



**ANALISIS UNJUK KERJA MESIN DIESEL DENGAN BAHAN BAKAR  
CAMPURAN PERTADEX DAN BODIESEL DARI BIJI KEMIRI**

**SKRIPSI**

**Oleh**

**Moh. Wafir**

**161910101058**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2020**



**ANALISIS UNJUK KERJA MESIN DIESEL DENGAN BAHAN BAKAR  
CAMPURAN PERTADEX DAN BODIESEL DARI BIJI KEMIRI**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

**Oleh**

**Moh. Wafir**

**161910101058**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2020**

## PERSEMBAHAN

Dengan segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT, maka saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Allah SWT. yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik;
2. Ayah saya Zainuddin, Ibu saya Sitti Suryani dan Kakak saya Faiz yang senantiasa memberikan doa yang tiada putus, kasih sayang, semangat dan motivasi serta dukungan baik berupa materil dan non materil;
3. Keluarga besar yang selalu membantu dan memberi dukungan;
4. Sahabat-sahabat terbaik saya yang selalu memberikan semangat dan dorongan;
5. Seluruh dosen serta civitas akademik jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang telah membimbing, memberikan banyak ilmu, pelajaran dan motivasi kepada saya;
6. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan sarana dan prasarana untuk menuntut ilmu.

**MOTTO**

Sesungguhnya beserta kesulitan itu ada kemudahan.

(terjemahan Surat *Al-Insyirah* ayat 6)<sup>\*)</sup>

atau

Orang yang pesimis selalu melihat kesulitan di setiap kesempatan, tapi orang yang optimis selalu melihat kesempatan dalam setiap kesulitan.

(Ali Bin Abi Thalib)<sup>\*\*)</sup>

atau

Sulit hanya sebuah asumsi sebelum kita memberikan aksi.

(Moh. Wafir)<sup>\*\*\*)</sup>

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Moh. Wafir

NIM : 161910101058

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan skripsi yang berjudul “Analisis Unjuk Kerja Mesin Diesel dengan Bahan Bakar Campuran Pertadex dan Biodiesel dari Biji Kemiri” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang telah disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan penuh kesadaran tanpa ada unsur pemaksaan serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 5 Februari 2020

Yang menyatakan,

Moh. Wafir  
NIM 161910101058

**SKRIPSI**

**ANALISIS UNJUK KERJA MESIN DIESEL DENGAN BAHAN BAKAR  
CAMPURAN PERTADEX DAN BIODIESEL DARI BIJI KEMIRI**

Oleh:

Moh. Wafir

NIM 161910101058

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Digdo Listyadi Setyawan, M.Sc.

Dosen Pembimbing Anggota : Rahma Rei Sakura, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Analisis Unjuk Kerja Mesin Diesel dengan Bahan Bakar Campuran Pertadex dan Biodiesel dari Biji Kemiri” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : 5 Februari 2020

Tempat : Ruang Ujian II Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Ir. Digdo Listyadi Setyawan, M.Sc.  
NIP. 196806171995011001

Rahma Rei Sakura, S.T., M.T.  
NIP. 760017115

Penguji,

Penguji I,

Penguji II,

Intan Hardiatama, S.T., M.T.  
NIP. 198904282019032021

Yuni Hermawan, S.T., M.T.  
NIP. 197506152002121008

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.  
NIP. 197008261997021001

## RINGKASAN

**ANALISIS UNJUK KERJA MESIN DIESEL DENGAN BAHAN BAKAR CAMPURAN PERTADEX DAN BIODIESEL DARI BIJI KEMIRI;** Moh. Wafir, 161910101058; 2020; 106 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Indonesia mengalami penurunan produksi minyak nasional beberapa tahun terakhir yang disebabkan karena penurunan cadangan minyak pada sumur-sumur yang berproduksi. Sehingga pemerintah Indonesia mulai melakukan impor untuk memenuhi kebutuhan minyak bumi dalam negeri. Menurut Ditjen Migas, jenis minyak bumi dengan volume impor terbesar adalah minyak solar. Oleh karena itu bahan bakar alternatif yang bersifat terbarukan sudah seharusnya dikembangkan di Indonesia untuk mengurangi ketergantungan terhadap minyak fosil. Bahan bakar alternatif yang dapat dikembangkan di Indonesia adalah biodiesel, karena biodiesel terbuat dari bahan baku tumbuhan yang tersedia melimpah di Indonesia. Biodiesel membutuhkan bahan baku minyak nabati yang dapat dihasilkan dari tanaman yang mengandung asam lemak seperti tanaman kemiri. Tanaman kemiri memiliki kandungan minyak yang tinggi dan mudah terbakar sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar biodiesel.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan dapat mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan minyak fosil. Penelitian ini juga dilakukan untuk mengembangkan bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil yang layak diaplikasikan pada mesin diesel. Penelitian ini melakukan uji unjuk kerja mesin diesel menggunakan bahan bakar campuran pertadex dan biodiesel dari minyak biji kemiri dengan variasi campuran biodiesel B0 (Pertadex 100%), B10 (Biodiesel 10% dan Pertadex 90%), B20 (Biodiesel 20% dan Pertadex 80%) dan B30 (Biodiesel 30% dan Pertadex 70%). Hasil pengujian kemudian akan dibandingkan dengan pengaruh penggunaan biosolar pertamina terhadap kinerja mesin diesel.



Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan lima variasi putaran mesin yaitu 1600 rpm, 1800 rpm, 2000 rpm, 2200 rpm, dan 2400 rpm. Alat utama yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin diesel yang terhubung dengan generator untuk menguji unjuk kerja mesin diesel. Unjuk kerja mesin diesel yang dianalisis pada pengujian ini adalah daya efektif, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi termal, dan opasitas gas buang.

Hasil penelitian diperoleh bahwa dengan penambahan campuran biodiesel biji kemiri pada bahan bakar pertadex dengan variasi campuran B0, B10, B20, dan B30 berpengaruh terhadap unjuk kerja mesin diesel yang dihasilkan. Adapun unjuk kerja mesin diesel yang dihasilkan yaitu: (1) daya efektif, (2) torsi, (3) konsumsi bahan bakar spesifik, (4) efisiensi termal, (5) dan opasitas gas buang. Daya efektif yang dihasilkan pada semua campuran biodiesel mengalami peningkatan dibandingkan biosolar, namun menurun dibandingkan penggunaan pertadex murni. Torsi yang dihasilkan pada semua campuran biodiesel juga mengalami peningkatan dibandingkan biosolar, namun menurun dibandingkan penggunaan pertadex murni. Konsumsi bahan bakar spesifik yang dihasilkan pada semua campuran meningkat dibandingkan pertadex murni, namun menurun dibandingkan biosolar pada campuran B10 dan B30. Efisiensi termal yang dihasilkan pada semua campuran biodiesel mengalami peningkatan dibandingkan biosolar, namun dibandingkan pertadex murni efisiensi termal meningkat pada campuran B20 dan B30. Opasitas gas buang mesin yang dihasilkan pada semua campuran biodiesel semakin baik seiring penambahan volume biodiesel pada campuran bahan bakar pertadex.

## SUMMARY

**PERFORMANCE ANALYSIS OF DIESEL ENGINE WITH MIXED FUEL FROM PERTADEX AND BIODIESEL *ALEURITES MOLUCCANA***; Moh. Wafir, 161910101058; 2020; 106 pages; Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty; Jember University.

Indonesia has experienced a decline in national oil production in recent years due to a decrease in oil reserves in producing wells. So that the Indonesian government began to import to meet domestic petroleum needs. According to the Directorate General of Oil and Gas, the type of petroleum with the largest import volume is diesel oil. Therefore alternative renewable fuels should be developed in Indonesia to reduce dependence on fossil fuels. An alternative fuel that can be developed in Indonesia is biodiesel, because biodiesel is made from abundant available plant raw materials in Indonesia. Biodiesel requires raw materials for vegetable oils that can be produced from plants containing fatty acids such as candlenut plants. Candlenut has a high oil content and is flammable so that it can be used as biodiesel fuel.

This research aims to develop biodiesel as an alternative fuel that is environmentally friendly and can reduce dependence on the use of fossil oil. This research was also carried out to develop alternative fuels to replace fossil fuels that are suitable for diesel engines. This study conducted a diesel engine performance test using a mixture of pertadex and biodiesel fuel from candlenut oil with a mixture of biodiesel mixture B0 (Pertadex 100%), B10 (Biodiesel 10% and Pertadex 90%), B20 (Biodiesel 20% and Pertadex 80%) ) and B30 (Biodiesel 30% and Pertadex 70%). The test results will then be compared with the effect of using Pertamina biodiesel on the performance of diesel engines.

This study uses an experimental method with five variations of engine speed that is 1600 rpm, 1800 rpm, 2000 rpm, 2200 rpm, and 2400 rpm. The main tool used in this study is a diesel engine that is connected to a generator to test diesel engine performance. The diesel engine performance analyzed in this test are effective power, torque, specific fuel consumption, thermal efficiency and exhaust gas opacity.

The results showed that the addition of a mixture of candlenut biodiesel seeds on pertadex fuel with variations in the mixture of B0, B10, B20, and B30 affected the performance of the diesel engine produced. The performance of the diesel engine produced are: (1) effective power, (2) torque, (3) specific fuel consumption, (4) thermal efficiency, (5) and exhaust gas opacity. The effective power produced in all biodiesel mixes has increased compared to biosolar, but has decreased compared to the use of pure pertadex. The torque produced in all biodiesel blends also increases compared to biosolar, but decreases compared to the use of pure pertadex. The specific fuel consumption produced in all mixes increases compared to pure pertadex, but decreases compared to biosolar in mixes B10 and B30. The thermal efficiency produced in all biodiesel blends has increased compared to biodiesel, but compared to pure pertadex the thermal efficiency has increased in B20 and B30 blends. The engine exhaust gas opacity produced in all biodiesel mixes is getting better along with the addition of the volume of biodiesel in the pertadex fuel mixture.

## PRAKATA

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul “Analisis Unjuk Kerja Mesin Diesel dengan Bahan Bakar Campuran Pertadex dan Biodiesel dari Biji Kemiri”. Laporan skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Hari Arbiantara, S.T, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Bapak Ir. Digdo Listyadi Setyawan, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Utama yang penuh kesabaran memberikan bimbingan, meluangkan waktu, pikiran, motivasi dan saran kepada penulis selama penyusunan proyek akhir ini sehingga laporan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
4. Ibu Rahma Rei Sakura, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang penuh kesabaran memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis, meluangkan waktu, pikiran, motivasi dan saran kepada penulis selama penyusunan proyek akhir ini sehingga laporan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan motivasi kepada penulis.
6. Ibunda Sitti Suryani, Ayahanda Zainuddin serta kakak Faiz dan keluarga yang telah memberikan doa, motivasi dan dukungan baik materil maupun non materil;

7. Saudara seperjuangan tim riset biodiesel Zainul Atiqi, Radhea Afif Rahmatullah, dan Avitio Dwi Bagaskoro;
8. Saudara seperjuangan Teknik Mesin angkatan 2016 yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis;
9. Saudara - saudara Kontrakan Asoy Rendi, Tiqi, Homaidi, Ahmad, Adan, Arep, Jali, Dida, Etak, Dayat, Ical, Zei, Irul, Rosi, Iqbal, Radea dan Aldin yang selalu menemani, memberi semangat, dan mengajarkan arti kerasnya kehidupan, serta menjadi keluarga kedua penulis selama tinggal di Jember;
10. Saudara - saudara JongMadura perkumpulan mahasiswa Madura di Jember.
11. Saudara - saudara kelompok KKN 299 desa Andongsari Jember.
12. Pihak lain yang tidak bisa disebutkan satu – persatu.

Proyek akhir ini disusun berdasarkan data – data yang diperoleh dari studi lapangan dan studi literatur, apabila ada kekurangan, penulis senantiasa terbuka untuk menerima kritik dan saran dalam upaya penyempurnaan skripsi ini.

Jember, 5 Februari 2020

Penulis

**DAFTAR ISI**

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xviii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xx
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1. Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2. Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3. Tujuan</b> .....	4
<b>1.4. Manfaat</b> .....	4
<b>1.5. Batasan Masalah</b> .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1. Mesin Diesel</b> .....	5
<b>2.2. Bahan Bakar Mesin Diesel</b> .....	7
2.2.1. Biosolar.....	7
2.2.2. Pertamina Dex.....	8
<b>2.3. Biodiesel</b> .....	8
2.3.1. Sejarah Biodiesel.....	9
2.3.2. Karakteristik Biodiesel.....	9
2.3.3. Ketersediaan Bahan Baku Biodiesel.....	10

2.3.4. Pembuatan Biodiesel.....	11
<b>2.4. Kemiri.....</b>	<b>13</b>
<b>2.5. Parameter Unjuk Kerja Mesin Diesel.....</b>	<b>14</b>
2.5.1. Nilai Kalor Bahan Bakar.....	14
2.5.2. Daya Efektif.....	16
2.5.3. Torsi.....	16
2.5.4. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.....	17
2.5.5. Efisiensi Thermal.....	18
2.5.6. Opasitas.....	19
<b>2.6. Penelitian Sebelumnya.....</b>	<b>20</b>
<b>2.7. Hipotesis.....</b>	<b>21</b>
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1. Metode Penelitian.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2. Tempat dan Waktu Penelitian.....</b>	<b>22</b>
3.2.1. Tempat Penelitian.....	22
3.2.2. Waktu Penelitian.....	23
<b>3.3. Alat dan Bahan Penelitian .....</b>	<b>23</b>
3.3.1. Pembuatan Biodiesel.....	23
3.3.2. Pengujian Unjuk Kerja Mesin Diesel.....	27
<b>3.4. Variabel Penelitian .....</b>	<b>31</b>
3.4.1. Variabel Bebas.....	31
3.4.1. Variabel Terikat.....	31
3.4.1. Variabel Kontrol.....	31
<b>3.5. Metode Pengumpulan Data .....</b>	<b>31</b>
<b>3.6. Metode Pengolahan Data .....</b>	<b>32</b>
<b>3.7. Tahap Pembuatan Biodiesel Biji Kemiri .....</b>	<b>32</b>
<b>3.8. Tahap Pengujian Unjuk Kerja Mesin Diesel .....</b>	<b>33</b>
<b>3.9. Tahap Pengambilan dan Pengolahan Data.....</b>	<b>35</b>
3.9.1. Tahap Pengambilan Data Karakteristik Biodiesel.....	35
3.9.2. Tahap Pengambilan Data Karakteristik Bahan Bakar.....	35
3.9.3. Tahap Pengambilan Data Parameter Unjuk Kerja Mesin .....	35

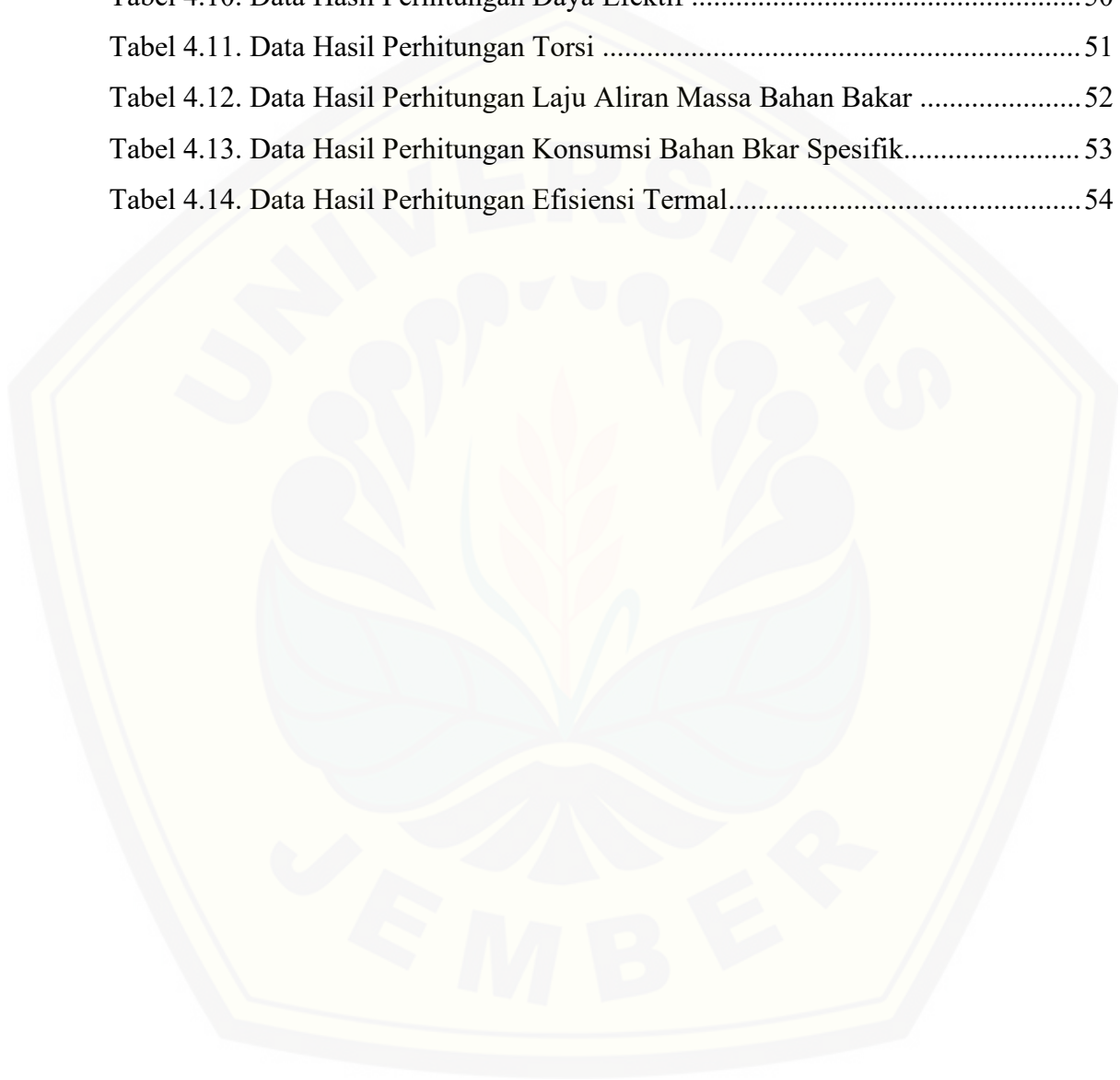
3.9.4. Tahap Pengambilan Data Opasitas .....	38
3.9.5. Tahap Pengolahan Data.....	39
<b>3.10. Diagram Alir Penelitian.....</b>	<b>41</b>
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>42</b>
<b>4.1. Data Hasil Pengujian.....</b>	<b>42</b>
4.1.1. Karakteristik Biodiesel Biji Kemiri.....	42
4.1.2. Karakteristik Bahan Bakar Diesel.....	43
4.1.3. Hasil Pengujian Mesin Diesel.....	43
4.1.4. Hasil Pengujian Opasitas.....	49
<b>4.2. Pengolahan Data.....</b>	<b>50</b>
4.2.1. Daya Efektif.....	50
4.2.2. Torsi.....	51
4.2.3. Laju Aliran Massa Bahan Bakar.....	52
4.2.4. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.....	53
4.2.5. Efisiensi Termal.....	54
<b>4.3. Analisis Data.....</b>	<b>55</b>
4.3.1. Daya Efektif.....	55
4.3.2. Torsi.....	60
4.3.3. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.....	64
4.3.4. Efisiensi Termal.....	69
4.3.5. Opasitas.....	73
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>75</b>
<b>5.1. Kesimpulan.....</b>	<b>75</b>
<b>5.2. Saran.....</b>	<b>76</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>77</b>
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN .....</b>	<b>81</b>



**DAFTAR TABEL**

	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1. Standar Mutu Bahan Bakar Diesel .....	7
Tabel 2.2. Spesifikasi Biosolar .....	7
Tabel 2.3. Spesifikasi Pertamina Dex .....	8
Tabel 2.4. Standar Mutu Biodiesel Menurut SNI 7182-2015.....	10
Tabel 2.5. Tumbuhan Penghasil Minyak Nabati.....	11
Tabel 2.6. Karakteristik Biodiesel Biji Kemiri.....	14
Tabel 2.7. Standar Mutu Kandungan Emisi dan Opasitas Gas Buang.....	19
Tabel 3.1. <i>Time line</i> Penelitian .....	23
Tabel 3.2. Spesifikasi Mesin Diesel .....	27
Tabel 3.3. Spesifikasi Generator .....	28
Tabel 3.4. Data Karakteristik Biodiesel Biji Kemiri .....	35
Tabel 3.5. Data Karakteristik Bahan Bakar.....	35
Tabel 3.6. Data pada Bahan Bakar Biosolar .....	36
Tabel 3.7. Data pada Bahan Bakar Pertadex .....	36
Tabel 3.8. Data pada Bahan Bakar B10 (Biodiesel 10% + Pertadex 90%) .....	37
Tabel 3.9. Data pada Bahan Bakar B20 (Biodiesel 20% + Pertadex 80%) .....	37
Tabel 3.10. Data pada Bahan Bakar B30 (Biodiesel 30% + Pertadex 70%) .....	38
Tabel 3.11. Data Opasitas Gas Buang .....	38
Tabel 3.12. Penyajian Nilai Daya Efektif .....	39
Tabel 3.13. Penyajian Nilai Torsi .....	40
Tabel 3.14. Penyajian Nilai Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.....	40
Tabel 3.15. Penyajian Nilai Efisiensi Thermal .....	40
Tabel 4.1. Karakteristik Biodiesel Biji Kemiri .....	42
Tabel 4.2. Karakteristik Bahan Bakar Diesel.....	43
Tabel 4.3. Hasil Pengujian dengan Bahan Bakar Biosolar.....	44
Tabel 4.4. Hasil Pengujian dengan Bahan Bakar B0 (Pertadex 100%).....	45
Tabel 4.5. Hasil Pengujian dengan Bahan Bakar B10 .....	46

Tabel 4.6. Hasil Pengujian dengan Bahan Bakar B20 .....	47
Tabel 4.7. Hasil Pengujian dengan Bahan Bakar B30 .....	48
Tabel 4.8. Hasil Pengujian Opasitas .....	49
Tabel 4.9. Data Nilai Opasitas .....	49
Tabel 4.10. Data Hasil Perhitungan Daya Efektif .....	50
Tabel 4.11. Data Hasil Perhitungan Torsi .....	51
Tabel 4.12. Data Hasil Perhitungan Laju Aliran Massa Bahan Bakar .....	52
Tabel 4.13. Data Hasil Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.....	53
Tabel 4.14. Data Hasil Perhitungan Efisiensi Termal.....	54



DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1. Diagram P-v dan T-s .....	5
Gambar 2.2. Siklus Mesin Diesel 4 Tak .....	6
Gambar 2.3. Inti Biji Kemiri .....	13
Gambar 3.1. Mesin Press Hidrolik .....	23
Gambar 3.2. Oven .....	23
Gambar 3.3. <i>Thermostat</i> .....	23
Gambar 3.4. <i>Magnetic Stirrer</i> .....	24
Gambar 3.5. Gelas Beaker .....	24
Gambar 3.6. <i>Heater</i> .....	24
Gambar 3.7. Pipet Filler .....	24
Gambar 3.8. Gelas Ukur .....	24
Gambar 3.9. <i>Thermometer</i> .....	24
Gambar 3.10. Sarung Tangan Latex .....	25
Gambar 3.11. Pengaduk .....	25
Gambar 3.12. Neraca Digital .....	25
Gambar 3.13. Kompor Gas .....	25
Gambar 3.14. Panci .....	25
Gambar 3.15. <i>Stopwatch</i> .....	25
Gambar 3.16. Biji Kemiri .....	26
Gambar 3.17. Kalium Hidroksida .....	26
Gambar 3.18. Metanol .....	26
Gambar 3.19. Mesin Diesel .....	27
Gambar 3.20. Generator .....	28
Gambar 3.21. <i>Bomb Calorimeter</i> .....	28
Gambar 3.22. Voltmeter .....	29
Gambar 3.23. Amperemeter .....	29
Gambar 3.24. <i>Tachometer Digital</i> .....	29

Gambar 3.25. <i>Smokemeter</i> .....	30
Gambar 3.26. Beban Lampu .....	30
Gambar 3.27. Skema Peralatan Uji Unjuk Kerja Mesin .....	34
Gambar 3.28. Diagram Alir Penelitian .....	41
Gambar 4.1. Grafik Pengaruh Putaran Mesin terhadap Daya Efektif .....	55
Gambar 4.2. Grafik Pengaruh Campuran Bahan Bakar terhadap Daya Efektif .....	59
Gambar 4.3. Grafik Pengaruh Putaran Mesin terhadap Torsi .....	60
Gambar 4.4. Grafik Pengaruh Campuran Bahan Bakar terhadap Torsi.....	63
Gambar 4.5. Grafik Pengaruh Putaran Mesin terhadap <i>SFC</i> .....	64
Gambar 4.6. Grafik Pengaruh Campuran Bahan Bakar terhadap <i>SFC</i> .....	67
Gambar 4.7. Grafik Pengaruh Putaran Mesin terhadap Efisiensi Termal.....	69
Gambar 4.8. Grafik Pengaruh Campuran Bahan Bakar terhadap Efisiensi Termal ..	71
Gambar 4.9. Grafik Pengaruh Campuran Bahan Bakar terhadap Opasitas .....	73

**DAFTAR LAMPIRAN**

	<b>Halaman</b>
Lampiran A. Contoh Perhitungan pada Putaran Mesin 2400 Rpm .....	81
Lampiran B. Hasil Pengujian Karakteristik Bahan Bakar .....	91
Lampiran C. Spesifikasi Bahan Bakar Diesel Produk Pertamina .....	97
Lampiran D. Hasil Pengujian Opasitas pada Mesin Diesel .....	99
Lampiran E. Tabel Konversi Satuan Opasitas $K\cdot m^{-1}$ menjadi %HSU .....	103
Lampiran F. Standar Opasitas Mesin Diesel Stasioner .....	106
Lampiran G. Kalibrasi Mesin Uji Unjuk Kerja Mesin Diesel .....	107
Lampiran H. Dokumentasi Penelitian .....	109

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia mengalami penurunan produksi minyak nasional sejak lima tahun terakhir yang disebabkan karena penurunan secara alamiah (*natural decline*) cadangan minyak pada sumur-sumur yang memproduksi (Prasetyo, 2002). Berkurangnya cadangan minyak terjadi karena konsumsi minyak bumi dalam negeri yang terus meningkat seiring pesatnya pertumbuhan penduduk dan industri di Indonesia. Menurut Ditjen Migas, pemerintah Indonesia mulai melakukan impor minyak bumi yang meningkat cukup signifikan setiap tahunnya untuk memenuhi kebutuhan minyak bumi dalam negeri. Dilihat dari jenis minyak bumi yang diimpor pemerintah Indonesia, minyak solar merupakan minyak bumi dengan volume impor terbesar (Shintawaty, 2006).

Bahan bakar alternatif yang bersifat terbarukan sudah seharusnya dikembangkan di Indonesia untuk mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan minyak bumi. Bahan bakar alternatif yang akan dikembangkan dan digunakan diharapkan dapat menciptakan energi yang lebih ramah lingkungan, tidak mencemari udara, dan hasil pembakarannya tidak mengandung gas Cox, NOx, dan Sox. Beberapa bahan bakar alternatif yang dapat dikembangkan di Indonesia adalah biodiesel dan bioetanol.

Indonesia mempunyai potensi yang sangat besar untuk menghasilkan biodiesel dan bioetanol, karena kedua bahan bakar alternatif ini dapat memanfaatkan sumber bahan baku minyak nabati dari berbagai tanaman yang tersedia. Biodiesel merupakan bahan bakar cair hasil konversi dari minyak nabati yang keberadaannya sangat melimpah di Indonesia karena dapat diperbaharui. Biodiesel ini ramah lingkungan karena menghasilkan emisi gas buang yang jauh lebih baik dibandingkan dengan minyak solar. Bahan bakar ini juga memiliki banyak kelebihan antara lain: bebas dari kandungan sulfur, bilangan asap (*smoke number*) kecil, memiliki *cetane number* yang tinggi, dapat terurai (*biodegradable*), dan tidak beracun (Dahyaningsih, 2013).

Pengembangan biodiesel membutuhkan bahan baku minyak nabati yang dapat dihasilkan dari tanaman yang mengandung asam lemak. Tanaman tersebut antara lain: biji kemiri (*Aleurites Moluccana*), kelapa sawit (*Elaeis guineensis*), jarak pagar (*Jatropha Curcas*), minyak jelantah, biji kapuk, kelapa, sirsak, dan srikaya. Indonesia sangat kaya akan sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku biodiesel. Biji kemiri merupakan salah satu sumber bahan baku minyak nabati yang prospektif dikembangkan sebagai bahan baku biodiesel di Indonesia (Shintawaty, 2006).

Tanaman kemiri (*Aleurites Moluccana*) adalah tanaman yang memiliki kandungan minyak tinggi mencapai 57-69% dari total bobot biji kemiri. Minyak kemiri mempunyai sifat mudah terbakar sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar. Penelitian tentang pengembangan biji kemiri menjadi bahan bakar alternatif biodiesel sudah banyak dilakukan. Salamah (2010), meneliti tentang pembuatan bahan bakar alternatif biodiesel dari minyak kemiri. Rosafira (2019), meneliti tentang karakteristik api difusi biodiesel minyak biji kemiri. Mahlinda dan Busthan (2017), mereka juga meneliti tentang pembuatan biodiesel dari biji kemiri dengan proses transesterifikasi.

Biodiesel telah banyak diaplikasikan sebagai bahan bakar mesin diesel, karena hasil pembakarannya lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar jenis fosil. Jenis bahan bakar yang digunakan pada mesin diesel mempengaruhi karakteristik kinerja yang dihasilkan dari mesin diesel. Penelitian tentang pengujian karakteristik kinerja mesin diesel dengan menggunakan bahan bakar biodiesel sudah banyak dilakukan. Sitorus dkk. (2016), meneliti tentang analisis unjuk kerja mesin diesel berbahan bakar campuran pertadex dan biodiesel biji matahari. Hasil penelitian diperoleh bahwa daya mesin sedikit menurun namun tidak terlalu signifikan, sedangkan konsumsi bahan bakar spesifik meningkat. Juanda (2017), meneliti tentang analisis uji performa motor diesel menggunakan bahan bakar campuran biodiesel biji kapuk dan pertadex dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar biosolar produk Pertamina. Hasil penelitian diperoleh bahwa dengan menggunakan campuran biodiesel biji kapuk dengan pertadex, daya dan torsi meningkat dibandingkan menggunakan bahan bakar biosolar.

Cahyono dkk. (2018), meneliti tentang analisis pengaruh penggunaan biodiesel biji kemiri terhadap proses pembakaran dan kadar emisi NO<sub>x</sub> pada mesin diesel. Hasil penelitian diperoleh bahwa dengan menggunakan campuran biodiesel biji kemiri, proses pembakaran menjadi lebih baik walaupun kadar emisi NO<sub>x</sub> mengalami peningkatan dibandingkan menggunakan bahan bakar solar.

Berdasarkan latar belakang di atas maka penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil yang layak diaplikasikan pada mesin diesel. Penelitian ini melakukan uji unjuk kerja mesin diesel menggunakan bahan bakar campuran pertadex dan biodiesel dari minyak biji kemiri dengan variasi campuran biodiesel B0, B10, B20 dan B30. Hasil pengujian kemudian akan dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar biosolar. Pertadex dan biosolar yang digunakan merupakan bahan bakar diesel produk dari Pertamina yang sudah memenuhi standar mutu bahan bakar diesel berdasarkan ASTM D-975 (1991). Biodiesel dari minyak biji kemiri sudah memenuhi standar mutu biodiesel SNI berdasarkan pengujian karakteristik yang telah dilakukan sebelumnya oleh Rosafira (2019). Penelitian ini juga bertujuan untuk mencari campuran biodiesel dari minyak biji kemiri dengan pertadex yang dapat menghasilkan unjuk kerja terbaik pada mesin diesel.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh penambahan biodiesel dari biji kemiri pada bahan bakar pertadex dengan variasi campuran biodiesel B0, B10, B20 dan B30 terhadap daya efektif, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik, dan efisiensi termal pada mesin diesel?
- b. Bagaimana pengaruh pemakaian bahan bakar campuran pertadex dan biodiesel dari biji kemiri terhadap opasitas pada mesin diesel?



### 1.3. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui pengaruh penambahan biodiesel dari biji kemiri pada bahan bakar pertadex dengan variasi campuran biodiesel B0, B10, B20 dan B30 terhadap daya efektif, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik, dan efisiensi termal pada mesin diesel.
- b. Bagaimana pengaruh pemakaian bahan bakar campuran pertadex dan biodiesel dari biji kemiri terhadap opasitas pada mesin diesel.

### 1.4. Manfaat

Adapun manfaat dengan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menambah wawasan tentang proses pembuatan biodiesel dengan karakteristik yang sesuai untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel.
- b. Menambah wawasan tentang parameter-parameter yang mempengaruhi unjuk kerja mesin diesel.

### 1.5. Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah disebutkan, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

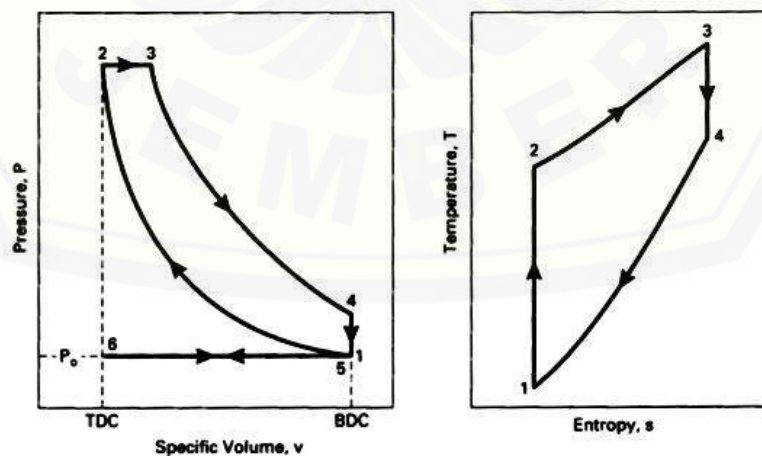
- a. Kondisi mesin diesel dalam keadaan standar.
- b. Kondisi temperatur udara dalam keadaan tetap ideal.
- c. Tidak menganalisis reaksi kimia yang terjadi pada saat pembuatan biodiesel.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Mesin Diesel

Mesin diesel ditemukan pada tahun 1892 oleh Rudolf Christian Karl Diesel (18 Maret 1858–30 September 1913), Rudolf merupakan seorang warga negara Jerman dengan latar belakang keluarga pengrajin kulit (Sukoco dan Arifin, 2013). Mesin diesel terus mengalami perkembangan dari tahun ke tahun hingga banyak diterapkan di berbagai industri maupun kendaraan-kendaraan. Mesin diesel biasanya digunakan pada kendaraan yang berukuran besar, karena mesin diesel mengkonsumsi bahan bakar  $\pm 25\%$  lebih rendah dari mesin bensin, lebih murah dan perawatannya lebih sederhana (Kubota dan Takigawa, 2001).

Mesin diesel biasanya disebut motor penyalaan kompresi (*compression ignition engine*), karena proses penyalaan bahan bakarnya terjadi akibat dari proses kompresi piston di dalam silinder. Proses penyalaan bahan bakar pada mesin diesel dilakukan dengan cara menyemprotkan bahan bakar ke dalam udara yang telah bertekanan dan bertemperatur tinggi di dalam ruang bakar (Arismunandar dan Tsuda, 1986). Mesin diesel memiliki siklus kerja yang dimisalkan dengan pemasukan panas pada volume konstan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Diagram P-v dan T-s (Sumber: Kubota dan Takigawa, 2001)

Keterangan Gambar:

$P$  = Tekanan (atm)

$v$  = Volume Spesifik ( $m^3/kg$ )

$T$  = Temperatur (K)

$s$  = Entropi ( $kJ/kg.K$ )

Keterangan grafik:

6-1 langkah hisap (tekanan konstan)

1-2 kompresi isentropik

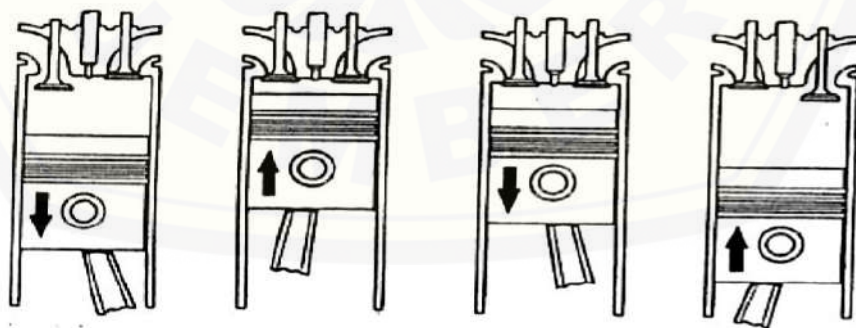
2-3 pemasukan kalor pada volume konstan

3-4 ekspansi isentropik

4-1 pengeluaran kalor pada volume konstan

1-6 langkah buang (tekanan konstan)

Siklus pada mesin diesel terdiri dari empat proses, yaitu proses isap, kompresi, usaha dan proses buang. Terdapat dua cara dalam menyelesaikan setiap siklus tersebut. Cara pertama diselesaikan dalam empat langkah piston, atau dua putaran poros engkol, cara ini disebut dengan mesin diesel 4 (empat) tak. Cara kedua diselesaikan dalam dua langkah piston, atau satu putaran poros engkol, cara ini disebut dengan mesin diesel 2 (dua) tak (Sukoco dan Arifin, 2013). Rangkaian penyelesaian untuk siklus mesin diesel 4 tak dapat digambarkan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2 sebagai berikut:



Langkah hisap    Langkah kompresi    Langkah usaha    Langkah Buang

Gambar 2.2 Siklus Mesin Diesel 4 Tak (Sumber: Arismunandar dan Wiranto, 1988)

## 2.2. Bahan Bakar Mesin Diesel

Mesin diesel menggunakan bahan bakar yang telah ditentukan standarnya secara internasional. Terdapat beberapa standar mutu bahan bakar diesel yang telah ditetapkan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 untuk mengetahui standar bahan bakar yang sudah layak untuk diaplikasikan pada mesin diesel.

Tabel 2.1 Standar Mutu Bahan Bakar Diesel

Karakteristik	Jenis Mesin Diesel		
	Mesin Putaran Tinggi	Mesin Industri	Mesin Putaran Rendah dan Sedang
Angka Setana	$\geq 40$	$\geq 40$	$\geq 30$
Titik Didih ( $^{\circ}\text{C}$ )	288	282-338	-
Titik Nyala ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 38$	$\geq 52$	$\geq 55$
Kadar Sulfur (%Berat)	$\leq 0.50$	$\leq 0.50$	$\leq 2.0$

Sumber : *American society for testing and materials* (ASTM) D-975, 1991

### 2.2.1. Biosolar

Biosolar adalah bahan bakar jenis distilat yang digunakan untuk mesin diesel dengan sistem pembakaran *compression ignition*, pada umumnya digunakan untuk bahan bakar mesin diesel dengan putaran tinggi  $> 1000$  rpm (Pertamina, 2019). Biosolar mempunyai karakteristik seperti pada Tabel 2.2 dan sudah memenuhi standar mutu untuk bahan bakar diesel.

Tabel 2.2 Spesifikasi Biosolar

No.	Karakteristik	Nilai
1	Massa jenis pada $15^{\circ}\text{C}$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	815-860
2	Viskositas pada $40^{\circ}\text{C}$ ( $\text{mm}^2/\text{sec}$ )	2,0-4,5
3	Angka Setana	48
4	Titik nyala ( $^{\circ}\text{C}$ )	Min. 52
5	Titik Didih ( $^{\circ}\text{C}$ )	Maks. 370

Sumber : Pertamina, 2019

### 2.2.2. Pertamina Dex

Pertamina Dex (*Diesel Environment X-tra*) adalah bahan bakar mesin diesel modern yang memenuhi standar emisi gas buang *EURO 2*, bahan bakar ini mampu menjadikan kinerja mesin lebih optimal, tangguh, dan bertenaga. Pertamina Dex dilengkapi dengan *lubricity* dan anti *foaming of gas*, sangat disarankan untuk kendaraan diesel, terutama mesin diesel modern berteknologi *Diesel Common Rail System* yang memang membutuhkan bahan bakar prima dan berkualitas tinggi (Pertamina, 2019). Pertadex mempunyai karakteristik seperti pada Tabel 2.3 dan sudah memenuhi standar mutu untuk bahan bakar diesel.

Tabel 2.3 Spesifikasi Pertamina Dex

No.	Karakteristik	Nilai
1	Massa jenis pada 15 °C (kg/m <sup>3</sup> )	820-860
2	Viskositas pada 40 °C (mm <sup>2</sup> /sec)	2,0-4,5
3	Angka Setana	53
4	Titik nyala (°C)	Min. 55
5	Titik Didih (°C)	Maks. 370

Sumber : Pertamina, 2019

### 2.3. Biodiesel

Biodiesel adalah bahan bakar alternatif yang terdiri atas mono-alkil ester dari asam lemak rantai panjang, biodiesel ini diperoleh dari minyak tumbuhan atau binatang. Biodiesel merupakan bahan bakar terbarukan yang bersifat ramah lingkungan karena hasil pembakarannya tidak mengandung belerang. Bahan bakar ini juga memiliki banyak kelebihan antara lain: mudah digunakan, memiliki angka setana tinggi, memiliki daya lumas yang baik, dan bersifat *biodegradable* (Soerawidjaja, 2005).

### 2.3.1. Sejarah Biodiesel

Biodiesel pertama kali dikenalkan di Afrika Selatan sebelum perang dunia II sebagai bahan bakar kendaraan berat (Arpiwi, 2015). Namun lebih tepatnya sejarah biodiesel dimulai pada tahun 1800-an dengan dilakukannya transesterifikasi minyak sayur pada awal 1893 oleh ilmuwan E. Duffy and J. Patrick dengan menggunakan mesin milik Rudolf Diesel yang dijadikan model utama untuk pengujiannya, pengoperasian pertama dilakukan di Augsburg, Germany, 10 Agustus 1893. Untuk mengenang hal ini, maka tepat tanggal 10 Agustus dideklarasikan sebagai Hari Biodiesel Internasional (Sitorus dkk., 2016).

### 2.3.2. Karakteristik Biodiesel

Biodiesel memiliki karakteristik sendiri untuk mengetahui kandungan atau kualitas dari biodiesel yang telah dibuat, sudah layak atau tidak biodiesel tersebut untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel pengganti solar murni. Adapun karakteristik bahan bakar biodiesel yang perlu kita ketahui adalah sebagai berikut:

a. Densitas

Densitas atau massa jenis merupakan berat persatuan volume suatu zat. Alat yang digunakan untuk mengukur densitas adalah aerometer.

b. Viskositas

Viskositas atau kekentalan adalah besar hambatan dari bahan bakar cair untuk mengalir dari sebuah bahan bakar. Viskositas diukur menggunakan viskometer oswald.

c. *Flash point*

*Flash point* atau titik nyala merupakan suatu angka untuk menyatakan suhu terendah dari bahan bakar yang akan menimbulkan penyalaaan api sesaat, ketika permukaan bahan bakar didekatkan pada api.

d. Nilai kalor

Nilai Kalor adalah suatu angka yang menyatakan jumlah panas atau kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran. Nilai kalor untuk bahan bakar cair ditentukan dengan pembakaran dengan oksigen bertekanan pada *bomb calorimeter* dengan satuan kalori/gram (BSN, 2015).

Berdasarkan beberapa karakteristik biodiesel yang telah dijelaskan diatas, maka biodiesel yang akan dikembangkan harus memiliki standar mutu agar dapat diaplikasikan ke dalam mesin diesel. Terdapat beberapa standar mutu biodiesel yang telah ditetapkan secara nasional seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.4 untuk mengetahui standar biodiesel yang sudah layak untuk diaplikasikan pada mesin diesel.

Tabel 2.4 Standar Mutu Biodiesel Menurut SNI 7182-2015

No.	Parameter	Nilai
1	Massa jenis pada 15 °C (kg/m <sup>3</sup> )	850-890
2	Viskositas pada 40 °C (mm <sup>2</sup> /sec)	2,3-6,0
3	Titik nyala (°C)	Min. 100
4	Nilai kalor (kal/g)	8956,725-9601

Sumber : Nurhayati, 2019

### 2.3.3. Ketersediaan Bahan Baku Biodiesel

Indonesia memiliki potensi besar untuk memproduksi biodiesel mengingat biodiesel menggunakan sumber daya yang berasal dari tumbuhan yang banyak tumbuh di Indonesia. Berdasarkan penelitian Badan Pengkajian dan Penerapan Sains dan Teknologi (BPPT), Indonesia memiliki lebih dari 60 jenis tanaman yang memiliki potensi sebagai bahan baku energi alternatif. Tanaman tersebut antara lain: kelapa sawit, kelapa, jarak pagar, kemiri, nyamplung, karet, pohon kapuk, dan masih banyak tanaman lainnya (Shintawaty, 2006).

Kondisi geografis Indonesia yang sangat strategis membuat Indonesia memiliki berbagai jenis tumbuhan yang dapat dijadikan sebagai bahan baku biodiesel. Tumbuhan yang berpotensi dijadikan bahan baku biodiesel haruslah memiliki kandungan minyak nabati. Berikut beberapa data tumbuhan yang menghasilkan produksi minyak nabati ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Tumbuhan Penghasil Minyak Nabati

No.	Nama Tumbuhan	Sumber	Kadar %-Minyak
1	Kelapa	Daging Buah	60-70
2	Kemiri	Inti biji (kernel)	57-69
3	Cokelat	Biji	54-58
4	Sawit	Sabut dan Daging	45-70+45-54
5	Wijen	Biji	45-55
6	Bidaro	Inti biji	45-55
7	Bintaro	Biji	43-64
8	Alpukat	Daging Buah	40-80
9	Nyamplung	Inti biji	40-73
10	Jarak pagar	Biji (seed)	40-60
11	Karet	Biji	40-50
12	Rambutan	Inti biji	37-43
13	Labu merah	Biji	35-38
14	Kelor	Biji	30-49
15	Malapari	Biji	27-39
16	Kapuk/randu	Biji	24-50
17	Sirsak	Inti biji	20-30
18	Pepaya	Biji	20-25
19	Kecipir	Biji	15-20
20	Srikaya	Biji	15-20
21	Jagung	Germ	33
22	kayu manis	Biji	30
23	Padi	Dedak	20
24	Rosela	Biji	17

Sumber: Kuncahyo dkk., 2013

#### 2.3.4. Pembuatan Biodiesel

Biodiesel dapat dibuat dari minyak nabati atau lemak hewani melalui proses esterifikasi gliserida atau dikenal dengan proses alkoholisis (Sitorus dkk., 2016). Proses pembuatan biodiesel dari minyak nabati dilakukan dengan metode katalis atau metode non-katalis. Metode katalis dilakukan menggunakan katalis asam atau basa. Pada metode katalis, proses pencuciannya menggunakan air (*wet wash system*) atau absorban (*dry wash system*) yang berlangsung pada temperatur dan tekanan rendah. Pada metode non-katalis, transesterifikasi berlangsung pada reaktor temperatur tinggi dan tekanan rendah atau tinggi.



Pembuatan biodiesel dengan metode katalis pada umumnya menggunakan katalis basa homogen seperti NaOH dan KOH. Katalis tersebut memiliki kemampuan katalisator yang tinggi dan harga relatif murah dibandingkan dengan katalis lainnya. Akan tetapi, katalis ini sulit dipisahkan dari campuran reaksi sehingga akan ikut terbuang sebagai limbah yang dapat mencemari lingkungan (Santoso dkk., 2013). Adapun pembuatan biodiesel menggunakan katalis dilakukan dengan beberapa tahapan proses sebagai berikut:

a. Ekstraksi Minyak Mentah

Langkah awal pembuatan biodiesel adalah dengan mendapatkan minyak mentah (*Crude Oil*) dari bahan tumbuhan maupun hewan yang kita pilih dengan cara ekstraksi mekanis maupun dengan mengepress bahan baku untuk didapatkan minyaknya.

b. Preparasi Katalis

Preparasi Katalis merupakan serangkaian prosedur untuk menyiapkan katalis menjadi katalis siap digunakan. Katalis yang baik memiliki kemampuan optimal dalam beberapa proses selama katalisis (Supriyadi dkk., 2015).

c. *Degumming*

Proses *degumming* dilakukan dengan memanaskan *crude oil* dan penambahan asam fosfat sebanyak 0,3% dari berat minyak. Kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dan didiamkan agar kotoran mengendap (Putri, 2018). Proses ini untuk memisahkan minyak dari organik lain yang tidak diperlukan dalam proses pembuatan biodisel.

d. Esterifikasi

Esterifikasi mereaksikan minyak lemak dengan alkohol. Esterifikasi bertujuan untuk menurunkan asam lemak bebas (FFA) pada minyak. Asam lemak bebas pada minyak dikonversi menjadi metil ester menggunakan katalis asam, sehingga kadar FFA menjadi turun sampai di bawah 2,5% (Susila, 2010).

e. Transesterifikasi

Proses transesterifikasi adalah dimana alkohol akan menggantikan gugus alkohol pada struktur ester minyak dengan bantuan katalis (biasanya NaOH atau KOH). Proses transesterifikasi bertujuan untuk menurunkan viskositas minyak agar mendekati nilai viskositas solar biasa. Nilai viskositas yang rendah ini memudahkan proses atomisasi atau pengkabutan yang akan menjamin kesempurnaan pembakaran di mesin diesel (Kong, 2010).

f. Pemurnian

Proses pemurnian bertujuan untuk menghilangkan solven maupun sisa dari bahan pada saat tahap sebelumnya yang tidak dibutuhkan dalam kandungan biodiesel. Proses pemurnian dilakukan dengan memanaskan biodiesel pada suhu 100 °C. Biodiesel hasil pemurnian akan tampak terpisah dengan cairan pengotor (Khaidir dkk., 2016).

#### 2.4. Kemiri

Tanaman kemiri merupakan tanaman tropis yang dapat tumbuh subur pada tanah yang berpasir dan tanah yang kurang subur sekalipun. Tanaman kemiri biasanya ditemukan pada ketinggian 150–1000 meter di atas permukaan laut (Arlene, 2013). Tanaman kemiri dapat bertahan hidup selama 40-60 tahun. Tiap tahun tanaman ini dapat menghasilkan 80 kg biji kemiri per pohon. Inti biji kemiri seperti yang terlihat pada Gambar 2.3, memiliki kandungan minyak yang tinggi yaitu 57–69 % dari berat biji. Selain itu, minyak yang terkandung pada biji kemiri memiliki kadar asam lemak bebas (FFA) yang rendah yaitu 0,1-1,5 % (Estrada, 2007).



Gambar 2.3 Inti Biji Kemiri

Minyak yang terkandung pada biji kemiri dapat diperoleh dengan cara ekstraksi mekanis maupun dengan mengepress biji kemiri. Minyak biji kemiri dapat terbakar sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar. Minyak kemiri sudah banyak mulai dikembangkan menjadi bahan bakar kendaraan bermotor pengganti solar, yaitu biodiesel (Arlene, 2013). Adapun biodiesel yang dibuat dari minyak biji kemiri mempunyai karakteristik seperti pada Tabel 2.6 sebagai berikut:

Tabel 2.6 Karakteristik Biodiesel Biji Kemiri

No.	Parameter	Nilai
1	Massa jenis pada 15 °C (kg/m <sup>3</sup> )	881
2	Viskositas pada 40 °C (cSt)	5,824
3	Nilai kalor (kal/g)	9324,853
4	Titik nyala (°C)	167

Sumber : Rosafira, 2019

## 2.5. Parameter Unjuk Kerja Mesin Diesel

Unjuk kerja merupakan kemampuan mesin motor bakar untuk merubah energi yang masuk berupa bahan bakar sehingga menghasilkan daya berguna yang disebut unjuk kerja mesin atau prestasi mesin (Raharjo dan Karnowo, 2008). Adapun unjuk kerja mesin diesel dipengaruhi oleh beberapa parameter sebagai berikut:

### 2.5.1. Nilai Kalor Bahan Bakar

Nilai kalor adalah jumlah energi panas maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna per satuan massa atau volume bahan bakar (Tamam, 2015). Nilai kalor bahan bakar dinyatakan dalam 2 ukuran besaran, yaitu nilai kalor atas (*High Heating Value*) dan nilai kalor bawah (*Low Heating Value*). Nilai kalor atas (*High Heating Value*, HHV) merupakan nilai kalor yang diperoleh secara eksperimen dengan menggunakan *bomb calorimeter*. Nilai kalor atas ditentukan saat hasil pembakaran bahan bakar didinginkan sampai suhu kamar, sehingga kandungan H<sub>2</sub>O yang terbentuk dari pembakaran hidrogen berbentuk cairan (Juanda, 2017).

Besarnya nilai kalor atas (HHV) dapat dihitung bila diketahui komposisi bahan bakarnya dengan menggunakan persamaan yang ditunjukkan pada persamaan (2.1) di bawah ini:

$$HHV = 33950 + 144200(H_2 - \frac{O_2}{8}) + 9400S \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

HHV = Nilai kalor atas (kJ/kg)

H<sub>2</sub> = Persentase hidrogen dalam bahan bakar

O<sub>2</sub> = Persentase oksigen dalam bahan bakar

S = Persentase sulfur dalam bahan bakar

Nilai kalor bawah (*low Heating Value*, LHV) merupakan nilai kalor bahan bakar yang ditentukan saat kandungan H<sub>2</sub>O pada produk pembakaran berbentuk gas (Juanda, 2017). Kandungan H<sub>2</sub>O terbentuk akibat dari pembakaran hidrogen. Kandungan hidrogen dalam bahan bakar cair pada umumnya berkisar 15% dari satu satuan bahan bakar. Pada proses pembakaran sempurna, H<sub>2</sub>O yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar adalah setengah dari jumlah mol hidrogennya. Selain berasal dari pembakaran hidrogen, uap air yang terbentuk pada proses pembakaran dapat pula berasal dari kandungan air yang memang sudah ada didalam bahan bakar (*moisture*) (Nababan, 2017). Besarnya nilai kalor bawah (LHV) dapat dihitung dengan persamaan (2.2) seperti berikut :

$$LHV = HHV - 2400(M + 9H_2) \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

LHV = Nilai Kalor Bawah (kJ/kg)

M = Persentase kandungan H<sub>2</sub>O dalam bahan bakar (*moisture*)

H<sub>2</sub> = Persentase hidrogen dalam bahan bakar

HHV = Nilai kalor atas (kJ/kg)

### 2.5.2. Daya Efektif

Daya merupakan suatu istilah yang digunakan untuk menyatakan seberapa besar kerja yang dapat dilakukan dalam suatu periode waktu tertentu (Kristanto, 2015). Daya pada motor bakar umumnya dikenal ada dua jenis yaitu daya efektif dan daya indikator. Daya efektif dihasilkan pada mesin diesel yang dihubungkan dengan generator listrik dan dihitung berdasarkan beban pada generator listrik (Tamam, 2015). Adapun daya efektif dapat dihitung dengan persamaan (2.3) sebagai berikut:

$$Ne = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi (\text{Watt}) \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

- Ne = Daya efektif mesin (Watt)
- $\sqrt{3}$  = Konstanta untuk generator 3 fasa
- V = Tegangan listrik (Volt)
- I = Arus listrik (Ampere)
- Cos  $\varphi$  = Faktor daya listrik (1,0)

### 2.5.3. Torsi

Torsi merupakan ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja. Besaran torsi adalah besaran turunan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya. Torsi menyebabkan benda berputar terhadap porosnya, dan benda akan berhenti apabila ada udara sama besar melawan torsi dengan arah berlawanan (Cappenberg, 2017). Adapun besar torsi dapat ditentukan dengan persamaan (2.4) sebagai berikut:

$$T = \frac{Ne}{\omega} (\text{Nm}) \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

- T = Torsi (Nm)
- Ne = Daya efektif (Watt)
- $\omega$  = Kecepatan sudut putar (rad/s)

Sedangkan kecepatan sudut putar dapat ditentukan dengan persamaan (2.5) sebagai berikut :

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} (\text{rad} / \text{s}) \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

n = Putaran mesin (rpm)

Torsi berbanding lurus dengan daya yang diberikan dan berbanding terbalik dengan putaran mesin. Semakin besar daya yang diberikan pada mesin, maka torsi yang dihasilkan akan mempunyai kecenderungan untuk semakin besar. Semakin besar putaran mesin, maka torsi yang dihasilkan akan semakin kecil (Ahmad, 2017).

#### 2.5.4. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Konsumsi bahan bakar spesifik atau *Specific Fuel Consumption (SFC)* adalah jumlah bahan bakar yang dipakai mesin untuk menghasilkan daya efektif 1 (satu) kW selama 1 (satu) jam. Konsumsi bahan bakar spesifik merupakan indikasi efisiensi mesin dalam menghasilkan daya dari pembakaran bahan bakar (Ahmad, 2017). Besar nilai konsumsi bahan bakar spesifik mempengaruhi efisiensi pada mesin. Harga pemakaian bahan-bakar spesifik yang makin rendah menunjukkan efisiensi yang makin tinggi (Cappenberg, 2017). Nilai konsumsi bahan bakar spesifik dapat diperoleh dengan persamaan (2.6) sebagai berikut:

$$SFC = \frac{\dot{m}_f \times 10^3}{N_e} (\text{g} / \text{kWh}) \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

SFC = Konsumsi bahan bakar spesifik (g/kWh)

$\dot{m}_f$  = Laju aliran massa bahan bakar (g/jam)

$N_e$  = Daya efektif (Watt)

Nilai laju aliran massa bahan bakar dapat dihitung dengan persamaan (2.7) sebagai berikut:

$$\dot{m}_f = \frac{v_f \times sg_f \times 3600}{t_f} \text{ (g / jam)} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

- $\dot{m}_f$  = Laju aliran massa bahan bakar (g/jam)
- $sg_f$  = Specific gravity (g/cm<sup>3</sup>)
- $v_f$  = volume bahan bakar yang diuji (ml)
- $t_f$  = waktu untuk menghabiskan bahan bakar (s)

#### 2.5.5. Efisiensi Termal

Efisiensi termal suatu mesin didefinisikan sebagai rasio antara energi keluaran dengan energi masuk yang dihisap ke dalam ruang bakar. Efisiensi termal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh mesin pembakaran dalam (Ahmad, 2017). Perhitungan efisiensi termal pada motor bakar biasanya menggunakan parameter nilai kalor bawah (LHV), dengan asumsi pada suhu tinggi gas buang yang meninggalkan mesin tidak terjadi pengembunan uap air. Nilai kalor atas (HHV) juga dapat digunakan untuk perhitungan efisiensi termal karena nilai tersebut umumnya lebih cepat tersedia (Stephan, 2014). Nilai efisiensi termal pada sebuah mesin dapat ditentukan dengan persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$\eta_t = \frac{Ne \times 3600}{m_f \times L_{HV}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

- $\eta_t$  = Efisiensi Termal
- $Ne$  = Daya efektif (Watt)
- $L_{HV}$  = Nilai kalor bawah bahan bakar (kJ/kg)
- $m_f$  = Laju aliran massa bahan bakar (g/jam)

### 2.5.6. Opasitas

Emisi gas buang pada motor diesel dalam bentuk opasitas atau ketebalan asap. Opasitas merupakan indikator derajat kegelapan dan tembus pandang tidaknya suatu emisi gas buang. Besarnya opasitas tergantung pada banyaknya bahan bakar yang disemprotkan (dikabutkan) ke dalam silinder mesin diesel (Sukoco dan Arifin, 2013).

Munculnya asap tebal pada kendaraan diesel bisa disebabkan karena kualitas bahan bakar yang dipakai. Viskositas bahan bakar yang terlalu tinggi akan menyebabkan terjadinya kabutan yang kasar. Dampaknya, proses pembakaran mesin tidak dapat menghasilkan energi panas yang optimal dan asap gas buang akan semakin pekat (Sukoco dan Arifin, 2013). Besar opasitas yang dihasilkan pada bahan bakar biodiesel umumnya rendah. Hal ini disebabkan karena asam lemak yang terkandung dalam biodiesel lebih mudah untuk teroksidasi atau terbakar secara sempurna (Setyadi dan Susiantini, 2007).

Opasitas yang dihasilkan pada mesin diesel dapat diketahui kelayakannya dengan melakukan pengujian kadar opasitas menggunakan alat *smokemeter*. Kandungan emisi dan opasitas gas buang memiliki beberapa standar mutu berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 21 tahun 2008. Peraturan pemerintah tersebut mengatur tentang ambang batas kandungan emisi dan opasitas gas buang untuk mesin stasioner pembangkit tenaga diesel. Adapun beberapa standar mutunya telah ditetapkan seperti pada Tabel 2.7 seperti berikut.

Tabel 2.7 Standar Mutu Kandungan Emisi Dan Opasitas Gas Buang

No.	Parameter	Kadar Maksimum (mg/Nm <sup>3</sup> )	
		Minyak	Gas
1	Total partikulat	120	30
2	Karbon monoksida (CO)	540	500
3	Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> ) sebagai NO <sub>2</sub>	1000	320
4	Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	600	150
5	Opasitas	20%	-

Sumber : Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 21 tahun 2008



## 2.6. Penelitian Sebelumnya

Cappenberg (2017) meneliti tentang pengaruh penggunaan bahan bakar solar, biosolar dan Pertamina Dex terhadap prestasi motor diesel silinder tunggal. Hasil penelitian diperoleh bahwa nilai torsi dan daya yang tinggi terjadi pada saat penggunaan biosolar dan Pertamina Dex. Sedangkan untuk nilai efisiensi termal yang baik terjadi pada saat penggunaan Pertamina Dex. Secara keseluruhan prestasi mesin yang menggunakan Pertamina Dex lebih tinggi dari penggunaan biosolar dan solar yaitu sebagai berikut : daya untuk solar 3,2343 kW, biosolar 3,3048 kW, Pertadex 3,5045 kW; torsi untuk solar 7,28 Nm, biosolar 7,8 Nm, Pertadex 8,32 Nm; pemakaian bahan bakar untuk solar 0,377 kg/kWh, biosolar 0,353 kg/kWh, Pertadex 0,314 kg/kWh; dan efisiensi termal untuk solar 22,952%, biosolar 25,09% dan Pertadex 27,086%.

Juanda (2017) meneliti tentang analisis uji performa pada motor diesel satu silinder menggunakan bahan bakar campuran biodiesel biji kapuk (*ceiba pentandra*) dan Pertadex dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar biosolar produk Pertamina. Hasil penelitian diperoleh bahwa daya yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar B20 (Biji Kapuk) meningkat 5,36% dan B30 (Biji kapuk) meningkat 3,77% dibandingkan menggunakan bahan bakar biosolar. Torsi yang dihasilkan pada bahan bakar B20 (Biji Kapuk) meningkat 5,36% dan B30 (Biji kapuk) meningkat 3,77% dibandingkan yang dihasilkan oleh biosolar. Efisiensi termal pada bahan bakar B20 (Biji Kapuk) meningkat 7,69% dan B30 (Biji Kapuk) menurun 1,52% dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar biosolar.

Sitorus dkk. (2016) meneliti tentang analisis unjuk kerja mesin diesel satu silinder menggunakan supercarjer berbahan bakar Pertadex dan campuran Pertadex biodiesel biji bunga matahari. Hasil penelitian diperoleh bahwa daya menurun sekitar 1-4% dan konsumsi bahan bakar spesifik meningkat sekitar 11-58 %. Sedangkan untuk efisiensi termal menurun sekitar 2-6 % dan laju aliran massa bahan bakar menurun sekitar 4-14 %. Hal ini dipengaruhi oleh nilai kalor yang semakin menurun pada saat pemakaian biodiesel meningkat, sedangkan untuk nilai kalor Pertadex didapatkan sebesar 56466.04 kJ/ kg.

Widianto (2014) meneliti tentang uji kemampuan campuran bahan bakar solar-biodiesel dari minyak biji jarak terhadap unjuk kerja dan opasitas mesin diesel 4 langkah. Hasil penelitian diperoleh bahwa campuran solar-biodiesel dari minyak biji jarak mampu meningkatkan unjuk kerja mesin, menghemat bahan bakar, dan menurunkan opasitas. Hal ini dibuktikan pada campuran solar-biodiesel (B25) yang mengalami peningkatan torsi sebesar 32,23%, dan peningkatan daya sebesar 30,02% saat putaran mesin 4500 rpm. Hal ini karena karakteristik campuran solar-biodiesel yaitu angka cetane dan titik nyala lebih tinggi dibandingkan dengan solar. Sedangkan konsumsi bahan bakar mengalami penurunan sebesar 28,38% pada 4500 rpm, dan opasitas mengalami penurunan sebesar 60,02%.

Cahyono dkk. (2018) meneliti tentang analisis pengaruh penggunaan biodiesel biji kemiri (*Aleurites moluccana*) terhadap proses pembakaran dan kadar emisi NOx pada mesin diesel satu silinder. Hasil penelitian diperoleh bahwa kadar emisi NOx yang dihasilkan pada penggunaan biodiesel biji kemiri mengalami kenaikan yaitu 0,76 gr/kWh dibandingkan saat menggunakan solar HSD yaitu 0,51 gr/kWh. Sedangkan pada proses pembakaran campuran biodiesel biji kemiri lebih baik dibandingkan menggunakan bahan bakar solar. Hal ini dibuktikan dengan nilai *knocking* dari biodiesel kemiri yaitu 5,69 bar yang lebih rendah dibandingkan solar HSD yaitu 6,19 bar.

## 2.7. Hipotesis

Mengacu pada pustaka diatas hipotesis yang disampaikan dalam penelitian adalah dengan penambahan biodiesel akan menurunkan emisi gas buang pada mesin diesel, namun mengalami kenaikan pada konsumsi bahan bakar spesifik. Hal ini dipengaruhi karena semakin banyak campuran biodiesel nilai kalor bahan bakar yang semakin menurun. Pada torsi dan daya mesin akan mengalami kenaikan karena penggunaan biodiesel biji kemiri yang titik nyalanya lebih tinggi dibandingkan nilai minimum titik nyala pada pertadex. Sedangkan pada nilai efisiensi termal akan mengalami kenaikan karena digunakannya pertadex sebagai campuran biodiesel.

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental. Metode ini digunakan untuk menguji unjuk kerja mesin diesel dengan bahan bakar biosolar, pertadex, dan campuran pertadex dengan biodiesel biji kemiri. Komposisi campuran biodiesel biji kemiri menggunakan B10 (90% pertadex dan 10% biodiesel), B20 (80% pertadex dan 20% biodiesel), serta B30 (70% pertadex dan 30% biodiesel). Pada penelitian ini menguji pengaruh penggunaan bahan bakar biosolar, B0 (Pertadex 100%), B10, B20, B30 terhadap daya efektif, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi termal, dan opasitas pada mesin diesel.

### 3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

#### 3.2.1. Tempat Penelitian

- a. Pembuatan bahan dan pengujian unjuk kerja mesin diesel  
Pembuatan biodiesel biji kemiri, pencampuran bahan bakar, dan pengujian unjuk kerja mesin diesel dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- b. Pengujian karakteristik bahan bakar  
Pengujian karakteristik biodiesel biji kemiri dan campuran bahan bakar dilakukan di Laboratorium TBBM PT. Pertamina (Persero) Surabaya.
- c. Pengujian nilai kalor bahan bakar  
Pengujian nilai kalor biodiesel biji kemiri dan campuran bahan bakar dilakukan di Laboratorium Teknologi Air dan Konsultasi Industri Departemen Teknik Kimia ITS Surabaya.
- d. Pengujian opasitas gas buang mesin diesel  
Pengujian opasitas gas buang mesin diesel dilakukan di Laboratorium Performa Mesin Universitas Negeri Surabaya.

### 3.2.2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih 5 bulan pada bulan September 2019 sampai Januari 2020 seperti pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 *Time line* Penelitian

No.	Kegiatan	Waktu				
		September	Oktober	November	Desember	Januari
1.	Studi Literatur					
2.	Pembuatan Biodiesel					
3.	Pengujian					

### 3.3. Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.3.1. Pembuatan Biodiesel

##### a. Alat

Adapun alat yang digunakan pada pembuatan biodiesel adalah:

- 1) Mesin press hidrolik jack 20 ton
- 2) Oven

Mesin press dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut :



Gambar 3.1 Mesin Press Hidrolik



Gambar 3.2 Oven

- 3) *Thermostat*

*Thermostat* dapat dilihat pada Gambar 4.3 sebagai berikut :



Gambar 3.3 *Thermostat*

- 4) *Magnetic stirrer Max Blend 5 lt*  
*Magnetic stirrer* dapat dilihat pada Gambar 3.4 sebagai berikut :



Gambar 3.4 *Magnetic stirrer*

- 5) *Gelas beaker*  
*Gelas beaker* dapat dilihat pada Gambar 3.5 sebagai berikut



Gambar 3.5 *Gelas beaker*

- 6) *Heater*  
*Heater* dapat dilihat pada Gambar 3.6 sebagai berikut :



Gambar 3.6 *Heater*

- 7) *Pipet filler*  
*Pipet filler* dapat dilihat pada Gambar 3.7 sebagai berikut :



Gambar 3.7 *Pipet filler*

- 8) *Gelas ukur*  
*Gelas ukur* dapat dilihat pada Gambar 3.8 sebagai berikut :



Gambar 3.8 *Gelas ukur*

- 9) *Thermometer*  
*Thermometer* dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut :



Gambar 3.9 *Thermometer*

## 10) Sarung tangan latex

Sarung tangan latex dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut :



Gambar 3.10 Sarung tangan latex

## 11) Pengaduk

Pengaduk dapat dilihat pada Gambar 3.11 sebagai berikut :



Gambar 3.11 Pengaduk

## 12) Neraca digital

Neraca digital dapat dilihat pada Gambar 3.12 sebagai berikut :



Gambar 3.12 Neraca digital

## 13) Kompor Gas

Kompor gas dapat dilihat pada Gambar 3.13 sebagai berikut :



Gambar 3.13 Kompor gas

## 14) Panci

Panci dapat dilihat pada Gambar 3.14 sebagai berikut :



Gambar 3.14 Panci

15) *Stopwatch*

*Stopwatch* dapat dilihat pada Gambar 3.15 sebagai berikut:



Gambar 3.15 *Stopwatch*

## 16) Botol plastik

b. Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada pembuatan biodiesel adalah:

1) Biji kemiri (*Aleurites Moluccana*)

Adapun biji kemiri dapat dilihat pada Gambar 3.16 sebagai berikut:



Gambar 3.16 Biji kemiri

2) Kalium hidroksida (KOH)

Adapun kalium hidroksida dapat dilihat pada Gambar 3.17 sebagai berikut:



Gambar 3.17 Kalium hidroksida

3) Metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ )

Adapun methanol dapat dilihat pada Gambar 3.18 sebagai berikut:



Gambar 3.18 Methanol

4) Asam cuka / asam asetat 25 % ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ )

5) Air ( $\text{H}_2\text{O}$ )

### 3.3.2. Pengujian Unjuk Kerja Mesin Diesel

#### a. Alat

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

##### 1) Mesin diesel

Mesin diesel yang digunakan pada penelitian ini bermerek Matsumoto MDX-170 F seperti pada Gambar 3.19 yang sudah dihubungkan dengan generator menggunakan transmisi sabuk. Mesin diesel ini mempunyai spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.2.



Gambar 3.19 Mesin Diesel

Tabel 3.2 Spesifikasi Mesin Diesel

Model	MDX-170 F
Model Mesin	OHV 4-Stroke, Silinder Tunggal Dengan Pendingin Udara Diesel Engine
Bore x Stroke (mm)	70 x 55
Silinder (cc)	211
Nilai Ouput (kW)	2,8
Max. Ouput	3,1
Nilai Output (rpm)	3600
Kapasitas Tangki Bahan bakar (L)	2,5
Kapasitas Oli (L)	0,8
Sistem Memulai	Manual & Electric Start
Berat (Kg)	27
Dimensi (mm)	450 x 360 x 450



## 2) Generator Daiho STD-24

Generator yang digunakan pada penelitian ini bermerek Daiho STD-24 seperti pada Gambar 3.20. Generator ini mempunyai spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.3.



Gambar 3.20 Generator

Tabel 3.3 Spesifikasi Gnerator

Model	Daiho STD-24
Max. Ouput	24 KW
RPM	1500 r/min
Connection	3 Phase
Voltage	230 V
Frekuensi	50 Hz
Cos $\phi$	1

## 3) *Bomb Calorimeter*

Adapun alat *bomb Calorimeter* dapat dilihat pada Gambar 3.21 sebagai berikut:



Gambar 3.21 *Bomb Calorimeter*

## 4) Voltmeter

Adapun alat voltmeter dapat dilihat pada Gambar 3.22 sebagai berikut:



Gambar 3.22 Voltmeter

## 5) Amperemeter

Adapun alat amperemeter dapat dilihat pada Gambar 3.23 sebagai berikut:



Gambar 3.23 Amperemeter

6) *Tachometer digital*

Adapun alat *tachometer* dapat dilihat pada Gambar 3.24 sebagai berikut:



Gambar 3.24 *Tachometer* digital

7) *Smokemeter*

Adapun alat *smokemeter* dapat dilihat pada Gambar 3.25 sebagai berikut:



Gambar 3.25 *Smokemeter*

## 8) Beban listrik

Pembebanan listrik menggunakan lampu pijar sebanyak 5 buah dengan konsumsi daya masing-masing lampu sebesar 100 Watt. Adapun beban lampu dapat dilihat pada Gambar 3.26 sebagai berikut :



Gambar 3.26 Beban Lampu

9) *Stopwatch*

## b. Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- 1) Biodisel minyak biji kemiri
- 2) Pertamina dex
- 3) Biosolar

### 3.4. Variabel Penelitian

#### 3.4.1. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel awal yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Biosolar
- b. B0 (Pertadex 100%)
- c. B10 (Biodiesel 10% dan Pertadex 90%)
- d. B20 (Biodiesel 20% dan Pertadex 80%)
- e. B30 (Biodiesel 30% dan Pertadex 70%)

#### 3.4.2. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya bergantung pada variabel bebasnya. Jadi variabel terikat ini merupakan efek dari variabel bebas. Dalam penelitian ini mempunyai variabel terikat sebagai berikut :

- a. Arus listrik ( $I$ )
- b. Tegangan listrik ( $V$ )
- c. Waktu konsumsi bahan bakar ( $t_f$ )
- d. Opasitas

#### 3.4.3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil dari penelitian. Variabel kontrol pada penelitian ini adalah putaran mesin dari 1600 sampai dengan 2400 rpm dengan interval kenaikan setiap 200 rpm, dan beban konstan sebesar 500 Watt.

### 3.5. Metode Pengumpulan Data

Data yang dipergunakan dalam pengujian ini meliputi:

- a. Data primer, merupakan data yang diperoleh langsung dari pengukuran dan pembacaan pada alat ukur yang terpasang pada mesin diesel.
- b. Data sekunder, merupakan data yang diperoleh dari pengolahan dan perhitungan hasil pengujian unjuk kerja mesin diesel.

### 3.6. Metode Pengolahan Data

Data-data yang sudah diperoleh dari hasil pengujian dilakukan pengolahan data menggunakan rumus yang ada, kemudian hasil dari perhitungan disajikan dalam bentuk tabulasi dan grafik.

### 3.7. Tahap Pembuatan Biodiesel Biji Kemiri

Pembuatan biodiesel dari minyak kemiri adalah sebagai berikut:

- a. Memanaskan biji kemiri dengan menggunakan oven pada suhu 50 °C selama 40 menit.
- b. Mengepres biji kemiri dengan menggunakan hidrolik press hingga biji kemiri mengeluarkan minyak.
- c. Memanaskan air pada suhu 60 °C– 70 °C menggunakan *heater*.
- d. Menambahkan *thermostat* pada *heater* agar suhu air tidak terus meningkat.
- e. Menyiapkan KOH 2,25 gr dan methanol 50 ml kemudian dicampur menjadi larutan homogen.
- f. Mencampurkan 150 ml minyak kemiri dengan larutan KOH dan methanol pada gelas beaker.
- g. Gelas beaker yang berisi campuran minyak dimasukkan ke dalam air yang sudah dipanaskan sebelumnya dan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit.
- h. Mendinginkan larutan minyak pada gelas plastik selama 24 jam hingga terpisah gliserol dengan metil ester (biodiesel).
- i. Memisahkan endapan gliserol dengan biodiesel.
- j. Memasak air dengan asam cuka / asam asetat 25 % ( $C_2H_4O_2$ ) dengan perbandingan 1000 : 5 (1000 ml air : 5 ml asam cuka) hingga suhu 100 °C.
- k. Melakukan pencucian biodiesel dengan mencampurkan larutan cuka pada biodiesel dengan perbandingan campuran 1:2 (50 ml biodiesel dan 100 ml larutan cuka).
- l. Campuran biodiesel dengan larutan cuka didiamkan selama 24 jam sampai biodiesel terpisah dengan larutan cuka.
- m. Biodiesel dipisahkan dengan larutan cuka menggunakan pipet filler.

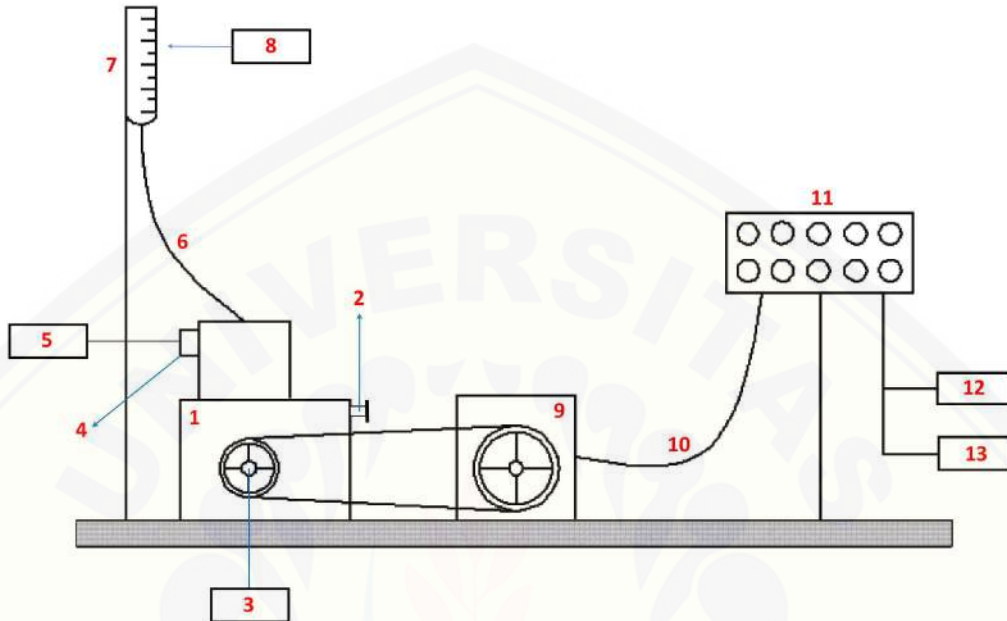
- n. Memanaskan biodiesel dengan suhu 100 °C.
- o. Mendinginkan biodiesel.
- p. Menguji karakteristik biodiesel untuk mengetahui apakah biodiesel yang dibuat sudah memenuhi standar mutu biodiesel.
- q. Biodiesel siap digunakan.

### 3.8. Tahap Pengujian Unjuk Kerja Mesin Diesel

Prosedur pengujian unjuk kerja mesin diesel dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Mesin diesel dihubungkan dengan generator menggunakan transmisi sabuk.
- b. Masukkan bahan bakar kedalam saluran bahan bakar mesin diesel.
- c. Menyalakan mesin diesel tanpa pembebanan dengan menekan tombol *electric starter* mesin atau memutar poros engkol, kemudian mesin dipanaskan kurang lebih selama  $\pm 10$  menit.
- d. Mengatur pembebanan pada mesin diesel sebesar 500 watt dengan memberikan 5 lampu pijar pada *output* generator.
- e. Mengatur putaran mesin pada 1600 rpm menggunakan tuas kecepatan dan terus dinaikkan hingga mencapai 2400 rpm dengan interval kenaikan setiap 200 rpm.
- f. Beban dibiarkan konstan sebesar 500 watt dalam setiap kenaikan putaran mesin pada semua pengujian bahan bakar.
- g. Mencatat data-data yang dibutuhkan dalam setiap kenaikan putaran mesin meliputi : waktu konsumsi bahan bakar setiap 10 ml, tegangan listrik ( $V$ ), arus listrik ( $I$ ), dan opasitas gas buang dari mesin diesel.
- h. Mengulang pengujian dengan menggunakan variasi campuran bahan bakar yang berbeda (Biosolar, B0, B10, B20, B30).
- i. Setelah selesai pengujian matikan beban terlebih dahulu kemudian tunggu  $\pm 5$  menit untuk pendinginan mesin
- j. Matikan mesin diesel.

Berbagai peralatan yang akan digunakan untuk melakukan pengujian unjuk kerja mesin diesel dipasang sedemikian rupa seperti pada Gambar 3.27 sebagai berikut :



Gambar 3.27 Skema Peralatan Uji Unjuk Kerja Mesin

Keterangan:

- 1) Mesin diesel
- 2) Tuas pengatur putaran mesin
- 3) *Tachometer* digital
- 4) Saluran gas buang mesin
- 5) *Smokemeter*
- 6) Saluran masuk bahan bakar
- 7) Tabung ukur bahan bakar
- 8) *Stopwatch*
- 9) Generator
- 10) Kabel *output* generator
- 11) Pembebanan lampu
- 12) Amperemeter
- 13) Voltmeter

### 3.9. Tahap Pengambilan dan Pengolahan Data

#### 3.9.1. Tahap Pengambilan Data Karakteristik Biodiesel

Data yang diambil dari pengujian karakteristik biodiesel biji kemiri terdapat empat parameter seperti yang tertera pada tabel 3.4 sebagai berikut :

Tabel 3.4 Data Karakteristik Biodiesel Biji Kemiri

No.	Parameter	Nilai
1	Massa jenis pada 15 °C (kg/m <sup>3</sup> )	
2	Viskositas pada 40 °C (mm <sup>2</sup> /sec)	
3	Titik nyala (°C)	
4	Nilai kalor (kal/g)	

#### 3.9.2. Tahap Pengambilan Data Karakteristik Bahan Bakar Diesel

Setiap jenis campuran bahan bakar dilakukan pengujian karakteristik bahan bakar dengan empat parameter seperti yang tertera pada tabel 3.5 sebagai berikut :

Tabel 3.5 Data Karakteristik Bahan Bakar

No.	Parameter	Biosolar	Pertadex	B10	B20	B30
1	Densitas					
2	Viskositas					
3	<i>Flash Point</i>					
4	Nilai Kalor					

#### 3.9.3. Tahap Pengambilan Data Parameter Unjuk Kerja Mesin Diesel

Data-data parameter unjuk kerja mesin diesel yang diambil pada pengujian masing-masing bahan bakar adalah sebagai berikut:

- Arus listrik ( $I$ ), arus listrik diperoleh dengan menggunakan alat ukur berupa amperemeter yang dihubungkan pada kabel *output* generator.
- Tegangan listrik ( $V$ ), tegangan listrik diperoleh dengan menggunakan alat ukur berupa voltmeter yang dihubungkan pada kabel *output* generator.
- Waktu konsumsi bahan bakar ( $t_f$ ), menghitung berapa lama waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak 10 ml menggunakan *stopwatch*.

Data-data yang diambil dari hasil pengujian masing-masing bahan bakar disajikan dalam bentuk tabel seperti pada Tabel 3.6 yang menyajikan data hasil pengujian bahan bakar biosolar.



Tabel 3.6 Data pada Bahan Bakar Biosolar

Putaran Mesin	Percobaan	Biosolar				
		$I$	$V$	$t_f$	$T_{Mesin}$	$T_{Exhaust}$
1600 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					
1800 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					
2000 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					
2200 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					
2400 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					

Adapun data-data yang diambil pada bahan bakar pertadex murni disajikan dalam bentuk tabel seperti pada Tabel 3.7 sebagai berikut :

Tabel 3.7 Data pada Bahan Bakar Pertadex

Putaran Mesin	Percobaan	B0 (Pertadex 100%)				
		$I$	$V$	$t_f$	$T_{Mesin}$	$T_{Exhaust}$
1600 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					
1800 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					
2000 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					
2200 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					
2400 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					

Adapun data-data yang diambil pada pengujian bahan bakar B10 disajikan dalam bentuk tabel seperti pada Tabel 3.8 sebagai berikut :

Tabel 3.8 Data pada Bahan Bakar B10 (Biodiesel 10% + Pertadex 90%)

Putaran Mesin	Percobaan	B10 (Biodiesel 10% + Pertadex 90%)				
		$I$	$V$	$t_f$	$T_{Mesin}$	$T_{Exhaust}$
1600 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					
1800 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					
2000 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					
2200 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					
2400 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					

Adapun data-data yang diambil pada pengujian bahan bakar B20 disajikan dalam bentuk tabel seperti pada Tabel 3.9 sebagai berikut :

Tabel 3.9 Data pada Bahan Bakar B20 (Biodiesel 20% + Pertadex 80%)

Putaran Mesin	Percobaan	B20 (Biodiesel 20% + Pertadex 80%)				
		$I$	$V$	$t_f$	$T_{Mesin}$	$T_{Exhaust}$
1600 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					
1800 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					
2000 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					
2200 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					
2400 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					

Adapun data-data yang diambil pada bahan bakar campuran pertadex dan biodiesel dengan variasi campuran B30 disajikan dalam bentuk tabel seperti pada Tabel 3.10 sebagai berikut :

Tabel 3.10 Data pada Bahan Bakar B30 (Biodiesel 30% + Pertadex 70%)

Putaran Mesin	Percobaan	B30 (Biodiesel 30% + Pertadex 70%)				
		$I$	$V$	$t_f$	$T_{Mesin}$	$T_{Exhaust}$
1600 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					
1800 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					
2000 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					
2200 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					
2400 rpm	1					
	2					
	3					
	Rata-rata					

#### 3.9.4. Tahap Pengambilan Data Opasitas

Data opasitas diambil dalam setiap campuran bahan bakar dengan menggunakan alat *smokemeter*. Data opasitas diambil sebanyak 3 kali percobaan kemudian diambil rata-ratanya. Adapun data opasitas yang diambil disajikan dalam tabel seperti pada Tabel 3.11 sebagai berikut :

Tabel 3.11 Data Opasitas Gas Buang

Bahan Bakar	Opasitas ( $K\cdot m^{-1}$ )			
	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Rata-rata
Biosolar				
Pertadex				
B10				
B20				
B30				

### 3.9.5. Tahap Pengolahan Data

Berdasarkan data-data yang telah diperoleh secara langsung dari hasil pengujian unjuk kerja mesin diesel, maka data-data tersebut selanjutnya dilakukan pengolahan data menggunakan rumus-rumus yang sudah ditentukan untuk menghasilkan beberapa unjuk kerja mesin diesel seperti berikut :

- Daya efektif mesin ( $Ne$ ) yang diperoleh dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan (2.3)
- Torsi ( $T$ ) yang diperoleh dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan (2.4)
- Konsumsi bahan bakar spesifik ( $SFC$ ) yang diperoleh dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan (2.6)
- Efisiensi termal ( $\eta_t$ ) yang diperoleh dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan (2.8).

Data-data yang telah diperoleh dari hasil pengolahan data melalui perhitungan, kemudian disajikan dalam bentuk tabulasi dan grafik untuk mempermudah dalam melakukan proses analisa data. Adapun data nilai daya efektif disajikan dalam bentuk tabel seperti pada Tabel 3.12 sebagai berikut :

Tabel 3.12 Penyajian Nilai Daya Efektif

Bahan Bakar	Daya Efektif (Watt) pada Putaran Mesin					Rata-rata
	1600 rpm	1800 rpm	2000 rpm	2200 rpm	2400 rpm	
Biosolar						
Pertadex						
B10						
B20						
B30						

Data nilai torsi yang dihasilkan dari proses perhitungan disajikan dalam bentuk tabel seperti pada Tabel 3.13 sebagai berikut :

Tabel 3.13 Penyajian Nilai Torsi

Bahan	Torsi (Nm) pada Putaran Mesin					Rata-rata
	1600 rpm	1800 rpm	2000 rpm	2200 rpm	2400 rpm	
Bakar						
Biosolar						
Pertadex						
B10						
B20						
B30						

Data nilai konsumsi bahan bakar spesifik yang dihasilkan dari proses perhitungan disajikan dalam bentuk tabel seperti pada Tabel 3.14 sebagai berikut :

Tabel 3.14 Penyajian Nilai Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Bahan	<i>SFC</i> (kg/kWh) pada Putaran Mesin					Rata-rata
	1600 rpm	1800 rpm	2000 rpm	2200 rpm	2400 rpm	
Bakar						
Biosolar						
Pertadex						
B10						
B20						
B30						

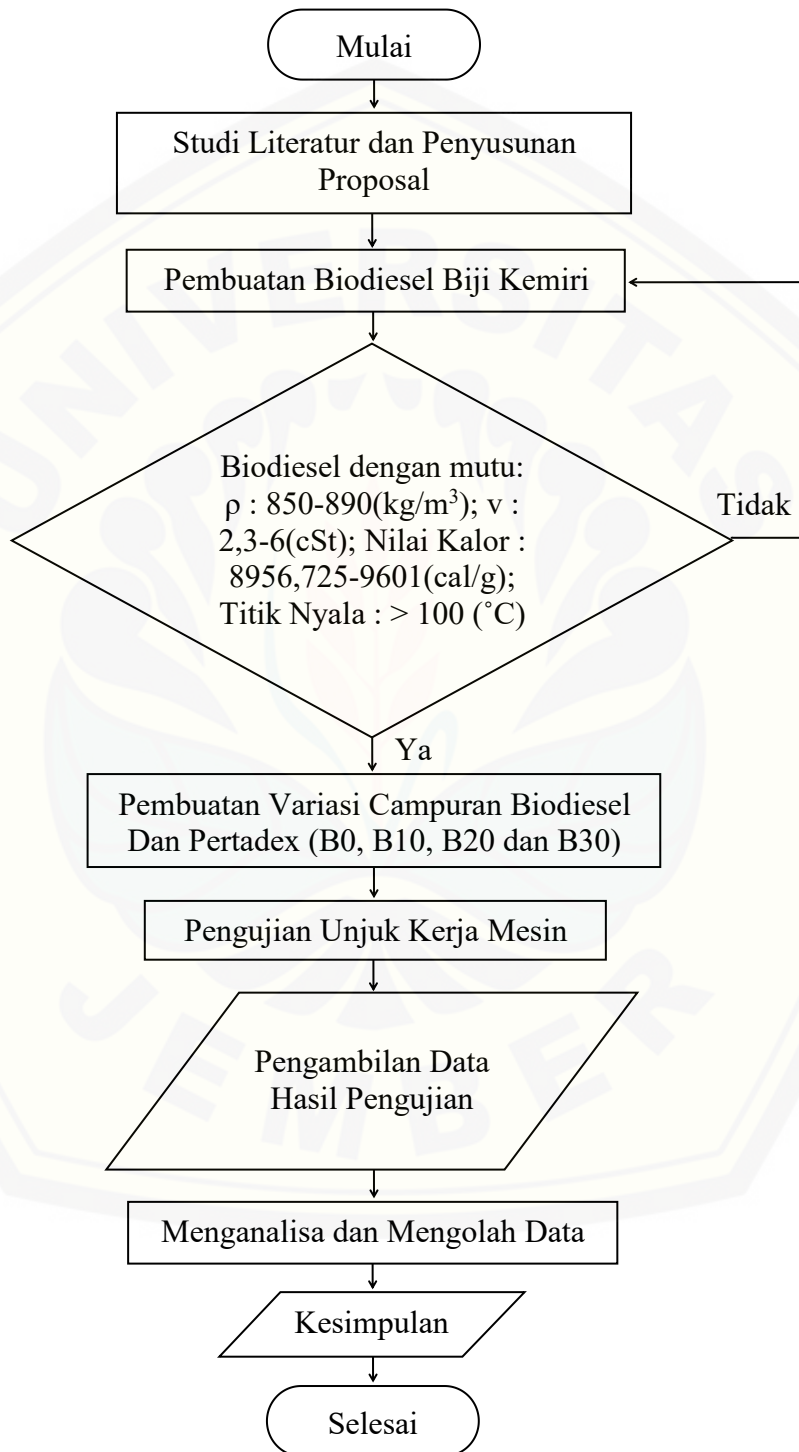
Data nilai efisiensi termal yang dihasilkan dari proses perhitungan disajikan dalam bentuk tabel seperti pada Tabel 3.15 sebagai berikut :

Tabel 3.15 Penyajian Nilai Efisiensi Termal

Bahan	Efisiensi Termal pada Putaran Mesin					Rata-rata
	1600 rpm	1800 rpm	2000 rpm	2200 rpm	2400 rpm	
Bakar						
Biosolar						
Pertadex						
B10						
B20						
B30						

### 3.10. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini mempunyai tahapan-tahapan yang disajikan dalam bentuk diagram alir seperti yang terdapat pada Gambar 3.28 sebagai berikut :



Gambar 3.28 Diagram Alir Penelitian

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

a. Pengaruh penambahan biodiesel biji kemiri pada pertadex dengan variasi campuran biodiesel B0, B10, B20 dan B30 terhadap :

1) Daya efektif

Campuran bahan bakar biodiesel biji kemiri dengan pertadex yang menghasilkan nilai daya efektif rata-rata terbaik adalah B10. Daya efektif rata-rata yang dihasilkan B10 meningkat sebesar 3,92% dari biosolar dan sedikit menurun dari pertadex murni sebesar 1,44%.

2) Torsi

Campuran bahan bakar biodiesel biji kemiri dengan pertadex yang menghasilkan nilai torsi rata-rata terbaik adalah B10. Nilai torsi rata-rata yang dihasilkan bahan bakar B10 meningkat 4,01% dari biosolar dan sedikit menurun dari pertadex murni sebesar 2,35%.

3) Konsumsi bahan bakar spesifik (*SFC* )

campuran bahan bakar biodiesel biji kemiri dengan pertadex yang menghasilkan nilai *SFC* rata-rata terbaik adalah B30. Nilai *SFC* rata-rata yang dihasilkan bahan bakar B30 menurun 1,51% dari biosolar dan meningkat dari pertadex murni sebesar 11,90%.

4) Efisiensi Termal

Campuran bahan bakar biodiesel biji kemiri dengan pertadex yang menghasilkan nilai efisiensi termal rata-rata terbaik adalah B20. Nilai efisiensi termal rata-rata yang dihasilkan bahan bakar B20 meningkat sebesar 1,71% dari biosolar dan meningkat tidak terlalu signifikan dari pertadex murni sebesar 0,17%.

- b. Pengaruh penambahan campuran biodiesel biji kemiri pada bahan bakar pertadex mengakibatkan nilai opasitas (kepekatan asap) yang dihasilkan mesin diesel menurun. Semakin banyak jumlah campuran biodiesel pada pertadex semakin baik nilai opasitas yang dihasilkan. Opasitas terbaik dihasilkan pada campuran bahan bakar B30 yaitu sebesar 2,3 %HSU.

## 5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang dapat disampaikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- a. Proses pembuatan biodiesel sebaiknya dilakukan lebih memperhatikan prosedur pembuatan, dan lebih hati-hati dalam penggunaan katalis serta pencampurannya agar menghasilkan karakteristik yang lebih baik lagi.
- b. Mesin diesel yang digunakan untuk penelitian harus dicek dan dilakukan perawatan, agar saat digunakan untuk penelitian mesin dapat bekerja dengan optimal.
- c. Mengembangkan penelitian ini menggunakan variasi campuran bahan bakar yang berbeda, yaitu dengan mengganti komposisi campuran maupun menggunakan bahan baku biodiesel yang lain.
- d. Disarankan untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pengaruh bahan bakar biodiesel biji kemiri terhadap emisi gas buang, untuk menganalisis parameter emisi lainnya seperti HC, CO, Nox, dsb.



DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. S. 2017. Studi Eksperimen Unjuk Kerja Mesin Diesel Sistem Dual Fuel Dengan Variasi Tekanan Penginjeksian Pada Injektor Mesin Yanmar Tf55 R Di. *Skripsi*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Arifin dan Sukoco. 2009. *Pengendalian Polusi Kendaraan*. Bandung: Alfabeta.
- Arismunandar dan Tsuda. 1986. *Motor Diesel Putaran Tinggi*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Arismunandar dan Wiranto. 1988. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Arlene, A. 2013. Ekstraksi Kemiri Dengan Metode Soxhlet Dan Karakterisasi Minyak Kemiri. *Jurnal Teknik Kimia USU* 2(2): 6-10.
- Arpiwi, N. L. 2015. *Diklat Kuliah Bioenergi : Biodiesel dan Bioetanol*. Bali: Universitas Udayana.
- ASTM D-975. 1991. *Standard Specification for Diesel Fuel Oils*. Philadelphia: ASTM International.
- Azad, K., dan M. Rasul. 2018. Performance and Combustion Analysis of Diesel Engine Fueled with Grape Seed and Waste Cooking Biodiesel. *Energy Procedia* 160(2019):340-347.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2015. Biodiesel. Revisi dari SNI 7128 :2012. Jakarta: BSN Pusat.
- Cahyono, B., A. Z. M. Fathallah, dan V. I. Pujinaufal. 2018. Effect of Biodiesel Candlenut Seed (*Aleurites Moluccana*) to NOx Emission and Combustion Process on Single Cylinder Diesel Engine. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research* 3(2): 50-57.
- Cappenberg, A. D. 2017. Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Solar, Biosolar Dan Pertamina Dex Terhadap Prestasi Motor Diesel Silinder Tunggal. *Jurnal Konversi Energi Dan Manufaktur UNJ* 2: 70-74.
- Dahyaningsih, E., R. Ibrahim, dan A. Roesyadi. 2013. *Pembuatan Biofuel dari minyak Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L) melalui proses Hidrocracking dengan katalis MiNo (Zeolit)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

- Estrada, F., R. Gusmao, Mudjijati, dan N. Indraswati. 2007. Pengambilan Minyak Kemiri Dengan Cara Pengepresan dan Dilanjutkan Ekstraksi Cake Oil. *WIDYA TEKNIK* 6(2):121-130.
- Havendri, A. 2008. Kaji Eksperimental Prestasi Dan Emisi Gas Buang Motor Bakar Diesel Menggunakan Variasi Campuran Bahan Bakar Biodiesel Minyak Jarak ( *Jatropha Curcas* L) Dengan Solar. *TeknikA* 1(29): 65-72.
- Juanda, B. 2017. Analisa Perbandingan Uji Performa Pada Motor Diesel Satu Silinder, Menggunakan Biodiesel Minyak Biji Kapuk (*Ceiba Pentandra*) Dengan Biosolar (Pertamina). *Skripsi*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Khaidir, Nasrudin, dan D. Syahputra. 2016. Pengolahan Ampas Kelapa Dalam Menjadi Biodiesel Pada Beberapa Variasi Konsentrasi Katalis Kalium (Hidroksida) KoH. *Jurnal Samudera* 9(2): 77-92
- Kong, T. G. 2010. *Peran biomassa bagi energi terbarukan, pengantar solusi pemanasan global yang ramah lingkungan*. Jakarta: PT Elex Media Komputinti.
- Kristanto. 2015. *Motor Bakar Torak (Teori & Aplikasinya)*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Kubota, S. dan Takigawa. 2001. *Diesel Engine Performance*. New Jersey: Prentice Hall.
- Kuncahyo, P., A. Zuhdi, M. Fathallah, dan Semin. 2013. Analisa prediksi Potensi Bahan Baku Biodiesel sebagai Suplemen Bahan Bakar Motor Diesel di Indonesia. *Jurnal TEKNIK POMITS* 2(1): 2337-3539.
- Mahlinda, M. dan M. Busthan. 2017. Transesterifikasi In Situ Biji Kemiri (*Aleurites moluccana* L) Menggunakan Metanol Daur Ulang dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik. *AGRITECH* 37(3): 295-301.
- Murni. 2012. Pengaruh Temperatur Solar terhadap Performa Mesin Diesel Direck Injection Putaran Konstan. *TEKNIK* 33(1): 37-41.
- Nababan, dan B. Wijaya. 2017. Performansi dan Temperatur Ruang Bakar Mesin Diesel yang Menggunakan Bahan Bakar Campuran Solar-Biodiesel Minyak Kedelai. *Skripsi*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Nurhayati, F. 2019. Karakteristik Pembakaran Difusi Biosolar Dengan Penambahan Biodiesel Minyak Jelantah. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.

- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 21 Tahun 2008 Tentang Emisi Gas Buang Mesin Pembangkit Stasioner
- Pertamina. 2019. BBM Retail Pertamina.  
<https://www.pertamina.com/id/fuel-retail> [Diakses pada 10 Oktober 2019]
- Pertamina. 2019. Spesifikasi Biosolar.  
<https://pertamina.com/industrialfuel/media/30471/biosolar.pdf>  
[Diakses pada 10 Oktober 2019]
- Pertamina. 2019. Spesifikasi Pertamina Dex.  
<https://pertamina.com/industrialfuel/media/20713/pertamina-dex.pdf>  
[Diakses pada 10 Oktober 2019]
- Prasetyo, H. 2002. Menuju Penghapusan subsidi BBM dan Perencanaan konversi energi 2004.
- Putri, E. Y., S. Bahri, dan E. Saputra. 2018. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Biji Kapuk (*Ceiba Pentandra*) dengan Katalis Lempung Teraktivasi; Pengaruh Kecepatan Pengadukan. *Jom FTEKNIK* 5(1): 1-5.
- Raharjo dan Karnowo. 2008. *Mesin Konversi Energi*. Semarang: Universitas Negeri Semarang Press.
- Rosafira, J. Z. 2019. Karakteristik Api Difusi Biodiesel Minyak Biji Kemiri (*Aleurites Moluccana*). *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Rumahorbo, A. M., dan M. Hazwi. 2014. Analisa Eksperimental Performansi Mesin Diesel Menggunakan Bahan Campuran Biofuel Vitamine Engine Power Booster. *Jurnal e-Dinamis* 9(1): 1-10.
- Salamah, S. 2010. Pembuatan Bahan Bakar Alternatif Biodiesel dari Minyak Kemiri. *SN-KPK* 11:186-190.
- Santoso, H., I. Kristianto, A. Setyadi. 2013. *Pembuatan Biodiesel Menggunakan Katalis Basa Heterogen Berbahan Dasar Kulit Telur*. Bandung: Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Katolik Parahyangan.
- Setyadji dan Susiantini. 2007. *Pengaruh Penambahan Biodiesel Jelantah Pada Solar Terhadap Emisi Gas Buang CO, CO<sub>2</sub> Dan HC*. Yogyakarta: Prosiding PPI– PDIPTN 2007 Pustek Akselerator dan Proses Bahan–BATAN, 10 Juli 2007.
- Shintawaty, A. 2006. *Prospek Pengembangan Biodiesel Dan Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Alternatif Di Indonesia*. Jakarta: *Economic Review*.

Sitorus, T. B., A. M. Lubis, dan R. H. Purba. 2016. *Analisis Unjuk Kerja Mesin Diesel Satu Silinder Menggunakan Supercarjer Berbahan Bakar Pertadex Dan Campuran Pertadex Biodiesel Biji Bunga Matahari*. Semarang: Universitas Wahid Hasyim.

Soerawidjaja, T. H. 2005. National Biodiesel board 2003.

Sukoco dan Arifin. 2013. *Teknologi Motor Diesel*. Bandung: Alfabeta.

Supriyadi, S., R. Umiyati, dan V. Nindita. 2015. Metode Pembuatan Biodiesel Dari Kemiri Sunan (Reutalis Trisperma (Blanco) Airy Shaw). *Science And Engineering Nasional Seminar 1 (SENS 1)* :438-445.

Susila, I. W. 2010. Kinerja Mesin Diesel Memakai Bahan Bakar Biodiesel Biji Karet dan Analisa Emisi Gas Buang. *Jurnal Teknik Mesin* 12(1): 43–50.

Stephan, A. 2014. Kajian Performansi Mesin Diesel Stasioner Satu Silinder Menggunakan Katalitik Konverter Dengan Bahan Bakar Biodiesel Biji Kemiri Sunan. *Skripsi*. Medan: Unversitas Sumatera Utara.

Tamam, Z. 2015. Karakterisasi Unjuk Kerja Mesin Diesel Generator Set Sistem Dual Fuel Solar Dan Syngas Batubara. *Tesis*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tanuhita, B. 2014. Pengaruh Campuran Biodiesel Dari Minyak Biji Kapas Pada Solar Terhadap Kinerja Dan Emisi Gas Buang Pada Mesin Diesel. *JTM* 3(2): 112-120.

Widianto, A. 2014. Uji Kemampuan Campuran Bahan Bakar Solar-Biodiesel Dari Minyak Biji Jarak Terhadap Unjuk Kerja Dan Opasitas Mesin Diesel 4 Langkah. *Jurnal Teknik Mesin* 2(3): 38-46.

**LAMPIRAN A. Contoh Perhitungan pada Putaran Mesin 2400 Rpm****A.1 Perhitungan pada Bahan Bakar Biosolar**

## 1) Daya Efektif

- Diketahui : Putaran mesin (n) = 2400 Rpm  
Tegangan listrik (V) = 168,33 Volt  
Arus listrik (I) = 1,73 Ampere  
Cos  $\phi$  = Faktor daya listrik (1,0)
- Ditanya : Daya efektif (Ne) ?
- Dijawab:  $Ne = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \phi$  (Watt)  
 $Ne = \sqrt{3} \times 168,33 \times 1,73 \times 1,0$  (Watt)  
 $Ne = 505,37$  Watt

## 2) Torsi

- Diketahui : Daya efektif (Ne) = 505,37 Watt
- Ditanya : Torsi ?
- Dijawab:  $T = \frac{Ne \times 60}{2\pi \times n}$  (Nm)  
 $T = \frac{505,37 \times 60}{2\pi \times 2400}$  (Nm)  
 $T = 2,012$  Nm

## 3) Laju Aliran Massa Bahan Bakar

- Diketahui : Volume bahan bakar ( $v_f$ ) = 10 ml  
Waktu konsumsi bahan bakar ( $t_f$ ) = 1,39 menit  
= 83,6 detik
- $\text{Specific gravity (sg}_f) = \frac{\text{Densitas Bahan Bakar}}{\text{Densitas Air}}$   
 $= \frac{0,8236}{1} = 0,8236 \text{ g/cm}^3$

- Ditanya : Laju aliran massa bahan bakar ( $\dot{m}_f$ ) ?

$$\begin{aligned}
 - \text{ Dijawab : } \dot{m}_f &= \frac{v_f \times s g_f \times 3600}{t_f} \text{ g/jam} \\
 \dot{m}_f &= \frac{10 \times 0,8236 \times 3600}{83,6} \text{ g/jam} \\
 \dot{m}_f &= 354,66 \text{ g/jam}
 \end{aligned}$$

4) Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (*SFC*)

$$\begin{aligned}
 - \text{ Diketahui : Laju aliran massa bahan bakar } (\dot{m}_f) &= 354,66 \text{ g/jam} \\
 \text{Daya efektif (Ne)} &= 505,37 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

- Ditanya : Konsumsi bahan bakar spesifik (*SFC*) ?

$$\begin{aligned}
 - \text{ Dijawab : } SFC &= \frac{\dot{m}_f \times 10^3}{Ne} \text{ g/kWh} \\
 SFC &= \frac{354,66 \times 10^3}{505,37} \text{ g/kWh} \\
 SFC &= 701,78 \text{ g/kWh}
 \end{aligned}$$

5) Efisiensi Termal

$$\begin{aligned}
 - \text{ Diketahui : Laju aliran massa bahan bakar } (\dot{m}_f) &= 354,66 \text{ g/jam} \\
 \text{Daya efektif (Ne)} &= 505,37 \text{ Watt} \\
 \text{Nilai kalor bahan bakar (LHV)} &= 10787,9 \text{ kal/g} \\
 &= 10787,9 \times 4,1868 \\
 &= 45166,78 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

- Ditanya : Efisiensi Termal ( $\eta_t$ ) ?

$$\begin{aligned}
 - \text{ Dijawab : } \eta_t &= \frac{Ne \times 3600}{\dot{m}_f \times LHV} \times 100 \% \\
 \eta_t &= \frac{505,37 \times 3600}{354,66 \times 45166,78} \times 100 \% \\
 \eta_t &= 11,358 \%
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 - \text{ Dijawab : } \dot{m}_f &= \frac{v_f \times s g_f \times 3600}{t_f} \text{ g/jam} \\
 \dot{m}_f &= \frac{10 \times 0,8195 \times 3600}{82,8} \text{ g/jam} \\
 \dot{m}_f &= 356,30 \text{ g/jam}
 \end{aligned}$$

4) Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (*SFC*)

$$\begin{aligned}
 - \text{ Diketahui : Laju aliran massa bahan bakar } (\dot{m}_f) &= 356,30 \text{ g/jam} \\
 \text{Daya efektif (Ne)} &= 509,35 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

- Ditanya : Konsumsi bahan bakar spesifik (*SFC*) ?

$$\begin{aligned}
 - \text{ Dijawab : } SFC &= \frac{\dot{m}_f \times 10^3}{Ne} \text{ g/kWh} \\
 SFC &= \frac{356,30 \times 10^3}{509,35} \text{ g/kWh} \\
 SFC &= 699,52 \text{ g/kWh}
 \end{aligned}$$

5) Efisiensi Termal

$$\begin{aligned}
 - \text{ Diketahui : Laju aliran massa bahan bakar } (\dot{m}_f) &= 356,30 \text{ g/jam} \\
 \text{Daya efektif (Ne)} &= 509,35 \text{ Watt} \\
 \text{Nilai kalor bahan bakar (LHV)} &= 11280,6 \text{ kal/g} \\
 &= 11280,6 \times 4,1868 \\
 &= 47229,62 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

- Ditanya : Efisiensi Termal ( $\eta_t$ ) ?

$$\begin{aligned}
 - \text{ Dijawab : } \eta_t &= \frac{Ne \times 3600}{\dot{m}_f \times LHV} \times 100 \% \\
 \eta_t &= \frac{509,35 \times 3600}{356,30 \times 47229,62} \times 100 \% \\
 \eta_t &= 10,896 \%
 \end{aligned}$$





$$\text{- Diketahui : } \dot{m}_f = \frac{v_f \times s g_f \times 3600}{t_f} \text{ g/jam}$$

$$\dot{m}_f = \frac{10 \times 0,8282 \times 3600}{83} \text{ g/jam}$$

$$\dot{m}_f = 359,22 \text{ g/jam}$$

#### 4) Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (*SFC*)

$$\text{- Diketahui : Laju aliran massa bahan bakar } (\dot{m}_f) = 359,22 \text{ g/jam}$$

$$\text{Daya efektif } (N_e) = 529,43 \text{ Watt}$$

- Ditanya : Konsumsi bahan bakar spesifik (*SFC*) ?

$$\text{- Diketahui : } SFC = \frac{\dot{m}_f \times 10^3}{N_e} \text{ g/kWh}$$

$$SFC = \frac{359,22 \times 10^3}{529,43} \text{ g/kWh}$$

$$SFC = 678,51 \text{ g/kWh}$$

#### 5) Efisiensi Termal

$$\text{- Diketahui : Laju aliran massa bahan bakar } (\dot{m}_f) = 359,22 \text{ g/jam}$$

$$\text{Daya efektif } (N_e) = 529,43 \text{ Watt}$$

$$\text{Nilai kalor bahan bakar } (LHV) = 10967,8 \text{ kal/g}$$

$$= 10967,8 \times 4,1868$$

$$= 45919,99 \text{ kJ/kg}$$

- Ditanya : Efisiensi Termal ( $\eta_t$ ) ?

$$\text{- Diketahui : } \eta_t = \frac{N_e \times 3600}{\dot{m}_f \times LHV} \times 100 \%$$

$$\eta_t = \frac{529,43 \times 3600}{359,22 \times 45919,99} \times 100 \%$$

$$\eta_t = 11,554 \%$$

#### A.4 Perhitungan pada Bahan Bakar B20

1) Daya Efektif

- Diketahui : Putaran mesin (n) = 2400 Rpm  
Tegangan listrik (V) = 173 Volt  
Arus listrik (I) = 1,74 Ampere  
Cos  $\phi$  = Faktor daya listrik (1,0)
- Ditanya : Daya efektif (Ne) ?
- Dijawab :  $Ne = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \phi$  (Watt)  
 $Ne = \sqrt{3} \times 173 \times 1,74 \times 1,0$  (Watt)  
 $Ne = 521,38$  Watt

2) Torsi

- Diketahui : Daya efektif (Ne) = 521,38 Watt
- Ditanya : Torsi ?
- Dijawab :  $T = \frac{Ne \times 60}{2\pi \times n}$  (Nm)  
 $T = \frac{521,38 \times 60}{2\pi \times 2400}$  (Nm)  
 $T = 2,076$  Nm

3) Laju Aliran Massa Bahan Bakar

- Diketahui : Volume bahan bakar ( $v_f$ ) = 10 ml  
Waktu konsumsi bahan bakar ( $t_f$ ) = 1,39 menit  
= 83,4 detik
- $\text{Specific gravity (sgf)} = \frac{\text{Densitas Bahan Bakar}}{\text{Densitas Air}}$   
 $= \frac{0,8344}{1} = 0,8344 \text{ g/cm}^3$

- Ditanya : Laju aliran massa bahan bakar ( $\dot{m}_f$ ) ?

$$\begin{aligned}
 - \text{ Dijawab : } \dot{m}_f &= \frac{v_f \times s g_f \times 3600}{t_f} \text{ g/jam} \\
 \dot{m}_f &= \frac{10 \times 0,8344 \times 3600}{83,4} \text{ g/jam} \\
 \dot{m}_f &= 360,17 \text{ g/jam}
 \end{aligned}$$

#### 4) Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (*SFC*)

$$\begin{aligned}
 - \text{ Diketahui : Laju aliran massa bahan bakar } (\dot{m}_f) &= 360,17 \text{ g/jam} \\
 \text{Daya efektif (Ne)} &= 521,38 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

- Ditanya : Konsumsi bahan bakar spesifik (*SFC*) ?

$$- \text{ Dijawab : } SFC = \frac{\dot{m}_f \times 10^3}{Ne} \text{ g/kWh}$$

$$SFC = \frac{360,17 \times 10^3}{521,38} \text{ g/kWh}$$

$$SFC = 690,80 \text{ g/kWh}$$

#### 5) Efisiensi Termal

$$\begin{aligned}
 - \text{ Diketahui : Laju aliran massa bahan bakar } (\dot{m}_f) &= 360,17 \text{ g/jam} \\
 \text{Daya efektif (Ne)} &= 521,38 \text{ Watt} \\
 \text{Nilai kalor bahan bakar (LHV)} &= 10480 \text{ kal/g} \\
 &= 10480 \times 4,1868 \\
 &= 43877,66 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

- Ditanya : Efisiensi Termal ( $\eta_t$ ) ?

$$- \text{ Dijawab : } \eta_t = \frac{Ne \times 3600}{\dot{m}_f \times LHV} \times 100 \%$$

$$\eta_t = \frac{521,38 \times 3600}{360,17 \times 43877,66} \times 100 \%$$

$$\eta_t = 11,877 \%$$

### A.5 Perhitungan pada Bahan Bakar B30

#### 1) Daya Efektif

- Diketahui : Putaran mesin (n) = 2400 Rpm  
Tegangan listrik (V) = 171 Volt  
Arus listrik (I) = 1,74 Ampere  
Cos  $\phi$  = Faktor daya listrik (1,0)
- Ditanya : Daya efektif (Ne) ?
- Dijawab :  $Ne = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \phi$  (Watt)  
 $Ne = \sqrt{3} \times 171 \times 1,74 \times 1,0$  (Watt)  
 $Ne = 514,37$  Watt

#### 2) Torsi

- Diketahui : Daya efektif (Ne) = 514,37 Watt
- Ditanya : Torsi ?
- Dijawab :  $T = \frac{Ne \times 60}{2\pi \times n}$  (Nm)  
 $T = \frac{514,37 \times 60}{2\pi \times 2400}$  (Nm)  
 $T = 2,048$  Nm

#### 3) Laju Aliran Massa Bahan Bakar

- Diketahui : Volume bahan bakar ( $v_f$ ) = 10 ml  
Waktu konsumsi bahan bakar ( $t_f$ ) = 1,37 menit  
= 82 detik
- $\text{Specific gravity (sgf)} = \frac{\text{Densitas Bahan Bakar}}{\text{Densitas Air}}$   
 $= \frac{0,8387}{1} = 0,8387 \text{ g/cm}^3$

- Ditanya : Laju aliran massa bahan bakar ( $\dot{m}_f$ ) ?

$$\text{- Dikawab : } \dot{m}_f = \frac{v_f \times s g_f \times 3600}{t_f} \text{ g/jam}$$

$$\dot{m}_f = \frac{10 \times 0,8387 \times 3600}{82} \text{ g/jam}$$

$$\dot{m}_f = 368,21 \text{ g/jam}$$

#### 4) Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (*SFC*)

$$\text{- Diketahui : Laju aliran massa bahan bakar } (\dot{m}_f) = 368,21 \text{ g/jam}$$

$$\text{Daya efektif (Ne)} = 514,37 \text{ Watt}$$

- Ditanya : Konsumsi bahan bakar spesifik (*SFC*) ?

$$\text{- Dikawab : } SFC = \frac{\dot{m}_f \times 10^3}{Ne} \text{ g/kWh}$$

$$SFC = \frac{368,21 \times 10^3}{514,37} \text{ g/kWh}$$

$$SFC = 715,85 \text{ g/kWh}$$

#### 5) Efisiensi Termal

$$\text{- Diketahui : Laju aliran massa bahan bakar } (\dot{m}_f) = 368,21 \text{ g/jam}$$

$$\text{Daya efektif (Ne)} = 514,37 \text{ Watt}$$

$$\text{Nilai kalor bahan bakar (LHV)} = 10463,9 \text{ kal/g}$$

$$= 10463,9 \times 4,1868$$

$$= 43810,26 \text{ kJ/kg}$$

- Ditanya : Efisiensi Termal ( $\eta_t$ ) ?

$$\text{- Dikawab : } \eta_t = \frac{Ne \times 3600}{\dot{m}_f \times LHV} \times 100 \%$$

$$\eta_t = \frac{514,37 \times 3600}{368,21 \times 43810,26} \times 100 \%$$

$$\eta_t = 11,479 \%$$

## LAMPIRAN B. Hasil Pengujian Karakteristik Bahan Bakar

## B.1 Hasil Pengujian B100 (Biodiesel Murni)



**PT. PERTAMINA (PERSERO)**  
 Laboratorium Integrated Terminal Surabaya  
 Jalan Perak Barat No. 277 Surabaya - 60165  
 Telp : 031 - 3293892 Fax. 031-3294963

**CERTIFICATE OF ANALYSIS**

No. 074 /LAB-ITS/EXT/ XII /2019

Jenis Sample	: B100	Pengambilan Sample	: -
Nama Customer	: Fakultas Teknik Univ. Jember	Jenis Pengambilan Sample	: -
Alamat Customer	: Jl. Kalimantan No.37 Jember 68121	Tanggal Bukti Terima Sample	: 19 Desember 2019
Ex.	: Minyak Kemiri	Tanggal Pengujian	: 19 Desember 2019
No. Tanki	: -		
Nomor Bukti Terima Sample	: 8643/UN25.11/EP/2019		

NO.	PARAMETER UJI	UNITS	METHODE	LIMITS *)	HASIL UJI
1	Density at 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D-1298	815 - 870	890,3
2	Viscosity Kinematic at 40 °C	cSt	ASTM D-445	2,0 - 4,5	4,113
3	Flash Point PMcc	°C	ASTM D-93	Min.52	174

Catatan / Kesimpulan :

\*) spesifikasi limits sesuai dengan SK Dirjen Migas No. 28.K/10/DJM.T/2016

Daftar Distribusi :

- Laboratorium TBBMSG (Asli)
- Pihak Internal (Copy)
- Pihak Eksternal - bila diperlukan (Asli)

Surabaya, 23 Desember 2019  
 Laboratorium Integrated Terminal Surabaya  
 Pjs.Sr.Spw. Quality & Quantity

SYEA ALMIRA

Test Report ini hanya berhubungan dengan sample yang diterima dan diperiksa di Laboratorium  
 Dilarang mengandakan Test Report ini tanpa persetujuan tertulis dari Pengawas Laboratorium  
 "Laboratorium PT PERTAMINA (Persero) Integrated Terminal Surabaya"

## B.2 Hasil Pengujian Bahan Bakar B10



**PT. PERTAMINA (PERSERO)**  
 Laboratorium Integrated Terminal Surabaya  
 Jalan Perak Barat No. 277 Surabaya - 60165  
 Telp : 031 - 3293892 Fax. 031-3294963

**CERTIFICATE OF ANALYSIS**

No. 064 /LAB-ITS/EXT/ XII /2019

Jenis Sample	: B10	Pengambilan Sample	: -
Nama Customer	: Fakultas Teknik Univ. Jember	Jenis Pengambilan Sample	: -
Alamat Customer	: Jl. Kalimantan No.37 Jember 68121	Tanggal Bukti Terima Sample	: 19 Desember 2019
Ex.	: Minyak Kemiri 10% : Pertadex 90%	Tanggal Pengujian	: 19 Desember 2019
No. Tanki	: -		
Nomor Bukti Terima Sample	: 8643/UN25.11/EP/2019		

NO.	PARAMETER UJI	UNITS	METHODE	LIMITS *)	HASIL UJI
1	Density at 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D-1298	815 - 870	828,2
2	Viscosity Kinematic at 40 °C	cSt	ASTM D-445	2,0 - 4,5	2,743
3	Flash Point PMcc	°C	ASTM D-93	Min.52	69

Catatan / Kesimpulan :

\*) spesifikasi limits sesuai dengan SK Dirjen Migas No. 28.K/10/DJM.T/2016

Daftar Distribusi :

- Laboratorium TBBMSG (Asli)
- Pihak Internal (Copy)
- Pihak Eksternal - bila diperlukan (Asli)

Surabaya, 23 Desember 2019  
 Laboratorium Integrated Terminal Surabaya  
 Pjs.Sr.Spy. Quality & Quantity

SYFA ALMIRA

Test Report ini hanya berhubungan dengan sample yang diterima dan diperiksa di Laboratorium  
 Dilarang menggandakan Test Report ini tanpa persetujuan tertulis dari Pengawas Laboratorium  
 " Laboratorium PT PERTAMINA ( Persero ) Integrated Terminal Surabaya "



## B.3 Hasil Pengujian Bahan Bakar B20



**PT. PERTAMINA (PERSERO)**  
 Laboratorium Integrated Terminal Surabaya  
 Jalan Perak Barat No. 277 Surabaya - 60165  
 Telp : 031 - 3293892 Fax. 031-3294963

**CERTIFICATE OF ANALYSIS**

No. 068 /LAB-ITS/EXT/ XII /2019

Jenis Sample	: B20	Pengambilan Sample	: -
Nama Customer	: Fakultas Teknik Univ. Jember	Jenis Pengambilan Sample	: -
Alamat Customer	: Jl. Kalimantan No.37 Jember 68121	Tanggal Bukti Terima Sample	: 19 Desember 2019
Ex.	: Minyak Kemiri 20% : Pertadex 80%	Tanggal Pengujian	: 19 Desember 2019
No. Tanki	: -		
Nomor Bukti Terima Sample	: 8643/UN25.11/EP/2019		

NO.	PARAMETER UJI	UNITS	METHODE	LIMITS *)	HASIL UJI
1	Density at 15°C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D-1298	815 - 870	834,4
2	Viscosity Kinematic at 40°C	cSt	ASTM D-445	2,0 - 4,5	2,604
3	Flash Point PMcc	°c	ASTM D-93	Min.52	70

Catatan / Kesimpulan :

\*) spesifikasi limits sesuai dengan SK Dirjen Migas No. 28.K/10/DJM.T/2016

Daftar Distribusi:

- Laboratorium TBBMSG (Asli)
- Pihak Internal (Copy)
- Pihak Eksternal - bila diperlukan (Asli)

Surabaya, 23 Desember 2019  
 Laboratorium Integrated Terminal Surabaya  
 Pjs.Sr.Sp. Quality & Quantity

SYFA ALMIRA

Test Report ini hanya berhubungan dengan sample yang diterima dan diperiksa di Laboratorium  
 Dilarang mengandakan Test Report ini tanpa persetujuan tertulis dari Pengawas Laboratorium  
 "Laboratorium PT PERTAMINA (Persero) Integrated Terminal Surabaya"

## B.4 Hasil Pengujian Bahan Bakar B30



**PT. PERTAMINA (PERSERO)**  
 Laboratorium Integrated Terminal Surabaya  
 Jalan Perak Barat No. 277 Surabaya - 60165  
 Telp : 031 - 3293892 Fax. 031-3294963

**CERTIFICATE OF ANALYSIS**

No. 072 /LAB-ITS/EXT/ XII /2019

Jenis Sample	: B30	Pengambilan Sample	: -
Nama Customer	: Fakultas Teknik Univ. Jember	Jenis Pengambilan Sample	: -
Alamat Customer	: Jl. Kalimantan No.37 Jember 68121	Tanggal Bukti Terima Sample	: 19 Desember 2019
Ex.	: Minyak Kemiri 30% : Pertadex 70%	Tanggal Pengujian	: 19 Desember 2019
No. Tanki	: -		
Nomor Bukti Terima Sample	: 8643/UN25.11/EP/2019		

NO.	PARAMETER UJI	UNITS	METHODE	LIMITS *)	HASIL UJI
1	Density at 15°C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D-1298	815 - 870	838,7
2	Viscosity Kinematic at 40°C	cSt	ASTM D-445	2,0 - 4,5	2,631
3	Flash Point PMcc	°C	ASTM D-93	Min.52	73

Catatan / Kesimpulan :

\*) spesifikasi limits sesuai dengan SK Dirjen Migas No. 28.K/10/DJM.T/2016

Daftar Distribusi:


- Laboratorium TBBMSG (Asli)
- Pihak Internal (Copy)
- Pihak Eksternal - bila diperlukan (Asli)

Surabaya, 23 Desember 2019  
 Laboratorium Integrated Terminal Surabaya  
 Pjs.Sr.Spv. Quality & Quantity

SYFA ALMIRA

Test Report ini hanya berhubungan dengan sample yang diterima dan diperiksa di Laboratorium  
 Dilarang mengandakan Test Report ini tanpa persetujuan tertulis dari Pengawas Laboratorium  
 "Laboratorium PT PERTAMINA (Persero) Integrated Terminal Surabaya"

## B.5 Hasil Pengujian Nilai Kalor Bahan Bakar



**LABORATORIUM TAKI**  
 (Teknologi Air dan Konsultasi Industri)  
 Departemen Teknik Kimia FTI - ITS  
 Kampus ITS, Keputih - Sukolilo, Surabaya, Telp. 031-5922935  
 Fax. 031-5922935, E-mail : lab.taki@chem-eng.its.ac.id

---


**KETERANGAN HASIL ANALISA**  
 No. 01/LTAKI/I/2020

Terima dari : **Sdr. Wafir**  
 ( universitas jember)  
 U.analisa : Nilai kalori  
 Diterima tgl. : 26 Desember 2019

Kode contoh	Hasil analisa	Methode analisa
	Nilai kalori ,Kcal/kg	
Kelapa pertadex B10	10118.6	
Kelapa pertadex B30	10306.9	
Kelapa biosolar B10	10531.8	
Kelapa biosolar B20	10365.1	
Kelapa biosolar B30	10420.4	
B10 (kemiri+biosolar)	10590.9	
B20 (kemiri+biosolar)	10493.5	
B30 (kemiri+biosolar)	10455.0	
B30 (kemiri+pertadex)	10463.9	Bomb Calorimetry
B20 kelapa pertadex	10674.1	
B10 (kemiri+pertadex)	10967.8	
B20 (kemiri+pertadex)	10480.0	
B100 (biodisel kemiri)	9621.19	
Pertadex	11280.6	
Biosolar	10787.9	
Biodisel kelapa	8548.63	
Nyemplung B100	10819.7	
Nyemplung B0	1009.6	
Nyemplung B50	9280.89	

Keterangan :  
 ♦ Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima.

Surabaya, 06 Januari 2020



**Siti Nurkhasidah, ST, MS, Ph.D**  
 Kepala Laboratorium TAKI

## B.6 Hasil Pengujian Densitas Biosolar dan Pertadex



**LABORATORIUM TAKI**  
**(Teknologi Air dan Konsultasi Industri)**  
 Departemen Teknik Kimia FTI - ITS  
 Kampus ITS, Keputih - Sukolilo, Surabaya, Telp. 031-5922935  
 Fax. 031-5922935, E-mail : lab.taki@chem-eng.its.ac.id

---

**KETERANGAN HASIL ANALISA**  
 No. 13/LTAKI/2020

Terima dari : **Wafir**  
 Universitas Jember  
 Jenis contoh : -  
 Kode contoh : -  
 Uji : Densitas 15°C  
 Diterima tanggal : 6 Januari 2020

Kode contoh	Hasil analisa Densitas (g/mL)	Metode analisa
Pertadex	0,8195	Piknometri
Biosolar	0,8236	

Keterangan :  
 Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima

9 Januari 2020



**Dr. Mochamad Bah, ST, MS, Ph.D**  
 Kepala Laboratorium TAKI

## LAMPIRAN C. Spesifikasi Bahan Bakar Diesel Produk Pertamina

### C.1 Spesifikasi Biosolar

Bahan Bakar Minyak | 1

#### SPESIFIKASI SOLAR/ BIOSOLAR

NO.	KARAKTERISTIK	SATUAN	BATASAN		METODE UJI	
			MIN	MAKS	ASTM	LAIN
1.	Bilangan Cetana Angka Setana atau Indeks Setana	-	48	-	D 613	
		-	45	-	D 4737	
2.	Berat Jenis @ 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	815	860	D 1298 / D 4052	
3.	Viskositas @ 40 °C	mm <sup>2</sup> /sec	2,0	4,5	D 445	
4.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,35 <sup>1)</sup>	D 2622 / D 5453 / D 4294 / D 7039	
			-	0,30 <sup>2)</sup>		
			-	0,25 <sup>3)</sup>		
			-	0,05 <sup>4)</sup>		
			-	0,005 <sup>5)</sup>		
5.	Distilasi 90 % vol. penguapan	°C	-	370	D 86	
6.	Titik Nyala	°C	52	-	D 93	
7.	Titik Tuang	°C	-	18	D 97	
8.	Residu Karbon	% m/m	-	0,1	D 4530 / D 189	
9.	Kandungan Air	mg/kg	-	500	D 6304	
10.	Biological Growth <sup>1)</sup>	-	Nihil			
11.	Kandungan FAME <sup>1)</sup>	% v/v	-	-		
12.	Kandungan metanol <sup>1)</sup>	% v/v	Tak terdeteksi		D 4815	
13.	Korosi Bilah Tembaga	merit	-	Kelas 1	D 130	
14.	Kandungan Abu	% w/v	-	0,01	D 482	
15.	Kandungan Sedimen	% m/m	-	0,01	D 473	
16.	Bilangan Asam Kuat	mgKOH/gr	-	0	D 664	
17.	Bilangan Asam Total	mgKOH/gr	-	0,6	D 664	
18.	Partikulat	mg/l	-	-	D 2276	
19.	Penampilan Visual	-	Jernih & Terang			
20.	Warna	No. ASTM	-	3,0	D 1500	
21.	Lubricity (HFRR wear scar dia. @ 60 °C)	-	-	460 <sup>6)</sup>	D 6079	
		micron	-			

<sup>1)</sup>Kandungan FAME mengacu pada Peraturan Menteri ESDM No. 25 tahun 2013 tentang Penyediaan, Pemanfaatan, dan Tata Niaga bahan Bakar Nabati (Biofuel) Sebagai Bahan Bakar Lain.

#### Catatan umum:

- Additive harus kompatibel dengan minyak mesin (tidak menambah kekotoran/kerak). Additive yang mengandung komponen pembentuk abu (ash forming) tidak diperbolehkan.
- Penanganan (handling) harus dilakukan secara baik untuk mengurangi kontaminasi (debu, air, bahan bakar lain, dll).
- Pelabelan pada pompa harus memadai dan terdefinisi.

#### Catatan kaki:

- 1) Batasan 0.35% m/m setara dengan 3.500 ppm. Berlaku tahun 2015.
- 2) Batasan 0.30% m/m setara dengan 3.000 ppm. Berlaku mulai 1 Januari tahun 2016.
- 3) Batasan 0.25% m/m setara dengan 2.500 ppm. Berlaku mulai 1 Januari tahun 2017.
- 4) Batasan 0.05% m/m setara dengan 500 ppm. Berlaku mulai 1 Januari tahun 2021.
- 5) Batasan 0.005% m/m setara dengan 50 ppm. Berlaku mulai 1 Januari tahun 2025.
- 6) Berlaku mulai 1 Januari 2016

## C.2 Spesifikasi Pertadex

Bahan Bakar Minyak | 21

## SPESIFIKASI PERTAMINA DEX

NO.	KARAKTERISTIK	SATUAN	BATASAN		METODE UJI	
			MIN	MAKS	ASTM	LAIN
1.	Bilangan Cetana Angka Setana atau Indeks Setana	-	53	-	D 613	
		-	48	-	D 4737	
2.	Berat Jenis @ 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	820 <sup>1)</sup>	860	D 4052 / D 1298	
3.	Viskositas @ 40 °C	mm <sup>2</sup> /sec	2,0	4,5	D 445	
4.	Kandungan Belerang	% m/m	-	0,05 <sup>2)</sup>	D 2622 / D 4294 <sup>1)</sup>	
5.	Distilasi :				D 86	
	Temp. @ 90 % <sup>3)</sup>	°C	-	340		
	Temp. @ 95 % <sup>3)</sup>	°C	-	360		
	Titik Didih Akhir	°C	-	370		
6.	Titik Nyala	°C	55	-	D 93	
7.	Titik Tuang	°C	-	18	D 97	
8.	Residu Karbon	% m/m	-	0,3	D 4530	
9.	Kandungan Air	mg/kg	-	500	D 6304 <sup>4)</sup>	
10.	Stabilitas Oksidasi	gr/m <sup>3</sup>	-	25	D 2274	
11.	Biological Growth <sup>5)</sup>	-	Nihil			
12.	Kandungan FAME <sup>6)</sup>	% v/v	-	10		
13.	Kandungan metanol & etanol	% v/v	Tak terdeteksi		D 4815	
14.	Korosi Bilah Tembaga	merit	-	Kelas 1	D 130	
15.	Kandungan Abu	% m/m	-	0,01	D 482	
16.	Kandungan Sedimen	% m/m	-	0,01	D 473	
17.	Bilangan Asam Kuat	mg KOH/gr	-	0	D 664	
18.	Bilangan Asam Total	mg KOH/gr	-	0,3	D 664	
19.	Partikulat	mg/l	-	10	D 2276	
20.	Lubrisitas (HFRR wear scar dia @ 60 °C)	mikron	-	460	D 6079	CEC F-06-A-96
21.	Penampilan Visual	-	Jernih & Terang			
22.	Warna	No. ASTM	-	1,0	D 1500	

**Catatan umum:**

- Aditif harus kompatibel dengan minyak mesin (tidak menambah kekotoran mesin/kerak). Aditif yang mengandung komponen pembentuk abu (ash forming) tidak diperbolehkan.
- Pemeliharaan secara baik untuk mengurangi kontaminasi (debu, air, bahan bakar lain, dll).
- Pelabelan pada pompa harus memadai dan terdefinisi.

**Catatan kaki:**

- 1) Untuk kepentingan lingkungan, berat jenis minimum 815 kg/m<sup>3</sup> dapat digunakan.
- 2) Batasan 0,05% m/m setara dengan 500 ppm.
- 3) Diperlukan kesesuaian dengan t 90 atau t 95, bukan keduanya.

**Rujukan:**

- Keputusan Dirjen Migas 3675 K/24/DJM/2006 tanggal 17 Maret 2006 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Solar yang Dipasarkan di Dalam Negeri.
- \*) Surat Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi No. 4769/10/DJM.T/2012 tanggal 22 Maret 2012 perihal Dispensasi Penyesuaian Spesifikasi Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin dan Minyak Solar.
- \*\*) ASTM D 1744 telah dinyatakan tidak berlaku/absolute oleh ASTM dan merujuk Worldwide Fuel Charter Edisi 2006 diganti dengan Metode ASTM D 6304.
- \*\*\*) Khusus untuk Minyak Solar yang mengandung Bio Diesel, jenis dan spesifikasi Bio Diesel mengacu ketetapan Pemerintah.

## LAMPIRAN D. Hasil Pengujian Opasitas pada Mesin Diesel

### D.1 Surat Keterangan Pengujian



UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
LABORATORIUM PENGUJIAN PERFORMA MESIN  
Alamat: Gedung A8 Lt.1 Lab. Terpadu Fakultas Teknik Jl. Ketintang Surabaya  
Telp: 031-8299487, Fax: 031-8292957, HP: 081330670825



UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
LABORATORIUM PENGUJIAN PERFORMA MESIN  
Alamat: Gedung A8 Lt.1 Lab. Terpadu Fakultas Teknik Jl. Ketintang Surabaya  
Telp: 031-8299487, Fax: 031-8292957, HP: 081330670825

Nomor : 006/Lab.PPM/XII/2019  
Lampiran : 1 (satu) set  
Hal : Pengambilan Data Laboratorium

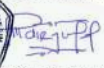
Kepada:  
Yth. Dosen Pembimbing Utama Skripsi  
**Bapak Ir. Digo Listyadi Setyawan, M.Sc.**  
di  
Jember

Yang bertandatangan di bawah ini:  
Nama : Dr. Warju, S.Pd., S.T., M.T.  
NIP : 198103282006041001  
Jurusan : Teknik Mesin  
Instansi : Universitas Negeri Surabaya

Menyatakan bahwa mahasiswa tersebut di bawah ini:  
Nama : Moh. Wafir  
NIM : 161910101058  
Jurusan/Prodi : Teknik Mesin/S-1 Teknik Mesin  
Instansi : Universitas Jember

Telah mengambil data di Laboratorium Pengujian Performa Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya (data terlampir) pada:  
Hari : Kamis  
Tanggal : 26 Desember 2019  
Waktu : 13.00 WIB – Selesai  
Judul Skripsi : Analisis Unjuk Kerja Mesin Diesel Dengan Bahan Bakar Campuran Pertadex dan Biodiesel dari Biji Kemiri

Demikian surat keterangan ini dibuat, atas perhatian dan kerjasamanya disampaikan terima kasih.

Surabaya, 26 Desember 2019  
Ketua Sub Laboratorium Pengujian Performa Mesin  
  
Dr. Warju, S.Pd., S.T., M.T.  
NIP. 198103282006041001

Nomor : 006/Lab.PPM/XII/2019  
Lampiran : 1 (satu) set  
Hal : Pengambilan Data Laboratorium

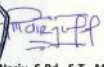
Kepada:  
Yth. Dosen Pembimbing Anggota Skripsi  
**Ibu Rahma Rei Sakura, S.T., M.T.**  
di  
Jember

Yang bertandatangan di bawah ini:  
Nama : Dr. Warju, S.Pd., S.T., M.T.  
NIP : 198103282006041001  
Jurusan : Teknik Mesin  
Instansi : Universitas Negeri Surabaya

Menyatakan bahwa mahasiswa tersebut di bawah ini:  
Nama : Moh. Wafir  
NIM : 161910101058  
Jurusan/Prodi : Teknik Mesin/S-1 Teknik Mesin  
Instansi : Universitas Jember

Telah mengambil data di Laboratorium Pengujian Performa Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya (data terlampir) pada:  
Hari : Kamis  
Tanggal : 26 Desember 2019  
Waktu : 13.00 WIB – Selesai  
Judul Skripsi : Analisis Unjuk Kerja Mesin Diesel Dengan Bahan Bakar Campuran Pertadex dan Biodiesel dari Biji Kemiri

Demikian surat keterangan ini dibuat, atas perhatian dan kerjasamanya disampaikan terima kasih.

Surabaya, 26 Desember 2019  
Ketua Sub Laboratorium Pengujian Performa Mesin  
  
Dr. Warju, S.Pd., S.T., M.T.  
NIP. 198103282006041001

## D.2 Hasil Pengujian Opasitas Bahan Bakar Biosolar

ZIP: JL.KETINTANG SURABAYA - Tel.:031 8280009 Fax:- e-mail:  Smokemeter Factory:TECNOMOTOR Type:820 Homol N.:0M00608b/NET Serial N.:8140255032 Expiry:21/12/2016 5.1  Rpm Counter Factory:TECNOMOTOR Type:CONTRPM/D Homol N.:0M00074EST001Bf Serial N.:8140255032 Expiry:21/12/2016  Measures N:0.0 % K:0.00 1/m <u>Maximum:0.30 /m</u> Smokes Temp.:30 C Oil T.: 80 C Rpm:0 RPM  Time:17.24.30 Date:26/12/2019 #-Manual Entry  Technical Head: WARJU ..... TECNOMOTOR	Garage Data UNS FAKULTAS TEKNIK KAMPUS KETINTANG 2 ZIP: JL.KETINTANG SURABAYA - Tel.:031 8280009 Fax:- e-mail:  Smokemeter Factory:TECNOMOTOR Type:820 Homol N.:0M00608b/NET Serial N.:8140255032 Expiry:21/12/2016 5.1  Rpm Counter Factory:TECNOMOTOR Type:CONTRPM/D Homol N.:0M00074EST001Bf Serial N.:8140255032 Expiry:21/12/2016  Measures N:0.0 % K:0.00 1/m <u>Maximum:0.21 /m</u> Smokes Temp.:28 C Oil T.: 80 C Rpm:0 RPM  Time:14.35.42 Date:26/12/2019 #-Manual Entry  Technical Head: WARJU ..... TECNOMOTOR	Garage Data UNS FAKULTAS TEKNIK KAMPUS KETINTANG 2 ZIP: JL.KETINTANG SURABAYA - Tel.:031 8280009 Fax:- e-mail:  Smokemeter Factory:TECNOMOTOR Type:820 Homol N.:0M00608b/NET Serial N.:8140255032 Expiry:21/12/2016 5.1  Rpm Counter Factory:TECNOMOTOR Type:CONTRPM/D Homol N.:0M00074EST001Bf Serial N.:8140255032 Expiry:21/12/2016  Measures N:0.0 % K:0.00 1/m <u>Maximum:0.28 /m</u> Smokes Temp.:28 C Oil T.: 80 C Rpm:0 RPM  Time:14.34.13 Date:26/12/2019 #-Manual Entry  Technical Head: WARJU ..... TECNOMOTOR
---	---	---



D.3 Hasil Pengujian Opasitas Bahan Bakar Pertadex

<p>Garage Data                      UNS FAKULTAS TEKNIK                      KAMPUS KETINTANG 2                      ZIP:                      JL. KETINTANG                      SURABAYA                      -                      Tel.: 031 8280009                      Fax: -                      e-mail:</p> <p>Smokemeter                      Factory: TECNOMOTOR                      Type: 820                      Homol N.: 0M00608b/NET                      Serial N.: 8140255032                      Expiry: 21/12/2016 5.1</p> <p>Rpm Counter                      Factory: TECNOMOTOR                      Type: CONTRPM/D                      Homol N.: 0M00074E5T001Bf                      Serial N.: 8140255032                      Expiry: 21/12/2016</p> <p>Measures                      N: 0.0 %                      K: 0.00 1/m                      Maximum: 0.14 /m                      Smokes Temp.: 30 C                      Oil T.: 80 C                      Rpm: 0 RPM</p> <p>Time: 15.24.25                      Date: 26/12/2019                      #-Manual Entry</p> <p>Technical Head:                      WARJU</p> <p>TECNOMOTOR</p>	<p>Garage Data                      UNS FAKULTAS TEKNIK                      KAMPUS KETINTANG 2                      ZIP:                      JL. KETINTANG                      SURABAYA                      -                      Tel.: 031 8280009                      Fax: -                      e-mail:</p> <p>Smokemeter                      Factory: TECNOMOTOR                      Type: 820                      Homol N.: 0M00608b/NET                      Serial N.: 8140255032                      Expiry: 21/12/2016 5.1</p> <p>Rpm Counter                      Factory: TECNOMOTOR                      Type: CONTRPM/D                      Homol N.: 0M00074E5T001Bf                      Serial N.: 8140255032                      Expiry: 21/12/2016</p> <p>Measures                      N: 0.0 %                      K: 0.00 1/m                      Maximum: 0.21 /m                      Smokes Temp.: 31 C                      Oil T.: 80 C                      Rpm: 0 RPM</p> <p>Time: 15.26.04                      Date: 26/12/2019                      #-Manual Entry</p> <p>Technical Head:                      WARJU</p> <p>TECNOMOTOR</p>	<p>Garage Data                      UNS FAKULTAS TEKNIK                      KAMPUS KETINTANG 2                      ZIP:                      JL. KETINTANG                      SURABAYA                      -                      Tel.: 031 8280009                      Fax: -                      e-mail:</p> <p>Smokemeter                      Factory: TECNOMOTOR                      Type: 820                      Homol N.: 0M00608b/NET                      Serial N.: 8140255032                      Expiry: 21/12/2016 5.1</p> <p>Rpm Counter                      Factory: TECNOMOTOR                      Type: CONTRPM/D                      Homol N.: 0M00074E5T001Bf                      Serial N.: 8140255032                      Expiry: 21/12/2016</p> <p>Measures                      N: 0.0 %                      K: 0.00 1/m                      Maximum: 0.21 /m                      Smokes Temp.: 30 C                      Oil T.: 80 C                      Rpm: 0 RPM</p> <p>Time: 17.34.40                      Date: 26/12/2019                      #-Manual Entry</p> <p>Technical Head:                      WARJU</p> <p>TECNOMOTOR</p>
--	--	--

## D.4 Hasil Pengujian Opasitas Bahan Bakar B10

Garage Data  
 UNS FAKULTAS TEKNIK  
 KAMPUS KETINTANG 2  
 ZIP:  
 JL. KETINTANG  
 SURABAYA  
 -  
 Tel.: 031 8280009  
 Fax: -  
 e-mail:

Smokemeter  
 Factory: TECNOMOTOR  
 Type: 820  
 Homol N.: 0M00608b/NET  
 Serial N.: 8140255032  
 Expiry: 21/12/2016 5.1

Rpm Counter  
 Factory: TECNOMOTOR  
 Type: CONTRPM/D  
 Homol N.: 0M00074EST001Bf  
 Serial N.: 8140255032  
 Expiry: 21/12/2016

Measures  
 N: 0.0 %  
 K: 0.00 1/m  
 Maximum: 0.13 /m  
 Smokes Temp.: 31 C  
 Oil T.: 80 C  
 Rpm: 0 RPM

Time: 16.21.10  
 Date: 26/12/2019  
 #-Manual Entry

Technical Head:  
 WARJU  
 .....

TECNOMOTOR

Garage Data  
 UNS FAKULTAS TEKNIK  
 KAMPUS KETINTANG 2  
 ZIP:  
 JL. KETINTANG  
 SURABAYA  
 -  
 Tel.: 031 8280009  
 Fax: -  
 e-mail:

Smokemeter  
 Factory: TECNOMOTOR  
 Type: 820  
 Homol N.: 0M00608b/NET  
 Serial N.: 8140255032  
 Expiry: 21/12/2016 5.1

Rpm Counter  
 Factory: TECNOMOTOR  
 Type: CONTRPM/D  
 Homol N.: 0M00074EST001Bf  
 Serial N.: 8140255032  
 Expiry: 21/12/2016

Measures  
 N: 0.0 %  
 K: 0.00 1/m  
 Maximum: 0.14 /m  
 Smokes Temp.: 31 C  
 Oil T.: 80 C  
 Rpm: 0 RPM

Time: 16.19.39  
 Date: 26/12/2019  
 #-Manual Entry

Technical Head:  
 WARJU  
 .....

TECNOMOTOR

Garage Data  
 UNS FAKULTAS TEKNIK  
 KAMPUS KETINTANG 2  
 ZIP:  
 JL. KETINTANG  
 SURABAYA  
 -  
 Tel.: 031 8280009  
 Fax: -  
 e-mail:

Smokemeter  
 Factory: TECNOMOTOR  
 Type: 820  
 Homol N.: 0M00608b/NET  
 Serial N.: 8140255032  
 Expiry: 21/12/2016 5.1

Rpm Counter  
 Factory: TECNOMOTOR  
 Type: CONTRPM/D  
 Homol N.: 0M00074EST001Bf  
 Serial N.: 8140255032  
 Expiry: 21/12/2016

Measures  
 N: 0.0 %  
 K: 0.00 1/m  
 Maximum: 0.13 /m  
 Smokes Temp.: 30 C  
 Oil T.: 80 C  
 Rpm: 0 RPM

Time: 16.28.34  
 Date: 26/12/2019  
 #-Manual Entry

Technical Head:  
 WARJU  
 .....

TECNOMOTOR

## D.5 Hasil Pengujian Opasitas Bahan Bakar B20

Garage Data UNS FAKULTAS TEKNIK KAMPUS KETINTANG 2 ZIP: JL. KETINTANG SURABAYA - Tel.: 031 8280009 Fax: - e-mail:	Garage Data UNS FAKULTAS TEKNIK KAMPUS KETINTANG 2 ZIP: JL. KETINTANG SURABAYA - Tel.: 031 8280009 Fax: - e-mail:	Garage Data UNS FAKULTAS TEKNIK KAMPUS KETINTANG 2 ZIP: JL. KETINTANG SURABAYA - Tel.: 031 8280009 Fax: - e-mail:
Smokemeter Factory: TECNOMOTOR Type: 820 Homol N.: 0M006008b/NET Serial N.: 8140255032 Expiry: 21/12/2016 5.1	Smokemeter Factory: TECNOMOTOR Type: 820 Homol N.: 0M006008b/NET Serial N.: 8140255032 Expiry: 21/12/2016 5.1	Smokemeter Factory: TECNOMOTOR Type: 820 Homol N.: 0M006008b/NET Serial N.: 8140255032 Expiry: 21/12/2016 5.1
Rpm Counter Factory: TECNOMOTOR Type: CONTRPM/D Homol N.: 0M00074EST001BF Serial N.: 8140255032 Expiry: 21/12/2016	Rpm Counter Factory: TECNOMOTOR Type: CONTRPM/D Homol N.: 0M00074EST001BF Serial N.: 8140255032 Expiry: 21/12/2016	Rpm Counter Factory: TECNOMOTOR Type: CONTRPM/D Homol N.: 0M00074EST001BF Serial N.: 8140255032 Expiry: 21/12/2016
Measures N: 0.0 % K: 0.00 1/m Maximum: 0.10 /m Smokes Temp.: 30 C Oil T.: 80 C Rpm: 0 RPM	Measures N: 0.0 % K: 0.00 1/m Maximum: 0.13 /m Smokes Temp.: 30 C Oil T.: 80 C Rpm: 0 RPM	Measures N: 0.0 % K: 0.00 1/m Maximum: 0.10 /m Smokes Temp.: 30 C Oil T.: 80 C Rpm: 0 RPM
Time: 16.30.06 Date: 26/12/2019 #-Manual Entry	Time: 16.31.36 Date: 26/12/2019 #-Manual Entry	Time: 16.33.58 Date: 26/12/2019 #-Manual Entry
Technical Head: WARJU ..... TECNOMOTOR	Technical Head: WARJU ..... TECNOMOTOR	Technical Head: WARJU ..... TECNOMOTOR

## D.6 Hasil Pengujian Opasitas Bahan Bakar B30

Garage Data  
 UNS FAKULTAS TEKNIK  
 KAMPUS KETINTANG 2  
 ZIP:  
 JL. KETINTANG  
 SURABAYA  
 -  
 Tel.:031 8280009  
 Fax:-  
 e-mail:

Smokemeter  
 Factory:TECNOMOTOR  
 Type:820  
 Homol N.:0M006088b/NET  
 Serial N.:8140255032  
 Expiry:21/12/2016 5.1

Rpm Counter  
 Factory:TECNOMOTOR  
 Type:CONTRPM/D  
 Homol N.:0M00074E5T0018f  
 Serial N.:8140255032  
 Expiry:21/12/2016

Measures  
 N:0.0 %  
 K:0.00 1/m  
 Maximum:0.06 /m  
 Smokes Temp.:30 C  
 Oil T.: 80 C  
 Rpm:0 RPM

Time:16.41.13  
 Date:26/12/2019  
 #-Manual Entry

Technical Head:  
 WARJU  
 .....

TECNOMOTOR

Garage Data  
 UNS FAKULTAS TEKNIK  
 KAMPUS KETINTANG 2  
 ZIP:  
 JL. KETINTANG  
 SURABAYA  
 -  
 Tel.:031 8280009  
 Fax:-  
 e-mail:

Smokemeter  
 Factory:TECNOMOTOR  
 Type:820  
 Homol N.:0M006088b/NET  
 Serial N.:8140255032  
 Expiry:21/12/2016 5.1

Rpm Counter  
 Factory:TECNOMOTOR  
 Type:CONTRPM/D  
 Homol N.:0M00074E5T0018f  
 Serial N.:8140255032  
 Expiry:21/12/2016

Measures  
 N:0.0 %  
 K:0.00 1/m  
 Maximum:0.12 /m  
 Smokes Temp.:31 C  
 Oil T.: 80 C  
 Rpm:0 RPM

Time:16.43.41  
 Date:26/12/2019  
 #-Manual Entry

Technical Head:  
 WARJU  
 .....

TECNOMOTOR

Garage Data  
 UNS FAKULTAS TEKNIK  
 KAMPUS KETINTANG 2  
 ZIP:  
 JL. KETINTANG  
 SURABAYA  
 -  
 Tel.:031 8280009  
 Fax:-  
 e-mail:

Smokemeter  
 Factory:TECNOMOTOR  
 Type:820  
 Homol N.:0M006088b/NET  
 Serial N.:8140255032  
 Expiry:21/12/2016 5.1

Rpm Counter  
 Factory:TECNOMOTOR  
 Type:CONTRPM/D  
 Homol N.:0M00074E5T0018f  
 Serial N.:8140255032  
 Expiry:21/12/2016

Measures  
 N:0.0 %  
 K:0.00 1/m  
 Maximum:0.07 /m  
 Smokes Temp.:30 C  
 Oil T.: 80 C  
 Rpm:0 RPM

Time:16.39.30  
 Date:26/12/2019  
 #-Manual Entry

Technical Head:  
 WARJU  
 .....

TECNOMOTOR

LAMPIRAN E. Tabel Konversi Satuan Opasitas K-m<sup>-1</sup> menjadi %HSU

TABEL KORELASI K-m <sup>-1</sup> <=> % HSU								
% OPA	K (m-1)	% HSU	% OPA	K(m-1)	% HSU	% OPA	K (m-1)	% HSU
	0.00	0.0		0.50	13.8		1.00	25.6
	0.01	0.3		0.51	14.0		1.01	25.8
	0.02	0.6		0.52	14.3		1.02	26.1
	0.03	0.9		0.53	14.5		1.03	26.3
	0.04	1.2		0.54	14.8		1.04	26.5
	0.05	1.5		0.55	15.0		1.05	26.7
	0.06	1.8		0.56	15.3		1.06	26.9
	0.07	2.1		0.57	15.5		1.07	27.1
	0.08	2.3		0.58	15.8		1.08	27.4
	0.09	2.6		0.59	16.0		1.09	27.6
	0.10	2.9		0.60	16.3		1.10	27.8
	0.11	3.2		0.61	16.5		1.11	28.0
	0.12	3.5		0.62	16.8		1.12	28.2
	0.13	3.8		0.63	17.0		1.13	28.4
	0.14	4.1		0.64	17.3		1.14	28.6
	0.15	4.3		0.65	17.5		1.15	28.9
	0.16	4.6		0.66	17.7		1.16	29.1
	0.17	4.9		0.67	18.0		1.17	29.3
	0.18	5.2		0.68	18.2		1.18	29.5
	0.19	5.5		0.69	18.5		1.19	29.7
	0.20	5.7		0.70	18.7		1.20	29.9
	0.21	6.0		0.71	19.0		1.21	30.1
	0.22	6.3		0.72	19.2		1.22	30.3
	0.23	6.6		0.73	19.4		1.23	30.5
	0.24	6.9		0.74	19.7		1.24	30.7
	0.25	7.1		0.75	19.9		1.25	30.9
	0.26	7.4		0.76	20.1		1.26	31.1
	0.27	7.7		0.77	20.4		1.27	31.3
	0.28	8.0		0.78	20.6		1.28	31.5
	0.29	8.2		0.79	20.9		1.29	31.7
	0.30	8.5		0.80	21.1		1.30	31.9
	0.31	8.8		0.81	21.3		1.31	32.1
	0.32	9.0		0.82	21.6		1.32	32.3
	0.33	9.3		0.83	21.8		1.33	32.5
	0.34	9.6		0.84	22.0		1.34	32.7
	0.35	9.8		0.85	22.2		1.35	32.9
	0.36	10.1		0.86	22.5		1.36	33.1
	0.37	10.4		0.87	22.7		1.37	33.3
	0.38	10.6		0.88	22.9		1.38	33.5
	0.39	10.9		0.89	23.2		1.39	33.7
	0.40	11.2		0.90	23.4		1.40	33.9
	0.41	11.4		0.91	23.6		1.41	34.1
	0.42	11.7		0.92	23.8		1.42	34.3
	0.43	12.0		0.93	24.1		1.43	34.5
	0.44	12.2		0.94	24.3		1.44	34.7
	0.45	12.5		0.95	24.5		1.45	34.9
	0.46	12.7		0.96	24.7		1.46	35.1
	0.47	13.0		0.97	25.0		1.47	35.3
	0.48	13.2		0.98	25.2		1.48	35.5

PT. EQUIP NEXT GENERATION  
JAKARTA

## LAMPIRAN F. Standar Opasitas Mesin Diesel Stasioner

Lampiran IV B  
Peraturan Menteri Negara  
Lingkungan Hidup  
Nomor : 21 Tahun 2008  
Tanggal : 01 Desember 2008

## BAKU MUTU EMISI SUMBER TIDAK BERGERAK BAGI PLTD

No.	Parameter	Kadar Maksimum (mg/Nm <sup>3</sup> )	
		Minyak	Gas
1.	Total Partikulat	120	30
2.	Karbon Monoksida (CO)	540	500
3.	Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> ) sebagai NO <sub>2</sub>	1000	320
4.	Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	600	150
5.	Opasitas	20%	-

## Catatan :

1. Volume gas diukur dalam keadaan standar (25°C dan tekanan 1 atmosfer).
2. Opasitas digunakan sebagai indikator praktis pemantauan.
3. Semua parameter dikoreksi dengan O<sub>2</sub> sebesar 5 % dalam keadaan kering kecuali opasitas.
4. Pemberlakuan baku mutu emisi untuk 95% waktu operasi normal selama 3 (tiga) bulan.

MENTERI NEGARA  
LINGKUNGAN HIDUP,

ttd

RACHMAT WITOELAR.

Salinan sesuai dengan aslinya  
Deputi MENLH Bidang  
Penataan Lingkungan,



## LAMPIRAN G. Kalibrasi Mesin Uji Unjuk Kerja Mesin Diesel

### G.1 Tabel Perbandingan Spesifikasi Mesin Uji

No.	Spesifikasi	Mesin Uji UNEJ	Mesin Uji UGM	Perbandingan
1	Jenis Mesin Diesel	Matsumoto MDX-170 F	Nissan Diesel SD22 Series	
2	Model Mesin	Silinder Tunggal	4 Silinder	1:4
3	Diameter silinder (mm)	70	83	
4	Panjang Langkah Piston (mm)	50	100	
5	Displacement (cc)	211	2164	1:10,3
6	Volume Ruang Bakar	3500	8300	1:2,4
Total perbandingan				<b>1:97,3</b>

### G.2 Tabel Kalibrasi Mesin Uji

Kalibrasi mesin uji unjuk kerja mesin diesel dilakukan dengan membandingkan nilai torsi yang dihasilkan oleh mesin uji yang saya gunakan dengan mesin uji lainnya menggunakan variabel yang sama sebagai berikut :

- 1) Bahan bakar : - B0 (Pertadex 100%)  
- B10 (Biodiesel biji kemiri 10% + Pertadex 90%)
- 2) Putaran Mesin : 2000 Rpm

No.	Bahan Bakar	Kalibrasi	Mesin Uji UNEJ	Mesin Uji UGM	Selisih Rata-rata
1	B0	Nilai Torsi (Nm)	1,25	119,41	± 0,03
		Perbandingan (1:97,3)	1,25	1,23	
		Selisih Perbandingan	0,02		
		Persentase Tingkat Keakurasian Mesin Uji	98,59%		
2	B10	Nilai Torsi (Nm)	1,27	119,41	
		Perbandingan (1:97,3)	1,27	1,23	
		Selisih Perbandingan	0,04		
		Persentase Tingkat Keakurasian Mesin Uji	96,65 %		

G.3 Hasil Pengujian di Mesin Uji yang Berbeda

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI  
UNIVERSITAS GADJAH MADA  
Jl. Sekeloa No. 2, Yogyakarta 55281  
Telp. (0274) 831673, 8492181 Fax. (0274) 521673, 6493188

B.0

LEMBAR PENGUJIAN PERFORMANCE DIESEL NISSAN SO 22 SERIES  
No. 018 /XV/KE-UGM/2019

User: \_\_\_\_\_  
Sample: B.0  
Hari/tanggal: Selasa, 3-12-2019

Das (massa jenis bahan bakar) : gr/cc (diseuaikan dengan campuran yang diuji)  
l (panjang lengan dynamometer) : 0,358 m

No	Putaran		Udara masuk			Udara masuk			Gas buang			Awan jelingan			Pelumas		Waktu BBDC (detik)
	r (rpm)	m (kg)	P (mm Hg)	B (°C)	D (°C)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)	T <sub>4</sub> (°C)	T <sub>5</sub> (°C)	T <sub>6</sub> (°C)	Akiran (j/jam)	T <sub>1</sub> (°C)	P <sub>1</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	BBDC (detik)		
1	2500	33	745	24,8	64,0	27	31	240	29	88	400	4896	35	2	15,47		
2	2300	33,5	745	24,8	64,0	31	32	220	29	69	400	4651	2	15,53			
3	2000	34	745	24,8	64,0	23,5	32	280	29	75	400	55	2	18,32			
4	1800	34	745	24,8	64,0	19,5	33	280	29	70	400	58	2	21,08			
5	1600	33,5	745	24,8	64,0	14,5	34	240	29	73	400	58	2	24,88			

Data uji ini merupakan hasil nyata saat pengujian dan hanya berdasarkan percantoh sample yang diuji, tidak untuk diiklankan ataupun digandakan

Pelaksana Laboran/Asisten	Diteliti Kepala
<i>Nur Prabanu H.</i>	<i>[Signature]</i>

LABORATORIUM KONVERSI ENERGI  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI  
UNIVERSITAS GADJAH MADA  
Jl. Sekeloa No. 2, Yogyakarta 55281  
Telp. (0274) 831673, 8492181 Fax. (0274) 521673, 6493188

LEMBAR PENGUJIAN PERFORMANCE DIESEL NISSAN SO 22 SERIES  
No. 022 /XV/KE-UGM/2019

User: \_\_\_\_\_  
Sample: B.0 - Kamen  
Hari/tanggal: Selasa, 3-12-2019

Das (massa jenis bahan bakar) : gr/cc (diseuaikan dengan campuran yang diuji)  
l (panjang lengan dynamometer) : 0,358 m

No	Putaran		Udara masuk			Udara masuk			Gas buang			Awan jelingan			Pelumas		Waktu BBDC (detik)
	r (rpm)	m (kg)	P (mm Hg)	B (°C)	D (°C)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)	T <sub>4</sub> (°C)	T <sub>5</sub> (°C)	T <sub>6</sub> (°C)	Akiran (j/jam)	T <sub>1</sub> (°C)	P <sub>1</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	BBDC (detik)		
1	2500	37	745	24,8	64,0	27	35,5	310	29	74	400	50	2	17,42			
2	2300	33,5	745	24,8	64,0	31	34	370	29	82	400	60	2	15,70			
3	2000	34	745	24,8	64,0	24	33	360	29	76	400	60	2	18,47			
4	1800	34	745	24,8	64,0	19	34	320	29	69	400	59	2	21,15			
5	1600	33,5	745	24,8	64,0	14,5	34	270	29	73	400	60	2	25,83			

Data uji ini merupakan hasil nyata saat pengujian dan hanya berdasarkan percantoh sample yang diuji, tidak untuk diiklankan ataupun digandakan

Pelaksana Laboran/Asisten	Diteliti Kepala
<i>Nur Prabanu H.</i>	<i>[Signature]</i>

Adapun contoh perhitungan nilai torsi adalah sebagai berikut :

$$T = m \times g \times l$$

$$= 34 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,358 \text{ m}$$

$$= 119,41 \text{ Nm}$$



**LAMPIRAN H. Dokumentasi Penelitian**

Gambar 1. Instalasi alat pengujian unjuk kerja mesin diesel



Gambar 2. Proses pengujian unjuk kerja mesin diesel



Gambar 3. Proses pengambilan data pada putaran mesin 2200 rpm



Gambar 4. Pengambilan data arus listrik yang dihasilkan saat pengujian mesin diesel menggunakan bahan bakar B30 pada putaran mesin 2200 rpm



Gambar 5. Pengambilan data tegangan listrik yang dihasilkan saat pengujian mesin diesel menggunakan bahan bakar B30 pada putaran mesin 2200 rpm



Gambar 6. Proses pengujian opasitas mesin diesel

JEMBER