung secara teoritis sesuai dengan persentase volume bahan bakar Diesel (D100) dan *Palm Oil* (PO100) yang akan dicampurkan. Perhitungan ini meliputi *properties*, seperti densitas pada 20 °C, *kinematic viscosity* pada 40 °C, *calorific value*, dan *oxygen content* [29]. Penelitian yang dilakukan oleh Oberlin S. juga menggunakan metode yang sama

dalam menghitung Biodiesel 20 (B20). Pada eksperimen tersebut diketahui *properties* dari bahan bakar diesel 100 dan POME atau Biodiesel 100. Perhitungan teoritis untuk B20 didasarkan oleh kedua bahan bakar referensi tersebut sesuai dengan persentase 80% diesel dan 20% POME atau Biodiesel. Perhitungan ini meliputi *properties*, seperti specific gravity pada 20 °C, *kinematic viscosity* pada 40 °C, *calorific value*, *cetane number*, dan *sulfur content* [30].

Berdasarkan nilai *properties* yang didapatkan dari bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan Etanol 10%, terlihat bahwa bahan bakar dengan nilai viskositas yang memenuhi standar dan mutu dari Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi adalah bahan bakar dengan persentase *Crude Palm Oil* 2,5%, 5%, dan 7,5%.

Proses perhitungan dilakukan dengan cara mengalikan jumlah volume bahan bakar yang akan dicampur didalam bahan bakar campuran dengan *properties* bahan bakar standar pada 100% volumenya. Berikut salah satu contoh perhitungan bahan bakar campuran D85 C5 E10:

$$\begin{aligned} \text{Densitas} = & (\text{volume etanol} \times \text{densitas etanol } 100\%) + \\ & (\text{volume CPO} \times \text{densitas CPO } 100\%) + (\text{volume Dexlite} \times \\ & \text{densitas Dexlite } 100\%) \dots\dots\dots(4.1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Densitas} = & (0,1 \times 0,78) + (0,05 \times 0,86) \\ & + (0,85 \times 0,815) \text{ g/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Densitas} = 0,813 \text{ g/cm}^2$$

Dari perhitungan tersebut, didapatkan densitas bahan bakar D85 C5 E10 sebesar 0,813 g/cm<sup>2</sup>.

#### 4.2.2 Properties Bahan Bakar Standar dan Fuel Blend Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan Etanol 15%

**Tabel 4.6 Properties Bahan Bakar Standar dan Fuel Blend Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan Etanol 15%**

Properties	CPO <sup>1)</sup>	Ethanol <sup>2)</sup>	Dexlite <sup>3)</sup>	D82,5 C2,5 E15	D80 C5 E15	D77,5 C7,5 E15	D75 C10 E15	D70 C15 E15
Densitas pada 20°C (g/cm <sup>3</sup> )	0,86	0,78	0,815	0,810	0,812	0,813	0,814	0,816
Kinematic viscosity 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	40,55	1,2	2,92	3,602	4,543	5,484	6,425	8,306
Cetane Number	49	5	51	44,05	44	43,95	43,9	43,8
LHV (MJ/kg)	40,14	26,8	43,93	41,26	41,17	41,07	40,98	40,79
Sulfur content (ppm)	400	10	1200	1001,5	981,5	961,5	941,5	901,5
Oxygen content (% wt)	11,26	34,8	0	5,5015	5,783	6,0645	6,346	6,909

Keterangan sumber bahan bakar standar:

1. T.F. Yusaf dkk, Juni 2011. "Crude palm oil fuel for diesel-engines: Experimental and ANN simulation approaches". *Energy* 36, 2011: 4871 – 4878 dan S.Senthur Prabu dkk, January 2018. "Effect of additives on performance, combustion and emission behavior of preheated palm oil/diesel blends in DI diesel engine". *Renewable Energy* 122, 2018: 196 – 205.
2. Lei Zhu dkk, Februari 2011. "Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fueled with ethanol–biodiesel blends". *Fuel* 90, 2011: 1743–1750 dan Achmad Praptijanto dkk, April 2015. "Effect of ethanol percentage for diesel engine performance using virtual engine simulation tool". *Energy Procedia* 68, 2015: 345 – 354.

### 3. PT. Pertamina *Industrial Fuel Spesification*.

Data *properties* yang dilampirkan berdasarkan oleh perhitungan teoritis dari data sekunder yang didapatkan dari jurnal terkait. Perhitungan dilakukan berdasarkan pembagian volume bahan bakar yang dicampurkan per 100% volume total bahan bakar. Beberapa penelitian sebelumnya menggunakan cara yang sama. Pada penelitian E. A. Salykin dkk, digunakan proses perhitungan teoritis untuk bahan bakar campuran dari data sekunder Diesel (D100) dan *Palm Oil* (PO100). Dari data tersebut, *properties* bahan bakar campuran PO10, PO20, PO40, PO30, PO40, PO50, dan PO60 dihitung secara teoritis sesuai dengan persentase volume bahan bakar Diesel (D100) dan *Palm Oil* (PO100) yang akan dicampurkan. Perhitungan ini meliputi *properties*, seperti densitas pada 20 °C, *kinematic viscosity* pada 40 °C, *calorific value*, dan *oxygen content* [29]. Penelitian yang dilakukan oleh Oberlin S. juga menggunakan metode yang sama dalam menghitung Biodiesel 20 (B20). Pada eksperimen tersebut diketahui *properties* dari bahan bakar diesel 100 dan POME atau Biodiesel 100. Perhitungan teoritis untuk B20 didasarkan oleh kedua bahan bakar referensi tersebut sesuai dengan persentase 80% diesel dan 20% POME atau Biodiesel. Perhitungan ini meliputi *properties*, seperti *specific gravity* pada 20 °C, *kinematic viscosity* pada 40 °C, *calorific value*, *cetane number*, dan *sulfur content* [30].

Berdasarkan nilai *properties* yang didapatkan dari bahan bakar campuran Dextlite, *Crude Palm Oil*, dan Etanol 10%, terlihat bahwa bahan bakar dengan nilai viskositas yang memenuhi standar dan mutu dari Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi adalah bahan bakar dengan persentase *Crude Palm Oil* 2,5%, 5%, dan 7,5%.

Proses perhitungan dilakukan dengan cara mengalikan jumlah volume bahan bakar yang akan dicampur didalam bahan bakar campuran dengan *properties* bahan bakar standar pada

100% volumenya. Berikut salah satu contoh perhitungan bahan bakar campuran D80 C5 E15:

$$\text{Densitas} = (\text{volume etanol} \times \text{densitas etanol } 100\%) + (\text{volume CPO} \times \text{densitas CPO } 100\%) + (\text{volume Dexlite} \times \text{densitas Dexlite } 100\%)$$

$$\text{Densitas} = (0,15 \times 0,78) + (0,05 \times 0,86) + (0,80 \times 0,815) \text{ g/cm}^2$$

$$\text{Densitas} = 0,812 \text{ g/cm}^2$$

Dari perhitungan tersebut, didapatkan densitas bahan bakar D80 C5 E15 sebesar 0,812 g/cm<sup>2</sup>.

### 4.3 Contoh Perhitungan Unjuk Kerja

Contoh perhitungan diambil dari salah satu bahan bakar campuran D82,5 C7,5 E10. Perhitungan dilakukan pada pembebanan lampu 1200 Watt dengan rincian data-data sebagai berikut:

**Tabel 4.7 Data Eksperimen Bahan Bakar Campuran D82,5 C7,5 E10**

Beban (Watt)	RPM	Generator		Bahan Bakar	
		Arus (A)	Voltase (V)	Volume (ml)	Waktu (sekon)
1200	2000	4,6	220	10	47

### 4.3.1 Daya

Daya mesin adalah daya yang dihasilkan untuk mengatasi beban yang diberikan pada mesin. Proses pengukuran daya dilakukan dengan cara memberikan beban lampu dengan daya dari 200 watt hingga 2000 watt. Daya yang dihasilkan mesin diesel akan dikopel dengan generator listrik sehingga dapat dihitung berdasarkan pembebanan pada generator listrik dan dapat dinyatakan sebagai daya efektif ( $N_e$ ). Berikut persamaan untuk menentukan daya efektif:

$$N_e = \frac{V \times I \times \text{Cos} \phi}{\eta_{\text{generator}}} \text{ (Watt)} \dots \dots \dots (4.1)$$

Dimana :  
 $N_e$  : Daya mesin (W)  
 $V$  : Tegangan listrik (Volt)  
 $I$  : Arus listrik (Ampere)  
 $\eta_{\text{generator}}$  : Efisiensi mekanisme generator (0,9)  
 $\text{Cos } \theta$  : Faktor daya listrik ( $\text{Cos } \phi$ ) = 1

Maka, dilakukan substitusi sesuai dengan nilai yang diketahui:

$$N_e = \frac{220 \times 4,6 \times 1}{0,9} \text{ Watt}$$

$$N_e = \frac{1012}{0,9} \text{ Watt}$$

$$N_e = 1124,444 \text{ Watt}$$

Dari perhitungan tersebut, didapatkan daya yang dihasilkan *engine* diesel berbahan bakar D82,5 C7,5 E10 pada pembebanan 1200 W sebesar 1124,444 Watt.

### 4.3.2 Torsi

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

$$Mt = \frac{60 \times Ne}{2\pi n} (N.m) \dots \dots \dots (4.2)$$

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

Maka, dilakukan substitusi pada persamaan tersebut:

$$Mt = \frac{60 \times 1124,444}{2\pi(2000)} (N.m)$$

$$Mt = 5,371 (N.m)$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan torsi yang dihasilkan *engine* diesel berbahan bakar D82,5 C7,5 E10 pada pembebanan 1200 W sebesar 5,371 N.m.

### 4.3.3 BMEP

Langkah kerja piston diakibatkan oleh tekanan yang bekerja dari proses pembakaran campuran udara dan bahan bakar. Besarnya tekanan ini berubah-ubah sepanjang langkah piston tersebut. Perubahan tekanan pada piston ini dirata-rata sehingga berharga konstan yang membuat nilai kerja menjadi sama. 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 :

$$bmep = \frac{Ne \times Z \times 60}{A \times l \times n \times i} (N/m^2) \dots \dots \dots (4.3)$$

Dimana :  
 Ne = 1124,444 Watt  
 A = 0,0044 m<sup>2</sup>  
 l = 0,08 m  
 i = 1  
 n = 2000 rpm  
 z = 2 (mesin 4 langkah)

Maka, dilakukan substitusi nilai sebagai berikut:

$$bmep = \frac{1124,444 \times 2 \times 60}{0,0044 \times 0,08 \times 2000 \times 1} (N/m^2)$$

$$bmep = \frac{134933,28}{0,704} (N/m^2)$$

$$bmep = 191666,7(N/m^2)$$

#### 4.3.4 BSFC

*Specific fuel consumption (sfc)* adalah jumlah bahan bakar yang digunakan pada mesin untuk menghasilkan daya efektif satu hp selama satu jam. Proses pengujian menghasilkan data mengenai penggunaan bahan bakar dalam bentuk massa (kg) pada waktu tertentu (detik) dan daya efektif (Ne) atau *brake horse power* (hp) sehingga dapat dibuat persamaan pemakaian bahan bakar (*m<sub>bb</sub>*) dan *sfc* sebagai berikut:

$$m_{\text{bahan bakar}} = \rho_{\text{bahan bakar}} \times V_{\text{bahan bakar}} \dots \dots \dots (4.4)$$

$$\dot{m}_{\text{bb}} = \frac{m_{\text{bb}}}{s} \dots \dots \dots (4.5)$$

$$sfc = 3600 \frac{\dot{m}_{bb}}{N_e} \left( \frac{kg}{kW.jam} \right) \dots \dots \dots (4.6)$$

Dimana :  
 $\rho_{\text{bahan bakar}} = 0,814$   
 $V_{\text{bahan bakar}} = 10 \text{ ml}$

Maka, dilakukan substitusi nilai

$$m_{\text{bahan bakar}} = 0,8148 \times 10 \text{ g}$$

$$m_{\text{bahan bakar}} = 81,4 \text{ g}$$

$$\dot{m}_{bb} = \frac{8,148}{47} \text{ g/s}$$

$$\dot{m}_{bb} = 0,173 \text{ g/s}$$

$$sfc = 3600 \frac{0,173}{1124,444} \left( \frac{kg}{kW.jam} \right)$$

$$sfc = 0,555 \left( \frac{kg}{kW.jam} \right)$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan *bsfc* yang dihasilkan *engine* diesel berbahan bakar D82,5 C7,5 E10 pada pembebanan 1200 W sebesar 0,555 kg/kW.jam.

#### 4.3.5 Efisiensi Termal

Jumlah pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif pada mesin pembakaran dalam disebut dengan efisiensi thermal. Berikut persamaan efisiensi thermal:

$$\eta_{th} = \frac{N_e}{\dot{m} \text{ bahan bakar} \times LHV \text{ bahan bakar}} \times 100 \dots \dots (4.7)$$

Dimana :

$N_e$  = 1124,444 Watt

$\dot{m}_{bb}$  = 0,173 g/s

$LHV$  = 41934,4 KJ/kg

Maka disubstitusikan nilai diatas ke persamaan berikut:

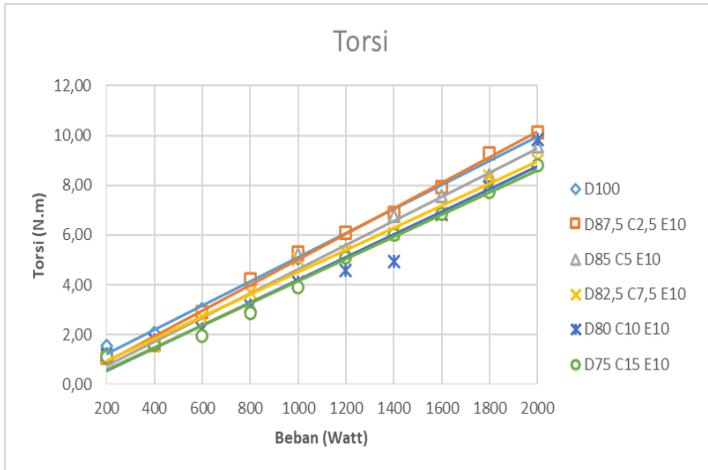
$$\eta_{th} = \frac{1124,444}{0,173 \times 41934,4} \times 100$$

$$\eta_{th} = 15,465\%$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan efisiensi termal yang dihasilkan *engine* diesel berbahan bakar D82,5 C7,5 E10 pada pembebanan 1200 W sebesar 15,465%.

#### 4.4 Hasil dan Analisis Grafik Pengujian Unjuk Kerja Mesin dan Emisi Gas Buang Bahan Bakar Dexlite dengan Variasi Penambahan *Crude Palm Oil* dan Etanol 10%

##### 4.4.1 Torsi



**Gambar 4.1 Grafik Torsi pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol**

Berdasarkan gambar 4.1, terlihat grafik torsi pada setiap variasi campuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol terhadap beban kerja yang diberikan dari *range* 200 – 2000 Watt.

Trendline dari masing-masing grafik torsi campuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol cenderung meningkat seiring bertambahnya beban yang diberikan. Torsi merupakan kemampuan *engine* dalam menghasilkan kerja dimana nilainya dipengaruhi oleh daya dan putaran mesin.

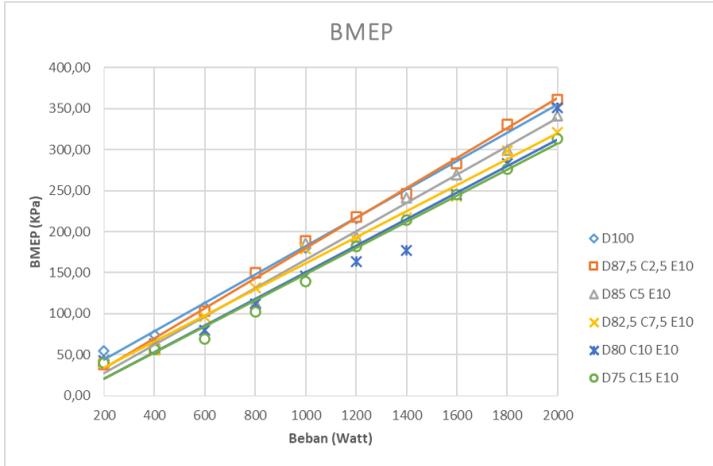
$$M_t = \frac{60 \times N_e}{2\pi n} (N.m).....(4.8)$$

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

Dari persamaan tersebut, torsi berbanding lurus dengan daya dan berbanding terbalik dengan putaran mesin.

Pada grafik tersebut terlihat dimana Dexlite atau D100 memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan semua bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol. Penurunan rata-rata torsi bahan bakar campuran D87,5 C2,5 E10, D85 C5 E10, D82,5 C7,5 E10, B80 C10 E10, dan B75 C15 E10 secara berurutan adalah 1,089%, 8,504%, 11,253%, 16,740%, dan 17,913% terhadap rata-rata torsi bahan bakar D100. Dari persentase penurunan tersebut, D87,5 C2,5 E10 memiliki penurunan terendah dan D75 C15 E10 memiliki penurunan rata-rata torsi tertinggi apabila dibandingkan dengan rata-rata torsi D100. Hasil tersebut berkaitan dengan nilai viskositas bahan bakar yang meningkat akibat dari penambahan *Crude Palm Oil* pada campuran bahan bakar sesuai dengan data *properties* pada tabel 4.5. Viskositas memengaruhi besar droplet bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar. Ukuran droplet yang lebih besar akan membutuhkan waktu yang lebih lama pula untuk terbakar dari permukaan hingga bagian dalam dari droplet. Waktu pembakaran yang terlalu lama ini mengakibatkan pembakaran terjadi secara tidak sempurna sehingga torsi yang dihasilkan menjadi rendah. Pada penelitian oleh Madiwale dkk didapatkan hasil serupa dimana *tri-fuel* Diesel, Biodiesel, dan Etanol memiliki torsi lebih rendah daripada bahan bakar diesel dikarenakan pengaruh viskositas campuran Diesel, Biodiesel, dan Etanol lebih tinggi daripada diesel [31]. Pada penelitian Imtenan dkk menyebutkan hal serupa dimana torsi yang rendah dari campuran Diesel, Biodiesel, dan Etanol dikarenakan viskositas yang tinggi [32].

### 4.4.2 BMEP



**Gambar 4.2 Grafik BMEP pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, Crude Palm Oil, dan 10% Etanol**

Berdasarkan gambar 4.2, terlihat grafik bmeP pada setiap variasi campuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol terhadap beban kerja yang diberikan dari range 200 – 2000 Watt.

Trendline dari masing-masing grafik bmeP campuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol cenderung meningkat seiring bertambahnya beban yang diberikan. Definisi dari bmeP adalah tekanan efektif rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang volume langkah piston sehingga menghasilkan daya yang besarnya sama dengan daya efektif.

$$bmeP = \frac{NexZx60}{A x l x n x i} (N/m^2) \dots \dots \dots (4.9)$$

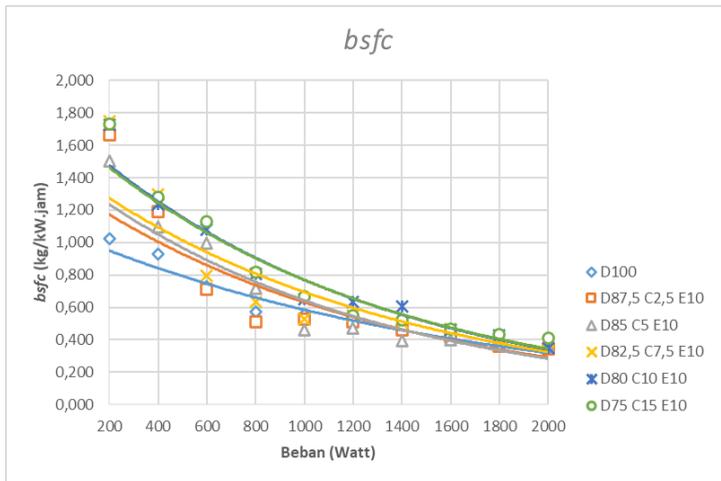
- Dimana :
- Ne : Daya (Watt)
  - A : Luas Penampang Piston (m<sup>2</sup>)
  - l : Panjang Langkah Piston (m)

i : Jumlah Silinder  
 n : Putaran *Engine*  
 z : 2 (mesin 4 langkah)

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa daya efektif berbanding lurus dengan bmep. Parameter lainnya pada persamaan tersebut memiliki nilai konstan sehingga hanya daya yang memiliki pengaruh terhadap nilai bmep.

Pada grafik tersebut terlihat bahwa Dexlite atau D100 memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan semua bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol. Penurunan performa BMEP terjadi seiring dengan penambahan persentase volume *Crude Palm Oil* pada *Fuel Blend* dengan penurunan rata-rata BMEP bahan bakar campuran D87,5 C2,5 E10, D85 C5 E10, D82,5 C7,5 E10, B80 C10 E10, dan B75 C15 E10 secara berurutan adalah 1,089%, 8,504%, 11,253%, 16,740%, dan 17,913% terhadap rata-rata BMEP bahan bakar D100 dimana nilai *Brake Mean Effective Pressure* menurun seiring dengan peningkatan persentase *Crude Palm Oil*. Dari persentase penurunan tersebut, D87,5 C2,5 E10 memiliki penurunan terendah dan D75 C15 E10 memiliki penurunan rata-rata BMEP tertinggi apabila dibandingkan dengan rata-rata BMEP D100. Tekanan teoritis rata-rata yang dihasilkan bergantung dengan volume ruang bakar dan *indicated power* dari hasil pembakaran. Pembakaran ini menghasilkan tekanan yang mengakibatkan fase ekspansi dan memutar poros untuk menghasilkan *brake power*. Nilai *BMEP* bahan bakar campuran yang lebih rendah dari Dexlite 100% diakibatkan oleh viskositas bahan bakar yang lebih tinggi. Hal ini menyebabkan pembakaran cenderung lebih buruk dimana proses pembakaran ini meningkatkan tekanan dan temperatur pada ruang bakar bergantung dengan *fuel properties* dari bahan bakar yang masuk. Akibatnya, tekanan yang dihasilkan untuk memutar poros juga berkurang.

### 4.4.3 BSFC



**Gambar 4.3 Grafik *bsfc* pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol**

Berdasarkan gambar 4.3, terlihat grafik *bsfc* pada setiap variasi campuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol terhadap beban kerja yang diberikan dari *range* 200 – 2000 Watt.

Trendline dari masing-masing grafik *bsfc* campuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol cenderung menurun seiring bertambahnya beban yang diberikan. Definisi *bsfc* adalah jumlah bahan bakar yang digunakan pada mesin untuk menghasilkan daya efektif satu hp selama satu jam.

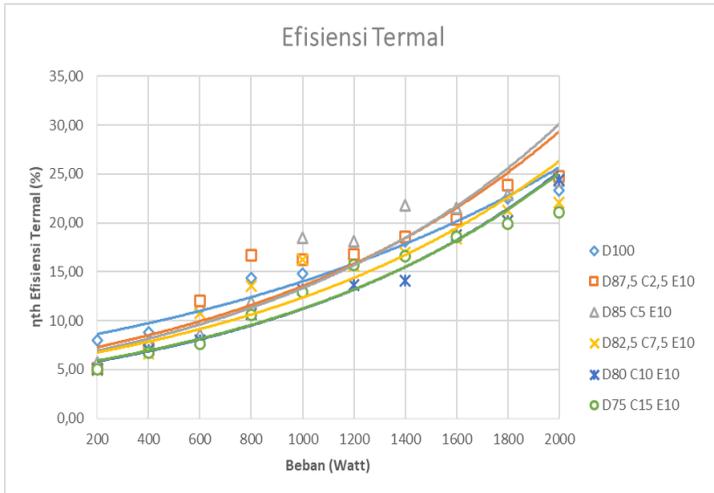
$$bsfc = 3600 \frac{\dot{m}_{bb}}{N_e} \left( \frac{kg}{kW.jam} \right) \dots\dots\dots(4.10)$$

- Dimana :
- $N_e$  : Daya (Watt)
- $\dot{m}_{bb}$  : *Mass Flow Rate* Bahan Bakar (g/s)

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa *bsfc* berbanding lurus dengan *mass flow rate* bahan bakar dan berbanding terbalik dengan daya. Pada eksperimen ini volume bahan bakar dikontrol dalam kondisi konstan sebesar 10 ml tiap uji bahan bakar berbeda.

Pada grafik tersebut terlihat fenomena dimana Dexlite atau D100 memiliki nilai lebih rendah dibandingkan semua bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol. Pada grafik tersebut juga terdapat fenomena dimana nilai *bsfc* cenderung lebih tinggi seiring peningkatan persentase volume *Crude Palm Oil* pada *Fuel Blend*. Bahan bakar campuran dengan nilai rata-rata *bsfc* tertinggi dimiliki oleh campuran D75 C15 E10 dengan kenaikan sebesar 36,154% terhadap nilai rata-rata *bsfc* Dexlite, sedangkan nilai rata-rata *bsfc* dengan kenaikan terendah untuk bahan bakar campuran dimiliki campuran D87,5 C2,5 E10 sebesar 13,929. Nilai *brake spesific fuel consumption* berkaitan dengan nilai konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan untuk menggerakkan poros dimana nilainya dipengaruhi *fuel properties* bahan bakar yang masuk. Salah satu *fuel properties* bahan bakar, yakni nilai LHV bahan bakar campuran yang semakin rendah dengan adanya Etanol dalam campuran serta seiring bertambahnya persentase *Crude Palm Oil* dalam campuran sesuai dengan data *properties* pada tabel 4.5. Rendahnya nilai LHV berakibat pada pembakaran yang lebih buruk dimana semakin sedikit energi dari proses pembakaran yang dapat dihasilkan untuk diubah menjadi energi mekanik seiring dengan penurunan nilai LHV. Ini menandakan bahwa semakin banyak persentase *Crude Palm Oil* pada campuran akan berakibat pada peningkatan konsumsi bahan bakar yang digunakan pada mesin untuk menghasilkan daya.

#### 4.4.4 Efisiensi Termal



**Gambar 4.4 Grafik Efisiensi Termal pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol**

Berdasarkan gambar 4.4, terlihat grafik efisiensi termal pada setiap variasi campuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol terhadap beban kerja yang diberikan dari range 200 – 2000 Watt.

Trendline dari masing-masing grafik efisiensi termal campuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol cenderung meningkat seiring bertambahnya beban yang diberikan. Efisiensi termal merupakan jumlah pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif pada mesin pembakaran dalam.

$$\eta_{th} = \frac{Ne}{m \text{ bahan bakar} \times LHV \text{ bahan bakar}} \times 100 \dots (4.11)$$

Dimana :

$\eta_{th}$  : Efisiensi Termal (%)

Ne : Daya (Watt)

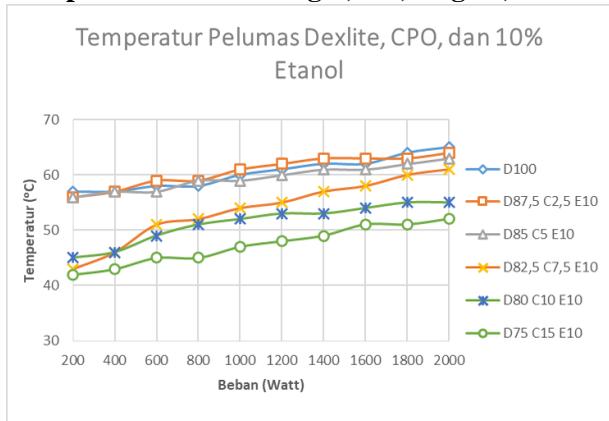
$\dot{m}_{bb}$  : *Mass Flow Rate* Bahan Bakar (g/s)  
 LHV : *Lower Heating Value* (KJ/kg)

Dari persamaan tersebut, nilai efisiensi termal berbanding lurus dengan nilai daya dan berbanding terbalik terhadap nilai *mass flow rate* serta *LHV* bahan bakar.

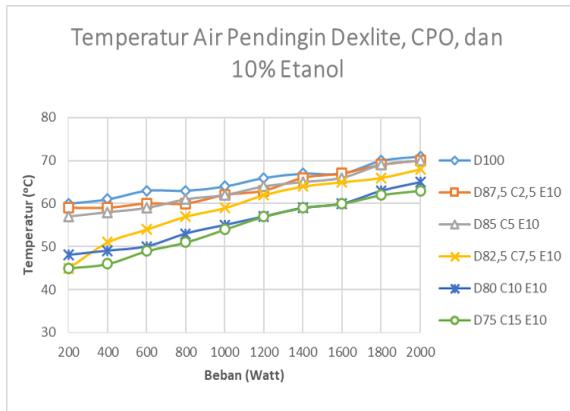
Pada grafik tersebut juga terdapat fenomena dimana nilai efisiensi termal cenderung lebih rendah seiring peningkatan persentase volume *Crude Palm Oil* pada *Fuel Blend*. Bahan bakar campuran dengan nilai rata-rata efisiensi termal tertinggi dimiliki oleh campuran D87,5 C2,5 E10 dengan kenaikan sebesar 2,311%, sedangkan nilai rata-rata efisiensi termal terendah dimiliki oleh campuran D75 C15 E10 dengan penurunan sebesar 14,635% terhadap nilai rata-rata efisiensi termal Dexlite atau D100. Penurunan terhadap nilai rata-rata efisiensi termal D100 terjadi pada bahan bakar campuran D82,5 C7,5 E10, D80 C10 E10, dan D75 C15 E10. Hal tersebut berkaitan dengan nilai viskositas serta *LHV* bahan bakar dimana bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol memiliki nilai viskositas yang semakin tinggi seiring dengan bertambahnya persentase *Crude Palm Oil* dalam campuran serta nilai *LHV* yang semakin rendah dengan adanya Etanol dalam campuran sesuai dengan data *properties* pada tabel 4.5. Tingginya nilai viskositas menyebabkan pembakaran bahan bakar yang lebih buruk. Ini menandakan bahwa semakin banyak persentase *Crude Palm Oil* pada campuran bahan bakar akan berakibat pada penurunan efisiensi energi dari proses pembakaran untuk dikonversi menjadi energi mekanik. Peningkatan terhadap nilai rata-rata efisiensi termal D100 terjadi pada bahan bakar campuran D87,5 C2,5 E10 dan D85 C5 E10. Hal ini dapat terjadi karena adanya *oxygen content* yang dimiliki oleh bahan bakar *Crude Palm Oil* dan Etanol meskipun dua campuran tersebut memiliki viskositas lebih tinggi dan *LHV* lebih rendah dibandingkan D100 atau Dexlite. Hal ini sesuai dengan beberapa jurnal sebelumnya, seperti penelitian dari Hulwan bahwa peningkatan persentase

ethanol dan biodiesel dalam *tri-fuel* menyebabkan kadar oksigen pada campuran meningkat sehingga nilai *brake thermal efficiency* lebih tinggi dibandingkan D100 atau Diesel [33]. Jurnal lain seperti dari Dinesha juga menyebutkan hal yang sama dimana ketika *tri-fuel blend* memiliki efisiensi termal lebih tinggi daripada bahan bakar diesel, hal itu disebabkan oleh adanya *oxygen content*. Apabila *tri-fuel blend* memiliki efisiensi termal lebih rendah daripada bahan bakar diesel, hal itu disebabkan oleh *LHV* campuran bahan bakar yang lebih rendah daripada diesel [5].

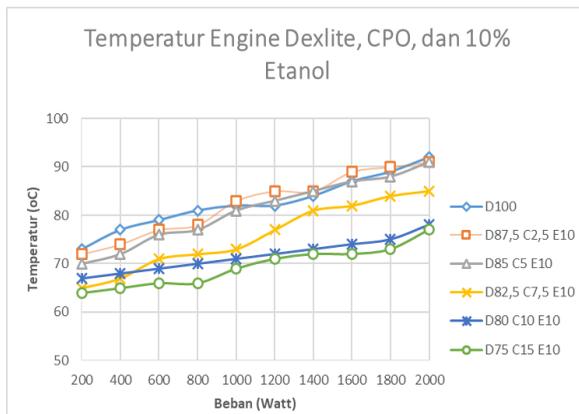
#### 4.4.5 Temperatur Air Pendingin, Oli, Engine, dan Exhaust



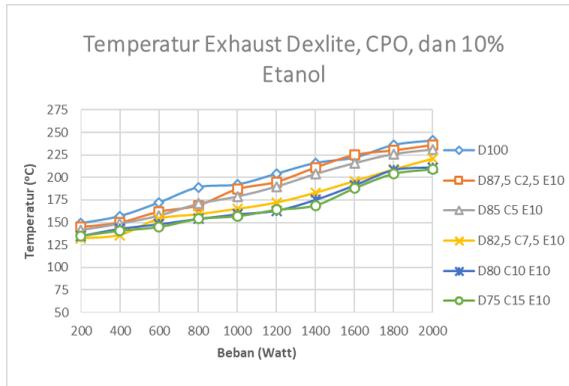
**Gambar 4.5 Grafik Temperatur Oli pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, Crude Palm Oil, dan 10% Etanol**



**Gambar 4.6** Grafik Temperatur Air Pendingin pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol



**Gambar 4.7** Grafik Temperatur Engine pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol



**Gambar 4.8** Grafik Temperatur *Exhaust* pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol

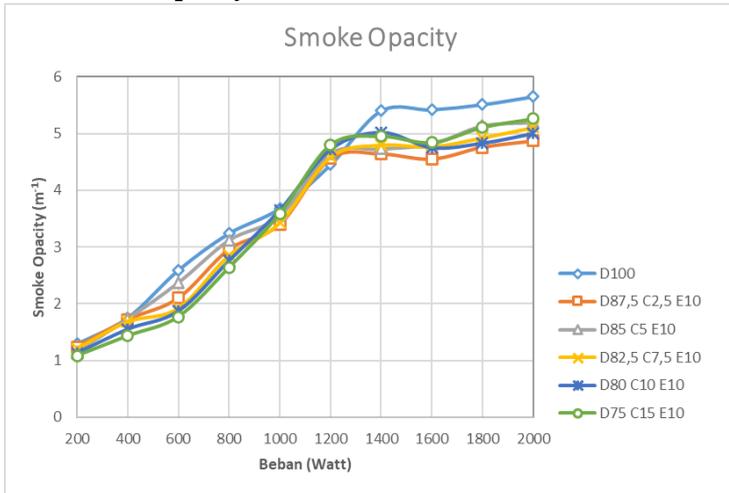
Berdasarkan gambar 4.5, 4.6, 4.7, dan 4.8, terlihat grafik temperatur oli, air pendingin, *engine*, dan *exhaust* pada setiap variasi campuran bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol terhadap beban kerja yang diberikan dari range 200 – 2000 Watt. Temperatur oli diukur berdasarkan hasil pembacaan *thermocouple* pada oli di *cranckcase engine*, temperatur air pendingin di radiator, temperatur di blok silinder *engine*, dan temperatur *exhaust* di knalpot.

Trendline dari masing-masing grafik grafik temperatur oli, air pendingin, *engine*, dan *exhaust* campuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol cenderung meningkat seiring bertambahnya beban yang diberikan. Energi panas yang dihasilkan pembakaran tidak sepenuhnya dikonversikan menjadi energi gerak pada piston. Sebagian energi panas akan diteruskan ke semua bagian *engine*, komponen radiator, *cranckcase* oli, dan gas hasil pembakaran.

Pada grafik tersebut terlihat fenomena dimana Dexlite atau D100 memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan semua bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol dimana ini mengindikasikan *indicated power* dan *mean effective*

*pressure* yang dihasilkan bahan bakar campuran lebih rendah sehingga panas yang dikonduksikan juga menjadi rendah. Hal ini sesuai dengan grafik dari torsi dan *bmep* yang sebelumnya sudah dibahas. Pada grafik tersebut juga terdapat fenomena dimana grafik temperatur oli, air pendingin, *engine*, dan *exhaust* cenderung lebih rendah seiring peningkatan persentase volume *Crude Palm Oil* pada *Fuel Blend*. Bahan bakar campuran dengan suhu paling rendah secara keseluruhan dimiliki oleh D75 C15 E10. Hal ini berkaitan dengan penambahan Etanol dan *Crude Palm Oil* dalam campuran. Penambahan etanol menyebabkan bahan bakar campuran memiliki temperatur lebih rendah dibandingkan D100. Etanol memiliki nilai *Latent Heat of Evaporation* lebih tinggi dibandingkan bahan bakar lain dalam campuran. Hal lain yang menjadi penyebab rendahnya temperatur bahan bakar campuran adalah rendahnya nilai LHV yang berakibat pada pembakaran yang tidak sempurna sehingga energi yang dihasilkan menjadi lebih rendah dan kalor yang dikonduksikan menjadi lebih rendah juga.

#### 4.4.6 *Smoke Opacity*



**Gambar 4.9** Grafik *Smoke Opacity* pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol.

Berdasarkan gambar 4.9, terlihat grafik *smoke opacity* pada setiap variasi campuran bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol terhadap beban kerja yang diberikan dari range 200 – 2000 Watt. Pembacaan *smoke opacity* dilakukan menggunakan *smoke tester* dengan memasang probe pada *exhaust gas*. *Smoke opacity* adalah tingkat ketebalan asap yang dihasilkan oleh *engine*. Asap yang dihasilkan merupakan bentuk padatan karbon yang tercampur ke dalam *exhaust gas* dan hasil dari proses pembakaran yang tidak sempurna.

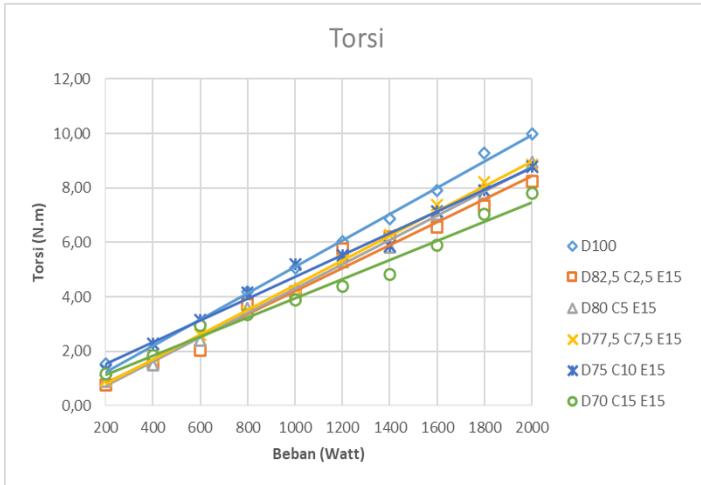
Trendline dari masing-masing grafik *smoke opacity* campuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol cenderung meningkat seiring bertambahnya beban yang diberikan.

Pada grafik tersebut terlihat fenomena dimana Dexlite atau D100 memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan semua bahan

bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol. Bahan bakar D87,5 C2,5 E10 terlihat memiliki kadar *smoke* paling rendah dan bahan bakar D75 C15 E10 memiliki kadar *smoke* paling tinggi dibandingkan dengan bahan bakar campuran lainnya. Smoke terbentuk akibat adanya partikulat yang dihasilkan pada kondisi defisiensi oksigen pada akhir pembakaran. Opasitas *smoke* ini terbentuk dengan adanya *soot* pada gas buang. Adanya kandungan oksigen dalam campuran bahan bakar dari Etanol dan *Crude Palm Oil* menyebabkan pembentukan *soot* pada kondisi defisiensi oksigen pada akhir pembakaran dapat dikurangi sehingga jumlah opasitas *smoke* yang dihasilkan juga berkurang. Kadar oksigen inilah yang menyebabkan semua bahan bakar campuran memiliki nilai lebih rendah dari bahan bakar Dexlite 100%.

## 4.5 Hasil dan Analisis Grafik Pengujian Unjuk Kerja Mesin dan Emisi Gas Buang Bahan Bakar Dexlite dengan Variasi Penambahan *Crude Palm Oil* dan Etanol 15%

### 4.5.1 Torsi



**Gambar 4.10 Grafik Torsi pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol**

Berdasarkan gambar 4.10, terlihat grafik torsi pada setiap variasi campuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol terhadap beban kerja yang diberikan dari *range* 200 – 2000 Watt.

Trendline dari masing-masing grafik torsi campuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol cenderung meningkat seiring bertambahnya beban yang diberikan. Torsi merupakan kemampuan *engine* dalam menghasilkan kerja dimana nilainya dipengaruhi oleh daya dan putaran mesin.

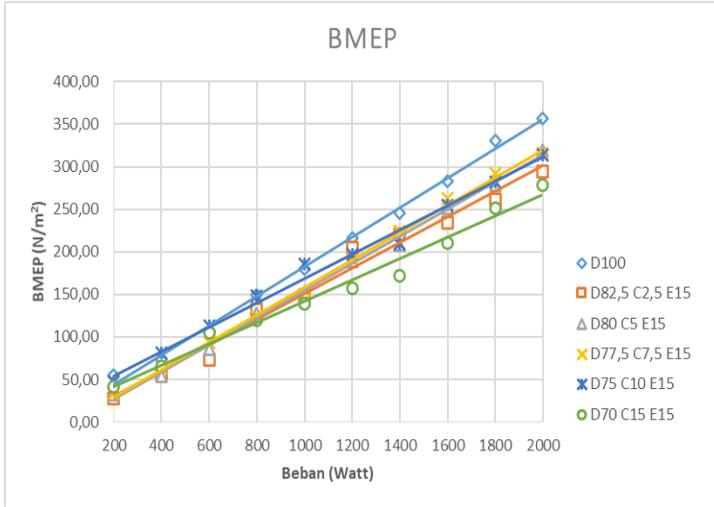
$$M_t = \frac{60 \times N_e}{2\pi n} (N.m) \dots \dots \dots (4.12)$$

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

Dari persamaan tersebut, torsi berbanding lurus dengan daya dan berbanding terbalik dengan putaran mesin.

Pada grafik tersebut terlihat dimana Dexlite atau D100 memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan semua bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol. Hasil tersebut berkaitan dengan nilai viskositas bahan bakar yang meningkat akibat dari penambahan *Crude Palm Oil* pada campuran bahan bakar sesuai dengan data *properties* pada tabel 4.6. Viskositas memengaruhi besar droplet bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar. Ukuran droplet yang lebih besar akan membutuhkan waktu yang lebih lama pula untuk terbakar dari permukaan hingga bagian dalam dari droplet. Waktu pembakaran yang terlalu lama ini mengakibatkan pembakaran terjadi secara tidak sempurna sehingga torsi yang dihasilkan menjadi rendah. Penurunan rata-rata torsi bahan bakar campuran D82,5 C2,5 E15, D80 C5 E15, D77,5 C7,5 E15, D75 C10 E15, dan D70 C15 E15 secara berurutan adalah 17,171%, 15,001%, 12,287%, 8,420%, dan 22,918% terhadap rata-rata torsi bahan bakar D100 dimana nilai torsi meningkat seiring dengan penambahan *Crude Palm Oil* pada bahan bakar campuran kecuali pada D70 C15 E10 dikarenakan nilai viskositasnya terlampaui tinggi dengan nilai 8,3 mm<sup>2</sup>/s. Pengaruh oksigen yang terkandung dari Etanol dan *Crude Palm Oil* turut membantu proses oksidasi yang lebih baik sehingga *indicated power* yang dapat diubah menjadi *brake power* pada poros juga semakin tinggi. Hal ini menunjukkan perbaikan nilai performa torsi pada campuran bahan bakar dengan 15% Etanol.

**4.5.2 BMEP**



**Gambar 4.11 Grafik BMEP pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, Crude Palm Oil, dan 15% Etanol**

Berdasarkan gambar 4.11, terlihat grafik bmeP pada setiap variasi campuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol terhadap beban kerja yang diberikan dari *range* 200 – 2000 Watt.

Trendline dari masing-masing grafik bmeP campuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol cenderung meningkat seiring bertambahnya beban yang diberikan. Definisi dari bmeP adalah tekanan efektif rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang volume langkah piston sehingga menghasilkan daya yang besarnya sama dengan daya efektif.

$$bmeP = \frac{Ne \times z \times 60}{A \times l \times n \times \pi} (N/m^2) \dots \dots \dots (4.13)$$

Dimana :  
 Ne : Daya (Watt)

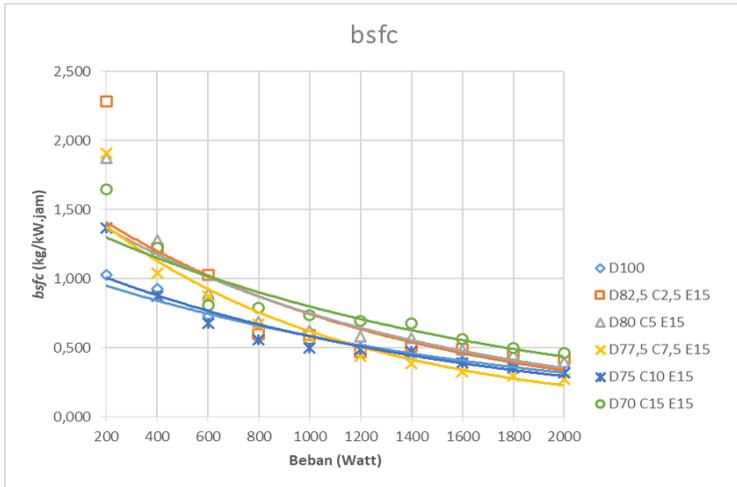
A	: Luas Penampang Piston ( $m^2$ )
l	: Panjang Langkah Piston (m)
i	: Jumlah Silinder
n	: Putaran <i>Engine</i>
z	: 2 (mesin 4 langkah)

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa daya efektif berbanding lurus dengan bmep. Parameter lainnya pada persamaan tersebut memiliki nilai konstan sehingga hanya daya yang memiliki pengaruh terhadap nilai bmep.

Pada grafik tersebut terlihat bahwa Dexlite atau D100 memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan semua bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol. Penurunan rata-rata BMEP bahan bakar campuran D82,5 C2,5 E15, D80 C5 E15, D77,5 C7,5 E15, D75 C10 E15, dan D70 C15 E10 secara berurutan adalah 17,171%, 15,001%, 12,287%, 8,420%, dan 22,918% terhadap rata-rata BMEP bahan bakar D100 dimana nilai *Brake Mean Effective Pressure* meningkat seiring dengan peningkatan persentase *Crude Palm Oil* kecuali pada D70 C15 E10 dikarenakan nilai viskositasnya terlampau tinggi dengan nilai 8,3  $mm^2/s$ . Tekanan teoritis rata-rata yang dihasilkan bergantung dengan volume ruang bakar dan *indicated power* dari hasil pembakaran. Pembakaran ini menghasilkan tekanan yang mengakibatkan fase ekspansi dan memutar poros untuk menghasilkan *brake power*. Nilai *BMEP* bahan bakar campuran yang lebih rendah dari Dexlite 100% diakibatkan oleh viskositas bahan bakar yang lebih tinggi. Hal ini menyebabkan pembakaran cenderung lebih buruk dimana proses pembakaran ini meningkatkan tekanan dan temperatur pada ruang bakar bergantung dengan *fuel properties* dari bahan bakar yang masuk. Akibatnya, tekanan yang dihasilkan untuk memutar poros juga berkurang. Peningkatan performa *bmep* seiring penambahan *Crude Palm Oil* diakibatkan adanya pengaruh oksigen yang terkandung dari Etanol dan *Crude Palm Oil* turut membantu proses oksidasi yang lebih baik sehingga *indicated mean effective*

*pressure* yang dapat diubah menjadi *brake mean effective pressure* pada poros juga semakin tinggi. Hal ini menunjukkan perbaikan nilai performa *b MEP* pada campuran bahan bakar dengan 15% Etanol.

### 4.5.3 BSFC



**Gambar 4.12 Grafik *bsfc* pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol**

Berdasarkan gambar 4.12, terlihat grafik *bsfc* pada setiap variasi campuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol terhadap beban kerja yang diberikan dari *range* 200 – 2000 Watt.

Trendline dari masing-masing grafik *bsfc* campuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol cenderung menurun seiring bertambahnya beban yang diberikan. Definisi *bsfc* adalah jumlah bahan bakar yang digunakan pada mesin untuk menghasilkan daya efektif satu hp selama satu jam.

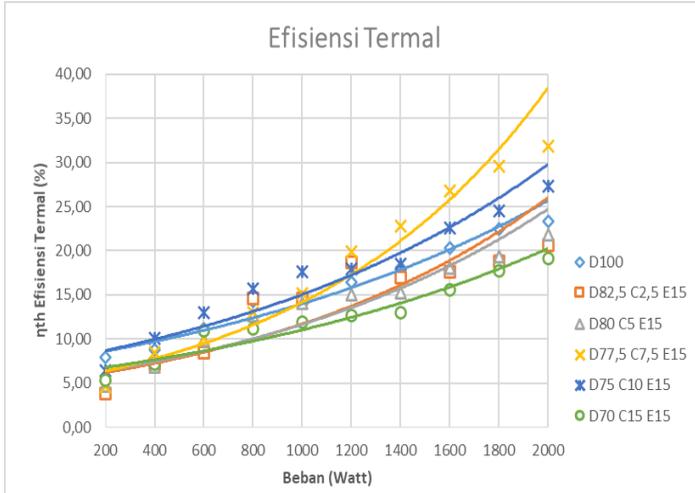
$$bsfc = 3600 \frac{\dot{m}_{bb}}{N_e} \left( \frac{kg}{kW \cdot jam} \right) \dots \dots \dots (4.14)$$

Dimana :  
 Ne : Daya (Watt)  
 $\dot{m}_{bb}$  : *Mass Flow Rate* Bahan Bakar (g/s)

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa *bsfc* berbanding lurus dengan *mass flow rate* bahan bakar dan berbanding terbalik dengan daya. Pada eksperimen ini volume bahan bakar dikontrol dalam kondisi konstan sebesar 10 ml tiap uji bahan bakar berbeda.

Pada grafik tersebut terlihat fenomena dimana Dexlite atau D100 memiliki nilai lebih rendah dibandingkan semua bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol. Bahan bakar campuran dengan nilai rata-rata *bsfc* tertinggi dimiliki oleh campuran D70 C15 E15 dengan kenaikan sebesar 37,775% terhadap nilai rata-rata *bsfc* Dexlite. Nilai *brake specific fuel consumption* berkaitan dengan nilai konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan untuk menggerakkan poros dimana nilainya dipengaruhi *fuel properties* bahan bakar yang masuk. Salah satu *fuel properties* bahan bakar, yakni nilai LHV bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol memiliki nilai LHV yang lebih rendah dibandingkan D100 sesuai dengan data *properties* pada tabel 4.6. Rendahnya nilai LHV berakibat pada pembakaran yang lebih buruk dimana energi dari proses pembakaran tidak terkonversi dengan baik menjadi energi mekanik.

**4.5.4 Efisiensi Termal**



**Gambar 4.13 Grafik Efisiensi Termal pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol**

Berdasarkan gambar 4.13, terlihat grafik efisiensi termal pada setiap variasi campuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol terhadap beban kerja yang diberikan dari range 200 – 2000 Watt.

Trendline dari masing-masing grafik efisiensi termal campuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol cenderung meningkat seiring bertambahnya beban yang diberikan. Efisiensi termal merupakan jumlah pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif pada mesin pembakaran dalam.

$$\eta_{th} = \frac{Ne}{m \text{ bahan bakar} \times LHV \text{ bahan bakar}} \times 100 \dots\dots(4.15)$$

- Dimana :
- $\eta_{th}$  : Efisiensi Termal (%)
  - Ne : Daya (Watt)

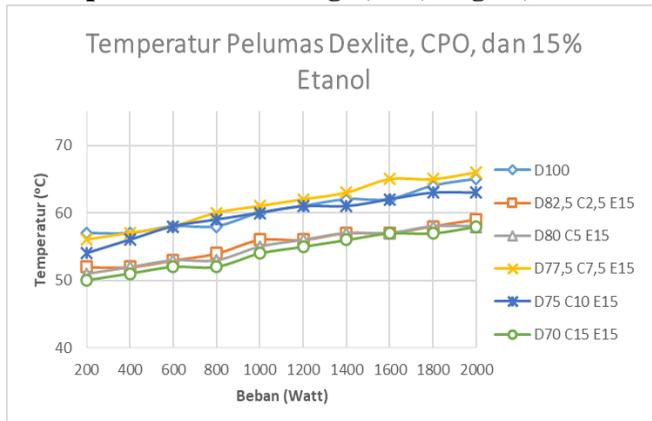
m<sub>bb</sub> : *Mass Flow Rate* Bahan Bakar (g/s)  
LHV : *Lower Heating Value* (KJ/kg)

Dari persamaan tersebut, nilai efisiensi termal berbanding lurus dengan nilai daya dan berbanding terbalik terhadap nilai *mass flow rate* serta *LHV* bahan bakar.

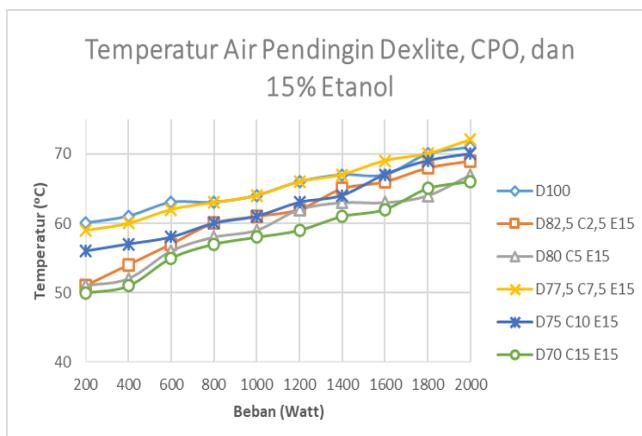
Pada grafik tersebut terlihat bahan bakar campuran dengan nilai rata-rata efisiensi termal tertinggi dimiliki oleh campuran D77,5 C7,5 E15 dengan kenaikan sebesar 15,367%, sedangkan nilai rata-rata efisiensi termal terendah dimiliki oleh campuran D70 C15 E15 dengan penurunan sebesar 20,960% terhadap nilai rata-rata efisiensi termal Dexlite 100%. Dari grafik tersebut terlihat bahwa nilai efisiensi termal cenderung meningkat seiring dengan peningkatan persentase *Crude Palm Oil*. Penurunan terhadap nilai rata-rata efisiensi termal Dexlite 100% terjadi pada bahan bakar campuran D82,5 C2,5 E15, D80 C5 E15, dan D70 C15 E15. Hal tersebut berkaitan dengan nilai viskositas serta LHV bahan bakar dimana bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol memiliki nilai viskositas lebih tinggi dibandingkan D100 yang diakibatkan dari adanya penambahan *Crude Palm Oil* dalam campuran, sedangkan nilai LHV yang lebih rendah daripada Dexlite 100 diakibatkan dari adanya Etanol dalam campuran sesuai dengan data *properties* pada tabel 4.6. Viskositas tinggi menyebabkan pembakaran terjadi secara tidak sempurna. Peningkatan terhadap nilai rata-rata efisiensi termal D100 terjadi pada bahan bakar campuran D77,5 C7,5 E15 dan D75 C10 E15. Hal ini dapat terjadi karena adanya *oxygen content* yang dimiliki oleh bahan bakar *Crude Palm Oil* dan Etanol meskipun dua campuran tersebut memiliki viskositas lebih tinggi dan LHV lebih rendah dibandingkan D100 atau Dexlite. Hal ini sesuai dengan beberapa jurnal sebelumnya, seperti penelitian dari Hulwan bahwa peningkatan persentase ethanol dan biodiesel dalam *tri-fuel* menyebabkan kadar oksigen pada campuran meningkat sehingga nilai *brake thermal efficiency* lebih tinggi dibandingkan D100 atau Diesel [33]. Jurnal lain seperti dari

Dinesha juga menyebutkan hal yang sama dimana ketika *tri-fuel blend* memiliki efisiensi termal lebih tinggi daripada bahan bakar diesel, hal itu disebabkan oleh adanya *oxygen content*. Apabila *tri-fuel blend* memiliki efisiensi termal lebih rendah daripada bahan bakar diesel, hal itu disebabkan oleh *LHV* campuran bahan bakar yang lebih rendah daripada diesel [5].

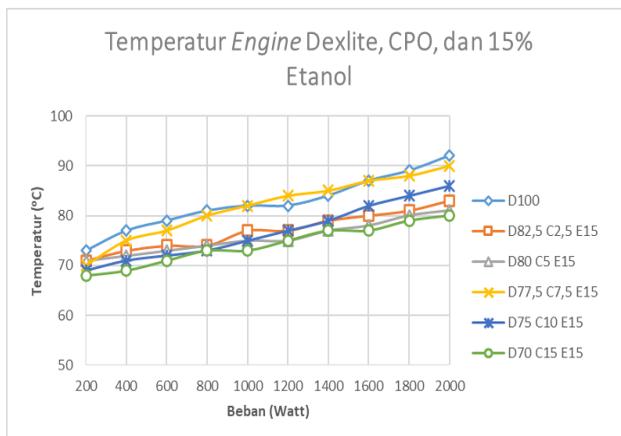
#### 4.5.5 Temperatur Air Pendingin, Oli, Engine, dan Exhaust



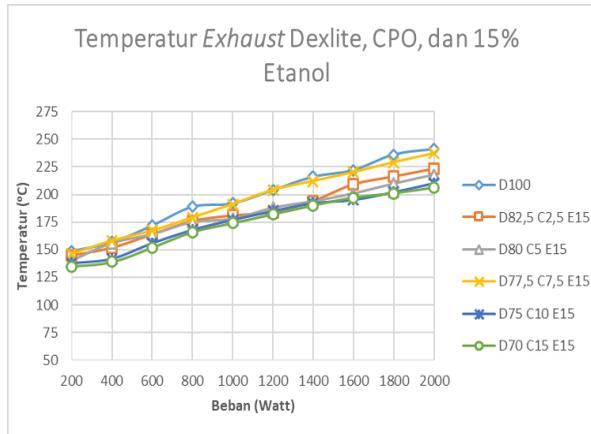
**Gambar 4.14** Grafik Temperatur Oli pada Bahan Bakar Campuran Dexlite. *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol



**Gambar 4.15** Grafik Temperatur Air Pendingin pada Bahan Bakar Campuran Dexlite. *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol



**Gambar 4.16** Grafik Temperatur Engine pada Bahan Bakar Campuran Dexlite. *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol



**Gambar 4.17 Grafik Temperatur *Exhaust* pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol**

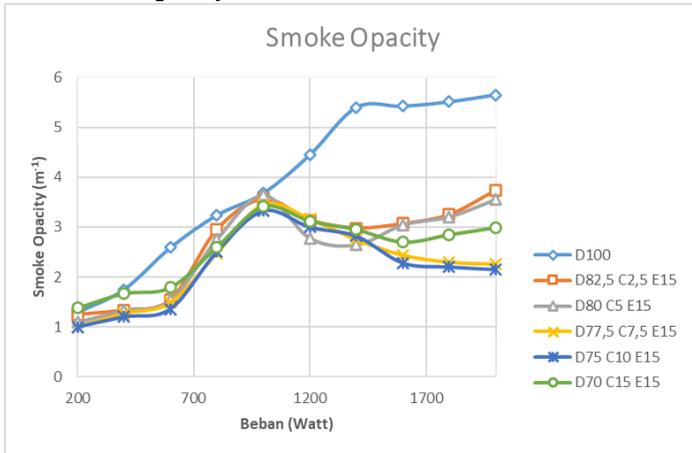
Berdasarkan gambar 4.14, 4.15, 4.16, dan 4.17, terlihat grafik temperatur oli, air pendingin, *engine*, dan *exhaust* pada setiap variasi campuran bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol terhadap beban kerja yang diberikan dari range 200 – 2000 Watt. Temperatur oli diukur berdasarkan hasil pembacaan *thermocouple* pada oli di *crankcase engine*, temperatur air pendingin di radiator, temperatur di blok silinder *engine*, dan temperatur *exhaust* di knalpot.

Trendline dari masing-masing grafik grafik temperatur oli, air pendingin, *engine*, dan *exhaust* campuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol cenderung meningkat seiring bertambahnya beban yang diberikan. Energi panas yang dihasilkan pembakaran tidak sepenuhnya dikonversikan menjadi energi gerak pada piston. Sebagian energi panas akan diteruskan ke semua bagian *engine*, komponen radiator, *crankcase* oli, dan gas hasil pembakaran.

Pada grafik tersebut terlihat temperatur bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol cenderung

lebih rendah daripada Dexlite 100% dimana ini mengindikasikan *indicated power* dan *mean effective pressure* yang dihasilkan bahan bakar campuran lebih rendah sehingga panas yang dikonduksikan juga menjadi rendah. Hal ini sesuai dengan grafik dari torsi dan *bmep* yang sebelumnya sudah dibahas. Pada grafik tersebut juga terdapat fenomena dimana grafik temperatur oli, air pendingin, *engine*, dan *exhaust* pada bahan bakar D77,5 C7,5 E15 dan D70 C10 E15 cenderung memiliki nilai yang sama dengan D100. Bahan bakar campuran dengan suhu paling rendah secara keseluruhan dimiliki oleh D70 C15 E15. Hal ini berkaitan dengan penambahan Etanol dan *Crude Palm Oil* dalam campuran. Penambahan etanol menyebabkan bahan bakar campuran memiliki temperatur lebih rendah dibandingkan D100. Etanol memiliki nilai *Latent Heat of Evaporation* lebih tinggi dibandingkan bahan bakar lain dalam campuran. Hal lain yang menjadi penyebab rendahnya temperatur bahan bakar campuran adalah rendahnya nilai LHV yang berakibat pada pembakaran yang tidak sempurna sehingga energi yang dihasilkan menjadi lebih rendah dan kalor yang dikonduksikan menjadi lebih rendah juga.

#### 4.5.6 *Smoke Opacity*



**Gambar 4.18** Grafik *Smoke Opacity* pada Bahan Bakar Campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol

Berdasarkan gambar 4.18, terlihat grafik *smoke opacity* pada setiap variasi campuran bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol terhadap beban kerja yang diberikan dari range 200 – 2000 Watt. Pembacaan *smoke opacity* dilakukan menggunakan *smoke tester* dengan memasang probe pada *exhaust gas*. *Smoke opacity* adalah tingkat ketebalan asap yang dihasilkan oleh *engine*. Asap yang dihasilkan merupakan bentuk padatan karbon yang tercampur ke dalam *exhaust gas* dan hasil dari proses pembakaran yang tidak sempurna.

Trendline dari masing-masing grafik *smoke opacity* campuran bahan bakar Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol cenderung meningkat seiring bertambahnya beban yang diberikan.

Pada grafik tersebut terlihat fenomena dimana Dexlite atau D100 memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan semua bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol. Hal ini berkaitan dengan penambahan Etanol dan *Crude Palm Oil*

dalam campuran. Smoke terbentuk akibat adanya partikulat yang dihasilkan pada kondisi defisiensi oksigen pada akhir pembakaran. Opasitas *smoke* ini terbentuk dengan adanya *soot* pada gas buang. Adanya kandungan oksigen dalam campuran bahan bakar dari Etanol dan *Crude Palm Oil* menyebabkan pembentukan *soot* pada kondisi defisiensi oksigen pada akhir pembakaran dapat dikurangi sehingga jumlah opasitas *smoke* yang dihasilkan juga berkurang. Kadar oksigen inilah yang menyebabkan semua bahan bakar campuran memiliki nilai lebih rendah dari bahan bakar Dexlite 100%.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berikut kesimpulan yang didapatkan dari eksperimen ini:

1. Bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol mengalami penurunan performa torsi, *b MEP*, dan efisiensi termal sebesar 4,5%, 4,5%, dan 4,3% seiring dengan penambahan *Crude Palm Oil* pada campuran, sedangkan penambahan Etanol menjadi 15% pada campuran justru meningkatkan performa torsi, *b MEP*, dan efisiensi termal sebesar 3,4%, 3,4%, dan 8,3% seiring penambahan *Crude Palm Oil* pada campuran dengan pengecualian D70 C15 E15.
2. Bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol memiliki nilai performa *bsfc* yang meningkat sebesar 4,6% seiring penambahan *Crude Palm Oil* pada campuran, sedangkan penambahan Etanol menjadi 15% pada campuran justru menurunkan nilai *bsfc* seiring penambahan *Crude Palm Oil* pada campuran sebesar 9,3% dengan pengecualian D70 C15 E15.
3. Bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol memiliki rata-rata penurunan kadar *smoke* 37,2% terhadap rata-rata kadar *smoke* Dexlite 100%, sedangkan bahan bakar campuran Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol memiliki rata-rata penurunan kadar *smoke* 9% terhadap rata-rata kadar *smoke* Dexlite 100% sehingga Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 15% Etanol menghasilkan kadar *smoke*

lebih rendah daripada Dexlite, *Crude Palm Oil*, dan 10% Etanol.

## **5.2 Saran**

Berikut saran yang perlu diperhatikan dari eksperimen ini:

1. Selalu servis mesin diesel terlebih dahulu sebelum digunakan untuk keperluan eksperimen.
2. Pengadaan alat uji *properties* bahan bakar agar memudahkan pengujian secara mandiri.
3. Penyimpanan Etanol lebih diperhatikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] BP Statistical Review of World Energy. BP PLC Publication. 1 St. James Square, London. 2019.
- [2] Outlook Energi Indonesia. Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional. Jakarta Selatan, Jakarta. 2019.
- [3] Kweku, Darkwah W., dan Bismark, Odum., Februari 2018. “Greenhouse Effect: Greenhouse Gases and Their Impact on Global Warming”. *Journal of Scientific Research & Reports* 17, 6: 1 – 9.
- [4] Adharsyah, Taufan, Maret 2019. CNBC Indonesia. <URL:<https://www.cnbcindonesia.com/market/20190320173153-1761904/ri-bakal-rugi-miliaran-dolar-akibat-larangan-sawit-uni-eropa>>.
- [5] Dinesha, Pijakala, dan Kumar, Shiva., Januari 2019. “Combustion, performance, and emissions of a compression ignition engine using Pongamia biodiesel and bioethanol”. *Environmental Science and Pollution Research Springer* 26, 2019: 8069–8079.
- [6] Zhu, Lei, dan Cheung, C.S., Februari 2011. “Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fueled with ethanol–biodiesel blends”. *Fuel* 90, 2011: 1743–1750.
- [7] Yusaf, T.F., dan Yousif, B.F., Juni 2011. “Crude palm oil fuel for diesel-engines: Experimental and ANN simulation approaches”. *Energy* 36, 2011: 4871 – 4878.

- [8] Charoensaeng, Ampira dan Khaodiar, Sutha., Februari 2018. “Exhaust emissions of a diesel engine using ethanol-in-palm oil/diesel microemulsion-based biofuels”. *Environment Engineering Research* 23, 3: 242 – 249.
- [9] Wolfson, Richard, 2011. *Energy, Environment, and Climate 2nd Edition*. London: W.W. Norton.
- [10] Pertamina Industrial Fuel. Spesifikasi Bahan Bakar Solar.<URL:<https://www.pertamina.com/industrialfuel/media/6796/biosolar.pdf>>.
- [11] Diesel Fuels Technical Review by Chevron Products Company. Chevron Corporation. San Ramon, California. 2007.
- [12] Zakaria, Idhad, Oktober 2017. Antara News. <URL: <https://www.antaranews.com/berita/661959/pertamina-ru-iv-cilacap-berhasil-memproduksi-dexlite#mobile-src>>.
- [13] Gnansounou, Edgrad dan Dauriat, Arnaud. November 2005. “Ethanol fuel from biomass: A review”. *Journal of Scientific & Industrial Research* 64, 2005: 809 – 821.
- [14] Praptijanto, Achmad, dan Muharam, Aam, April 2015. “Effect of ethanol percentage for diesel engine performance using virtual engine simulation tool”. *Energy Procedia* 68, 2015: 345 – 354.
- [15] Becker, Hans, Oktober 2015. Market Brief Crude Palm Oil <URL:<http://djpen.kemendag.go.id/membership/data/files/4976a-cpo.pdf>>.

- [16] Bari, S., dan Lim, T.H., November 2001. "Effects of preheating of crude palm oil (CPO) on injection system, performance and emission of a diesel engine". Pergamon Renewable Energy 27, 2002: 339 – 351.
- [17] Zuhdi, M.F.A., 2003. "Biodiesel Sebagai Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil Pada Motor Diesel". Riset Unggulan Terpadu VIII Bidang Tekonologi Energi Surabaya.
- [18] Jhalani, Amit, dan Sharma, Dilip, Desember 2018. "A comprehensive review on water-emulsified diesel fuel: chemistry, engine performance and exhaust emissions". Environmental Science and Pollution Research Springer 26, 2019: 4570 – 4587.
- [19] Patel, Nikunj S., dan Modi, Maulik, Februari 2017. "Investigation of Diesel Engine with Water Emulsifier - A Review". International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). Volume 4: 2.
- [20] Turns, Stephen R. 2012. *An Introduction To Combustion: Concepts and Applications*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [21] Minea, Adriana A. 2013. *Advanced in Industrial Heat Transfer*. Florida: CRC Press Taylor and Francis Group.
- [22] Heywood, J.B. 1988. *Internal Combustion Engine*. London: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [23] Pudjanarsa, Astu, dan Nursuhud, Djati. 2014. *Mesin Konversi Energi*. Surabaya: Andi Publisher.

- [24] Resitoglu, Ibrahim A., dan Altinisik, Kemal, 2015. "The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems". *Clean Technologies and Environmental Policy* 17, 2015: 15 – 27.
- [25] Corral-Gomez, L., Rubio-Gómez, G., Martínez-Martínez, S., dan Sánchez-Cruz, F.A. 2019. "Effect of diesel-biodiesel-ethanol blends on the spray macroscopic parameters in a common-rail diesel injection system". *Fuel* 241:876 – 883.
- [26] Park, Su Han, dan Kim, Sen Hun, 2009. "Mixing Stability and Spray Behavior Characteristics of Diesel-Ethanol-Methyl Ester Blended Fuels in a Common-Rail Diesel Injection System". *Energy Fuels*, 23: 5228–5235.
- [27] Al-Hassan, M., Mujafet, H., dan Al-Shannag, M. 2012. "An Experimental Study on the Solubility of a Diesel-Ethanol Blend and on the Performance of a Diesel Engine Fueled with Diesel-Biodiesel - Ethanol Blends". *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, Volume 6: 147 – 153.
- [28] Bahrudin, H. M. Nazrul, dan N.A., Mukhtar. 2019. "Comparison between tri-fuel (diesel-ethanol-biodiesel)emulsion with and without surfactant". *AIP Conference Proceedings* 2059: 020056.
- [29] Salykin, E.A., Kurapin, A. V., Tshibanda K. E., Dygalo, V. G., dan Slavutskiy, V. M. 2018." Impact of diesel fuel and palm oil blend compositions on the performance of the fuel supply process in the diesel engine". *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 386: 012014.
- [30] Sidjabat, Oberlin. 2013. "Pengaruh Teknik Pencampuran Biodiesel dengan Metode Splash (Pencemplungan)

terhadap Unjuk Kerja Kendaraan Bermesin Diesel”. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi “LEMIGAS”

- [31] Madiwale, S., Karthikeyan, A., Bhojwani, V., dan Chougule, S. 2017. “Cottonseed Oil Biodiesel With Ethanol as An Additive-An Alternative Fuel For Diesel Engine”. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences* 12: 17
  
- [32] Imtenan, S., Masjuki, H.H., Varman, M., Arbaba, M.I., Sajjada, H., Fattaha, I.M. Rizwanul, Abedina, M.J., dan Md. Hasibb, Abu Saeed. 2013. “Emission and performance improvement analysis of biodiesel-diesel blends with additives”. *Procedia Engineering* 90: 472 – 477.
  
- [33] Hulwan, Dattatray Bapu, dan Joshi, Satishchandra V. 2011. “Performance, emission and combustion characteristic of a multicylinder DI diesel engine running on diesel–ethanol–biodiesel blends of high ethanol content”. *Energy* 88: 5042–5055

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Muhammad Almeir Wirma atau biasa disapa dengan nama Almer, dilahirkan di Tangerang pada 12 April 1998. Penulis merupakan anak ketiga dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal, yaitu TK Bina Balita Lampung, SD Islam Darut Taqwa Surabaya, SMPN 1 Surabaya, dan SMAN 5 Surabaya. Setelah lulus dari

SMAN 5 pada tahun 2016, penulis mengikuti tes SBMPTN dan diterima di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan mengambil program studi S1 Departemen Teknik Mesin.

Selama berkuliah di Departemen Teknik Mesin ITS, penulis mengambil bidang studi Konversi Energi. Penulis aktif di beberapa kegiatan di dalam jurusan sebagai Ketua Biro Kajian Strategis Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM) dan juga sebagai Asisten Praktikum Laboratorium Rekayasa Termal.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”