

PEMBUATAN *GREEN DIESEL* DARI MINYAK BIJI KAPUK (*Ceiba pentandra*) MENGGUNAKAN KATALIS NiMo/ γ -Al₂O₃ DENGAN PROSES HIDROGENASI DAN FRAKSINASI

**Rahmadita Aulya Ristanti¹⁾, Bangkit Putra Sagara¹⁾,
SD Sumbogo Murti²⁾, Sri Redjeki¹⁾**

¹⁾Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Jalan Raya Rungkut Madya Gunung Anyar, Surabaya 60249

²⁾Pusat Teknologi Sumber Daya Energi & Industri Kimia, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Gedung Energi 625 Klaster V, Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan 15314
rahmaditaulya@gmail.com

Abstrak

Potensi minyak biji kapuk untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar nabati sangatlah besar karena minyak biji kapuk tidak dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan sehingga tidak mengganggu ketahanan pangan membuatnya menjadi bahan baku potensial untuk sintesis green diesel. Pre-treatment minyak biji kapuk dilakukan untuk mengurangi kadar FFA (Free Fatty Acid) yang terkandung sebelum di proses menjadi green diesel. Proses hidrogenasi dilakukan dengan bantuan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃. Tujuan dari penelitian ini yaitu membuat green diesel dari minyak biji kapuk menggunakan proses hidrogenasi dan fraksinasi dengan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ serta mengetahui karakterisasi green diesel dengan bahan baku minyak biji kapuk. Kondisi yang dijalankan yaitu waktu reaksi (2 x 30 menit, 2 x 60 menit, dan 2 x 90 menit) dengan tekanan awal 30 bar, temperatur reaksi 400 °C dan dijalankan 2 stage. Dari hasil penelitian didapatkan waktu terbaik pembuatan green diesel yaitu 2 x 60menit. Sedangkan untuk hasil karakterisasi didapat bahwa untuk kandungan sulfur, pour point, cloud point dan cetane number memenuhi standar SNI, namun untuk nilai kinematic viscosity belum memenuhi standar SNI.

Kata kunci: Green Diesel; Hidrogenasi; kapuk; katalis NiMo/ γ -Al₂O₃; minyak biji

Synthesis Green diesel from Kapok Seed Oil (*Ceiba pentandra*) using NiMo/ γ -Al₂O₃ Catalyst with Hydrogenation and Fractination Process

Abstract

Potential of kapok seeds oil as vegetable fuel is really great because kapok seeds oil can't be use as foodstuff. So it can be use for synthesis of green diesel. Pre-treatment process of kapok seeds oil is used for reducing FFA (Free Fatty Acid) content in it before processed to be a green diesel. Hydrogenation process is done assisted with NiMo/ γ -Al₂O₃ catalyst. The porpose of this research is to synthesized green diesel from kapok seeds oil using hydrogenation and fractination process with NiMo/ γ -Al₂O₃ catalyst and knowing the characterization of green diesel from kapok seeds oil. The variable which is executed is reaction time (2 x 30 minutes, 2 x 60 minutes dan 2x 90 minutes) with initial pressure is 30 bar, temperature reaction is 400°C and 2 stages. From the result of characterization, sulfur content, pour point dan cetane number are meet SNI standards however for kinematic viscosity is not yet fullfiled.

Key words: Catalyst NiMo/ γ -Al₂O₃; Green Diesel; Hydrogenation; Kapok Seed Oil

PENDAHULUAN

Indonesia saat ini menghadapi salah satu masalah besar yaitu menipisnya sumber daya alam berupa minyak bumi. Ketergantungan pada bahan bakar fosil yang tinggi menimbulkan adanya ketidakseimbangan antara kebutuhan bahan bakar fosil dengan pasokan bahan bakar fosil yang ada sehingga menimbulkan impor minyak bumi terus meningkat. Banyak upaya-upaya yang dilakukan dalam mencegah kondisi krisis bahan bakar agar tidak terjadi, misalnya dengan diciptakan energi terbarukan dari proses alam yang berkelanjutan seperti biodiesel. Metode ini lazim digunakan untuk memproduksi biofuel yang dikenal sebagai teknologi generasi pertama berbasis minyak nabati.

Potensi minyak biji kapuk untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar nabati sangatlah besar karena minyak biji kapuk tidak dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan sehingga tidak mengganggu ketahanan pangan. Berdasarkan data dari (Badan Pusat Statistik Jawa Timur, 2018) pada tahun 2015 produksi perkebunan kapuk randu di Jawa Timur sebesar 25.288 ton per tahun. Menurut (Susanto, 2016) menyatakan bahwa 1 hektar lahan pohon kapuk pada usia tanam 17 tahun dapat menghasilkan 500 kg serat kapuk dan 1 ton biji kapuk kering dan 500 gr biji kapuk menghasilkan 47,395 gr minyak biji kapuk. Dari data tersebut dapat dikonversikan bahwa kapuk randu 25.288 ton menghasilkan 50.576 ton biji kapuk dan 4.794,1 ton minyak biji kapuk per tahun.

Produksi biodiesel di Indonesia sampai saat ini masih meninggalkan hal yang harus disempurnakan. Menurut (Singh, 2019), kelemahan biodiesel antara lain: Emisi NO_x yang lebih tinggi serta tingginya viskositas. Kelemahan biodiesel karena adanya ikatan rangkap tak jenuh antara lain: stabilitas oksidasi rendah, nilai kalor yang rendah, korosivitas yang tinggi serta titik nyala yang masih tinggi dibanding petroleum diesel, untuk mengatasi masalah tersebut maka *green diesel* adalah salah satu solusi dalam menjawab problematika kebutuhan energi dan sebagai solusi penyempurnaan biodiesel. *Green diesel* adalah bahan bakar alternatif yang merupakan bahan bakar terbarukan dengan kualitas yang lebih bagus dibanding biodiesel. Kelebihan *green diesel* atau biodiesel G2 ini mampu mencapai bilangan cetane 55 -90 jauh lebih tinggi dari capaian biodiesel G1 yang hanya 40-45, sehingga minyak yang dihasilkan dapat langsung dipakai sebagai bahan bakar mesin diesel tanpa harus ditambahkan dengan solar bahkan tanpa harus melakukan modifikasi mesin. Semakin menipisnya cadangan sumberenergi fosil, *Green diesel* diharapkan mampu menjadi sumber energi alternatif. Pembuatan *green diesel* yang tidak menghasilkan limbah, sangat efisien secara proses, semua produk dari reaksi antara minyak nabati dan hydrogen merupakan produk yang dapat langsung digunakan. Pembuatan *green*

diesel selama ini menggunakan reaktor batch dengan tekanan 20-30 atm dan suhu antara 200-300°C. Reaksi pembuatan *green diesel* adalah reaksi hidrogenasi pada suhu dan tekanan tinggi. Hydrogen sebagai salah satu bahan baku *green diesel* adalah bahan yang mudah terbakar dan dapat terbakar sendiri pada suhu 500°C (Setyawan,2014).

Berdasarkan data dari peneliti terdahulu diperoleh pengaruh suhu proses hydrocracking terhadap yield solar pada setiap variabel perbandingan massa katalis dengan volume minyak nyamplung. Terlihat bahwa yield solar tinggi pada perbandingan 6:100 berada di suhu 350°C sebesar 62,58% jika suhu terus dinaikkan akan terjadi penurunan yield (Dahyaningsih, dkk, 2013). Dilakukan pembuatan green diesel dengan perbandingan penggunaan stage. Hasil pada penggunaan 2 stage hidrogenasi didapatkan persen yield yang lebih besar dibandingkan menggunakan 1 stage. Hal ini terjadi karena proses cracking saat 2 stage terjadi lebih lama dimana setiap 1 stage diberikan waktu 1 jam sehingga jika 2 stage maka terjadi 2 jam reaksi cracking disamping itu penggantian dengan hydrogen yang baru membuat proses cracking menjadi lebih optimal. Saat menggunakan 1 stage persen yield yang dihasilkan sebesar 87,73% sedangkan saat menggunakan 2 stage persen yield yang dihasilkan 96% (Heryanto, dkk, 2018). Diperoleh suhu dan jumlah stage mempengaruhi kualitas green diesel dan yield yang dihasilkan, minyak biji kapuk akan lebih terkonversi menjadi green diesel pada suhu tinggi dan jumlah stage serta waktu reaksi yang lebih besar. Karakter green diesel yang dihasilkan sudah sesuai dengan standar untuk nilai titik tuang dan titik nyala, namun masih belum memenuhi standar pada sisi nilai densitas dan viskositas kinematic (Habibie,2019). Pada penelitian tersebut tidak dilakukannya proses fraksinasi sehingga hasil green diesel yang didapatkan kurang memenuhi standar green diesel. Pada penelitian yang dilakukan kali ini hal terbarukan yang mendukung penelitian sebelumnya adalah adanya proses fraksinasi dalam pembuatan green diesel sehingga hasil yang didapatkan dapat maksimal.

Tujuan penelitian ini adalah membuat green diesel dari minyak biji kapuk dengan proses hidrogenasi dengan menggunakan reaktor hidrogenasi.

METODE PENELITIAN

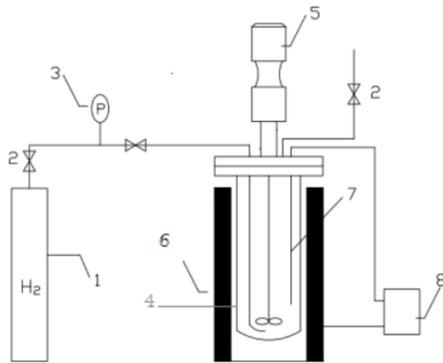
Bahan

Bahan penelitian utama yang digunakan yaitu minyak biji kapuk yang diperoleh dari Pandaan, Pasuruan, Jawa Timur. Katalis yang dipakai adalah katalis komersial NiMo/ γ -Al₂O₃.

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *Autoclave reactor 500 ml* yang terdapat pada

laboratorium Pusat Teknologi Sumber Daya Energi & Industri Kimia, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Gedung Energi 625 Klaster V



Gambar 1. Rangkaian alat penelitian

Keterangan :

1. Tabung gas hidrogen
2. Valve
3. Pressure gauge
4. Reaktor
5. Mesin elektrik
6. Jacket
7. Thermocouple
8. Controller

Pre-Treatmen Minyak dan Prosesnya

Degumming adalah langkah pemurnian utama untuk menghilangkan fosfolipid sebagai gum dari minyak mentah, untuk mendapatkan produk minyak nabati dengan kualitas yang tinggi. *Water Degumming* adalah proses pemurnian tradisional yang dipengaruhi oleh hidrasi fosfolipid dan penyatuan diri menjadi mesofasa kristal cair yang pipih. Gum yang terbentuk pada degumming menggunakan air biasanya dipisahkan dari fasa minyak oleh gaya gravitasi. Efisiensi pemisahan proses degumming sebagian didefinisikan sebagai jumlah minyak netral yang ditahan dalam gum dikarenakan hubungan minyak netral dengan mesofasa kristal cair dalam gum (Nikolaeva et al, 2019).

Proses dari degumming ini adalah sejumlah tertentu minyak biji kapuk ditambah aquadest panas 70°C sedikit demi sedikit dan diaduk selama 60 menit, kemudian dipisahkan menggunakan centrifuge, minyak yang sudah dipisahkan dari air ditambahkan NaOH 11,67 % dan diaduk selama 10 menit lalu dipisahkan menggunakan centrifuge dan disaring. Minyak hasil saring dicuci menggunakan aquadest panas 70 °C sampai pH aquadest netral. Setelah pH aquadest netral, minyak biji kapuk dipanaskan sampai suhu 80°C.

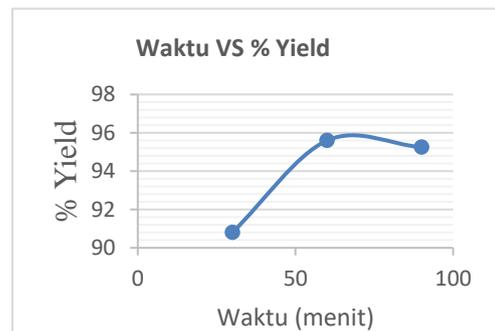
Proses pembuatan green diesel dengan reaksi hidrogenasi

Minyak biji kapuk yang telah di degumming 200 gram, katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ 10 gram dan sulfur powder 0,0001 gram dimasukkan kedalam reaktor autoclave 500 ml. Diinjeksikan gas H₂ sampai tekanan 30 bar, lalu direaksikan dengan kecepatan pengadukan 400 rpm pada suhu 400°C selama waktu reaksi yang dijalankan. Untuk reaksi stage 2, setelah reaksi stage 1 selesai gas dianalisa dan diinjeksikan lagi gas H₂ baru. Setelah reaksi selesai gas dianalisa GC-TCD dan GC-FID dan produk dipisahkan antara padatan katalis dengan produk cair, lalu dilakukan uji karakterisasi terhadap produk yang dihasilkan. Uji karakterisasinya antara lain *viscositas kinematic*, *cloud point*, *flash point*, kandungan sulfur, *Cetane number*, dan Nilai kalor.

Proses fraksinasi dengan distilasi vacuum

Distilasi vakum dilakukan untuk memisahkan produk campuran cairan dan padatan hasil reaksi pencairan dengan berdasarkan perbedaan titik didih. Proses distilasi vakum adalah proses pemisahan fraksi minyak bumi dengan menggunakan tekanan dibawah tekanan atmosfer, dengan kondisi vakum maka proses distilasi dapat berjalan pada temperatur yang lebih rendah. Distilasi vakum digunakan di industri untuk memurnikan produk dengan kisaran yang lebar dan merecoveri bahan mentah untuk digunakan Kembali (Sholihah,2018).

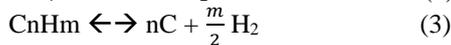
HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Grafik Hubungan lama waktu reaksi dengan % yield

Berdasarkan Gambar 2 yang menyajikan grafik pengaruh waktu terhadap % yield diperoleh bahwa kondisi paling baik dicapai pada waktu reaksi 2x60 menit dengan %yield 95,595%. Seharusnya untuk waktu reaksi 2x90 menit dapat menghasilkan %yield yang lebih baik dari pada waktu reaksi 2 x 60 menit. Namun, pada kenyataan-

nya % yield yang didapatkan pada waktu reaksi 2x90 menit mengalami sedikit penurunan menjadi 95,250%. Hal ini disebabkan karena terjadinya deaktivasi katalis NiMo/ γ -Al₂O₃. Deaktivasi katalis terjadi karena tertutupnya luas permukaan pori katalis oleh deposit karbon (*coke*) yang terbentuk. Menurut (Hudaya, 2017) dalam re-aksi HDO (hidrodeoksigenasi) sering kali terdapat reaksi samping yang menghasilkan deposit karbon atau *coke*. Deposit karbon dalam reaksi HDO (hidrodeoksigenasi) ini terbentuk melalui reaksi berikut:



Bukti fisik dari terbentuknya deposit karbon ini adalah berubahnya warna katalis yang awalnya hijau menjadi hitam sebagaimana dalam gambar dibawah ini:



Gambar 3. Katalis sebelum dan sesudah reaksi

Menurut (Senol, 2005) konversi dan selektivitas katalis (%) akan menurun seiring lamanya waktu reaksi yang disebabkan oleh deaktivasi katalis. Deaktivasi katalis ini dikarenakan terbentuknya deposit karbon atau *coke*. Karena sisi aktif katalis yang terdeaktivasi menyebabkan tingginya hasil produk samping dari reaksi hidrogenasi.

Tabel 1. Berat Sampel Setelah Proses Vakum Evaporator

Sampel	Berat Sampel (Gram)	Tekanan Vakum (mmHg)	Suhu Cairan (°C)	Berat Setelah
				Vakum Evaporator (Gram)
2x30 menit	182,44	7	125°C	182,44
	180,77	7	125°C	180,77
2x60 menit	190,53	7	125°C	190,53
	191,85	7	125°C	191,85
2x90 menit	190,94	7	125°C	190,94
	190,06	7	125°C	190,06

Proses fraksinasi dilakukan dengan tujuan mendapatkan fraksi-fraksi green diesel dengan bahan baku minyak biji kapuk. Fraksi-fraksi ini dibagi menjadi tiga fraksi yaitu *light oil* (fraksi ringan), *middle oil* (fraksi tengah) dan *heavy oil* (fraksi berat). Proses fraksinasi dilakukan dengan alat *rotary*

evaporator IKA RV 10 dengan *automatic distillation*. Pada alat ini digunakan suhu *oil bath* 145°C dengan deviasi suhu liquid 20°C dari suhu *oil bath* yaitu 125°C dan pada keadaan vakum 7mmHg. Suhu ini digunakan dengan tujuan menguapkan fraksi *light oil* pada produk hidrogenasi dari minyak biji kapuk. Namun pada hasilnya tidak didapatkan pula fraksi ringan (*light oil*) dari produk hidrogenasi dengan bahan baku minyak biji kapuk

Tidak adanya fraksi ringan yang terkandung dalam produk hidrogenasi dari minyak biji kapuk juga dijelaskan pada Tabel 1. Data yang ada pada Tabel 1 membuktikan bahwa pada tekanan vakum 7 mmhg dan suhu cairan 125°C tidak didapati perubahan berat sampel awal dan berat sampel setelah dilakukan evaporasi pada rotary vakum evaporator, hal ini menunjukkan bahwa tidak ada fraksi ringan yang teruapkan.

Menurut (Berry, 2019), hal ini dikarenakan kandungan minyak biji kapuk terdiri dari asam lemak dengan rantai karbon C₁₄, C₁₆, C₁₈, C₁₉ dan C₂₀ sehingga tidak didapati fraksi ringan yang teruapkan. Ketika minyak biji kapuk digunakan sebagai bahan baku menjadi *green diesel* dengan 3 reaksi yang terjadi yaitu HDO, DCO, dan DCO₂ akan menghasilkan produk alkana dengan rantai karbon C₁₆ hingga C₁₈ dengan persentase 95,34%. Rantai karbon C₁₆ hingga C₁₈ ini merupakan fraksi-fraksi dari diesel.

Tabel 2. Perbandingan Karakterisasi Green Diesel Dari Minyak Biji Kapuk Dengan SNI Biodiesel (BTBRD-BPPT, 2019) Dan Minyak Solar (Kepdirjen Migas, 2016)

Paramater	Hasil Uji			SNI Biodiesel	SNI Solar	Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3			
Nilai Kalor	9322,18	9356,86	9354,99	-	-	kal/g
Kandungan Sulfur	64,53	50,85	37,65	100	3500	Ppm
Pour Point	18	15	15	-	18	°C
Kinematic viscosity	73,62	88,12	87,78	2,3 - 6	2 - 4,5	mm ² /s
Cetane Number	74,9	74,9	74,9	51	48	-
Cloud Point	3	-2	-2	18	18	°C

Berdasarkan Tabe 2 diatas didapatkan beberapa data untuk karakterisasi *green diesel* yang memenuhi dan tidak memenuhi terhadap Standar Nasional Indonesia (SNI) biodiesel dan minyak solar. Kandungan sulfur untuk semua sampel *green diesel* dari minyak biji kapuk memenuhi SNI biodiesel maupun SNI dari minyak solar karena pada setiap sampel *green diesel* berada dibawah range kandungan sulfur untuk biodiesel yaitu 100 ppm dan minyak solar 3500 ppm. Begitu pula untuk suhu pour point, suhu pour point maksimal untuk minyak solar adalah 18°C sehingga semua sampel dari

green diesel dari minyak biji kapuk memenuhi SNI minyak solar namun tidak didapati SNI suhu pour point untuk biodiesel sehingga tidak dapat dibandingkan. Suhu *cloud point* dari sampel *green diesel* dari minyak biji kapuk memenuhi SNI dari biodiesel dan SNI minyak solar karena rendahnya suhu *cloud point* dari suhu maksimal *cloud point* yaitu 18°C. Angka setan yang didapat juga memenuhi SNI minyak solar maupun SNI biodiesel karena angka setan yang didapat pada *green diesel* dari minyak biji kapuk diatas range minimum dari SNI biodiesel dan SNI minyak solar. Namun untuk nilai kinematic viskositas masih belum memenuhi SNI minyak solar dan SNI biodiesel. Hal ini dikarenakan kinematic viskositas pada sampel *green diesel* dari minyak biji kapuk terlampau tinggi dari range maksimal kinematic viskositas SNI biodiesel dengan range 2,3 – 6 mm²/s maupun range SNI minyak solar 2 – 4,5 mm²/s. Hal ini dikarenakan belum terpisahnya fraksi berat yaitu C19 dan C20 dengan kadar 3,96%. Untuk nilai kalor tidak dapat dilakukan perbandingan karena data mengenai nilai kalor dari SNI biodiesel dan SNI minyak solar belum ditemukan.

SIMPULAN

Minyak biji kapuk dapat dijadikan sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil dengan metode hidrogrnasi menjadi green diesel. Waktu reaksi mempengaruhi kualitas green diesel dan % yield yang dihasilkan. Minyak biji kapuk akan lebih terkonversi pada waktu reaksi 2 x 60 menit. Karakteristik *green diesel* yang diuji meliputi *pour point*, *kinematic viscosity*, Nilai Kalor, kandungan sulfur, *cloud point* dan *cetane number* dimana dari karakteristik tersebut jika dibandingkan dengan SNI biodiesel dan SNI solar maka *green diesel* yang dibuat telah memenuhi standar hanya saja untuk nilai *kinematic viscosity* belum sesuai dengan standar SNI biodiesel maupun solar dikarenakan terdapat fraksi berat (heavy oil) pada produk *green diesel*.

SARAN

1. Dibutuhkan analisa lebih lanjut mengenai penyebab tertutupnya pori-pori katalis oleh deposit karbon yang terbentuk selama reaksi hidrogenasi.
2. Dibutuhkan analisa elemental untuk mengetahui C,H,N,S,O yang terkandung dalam produk sehingga dapat diketahui berapa persen senyawa oksigenat yang berkurang dari bahan baku awal sampai menjadi produk.
3. Dibutuhkan analisa GC-MS untuk mengetahui kandungan *green diesel* dari minyak biji kapuk secara rinci.
4. Dibutuhkan analisa GC-SIMDIST untuk mengetahui secara pasti fraksi *green diesel* dari minyak biji kapuk.

5. Dibutuhkan analisa lebih lanjut terkait kinerja katalis yang digunakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis sampaikan kepada Pusat Teknologi Sumber Daya Energi & Industri Kimia, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, atas kesempatan yang diberikan untuk dapat melakukan penelitian hingga selesainya laporan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistika Jawa Timur 2018. 'Produksi Kapuk Randu Jawat Timur tahun 2015'. (<https://jatim.bps.go.id/statictable/2018/02/08/927/produksi-perkebunan-kapuk-randu-di-jawa-timur-ton-2006-2015-.html>). Diakses pa-da tanggal 27 Februari 2020 pukul 16:00 WIB.
- Balai Teknologi Bahan Bakar dan Rekayasa BPPT 2019. "SNI Biodiesel". (<http://btbrd.bppt.go.id/index.php/services/26-pojok-biodiesel/94-sni-biodiesel>). Diakses pada tanggal 16 September 2020 pukul 15:10 WIB.
- Berry, S.K 1979, 'The Characteristic of the Kapok (Ceiba pentadra, Gaertn) Seed Oil' Pertanika Malaysia.
- Dahyaningsih,E, Ibrahim,R & Roesyadi,A 2013,'Pembuatan Biofuel dari Minyak Nyamplung (Calophyllum inophyllum L) Melalui Proses Hydrocracking dengan katalis Ni-Mo/Zeolit',*Jurnal Teknik POM-ITS*,vol.2,no.1
- Habibie,M,I, Rahman,A,A, Solehah,A, Murti,S,D,S & Redjeki,S 2019,'Pem-buatan Green Diesel dari Minyak Biji Kapuk (Ceiba pentandra) dengan Proses Hidrodeoksigenasi menggunakan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃',*Jurnal Teknik Kimia UPN Veteran Jawa Timur*
- Heriyanto,H, Murti,S, Heriyanti,S,I, Sholeh-ah,I & Rahmawati,A 2018,'Synthesis of Green Diesel From Waste Cooking Oil Through Hydrodeoxygenation Technology With Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ Catalysts', *MATEC Web of conferences*,vol.156
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia 2016. Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Solar yang di Pasarkan di Dalam Negeri Keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi.
- Nikolaeva, T, Rietkerk, T, Sein A, Dalgliesh R, Bouwman, W,G, Velichko, E, Tian, B, As, H,V 2019 'Impact of Water Degumming And Enzymatic Degumming on Gum Mesostructure Formation in Crude Soybean Oil' *Food Chemistry*, vol.311.

- Senol, O,I, Viljava T-R, Krause A,O,I 2005 'Hydrode-oxygenation of Methyl Esters on Sulphided NiMo/ γ -Al₂O₃ And CoMo/ γ -Al₂O₃ Catalysts' *Catalysts Today*, vol.100, hal. 331-335.
- Setyawan, M 2014 'Studi Pengendalian Pemanas Pada Reaktor Hidrogenasi Minyak Nabati Menjadi Greendiesel Dengan Jaket Pemanas' *Jurnal Chemica*, vol.1, no.1
- Sholihah, A 2018 'Upgrading Limbah TAR (Hasil Gasifikasi Batubara) Menjadi Bahan Bakar Cair Sintetis Setara Minyak Diesel'. Universitas Islam Syarif Hidayatullah Jakarta. Progdil Studi Kimia.
- Singh D, Sharma D, Soni S,L, Sharma S, Kumari D, 2019, 'Chemical Composition, Properties, and Standards For Different Generation Biodiesels: A Review' *Fuel*, vol.253, hal 60-71.