



## Preparasi Katalis MgO/C dari Pirolisis Polimer Berbasis Magnesium Salisilat dan Aplikasinya untuk Reaksi Transesterifikasi

Imam Prasetyo\*, Dwiana Ayu Kiranti Nur'aeni, dan Pandu Timur Bhaskara  
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jl Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta, 55283

\* Alamat korespondensi: [imampras@ugm.ac.id](mailto:imampras@ugm.ac.id)

(Submisi: 14 Mei 2021; Revisi: 31 Mei 2021; Penerimaan: 3 Juni 2021)

### ABSTRACT

*The objective of the study is to produce carbon-based magnesium oxide (MgO) solid base catalyst by pyrolysis of phenolic resin and to examine the material effectiveness as a catalyst for transesterification reaction. The phenolic resins were prepared by polymerization process of phenol, derivative salicylic acid (magnesium salicylate), and formaldehyde aqueous solution under acidic condition using  $H_2SO_4$  as catalyst. The molar ratio of magnesium salicylate:phenol:formaldehyde was 0.33:0.67:2.80. Carbon-based magnesium oxide solid base catalyst (MgO/C) was produced from phenolic resins via physical activation process using steam at 850°C. Material was characterized using  $N_2$ -sorption analysis, X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM). Pyrolysis process for carbon formation resulted in 75% burn-off. The specific surface area of catalyst was 494  $m^2/g$  and the presence of MgO was confirmed by XRD diffraction pattern ( $2\theta$  position of 36-43°, 61-63°, dan 74-78° according to JCPDS No.89-7746) and SEM image. Characteristic comparison of MgO/C with carbon produced from phenol formaldehyde resin (without magnesium salicylate) corroborate the finding that MgO/C was achieved. The catalyst was tested for transesterification reaction between palm oil and methanol. Conversion of 28.3% was achieved at temperature of 65 °C, reactant ratio of methanol: palm oil = 6:1 and reaction time of 2.5 hours. The activation energy of 6,444 cal/mol was obtained when evaluated in the range of 55-65 °C reaction temperature.*

*Keywords: biodiesel; catalyst; magnesium oxide; phenolic resin; porous carbon*

### ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah membuat katalis magnesium oksida (MgO) yang teremban dalam karbon hasil dari proses pirolisis resin fenolik dan menguji efektivitasnya sebagai katalis reaksi transesterifikasi. Resin fenolik diperoleh melalui proses polimerisasi fenol, turunan asam salisilat (magnesium salisilat), dan formaldehid dalam kondisi asam menggunakan  $H_2SO_4$  sebagai katalis. Rasio mol dari magnesium salisilat:fenol:formaldehid adalah 0,33:0,67:2,80.

Katalis magnesium oksida teremban pada karbon (MgO/C) diperoleh dari pirolisis resin fenolik menggunakan *steam* pada suhu 850°C. Material dikarakterisasi dengan N<sub>2</sub> adsorpsi-desorpsi isotherm, *X-ray diffraction* (XRD) dan *scanning electron microscopy* (SEM). Pirolisis untuk menghasilkan karbon memiliki *burn-off* sekitar 75%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa katalis MgO/C memiliki luas permukaan sekitar 494 m<sup>2</sup>/g dan keberadaan MgO dikonfirmasi dari hasil pola difraksi XRD (posisi 2θ antara 36-43°, 61-63°, dan 74-78° sesuai dengan standar JCPDS No.89-7746) dan gambar SEM. Perbandingan karakteristik MgO/C dengan karbon hasil polimer fenol formaldehid (tanpa magnesium salisilat) memperkuat kesimpulan bahwa MgO/C dapat diperoleh. Katalis yang diperoleh digunakan sebagai katalis transesterifikasi antara minyak kelapa sawit dengan metanol. Konversi reaksi sebesar 28,3% didapatkan pada suhu 65 °C dan rasio reaktan metanol:minyak kelapa sawit = 6:1 dan waktu reaksi 2,5 jam. Energi aktivasi sebesar 6.444 kal/mol diperoleh pada rentang suhu reaksi 55-65 °C.

**Kata kunci:** biodiesel; karbon berpori; katalis; magnesium oksida; resin fenolik

## 1. Pendahuluan

Transesterifikasi minyak nabati dengan metanol merupakan proses yang penting untuk menyintesis metil ester dari asam lemak (yang dikenal sebagai biodiesel), yang dapat menggantikan bahan bakar diesel konvensional. Katalis untuk memproduksi biodiesel biasanya berupa katalis homogen basa seperti hidroksida dari logam alkali atau alkali tanah. Kendala utama pada penggunaan katalis homogen adalah pada proses pemisahannya yang secara teknis lebih sukar dan akan menghasilkan air limbah dalam jumlah besar untuk memisahkan dan membersihkan katalis dan produk. Oleh karena itu, orang mulai beralih untuk mengembangkan katalis heterogen dalam proses transesterifikasi minyak nabati untuk membuat biodiesel seperti hidrokalsit, zeolit, dan Na/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Magnesium oksida merupakan material yang serbaguna selain digunakan sebagai bahan superkonduktor dan adsorben juga dapat digunakan sebagai katalis. Katalis MgO dapat digunakan sebagai katalis untuk produksi biodiesel (Natewong *et al.*, 2016), butanol dari etanol (Cimino *et al.*, 2019),

degradasi asam oksalat dengan proses ozonasi (Haidari *et al.*, 2016), adsorpsi CO<sub>2</sub>, dan penghilangan H<sub>2</sub>S (Siriwardane *et al.*, 2017).

Magnesium dalam bentuk oksidanya memiliki sifat seperti tidak beracun, stabil dalam air, dan ramah lingkungan sehingga mendukung penggunaan MgO sebagai katalis (Asgari *et al.*, 2019). Selain itu, material logam magnesium memiliki harga ekonomis dan proses pembuatan yang sederhana. Proses sintesis katalis magnesium oksida dapat dilakukan melalui dekomposisi berbagai jenis garam magnesium. Akan tetapi, padatan magnesium oksida yang diperoleh dari metode tersebut memiliki ukuran butir yang besar dengan morfologi yang tidak homogen sehingga metode ini tidak memungkinkan untuk memproduksi magnesium oksida yang akan digunakan sebagai katalis. Metode lain yang dapat menghasilkan magnesium oksida dengan ukuran butiran lebih kecil serta mempunyai luas permukaan yang besar yaitu dengan metode sol-gel *hypercritical drying*. Pembuatan magnesium oksida dengan metode sol-gel *hypercritical drying*

menghasilkan butiran dengan ukuran sekitar 5 nm (Ding *et al.*, 2001). Namun metode sol-gel *hypercritical drying* kurang disukai karena perlu prekursor logam yang berbahaya dan mahal. Alternatif metode yang dapat dilakukan agar diperoleh luas permukaan spesifik katalis MgO yang lebih besar adalah dengan mengembangkan magnesium oksida dalam padatan berpori seperti zeolit, silika, alumina dan karbon. Sebagai pengemban katalis, karbon banyak dipakai karena keunggulannya seperti memiliki luas spesifik permukaan tinggi, inert dalam suasana asam dan basa serta gugus fungsi permukaan yang dapat diatur. Metode konvensional dalam pengembangan katalis MgO dalam padatan berpori adalah dengan menggunakan metode impregnasi prekursor seperti  $Mg(NO_3)_2$  dalam karbon dan kemudian kalsinasi, sehingga diperoleh MgO/C (Haidari *et al.*, 2016; Natewong *et al.*, 2016).

Karbon berpori merupakan material yang memiliki luas permukaan besar karena adanya pori-pori internal dalam karbon. Oleh karena itu, karbon berpori dapat digunakan sebagai adsorben, katalis dan pengemban katalis (Prasetyo *et al.*, 2013, 2018). Aplikasi karbon sebagai katalis telah mengalami peningkatan, baik sebagai pengemban atau sebagai katalis itu sendiri. Sifat spesifik dari material karbon yang merupakan hasil dari kombinasi struktur pori karbon dan struktur kimia permukaannya menghasilkan karbon yang memenuhi syarat terjadinya reaksi katalitik tertentu. Gugus fungsi yang terdapat di permukaan karbon dapat berfungsi sebagai sisi yang menahan katalis logam yang diembankan atau menjadi sisi aktif untuk reaksi katalitik yang spesifik (Glasel *et al.*, 2015).

Pada penelitian ini katalis MgO akan diembankan pada material karbon berpori

(disebut dengan MgO/C) dengan cara penambahan magnesium salisilat secara langsung saat sintesis polimer prekursor karbon. Prekursor karbon berpori akan dibuat dari polimer tiga bahan sintesis yaitu *phenol*, magnesium salisilat, dan *formaldehyde*. Alasan pemilihan bahan sintesis yang digunakan dalam penelitian ini karena kualitas karbon dari bahan sintesis akan lebih seragam dan struktur molekulnya dapat dimanipulasi untuk memperoleh karakteristik tertentu. Proses pembuatan karbon sebagai pengemban katalis MgO yaitu dengan membuat polimer ketiga bahan tersebut pada berbagai rasio reaktan dalam kondisi asam. Polimer yang diperoleh kemudian dipirolisis untuk memperoleh katalis MgO, kemudian material dikarakterisasi dan diuji untuk reaksi transesterifikasi antara minyak kelapa sawit dan metanol.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi bahan utama dan bahan pendukung. Bahan baku utama yaitu bahan resin fenolik dan bahan pembuatan material karbon berpori. Bahan resin fenolik yang digunakan di antaranya adalah fenol (Merck), formaldehid 37% (Merck), magnesium salisilat teknis (Haihang Industry). Asam sulfat dengan kadar 95-97% (Merck) digunakan sebagai katalis reaksi polimerisasi fenolik resin. Untuk reaksi transesterifikasi, digunakan minyak kelapa sawit dan metanol teknis (95%).

### 2.2 Cara Penelitian

#### 2.2.1 Pembuatan Prekursor Katalis MgO/C

Pembuatan polimer dilakukan dengan pencampuran bahan dalam labu leher tiga yaitu magnesium salisilat:fenol:formaldehid

dengan perbandingan bervariasi 0,33 : 0,67 : 2,80 (mol/mol). Pencampuran dilakukan dengan urutan magnesium salisilat dilarutkan dengan formaldehid. Sebelum pengadukan, katalis asam berupa  $H_2SO_4$  ditambahkan. Penambahan katalis akan mempercepat laju reaksi sehingga suhu campuran akan naik. Ketiga bahan tersebut dicampur sembari dipanaskan pada 80 °C hingga diperoleh campuran yang homogen. Selanjutnya, fenol ditambahkan ke dalam campuran. Proses pengadukan terus dilakukan hingga terbentuk padatan lalu campuran didiamkan sampai reaksi kondensasi tuntas dan suhu kembali normal (Haus et al., 1981; Nur'aeni, 2019). Resin yang terbentuk diberi nama MPF.

Sebagai pembanding, dibuat pula polimer fenol formaldehid tanpa penambahan magnesium salisilat. Rasio mol fenol : formaldehid adalah 1 : 2,8. Pencampuran dilakukan dengan urutan fenol dilarutkan dengan penambahan formaldehid. Sebelum pengadukan katalis asam berupa  $H_2SO_4$  ditambahkan. Ketiga bahan tersebut dicampur sembari dipanaskan hingga diperoleh padatan polimer fenol formaldehid. Resin yang terbentuk diberi nama PF. Produk hasil polimerisasi kemudian dikeringkan dan dipecah menjadi ukuran yang seragam. Produk yang telah kering siap digunakan untuk dipirolisis atau biasa disebut dengan prekursor karbon berpori.

### 2.2.2 Pembuatan Katalis MgO/C dengan Pirolisis Polimer

Proses pirolisis diawali dengan pemanasan polimer dari suhu ruangan sampai 850°C dengan kecepatan pemanasan sebesar 3,5°C/menit. Gas inert berupa  $N_2$  dialirkan dengan kecepatan konstan. Pengaliran gas  $N_2$  bertujuan untuk mengusir kehadiran

oksigen dalam *furnace* serta sebagai gas pembawa zat-zat yang keluar dari bahan yang dipirolisis. Pada saat suhu telah mencapai 850°C, *steam* mulai dialirkan ke dalam *furnace* dan proses ditahan selama 2 jam kemudian setelah itu, aliran *steam* dihentikan dan *furnace* didinginkan hingga suhu ruangan. *Burn-off* atau banyaknya bahan yang hilang dari proses pirolisis dihitung dengan menggunakan Persamaan (1).

$$Burn\ off = \frac{w_0 - w_t}{w_0} \times 100\% \quad (1)$$

di mana  $W_0$  adalah massa awal prekursor dan  $W_t$  adalah massa karbon berpori yang dihasilkan dari karbonisasi. Produk hasil pirolisis resin MPF diberi nama MgO/C. Sedangkan material pembanding berupa hasil pirolisis resin PF diberi nama C-PF.

### 2.2.3 Karakterisasi Material

Karakterisasi material karbon berpori yaitu uji serapan nitrogen dengan Quantachrome NOVA 2000 untuk mengetahui properti pori (NOVA 2000), foto morfologi permukaan dengan JSM-6360LA (JEOL) *scanning electron microscope* (SEM) pada voltase 15 kV, dan uji kristalinitas bahan dengan *X-ray Diffraction* (XRD). Pola XRD diambil dari posisi  $2\theta$  antara 35-80°.

### 2.2.4 Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit dan Metanol

Reaksi transesterifikasi antara minyak kelapa sawit dilakukan pada reaktor batch berupa labu leher tiga 500 mL dengan pemanas mantel. Sistem dilengkapi dengan kondenser refluks, termometer, pengaduk merkuri, dan pengambil sampel. Labu leher tiga diisi minyak kelapa sawit sebanyak 150 g dan dipanaskan pada suhu reaksi (65°C). Katalis MgO/C didispersikan ke dalam

metanol kemudian dipanaskan hingga suhu 65°C. Metanol dan katalis kemudian dimasukkan ke reaktor. Rasio metanol:minyak yang digunakan adalah 6:1. Sampel diambil menggunakan pengambil cuplikan setiap 30 menit dan ditampung pada botol vial lalu didinginkan menggunakan air es untuk menghentikan proses reaksi. Reaksi dijalankan selama 150 menit. Jumlah minyak sawit yang bereaksi dihitung dengan menguji kadar gliserol bebas dan gliserol total untuk setiap waktu reaksi tertentu dengan volumetri. Detail prosedur diberikan dalam literatur (Bhaskara, 2021).

Kinetika reaksi antara minyak sawit dan metanol dimodelkan dengan reaksi bolak-balik seperti ditunjukkan pada Persamaan (2).



dengan A = trigliserida, B= metanol, C= gliserol, dan D = metil ester. Konsentrasi komponen A, B, C, dan D dapat ditentukan dengan Persamaan (3) – (6) dengan asumsi reaksi merupakan reaksi elementer. Selain itu, konsentrasi metil ester pada saat awal dianggap 0 dan trigliserida merupakan reaktan pembatas. Dalam penelitian ini, komponen gliserol (C) merupakan komponen yang dianalisis sedangkan komponen lain dihitung dengan menggunakan persamaan neraca massa.

$$-\frac{dC_A}{dt} = k \left( C_A C_B - \frac{C_C C_D}{K} \right) \quad (3)$$

$$-\frac{dC_B}{dt} = 3 * k \left( C_A C_B - \frac{C_C C_D}{K} \right) \quad (4)$$

$$\frac{dC_C}{dt} = 3 * k \left( C_A C_B - \frac{C_C C_D}{K} \right) \quad (5)$$

$$\frac{dC_D}{dt} = k \left( C_A C_B - \frac{C_C C_D}{K} \right) \quad (6)$$

Parameter konstanta kecepatan reaksi (k) dan kesetimbangan (K) dihitung dengan meminimasi data dengan hasil pemodelan dengan fungsi objektif sesuai Persamaan (7) dengan menggunakan fungsi *fminsearch* di Matlab. Hubungan k sebagai fungsi suhu didekati dengan persamaan Arrhenius (Persamaan (8)).

$$SSE = \sum (C_{data} - C_{persamaan})^2 \quad (7)$$

$$k = A * \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \quad (8)$$

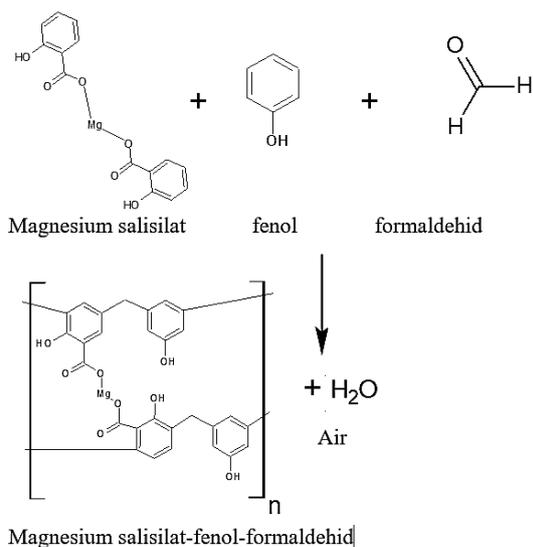
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Polimerisasi Magnesium Salisilat-Fenol-Formaldehid

Pada penelitian ini, magnesium salisilat dan formaldehid direaksikan terlebih dahulu dengan penambahan asam sulfat sebagai katalis. Hal ini agar resin magnesium salisilat dapat mendominasi dan kemudian fenol yang ditambahkan kemudian dapat menjadi bahan pembentuk polimer jaring/*network* (Prasetyo et al., 2013). Hal ini juga penting agar magnesium salisilat dapat bereaksi secara optimal. Polimer yang dihasilkan dari reaksi polimerisasi akan lebih homogen apabila fenol yang telah dilarutkan dalam formaldehid ditambahkan setelah campuran magnesium salisilat-formaldehid mulai mengental dan berwarna coklat. Dengan penambahan fenol, padatan akan mengeras dan berubah warna menjadi putih.

Representasi struktur dari polimer magnesium salisilat-fenol-formaldehid ditunjukkan pada Gambar 1. Terlihat bahwa Mg sebagai sumber katalis aktif MgO dibawa oleh magnesium salisilat dan jumlah MgO dapat diatur dengan memvariasikan jumlah

magnesium salisilat yang bereaksi. Akan tetapi, jika jumlah magnesium salisilat terlalu banyak polimer yang dihasilkan akan memiliki sifat lebih rapuh. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan rasio mol/mol magnesium salisilat: fenol: formaldehid sebesar 0,33:0,67:2,80 (resin MPF). Sebagai pembanding digunakan pula polimer resin fenolik tanpa magnesium salisilat (resin PF).



**Gambar 1.** Representasi struktur polimer yang diperoleh dari reaksi magnesium salisilat-fenol-formaldehid

### 3.2 Yield Pirolisis Polimer

Tabel 1 menunjukkan nilai *burn-off* dari proses pirolisis polimer MPF dan bahan pembanding tanpa magnesium salisilat (polimer PF). Polimer MPF memiliki *burn-off* yang lebih rendah dibandingkan Polimer PF, masing-masing bernilai sekitar 76 dan 83%. Hal ini dikarenakan oleh (i) struktur polimer MPF (Gambar 1) memiliki elemental O dan H yang lebih banyak yang berasal dari gugus -COOH dan (ii) elemental Mg yang tetap dan tersisa sebagai residu pirolisis. Kedua polimer memiliki rentang *burn-off* antara 66-88% seperti halnya hasil yang diperoleh oleh peneliti sebelumnya berupa pirolisis *phenolic*

*beads* untuk prekursor *activated carbon spheres* (Singh *et al.*, 2019). Pelepasan unsur selain karbon seperti H dan O dengan degradasi termal dapat diikuti dengan pembentukan struktur pori (Ariyanto, 2010).

**Tabel 1.** *Burn-off* proses pirolisis polimer pada suhu 850°C dan aktivasi menggunakan *steam*

Nama polimer	Perbandingan mol			Burn-off
	M	P	F	
MPF	0,33	0,67	2,80	75,94
PF	0	1	2,80	83,23

### 3.3 Karakteristik Katalis MgO/C

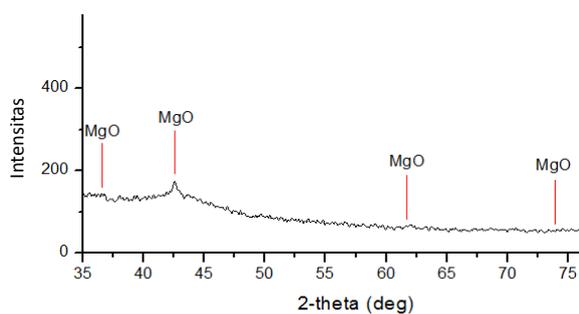
Karakteristik pori dari katalis MgO/C dan material referensi karbon dari pirolisis resin PF (C-PF) ditunjukkan pada Tabel 2. Karakteristik pori yang ditampilkan meliputi luas permukaan spesifik total, luas permukaan spesifik mikropori, persentase luas permukaan mikropori, volum pori, persentase volum pori mikropori, dan diameter pori rata-rata. MgO/C yang berasal dari pirolisis polimer MPF memiliki luas permukaan yang lebih tinggi (494 m<sup>2</sup>/g) dibanding C-PF (417 m<sup>2</sup>/g). Persentase mesopori baik dari luas permukaan maupun volume pori dari MgO/C lebih baik dibanding C-PF. Hal ini disebabkan karena polimer PF lebih *rigid* sehingga cenderung memiliki volume total dan pori yang kecil, seperti diamati pada penelitian sebelumnya (Ariyanto *et al.*, 2012). Volume pori yang relatif besar tentunya menguntungkan dari sisi transportasi molekul di dalam pori. Diameter rerata pori untuk MgO/C dan C-PF berturut-turut bernilai sebesar 1,73 dan 1,63 nm. Sesuai literature, jenis pori karbon pada umumnya merupakan pori *slit* sehingga molekul ramping masih dapat masuk ke dalam pori (Ustinov and Do, 2006).

**Tabel 2.** Karakteristik struktur pori dari karbon hasil pirolisis polimer MPF dan PF

Sampel polimer	Nama material	SSA, m <sup>2</sup> /g	S <sub>mic</sub> , m <sup>2</sup> /g	% S <sub>mic</sub>	V, cm <sup>3</sup> /g	V <sub>mic</sub> , cm <sup>3</sup> /g	% V <sub>mic</sub>	d <sub>a</sub> , nm
MPF	MgO/C	494	465	94	0,21	0,18	86	1,73
PF	C-PF	417	407	97	0,17	0,15	91	1,63

Keterangan: *SSA* = *specific surface area*, *S<sub>mic</sub>* = luas area mikropori; *V* = volume pori; *V<sub>mic</sub>* = volume mikropori; *d<sub>a</sub>* = diameter pori rerata.

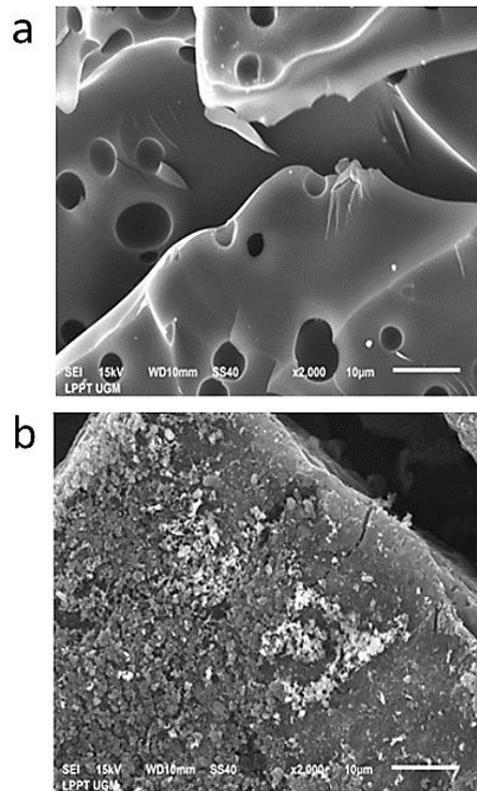
Gambar 2 menunjukkan hasil difraksi sinar-X dari MgO/C. *Peak* cukup terlihat pada posisi  $2\theta$  yaitu  $43^\circ$  dan  $63^\circ$ . Literatur menyampaikan bahwa fase kristalin nanopartikel magnesium oksida ditandai pada *peak* pada posisi  $2\theta$  antara  $36-43^\circ$ ,  $61-63^\circ$ , dan  $74-78^\circ$  sesuai dengan standar JCPDS No.89-7746 (Safaei-Ghomi et al., 2015). *Peak* yang didapatkan cukup rendah dan hal ini dapat disebabkan karena penyebaran MgO dalam karbon merata dan jumlah fraksi massa yang sedikit (Cimino et al., 2019). Berdasarkan *peak*  $2\theta$  dapat disimpulkan bahwa magnesium oksida terdapat pada material karbon hasil pirolisis Polimer MPF. Oleh karena itu, proses pembuatan katalis magnesium oksida dengan pengembangan secara *incorporated* berhasil dilakukan.



**Gambar 2.** Pola XRD dari material MgO/C. *Peak* MgO dari standar JCPDS No.89-7746

Gambar 3 menunjukkan gambar SEM dari material C-PF dan MgO/C. Material C-PF terlihat permukaannya bersih dan halus. Sedangkan MgO/C terlihat kasar dengan

material putih di permukaan karbon. Hasil ini dapat mengkonfirmasi hasil XRD bahwa MgO ada di permukaan material MgO/C dan pengembangan MgO dalam karbon berhasil dilakukan.

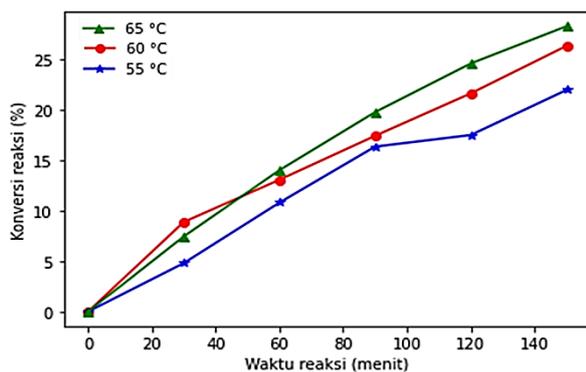


**Gambar 4.** Morfologi permukaan dari material C-PF (a) dan MgO/C (b), diambil dengan menggunakan *scanning electron microscope*

### 3.4 Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit dan Metanol dengan Katalis MgO/C

Reaksi transesterifikasi antara minyak kelapa sawit dan metanol dilakukan pada suhu  $55$ ,  $60$ , dan  $65^\circ\text{C}$ . Konversi minyak kelapa sawit vs suhu ditunjukkan pada Gambar 5. Makin tinggi suhu maka konversi reaksi semakin meningkat dan konversi tertinggi pada penelitian sekitar  $28\%$  diperoleh pada kondisi  $65^\circ\text{C}$  dan  $150$  menit. Peningkatan suhu menyebabkan molekul memperoleh energi tambahan yang diubah

menjadi energi kinetik dalam gerakannya. Akibatnya, tumbukan antar molekul pereaksi menjadi lebih besar dan produk yang dihasilkan semakin tinggi. Oleh karena itu, suhu reaksi yang tinggi akan mempercepat reaksi transesterifikasi ke arah produk, sehingga konversi minyak akan semakin tinggi. Konversi tertinggi yang didapatkan (28%) setara dengan konversi yang didapatkan literatur lain dengan menggunakan katalis K/AC (27%) (Pradana et al., 2018). Namun hasil yang didapatkan masih jauh dari penelitian lainnya yang menghasilkan 80-99% konversi tetapi dengan waktu reaksi yang jauh lebih lama hingga 24 jam (Thangaraj et al., 2019).



**Gambar 5.** Konversi reaksi transesterifikasi antara minyak sawit dan methanol pada berbagai waktu

**Tabel 3.** Nilai konstanta laju reaksi dan kesetimbangan pada berbagai suhu

T (°C)	Konstanta	
	$k$ (L <sup>2</sup> /mol/g/menit)	$K$
55	$4,15 \cdot 10^{-4}$	0,272
60	$5,15 \cdot 10^{-4}$	0,394
65	$5,55 \cdot 10^{-4}$	0,712

Tabel 3 menunjukkan hasil nilai konstanta kecepatan reaksi dan kesetimbangan dari hasil *fitting* data penelitian. Nilai  $k$  naik dengan naiknya suhu dan nilai berkisar antara

$4-6 \cdot 10^{-4}$  L<sup>2</sup>/mol/g/menit. Sedangkan nilai  $K$  didapatkan antara 0.2-0.72.

Hasil *fitting* nilai konstanta laju reaksi dengan Persamaan (8) menghasilkan hubungan  $k=f(T)$  seperti ditunjukkan pada Persamaan (9).

$$k = 8,31 * \exp\left(\frac{-3243}{T}\right) \quad (9)$$

Nilai faktor tumbukan sebesar 8,31 (L<sup>2</sup>/mol/gcat/menit) dan energi aktivasi sebesar 6.444 kal/mol diperoleh. Sebagai pembandingan, nilai energi aktivasi sebesar 16.113 kal/mol diperoleh untuk reaksi transesterifikasi senyawa yang sama dengan katalis K/AC pada kondisi rasio reaktan 6:1 dan suhu 60°C (Pradana et al., 2018). Selain itu, pada penelitian transesterifikasi dengan katalis CaO/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, diperoleh nilai energi aktivasi sebesar 8.403 kal/mol, pada kondisi operasi suhu 75°C dan waktu reaksi 7 jam (Savitri et al., 2012).

#### 4. Kesimpulan

Katalis MgO/C telah berhasil dibuat dengan cara pirolisis resin fenolik berbahan dasar magnesium salisilat. Katalis MgO/C memiliki luas permukaan spesifik sekitar 494 m<sup>2</sup>/g. Keberadaan MgO dikonfirmasi dari pola difraksi XRD yang menunjukkan peak karakteristik untuk kristal MgO pada posisi 2θ antara 36-43°, 61-63°, dan 74-78° sesuai dengan standar JCPDS No.89-7746. Selain itu, gambar SEM menguatkan keberadaan kristal MgO di permukaan karbon. Katalis yang diperoleh dapat digunakan untuk reaksi transesterifikasi antara minyak kelapa sawit dengan methanol dengan konversi reaksi tertinggi pada penelitian ini sebesar 28,3%. Selain itu, hasil evaluasi menunjukkan nilai energi aktivasi sebesar 6.444 kal/mol diperoleh untuk reaksi pada rentang suhu 55-

65 °C. Hasil penelitian ini dapat menjadi panduan dalam penyiapan katalis berbasis MgO dengan cara *in situ/incorporated* pada prekursor karbon.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Kimia FT UGM melalui Program Hibah Penelitian Departemen tahun 2020.

### Daftar Pustaka

- Ariyanto, T., 2010, Pembuatan Material Karbon Berpori dari Pirolisis Phenolic Resin sebagai Material Elektroda Superkapasitor, Tesis, Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Ariyanto, T., Prasetyo, I. and Rochmadi., 2012, Pengaruh struktur pori terhadap kapasitansi elektroda superkapasitor yang dibuat dari karbon nanopori, *Reaktor*, 14 (1), 25–32.
- Bhaskara, P.T., 2021, Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Kelapa Sawit Menggunakan Katalis MgO Terembankan Dalam Karbon Berbasis Polimer Magnesium Salisilat-Fenol-Formaldehid, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Cimino, S., Apuzzo, J. and Lisi, L., 2019, MgO dispersed on activated carbon as water tolerant catalyst for the conversion of ethanol into butanol, *Appl. Sci.*, 9, No. 1371, available at:<https://doi.org/10.3390/app9071371>.
- Ding, Y., Zhang, G., Wu, H., Hai, B. and Wang, L., 2001, Nanoscale magnesium hydroxide and magnesium oxide powders : Control over size , shape , and structure via hydrothermal synthesis, *Chem. Mater.*, 13 (17), 435–440.
- Glasel, J., Diao, J.Y., Feng, Z.B., Hilgart, M., Wolker, T., Su, D.S. and Etzold, B.J.M., 2015, Mesoporous and graphitic carbide-derived carbons as selective and stable catalysts for the dehydrogenation reaction, *Chem. Mater.*, 27 (16), 5719–5725.
- Haidari, S., Kamarehie, B., Jafari, A., Birjandi, M. and Afrasyabi, S., 2016, Oxalic acid degradation from aqueous solution using ozonation process in the presence of magnesium oxide nanoparticles catalyst stabilized on activated carbon, *Int. J. Environ. Health Eng.*, 5 (3), available at:<https://doi.org/10.4103/2277-9183.196665>.
- Haus, A., Reitz, G., Boehmke, G. and Meister, M., 1981, Phenolic Formaldehyde-Salicylic Acid Condensation Products, United States Patent 4245083.
- Natewong, P., Murakami, Y., Tani, H. and Asami, K., 2016, Effect of support material on MgO-based catalyst for production of new hydrocarbon bio-diesel, *Am. Sci. J. Eng. Technol. Sci.*, 22 (1), 153–165.
- Nur'aeni, D.A.K., 2019, *Preparasi Dan Karakterisasi Katalis Komposit MgO-C Dari Pirolisis Polimer Magnesium Salicylate-Phenol-Formaldehide : Pengaruh Rasio Reaktan*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Pradana, Y.S., Hidayat, A., Prasetya, A. and Budiman, A., 2018, Application of coconut-shell activated carbon as heterogeneous solid catalyst for biodiesel synthesis, *Defect Diffus. Forum*, 382, 280–285.
- Prasetyo, I., Mukti, N.I.F., Fahrurrozi, M. and Ariyanto, T., 2018, Removing ethylene by adsorption using cobalt oxide-loaded nanoporous carbon, *ASEAN J. Chem. Eng.*, 18 (1), 9–16.

- Prasetyo, I., Rochmadi, Ariyanto, T. and Yunanto, R., 2013, Simple method to produce nanoporous carbon for various applications by pyrolysis of specially synthesized phenolic resin, *Indones. J. Chem.*, 13 (2), 95–100.
- Safaei-Ghomi, J., Zahedi, S., Javid, M. and Ghasemzadeh, M., 2015, MgO Nanoparticles: an Efficient, Green and Reusable Catalyst for the One-pot Syntheses of 2,6-Dicyanoanilines and 1,3-Diarylpropyl Malononitriles under Different Conditions, *J. Nanostructures*, 5 (2), 153–160.
- Savitri, S.D., Asri, N.P., Roesyadi, A., Budikarjono, K. and Suprpto., 2012, Kinetika Reaksi Transesetrifikasi Minyak Sawit dengan Katalis Single Promotor, *Semin. Nas. Tek. Kim. Soebardjo Brotohardjono UPN "Veteran" Jawa Timur*, Surabaya.
- Singh, A., Aggrawal, S. and Lal, D., 2019, Effect of formaldehyde to phenol ratio in phenolic beads on pore structure, adsorption and mechanical properties of activated carbon spheres, *Def. Sci. J.*, 69 (1), 46–52.
- Siriwardane, I.W., Udangawa, R., de Silva, R.M., Kumarasinghe, A.R., Acres, R.G., Hettiarachchi, A., Amaratunga, G.A.J., et al., 2017, Synthesis and characterization of nano magnesium oxide impregnated granular activated carbon composite for H<sub>2</sub>S removal applications, *Mater. Des.*, 136, 127–136.
- Thangaraj, B., Solomon, P.R., Muniyandi, B., Ranganathan, S. and Lin, L., 2019, Catalysis in biodiesel production - A review, *Clean Energy*, 3 (1), 2–23.
- Ustinov, E.A. and Do, D.D., 2006, Adsorption in Slit Pores and Pore-size Distribution: A Molecular Layer Structure Theory, *Adsorption*, 24 (1), 1–16.
-