

LAPORAN PENELITIAN

**SINTESIS BIODIESEL BERBAHAN DASAR MINYAK
JELANTAH DENGAN BANTUAN FOTOKATALIS
CaO-ZnO/TiO₂**



Disusun Oleh:

RESTI PEBRIYANTI (3335190102)

RAHMAH SAVIRAH AZZAHRAH (3335190103)

**JURUSAN TEKNIK KIMIA - FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON - BANTEN**

2023

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : RESTI PEBRIYANTI

NIM : 3335190102

JURUSAN : TEKNIK KIMIA

JUDUL : SINTESIS BIODIESEL BERBAHAN DASAR
MINYAK JELANTAH DENGAN BANTUAN
FOTOKATALIS CaO-ZnO/TiO₂

Bersedia

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian dengan judul tersebut di atas adalah benar karya saya sendiri dengan arahan dari pembimbing dan tidak ada duplikasi dengan karya orang lain kecuali yang telah disebutkan sumbernya.

Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penelitian ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Cilegon, 29 July 2024



Resti Pebriyanti

ABSTRAK

SINTESIS BIODIESEL BERBAHAN DASAR MINYAK JELANTAH DENGAN BANTUAN FOTOKATALIS CaO-ZnO/TiO₂

Oleh:

Resti Pebriyanti 3335190102

Rahmah Savirah Azzahrah 3335190103

Terjadinya penurunan produksi minyak mentah dan kondensat menandai bahwa perlu adanya energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi. Biodiesel merupakan salah satu pengganti bahan bakar minyak bumi. Biodiesel yang berasal dari minyak jelantah mampu mengurangi limbah minyak jelantah. Upaya untuk mengurangi biaya produksi biodiesel yaitu menggunakan katalis heterogen yang harganya murah, mudah dipisahkan dari produk dan ramah lingkungan. Tujuan Penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi terbaik dari perbandingan molar minyak jelantah:metanol (1:10, 1:12, dan 1:14), jumlah katalis (2(b/b)%, 3(b/b)% dan 4(b/b)%), pengaruh penggunaan sinar ultra violet dan pengaruh penggunaan ulang katalis komposit CaO/ZnO-TiO₂ terhadap yield biodiesel yang dihasilkan, serta mengidentifikasi karakteristik biodiesel yang dihasilkan (densitas, viskositas, dan kadar air). Pada penelitian ini menggunakan metode sintesis biodiesel yang diawali dengan preparasi minyak jelantah untuk memisahkan dengan sisa makanan dan menghilangkan kadar air, setelah itu preparasi katalis ZnO/TiO₂ dengan melarutkan Zn(NO₃)₂·6H₂O dan mencampurkannya dengan TiO₂. Selanjutnya CaO diimpregnasi dengan katalis ZnO/TiO₂ selama 3 jam dengan suhu 60⁰C kemudian dikeringkan dan dikalsinasi pada suhu 500⁰C selama 5 jam dan di uji XRD setelah itu proses sintesis biodiesel selama 3 jam dengan suhu 60⁰C menggunakan sinar UV dan dipisahkan antara katalis, biodiesel dan gliserol pada corong pemisah. Setelah itu biodiesel dimurnikan dengan cara menghilangkan kadar air pada biodiesel dengan pemanasan selama 15 menit pada suhu 110⁰C kemudian diuji densitas, viskositas, dan kadar air serta uji GC-MS. Hasil terbaik dari penelitian ini adalah dengan rasio molar minyak jelantah:metanol (1:14 dengan 2 (b/b)%) menghasilkan yield sebesar 91,10% dengan densitas dan viskositas sebesar 876 Kg/l dan 4,443 cSt.

Kata Kunci: Biodiesel, Katalis Heterogen, Minyak Jelantah, dan Sintesis biodiesel.

ABSTRACT

SYNTHESIS BIODIESEL BASED USED OIL WITH OF PHOTOCATALYSTS CaO-ZnO/TiO₂

By:

Pebriyanti remains 3335190102

Rahmah Savirah Azzahrah 3335190103

The decline in crude oil and condensate production indicates the need for renewable energy. Biodiesel is one of the substitutes for petroleum fuel. Biodiesel derived from used oil is able to reduce used oil waste. Efforts to reduce the cost of biodiesel production are using heterogeneous catalysts that are cheap, easily separated from the product and environmentally friendly. The purpose of this study is to determine the best conditions from the molar ratio of used oil: methanol (1:10, 1:12, and 1:14), the mass of catalysts (2(w/b)%, 3(w/b)% and 4(w/w)%), the effect of using ultraviolet light and the effect of reusing CaO-ZnO/TiO₂ composite catalysts on the yield of biodiesel produced, as well as identifying the characteristics of the biodiesel produced (density, viscosity, and moisture content). In this study using a biodiesel synthesis method which begins with used oil preparation to separate with food waste and remove water content, after that ZnO/TiO₂ catalyst preparation by dissolving Zn(NO₃)₂ 6H₂O and mixing it with TiO₂. Furthermore, CaO is impregnated with ZnO/TiO₂ catalyst for 3 hours with a temperature of 60⁰C then dried and calcined at a temperature of 500⁰C for 5 hours and tested XRD after that the biodiesel synthesis process for 3 hours with a temperature of 60⁰C using UV light and separated between catalyst, biodiesel and glycerol in the separation funnel. After that, biodiesel is purified by removing the moisture content in biodiesel by heating for 15 minutes at a temperature of 110⁰C then tested for density, viscosity, and moisture content and GC-MS test. The best result of this study is with the molar ratio of used cooking oil: methanol (1:14 to 2 (w/w)%) producing a yield of 91.10% with a density and viscosity of 876 Kg/l and 4.443cSt.

Keywords: Biodiesel, Heterogeneous Catalyst, Used Oil, and Biodiesel Synthesis.

KATA PENGANTAR

Dengan segala kerendahan hati, penulis memanjatkan puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat, rahmat, dan karunia-Nya, penulis proposal penelitian yang berjudul “Sintesis Biodiesel Berbahan Dasar Minyak Jelantah Dengan Bantuan Fotokatalis CaO-ZnO/TiO₂” dapat diselesaikan.

Proposal penelitian ini dibuat untuk melengkapi salah satu persyaratan Program Strata-I pada Jurusan Teknik Kimia Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis menyadari, berhasilnya studi dan penyusunan proposal penelitian ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan semangat dan do’a kepada penulis, sehingga pada kesempatan ini penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Kedua Orang Tua yang tak henti-hentinya selalu mendoakan dan memotivasi penulis untuk senantiasa bersemangat dan tak mengenal kata putus asa hingga terselesaikannya proposal penelitian ini.
2. Bapak Muhammad Triyogo Adiwibowo, S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing penelitian yang telah meluangkan waktunya serta memberikan bimbingan dalam menyusun proposal penelitian.
3. Dr. Rahmayetty, S.T., M.T. Selaku koordinator penelitian.
4. Teman-teman yang telah memberikan bantuan langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari dalam penyusunan proposal penelitian ini masih ada kekurangan baik dari segi penulisan maupun kelengkapan informasi, untuk itu penulis berharap ada saran dan kritikan dari pembaca semua agar penulis bisa lebih baik lagi dimasa yang akan datang.

Cilegon, 21 Mei 2023

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Biodiesel Sebagai Energi Terbarukan	4
2.2 Proses Transesterifikasi Dan Esterifikasi Pada Pembuatan Biodiesel.....	5
2.3 Minyak Jelantah Sebagai Bahan Baku Biodiesel	7
2.4 Peranan Katalis CaO Pada Pembuatan Biodiesel	8
2.5 Semikonduktor ZnO/TiO ₂ Sebagai Fotokatalis	9
2.6 Penelitian Terdahulu	10
BAB III METODELOGI PERCOBAAN	
3.1 Tahap Penelitian	13
3.2 Prosedur Penelitian	13
3.2.1 Preparasi Minyak Jelantah.....	13
3.2.2 Preparasi Katalis ZnO/TiO ₂	14

3.2.3 Preparasi Katalis CaO-ZnO/TiO ₂	14
3.2.4 Karakteristik Komposit CaO-ZnO/TiO ₂ Menggunakan XRD	14
3.2.4.1 Uji Kadar FFA Minyak Jelantah.....	14
3.2.5 Sintesis Biodiesel	15
3.2.6 Pemisahan Biodiesel.....	15
3.2.7 Pemurnian Biodiesel	16
3.2.8 Karakteristik Biodiesel.....	16
3.2.9 Komposisi Biodiesel.....	17
3.3 Alat dan Bahan	18
3.3.1 Alat	18
3.3.2 Bahan.....	19
3.4 Variabel Percobaan.....	19
3.5 Metode Pengumpulan Data dan Analisis.....	19

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Karakteristik Fotokatalis Dengan XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	20
4.2 Sintesis Biodiesel.....	21
4.2.1 Pengaruh Variasi Rasio Minyak Jelantah : Metanol Terhadap Yield Biodiesel	21
4.2.2 Pengaruh Variasi Jumlah Katalis Terhadap Yield Biodiesel	22
4.2.3 Pengaruh Variasi Sinar UV Terhadap Yield Biodiesel.....	23
4.2.4 Pengaruh Penggunaan Ulang Terhadap Yield Biodiesel	25
4.3 Karakteristik Biodiesel	25
4.3.1 Densitas	26
4.3.2 Viskositas	27
4.3.3 KadarAir.....	27
4.4 Hasil Uji <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS)	27

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan29

5.2 Saran29

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

A. Dokumentasi

B. Perhitungan

c. Hasil Uji

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 <i>Review</i> Penelitian Terdahulu	10
Tabel 3.1 Rasio Molar dan Varisi Berat Katalis.....	16
Tabel 4.1 Pengaruh Variasi Terhadap Densitas, Viskositas dan Kadar Air	26
Tabel 4.2 Komposisi Biodiesel Hasil Percobaan	28

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Reaksi Esterifikasi	6
Gambar 2.2 Proses Transesterifikasi	7
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Sintesis Biodiesel	14
Gambar 4.1 Hasil XRD Dari Fotokatalis CaO-ZnO/TiO ₂	20
Gambar 4.2 Garfik Pengaruh Variasi Rasio Minyak Jelantah:Metanol Terhadap Yield Biodiesel.....	21
Gambar 4.3 Pengaruh Variasi Jumlah Katalis Terhadap Yield Biodiesel.....	22
Gambar 4.4 Pengaruh Variasi Sinar UV Terhadap Yield Biodiesel	23
Gambar 4.5 Pengaruh Penggunaan Ulang Terhadap Yield Biodiesel.....	25

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis energi selalu terjadi di berbagai negara, hal ini ditandai dengan meroketnya harga komoditas energi seperti batubara dan minyak mentah. Dikutip dari website bps.go.id, berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) bahwa produksi minyak mentah dan kondensat di Indonesia pada tahun 2019 mengalami penurunan menjadi 273,5 ribu barel. Penurunan tersebut sebagai tanda bahwa diperlukan sumber energi lain untuk memenuhi kebutuhan energi. Salah satu solusi yang ditawarkan yaitu memproduksi bahan bakar energi ramah lingkungan seperti biodiesel.

Biodiesel dapat dihasilkan dari minyak pangan dan bukan pangan. Pembuatan biodiesel menggunakan minyak pangan akan berdampak pada potensi ketersediaan pangan. Pemilihan minyak non-pangan seperti minyak jelantah ini dipilih karena memiliki harga yang murah dan tidak bersaing dengan bahan makanan. Katalis yang biasa digunakan dalam proses biodiesel yaitu katalis homogen dan katalis heterogen.

Katalis homogen basa memiliki kelebihan mudah dalam penyimpanannya, namun sulit pemisahannya dalam pemurnian biodiesel dan katalis homogen ini akan membentuk produk samping berupa sabun yang dikarenakan adanya asam lemak bebas yang tinggi. Katalis heterogen mudah dipisahkan dari produk dan ramah lingkungan. Berdasarkan kelebihan yang dimiliki katalis heterogen basa tersebut pada penelitian ini menggunakan katalis heterogen basa. Salah satu katalis basa heterogen yaitu CaO yang memiliki kekuatan basa yang tinggi, harganya murah dan dapat digunakan kembali (Lestari, 2018).

Berdasarkan penelitian (Yuhelson et al., 2015) melaporkan bahwa nilai yield dari katalis homogen lebih besar dibandingkan dengan katalis heterogen. Katalis heterogen memiliki potensi yang menghasilkan biodiesel dengan harga ekonomis dan ramah lingkungan. Katalis heterogen CaO

sangat aktif dalam reaksi transesterifikasi. Namun, katalis CaO ini mudah rusak pada asam lemak yang tinggi. Berdasarkan penelitian dari (Santoso et al., 2019) CaO sedikit larut dalam metanol, hal tersebut dapat menghambat proses pemisahan sehingga kombinasi CaO-ZnO dapat melindungi fasa aktif CaO dalam media reaksi karena interaksi kuat antara sisi aktif dan pendukung katalis, penelitian ini menghasilkan yield biodiesel sebesar 84,74%. Berdasarkan penelitian (Sisca et al., 2021) katalis CaO merupakan katalis dengan kuantitas dan efisiensi yang baik dalam aplikasi biodiesel. Namun, katalis CaO tidak stabil karena pencucian selama proses transesterifikasi yang mengganggu aktivitas katalitik. Solusi yang dapat dilakukan yaitu dengan memodifikasi CaO dengan TiO₂ untuk menstabilkan katalis dalam penggunaan berulang. Pada penelitian tersebut didapatkan yield biodiesel sebesar 94%.

Pada penggunaan fotokatalis TiO₂ telah digunakan pada penelitian (Guo et al., 2021) yang menghasilkan nilai yield yang cukup besar, namun fotokatalis ini memiliki kekurangan pada pita energi TiO₂ yang nilainya sebesar 3,2 eV, sehingga hanya dapat digunakan dengan sinar ultraviolet diatas 387 nm agar dapat diserap yang menyebabkan fotokatalis ini mempunyai nilai efisien yang rendah. ZnO dapat menghambat pertumbuhan partikel TiO₂ dan meningkatkan aktivitas fotokatalitik dengan menggabungkan pasangan lubang elektron. ZnO mempunyai energi pita sebesar 3,67 eV, serta memiliki emisi ultraviolet yang kuat (Supriyanto et al., 2020). Berdasarkan penelitian (Haryati et al., 2012) semikonduktor TiO₂ dapat dimodifikasi dengan semikonduktor ZnO untuk meningkatkan aktivitas fotokatalis TiO₂. Penambahan ZnO/TiO₂ pada katalis CaO juga guna membuat katalis menjadi bifungsional yaitu katalis heterogen yang mampu melakukan reaksi transesterifikasi dan esterifikasi dalam satu tahap.

Penelitian ini berfokus pada pengaruh rasio molar minyak jelantah : metanol, jumlah katalis, pengaruh penggunaan sinar ultra violet dan penggunaan ulang katalis komposit CaO-ZnO/TiO₂ terhadap yield biodiesel

yang dihasilkan guna mendapatkan hasil terbaik, penelitian ini dilakukan berdasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh (Guo, dkk, 2021).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu bagaimana kondisi terbaik dari variasi perbandingan molar minyak jelantah:metanol (1:10, 1:12, dan 1:14), jumlah katalis (2 (b/b)%, 3 (b/b)% dan 4 (b/b)%), pengaruh penggunaan sinar ultra violet dan penggunaan ulang katalis komposit CaO/ZnO-TiO₂ terhadap yield biodiesel yang dihasilkan, serta mengidentifikasi karaktersistik biodiesel yang dihasilkan (densitas, viskositas, dan kadar air) sesuai SNI 7182:2015.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi terbaik dari perbandingan molar minyak jelantah:metanol (1:10, 1:12, dan 1:14), jumlah katalis (2 (b/b)%, 3 (b/b)% dan 4 (b/b)%), pengaruh penggunaan sinar ultra violet dan penggunaan ulang katalis komposit CaO/ZnO-TiO₂ terhadap yield biodiesel yang dihasilkan, serta mengidentifikasi karaktersistik biodiesel yang dihasilkan (densitas, viskositas, dan kadar air) sesuai SNI 7182:2015.

1.4 Batasan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dan dibatasi pada bahan baku yang digunakan pada penelitian meliputi minyak jelantah dan fotokatalis CaO-ZnO/TiO₂. Pada penelitian ini menggunakan metode sintesis biodiesel dengan variasi rasio metanol:minyak jelantah, jumlah katalis, penggunaan sinar ultra violet dan penggunaan ulang katalis komposit.

DAFTAR PUSTAKA

- Annisa, S., Rachim, G., Raya, I., & Zakir, M. (2017). *MODIFICATION OF CAO CATALYST TO PRODUCE BIODIESEL FROM WASTE COOKING OIL* Modifikasi Katalis CaO Untuk Produksi Biodiesel Dari Minyak Bekas. 5(1), 459–464.
- Arita, S., Afrianto, I., & Fitriana, Y. (2008). Produksi Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Menggunakan Reaksi 2 Tahap (Esterifikasi dan Transesterifikasi). *Jurnal Teknik Kimia*, 15(4), 57–65.
- Akhihiero, E. T., Oghenejoboh, K. M., & Umukoro, P. O. (2013). Effects of Process Variables on Transesterification Reaction of Jatropha Curcas Seed Oil for the Production of Biodiesel. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(6), 388–393.
- Citra Dewi, A. S., & Slamet. (2019). Novel approach of esterification process using heterogeneous catalyst in biodiesel synthesis from waste cooking oil. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 509(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/509/1/012012>
- Efendi, R., Aulia, H., Faiz, N., & Firdaus, E. R. (2012). Pembuatan Biodiesel Minyak Jelantah Menggunakan Metode Esterifikasi-Transesterifikasi Berdasarkan Jumlah Pemakaian Minyak Jelantah Biodiesel Production From Waste Cooking Oil By Esterification-Transesterification Methods Based on Amount of Used Cooking Oi. *Industrial Research*, 7182, 2,4.
- Guo, M., Jiang, W., Chen, C., Qu, S., Lu, J., Yi, W., & Ding, J. (2021). Process optimization of biodiesel production from waste cooking oil by esterification of free fatty acids using La³⁺/ZnO-TiO₂ photocatalyst. *Energy Conversion and Management*, 229(September 2020), 113745. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113745>
- Hamsyah Adhari, D., & Putri Utami, S. (2016). PEMANFAATAN MINYAK JELANTAH MENJADI BIODIESEL DENGAN KATALIS ZnO PRESIPITAN ZINK CARBONAT:PENGARUH WAKTU REAKSI. *Jom FTEKNIK*, 3(2), 1.

- Hao, L., Lu, Y., & Guan, S. (2015). *Preparation, Characterization and Photocatalytic Activity of TiO₂/Fe Composite Coatings*. 2013, 314–319. https://doi.org/10.1142/9789814678971_0047
- Haryanto, A., Silviana, U., Triyono, S., & Prabawa, S. (2015). Produksi Biodiesel Dari Transesterifikasi Minyak Jelantah Dengan Bantuan Gelombang Mikro: Pengaruh Intensitas Daya Dan Waktu Reaksi Terhadap Rendemen Dan Karakteristik Biodiesel. *Jurnal Agritech*, 35(02), 234. <https://doi.org/10.22146/agritech.13792>
- Haryati, T., Andarini, N., & Febrianti, M. I. (2012). Sintesis Lapis Tipis Fotokatalis ZnO-TiO₂ Menggunakan Metode Sol Gel dengan PEG (Polyethylene Glycol) Sebagai Pelarut. *Ilmu Dasar*, 13(1), 1–5.
- Hidayati, N., Ariyanto, T. S., & Septiawan, H. (2017). Kalsium Oksida. *Teknologi Bahan Alam*, 1(1), 1–5.
- Istadi, I., Prasetyo, S. A., & Nugroho, T. S. (2015). Characterization of K₂O/CaO-ZnO Catalyst for Transesterification of Soybean Oil to Biodiesel. *Procedia Environmental Sciences*, 23(Ictcred 2014), 394–399. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.056>
- Lesbani, A., Tamba, P., Mohadi, R., & Fahmariyanti. (2013). Preparation of calcium oxide from *Achatina fulica* as catalyst for production of biodiesel from waste cooking oil. *Indonesian Journal of Chemistry*, 13(2), 176–180. <https://doi.org/10.22146/ijc.21302>
- Li, W., Liang, R., Hu, A., Huang, Z., & Zhou, Y. N. (2014). Generation of oxygen vacancies in visible light activated one-dimensional iodine TiO₂ photocatalysts. *RSC Advances*, 4(70), 36959–36966.
- Mahangani, N., Vunain, E., Meijboom, R., & Jalama, K. (2015). Biodiesel production over ZnO/TiO₂ catalyst: Effect of co-solvent, temperature and reaction time. *Lectures Notes in Engginering and Computer Science*, 2218, 828-832.
- Mantovani, S. A. (2017). Pengaruh Jumlah Katalis Dan Waktu Reaksi Terhadap Konversi Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Katalis CaO Dari Kulit Telur. *Skrisi Jurusan Teknik Kimia FT Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Oko Mustafa; Kurniawan, Andri; Willain, Danu, S. M. (2021). SINTESIS BIODIESEL DARI MINYAK KEDELAI MELALUI REAKSI

TRANSESTERIFIKASI DENGAN KATALIS CaO/NaOH. *Jurnal Teknologi*, 13(Vol 13, No 1 (2021): Jurnal Teknologi), 1–6. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/jurtek/article/view/6581/4668>

Prasetyo, J. (2018). Studi Pemanfaatan Minyak Jelantah Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 2(2), 45. <https://doi.org/10.32493/jitk.v2i2.1679>

Putri, S.K., Supranto, dan R. Sudiyo. 2012. Studi proses pembuatan biodiesel dari minyak kelapa (*coconut oil*) dengan bantuan gelombang ultrasonik. *Jurnal Rekayasa Proses*. Vol. 4(2):15 - 20.

Santoso, A., Hanindita, C. F. A., Sumari, & Rachman, I. B. (2019). Synthesis of Biodiesel from Low-Quality Crude Palm Oil with Heterogeneous Catalyst Cao-ZnO. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 515(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/515/1/012082>

Setyaningsih, L. W. N., Rizkiyaningrum, U. M., & Andi, R. (2017). Pengaruh Konsentrasi Katalis Dan Reusability Katalis Pada Sintesis Triasetin Dengan Katalisator Lewatit. *Teknoin*, 23(1), 56–62. <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol23.iss1.art7>

Sisca, V., Deska, A., Syukri, Zilfa, & Jamarun, N. (2021). Synthesis and characterization of CaO limestone from lintau buo supported by TiO₂ as a heterogeneous catalyst in the production of biodiesel. *Indonesian Journal of Chemistry*, 21(4), 979-989. <https://doi.org/10.22146/ijc.64675>.

Suiva, K. A. (2014). *ESTERIFIKASI MINYAK GORENG BEKAS MENGGUNAKAN FOTOKATALIS KOMPOSIT TiO₂-ZEOLIT ALAM TERAKTIVASI*.

Supriyanto, A., Kurniawan, D., & Cari, C. (2020). Pengaruh Perbandingan Komposisi ZnO dan TiO₂ dalam Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) pada Dye Kangkung (*Ipomoea aquatica*). *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika Dan Aplikasinya)*, 5, 1–9. <https://doi.org/10.20961/prosidingsnfa.v5i0.46635>

- Thomas A. Sihombing. (2017). Pengaruh Suhu Dekomposisi Dan Konsentrasi Katalis Kalsium Oksida (CaO) Dari Cangkang Telur Ayam Terhadap Sintesis Biodiesel Dari Minyak Jelantah. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Yuhelson, -, Prasetya, -, Fauzi, M. R., & Triasih, P. (2015). EFEKTIFITAS PENGGUNAAN CaO SEBAGAI KATALIS HETEROGEN DIBANDINGKAN KATALIS HOMOGEN UNTUK PRODUKSI BIODIESEL. *Photon: Jurnal Sain Dan Kesehatan*, 6(01), 119–122. <https://doi.org/10.37859/jp.v6i01.485>
- Zahrani, S., Mauliyah, D., Retno, P., & Ningsih, W. (2017). *Zeolit Alam Yang Dimodifikasi Dengan Koh Biodiesel Production From Rice Bran Oil By Transesterification Using Heterogeneous Catalyst Natural Zeolite Modified With Koh*. 6(1), 12–18.
- Zaki, M., Husin, M.T., H., Alam, P. N., Darmadi, D., Rosnelly, C. M., & Nurhazanah, N. (2019). Transesterifikasi Minyak Biji Buta-Buta menjadi Biodiesel pada Katalis Heterogen Kalsium Oksida (CaO). *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 14(1), 36–43. <https://doi.org/10.23955/rkl.v14i1.13495>, 14(1), 36–43. <https://doi.org/10.23955/rkl.v14i1.13495>