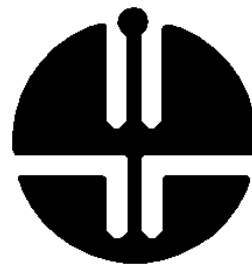


Biodiesel Sebagai Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil Pada Motor Diesel

LAPORAN RISET RISET UNGGULAN TERPADU VIII BIDANG TEKNOLOGI ENERGI

Oleh :

**Ir. Aguk Zuhdi MF, M.Eng
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**



**Kementerian Riset dan Teknologi RI
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
2003**

LEMBAR PENGESAHAN

DATA RISET

Judul Penelitian : Biodiesel Sebagai Alternatif Pengganti bahan bakar Fosil
Pada Motor Diesel
RUT : VIII / ~~IX~~ / ~~X~~
Bidang Penelitian : Teknologi Energi
Topik Penelitian : -
Program Iptek : ~~Dasar / Terapan~~ / Teknologi Produksi
Lama Penelitian : ~~1 Tahun / 2 tahun~~ / 3 tahun
Tahun Mulai Riset : 2001
Tahun Selesai Riset : 2003
Jumlah Biaya Keseluruhan : Rp. 291.198.000,-
Tahun I : Rp. 97.066.000,-
Tahun II : Rp. 97.066.000,-
Tahun III : Rp. 95.500.000,-

PENELITI UTAMA

Nama Lengkap : Ir. Aguk Zuhdi M.F., M.Eng
Tempat & Tanggal Lahir : Magetan, 19 Mei 1956
Jenis Kelamin : Laki-laki
Unit Kerja : LPPM-Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

SURAT PERJANJIAN TERAKHIR

Nomor : 14.58/SK/RUT/2003
Tanggal : 28 Januari 2003

Surabaya, 31Desember 2003

Ketua Lembaga Penelitian ITS
Penanggung Jawab

Peneliti Utama

Prof. Ir. I Nyoman Sutantra M.Sc, PhD

NIP: 130 676 233

Ir. Aguk Zuhdi M.F., M.Eng

NIP 131 646 637

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini kami ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Mentri Negara Riset dan Teknologi yang telah memberikan dana penelitian selama 3 (tiga) tahun secara bertahap. Dukungan dana ini sangat membantu terselesaikannya kegiatan long term penelitian ini hingga tuntas. Kedua kami ucapkan terimakasih kepada Ketua Panel RUT VIII Bidang Energi, Porf. Dr. Ambiyono Mangun Widjojo yang memimpin langsung pengawasan penelitian ini. Semua anggota panel RUT VIII Bidang Energi dan Ketua LPPM-ITS. Ketiga, saya juga mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan Proyek Riset Unggulan Terpadu yang telah membantu kelancaran pendanaannya. Penelitian ini tidak akan berjalan dengan baik tanpa adanya pendanaan serta system administrasi yang baik, untuk itu sekali lagi kami ucapkan banyak terimakasih kepada semua staf yang berada di Kementrian Riset dan Teknologi Republik Indonesia, Staf yang berada di Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat ITS. Ucapan terima kasih yang paling akhir kami tujukan kepada para mahasiswa Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi kelautan ITS yang dengan sukarela ikut membantu menyelesaikan penelitian ini. Kami tidak dapat membalas segala bantuan yang telah kami terima, mudah-mudahan budi baik dari semuanya yang telah membantu suksesnya penelitian ini dapat balasan yang lebih dari Allah SWT, amien.

SURABAYA, 31 DESEMBER 2003

Tim Peneliti:

Ir. Aguk Zuhdi M.F., M.Eng, Peneliti Utama

Ir. Tris Budiono M.Sc, IPM, Peneliti

Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc, Peneliti

Agus Purwanto, Teknisi

Drs. M. Suud Gani, Teknisi

Trika Pitana, ST, Teknisi

Biodiesel Sebagai Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil Pada Motor Diesel

*Aguk Zuhdi MF⁽¹⁾, Indrajaya Gerianto⁽²⁾ dan Tris Budiono⁽³⁾
⁽¹⁾⁽²⁾Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya
⁽³⁾Universitas Indonesia (UI)*

Abstrak

Motor diesel telah digunakan lebih dari satu abad, tetapi masih perlu dikembangkan dalam banyak aspek. Motor jenis ini banyak diaplikasikan dalam berbagai area karena memiliki efisiensi tinggi, ketahanan dan reliability nya lebih bagus. Ada beberapa kekurangan apabila motor diesel menggunakan bahan bakar konvensional, yang paling dominan adalah polusi udara dan partikel debu. Dengan semakin menipisnya bahan bakar fosil pada masa yang akan datang, juga merupakan sebuah tantangan untuk mencari bahan bakar alternatif.

Penelitian ini mendiskusikan secara detail tentang karakteristik dari minyak kelapa sawit dan minyak jarak sebagai bahan baku biodiesel dan proses pencampurannya. Disamping itu juga dipelajari unjuk kerja motor seperti karakteristik daya motor, kebutuhan bahan bakar spesifik, emisi gas buang dari NO_x dan partikel debu. Beberapa kelemahan methyl ester dari minyak jarak terutama tingginya viskositas dan kecilnya daya larut terhadap minyak solar telah dicarikan jalan keluar.

Penelitian ini juga memberikan informasi tentang komposisi methyl ester dari minyak jarak dan minyak sawit yang paling baik apabila dicampurkan terhadap minyak solar yang berkaitan terhadap unjuk kerja motor seperti torsi, power dan kebutuhan bahan bakar spesifik dalam berbagai variasi komposisi campuran. Beberapa informasi secara umum tentang kemungkinan penggunaan methyl ester minyak jarak dan minyak sawit pada masa yang akan datang juga telah dibahas pada akhir dari penelitian ini. Untuk memperbaiki emisi gas buang pada motor diesel dengan bahan bakar biodiesel telah dilakukan sedikit pemodifikasian pada system bahan bakar dan hasilnya NO_x dan partikel debu dapat diturunkan.

Pada akhir penelitian ini telah dilakukan pula uji ketahanan motor diesel dengan menggunakan bahan bakar biodiesel sebagai komplement minyak solar. Sebuah Chevrolet LUV-MTV-I tahun 1986, bermesin Isuzu PKD-26, empat cylinder tipe indirect injection

engine telah digunakan dalam eksperimen ini. Uji ketahanan dilakukan dengan teknik pengujian onroad sepanjang kurang lebih 3000 km di sekitar provinsi Jawa Timur dan Jawa Tengah. Hasil pengujian dibandingkan dengan pengujian minyak solar sebagai base line hasil penelitian. Berdasarkan hasil penelitian bahan bakar komposisi dari biodiesel-minyak solar berhasil menyelesaikan uji ketahanan pada 3000 km perjalanan. Unjuk kerja dan ketahanan motor diesel tidak mengalami perubahan, tetapi hasil pemeriksaan komponen motor diesel yang menggunakan bahan bakar komposisi dari biodiesel-minyak solar apabila dibandingkan dengan bahan bakar base line menunjukkan penumpukan deposit karbon yang lebih banyak pada cylinder head dan piston.

Kata kunci : *Energi alternatif, energi daur ulang, minyak jarak, minyak sawit, biodiesel, motor diesel, unjuk kerja motor, polusi udara, daya tahan motor*

Biodiesel as an Alternative Fuel to Replace Fossil Fuel of Diesel Engines

Aguk Zuhdi MF⁽¹⁾, Indrajaya Gerianto⁽²⁾ and Tris Budiono⁽³⁾
⁽¹⁾⁽²⁾Institute of Technology "Sepuluh Nopember" (ITS) Surabaya
⁽³⁾The University of Indonesia (UI)

Abstract

Diesel engines have been used for more than a century, but they still need to progress in many aspects. This kind of engine is applied in many areas, due to its high efficiency, better durability and reliability. The use of conventional fuel for diesel engines has several disadvantageous, and predominantly is air pollution and particulate matters. Scarcity of such a kind of fuel in the near future could also be one of the challenges to be tackled head on.

This research describe at length characteristics of palm and castor oil as biodiesel fuels and its blending process, along with the engine performances such as engine power characteristics, specific fuel consumption, exhaust gas emissions of NO_x, and its particulate matters. Several general disadvantageous of methyl ester of castor oil will also be outlined; especially its high viscosity and weak-solubility when it is mixed with diesel oil.

This research also delivers information on the best composition of methyl ester of castor and palm oil when it is mixed with diesel oil along with associate torque, power and specific fuel consumption for various blending compositions. Some general information on the possibility to develop the use of castor and palm oil in the future and its obstacles are conveyed at the end of this research. Due to improved exhaust gas emissions of diesel engine with biodiesel, a small modification of injection fuel system have been conducted as a result exhaust gas emissions of NO_x and particulate matters could be reduced.

At final stage of this research was conduct durability test of an engine with biodiesel as complement of diesel oil fuel. A Chevrolet LUV-MTV-I, 1986 with Isuzu-PKD-26, four cylinder indirect injections as an engine has been used of the experiment. Under on the road technique the engine has been durability tested with about 3000 km at surrounding Provinces of East and Middle of Java. The test results are compared to a base line test using diesel oil. Based on the result, the biodiesel-diesel oil blend successfully completed

3000 km durability test. Performance and durability of the engine did not change. However, the engine inspection after the biodiesel-diesel oil blend test as compared to the diesel oil test showed: there was more carbon deposit in the piston crowns and the cylinder heads.

Key words: *Alternative energy, renewable energy, castor oil, palm oil, biodiesel, diesel engine, engine performance, air pollution, durability engine*

DAFTAR ISI

	Hal
UCAPAN TERIMA KASIH	iii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GRAFIK	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
Bab I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.	3
1.3. Pendekatan Masalah	3
1.4. Hipotesa.	4
1.5. Metode Riset	5
1.6. Arti Penting Riset	5
Bab II PAPER REVIEW	7
2.1. Biodiesel Overview	7
2.1.1. Properties Biodiesel.	10
2.1.2. Blending Rules For Formulating Biodiesel Fuel	11
2.1.3. Performance Biodiesel	12
2.2. Minyak Jarak.	13
2.2.1. Sifat kimia dan fisika minyak jarak.	14
2.2.2. Prospek minyak jarak sebagai biodiesel di Indonesia.	16
2.2.3. Masalah-masalah dengan penggunaan minyak jarak.	18
2.3. Esterifikasi.	19
2.3.1. Esterifikasi Type Batch.	19
2.3.2. Proses esterifikasi	20
2.4. Engine performance.	21
2.5. Durability	22
Bab III METODOLOGI	25
3.1. Metodologi pada tahap pertama.	25

3.1.1	Analisa data	30
3.1.2.	Mengambil kesimpulan dan diskusi yang dikembangkan.	31
3.2.	Tahap kedua.	32
3.2.1.	Analisa data tahap kedua	33
3.2.2.	Mengambil kesimpulan dan diskusi yang dikembangkan pada tahap kedua.	34
3.3.	Tahap ketiga.	35
3.3.1.	Analisa data tahap ketiga	35
3.3.2.	Kesimpulan dan diskusi yang dikembangkan pada tahap ketiga.	36
Bab IV	PRODUK DAN KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR	38
4.1.	Produksi Biodiesel	38
4.2.	Karakteristik Biodiesel	42
4.3.	Blending biodiesel dengan Minyak Solar dan Minyak Diesel	43
Bab V	UNJUK KERJA MOTOR DIESEL STANDARD	45
5.1.	Daya Engine	45
5.2.	Torsi	46
5.3.	Kebutuhan bahan Bakar Spesifik.	47
5.4.	NO _x	49
5.5.	SPM	51
5.6.	BSNO _x DAN BSPM	53
5.7.	Pembahasan	55
Bab VI	UNJUK KERJA MOTOR DIESEL DENGAN MODIFIKASI	61
6.1.	Unjuk Kerja Motor Diesel.	61
6.2.	Emisi Gas Buang	62
Bab VII	UJI DURABILITY MOTOR DIESEL	64
7.1.	Kinerja Motor diesel selama uji durability	65
7.2.	Ketahanan Motor Diesel	67
7.3.	Tingkat Kerusakan Motor diesel.	69
Bab VIII	PEMBAHASAN	72
8.1.	Pembahasan Pengaruh Modifikasi Terhadap Unjuk Kerja Motor Diesel	72
8.2.	Pembahasan Karakteristik Biodiesel Karakteristik Biodiesel	73
8.3.	Pembahasan Unjuk Kerja Diesel Engine	75
8.4.	Pembahasan Pengaruh Modifikasi Terhadap Unjuk Kerja Motor Diesel	77

8.5. Pembahasan Pembahasan terhadap uji durability.	78
Bab IX KESIMPULAN DAN SARAN	81
Daftar Pustaka	83
Lampiran	87

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 . Skema pemrosesan bio diesel dari minyak atau lemak	9
Gambar 2.2. Tidak ada bahan yang tersisa dari proses tersebut. (<i>National Biodiesel Board</i>)	9
Gambar 3.1. Flowchart metodologi penelitian.	25
Gambar 3.2. Desain unit esterifikasi.	27
Gambar 3.3. Skema Pengujian motor diesel.	29
Gambar 3.4. Flow chart dari metode penelitian	34
Gambar 3.5. Flow chart dari metode penelitian step 3	37
Gambar 4.1. Skema unit transesterifikasi	88
Gambar 4.2. Tahapan proses esterifikasi	105
Gambar 4.3. Bio-diesel sebelum dicuci	105
Gambar 4.4. Bio-diesel sesudah dicuci	105
Gambar 4.5. Prototype unit esterifikasi type batch	105
Gambar 7.1. Kondisi klep pada saat awal sebelum dipakai pengujian	148
Gambar 7.2. Kondisi klep pada saat sesudah dipakai ketika menggunakan bahan bakar solar	148
Gambar 7.3. Kondisi klep pada saat sesudah dipakai ketika menggunakan bahan bakar CME:PME:MS	148
Gambar 7.4. Kondisi cylinder liner pada saat awal sebelum dipakai pengujian	149
Gambar 7.5. Kondisi cylinder liner pada saat sesudah dipakai ketika menggunakan bahan bakar solar	149
Gambar 7.6. Kondisi cylinder liner pada saat sesudah dipakai ketika menggunakan bahan bakar CME:PME:MS	149
Gambar 7.7. Kondisi permukaan piston pada saat awal sebelum dipakai pengujian	150
Gambar 7.8. Kondisi permukaan piston pada saat sesudah dipakai ketika menggunakan bahan bakar solar	150
Gambar 7.9. Kondisi permukaan piston pada saat sesudah dipakai ketika menggunakan bahan bakar CME:PME:MS	150
Gambar 7.10. Kondisi nozzle pada saat awal sebelum dipakai pengujian	151
Gambar 7.11. Kondisi nozzle pada saat sesudah dipakai ketika menggunakan	

bahan bakar solar	151
Gambar 7.12. Kondisi nozzle pada saat sesudah dipakai ketika menggunakan	
bahan bakar CME:PME:MS	151
Gambar 7.13. Kondisi cylinder head pada saat awal sebelum dipakai pengujian	152
Gambar 7.14. Kondisi cylinder head pada saat sesudah dipakai ketika	
menggunakan bahan bakar solar	152
Gambar 7.15. Kondisi cylinder head pada saat sesudah dipakai ketika menggunakan	
bahan bakar CME:PME:MS	152
Gambar 7.16. Kondisi cylinder head pada saat awal sebelum dipakai pengujian	153
Gambar 7.17. Kondisi cylinder head pada saat sesudah dipakai ketika	
menggunakan bahan bakar solar	153
Gambar 7.18. Kondisi cylinder head pada saat sesudah dipakai ketika menggunakan	
bahan bakar CME:PME:MS	153
Gambar 7.19. Kondisi sheel klep pada piston no.1	154
Gambar 7.20. Kondisi sheel klep pada piston no.2	154
Gambar 7.21. Kondisi sheel klep pada piston no.3	154
Gambar 7.22. Kondisi sheel klep pada piston no.4	155

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1. Perbandingan sifat fisika minyak jarak dari cara perolehannya (Effendi, Lembaran Lemigas, 1982)	16
Tabel 3.1 Karakteristik Bahan Bakar Minyak Pertamina	95
Tabel 3.2. Karakteristik Bahan Bakar Biodiesel	96
Tabel 3.3. Data hasil percobaan Pra-eksperimen	97
Tabel 3.4. Perhitungan hasil percobaan Pra-eksperimen	98
Tabel 3.5. Spesifikasi dari Biodiesel murni	100
Tabel 4.1. Karakteristik bahan bakar solar dan pencampurannya dengan CME dan PME	106
Tabel 4.2. Karakteristik bahan bakar minyak diesel dan pencampurannya dengan CME dan PME	106
Tabel 5.1. Solar Murni (B00) 1300 rpm	132
Tabel 5.2. Solar murni (B00) 1400 rpm	132
Tabel 5.3. CME 10 % 1300 rpm	133
Tabel 5.4. CME 10 % 1400 rpm	133
Tabel 5.5. CME 20 % 1300 rpm	133
Tabel 5.6. CME 20 % 1400 rpm	133
Tabel 5.7. CME 100 % 1300 rpm	134
Tabel 5.8. CME 100 % 1400 rpm	134
Tabel 5.9. PME 10 % 1300 rpm	134
Tabel 5.10. PME 10 % 1400 rpm	134
Tabel 5.11. PME 20 % 1300 rpm	135
Tabel 5.12. PME 20 % 1400 rpm	135
Tabel 5.13. PME 100 % 1300 rpm	135
Tabel 5.14. PME 100 % 1400 rpm	135
Tabel 7.1. Sifat-sifat kimia dan fisika minyak solar dan campuran dari CME:PME:MS	155
Tabel 7.2. Hasil durability dengan bahan bakar minyak solar	156
Tabel 7.3. Hasil durability dengan bahan bakar CME:PME:MS = 5:5:90	156
Tabel 7.4. Deposit karbon pada bagian-bagian ruang bakar dengan bahan bakar minyak solar dan campuran dari CME:PME:MS	157
Tabel 7.5. Sifat-sifat fisika dan kimia dari minyak pelumas bekas	157

DAFTAR GRAFIK

	Hal
Grafik 3.1. Daya Vs sfoc hasil pra-eksperimen	98
Grafik 4.1. Input proses esterifikasi minyak sawit	104
Grafik 4.2. Output proses esterifikasi minyak sawit	104
Grafik 4.1. Input proses esterifikasi minyak jarak	104
Grafik 4.2. Output proses esterifikasi minyak jarak	104
Grafik 5.1. Sfoc Vs Daya dengan bahan bakar minyak solar (B 00)	107
Grafik 5.2. Sfoc Vs Daya dengan bahan bakar B 10 PME	107
Grafik 5.3. Sfoc Vs Daya dengan bahan bakar B 20 PME	108
Grafik 5.4. Sfoc Vs Daya dengan bahan bakar B 100 PME	108
Grafik 5.5. Sfoc Vs Daya dengan variasi komposisi PME pada putaran 1300 rpm.	109
Grafik 5.6. Sfoc Vs Daya dengan variasi komposisi PME pada putaran 1400 rpm.	109
Grafik 5.7. Sfoc Vs Daya dengan bahan bakar B 10 CME	110
Grafik 5.8. Sfoc Vs Daya dengan bahan bakar B 20 CME	110
Grafik 5.9. Sfoc Vs Daya dengan bahan bakar B 100 CME	111
Grafik 5.10. Sfoc Vs Daya dengan variasi komposisi CME pada putaran 1300 rpm.	111
Grafik 5.11. Sfoc Vs Daya dengan variasi komposisi CME pada putaran 1400 rpm.	112
Grafik 5.12. Sfoc Vs Daya dengan variasi campuran 10% pada putaran 1300 rpm.	112
Grafik 5.13. Sfoc Vs Daya dengan variasi campuran 10% pada 1400 rpm.	113
Grafik 5.14. Sfoc Vs Daya dengan variasi campuran 20% pada 1300 rpm.	113
Grafik 5.15. Sfoc Vs Daya dengan variasi campuran 20% pada 1400 rpm.	114
Grafik 5.16. Sfoc Vs Daya dengan variasi 100% pada 1300 rpm.	114
Grafik 5.17. Sfoc Vs Daya dengan variasi 100% pada 1400 rpm.	115
Grafik 5.18. Nox Vs Load dengan bahan bakar B 100.	115
Grafik 5.19. SPM Vs Load dengan bahan bakar B 00.	116
Grafik 5.20. Nox Vs Load dengan bahan bakar PME 100.	116
Grafik 5.21. SPM Vs Load dengan bahan bakar PME B 100.	117
Grafik 5.22. Nox Vs Load dengan bahan bakar CME B 100.	117
Grafik 5.23. SPM Vs Load dengan bahan bakar CME B 100.	118
Grafik 5.24. Nox Vs Load dengan bahan bakar CME B10.	118
Grafik 5.25. SPM Vs Load dengan bahan bakar CME B10.	119
Grafik 5.26. Nox Vs Load dengan bahan bakar PME B10.	119

Grafik 5.27. SPM Vs Load dengan bahan bakar PME B10.	120
Grafik 5.28. Nox Vs Load dengan bahan bakar CME B20.	120
Grafik 5.29. SPM Vs Load dengan bahan bakar CME B20.	121
Grafik 5.30. Nox Vs Load dengan bahan bakar PME B20.	121
Grafik 5.31. SPM Vs Load dengan bahan bakar PME B20.	122
Grafik 5.32. Nox Vs Load dengan bahan bakar B100 pada putaran 1300 rpm.	122
Grafik 5.33. SPM Vs Load dengan bahan bakar B100 pada putaran 1300 rpm.	123
Grafik 5.34. Nox Vs Load dengan bahan bakar B100 pada putaran 1400 rpm.	123
Grafik 5.35. SPM Vs Load dengan bahan bakar B100 pada putaran 1400 rpm.	124
Grafik 5.36. NOx Vs Load dengan bahan bakar B20 pada putaran 1300 rpm.	124
Grafik 5.37. SPM Vs Load dengan bahan bakar B2100 pada putaran 1300 rpm.	125
Grafik 5.38. NOx Vs Load dengan bahan bakar B20 pada putaran 1400 rpm.	125
Grafik 5.39. SPM Vs Load dengan bahan bakar B20 pada putaran 1400 rpm.	126
Grafik 5.40. Nox Vs Load dengan bahan bakar B10 pada putaran 1300 rpm.	126
Grafik 5.41. SPM Vs Load dengan bahan bakar B10 pada putaran 1300 rpm.	127
Grafik 5.42. NOx Vs Load dengan bahan bakar B10 pada putaran 1400 rpm.	127
Grafik 5.43. SPM Vs Load dengan bahan bakar B10 pada putaran 1400 rpm.	128
Grafik 5.44. NOx Vs Load dengan variasi CME 1300 rpm.	128
Grafik 5.45. SPM Vs Load dengan variasi CME pada putaran 1300 rpm.	129
Grafik 5.46. NOx Vs Load dengan variasi CME pada putaran 1400 rpm.	129
Grafik 5.47. SPM Vs Load dengan variasi CME pada putaran 1400 rpm.	130
Grafik 5.48. NOx Vs Load dengan variasi PME 1300 rpm.	130
Grafik 5.49. SPM Vs Load dengan dengan variasi PME pada putaran 1400 rpm.	131
Grafik 5.50. NOx Vs Load dengan variasi pada putaran 1400 rpm.	131
Grafik 5.51. SPM Vs Load dengan variasi pada putaran 1300 rpm.	132
Grafik 6.1. Tekanan ruang bakar dari BDF 10% dengan variasi pembebanan pada injection timing –10.	136
Grafik 6.2. Tekanan ruang bakar dari BDF 20% dengan variasi pembebanan pada injection timing –10.	136
Grafik 6.3. Tekanan ruang bakar dari BDF 50% dengan variasi pembebanan pada injection timing –10.	137
Grafik 6.4. Tekanan ruang bakar dari BDF 10% dengan variasi pembebanan pada injection timing –8.	137

Grafik 6.5. Tekanan ruang bakar dari BDF 20% dengan variasi pembebanan pada injection timing –8.	138
Grafik 6.6. Tekanan ruang bakar dari BDF 50% dengan variasi pembebanan pada injection timing –8.	138
Grafik 6.7. Tekanan ruang bakar pada injection timing –10 dengan variasi bahan bakar.	139
Grafik 6.8. Tekanan ruang bakar pada injection timing –8 dengan variasi bahan bakar.	139
Grafik 6.9. Tekanan ruang bakar dari Gas Oil dengan variasi injection timing.	140
Grafik 6.10. Tekanan ruang bakar dari BDF 10 % dengan variasi injection timing	140
.Grafik 6.11. Tekanan ruang bakar dari BDF 20% dengan variasi injection timing	141
.Grafik 6.12. Tekanan ruang bakar dari BDF 50%dengan variasi injection timing	141
.Grafik 6.13. NO _x emission vs Load dengan variasi bahan bakar pada injection timing –10.	142
Grafik 6.14. Partikel Smoke vs Load dengan variasi bahan bakar pada injection timing –10.	142
Grafik 6.15. NO _x emission vs Load dengan variasi bahan bakar pada injection timing –8.	143
Grafik 6.16. Partikel Smoke vs Load dengan variasi bahan bakar pada injection timing –8	143
Grafik 6.17. NO _x emission vs Load pada Gas oil dengan variasi injection timing.	144
Grafik 6.18. Partikel Smoke vs Load pada Gas oil dengan variasi injection timing.	144
Grafik 6.19. NO _x emission vs Load pada BDF 10% dengan variasi injection timing.	145
Grafik 6.20. Partikel Smoke vs Load pada BDF 10% dengan variasi injection timing.	145
Grafik 6.21. NO _x emission vs Load pada BDF 20% dengan variasi injection timing.	146
Grafik 6.22. Partikel Smoke vs Load pada BDF 20% dengan variasi injection timing.	146
Grafik 6.23. NO _x emission vs Load pada BDF 50%dengan variasi injection timing.	147
Grafik 6.24. Partikel Smoke vs Load pada BDF 50% dengan variasi injection timing.	147

DAFTAR LAMPIRAN

	Hal
Lampiran I	87
Desain unit transesterifikasi type batch	
Lampiran II	89
Proses pembuatan metil ester dengan unit transesterifikasi type batch.	
Lampiran III	92
Formula untuk menghitung karakteristik Bxx menurut clement	
Lampiran IV	94
Pelaksanaan percobaan	
Lampiran V	100
Range spesifikasi karakteristik Biodiesel (B100)	
(Hasil Pengujian Mengacu Pada Prosedure Astm)	
Lampiran VI	101
Pengolahan data	
Lampiran VII	104
Gambar proses esterifikasi	
Lampiran VIII	107
Hasil unjuk kerja	
Lampiran IX	137
Datagraph modifikasi engine	
Lampiran X	149
Hasil uji durability	
Lampiran XI	
Karya ilmiah yang diterbitkan	158