Sintesis Katalis Kalsium Oksida Terimpregnasi Molibdenum dan Terfungsionalisasi Aminosilan untuk
Konversi Minyak Nyamplung menjadi Biodiesel melalui Esterifikasi-Tranesterifikasi
Firanti Zulkarnain, Mokhammad Fajar Pradipta, S.Si., M.Eng.; Wega Trisunaryanti, Dra., M.S., Ph.D., Eng., Prof.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

SKRIPSI i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI DAN PENGGUNAAN KECERDASAN ARTIFISIAL GENERATIF iii
DAFTAR ISI vii
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR LAMPIRAN xi
INTISARI xii
ABSTRACT xiii
BAB I PENDAHULUAN 1
I.1 Latar Belakang 1
I.2 Tujuan Penelitian 4
1.3 Manfaat Penelitian 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN PERUMUSAN HIPOTESIS 6
II.1 Tinjauan Pustaka 6
II.1.1 Biodiesel 6
II.1.2 Minyak nyamplung untuk produksi biodiesel 7
II.1.3 *Degumming* sebagai tahap pra-perlakuan dalam produksi biodiesel 9
II.1.4 Kalsium oksida sebagai katalis basa 10
II.1.5 Impregnasi logam Mo pada pengemban sebagai situs asam 12
II.1.6 Modifikasi dengan 3-APTMS 14
II.1.7 *Response Surface Methodology* (RSM) untuk optimasi produksi biodiesel 16
II.2 Perumusan Hipotesis dan Rancangan Penelitian 20
II.2.1 Perumusan hipotesis I 20
II.2.2 Perumusan hipotesis II 21
II.2.3 Perumusan hipotesis III 23
II.2.4 Perumusan hipotesis IV 24
BAB III METODE PENELITIAN 26
III.1 Bahan Penelitian 26
III.2 Alat Penelitian 26
III.3 Prosedur Penelitian 27
III.3.1 Sintesis katalis Mo/CaO 27
III.3.2 Sintesis katalis Mo/CaO-APTMS 28
III.3.3 Karakterisasi katalis Mo/CaO-APTMS 28
III.3.4 Pra-perlakuan minyak nyamplung dan proses esterifikasi 29
III.3.5 Aplikasi katalis Mo/CaO-APTMS untuk konversi minyak nyamplung menjadi biodiesel 30
III.3.6 Optimasi kondisi reaksi minyak nyamplung menjadi biodiesel menggunakan katalis Mo/CaO-APTMS 31

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Sintesis Katalis Kalsium Oksida Terimpregnasi Molibdenum dan Terfungsionalisasi Aminosilan untuk Konversi Minyak Nyamplung menjadi Biodiesel melalui Esterifikasi-Tranesterifikasi
Firanti Zulkarnain, Mokhammad Fajar Pradipta, S.Si., M.Eng.; Wega Trisunaryanti, Dra., M.S., Ph.D., Eng., Prof.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

III.3.7 Uji *reusability* katalis Mo/CaO-APTMS pada kondisi terbaik RSM 32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 33
IV.1 Karakterisasi Katalis 33
IV.1.1 Analisis kristalinitas katalis dengan XRD 33
IV.1.2 Analisis gugus fungsional katalis menggunakan FTIR 38
IV.1.3 Analisis keasaman katalis menggunakan NH_3-TPD 39
IV.1.4 Analisis kebasaan katalis menggunakan CO_2TPD 42
IV.1.5 Analisis morfologi katalis menggunakan SEM-EDX *Mapping* 44
IV.1.6 Analisis keadaan unsur pada katalis menggunakan XPS 47
IV.1.7 Analisis sifat tekstural katalis menggunakan SAA 49
IV.2 Analisis GC-MS dan FFA minyak nyamplung 52
IV.3 Analisis performa katalis pada konversi minyak nyamplung menjadi biodiesel 54
IV.4 Optimasi kondisi reaksi pada produksi biodiesel menggunakan katalis Mo/CaO-APTMS 57
IV.5 Analisis uji *reusability* katalis Mo/CaO-APTMS 71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 76
V.1 Kesimpulan 76
V.2 Saran 77
DAFTAR PUSTAKA 78
LAMPIRAN 88

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Sintesis Katalis Kalsium Oksida Terimpregnasi Molibdenum dan Terfungsionalisasi Aminosilan untuk
Konversi Minyak Nyamplung menjadi Biodiesel melalui Esterifikasi-Tranesterifikasi**
Firanti Zulkarnain, Mokhammad Fajar Pradipta, S.Si., M.Eng.; Wega Trisunaryanti, Dra., M.S., Ph.D., Eng., Prof.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Sifat bahan bakar dan petrodiesel 6
Tabel II.2 Komposisi FFA pada minyak nyamplung 9
Tabel IV.1 Nilai ukuran kristal 37
Tabel IV.2 Nilai keasaman katalis CaO; Mo/CaO; Mo/CaO-APTMS 42
Tabel IV.3 Nilai kebasaan katalis CaO; Mo/CaO; Mo/CaO-APTMS 44
Tabel IV.4 Persentase kandungan unsur pada sampel katalis CaO; Mo/CaO; dan Mo/CaO-APTMS 46
Tabel IV.5 Sifat tekstural katalis 50
Tabel IV.6 Komposisi asam lemak dalam minyak nyamplung mentah 53
Tabel IV.7 Komposisi asam lemak dalam minyak nyamplung hasil degumming 53
Tabel IV.8 Komposisi asam lemak dalam minyak nyamplung hasil esterifikasi 53
Tabel IV.9 Hasil pengkodean CCD-RSM 57
Tabel IV.10 Desain eksperimen RSM CCD dan respons yield biodiesel 58
Tabel IV.11 Analisis regresi dan signifikansi model 60
Tabel IV.12 Komposisi metil ester produk yang dihasilkan pada kondisi optimum 69
Tabel IV.13 Aplikasi katalis Mo/CaO-APTMS dengan penelitian sebelumnya 70
Tabel IV.14 Persentase unsur pada permukaan katalis Mo/CaO-APTMS hasil analisis EDX 74

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Sintesis Katalis Kalsium Oksida Terimpregnasi Molibdenum dan Terfungsionalisasi Aminosilan untuk
Konversi Minyak Nyamplung menjadi Biodiesel melalui Esterifikasi-Tranesterifikasi**
Firanti Zulkarnain, Mokhammad Fajar Pradipta, S.Si., M.Eng.; Wega Trisunaryanti, Dra., M.S., Ph.D., Eng., Prof.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1	Konfigurasi unsur Mo	14
Gambar II. 2	Skema grafting 3-APTMS pada permukaan	16
Gambar II. 3	Plot (a) surface pengaruh variabel dan (b) contour respons	17
Gambar II. 4	Skematisasi tahapan optimasi dalam mencapai kondisi produksi	18
Gambar IV.1	Difragtogram XRD (a) CaO; (b) Mo/CaO; (c) Mo/CaO-APTMS	33
Gambar IV.2	Representasi struktur kristal Ca(OH)2 heksagonal	34
Gambar IV.3	Representasi struktur kristal CaMoO4	36
Gambar IV.4	Spektra FTIR katalis (a) CaO; (b) Mo/CaO; (c) Mo/CaO-APTMS	39
Gambar IV.5	Kurva NH3-TPD katalis (a) CaO; (b) Mo/CaO; (c) Mo/CaO-APTMS	40
Gambar IV.6	Nilai keasaman katalis CaO; Mo/CaO; Mo/CaO-APTMS	43
Gambar IV.7	Citra SEM katalis (a) CaO; (b) Mo/CaO; (c) Mo/CaO-APTMS	45
Gambar IV.8	Spektra XPS katalis Mo/CaO (a) *wide scan*, (b) *high-resolution spectrum*	48
Gambar IV.9	Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi N2 (a) CaO, (b) Mo/CaO, dan (c) Mo/CaO-APTMS	50
Gambar IV.10	Kurva distribusi diameter pori katalis	51
Gambar IV.11	Yield biodiesel yang diperoleh dari penggunaan katalis CaO, Mo/CaO, dan Mo/CaO-APTMS pada kondisi reaksi yang sama	54
Gambar IV.12	Usulan mekanisme reaksi konversi minyak nyamplung menjadi biodiesel menggunakan katalis bifungsional Mo/CO-APTMS.	56
Gambar IV.13	Hubungan antara yield biodiesel eksperimen dan prediksi	63
Gambar IV.14	(a) uji normalisasi residu dan (b) residual terhadap nilai prediksi	64
Gambar IV.15	Hasil respons yield biodiesel terhadap waktu reaksi dan konsentrasi katalis pada rasio 9:1 dalam bentuk (a,b,c) contour plot dan (d) surface plot	66
Gambar IV.16	Plot optimasi respons yield biodiesel	67
Gambar IV.17	Hasil reusability 3 siklus katalis Mo/CaO-APTMS	71
Gambar IV.18	Spektra FTIR katalis (a) Mo/CaO-APTMS baru dan (b) Mo/CaO- APTMS setelah digunakan pada uji reusability	73
Gambar IV.19	Citra SEM katalis (a) Mo/CaO-APTMS baru dan (b) Mo/CaO-APTMS setelah uji *reusability*	74

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Sintesis Katalis Kalsium Oksida Terimpregnasi Molibdenum dan Terfungsionalisasi Aminosilan untuk
Konversi Minyak Nyamplung menjadi Biodiesel melalui Esterifikasi-Tranesterifikasi**
Firanti Zulkarnain, Mokhammad Fajar Pradipta, S.Si., M.Eng.; Wega Trisunaryanti, Dra., M.S., Ph.D., Eng., Prof.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Spektra FTIR 88
Lampiran 2 Difaktogram sinar X 90
Lampiran 3 Kurva NH_3TPD 91
Lampiran 4 Kurva CO_2-TPD 93
Lampiran 5 Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi 94
Lampiran 6 Citra SEM 96
Lampiran 7 Spektra XPS 98
Lampiran 8 Kromatogram GC 98