



**ANALISIS KINERJA DAN EMISI GAS BUANG  
BIODIESEL DARI MINYAK KEMIRI SUNAN  
SEBAGAI BAHAN BAKAR TERBARUKAN**

Oleh:  
**Slamet Supriyadi**  
NIM 30000214510002

SEKOLAH PASCASARJANA

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU LINGKUNGAN  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
2021**

**Halaman Penjelasan Judul**

**ANALISIS KINERJA DAN EMISI GAS BUANG  
BIODIESEL DARI MINYAK KEMIRI SUNAN  
SEBAGAI BAHAN BAKAR TERBARUKAN**

Disertasi  
Untuk memperoleh gelar Doktor  
dalam Ilmu Lingkungan pada Universitas Diponegoro

Untuk dipertahankan di hadapan  
Dekan Sekolah Pascasarjana  
dan Tim Penguji pada Ujian Tertutup Disertasi  
Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro  
pada tanggal dua puluh satu bulan Desember tahun Dua ribu dua puluh satu pukul  
tiga belas WIB.

**SEKOLAH PASCASARJANA**

Oleh:  
**Slamet Supriyadi**  
**NIM 30000214510002**  
Lahir di Banjarnegara, 28 Desember 1959

Halaman Pengesahan

**ANALISIS KINERJA DAN EMISI GAS BUANG BIODIESEL DARI  
MINYAK KEMIRI SUNAN SEBAGAI BAHAN  
BAKAR TERBARUKAN**

Oleh:  
**Slamet Supriyadi**  
**NIM 30000214510002**

Telah diuji dan dinyatakan lulus ujian pada tanggal Dua puluh satu Bulan  
Desember Tahun Dua ribu dua puluh satu oleh tim penguji Program  
Studi Doktor Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana  
Universitas Diponegoro.

Promotor

Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA

Tanggal: .....

Ko Promotor I

Ko Promotor II

Dr. Ir. Hermawan, DEA

Prof. Dr. Ir. Didi Dwi Anggoro, M.Eng.

Tanggal: .....

Tanggal: .....

Mengetahui,

Dekan  
Sekolah Pascasarjana  
Universitas Diponegoro

Ketua Program Studi  
Doktor Ilmu Lingkungan  
Sekolah Pascasarjana  
Universitas Diponegoro

Dr. R.B. Sularto, S.H., M.Hum.  
NIP. 196701011991031005

Dr. Budi Warsito, SSi.,MSi.  
NIP. 197508241999031003

Halaman Persetujuan

**ANALISIS KINERJA DAN EMISI GAS BUANG BIODIESEL DARI  
MINYAK KEMIRI SUNAN SEBAGAI BAHAN  
BAKAR TERBARUKAN**

Oleh:  
**Slamet Supriyadi**  
**NIM 30000214510002**

Telah disetujui oleh:

Pimpinan Sidang:

Prof. Dr. Ir. Hadiyanto, ST., MSc., IPU., ASEAN Eng.  
(Ketua Sidang/Penguji) .....

Dr. Budi Warsito, S.Si., M.Si.  
(Sekretaris Sidang/Penguji/Prodi Doktor Ilmu Lingkungan).....

Anggota Tim Penguji:

Prof. Dr. Ir. Harwin Saptoadi, MS. E., IPU., ASEAN Eng.  
Penguji Eksternal (Universitas Gajahmada) .....

Prof. Dr. Widayat, ST., MT  
Penguji 1 (Fakultas Teknik Universitas Diponegoro) .....

Prof. Ir. Didi Dwi Anggoro, M. Eng., PhD  
Ko Promotor 2 (Fakultas Teknik Universitas Diponegoro) .....

Dr. Ir. Hermawan, DEA  
Ko Promotor 1 (Fakultas Teknik Universitas Diponegoro) .....

Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA  
Promotor (Fakultas Teknik Universitas Diponegoro) .....

## Pernyataan Orisinalitas

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Slamet Supriyadi  
NIM : 30000214510002  
Mahasiswa : Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan  
Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro

Dengan ini menyatakan bahwa:

- 1) Disertasi yang berjudul “**Analisis Kinerja Dan Emisi Gas Buang Biodiesel Dari Minyak Kemiri Sunan Sebagai Bahan Bakar Terbarukan**” adalah merupakan karya ilmiah yang belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (Doktor) di perguruan tinggi manapun.
- 2) Disertasi ini adalah ide, rumusan dan hasil penelitian penulis sendiri, yang dilakukan tanpa bantuan orang lain, kecuali Tim Promotor dan Tim Penguji.
- 3) Disertasi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan judul aslinya serta dicantumkan dalam daftar pustaka.
- 4) Pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah saya peroleh dan sanksi lain sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Diponegoro.

Semarang, 21 Desember 2021

Yang Membuat Pernyataan,

SEKOLAH PASCASARJANA

Meterai 10.000

Slamet Supriyadi

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji dan rasa syukur kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala, Tuhan Yang Maha Suci dan Maha Tinggi, Tuhan Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, berkat RidhoNya Alhamdulillah akhirnya penulis dapat menyelesaikan disertasi yang berjudul **“Analisis Kinerja Dan Emisi Gas Buang Biodiesel Dari Minyak Kemiri Sunan Sebagai Bahan Bakar Terbarukan”** yang diajukan sebagai syarat akademik guna memperoleh gelar Doktor pada Program Doktor Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro.

Proses penyelesaian disertasi ini telah melibatkan banyak pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung, baik perorangan maupun lembaga yang telah memberikan banyak kontribusi terhadap penyelesaian penyusunan disertasi ini. Untuk itu, dalam kesempatan ini penulis sampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Promotor Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA., Ko Promotor 1 Dr. Ir. Hermawan, DEA dan Ko Promotor 2 Prof. Ir. Didi Dwi Anggoro, M. Eng., PhD., yang senantiasa sabar memberikan saran, bimbingan, dan nasehatnya sejak penyusunan proposal hingga penyusunan disertasi;
2. Ketua YPLP PT PGRI Semarang, Rektor dan wakil Rektor Universitas PGRI Semarang yang telah memberikan kesempatan, ijin dan bantuan pembiayaan selama penulis studi lanjut S3;
3. Dr. R.B. Sularto, S.H., M. Hum, Dekan Sekolah Pascasarjana dan para Asisten Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro;

4. Dr. Budi Warsito, SSI, MSi, Ketua Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang, segenap staf pengajar dan staf pengelola Program Doktor Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang, mbak Andri, mbak Eka, mas Adi;
5. Prof. Dr.Ing. Ir. Harwin Saptoadi, M.SE dan Prof. Dr. Widayat ST. MT, sebagai penguji, yang telah banyak memberikan masukan yang berguna untuk perbaikan dan penyempurnaan naskah disertasi;
6. Dr. Hartuti Purnaweni MPA, mantan Ketua Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan, penguji dan Dosen wali, yang telah memberikan dorongan dan bimbingan;
7. Dr. Ing Sudarno, MT, penguji dan sekretaris Progran Studi Doktor Ilmu Lingkungan yang telah banyak memberikan dorongan dan bimbingan;
8. Istri, dr. Desiana Indriyani, anak: dr. Tania Prima Auladina dan Tatra Prima Baladina, ST., yang menjadi inspirasi untuk terus selalu belajar;
9. Ir. Ronny Windu Sudrajat, MT (alm), Eko, Tri Ary, Galeh, Soleh yang banyak berkontribusi selama proses pengumpulan data di laboratorium;
10. Teman-teman dosen dan karyawan di Fakultas Teknik dan Informatika Universitas PGRI Semarang;
11. Teman-teman DIL 8 yang selalu saling menyemangati hingga terselesaikannya disertasi ini;
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak berperan terhadap penyelesaian disertasi ini.

Penulis sangat sadar adanya keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis, namun penulis berharap bahwa disertasi ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan, masyarakat dan bangsa Indonesia.



SEKOLAH PASCASARJANA



## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
Halaman Penjelasan Judul .....	ii
Lembar Pengesahan .....	iii
Halaman Persetujuan .....	iv
Pernyataan Orisinalitas .....	v
Kata Pengantar .....	vi
Daftar Isi.....	ix
Daftar Tabel .....	xiii
Daftar Gambar .....	xv
Daftar Lampiran .....	xviii
Daftar Singkatan .....	xix
Daftar Simbol .....	xxii
Daftar Istilah/ <i>Glossary</i> .....	xxiii
Abstrak / <i>Abstract</i> .....	xxix
Ringkasan / <i>Summary</i> .....	xxxii
<b>BAB I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Perumusan Masalah .....	9
C. Orisinalitas Penelitian .....	10
D. Tujuan Penelitian .....	32
E. Manfaat Penelitian .....	33
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>35</b>
A. Pembangunan Berkelanjutan .....	35
B. Kemiri Sunan sebagai Biodiesel .....	37
1. Morfologi tanaman Kemiri Sunan .....	37
2. Metode Pembuatan Biodiesel Kemiri Sunan .....	44
3. Life Cycle Assesment (LCA) Produksi Biodiesel .....	50
C. Motor Diesel Pembakaran Dalam .....	52

1. Prinsip Kerja Motor Diesel.....	52
2. Parameter Motor .....	55
3. Parameter Pembakaran dan Pelepasan Kalor .....	60
4. Emisi Gas Buang Motor Diesel .....	64
D. Bahan Bakar Motor Diesel .....	76
1. Properti bahan bakar Solar.....	76
2. Macam Bahan Bakar Motor Diesel.....	77
3. Sifat Mutu Pembakaran .....	79
4. Biodiesel .....	86
E. Kinerja dan Emisi Biodiesel .....	88
<b>BAB III. KERANGKA TEORI, KERANGKA KONSEP DAN</b>	
<b>HIPOTESIS</b> .....	102
A. Kerangka Teori .....	102
B. Kerangka Konsep.....	104
C. Hipotesis .....	105
<b>BAB IV. METODE PENELITIAN</b> .....	107
A. Tempat Penelitian.....	107
B. Desain Penelitian .....	107
1. Variabel Penelitian .....	107
2. Definisi Konseptual Variabel .....	109
3. Definisi Operasional Variabel.....	110
C. Materi Penelitian .....	110
1. Proses Produksi Biodiesel .....	110
2. Pengujian Biodiesel Pada Motor Diesel .....	118
D. Teknik pengumpulan data .....	129
1. Metode pengumpulan data .....	129
2. Jenis Data .....	130
E. Alur Penelitian .....	131
F. Pengolahan dan analisis data .....	134
<b>BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	152

A. Karakteristik fisika dan kimia biodiesel dari minyak Kemiri Sunan .....	152
1. Pengolahan dan analisis data .....	152
2. Pembahasan .....	167
B. Kinerja biodiesel dari minyak Kemiri Sunan yang dicampur dengan minyak Solar dengan beberapa variasi campuran terhadap Daya, Torsi dan Konsumsi bahan bakar spesifik dari motor diesel .....	181
1. Daya dan Torsi .....	182
2. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik/ Brake Specific Fuel Consumption (BSFC) .....	194
C. Kinerja biodiesel dari minyak Kemiri Sunan yang dicampur dengan minyak Solar dengan beberapa variasi campuran terhadap emisi gas buang (CO <sub>2</sub> , CO, Nox, HC dan opasitas) dari motor diesel .....	199
1. Opasitas/Opacity .....	199
2. Emisi CO <sub>2</sub> .....	203
3. Emisi CO .....	210
4. Emisi NO <sub>x</sub> .....	215
5. Emisi HC .....	222
<b>BAB VI. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI</b>	
A. KESIMPULAN .....	226
1. Karakteristik fisika dan kimia biodiesel dari minyak Kemiri Sunan yang dihasilkan dari proses reaksi dengan menggunakan beberapa macam konsentrasi katalis NaOH dan beberapa suhu reaksi .....	226
2. Kinerja biodiesel dari minyak Kemiri Sunan yang dicampur dengan minyak Solar (dexlite) dengan beberapa variasi campuran terhadap Daya, Torsi dan Konsumsi bahan bakar spesifik dari motor diesel .....	227
3. Kinerja biodiesel dari minyak Kemiri Sunan yang dicampur dengan minyak Solar (dexlite) dengan beberapa variasi	

campuran terhadap emisi gas buang (CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , HC dan opasitas) dari motor diesel .....	228
B. REKOMENDASI .....	230
DAFTAR PUSTAKA .....	231
DAFTAR LAMPIRAN .....	247



SEKOLAH PASCASARJANA

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penelitian Pembuatan Biodiesel Terdahulu Yang Terkait .....	11
Tabel 2. Penelitian Pengujian Bahan bakar Terdahulu Yang Terkait .....	19
Tabel 3. Sifat Fisika Kimia Minyak Mentah dari biji Kemiri Sunan .....	48
Tabel 4. Sifat Fisika Kimia Minyak Biodiesel dari Minyak Kemiri Sunan ...	49
Table 5. Polutan Pada Gas Buang Motor Diesel dan Asalnya .....	69
Tabel. 6. Karakteristik Fisika dan Kimia Biodiesel .....	87
Tabel 7. Perbandingan Kinerja Biodiesel Pada Motor diesel .....	100
Tabel 8. Perbandingan Emisi Gas Buang Biodiesel .....	100
Tabel 9. Variabel, Metode Pengukuran dan Satuan .....	110
Tabel 10. Karakteristik Minyak Kasar Kemiri Sunan .....	114
Tabel 11. Komposisi Campuran Dexlite dan Biodiesel Kemiri Sunan .....	125
Tabel 12. Jenis data Karakteristik biodiesel Kemiri Sunan .....	130
Tabel 13. Jenis data Kinerja motor diesel.....	130
Tabel 14. Jenis data Emisi gas buang .....	131
Tabel 15. Rancangan Percobaan karakteristik Biodesel suhu 60° .....	139
Tabel 16. Rancangan Percobaan karakteristik Biodesel suhu 70° .....	140
Tabel 17. Rancangan Percobaan kinerja Motor Diesel (dexlite) .....	141
Tabel 18. Rancangan Percobaan kinerja Motor Diesel (B10) .....	142
Tabel 19. Rancangan Percobaan kinerja Motor Diesel (B20) .....	143
Tabel 20. Rancangan Percobaan kinerja Motor Diesel (B30) .....	144
Tabel 21. Rancangan Percobaan kinerja Motor Diesel (Biosolar) .....	145
Tabel 22. Rancangan Percobaan Emisi Gas buang Motor Diesel (Dexlite)	146
Tabel 23. Rancangan Percobaan Emisi Gas buang Motor Diesel (B10) .....	147
Tabel 24. Rancangan Percobaan Emisi Gas buang Motor Diesel (B20) .....	148
Tabel 25. Rancangan Percobaan Emisi Gas buang Motor Diesel (B30) .....	149
Tabel 26. Rancangan Percobaan Emisi Gas buang Motor Diesel (Biosolar)	150
Tabel 27. General conversion (gr/KWH) to PPM atau % .....	151
Tabel 28. Karakteristik biodiesel pada suhu reaksi 60° Celcius .....	152

Tabel 29 Karakteristik biodiesel pada suhu reaksi 70° Celcius .....	153
Tabel 30. Test efek antar Subjek .....	156
Tabel 31. Uji komparasi ganda Persentase Katalis (NaOH) .....	158
Tabel 32. Karakteristik Fisika dan Kimia bahan bakar diesel .....	181
Tabel 33. Data Pengujian Daya dan Torsi .....	182
Tabel 34. Tes Multivariate .....	184
Tabel 35 Uji Komparasi ganda .....	195
Tabel 36 data deskripsi Opasitas .....	199
Tabel 37 Uji komparasi ganda .....	200
Tabel 38. Data Emisi CO <sub>2</sub> (g/kWh) .....	203
Tabel 39 Varian dua arah tanpa replika .....	204
Tabel 40 Analisa perbedaan antar kategori RPM .....	205
Tabel 41. Analisa perbedaan antar kategori Bahan bakar.....	206
Tabel 42 Emisi CO .....	210
Tabel 43 Emisi NO <sub>x</sub> .....	215
Tabel 44. Varian dua arah tanpa replica .....	216
Tabel 45. Analisa perbedaan antar kategori RPM .....	216
Tabel 46. Emisi HC .....	222

SEKOLAH PASCASARJANA

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bauran Energi Tahun 2020.....	2
Gambar 2. Konsumsi energi per jenis tahun 2019 .....	3
Gambar 3. Pemanfaatan Energi Terbarukan di Indonesia .....	4
Gambar 4. Tajuk pohon Kemiri Sunan Muda .....	40
Gambar 5. Tajuk pohon Kemiri Sunan Tua .....	40
Gambar 6. Daun muda Kemiri Sunan .....	40
Gambar 7. Daun tua Kemiri Sunan .....	41
Gambar 8. Bunga Kemiri Sunan .....	41
Gambar 9. Buah Kemiri Sunan .....	41
Gambar 10. Diagram alir Ekstraksi biji buah Kemiri Sunan .....	45
Gambar 11. Diagram Pembuatan Biodiesel dari minyak Kemiri Sunan .....	46
Gambar 12. Diagram Macam macam Katalis .....	47
Gambar 13. Proses kimia pembuatan biodiesel .....	48
Gambar 14 Biodiesel Kemiri Sunan .....	49
Gambar 15 Batasan LCA Biodiesel .....	52
Gambar 16. Siklus Kerja Motor Diesel 4 langkah .....	54
Gambar 17. Geometri Motor Pembakaran .....	56
Gambar 18 Skema Kerja Dynamometer .....	57
Gambar 19. Api Difusi .....	64
Gambar 20. Korelasi antara NOx dengan CO .....	66
Gambar 21. Efek Rumah Kaca .....	74
Gambar 22. Kerangka Teori.....	103
Gambar 23. Kerangka Konsep .....	104
Gambar 24. Timbangan digital .....	112
Gambar 25. Labu leher tiga.....	112
Gambar 26. Penimbangan NaOH .....	113
Gambar 27. Minyak Kemiri sunan .....	113
Gambar 28. Pengadukan NaOH .....	113

Gambar 29. Katalis NaOH.....	113
Gambar 30. Alat ukur .....	114
Gambar 31 Reaktor .....	114
Gambar 32 Bahan penelitian .....	115
Gambar 33 Proses <i>degumming</i> .....	116
Gambar 34 Hasil esterifikasi .....	118
Gambar 35 Hasil Transesterifikasi .....	122
Gambar 36 Motor Diesel Isuzu .....	122
Gambar 37 Buret bahan bakar .....	123
Gambar 38 Dinamometer Control Panel.....	123
Gambar 39 Opacity meter .....	123
Gambar 40 Gas analyser .....	124
Gambar 41 Diagram proses Pengujian .....	133
Gambar 42 Alur Ekperimen Pengujian biodiesel .....	167
Gambar 42. Diagram Yield .....	169
Gambar 43. Diagram angka asam .....	172
Gambar 44. Diagram Angka Penyabunan .....	173
Gambar 45. Diagram Nilai Kalor .....	175
Gambar 46. Diagram Densitas .....	177
Gambar 47. Diagram Viskositas.....	179
Gambar 48 diagram Angka Setana .....	180
Gambar 49 Diagram Angka Iod .....	186
Gambar 50. Daigram RPM vs Daya .....	188
Gambar 51. Diagram RPM vs Torsi .....	191
Gambar 52. Diagram Bahan Bakar vs Daya .....	192
Gambar 53. Diagram Bahan Bakar vs Torsi .....	193
Gambar 54 Grafik hubungan antara Temperatur Bahan bakar dengan Daya ...	194
Gambar 55 Grafik hubungan antara Temperatur Bahan bakar dengan Torsi	196
Gambar 56 Grafik hubungan antara RPM, Bahan Bakar dan BSFC.....	203
Gambar 57 Grafik hubungan antara Bahan bakar, RPM dan opasitas .....	206
Gambar 58 Grafik hubungan antara RPM dengan CO <sub>2</sub> .....	207



Gambar 59 Grafik hubungan antara Bahan bakar dengan CO <sub>2</sub> .....	208
Gambar 60. Grafik hubungan antara Bahan bakar, RPM dengan CO <sub>2</sub> .....	211
Gambar 61. Diagram putaran mesin dengan CO .....	212
Gambar 62. Diagram Bahan bakar vs CO .....	214
Gambar 63. Diagram Bahan bakar dan putaran mesin dengan emisi CO .....	217
Gambar 64. Diagram putaran mesin dengan NO <sub>x</sub> .....	218
Gambar 65. Diagram Bahan bakar dengan NO <sub>x</sub> .....	219
Gambar 66. Diagram bahan bakar dan putaran mesin dengan NO <sub>x</sub> .....	223
Gambar 67. Diagram Putaran Mesin dengan HC .....	223
Gambar 68. Diagram Bahan bakar dengan HC .....	224
Gambar 69. Diagram bahan bakar dan putaran mesin dengan HC .....	



SEKOLAH PASCASARJANA

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Model General linier antar Faktor	247
Lampiran 2. Tabel Data Deskriptif Analisis Statistik	248
Lampiran 3. Tabel Rangkuman Rerata pada Faktor Suhu Reaksi	251
Lampiran 4 Tabel Rangkuman Rerata Marginal	252
Lampiran 5 Tests Pengaruh beberapa variable	253
Lampiran 6 Tabel Test Keseragaman Varian	254
Lampiran 7 Tabel Uji komparasi ganda variable Daya dan Torsi	255
Lampiran 8 Tabel Keseragaman variable	257
Lampiran 9 Keseragaman variable	257
Lampiran 10 Tabel Uji Komparasi ganda	258
Lampiran 11 Tabel Komparasi ganda Opasitas	259
Lampiran 12 Tabel Analisa perbedaan antar kategori RPM	260
Lampiran 13 Tabel Analisa perbedaan antar kategori Bahan Bakar	261
Lampiran 14 Tabel Analisa perbedaan antar kategori Bahan bakar	263
Lampiran 15 Tabel Varian dua arah tanpa replica	264
Lampiran 16 Tabel Analisa perbedaan antar kategori Bahan Bakar	265

SEKOLAH PASCASARJANA

## DAFTAR SINGKATAN

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ANAV	<i>Analisis varian</i>
ANOVA	<i>Analysis of Variant</i>
BBM	<i>Bahan Bakar Minyak</i>
BBN	<i>Bahan Bakar Nabati</i>
BDF	<i>Biodiesel fuel</i>
BBPT	<i>Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi</i>
BEP	<i>Break Even point</i>
BPS	<i>Badan Pusat Statistik</i>
BP-PEN	<i>Blueprint Pengelolaan Energi Nasional</i>
BSN	<i>Badan Standarisasi Nasional</i>
CAD	<i>Crank Angle Degrees</i>
CO <sub>2</sub>	<i>Carbon Dioksida</i>
CO	<i>Carbon Monoksida</i>
CPO	<i>Crude palm oil</i>
DESDM	<i>Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral</i>
DG	<i>Diglyceride</i>
DGE	<i>Diglyceride mono tert-butyl ether</i>
DITJEN	<i>Direktorat Jenderal</i>
DMC	<i>Dimethyl carbonate</i>
EBT	<i>Energi Baru Terbarukan</i>
EBTKE	<i>Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi</i>

EGR	<i>Exhaust Gas Recirculation</i>
EU	<i>European Union</i>
FA	<i>Fatty acid</i>
FAAE	<i>Fatty acid alkyl ester</i>
FAEE	<i>Fatty acid ethyl ester</i>
FAGC	<i>Fatty acid glycerol carbonate</i>
FAME	<i>Fatty acid methyl ester</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FFA	<i>Free fatty acid</i>
GRK	<i>Gas Rumah Kaca</i>
HC	<i>Hydro Carbon</i>
IPPC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
KOH	<i>Kalsium Hidroksida</i>
KWH	<i>Kilo Watt Hour</i>
KVA	<i>Kilo Volt Ampere</i>
LCA	<i>Life Cycle Assesment</i>
MANOVA	<i>Multi analysis of variant</i>
MKKS	<i>Minyak Kasar Kemiri Sunan</i>
MW	<i>Mega Watt</i>
Nox	<i>Nitrogen Oksida</i>
NPV	<i>Net Present Value</i>
PBB	<i>Perserikatan Bangsa Bangsa</i>
PERMEN	<i>Peraturan Menteri</i>

PERPRES	<i>Peraturan Presiden</i>
PP	<i>Peraturan Pemerintah</i>
RETRO	<i>Reutealis Trisperma Oil</i>
RPM	<i>Revolution per Minute</i>
SBM	<i>Setara Barel Minyak</i>
SCR	<i>Selective Catalytic Reduction</i>
SNI	<i>Standar Nasional Indonesia</i>
TMA	<i>Titik Mati Atas</i>
TMB	<i>Titik Mati Bawah</i>
ICE	<i>Internal Combustion Engine</i>
IRR	<i>Investment Return Rate</i>
ISCO	<i>Indicated Specific Carbon Monoxide Emissions</i>
ISNO <sub>x</sub>	<i>Indicated Specific Nox Emissions</i>
ISPM	<i>Indicated Specific Particulate Matter Emissions</i>
LHV	<i>Lower Heating Value</i>
SO <sub>2</sub>	<i>Sulfur Dioksida</i>
UU	<i>Undang-Undang</i>

## DAFTAR SIMBOL

A	Udara
Bmep	Tekanan efektif Rem
Be	Konsumsi bahan bakar spesifik
d	Jarak pembebanan dengan pusat perputaran
D	Diameter silinder
F	Gaya Sentrifugal
Lhv	Nilai kalor bahan bakar rendah
m <sub>bb</sub>	Massa bahan bakar
N	Putaran mesin
P	Daya Motor
$\epsilon$	Perbandingan kompresi
S	Langkah Torak
T	Torsi
V <sub>c</sub>	Volume ruang bakar
V <sub>d</sub>	Volume langkah
w	Beban
$\emptyset$	Perbandingan ekuivalen
$\eta_{th}$	Efisiensi Thermis bahan bakar

## DAFTAR ISTILAH (*GLOSSARY*)

- 1 Angka asam Ukuran dari jumlah asam lemak bebas, serta dihitung berdasarkan berat molekul dari asam lemak atau campuran asam lemak . Bilangan asam dinyatakan sebagai jumlah milligram KOH yang digunakan untuk menetralkan asam lemak bebas yang terdapat dalam 1 gram minyak atau lemak
- 2 Angka iodium ukuran xxiilcohol banyaknya ikatan rangkap dua di dalam (asam-asam lemak penyusun) biodiesel dan dinyatakan dalam sentigram iodium yang diabsorpsi per gram percontoh (% massa iodium terabsorpsi)
- 3 Angka penyabunan banyaknya KOH dalam xxiilcoholxxiiu yang dibutuhkan untuk menyabunkan 1 gram lemak atau minyak
- 4 Bahan bakar Suatu materi apapun yang bisa diubah menjadi energi. Biasanya bahan bakar mengandung energi panas yang dapat dilepaskan dan dimanipulasi. Kebanyakan bahan bakar digunakan manusia melalui proses pembakaran (reaksi redoks) dimana bahan bakar tersebut akan melepaskan panas setelah direaksikan dengan oksigen. Proses lain untuk melepaskan energi dari bahan bakar adalah melalui reaksi eksotermal dan reaksi nuklir (seperti Fisi nuklir atau Fusi nuklir). Hidrokarbon

- (termasuk di dalamnya bensin dan solar) sejauh ini merupakan jenis bahan bakar yang paling sering digunakan manusia.
- 5 Bahan bakar fosil atau bahan bakar mineral. Sumber daya alam yang mengandung hidrokarbon seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam
  - 6 Bahan Bakar Nabati (BBN) Energi terbarukan yang bersumber dari minyak nabati, antara lain biodiesel, alcohol, dan bio-oil
  7. Biodiesel : Bahan bakar yang terdiri dari campuran mono-alkyl ester dari rantai panjang asam lemak, yang diperoleh dari minyak tumbuhan atau lemak binatang melalui proses transesterifikasi, esterifikasi, atau proses esterifikasi-transesterifikasi
  - 8 Bioetanol Etanol yang diproduksi dengan cara fermentasi menggunakan bahan baku nabati.
  - 9 Biofuel Bahan bakar hayati adalah setiap bahan bakar baik padatan, cairan ataupun gas yang dihasilkan dari bahan-bahan organik. Biofuel dapat dihasilkan secara langsung dari tanaman atau secara tidak langsung dari limbah industri, komersial, domestik atau pertanian
  - 10 Exhaust Gas Recirculation Metode untuk menurunkan emisi Nox, dengan cara mensirkulasikan xxiv alcohol xxiv alcohol xxiv gas buang mesin ke dalam selinder sehingga berfungsi sebagai *absorben* panas pada silinder mesin



- sehingga xxvlcoholxxvure engine tidak mencapai puncak.
- 11 Energi berdasarkan ilmu fisika adalah kemampuan untuk melakukan usaha.
  - 12 Energi konvensional energi yang sudah biasa digunakan masyarakat.
  - 13 Energi terbarukan Energi yang dapat diperoleh ulang (terbarukan) seperti sinar matahari dan angin. Sumber energi terbarukan adalah sumber energi ramah lingkungan yang tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global seperti pada sumber-sumber tradisional lain.
  - 14 Energi tak terbarukan Energi yang diperoleh dari sumber daya alam yang waktu pembentukannya sampai jutaan tahun. Dikatakan tak terbarukan karena, apabila sejumlah sumbernya dieksploitasikan, maka untuk mengganti sumber sejenis dengan jumlah sama, baru mungkin atau belum pasti akan terjadi jutaan tahun yang akan datang.
  - 15 Gas Rumah Kaca Gas rumah kaca adalah gas-gas yang ada di atmosfer yang menyebabkan efek rumah kaca. Gas-gas tersebut muncul secara alami di lingkungan, tetapi dapat juga timbul akibat aktivitas manusia. Gas rumah kaca yang paling banyak adalah uap air yang mencapai atmosfer akibat penguapan air dari laut, danau dan sungai.

Karbondioksida adalah gas terbanyak kedua. Ia timbul dari berbagai proses alami seperti: letusan vulkanik; pernapasan hewan dan manusia (yang menghirup oksigen dan menghembuskan karbondioksida); dan pembakaran material xxvilcohol (seperti tumbuhan). Karbondioksida dapat berkurang karena terserap oleh lautan dan diserap tanaman untuk digunakan dalam proses fotosintesis. Fotosintesis memecah karbondioksida dan melepaskan oksigen ke atmosfer serta mengambil atom karbonnya.

#### 16 Katalis

Katalis merupakan zat yang dapat mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu dengan cara menurunkan energi aktivasi suatu reaksi, tanpa mempengaruhi hasil reaksi. Katalis terdiri dari dua golongan: katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis heterogen adalah katalis yang ada dalam fase berbeda dengan pereaksi dalam reaksi yang dikatalisinya, sedangkan katalis homogen berada dalam fase yang sama.

#### 17 Metanol

Metanol dikenal dengan nama lain seperti metil alkohol, spiritus adalah senyawa kimia dengan rumus kimia  $\text{CH}_3\text{OH}$ . Metanol adalah bentuk alkohol paling sederhana. Pada suhu atmosfer, metanol berbentuk cairan yang ringan, mudah menguap, tidak berwarna, mudah terbakar,

- dan beracun dengan bau yang khas (berbau lebih ringan daripada etanol).
- 18 Motor pembakaran dalam Sebuah mesin yang sumber tenaganya berasal dari pengembangan gas-gas panas bertekanan tinggi hasil pembakaran campuran bahan bakar dan udara, yang berlangsung di dalam ruang tertutup dalam mesin, yang disebut ruang bakar (*combustion chamber*).
- 19 Motor pembakaran luar Proses pembakaran bahan bakar terjadi diluar motor itu, sehingga untuk melaksanakan pembakaran motor tersendiri. Panas dari hasil pembakaran bahan bakar tidak langsung diubah menjadi tenaga gerak, tetapi terlebih dulu melalui media penghantar, baru kemudian diubah menjadi tenaga mekanik.
- 20 Motor diesel Merupakan motor bakar, karena pengubahan energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanik dilakukan di dalam mesin itu sendiri. Konsep pembakaran pada motor diesel adalah melalui proses penyalaan kompresi udara pada tekanan tinggi.
- 21 Pembangunan berkelanjutan Pembangunan yang memenuhi kebutuhan masa kini tanpa harus mengurangi kebutuhan dari generasi yang akan datang.
- 22 Ramah Lingkungan Sesuatu yang tidak merusak/berdampak terhadap alam lingkungan sekitarnya atau

- suatu program yang tidak berdampak buruk/negatif terhadap lingkungan sekitar.
- 23 Selective Catalytic Reduction Metode untuk mengubah emisi nitrogen oxides ( $\text{NO}_x$ ) dengan menggunakan katalis menjadi dua atom Nitrogen ( $\text{N}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Ketika Urea digunakan sebagai reduktan maka yang dihasilkan adalah  $\text{CO}_2$ .
- 24 Sumber daya energi Sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan, baik sebagai sumber energi maupun sebagai energi



SEKOLAH PASCASARJANA

## Abstrak

Kemiri Sunan merupakan salah satu alternatif bahan baku biodiesel, karena sifatnya yang terbarukan dan bukan merupakan bahan pangan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik fisika dan kimia biodiesel dari minyak Kemiri Sunan dan selanjutnya menganalisis kinerja dan emisi gas buang motor diesel yang menggunakan campuran minyak diesel dengan biodiesel Kemiri Sunan (B 10, B20, B 30). Proses transesterifikasi dilakukan dengan variabel prosentase katalis NaOH (0,25%; 0,5%; 0,75%; 0,1%), suhu reaksi (60°C dan 70°C), kecepatan pengadukan (325 RPM), waktu reaksi (60 menit). Hasil penelitian diperoleh bahwa prosentase katalis NaOH 1% dan suhu reaksi 60°C menghasilkan *yield* terbesar, sedangkan berapa parameter karakteristik biodiesel (angka asam, densitas, viskositas, angka setana, angka penyabunan, nilai kalor dan angka Iodine) telah memenuhi standar biodiesel SNI-04-7182-2015, kecuali viskositas yang pada beberapa variabel menunjukkan angka lebih besar dari standar. Hasil pengujian bahan bakar campuran biodiesel Kemiri Sunan diperoleh hasil bahwa penggunaan bahan bakar campuran minyak diesel dengan biodiesel diketahui menurunkan daya dari mesin pada semua jenis campuran, meningkatkan BSFC sedangkan torsi tidak menunjukkan adanya perbedaan signifikan pada semua jenis campuran biodiesel dibandingkan dengan minyak diesel. Emisi gas buang CO<sub>2</sub>, CO, Opasitas, HC menunjukkan emisi yang lebih rendah pada semua campuran biodiesel dibandingkan dengan minyak diesel, sedangkan emisi NO<sub>x</sub> lebih tinggi dibandingkan dengan minyak diesel. Secara umum biodiesel dari minyak Kemiri Sunan perlu dipertimbangkan sebagai alternatif bahan baku biodiesel di Indonesia.

Kata Kunci: Kemiri Sunan, biodiesel, transesterifikasi, kinerja motor, emisi gas buang.

### *Abstract*

Kemiri Sunan is an alternative raw material for biodiesel, because it is renewable and not edible. The purpose of this study was to analyze the physical and chemical characteristics of biodiesel from Kemiri Sunan oil and further analyze the performance and exhaust gas emissions of a diesel motor using a mixture of diesel oil and Kemiri Sunan biodiesel (B 10, B20, B 30). The transesterification process was carried out with a variable percentage of NaOH catalyst (0.25%; 0.5%; 0.75%; 0.1%), reaction temperature (60°C and 70°C), stirring speed (325 RPM), reaction time (60 minutes). The results showed that the percentage of 1% NaOH catalyst and a reaction temperature of 60°C produced the highest yield, while the characteristics of biodiesel (acid number, density, viscosity, cetane number, saponification number, heating value and Iodine number) met the biodiesel standard of SNI-04 -7182-2015, except for the viscosity which in some variables shows a number higher than the standard. The results of the Kemiri Sunan biodiesel blend showed that the blend of diesel oil and biodiesel fuel was known to reduce engine power in all types of blends, increasing BSFC while torque did not show any significant difference in all types of biodiesel blends compared to diesel oil. Exhaust emissions of CO<sub>2</sub>, CO, Opacity, HC showed lower emission on all biodiesel blends compared to diesel oil, while NO<sub>x</sub> emission was higher than those of diesel oil. In general, biodiesel from Kemiri Sunan oil needs to be considered as an alternative biodiesel feedstock in Indonesia.

Keywords: Kemiri Sunan, biodiesel, transesterification, engine performance, exhaust emissions.

# Ringkasan

## 1. Pendahuluan

Outlook Energi Indonesia 2021 menyatakan bahwa Konsumsi Energi per jenis pada tahun 2019 sebesar 989,9 juta Setara Barel Minyak. Bahan Bakar Minyak (BBM) merupakan pengguna utama energi nasional, dimana penggunaan BBM tersebut terutama pada sektor transportasi. Data tersebut menunjukkan dominasi bahan bakar tak terbarukan sebagai sumber energi utama di Indonesia. Namun demikian, konsumsi Bahan Bakar Nabati (BBN) terutama biodiesel menunjukkan kecenderungan meningkat, terutama dengan adanya kewajiban penggunaan biodiesel (Hilmawan et. al., 2021).

Biodiesel mempunyai karakteristik seperti minyak solar sehingga penggunaan biodiesel pada mesin tidak perlu banyak modifikasi terhadap motor (Mustafa dan Gerpen, 2001). Soerawidjaja (2005) menyatakan beberapa sifat biodiesel antara lain lebih ramah lingkungan, dapat dicampur langsung dengan minyak diesel, memiliki angka setana yang tinggi, kemampuan pelumasan yang tinggi, *biodegradable*, non toksik dan mudah digunakan

Indonesia kaya dengan berbagai tanaman yang merupakan sumber minyak nabati sebagai pengganti bahan bakar fosil. Minyak dari biji Kemiri Sunan (*Reutalis trisperma* (Blanco) Airy Shaw) mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai biodiesel. Hal tersebut dapat dilihat antara lain dari kandungan minyaknya yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan baku biodiesel lainnya. Biji Kemiri Sunan memiliki kandungan minyak yang sampai 52% minyak kasar Kemiri Sunan (Hendra 2014). Produktifitas lahan untuk biodiesel dari minyak Kemiri Sunan bisa mencapai 4 kali lebih besar dan 2 kali dibandingkan dengan Minyak Kelapa Sawit (Lathifan et. al., 2014; Aunillah dan Pranowo, 2014; Hendra, 2014).

Namun demikian masih banyak pertanyaan yang terkait dengan penggunaan biodiesel dari minyak Kemiri Sunan sebagai bahan bakar pada motor diesel. Untuk itu rumusan masalah ditetapkan sebagai berikut:

1. Bagaimanakah karakteristik fisika dan kimia biodiesel Kemiri Sunan yang diproses dengan metode transestrifikasi?

2. Bagaimanakah kinerja motor diesel yang memakai biodiesel Kemiri Sunan yang dicampur dengan minyak solar dengan berbagai variasi perbandingan campuran?
3. Bagaimanakah kandungan emisi gas buang dari motor diesel yang memakai biodiesel Kemiri Sunan yang dicampur dengan minyak solar dengan berbagai variasi perbandingan campuran?

## 2. Tinjauan Pustaka

Biodiesel Kemiri Sunan diperoleh dengan melakukan ekstraksi minyak yang ada pada biji buah Kemiri Sunan. Adapun proses pembuatan biodiesel melalui beberapa tahapan: pemilihan bahan baku, pengupasan biji, pengeringan biji, ekstraksi dan pemurnian (Pranowo et. al., 2014).

Anggraini et.al. (2013) melakukan karakterisasi biodiesel dari minyak Kemiri Sunan dengan menggunakan katalis KOH. Aunillah dan Pranowo (2012) menganalisis properti biodiesel menggunakan proses transesterifikasi dua tahap. Joelianingsih, et. al. (2016) menganalisis pemakaian katalis homogen pada proses esterifikasi dan transesterifikasi. Widyasanti et. al. (2017), menganalisis faktor suhu pada proses transesterifikasi. Nurjanah et. al. (2019) melakukan analisis tentang beberapa proses transesterifikasi pada produksi biodiesel Kemiri Sunan. Garusty et. al. (2020) menganalisis karakteristik Biodiesel dengan penggunaan bermacam katalis. Haryono et. al. (2020) menganalisis penggunaan katalis heterogen Silika terimpregnasi Kalsium Oksida pada karakteristik biodiesel Kemiri Sunan. Sari et. al. (2020) melakukan penelitian pengaruh waktu reaksi dan penggunaan solvent.

Rao et. al. (2009) menganalisis kinerja dan emisi gas buang biodiesel dari minyak jarak (*jathropa oil*). Studi menunjukkan mesin bekerja dengan lembut, meningkatkan thermal efisiensi, dibanding dengan minyak diesel, temperatur gas buang lebih rendah, emisi CO<sub>2</sub> lebih rendah, emisi CO rendah ketika pada beban tinggi, emisi NO<sub>x</sub> lebih tinggi, emisi asap lebih rendah pada *Jathropa oil*.

Mensah et. al. (2013) menggunakan biodiesel dari limbah cangkang kelapa sawit. Kinerja mesin dengan B 10 dan B 20 menghasilkan daya rem dan efisiensi thermal yang lebih tinggi, temperatur gas buang yang rendah dan B20



menghasilkan konsumsi bahan bakar spesifik yang lebih rendah. Verma et. al. (2021) menemukan efisiensi termal rem untuk semua kondisi beban lebih rendah untuk biodiesel dan campurannya, peningkatan beban mesin menurunkan BSFC, peningkatan NOx pada penggunaan berbagai biodiesel, emisi CO lebih tinggi dengan beban mesin yang lebih tinggi, opasitas lebih tinggi pada biodiesel. Singh et. al. (2021) mengkaji biodiesel dari *jatropha*. Diperoleh data bahwa efisiensi termal mesin mengalami penurunan dan konsumsi bahan bakar spesifik mengalami peningkatan. Kandungan oksigen yang tinggi pada *jatropha* mengurangi emisi HC, CO, dan PM, sementara emisi NOx meningkat secara signifikan.

### 3. Metode Penelitian

Desain penelitian adalah penelitian eksperimental di laboratorium. Rancangan penelitian yang digunakan dalam penelitian adalah *factorial design*.

Variabel bebas Tujuan 1 adalah: Rasio molar minyak Kemiri sunan dengan methanol 1:6; Prosentase katalis NaOH: 0,25%; 0,5%; 0,75%; 1%; Kecepatan Pengadukan: 325 RPM; Suhu Proses reaksi: 60°C dan 70°C; waktu reaksi 60 menit. Variabel bebas Tujuan 2 adalah: Variasi konsentrasi campuran biodiesel Kemiri Sunan dengan dexlite: B 10, B 20, B 30; Biosolar; Dexlite; Putaran mesin: 1000 RPM, 1400 RPM, 1800 RPM, 2200 RPM, 2600 RPM, 3000 RPM; temperatur bahan bakar: suhu kamar °C, 50°C, 65°C. Variabel bebas Tujuan 3 adalah: putaran mesin: 1000 RPM, 1400 RPM, 1800 RPM, 2200 RPM, 2600 RPM, 3000 RPM

Variabel terikat tujuan 1 adalah: Angka Asam; Angka Penyabunan; Nilai Kalor; Yield; Viskositas; Densitas; Angka Setana; Angka IoD. Variabel terikat tujuan 2 adalah: Daya Rem (Brake Horse Power); Torsi; Konsumsi bahan bakar spesifik. Variabel terikat tujuan 3 adalah: Opasitas; CO; CO<sub>2</sub>; NOx; HC.

### 4. Hasil Penelitian

Suhu reaksi 60°C menghasilkan *yield* yang lebih tinggi dibandingkan dengan suhu 70°C. Persentase katalis NaOH 1% menghasilkan *yield* yang lebih tinggi dibandingkan konsentrasi katalis lainnya. Semakin besar konsentrasi katalis dalam larutan, maka energi aktivasi suatu reaksi semakin kecil, sehingga

produk yang dihasilkan akan semakin banyak terbentuk (Prihanto dan Irawan, 2017). Namun demikian, peningkatan konsentrasi katalis lebih dari 1%, *yield* biodiesel justru akan terus menurun (Nurjanah, 2015). Hal ini terjadi karena penambahan konsentrasi katalis yang berlebihan, mendorong reaksi terbentuknya sabun (Hossain et. al., 2010; Worapun et. al., 2010; Hartono dan Pamungkas, 2020).

Suhu reaksi 60°C dan 70°C menghasilkan angka asam yang tidak berbeda secara signifikan. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Widyasanti (2017) yang menyatakan perbedaan suhu yang digunakan pada proses transesterifikasi tidak berpengaruh nyata pada bilangan asam. Pada penelitian ini, nilai angka asam yang dihasilkan dengan rentang 0,458-0,496 mgKOH/g. Angka asam yang dihasilkan oleh kedua parameter suhu dan semua prosentase katalis pada penelitian ini telah memenuhi standar biodiesel SNI-04-7182-2015 yaitu  $\leq 0,50$  (mgKOH/g).

Semua persentase katalis NaOH pada suhu reaksi 70°C menghasilkan angka penyabunan yang lebih tinggi daripada suhu reaksi 60°C. Berdasarkan syarat mutu biodiesel menurut SNI-04-7182- 2015 dimana angka penyabunan sebesar  $< 500$  mg KOH/g, maka angka penyabunan pada penelitian ini dengan rentang angka 199,7-200,1 mg KOH/g pada semua variabel suhu dan katalis diperoleh angka penyabunan yang telah memenuhi syarat mutu biodiesel.

Persentase katalis NaOH 0,5%; 0,75% dan 1% dengan suhu reaksi 60°C menghasilkan nilai kalor yang lebih tinggi daripada suhu reaksi 70°C. Namun, pada persentase katalis NaOH 0,25%, suhu reaksi 70°C menghasilkan nilai kalor yang lebih tinggi daripada suhu reaksi 60°C.

Persentase katalis NaOH 0,25%, 0,5%, dan 0,75%, suhu reaksi 60°C dan 70°C menghasilkan densitas yang tidak berbeda secara signifikan. Namun, pada persentase katalis NaOH 1%, suhu reaksi 60°C menghasilkan densitas yang lebih tinggi daripada suhu reaksi 70°C. Sesuai dengan standar biodiesel (SNI 04-7182-2015) yaitu densitas berkisar antara 0,850 -0,890 g/ml, densitas biodiesel kemiri sunan yang dihasilkan dari proses transesterifikasi dengan variasi katalis dan suhu memenuhi syarat mutu biodiesel.

Persentase katalis NaOH 0,25%; 0,5%, 0,75% dan 1%, suhu reaksi 60°C dan 70°C menghasilkan viskositas yang tidak berbeda secara signifikan. Viskositas kinematik biodiesel sesuai persyaratan SNI biodiesel yaitu 2,3-6,0 cSt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hanya prosentase katalis 0,25% yang memenuhi sesuai standar biodiesel

Presentase katalis 0,5% dan 0,75%, suhu reaksi 60°C menghasilkan angka setana yang lebih tinggi daripada suhu reaksi 70°C. Menurut standar Syarat Mutu Biodiesel SNI 7182:2015 angka setana minimal 51, sehingga biodiesel minyak Kemiri Sunan dengan angka CN lebih besar dari 58, maka telah memenuhi syarat.

Angka Iod minyak biodiesel dari Kemiri Sunan berkisar antara 57,810 - 62,833 g I /100 g pada suhu reaksi 60°C dan 59,733 - 65,533 g I /100 g pada suhu 70°C. Nilai tersebut masih berada pada kisaran yang sesuai dengan Syarat Mutu Biodiesel SNI 7182:2015 yaitu maksimum 115 g I /100 g.

Pada semua putaran mesin, bahan bakar campuran biodiesel menunjukkan daya yang lebih rendah dibandingkan dexlite. Semakin tinggi kandungan biodiesel terdapat kecenderungan adanya penurunan daya.

Bahan Bakar Dexlite, Bahan Bakar B10, Bahan Bakar B20, dan Bahan Bakar B30 menghasilkan Torsi yang tidak berbeda secara signifikan. Hasil lainnya juga menunjukkan bahwa keempat jenis bahan bakar tersebut (Dexlite, Bahan B10, B20 dan B30) menghasilkan Torsi yang lebih tinggi daripada Biosolar.

Bahan bakar B20 dan B30 menghasilkan BSFC yang lebih tinggi daripada bahan bakar Dexlite dan B10. Hal tersebut karena Nilai kalor bahan bakar yang lebih rendah viskositas yang lebih tinggi. Beban putaran yang lebih tinggi pada mesin menunjukkan bahwa BSFC pada semua jenis bahan bakar mengalami kecenderungan menurun.

Dexlite dan biosolar menghasilkan emisi opasitas yang lebih besar dibandingkan dengan semua bahan bakar campuran biodiesel.

Dexlite menghasilkan CO<sub>2</sub> yang paling banyak, diurutkan kedua terdapat bahan bakar Biosolar, diurutkan ketiga terdapat bahan bakar B10, serta urutan

keempat terdapat bahan bakar B20 dan B30 yang merupakan bahan bakar yang paling sedikit menghasilkan CO<sub>2</sub>.

Bahan bakar Dexlite menghasilkan CO yang paling banyak dibandingkan bahan bakar lainnya. Bahan bakar Biosolar dan menghasilkan CO yang lebih banyak daripada bahan bakar B30, namun bahan bakar B20 dan B30 menghasilkan CO yang tidak berbeda secara signifikan. Hal menunjukkan bahwa bahan bakar B30 menghasilkan CO paling sedikit.

Bahan bakar B30 menghasilkan NO<sub>x</sub> yang paling banyak. Bahan bakar B30 menghasilkan NO<sub>x</sub> yang tidak berbeda secara signifikan dengan bahan bakar Biosolar. Kedua bahan bakar ini (B30 dan Biosolar) menghasilkan NO<sub>x</sub> yang lebih banyak daripada bahan bakar B20, B10, dan Dexlite. Bahan bakar B20 dan B10 menghasilkan NO<sub>x</sub> yang tidak berbeda secara signifikan. Kedua bahan bakar tersebut (B20 dan B10) menghasilkan NO<sub>x</sub> yang lebih banyak

Karena kandungan oksigen yang lebih besar pada biodiesel akan menyebabkan pembakaran yang lebih sempurna sehingga kandungan emisi HC pada gas buang akan lebih rendah

## **5. Kesimpulan**

1. Parameter karakteristik biodiesel dari Kemiri Sunan menunjukkan hasil yang menjanjikan dimana hampir semua parameter memenuhi standar mutu biodiesel. Hanya viskositas yang menunjukkan lebih dari standar.
2. Pada semua putaran mesin, bahan bakar campuran biodiesel menunjukkan daya yang lebih rendah dibandingkan dexlite.
3. Bahan Bakar Dexlite, Bahan Bakar B10, Bahan Bakar B20, dan Bahan Bakar B30 menghasilkan Torsi yang tidak berbeda secara signifikan.
4. Bahan bakar B20 dan B30 menghasilkan BSFC yang lebih tinggi daripada bahan bakar Dexlite.
5. Semua bahan bakar campuran biodiesel menghasilkan opasitas yang lebih rendah dari pada Dexlite.
6. Semakin tinggi kandungan campuran biodiesel menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> yang lebih rendah.

7. Kandungan campuran biodiesel yang lebih besar menghasilkan emisi CO yang lebih rendah.
8. Semakin tinggi kandungan campuran biodiesel menghasilkan emisi NOx yang lebih besar.
9. Biodiesel akan menyebabkan pembakaran yang lebih sempurna sehingga kandungan emisi HC pada gas buang akan lebih rendah.

## 6. Daftar Pustaka

- Anggarani R., Cahyo S. W. dan Maymuchar, (2013), Performance Test Of Calophyllum Inophyllum Biodiesel On A Small Mono-Cylinder 5 Kva Diesel Generator, *Scientific Contributions of Oil and Gas Vol. 36 no. 2 , August 2013, 57-63*
- Aunillah, A. dan D. Pranowo, (2012), Karakteristik Biodiesel Kemiri Sunan (Reutealis Trisperma) Menggunakan Proses Transesterifikasi Dua Tahap *buletin Ristri 3(3):193-200 November 2012*
- Garusti, A. D. Khuluq, J. Hartono, P. D. Riajaya, and R. D. Purwati, "Karakteristik Biodiesel Kemiri Sunan dengan Katalis NaOH dan KOH," *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*, vol. 12, no. 2, p. 78, 2020, doi: 10.21082/btsm.v12n2.2020.78-85.
- Hartono R and W. Pamungkas, (2020), The Effect of NaOH Catalyst Ratio on Biodiesel Manufacturing from Off Grade CPO," *World Chem. Eng. J.*, vol. 4, no. 2, pp. 56–61, 2020.
- Haryono H., Y. B. Yuliyati, A. R. Noviyanti, M. Rizal, and S. Nurjanah, "Karakterisasi Biodiesel Dari Minyak Kemiri Sunan Dengan Katalis Heterogen Silika Terimpregnasi Kalsium Oksida (CaO/SiO)," *Penelitian Hasil Hutan*, vol. 38, no. 1, pp. 11–24, 2020, doi: 10.20886/jphh.2020.38.1.11-24
- Hendra, D., (2014). Making Biodiesel of Aleurites trisperma Blanco Seed. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 32(1), 37–45.
- Hilmawan E., Ira Fitriana, Agus Sugiyono, Adiarso, (2021), *Outlook energi Indonesia 2021: perspektif teknologi energi Indonesia: tenaga surya untuk penyediaan energi charging station*, Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi BPPT.

- Hossain, A.B.M.S. and M.A. Mazen, (2010), Effects of catalyst types and concentrations on biodiesel production from waste soybean oil biomass as renewable energy and environmental recycling process, *AJCS* 4(7):550-555 (2010)
- Joelianingsih, MI Alghifari, FM Antika (2016), *Sintesis Biodiesel dari Minyak Kemiri Sunan dengan Katalis Homogen melalui Reaksi Esterifikasi dan Transesterifikasi secara Bertahap*, Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2016 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Lathifan Laila, Cahyadi Nugraha, Kusmaningrum , 2014, Pemodelan Matematis Untuk Analisis Kebijakan Pengembangan Industri Bahan Bakar Nabati Biodiesel Dari Kemiri Sunan, *Reka Integra | No.04 | Vol.02, ISSN: 2338-5081 ©Jurusan Teknik Industri Itenas Jurnal Online Institut Teknologi Nasional Oktober 2014*
- Mensah. E, G.Y. Obeng, E. Antwi, 2013, Engine Performance Evaluation Using Biodiesel Blends From Waste Palm Kernel Oil, Mixed WVOs And Diesel Fuel, *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)*, Volume 2, Issue 9 Pages 19-25 2013 ISSN(e): 2319 – 1813 ISSN(p): 2319 – 1805
- Mustafa, Canakci dan Jon H. V an Gerpen, 2001; *Comparison of Engine Performance and Emissions for Petroleum Diesel Fuel, Yellow Grease Biodiesel, and Soybean Oil Biodiesel*, Presented as Paper No. 016050 at the 2001 ASAE Annual International Meeting Sacramento Convention Center Sacramento, California, USA
- Nurjanah S., D. S. Lestari, A. Widyasanti, and S. Zain, “The effect of NaOH concentration and length of trans-esterification time on characteristic of FAME from Reutealis trisperma (Kemiri Sunan),” *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 52–56, 2015, doi: 10.18517/ijaseit.5.1.483
- Pranowo D, Muhammad Syakir, Bambang Prastowo, Maman Herman, Asif Aunilah, Sumanto, 2014, *Pembuatan Biodiesel dari Kemiri Sunan*

- (*Reutealis Trisperma (Banco) Airy Shaw*) dan Pemnfaatan hasil Samping, IAARD Press, Jakarta.
- Prihanto, A dan T. A. Bambang Irawan, 2017, Pengaruh Temperatur, Konsentrasi Katalis Dan Rasio Molar Metanol Minyak Terhadap Yield Biodisel Dari Minyak Goreng Bekas Melalui Proses Netralisasi-Transesterifikasi, *METANA* Juni 2017 Vol. 13(1):30-36.
- Rao, Y. V. Hanumantha; Ram Sudheer Voleti :V. S. Hariharan ; A. V. Sitarama Raju; P. Nageswara Redd., 2009, Use of Jatropha Oil Methyl Ester and Its Blends as an Alternative Fuel in Diesel, *Engine J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng.* , 2009 by ABCM July-September 2009, Vol. XXXI, No. 3 / 2
- Singh D, Dilip Sharma, S.L. Soni, Chandrapal Singh Inda, Sumit Sharma Pushpendra Kumar Sharma, Amit Jhalani, (2021), A comprehensive review of physicochemical properties, production process, performance and emissions characteristics of 2nd generation biodiesel feedstock: Jatropha curcas, *Fuel* 285 (2021) 119110
- Soerawidjaja, T.H., T. Adrisman, U.W. Siagian, T. Prakoso, I.K. Reksowardojo, K.S. Permana, 2005. *Studi Kebijakan Penggunaan Biodiesel di Indonesia*. Di dalam: P Hariyadi, N. AndarwH~an, L. Nmaida, Y. Sukmawati. editor. *Kajian Kebijakan dan Kumpulan Artikel Penelitian BiodieseL Kementrian Ristek dan Teknologi RI MAKSI IPB Bogor*
- Verma TN, Pankaj Shrivastava, Upendra Rajak , Gaurav Dwivedi, Siddharth Jain, Ali Zare, Anoop Kumar Shukla, Puneet Verma, 2021, A comprehensive review of the influence of physicochemical properties of biodiesel on combustion characteristics, engine performance and emissions, *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 202; 8(4): 510-533
- Widyasanti A, Nurjanah S dan Sinatria TMG, 2017, Pengaruh Suhu Dalam Proses Transesterifikasi Pada Pembuatan Biodiesel Kemiri Sunan (*Reautealis Trisperma*), *Jurnal Material dan Energi Indonesia* Vol. 07, No. 01 (2017) 9-18
- Worapun, T., Kulachate Pianthong and Prachasanti Thaiyasuit, 2010, Synthesis of biodiesel by two-step transesterification from crude jatropha curcus L.oil

using ultrasonic irradiation assisted, *KKU Engineering Journal* Vol.37 No.3  
(169-179) July 3 September 2010



SEKOLAH PASCASARJANA



# Summary

## 1. Introduction

Indonesia Energy Outlook 2021 states that Energy Consumption per type in 2019 was 989.9 million Barrels of Oil Equivalent. Fuel Oil was the main user of national energy, where the use of fuel was mainly in the transportation sector. The data showed the dominance of non-renewable fuels as the main energy source in Indonesia. However, consumption of Biofuels, especially biodiesel, shows an increasing trend, especially with the obligation to use biodiesel (Hilmawan et. al., 2021).

Biodiesel has characteristics like diesel oil so that the use of biodiesel in the engine does not need much modification to the motor (Mustafa and Gerpen, 2001). Soerawidjaja (2005) stated several properties of biodiesel such as, more environmentally friendly, can be mixed directly with diesel oil, has a high cetane number, high lubricity, biodegradable, non-toxic and easy to use.

Indonesia is rich in various plants which are sources of vegetable oil as a substitute for fossil fuels. Oil from the seeds of Kemiri Sunan (*Reutalis trisperma (Blanco) Airy Shaw*) has the potential to be developed as biodiesel. Kemiri Sunan seeds have an oil content of up to 52% of the crude oil of Kemiri Sunan (Hendra 2014). Land productivity for biodiesel from Sunan Kemiri oil can be up to 4 times greater and 2 times compared to Palm Oil (Lathifan et. al., 2014; Aunillah and Pranowo, 2014; Hendra, 2014).

However, there are still many questions related to the use of biodiesel from Sunan Kemiri oil as fuel in diesel motors. For this reason, the problem formulation was set as follows:

1. What are the physical and chemical characteristics of the Kemiri Sunan biodiesel processed by the transesterification method?
2. How is the performance of a diesel motor using Kemiri Sunan biodiesel mixed with diesel oil with various mixture ratio variations?
3. What is the content of exhaust gas emissions from diesel motors using Kemiri Sunan biodiesel mixed with diesel oil with various mixture ratio variations?

## 2. Literature Review

Kemiri Sunan biodiesel was obtained by extracting the oil contained in the seeds of the Sunan Kemiri fruit. The process of making biodiesel was conducted in several stages: selection of raw materials, stripping the seeds, drying the seeds, extraction and purification (Pranowo et. al., 2014).

Anggraini et.al. (2013) characterized biodiesel from Sunan Kemiri oil using a KOH catalyst. Aunillah and Pranowo (2012) analyzed the properties of biodiesel using a two-stage transesterification process. Joelianingsih, et. al. (2016) analyzed the use of homogeneous catalysts in the esterification and transesterification processes. Widyasanti et. al. (2017) analyzed the temperature factor in the transesterification process. Nurjanah et. al. (2019) conducted an analysis of several transesterification processes in the production of Kemiri Sunan biodiesel. Garusty et. al. (2020) analyzed the characteristics of biodiesel by using various catalysts. Haryono et. al. (2020) analyzed the use of calcium oxide impregnated silica as heterogeneous catalyst on the characteristics of Kemiri Sunan biodiesel. Sari et. al. (2020) conducted research on the effect of reaction time and solvent use.

Rao et. al. (2009) analyzed the performance and exhaust emissions of biodiesel from jathropa oil. Studies showed the engine runs smoother, increases thermal efficiency compared to diesel oil, lower exhaust gas temperatures, lower CO<sub>2</sub> emissions, lower CO emissions when at high load, higher NO<sub>x</sub> emissions and lower smoke emissions.

Mensah et. al. (2013) used biodiesel from palm oil shell waste. Engine performance with the B 10 and B 20 resulted in higher brake power and thermal efficiency, lower exhaust temperatures and the B20 results in lower specific fuel consumption. Verma et. al. (2021) found brake thermal efficiency for all conditions of a lower load for biodiesel and its blends, increasing engine load decreased BSFC, increased NO<sub>x</sub> in the use of various biodiesel blends, higher CO emissions with higher engine load, higher opacity in biodiesel. Singh et. al. (2021) studied biodiesel from jatropa. It was found that the thermal efficiency of the engine decreased and the specific fuel consumption increased. The high

oxygen content of jatropha reduces HC, CO, and PM emissions, while significantly increasing NO<sub>x</sub> emissions.

### **3. Research Method**

The research was an experimental study conducted in a laboratory. The research design used in this research was factorial design.

The independent variables Objective 1 were: Molar ratio of Kemiri Sunan oil with methanol 1:6; NaOH catalyst percentage: 0.25%; 0.5%; 0.75%; 1%; Stirring Speed: 325 RPM; Reaction Process Temperature: 60°C and 70°C; reaction time 60 minutes. The independent variables Objective 2 were: Variation of concentration of Kemiri Sunan biodiesel mixture with dextrite: B 10, B 20, B 30; Biosolar; Dextrite; Engine speed: 1000 RPM, 1400 RPM, 1800 RPM, 2200 RPM, 2600 RPM, 3000 RPM; fuel temperature: room temperature °C, 50°C, 65°C. Objective 3 independent variables were: engine speed: 1000 RPM, 1400 RPM, 1800 RPM, 2200 RPM, 2600 RPM, 3000 RPM

The dependent variable of goal 1 was: Acid value; Saponification Rate; Calorific Value; Yields; Viscosity; Density; cetane Numbers; IoD number. The dependent variable of objective 2 were: Brake Horse Power; Torque; Specific fuel consumption. Objective dependent variables are: Opacity; CO; CO<sub>2</sub>; NO<sub>x</sub>; HC.

### **4. Research Results**

The reaction temperature of 60°C produces a higher yield than the temperature of 70°C. The percentage of 1% NaOH catalyst produced higher yields than other catalyst concentrations. The greater the concentration of the catalyst in the solution, the smaller the activation energy of a reaction, so that more products are formed (Prihanto and Irawan, 2017). However, if the catalyst concentration increases by more than 1%, the biodiesel yield will continue to decline (Nurjanah, 2015). This happens because the addition of an excessive concentration of catalyst encourages the reaction to form soap (Hossain et. al., 2010; Worapun et. al., 2010; Hartono and Pamungkas, 2020).

The reaction temperatures of 60°C and 70°C produced acid numbers that were not significantly different. This is in line with Widyasanti's research (2017)

which states that the temperature difference used in the transesterification process has no significant effect on the acid number. In this study, the acid value produced was in the range of 0.458-0.496 mgKOH/g. The acid number produced by both temperature parameters and all catalyst percentages in this study met the biodiesel standard SNI-04-7182-2015, namely 0.50 (mgKOH/g).

All percentages of NaOH catalyst at 70°C reaction temperature resulted in higher saponification rates than 60°C reaction temperature. Based on the biodiesel quality requirements according to SNI-04-7182-2015 where the saponification rate is < 500 mg KOH/g. The saponification rate in this study was in the range of 199.7-200.1 mg KOH/g on all temperature and catalyst variables, which met the biodiesel quality requirements.

NaOH catalyst percentage 0.5%; 0.75% and 1% with a reaction temperature of 60°C produced a higher heating value than the reaction temperature of 70°C. However, at the percentage of 0.25% NaOH catalyst, the reaction temperature of 70°C produces a higher heating value than the reaction temperature of 60°C.

The percentage of NaOH catalyst 0.25%, 0.5%, and 0.75%, reaction temperatures of 60°C and 70°C resulted in densities that were not significantly different. However, at 1% NaOH catalyst percentage, the reaction temperature of 60°C resulted in a higher density than the reaction temperature of 70°C. In accordance with the biodiesel standard (SNI 04-7182-2015), the density ranges from 0.850 -0.890 g/ml, the density of kemiri sunan biodiesel produced from the transesterification process with catalyst and temperature variations meets the biodiesel quality requirements.

NaOH catalyst percentage 0.25%; 0.5%, 0.75% and 1%, reaction temperatures of 60°C and 70°C produced viscosities that were not significantly different. The kinematic viscosity of biodiesel according to the requirements of SNI biodiesel is 2.3-6.0 cSt. The results showed that only the percentage of 0.25% catalyst that met the biodiesel standard

The percentage of catalyst 0.5% and 0.75%, the reaction temperature of 60°C produces a higher cetane number than the reaction temperature of 70°C. According to the standard of Biodiesel Quality Requirements SNI 7182:2015,

the minimum cetane number is 51, so that the Kemiri Sunan biodiesel oil with a CN number greater than 58 has met the requirements.

Iod number of biodiesel oil from Kemiri Sunan ranged from 57.810 - 62.833 g I/100 g at a reaction temperature of 60°C and 59.733 - 65.533 g I/100 g at a temperature of 70°C. This value is still in the range that is in accordance with the Biodiesel Quality Requirements of SNI 7182: 2015 which is a maximum of 115 g I / 100 g.

The study showed that at all engine speeds, biodiesel blends showed lower power than dextrite. The higher the biodiesel content there was a tendency for a decrease in power.

Dextrite, B10, B20, and B30 produced Torque that was not significantly different. Other results also showed that the four types of fuel (Dextrite Fuel, B10 Fuel, B20 Fuel, and B30 Fuel) produce higher Torque than biosolar.

B20 and B30 fuels produced a higher BSFC than Dextrite and B10 fuels. This is because the lower calorific value of the fuel and the higher the viscosity. The higher rotational load on the engine indicated that the BSFC in all types of fuels had a downward trend.

Dextrite and biosolar produced greater opacity emissions compared to all biodiesel blended fuels.

Dextrite produced the highest CO<sub>2</sub> emission, in second place there was Biosolar fuel, in third place there is B10 fuel, and in fourth place there is B20 and B30 fuel, which are the fuels that produce the least CO<sub>2</sub>.

Dextrite fuel produces the highest CO emission compared to other fuels. Biosolar produced more CO than B30 fuel, but B20 and B30 fuel produce CO which is not significantly different. This shows that B30 fuel produces the least amount of CO emission.

B30 fuel produced the highest NO<sub>x</sub> emission. B30 fuel produced NO<sub>x</sub> which is not significantly different from Biosolar fuel. These two fuels (B30 and Biosolar) produce more NO<sub>x</sub> emission than B20, B10 and Dextrite. B20 and B10 fuel produced NO<sub>x</sub> which is not significantly different.

The greater oxygen content in biodiesel lead to a more complete combustion so that the content of HC emissions in bodiesel blends exhaust gas tend to be lower.

## 5. Conclusion

1. Parameters of biodiesel characteristics from Kemiri Sunan showed promising results where almost all parameters met biodiesel quality standards. Only the viscosity shows more than the standard.
2. Biodiesel blend showed lower power than dextrite at all engine speeds.
3. Dextrite, B10, B20 and B30 produced Torque that was not significantly different.
4. B20 and B30 fuel produced higher BSFC than Dextrite fuel.
5. All biodiesel blended fuels produced lower opacity than Dextrite.
6. The higher the content of the biodiesel blend, the lower the CO<sub>2</sub> emissions.
7. Higher biodiesel blend content resulted in lower CO emissions.
8. The higher the content of the biodiesel blend, the higher the NO<sub>x</sub> emission.
9. Biodiesel will cause a more complete combustion so that the HC emission content in the exhaust gas will be lower.

## 7. References

- Anggarani R., Cahyo S. W. dan Maymuchar, (2013), Performance Test Of Calophyllum Inophyllum Biodiesel On A Small Mono-Cylinder 5 Kva Diesel Generator, *Scientific Contributions of Oil and Gas Vol. 36 no. 2*, August 2013, 57-63
- Aunillah, A. dan D. Pranowo, (2012), Karakteristik Biodiesel Kemiri Sunan (Reutealis Trisperma) Menggunakan Proses Transesterifikasi Dua Tahap *buletin Ristri 3(3):193-200* November 2012
- Garusti, A. D. Khuluq, J. Hartono, P. D. Riajaya, and R. D. Purwati, "Karakteristik Biodiesel Kemiri Sunan dengan Katalis NaOH dan KOH," *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*, vol. 12, no. 2, p. 78, 2020, doi: 10.21082/btsm.v12n2.2020.78-85.
- Hartono R and W. Pamungkas, (2020), The Effect of NaOH Catalyst Ratio on

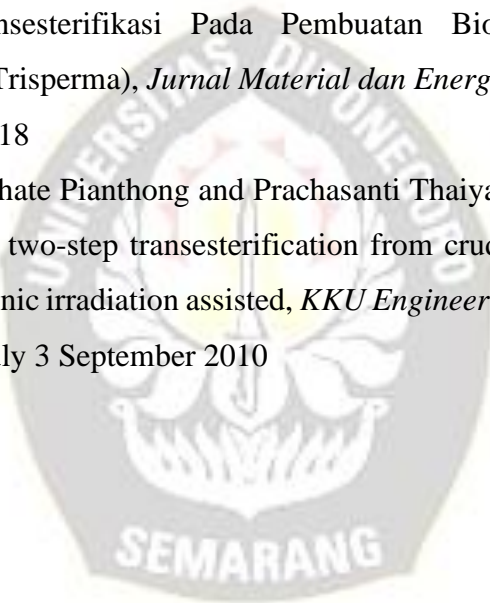
- Biodiesel Manufacturing from Off Grade CPO,” *World Chem. Eng. J.*, vol. 4, no. 2, pp. 56–61, 2020.
- Haryono H., Y. B. Yuliyati, A. R. Noviyanti, M. Rizal, and S. Nurjanah, “Karakterisasi Biodiesel Dari Minyak Kemiri Sunan Dengan Katalis Heterogen Silika Terimpregnasi Kalsium Oksida (CaO/SiO),” *Penelitian Hasil Hutan*, vol. 38, no. 1, pp. 11–24, 2020, doi: 10.20886/jphh.2020.38.1.11-24
- Hendra, D., (2014). Making Biodiesel of Aleurites trisperma Blanco Seed. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 32(1), 37–45.
- Hilmawan E., Ira Fitriana, Agus Sugiyono, Adiarso, (2021), *Outlook energi Indonesia 2021: perspektif teknologi energi Indonesia: tenaga surya untuk penyediaan energi charging station*, Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi BPPT.
- Hossain, A.B.M.S. and M.A. Mazen, (2010), Effects of catalyst types and concentrations on biodiesel production from waste soybean oil biomass as renewable energy and environmental recycling process, *AJCS* 4(7):550-555 (2010)
- Joelianingsih, MI Alghifari, FM Antika (2016), *Sintesis Biodiesel dari Minyak Kemiri Sunan dengan Katalis Homogen melalui Reaksi Esterifikasi dan Transesterifikasi secara Bertahap*, Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2016 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Lathifan Laila, Cahyadi Nugraha, Kusmaningrum , 2014, Pemodelan Matematis Untuk Analisis Kebijakan Pengembangan Industri Bahan Bakar Nabati Biodiesel Dari Kemiri Sunan, *Reka Integra | No.04 | Vol.02, ISSN: 2338-5081 ©Jurusan Teknik Industri Itenas Jurnal Online Institut Teknologi Nasional Oktober 2014*
- Mensah. E, G.Y. Obeng, E. Antwi, 2013, Engine Performance Evaluation Using Biodiesel Blends From Waste Palm Kernel Oil, Mixed WVOs And Diesel Fuel, *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)*, Volume 2, Issue 9 Pages 19-25 2013 ISSN(e): 2319 – 1813 ISSN(p): 2319 – 1805

- Mustafa, Canakci dan Jon H. V an Gerpen, 2001; *Comparison of Engine Performance and Emissions for Petroleum Diesel Fuel, Yellow Grease Biodiesel, and Soybean Oil Biodiesel*, Presented as Paper No. 016050 at the 2001 ASAE Annual International Meeting Sacramento Convention Center Sacramento, California, USA
- Nurjanah S., D. S. Lestari, A. Widyasanti, and S. Zain, "The effect of NaOH concentration and length of trans-esterification time on characteristic of FAME from Reutealis trisperma (Kemiri Sunan)," *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 52–56, 2015, doi: 10.18517/ijaseit.5.1.483
- Pranowo D, Muhammad Syakir, Bambang Prastowo, Maman Herman, Asif Aunilah, Sumanto, 2014, *Pembuatan Biodiesel dari Kemiri Sunan (Reutealis Trisperma (Banco) Airy Shaw) dan Pemnfaatan hasil Samping*, IAARD Press, Jakarta.
- Prihanto, A dan T. A. Bambang Irawan, 2017, Pengaruh Temperatur, Konsentrasi Katalis Dan Rasio Molar Metanol Minyak Terhadap Yield Biodisel Dari Minyak Goreng Bekas Melalui Proses Netralisasi- Transesterifikasi, *METANA* Juni 2017 Vol. 13(1):30-36.
- Rao, Y. V. Hanumantha; Ram Sudheer Voleti :V. S. Hariharan ; A. V. Sitarama Raju; P. Nageswara Redd., 2009, Use of Jatropha Oil Methyl Ester and Its Blends as an Alternative Fuel in Diesel, *Engine J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng.*, 2009 by ABCM July-September 2009, Vol. XXXI, No. 3 / 2
- Singh D, Dilip Sharma, S.L. Soni, Chandrapal Singh Inda, Sumit Sharma Pushpendra Kumar Sharma, Amit Jhalani, (2021), A comprehensive review of physicochemical properties, production process, performance and emissions characteristics of 2nd generation biodiesel feedstock: Jatropha curcas, *Fuel* 285 (2021) 119110
- Soerawidjaja, T.H., T. Adrisman, U.W. Siagian, T. Prakoso, I.K. Reksowardojo, K.S. Permana, 2005. *Studi Kebijakan Penggunaan Biodiesel di Indonesia*. Di dalam: P Hariyadi, N. AndarwH~an, L. Nmaida, Y. Sukmawati. editor.



Kajian Kebijakan dan Kumpulan Artikel Penelitian Biodiesel Kementerian Ristek dan Teknologi RI MAKSI IPB Bogor

- Verma TN, Pankaj Shrivastava, Upendra Rajak , Gaurav Dwivedi, Siddharth Jain, Ali Zare, Anoop Kumar Shukla, Puneet Verma, 2021, A comprehensive review of the influence of physicochemical properties of biodiesel on combustion characteristics, engine performance and emissions, *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 202; 8(4): 510-533
- Widyasanti A, Nurjanah S dan Sinatria TMG, 2017, Pengaruh Suhu Dalam Proses Transesterifikasi Pada Pembuatan Biodiesel Kemiri Sunan (Reautealis Trisperma), *Jurnal Material dan Energi Indonesia* Vol. 07, No. 01 (2017) 9-18
- Worapun, T., Kulachate Pianthong and Prachasanti Thaiyasuit, 2010, Synthesis of biodiesel by two-step transesterification from crude jatropha curcus L.oil using ultrasonic irradiation assisted, *KKU Engineering Journal* Vol.37 No.3 (169-179) July 3 September 2010



SEKOLAH PASCASARJANA