

Pembuatan Katalis CuO-ZnO dengan Penyangga γ -Al₂O₃ untuk Transesterifikasi Minyak Biji Kapuk (*Ceiba Pentandra L.*)

Wahyu Dwi Prasetyo*, Angga Kafidhu, & Nyoman Puspa Asri
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas WR. Supratman Surabaya.
Corresponding author: wahyu12358@gmail.com

Article history

Received: 6th February 2020

Received in revised form: 7th June 2020

Accepted: 10th June 2020

DOI:

10.17977/um0260v3i22019p025

Kata-kata kunci:

Biodiesel,

Minyak biji kapuk,

Transesterifikasi

Abstrak

Biodiesel adalah sebuah alternatif energi yang menjanjikan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Namun, kendala utama saat ini adalah biaya produksinya yang mahal sehingga harga biodiesel tidak dapat bersaing dengan minyak diesel. Selain itu bahan baku menggunakan minyak kelapa sawit yang sebenarnya selain mahal, juga bersaing dengan industri makanan. Substitusi katalis heterogen terhadap katalis homogen dan menggunakan minyak biji kapuk sebagai bahan baku adalah strategi yang menjanjikan untuk produksi biodiesel secara massal. Penelitian ini berfokus pada pengembangan katalis heterogen CuO-ZnO berpenyangga γ -Al₂O₃ untuk transesterifikasi minyak biji kapuk. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh suhu kalsinasi dan *loading* CuO. Sintesis katalis dilakukan menggunakan metode sol-gel. Karakterisasi katalis dilakukan dengan metode difraksi sinar-X (XRD), *scanning* mikroskop elektron-EDX (SEM-EDX) dan Brunnauer-Emmet Teller (BET). Uji aktivitas katalis diaplikasikan pada transesterifikasi minyak biji kapuk dengan metanol dalam reaktor *batch* jenis kaca. CuO-ZnO/ γ -Al₂O₃ berhasil disintesis dengan cukup baik dan berpotensi digunakan sebagai katalis heterogen dari minyak biji kapuk.

Abstract

Biodiesel is a promising energy alternative to substitute fossil fuels. Another reason is the production process using a homogeneous catalyst that has many disadvantages. Raw materials using palm oils which is expensive, also compete with the food industry. Heterogeneous catalyst substitution of homogeneous catalysts and using kapok seed oil as raw material is a promising strategy for mass biodiesel production. This research focuses on developing heterogeneous catalyst CuO-ZnO buffered γ -Al₂O₃ for transesterification of kapok seed oil. We concern about the effect of calcination temperature and CuO loading. Catalyst synthesis using the sol-gel method. Catalyst characterization by X-ray diffraction (XRD) method, scanning electron microscope-EDX (SEM-EDX) and Brunnauer-Emmet Teller (BET). The catalyst activity test was applied to the transesterification of kapok seed oil with methanol in glass type batch reactor. CuO-ZnO/ γ -Al₂O₃ was successfully synthesized quite well and potentially could be used as heterogeneous catalyst from kapok seed oil.

PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan seluruh manusia. Hampir keseluruhan aktivitas manusia membutuhkan energi. Sebagai contoh, kendaraan bermotor membutuhkan bensin sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi gerak sehingga

motor dapat berjalan. Di bidang industri, energi diperlukan untuk menggerakkan mesin-mesin produksi. Kebanyakan energi berasal dari sumber alam tak terbarukan seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam yang kelak akan habis dan membutuhkan waktu yang lama untuk

mengambilnya embali. Banyak usaha yang dilakukan untuk mengurangi resiko kelangkaan energi. Dewan Energi Nasional telah memprediksi bahwa energi fosil akan habis dalam 33 tahun lagi. Oleh karena itu, target penggunaan energi terbarukan harus segera terealisasi.

PT. Pertamina (Persero) memperkirakan konsumsi bahan bakar minyak (BBM) solar sampai pada akhir tahun 2018 jumlahnya tidak jauh berbeda dengan konsumsi tahun lalu, yakni 14,5 juta kiloliter (kL). Sedangkan, berdasarkan paparan perusahaan Pertamina kuota untuk subsidi solar diperkirakan mencapai 15,62 juta kL sampai akhir 2018. Ini berarti, penyerapan kuota subsidi sudah 64%. Hal ini sudah memperhitungkan penggunaan biodiesel 20% (B20). Adapun pada 2017, Pertamina mencatat konsumsi Solar mencapai 14,51 juta kL dari kuota sebesar 15,5 juta kL, atau terserap 94% dari kuota. Sedangkan untuk tahun depan, kuota subsidi solar yang diberikan turun menjadi 14,5 juta kL. Indonesia akan menjadi negara penghasil utama biodiesel dunia. Produksi biodiesel di Indonesia yang saat ini mencapai 2 juta kiloliter per tahun akan segera meningkat menjadi 5 juta kL per tahun. Biodiesel menawarkan banyak keuntungan seperti tidak beracun, titik nyala tinggi, angka setana tinggi, pelumasan tinggi, volatilitas atau sifat mudah terbakar yang rendah, sifat transportasi dan penyimpanan yang baik, emisi karbon monoksida rendah dan mudah diuraikan (Asri dkk., 2015). Biodiesel sendiri merupakan salah satu bahan bakar alternatif pengganti solar yang lebih ramah lingkungan. Sintesa biodiesel merupakan langkah yang strategis dalam mengatasi kelangkaan energi dan penurunan kualitas lingkungan. Saat ini, pembuatan biodiesel menggunakan bahan baku minyak jelantah, yang banyak dihasilkan oleh rumah makan atau limbah rumah tangga. Biodiesel dapat dibuat dari minyak nabati yang berasal dari biji-bijian seperti kacang tanah, kemiri, nyamplung, jarak, dan kapuk. Biodiesel dari minyak biji kapuk memiliki potensi yang besar sebagai sumber energi terbarukan mengingat tumbuhan kapuk dapat tumbuh baik di iklim tropis seperti di Indonesia.

Pembuatan biodiesel menggunakan bantuan katalis bertujuan untuk mempercepat reaksi. Katalis dapat menurunkan hambatan energi potensial yang harus dilalui reaktan untuk membentuk produk reaksi. Aktivitas katalis

dapat dilakukan melalui proses kalsinasi pada suhu dan waktu tertentu. Pada prinsipnya, pembuatan biodiesel didasarkan pada proses transesterifikasi trigliserida menjadi metil ester (biodiesel).

Pada jurnal penelitian *Pre-treatment of waste cooking oils for biodiesel production* (Nyoman Puspa Asri, dkk. 2015) sebelumnya telah dilakukan transesterifikasi biodiesel dari minyak jelantah di sebuah rumah makan cepat saji menggunakan katalis CaO/KI dengan penyangga alumina. Hasil yang diberikan cukup baik pada persentase *yield* produk sebesar 83% terhadap variabel waktu reaksi. Akan tetapi katalis CaO kurang tepat untuk bahan baku minyak yang memiliki kadar FFA tinggi disebabkan katalis CaO memiliki tingkat kebasahan yang tinggi. Pada kesempatan kali ini, peneliti ingin menggunakan minyak biji kapuk sebagai *raw material* yang akan digunakan pada proses transesterifikasi dimana minyak biji kapuk mudah didapatkan karena keberadaan yang cukup melimpah di Indonesia serta harga yang relatif murah (Nyoman Puspa Asri, dkk., 2015).

Modifikasi lain pada katalis yang dapat dilakukan yakni dengan pembentukan nanokomposit dari logam. Kondisi optimum diperoleh pada penggunaan katalis Cu/ZnO (12 % w/w) diperoleh biodiesel mencapai 97,71% (w/w). Pada penelitian ini kami menggunakan katalis CuO-ZnO berpenyangga gamma alumina dimana variabel yang digunakan adalah loading CuO dan suhu kalsinasi katalis. Diharapkan dengan penggunaan katalis ini dapat meningkatkan hasil transesterifikasi (Baskar, dkk., 2015).

Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi transesterifikasi minyak biji kapuk menjadi biodiesel antara lain molar ratio antara minyak-lemak dengan alkohol, jenis dan jumlah katalis yang digunakan, waktu reaksi, suhu reaksi, kandungan asam lemak dan air dalam minyak-lemak. Pada penelitian ini secara khusus dilakukan untuk mengetahui pengaruh katalis CuO-ZnO dan waktu reaksi yang digunakan dalam proses transesterifikasi terhadap *yield* produk.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian ekperimental skala laboratorium dengan estimasi waktu 5 bulan. Pelaksanaan penelitian meliputi preparasi katalis, pengkondisian minyak biji

kapuk, karakterisasi katalis dan proses transesterifikasi.

Alat dan Bahan

Bahan baku minyak biji kapuk diperoleh langsung dari penyulingan minyak biji kapuk di Malang. Minyak biji kapuk dilakukan uji karakteristik awal kemudian lanjut ke tahap degumming dan penurunan FFA. Setelah melalui tahap *pre-treatment*, minyak biji kapuk siap untuk proses transesterifikasi. Hasil transesterifikasi dianalisis kadar *fame* dengan metode GC-MS. Bahan-bahan yang digunakan dari Merck antara lain methanol (PA), asam fosfat (PA), natrium hidroksida, alkohol 96%, indikator PP, asam oksalat, *cyclo-hexane*, larutan WIJS, kalium iodida, dan natrium tiosulfat. Bahan lainnya adalah aquadest dan sabut kelapa kering.

Pembuatan Katalis

Katalis CuO-ZnO berpenyangga γ -alumina disintesis dengan metode pengendapan, impregnasi, dan kalsinasi. Kedua bahan utama (CuSO₄, dan ZnCl₂) ini dilarutkan dalam metanol lalu dilakukan pengadukan selama 1 jam agar homogen dan γ -alumina didispersikan dalam aquadest. Ketiga bahan tersebut dicampur dan diaduk selama 3 jam dengan penambahan asam oksalat. Setelah tiga jam, katalis diuapkan dengan dimasukkan ke dalam oven selama 12 jam untuk menghilangkan sisa metanol. Sampel Katalis digerus hingga lembut sebelum dikalsinasi. Pada penelitian ini dibuat 10 variasi dari dua jenis variabel yaitu 5 katalis berdasarkan variabel *loading* CuO dimulai dengan *loading* 5 % sampai 25 % dengan interval 5 %, sedangkan *loading* ZnO 15 %, dan waktu kalsinasi 5 jam digunakan sebagai variabel tetap. Selanjutnya masing-masing katalis diberi kode C05Z15, C10Z15, C15Z15, C20Z15, dan C25Z15 dengan urutan *loading* CuO 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, dan 25 %. Untuk 5 jenis variabel katalis lainnya berdasarkan suhu kalsinasi dimulai dari 400 °C hingga 600 °C dengan interval 50 °C.

Karakterisasi Katalis

Katalis hasil sintesis dikarakterisasi dengan SEM, Adsorpsi gas N₂, dan XRD. Uji SEM menggunakan alat JED 2300 Analyst Station, Adsorpsi gas N₂ menggunakan alat Quantachrome Instrument, dan XRD menggunakan alat Philips/PANalytical X'Pert Pro-MPD.

Analisis Data

Dalam pengolahan data ini menggunakan metode grafik yaitu membandingkan antara jumlah *loading* katalis CuO terhadap-alumina, suhu kalsinasi dengan jumlah *yield* biodiesel yang dihasilkan. Teknik perhitungan menggunakan rumus berikut.

- Kadar Air

$$\% \text{Kadar Air} = \frac{\text{bobot sampel yang berkurang}(gr)}{\text{bobot sampel}(gr)} \times 100\%$$

- Densitas

$$\left(\frac{gr}{ml}\right) \text{Densitas} = \frac{(\text{bobot minyak}(gr) + \text{pikno}(gr)) - (\text{bobot pikno}(gr))}{\text{Volume Pikno}(ml)}$$

- Asam Lemak Bebas

$$\% \text{FFA} = \frac{ml. \text{Titration} \times N. \text{NaOH} \times 28.0}{\text{gram sampel}}$$

- Bilangan iod

$$\left(\frac{gr}{100gr}\right)_{IV} = \frac{(ml. \text{Titration blanko} - ml. \text{Titration sampel}) \times N. \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 12.69}{\text{gram sampel}}$$

- Saponification Value

$$\left(\frac{mg}{gr}\right)_{SV} = \frac{(ml. \text{Titration blanko} - ml. \text{Titration sampel}) \times N. \text{HCl} \times 56.1}{\text{gram sampel}}$$

- Viskositas

$$\left(\frac{ml}{dt}\right) \text{Viskositas} = \frac{\text{volume sampel yang diukur}(ml)}{\text{waktu}(dt)}$$

% Yield Biodiesel

$$\% \text{Yield} = \frac{\text{volume akhir produk}(ml) \times \rho \text{ Produk} \times \% \text{fame}}{\text{volume minyak biji kapuk} \times \rho \text{ minyak biji kapuk}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Bahan Baku

Bahan baku minyak biji kapuk diperoleh langsung dari penyulingan minyak biji kapuk di Malang. Minyak biji kapuk dilakukan uji karakteristik awal kemudian lanjut ke tahap degumming dan penurunan FFA. Setelah melalui tahap *pre-treatment*, minyak biji kapuk siap untuk proses transesterifikasi. Hasil transesterifikasi akan di analisa kadar *fame* dengan metode GC-MS. Hasil analisis menggunakan GC-MS terhadap sampel minyak biji kapuk awal disajikan pada Tabel 1 menjelaskan bahwa asam lemak pada minyak biji kapuk sebagian besar terdiri dari *linoleic acid* sebesar 59,10%, *palmitic acid* sebesar 28,51%, dan *stearic acid* 9,57%. Karena persentase *linoleic acid* yang terbesar maka perhitungan asam lemak bebas berdasarkan *linoleic acid*. Setelah mendapat data analisa awal bahan baku, maka minyak biji kapuk lanjut pada tahap

perlakukan *degumming* dan penurunan kadar FFA.

Tabel 1. Komposisi asam lemak minyak biji kapuk.

Fatty Acid	Value (%)
Caprylic Acid	0,10
Nonanoic Acid	0,08
Capric Acid	0,08
Lauric Acid	0,65
Myristic Acid	0,37
Oleic Acid	0,26
1,4-pentadecenoic Acid	0,18
Palmitic Acid	28,51
Heptadeconic Acid	1,08
Linoleic Acid	59,10
Stearic Acid	9,57

Tabel 2. Hasil karakterisasi bahan baku sebelum tahap perlakuan.

Parameter Analisa	Hasil Analisa
FFA as Linoleic (% w/w)	2,43
Iodine Value (gr I ² / 100 g)	76,02
Moisture Content (% w/w)	0,55
Saponification Value (mg/g)	139,35
Viskositas (cSt)	1,7

Pada tahap awal, minyak biji kapuk dianalisa untuk mengetahui kadar FFA sebagai asam linoleat (*FFA as Linoleic acid*), bilangan iod (*iodine value*), kadar air (*moisture content*), bilangan saponifikasi (*saponification value*), serta komposisi asam lemak minyak biji kapuk dengan metode kromatografi gas. Setelah mendapat data analisa awal bahan baku, maka minyak biji kapuk lanjut pada tahap perlakuan *degumming* dan penurunan kadar FFA.

Tabel 3. Hasil karakterisasi bahan baku setelah tahap perlakuan *degumming*.

Jenis Analisa	Degumming
FFA as Linoleic (% w/w)	1,51
Iodine Value (gr I ² / 100 gr)	84,09
Moisture Content (% w/w)	0,52
Saponification Value (mg/g)	147,12
Viskositas (cSt)	2,1

Perlakuan *degumming* ini bertujuan untuk menghilangkan getah yang ikut terlarut dalam

minyak biji kapuk. Getah ini akan mengganggu proses transesterifikasi sehingga menyebabkan kadar biodiesel rendah. Perlakuan penurunan kadar FFA dengan menggunakan serabut kelapa bertujuan untuk menghasilkan kualitas biodiesel yang tinggi.

Tabel 4. Hasil karakterisasi bahan baku setelah perlakuan penurunan kadar FFA.

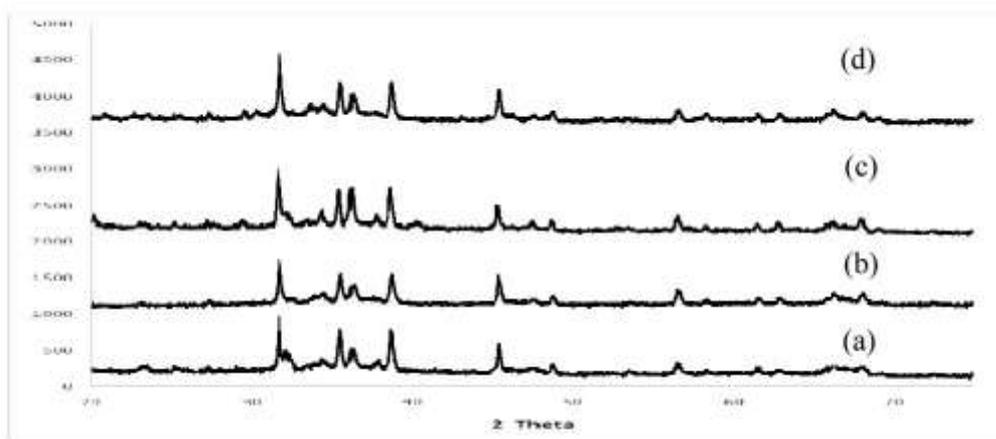
Jenis Analisa	Penurunan FFA
FFA as Linoleic (% w/w)	1,27
Iodine Value (gr I ² / 100 gr)	83,66
Moisture Content (% w/w)	0,40
Saponification Value (mg/gr)	147,96
Viskositas (cSt)	2,1

Padatan hasil kalsinasi diukur kemampuan adsorpsi gas N₂ yang ditunjukkan pada Tabel 5. Karakteristik melalui uji BET adalah untuk mengetahui luas permukaan katalis, volume pori dan radius pori. Sampel yang diujikan adalah katalis dengan variabel suhu kalsinasi. Dari Tabel 5 menunjukkan bahwa jenis katalis 450°C memiliki luas permukaan, volume pori, dan radius pori yang paling besar. Pada katalis 550°C memiliki luas permukaan, volume pori dan radius pori yang paling kecil dibanding katalis yang lain.

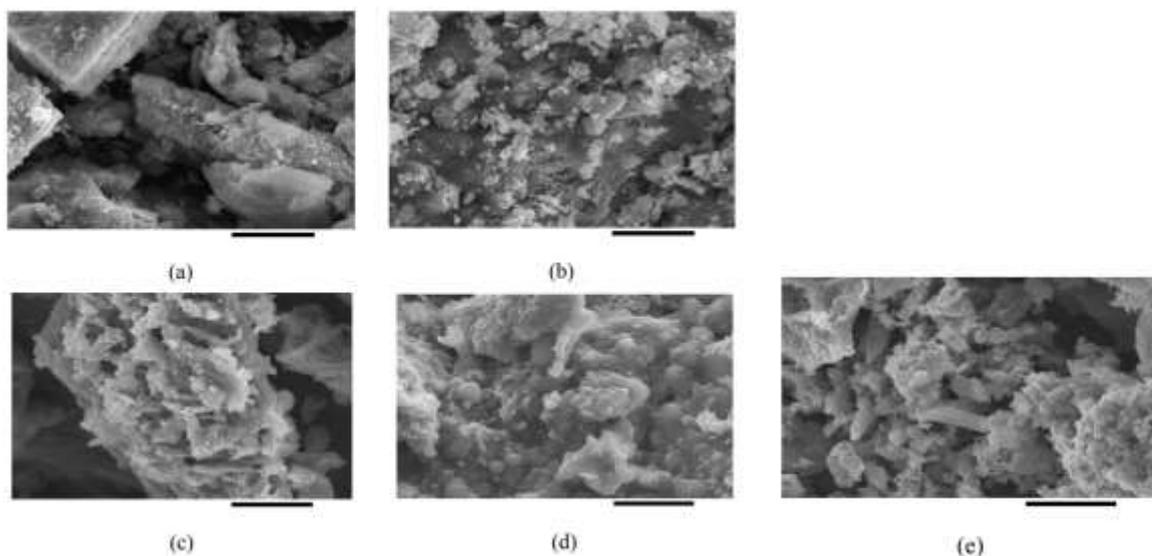
Tabel 5. Hasil uji BET pada katalis berdasarkan variabel suhu kalsinasi.

Properti Katalis	Teknik Pengukuran	Unit	Jenis Katalis				
			400°C	450°C	500°C	550°C	600°C
Spesifikasi BET Plot	Multi Point	m ² /g	2,851	5,634	1,958	3,336	4,611
	BET	m ² /g	21,983	43,84	34,472	23,873	39,39
Luas Permukaan	Absorption	m ² /g	28,03	32,462	42,432	22,156	39,873
	Desorption	m ² /g	0,845	0,075	0,054	0,036	0,063
Volume Pori	Absorption	cc/g	0,845	0,075	0,063	0,033	0,061
	Desorption	cc/g	16,593	17,617	17,84	15,843	16,39
Radius Pori Dv(r)	Absorption	Å	18,017	18,374	18,93	16,609	16,807
	Desorption	Å					

Pembacaan pada posisi 2θ dari data XRD (Gambar 1) menunjukkan katalis katalis 450°C mempunyai struktur kristal yang berbentuk tetragonal dengan panjang sumbu 31,67° ; 36,23° ; 38,72° ; 45,40° ; 48,72°. Hal ini menunjukkan kecocokan dengan standar dari CuO JCPDS card No 05-06011 (Asri dkk, 2018). Sedangkan pada kurva rendah dan lebar pada 25,51° ; 35,48° ; 52,72° ; 68,04° menunjukkan aktivitas gamma alumina. Pada puncak 31,67° ; 36,23° ; 38,72° ; 45,40° ; 48,72° ; 56,45° ; 58,32° ; 66,23° dimana posisi ini sama dengan standar ZnO JCPDS Card no 00-036-1451.



Gambar 1. Pola XRD dari C15Z15 pada kalsinasi (a) 450°C, (b) 500°C, (c) 550°C, (d) 600°C.



Gambar 2. SEM dari katalis C15Z15 pada kalsinasi (a) 450°C, (b) 500°C, (c) 550°C, (d) 600°C.

Morfologi (pembesaran 3000) katalis C15Z15 pada berbagai suhu kalsinasi diberikan pada Gambar 2. Hasil kenampakan morfologi katalis dengan perbesaran 3.000 kali dapat dilihat bahwa katalis pada suhu 400°C (Gambar 2(a)) masih berbentuk kubus dan terdapat bercak warna abu-abu yang merata. Hal tersebut dikarenakan suhu kalsinasi yang masih rendah sehingga CuO dan ZnO belum teraktivasi maksimal. Pada suhu 450°C (Gambar 2(b)) partikel lebih mengecil dan mulai berikatan. Pada suhu 500°C (Gambar 2(c)) morfologi katalis mengarah *flower like* sedangkan pada suhu 550°C, 600°C (Gambar 2(d) dan 2(e)) perlahan menunjukkan morfologi ke arah amorf.

Tabel 6. Komposisi padatan katalis.

Komposisi (% massa)	Suhu (°C)				
	400	450	500	550	600
Al ₂ O ₃	24,55	11,95	26,59	23,09	9,01
CuO	16,69	31,91	13,2	4,02	28,11
ZnO	11,17	9,31	19,72	5,48	26,12
Na ₂ O	19,55	25,25	11,87	26,83	14,53
SO ₃	0,87	1,42	1,21	0	7,94
Cl	11,29	3,69	5,3	17,12	5,1

Dari hasil uji *scanning electron microscopy* ini menjelaskan bahwa peningkatan suhu

berpengaruh terhadap aktivasi dan morfologi katalis itu sendiri. Pada Tabel 6 ditunjukkan komposisi bahan penyusun katalis dalam persen massa.

Uji Aktivitas Katalis.

Sampel produk untuk diuji kadar *fame* bekerja sama dengan Politeknik Negeri Malang. Berdasarkan hasil analisa kadar *fame*, Variabel katalis suhu kalsinasi nilai tertinggi ada pada kode 500°C yaitu 50,82% dan nilai terendah pada kode 600°C dengan 19,87% (Tabel 7). Hal ini dapat dikatakan bahwa variabel suhu kalsinasi yang ideal adalah 500°C. Setelah mengetahui suhu yang tepat untuk aktivasi katalis maka suhu 500°C digunakan sebagai variabel tetap sedangkan variabel *loading* CuO digunakan sebagai variabel berubah guna memperoleh komposisi katalis yang paling tinggi tingkat aktivasinya. Pada hasil analisa GC variabel katalis *loading* CuO (Tabel 8) dapat diketahui bahwa persen *fame* terbesar ada pada kode C15Z15 dengan 50,82% dan paling rendah pada C10Z15 13,06%. Hasil ini menjelaskan bahwa persentase ZnO dan CuO yang sebanding dengan menggunakan suhu kalsinasi 500°C katalis C15Z15 adalah katalis yang memiliki tingkat aktivasi tertinggi.

Tabel 7. Hasil analisa *fame* variabel katalis suhu kalsinasi.

No	Suhu (°C)	Fame (%)
1	450	37,73
2	500	50,82
3	550	29,83
4	600	19,87

Tabel 8. Hasil analisa *fame* variabel katalis *loading* CuO.

No	Kode	Loading CuO (%)	Fame (%)
1	C05Z15	5	13,06
2	C10Z15	10	23,76
3	C15Z15	15	50,82
4	C25Z15	25	21,47

Pada proses transesterifikasi diharapkan adalah seberapa besar kemampuan katalis mengkonversi minyak biji kapuk menjadi biodiesel yang dilihat dari kadar *fame* pada produk (Tabel 9).

Berdasarkan Tabel 10, persentase *yield* biodiesel untuk variabel suhu kalsinasi terbesar ada pada 500°C dengan persentase 46,73% dan

terkecil ada pada 600°C dengan persentase 16,91%. Penurunan *yield* biodiesel pada suhu 600°C mungkin dikarenakan katalis mengalami *sintering*. Persentase *yield* biodiesel terbesar untuk variabel *loading* CuO ada pada *loading* 15% dengan persentase 46,73% dan *yield* biodiesel terendah ada pada *loading* 5% dengan 11,85%. Pada *loading* CuO 5% menghasilkan konversi *yield* biodiesel yang rendah dikarenakan sedikitnya CuO yang digunakan sedangkan CuO sendiri merupakan sisi aktif katalis.

Tabel 9. Persentase *yield* biodiesel berdasarkan suhu kalsinasi.

Suhu (°C)	Yield biodiesel (%)
450	35,64
500	46,67
550	26,34
600	16,89

Tabel 10. Persentase *yield* biodiesel berdasarkan *loading* CuO.

Katalis	Loading CuO (%)	Yield biodiesel (%)
C05Z15	5	10,53
C10Z15	10	21,54
C15Z15	15	46,67
C25Z15	25	17,57

Biodiesel dari proses transesterifikasi diuji karakterisasinya meliputi densitas (*density*), kadar air (*moisture content*), asam lemak bebas (*FFA as oleic*), bilangan penyabunan (*saponification value*), viskositas (*viscosity*) dan bilangan iodin (*iodine value*). Pada Tabel 15 dan Tabel 16 akan menunjukkan nilai densitas masing-masing variabel katalis dari produk hasil proses transesterifikasi.

Densitas produk seharusnya mengalami penurunan nilai mendekati standar densitas biodiesel yaitu 0,8624 gr/ml (International Biodiesel, 2001). Katalis variabel *loading* CuO yang densitas paling mendekati standar adalah kode C05Z15 dengan 0,8875 gr/ml sedangkan katalis variabel suhu kalsinasi yang densitasnya mendekati standar adalah kode 600°C. Gambar 15 dan gambar 16 akan menunjukkan perbedaan nilai densitas terhadap variabel suhu kalsinasi dan *loading* CuO.

Tabel 11. Hasil analisa produk katalis variabel suhu kalsinasi.

Kode	FFA (%w/w)	IV (g I ² /100g)	MC (% w/w)	SV (mg/g)	Viscositas (cSt)	Densitas (g/cm ³)
400°C	0,25	62,96	0,08	203,58	2,4	0,9042
450°C	0,18	63,69	0,08	205,66	2,4	0,8960
500°C	0,18	63,78	0,15	205,73	2,6	0,8865
550°C	0,18	63,86	0,21	205,59	2,6	0,8832
600°C	0,18	63,19	0,23	206,64	2,5	0,8825

Tabel 12. Hasil analisa produk katalis variabel suhu *loading* CuO.

Kode	FFA (%w/w)	IV (g I ² /100g)	MC (%w/w)	SV (mg/g)	Viscositas (cSt)	Densitas (g/cm ³)
C05Z15	0,55	54,27	0,27	209,84	2,4	0,8875
C10Z15	0,40	54,33	0,35	225,72	2,4	0,8905
C15Z15	0,18	63,78	0,15	205,73	2,6	0,8865
C20Z15	0,17	53,67	0,37	238,75	2,5	0,8986
C25Z15	0,15	54,36	0,51	243,18	2,5	0,9004

Merujuk pada standar FFA Biodiesel menurut SK Kementerian energi dan sumber daya mineral Republik Indonesia (2013), Standar SNI Biodiesel adalah maksimal 0,301 % massa. Pada tabel 10, nilai FFA pada kode C15Z15, C20Z15, dan C25Z15 masih masuk nilai standar biodiesel dengan nilai berturut-turut 0,25%, 0,18%, dan 0,15% sedangkan C05Z15 dan C10Z15 nilainya diatas standar yaitu 0,55% dan 0,40%. Pada variabel suhu kalsinasi seluruh kode masuk nilai standar biodiesel.

Nilai standar *iodine value* bio mengacu pada standar maksimal 115% massa. Kedua variabel katalis baik *loading* CuO maupun kalsinasi suhu menunjukkan nilai dibawah batas maksimal.

Moisture content pada produk dapat dikatakan masih tinggi. Kadar MC paling tinggi ada pada kode C25Z15 dengan 0,51% berat sedangkan kadar MC paling mendekati standar SNI biodiesel adalah kode 400°C dan 450°C dengan kadar yang sama yakni 0.08%.

Saponification value tertinggi ada pada kode C25Z15 dengan 243,18 mg/g dan nilai terendah pada 209,84 mg/gr untuk katalis variabel *loading* CuO sedangkan untuk katalis variabel suhu kalsinasi, nilai tertinggi ada pada kode 600°C dengan 206,64 mg/gr dan paling rendah pada kode 400°C dengan nilai 203,58 mg/g. Gambar 17 berisi grafik yang men hasil produk pada parameter pengujian

Standar SNI viskositas biodiesel berkisar antara 2,3–6,0 mm²/s (cSt). Nilai viskositas yang terlalu tinggi dapat membuat atomisasi bahan bakar dan udara menjadi kurang baik yaitu berupa evaporasi yang lebih sedikit sehingga pembakaran menjadi tidak sempurna (Siti N Choiroh Shimmamah., 2017). Produk biodiesel berdasarkan katalis suhu kalsinasi menunjukkan viscositas tertinggi ada pada kode 500°C dan 550°C dengan masing-masing 2,6 cSt sedangkan dari variabel *loading* CuO ada pada kode C15Z15 dengan nilai 2,5 cSt.

Ditinjau dari hasil uji karakteristik katalis BET, luas permukaan terbesar dimiliki variabel CuO 15% - ZnO 15% dengan suhu kalsinasi 450°C, akan tetapi hasil ini tidak sejalan dengan hasil karakteristik produk dari proses transesterifikasi minyak biji kapuk. Hasil uji karakterisasi produk yang terbaik diperoleh dari katalis CuO 15%-ZnO 15% dengan suhu kalsinasi 500°C, meskipun luas permukaannya tidak lebih besar dari katalis variabel CuO 15%-ZnO 15% dengan suhu kalsinasi 450°C, akan tetapi dalam uji SEM katalis CuO 15%-ZnO 15% dengan suhu kalsinasi 500°C memiliki morfologi *flower like*, sedangkan katalis CuO 15%-ZnO 15% dengan suhu kalsinasi 450°C memiliki morfologi partikel lebih mengecil dan baru mulai berikatan. Selain itu pada uji XRD dapat diketahui bahwa proses pembuatan katalis berjalan sempurna ditandai dengan munculnya

peak CuO-ZnO serta γ -alumina ketika dibandingkan dengan standar.

KESIMPULAN

Berdasarkan data penelitian yang diperoleh, maka dapat disimpulkan bahwa suhu kalsinasi dan loading CuO memberikan pengaruh terhadap hasil produk biodiesel. Menurut hasil analisa transesterifikasi, dapat disimpulkan katalis yang paling efektif adalah katalis dengan komposisi 15 % CuO dan 15 % ZnO (C15Z15) dengan suhu kalsinasi 500 °C. Hal ini dapat dilihat dari nilai persentase *yield* biodiesel yang tinggi dibanding dengan katalis yang lain. Hasil karakteristik biodiesel pada katalis loading CuO 15 % ZnO 15 % suhu kalsinasi 500 °C juga memiliki hasil yang mendekati dengan standar biodiesel SNI 7182:2002, kecuali untuk kadar alkil ester, masih belum bisa mendekati spesifikasi biodiesel sesuai SNI 7182:2002.

DAFTAR RUJUKAN

Erna Astuti. 2008. Pengaruh Konsentrasi Katalisator dan Rasio Bahan terhadap Kualitas Biodiesel dari Minyak Kelapa. *Jurnal Rekayasa Proses* 2. (1), 5-10.

Drelienkiewics, D., Kalemba-Jaje, Z., Lalik, E., Kosydar, R. 2014. *Organo- Sulfonic Acids Doped Polyaniline-Based Solid Acid Catalysts for The Formation of Bio-esters in Transesterification and Esterification Reactions Fuel*. 1116: 760-771.

G. Baskar, A. Gurugulladevi, T. Nishanthini, B. Garrick, R. Aiswarya, M. Gopinath, 2015. "Synthesis of Phytanocomposite of Zinc Oxide by *Ixora coccinea* Linn for Cancer Treatment", *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, Vol. 26, p. 876, 2015.

Siti N Choiroh Shimmamah. 2017. "Karakterisasi Unjuk Kerja Mesin Diesel Generator Set Sistem Dual Fuel Biosiesel Minyak Sawit dan Syngas dengan Penambahan Preheating sebagai Pemanas Bahan Bakar". Hal 1.

Shu, Q., Gao, J., Nawaz, Z., Liao, Y., Wang, D., & Wang, J., 2010, Synthesis of Biodiesel from Waste Vegetable Oil with Large Amounts of Free Fatty Acids Using a Carbon-Based Solid Acid Catalyst. *Applied Energy*, 87, 2589-2596.

Z Helwani, MR Othman, J Kim, N Aziz, WJN Fernando. 2009. Solid heterogeneous catalysts for transesterification of triglycerides with methanol. *Applied Catalysis A; General* 363, 1-10

Abdul Kahar. 2009. *Kinetika Metanolisis Berkatalisis Asam Pada Pre-treatment Biodiesel Dari Minyak Jelantah Berkadar Asam Lemak Bebas (ALB) Tinggi*. FTU Rumul Keahlian Energi dan Sistem Proses Teknologi Kimia.

Adawiyah, M. Nurrobiah. 2010. *Penentuan Nilai Kalor Berbagai Komposisi Campuran Bahan Bakar Minyak Nabati*.

Asri, N. P., Podjojono, B., Fujiani, R, Nuraini, N. 2017, *Utilization of eggshell waste as low-cost solid base catalyst for biodiesel production from used cooking oil*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 67 (2017) 012021 doi:10.1088/1755-1315/67/1/012021.

Astrilia Damayanti & Wara Dyah Pita Rengga. 2010. Kualitas Refined-Glyserin Hasil Samping Reaksi Transesterifikasi Minyak Sawit dengan Menggunakan Variasi Katalis. *Jurnal Kompetensi Teknik*. (2), 43-48.

Leung Dennis YC, Xuan Wu, MKH Leung. 2010. *A review on biodiesel production using catalyzed transesterification*. *Applied Energy* 87: 1083-1095.

Mahlinda & Lancy Maurina. 2011. Proses Pemurnian Metanol Hasil Sintesa Biodiesel Menggunakan Rotary Evaporator. *Jurnal Hasil Penelitian Industri*. 24(1): 20-27.

Nyoman Puspa Asri., Diah Agustina Puspita Sari., Bambang Poedjojono., Suprpto., *Pre-Treatment of Waste Frying Oils for Biodiesel Production*, (2015). ISSN 1913-1844 E-ISSN 1913-1852. doi:10.5539/mas.v9n7p99.

Nyoman Puspa Asri, Kusno Budikarjono, Suprpto, dan Ahmad Roesyadi. 2015.

- Kinetics of Palm Oil Transesterification using Double Promoted Catalyst Ca/KI/ γ -Al₂O₃*.
J.ENG.TECHNOL.SCI;VOL.47,No.4,2015,353-363.
- Gerpen Vj. 2005. *Biodiesel Processing And Production. Fuel Process Technol* 86.1097-1107.
- Ardiani Dwi, Setya wardhani, Martutik, Wahyuni. 2011. *Pengaruh Rasio Methanol / Minyak Terhadap Parameter Kecepatan Reaksi Metanolisis Minyak Jelantah dan Angka Setana Biodiesel*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNS, 2009. Tgl 26 Januari 2011.
- Lihertinah. 2009. Sintesis nanokatalis Cu/Zn/Al₂O₃ dengan untuk mengubah metanol menjadi hidrogen. Tugas Akhir. Program Studi Fisika Institut Teknologi Bandung.
- Raden Wahid Hanafi. 2013. Pengaruh Konsentrasi Katalis dan Lama pengadukan Pada Reaksi Transesterifikasi Pembuatan Biodiesel dari Minyak Biji Kapuk (Ceibapentandra L). Skripsi. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Sopiana. 2011. Modifikasi Bentonit Alam Menjadi Fe sebagai Katalis Pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Biji Kapuk. *Skripsi*. Bogor: FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia. Triana Kusumaningsih, Pranoto, & Ragil Saryoso.(2006). Pembuatan Bahan bakar Biodiesel dari minyak Jarak; Pengaruh Suhudan Konsentrasi KOH pada Reaksi Transesterifikasi Berbasis Katalis Basa. *Bioteknologi* 3. (1),20-26.
- Tim Departemen Teknologi Pertanian, 2010. "Proses Pembuatan Minyak Jarak Sebagai Bahan Bakar Alternatif". Fakultas Pertanian USU Medan. 2005. Tgl 20 Desember 2010.
- Hermansyah H, Slamet, Fauziah Rahman S, Kartika Restu W. 2010. Sintesis Dimetil Eter Menggunakan Katalis Cu-Zn Sintesis/ γ -Al₂O₃ Dalam Reaktor Fixed Bed. Seminar Rekayasa Kimia dan Proses, 4-5 Agustus 2010 ISSN : 1411-4216.
- M. Pranjoto U & Endang W.L. 2007. Tinjauan umum tentang deaktivasi katalis pada reaksi katalis heterogen. Prosiding seminar nasional penelitian. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Purwono S, Yulianto N, Pasaribu R. 2003. Biodiesel dari minyak Kelapa. Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia. Yogyakarta.
- Waseso, M.G. 2001. *Isi dan Format Jurnal Ilmiah*. Makalah disajikan dalam Seminar Lokakarya Penulisan Artikel dan Pengelolaan Jurnal Ilmiah, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin, 9—11 Agustus.
- <http://lib.UINMalang.ac.id/files/fullchapter/05530014.pdf> Biodiesel
- <https://m.den.go.id/index.php/dinamispage/index/559-dialog-energi-rencana-umum-energi-nasional-terobosan-pembangunan-energi-terbarukan.html>
- <http://www.kemenperin.go.id/artikel/1903/Indonesia-Produsen-Utama-Biodiesel>
- <https://www.pertamina.com/id/dokumen/laporan-tahunan>