

PENINGKATAN KUALITAS *BIO-OIL* HASIL PIROLISIS MINYAK KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN REAKSI EPOKSIDASI DAN HIDROKSILASI

Upgrading The Quality of Bio-Oil from Pyrolysis of Palm Oil using Epoxidation and Hydroxylation Reactions

Istiqomah, Abdullah, Maria Dewi Astuti

Program Studi Kimia FMIPA Universitas Lambung Mangkurat
Jl. Ahmad Yani Km 36 Banjarbaru 70714 Kalimantan Selatan
E-mail: Istiqomah1296@gmail.com

ABSTRAK

Bio-oil hasil pirolisis minyak kelapa sawit mengandung senyawa alkena yang dapat digunakan dalam pembuatan senyawa alkohol. Konversi senyawa alkena menjadi alkohol dilakukan melalui dua tahap, yaitu epoksidasi dan hidroksilasi. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari reaksi epoksidasi dengan mengetahui pengaruh rasio mol asam perasetat ($\text{CH}_3\text{COOH}/\text{H}_2\text{O}_2$) dan waktu reaksi terhadap bilangan hidroksil senyawa alkohol yang dihasilkan. Epoksidasi *bio-oil* hasil pirolisis minyak kelapa sawit dilakukan dengan mereaksikan alkena dengan asam perasetat. Variasi yang dilakukan yaitu rasio mol asam perasetat 0,5; 1; 2; 3; 4 dan waktu reaksi epoksidasi selama 60, 90, 120, 150, dan 180 menit. Pada *bio-oil* terepoksidasi, selanjutnya dilakukan hidroksilasi selama 120 menit menggunakan campuran metanol dan isopropanol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum rasio mol asam perasetat adalah 2 dan waktu reaksi selama 120 menit. Senyawa alkohol yang dihasilkan memiliki nilai bilangan hidroksil 171,105 mg KOH/g.

Kata Kunci: minyak kelapa sawit, *bio-oil*, epoksidasi, hidroksilasi

ABSTRACT

Bio-oil from the pyrolysis of palm oil contains an alkene that can be used in the production of alcohol compounds. The conversion of alkene compounds to alcohol is carried out in two stages, namely epoxidation and hydroxylation. This research aims to study the epoxidation reaction by knowing the effect of the mole ratio of peracetic acid ($\text{CH}_3\text{COOH}/\text{H}_2\text{O}_2$) and the reaction time on the hydroxyl number of the alcohol compound produced. The epoxidation of bio-oil from the pyrolysis of palm oil was carried out by reacting alkenes with peracetic acid. Variations made were peracetic acid mole ratio of 0,5; 1; 2; 3; 4 and epoxidation reaction time during 60, 90, 120, 150, and 180 minutes. In the epoxidized bio-oil, hydroxylation was performed for 120 minutes using a mixture of methanol and isopropyl alcohol. The result showed that the optimum conditions are the mol ratio of peracetic acid was 2 and reaction time 120 minutes. The resulting alcohol compound has a hydroxyl number 171,105 mg KOH/g.

Keywords: palm oil, *bio-oil*, epoxidation, hydroxylation

PENDAHULUAN

Minyak bumi merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Penggunaan minyak bumi dalam jangka waktu yang lama mengakibatkan

ketersediaannya akan berkurang. Ketergantungan terhadap bahan bakar bersumber energi tak terbarukan harus dihindari, karena sumber energi tersebut akan habis. Sumber energi alternatif yang dapat

diperbarui sangat diperlukan untuk mengatasi permasalahan tersebut (Hambali *et al.*, 2007).

Upaya lain yang dapat dilakukan adalah dengan meningkatkan kualitas bahan bakar. Peningkatan kualitas pada bahan bakar diesel dapat dilihat dari kualitas pembakaran yang berkaitan dengan nilai angka setana. Rendahnya nilai angka setana pada bahan bakar diesel menyebabkan penggunaan bahan bakar yang berlebih dan menghasilkan emisi yang lebih tinggi (Kumar *et al.*, 2018). Penambahan senyawa aditif dapat meningkatkan angka setana pada bahan bakar diesel sehingga dapat mengurangi penggunaan bahan bakar dan emisi yang dihasilkan (Imdadul *et al.*, 2017). Senyawa penting yang banyak digunakan sebagai aditif peningkat angka setana pada bahan bakar diesel adalah 2-etilheksil nitrat (EHN) (Rabello *et al.*, 2009).

Ileri & Kocar (2013) telah melaporkan hasil penelitian tentang senyawa aditif pada bahan bakar diesel. Penambahan senyawa EHN pada biodiesel (B20) dari minyak kanola dapat mengurangi penggunaan bahan bakar diesel sebanyak 4,12%. Penelitian tentang senyawa aditif juga dilakukan oleh Atmanli (2016). Senyawa EHN yang ditambahkan pada biodiesel (B20) dari *hazelnut oil* dapat mengurangi penggunaan bahan bakar diesel sebanyak 12,60%. Menurut Rabello *et al.* (2009), jalur reaksi yang banyak digunakan pada pembuatan 2-etilheksil nitrat yaitu menggunakan bahan baku propena. Proses hidroformilasi propena menghasilkan senyawa isobutanal dan n-butanal yang

mengalami kondensasi pada pembentukan etil heksanal. Senyawa etil heksanal yang dihasilkan menjadi target utama dalam proses hidrogenasi membentuk etil heksanol, kemudian dilanjutkan dengan reaksi nitrasi untuk membentuk senyawa etil heksil nitrat.

Hasil pirolisis minyak kelapa sawit dengan katalis zeolit mengandung 37,26% senyawa alkena meliputi heptena (0,39%), oktena (0,72%), nonena (0,85%), dekena (0,89%), 4-undekena (0,75%), 5-dodekena (4,10%), 1-tetradekena (4,09%), 3-tetradekena (16,01%), 5-tetradekena (0,8%), 1,12-tridekadiena (0,95%), dan 8-heptadekena (7,71%) (Apriyanti, 2018). Menurut Rabello *et al.* (2009), apabila senyawa alkena dilakukan nitrasi secara langsung maka akan memerlukan jumlah asam nitrat yang berlebih karena reaksi tersebut tidak selektif. Oleh karena itu, senyawa alkena yang terkandung pada bio-oil minyak kelapa sawit dikonversi terlebih dahulu menjadi alkohol melalui reaksi epoksidasi dan hidrosilasi.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan

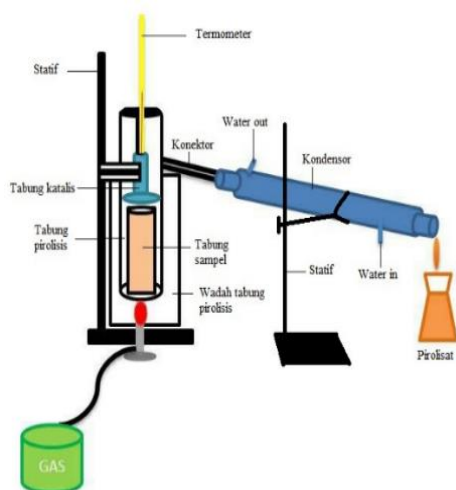
Alat yang digunakan yaitu peralatan gelas kaca (pyrex), serangkaian alat pirolisis, kondensor, *hot plate stirrer* (B-One Digital DHS-19C), *water bath*, oven (Memmert), kertas pH universal, termokopel (TM-902C), viskometer ostwald (Schott Duran), piknometer (pyrex), neraca analitik Ohaus dan FTIR SHIMADZU PRESTIGE 21. Adapun bahan yang digunakan yaitu minyak kelapa sawit RBD (*Refined, Bleached, and*

Deodorized), hidrogen peroksida 50% dan anhidrida asetat (Sigma-aldrich), asam asetat glasial, metanol, isopropanol, asam sulfat pekat, piridin, natrium hidroksida dan indikator fenolftalein dari Merck.

Prosedur Kerja

Pirolisis minyak kelapa sawit

Minyak kelapa sawit sebanyak 30 mL dimasukkan ke dalam wadah minyak yang ada di dalam tabung reaktor pirolisis, ditutup rapat dan dipanaskan dengan api. Reaktor dilengkapi termometer yang berfungsi untuk mengukur suhu uap ($130-150^{\circ}\text{C}$). Pirolisat yang dihasilkan dipindahkan ke dalam corong pisah untuk memisahkan bagian *bio-oil* dan air kemudian ditambahkan natrium sulfat anhidrat sebanyak 0,5-1,0 gram untuk menghilangkan sisa air pada *bio-oil*. Rangkaian alat pirolisis ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian alat pirolisis

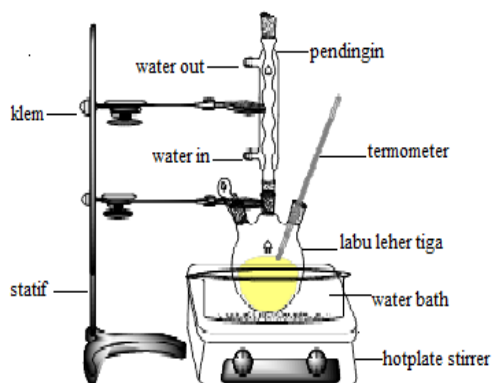
Epoksidasi *bio-oil*

Sebanyak 7 mL *bio-oil* dan asam asetat glasial dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang dilengkapi dengan *hotplate stirrer*, *water bath*, kondensor dan termometer, dipanaskan

hingga suhu $50-55^{\circ}\text{C}$. Setelah suhu campuran mencapai 55°C , ditambahkan hidrogen peroksida dan 0,1 mL asam sulfat pekat secara perlahan dan dilakukan pengadukan. Reaksi epoksidasi dilakukan pada suhu $70-75^{\circ}\text{C}$ dengan variasi rasio mol $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{H}_2\text{O}_2$ (0,5; 1; 2; 3; dan 4) dan waktu reaksi (60, 90, 120, 150, dan 180 menit). Hasil epoksidasi yang telah didinginkan pada suhu ruang dipindahkan ke dalam corong pisah. Lapisan atas dicuci dengan akuades hingga mencapai pH 5-6, kemudian ditambahkan 1 gram natrium sulfat anhidrat untuk menghilangkan sisa air pada *bio-oil* terepoksidasi.

Hidroksilasi *bio-oil*

Sebanyak 15 mL isopropanol, 5 mL metanol, dan 0,1 mL asam sulfat pekat dimasukkan ke dalam labu leher tiga, kemudian dipanaskan pada suhu 40°C . Setelah suhu campuran mencapai 40°C , *bio-oil* terepoksidasi dimasukkan secara perlahan. Campuran dipanaskan pada suhu $50-55^{\circ}\text{C}$ dan dilakukan pengadukan selama 120 menit. Hasil dari reaksi hidroksilasi dipindahkan ke dalam corong pisah dan ditambahkan dengan 2 mL kloroform. Lapisan bawah diuapkan pada suhu $82-85^{\circ}\text{C}$ hingga volume campuran mencapai ± 10 mL, hasil penguapan dimasukkan ke dalam corong pisah kemudian didiamkan hingga terbentuk dua lapisan. Lapisan atas berupa minyak kemudian dilakukan pengujian bilangan hidroksil dan analisis hasil optimum menggunakan FTIR. Rangkaian alat epoksidasi dan hidroksilasi ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian alat epoksidasi dan hidroksilasi

Pengujian bilangan hidroksil

Sebanyak 5 mL reagen asetilasi dan 0,5 gram sampel dimasukkan ke dalam botol vial kaca, ditutup rapat kemudian dimasukkan ke dalam oven. Oven yang digunakan terlebih dahulu dipanaskan hingga suhu 98°C. Campuran dipanaskan pada suhu 98°C ±2°C selama 120 menit, kemudian didinginkan pada suhu kamar selama 24 jam. Campuran dipindahkan ke dalam erlenmeyer kemudian ditambahkan dengan 7 mL akuades dan 0,2 mL indikator fenolftalein kemudian dititrasi menggunakan larutan NaOH 0,5 N. Bilangan hidroksil ditentukan dengan persamaan,

$$\text{bilangan OH} = \frac{(b - a) \times N \times 56,1}{m}$$

Keterangan:

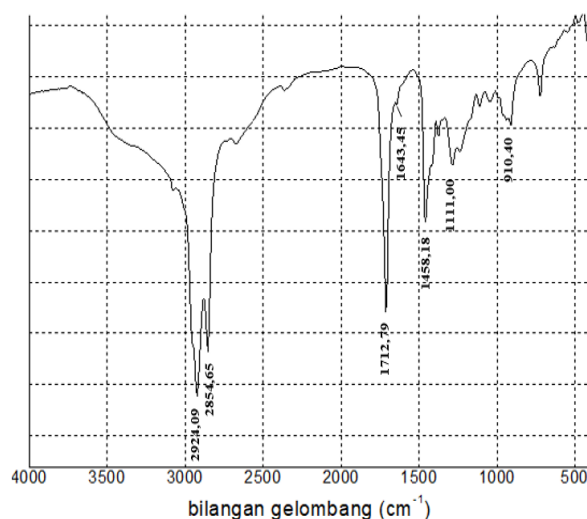
- b = volume NaOH yang digunakan untuk titrasi blanko (mL)
- a = volume NaOH yang digunakan untuk titrasi sampel (mL)
- N = Normalitas NaOH
- M = berat sampel (gram)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pirolisis Minyak Kelapa Sawit

Metode pirolisis yang digunakan yaitu metode pirolisis non-katalitik. Menurut Zhang

et al. (2009), pirolisis non-katalitik menghasilkan fraksi minyak lebih banyak dibandingkan dengan pirolisis katalitik. Selain menghasilkan fraksi minyak yang lebih banyak, pirolisis non-katalitik juga akan menghasilkan residu yang lebih banyak. Residu pirolisis merupakan fraksi berat yang tersisa pada tabung reaktor, berwarna hitam dan kental atau padat. Saat suhu pirolisis berada pada 300°C, sebagian bahan baku belum mengalami dekomposisi. Akibatnya, sebagian bahan baku masih tertinggal pada bagian dasar reaktor dan tercampur dengan residu (Lam *et al.*, 2018). Hasil yang diperoleh pada penelitian ini yaitu berkisar antara 33,33-53,33% dengan kandungan air sebanyak 4,29-12,86%. *Bio-oil* yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki nilai berat jenis sebesar 0,8172 g/mL dan viskositas kinematik sebesar 2,85 mm²/s. Spektra FTIR dari *bio-oil* hasil pirolisis minyak kelapa sawit ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektra FTIR pada *bio-oil*

Pada penelitian ini, gugus fungsi dari *bio-oil* kelapa sawit yang terbaca pada analisis

FTIR hanya mengandung gugus alkana, alkena, eter, dan ester. Identifikasi gugus

fungsi dalam *bio-oil* kelapa sawit telah dilakukan dan hasilnya terdapat pada Tabel 1.

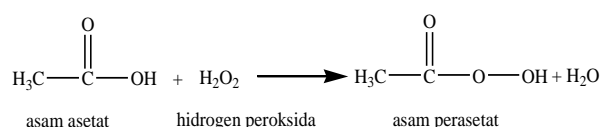
Tabel 1. Vibrasi FTIR *bio-oil* kelapa sawit

Rentang bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Gugus fungsi	Komponen senyawa	Bilangan gelombang pada <i>bio-oil</i> (cm ⁻¹)
3200-2800	C-H ulur	Alkana	2854,65 dan 2924,09 ^(a)
1750-1650	C=O ulur	Ester	1712,79 ^(b)
1680-1610	C=C ulur	Alkena	1643,45 ^(c)
1475-1000	C-H tekuk	Alkana	1458,18 ^(d)
1300-1000	C-O ulur	Ester, Eter	1111,00 ^(e)
1000-600	=CH tekuk	Alkena	910,40 ^(e)

Sumber: ^(a)Capunitan & Capareda, 2012; ^(b)Liu *et al.*, 2017; ^(c)Coppo *et al.*, 2018; ^(d)Ma *et al.*, 2015; ^(e)Naik *et al.*, 2016.

Epoksidasi dan Hidroksilasi

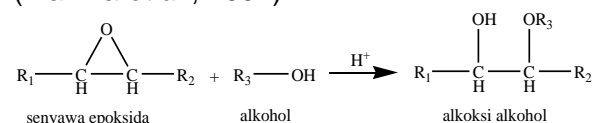
Epoksidasi merupakan reaksi pembentukan senyawa epoksida, sedangkan hidroksilasi merupakan reaksi penambahan gugus hidroksil pada senyawa organik. Penelitian ini berfokus pada epoksidasi *bio-oil* untuk menentukan waktu reaksi dan rasio mol (CH₃COOH/H₂O₂) optimum. Asam perasetat dibuat dengan mereaksikan asam asetat dan hidrogen peroksida dengan adanya katalis homogen atau heterogen (Haro *et al.*, 2016).



Gambar 4. Reaksi pembentukan asam perasetat (Saurabh *et al.*, 2011).

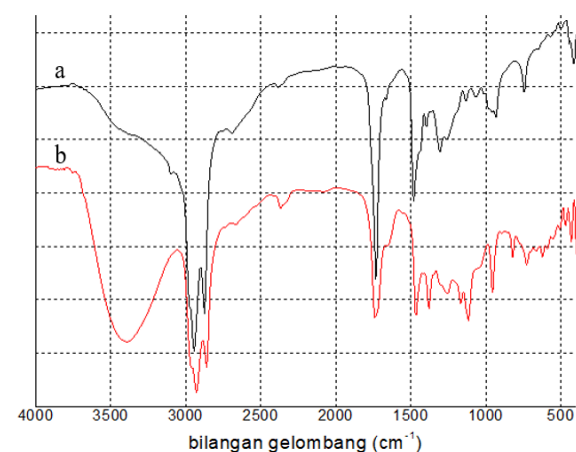
Asam asetat memiliki kestabilan yang lebih besar dibandingkan dengan asam format sehingga konversi ikatan rangkap menjadi cincin oksiran lebih tinggi (Dinda *et al.*, 2008). Katalis yang digunakan yaitu asam sulfat pekat karena memiliki efektivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan asam fosfat, asam klorida, dan asam nitrat (Dinda *et al.*, 2008). Gala (2011) menyatakan bahwa,

sebaiknya tidak ada jeda antara reaksi epoksidasi dan hidroksilasi untuk mengurangi pembentukan reaksi samping. Reaksi hidroksilasi bertujuan untuk membentuk senyawa alkohol pada cincin epoksida (Marlina *et al.*, 2004).



Gambar 5. Reaksi hidroksilasi (Hazmi *et al.*, 2013).

Hasil analisis menggunakan FTIR ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Spektra FTIR pada *bio-oil* (a) dan *bio-oil* terhidroksilasi (b)

Vibrasi pada gugus fungsi utama memiliki pola serapan yang mirip antara *bio-oil* dan *bio-oil*

setelah reaksi hidroksilasi. Perbedaannya yaitu adanya vibrasi pada bilangan gelombang 3387 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi ulur gugus O-H dan vibrasi O-H tekuk pada bilangan gelombang 1373,32 cm^{-1} . Spektra FTIR pada *bio-oil* terhidroksilasi tidak menunjukkan vibrasi cincin epoksida pada bilangan gelombang 750-880 cm^{-1} (Derawi & Salimon, 2010). Menurut Thuy *et al.* (2017), tidak adanya vibrasi cincin epoksida menunjukkan semua senyawa epoksida yang dihasilkan pada reaksi epoksidasi dikonversi

menjadi alkohol pada reaksi hidroksilasi. Vibrasi C=O pada bilangan gelombang 1735,93 cm^{-1} menunjukkan bahwa reaksi epoksidasi hanya terjadi pada gugus alkena dan tidak terjadi pada gugus karbonil (Gala, 2011). Adanya vibrasi C=C alkena pada bilangan gelombang 1651,07 cm^{-1} menunjukkan bahwa tidak semua senyawa alkena yang terkandung dalam *bio-oil* mengalami reaksi epoksidasi (Sudrajat *et al.*, 2010). Identifikasi gugus fungsi pada *bio-oil* terhidroksilasi ditunjukkan pada Tabel 2.

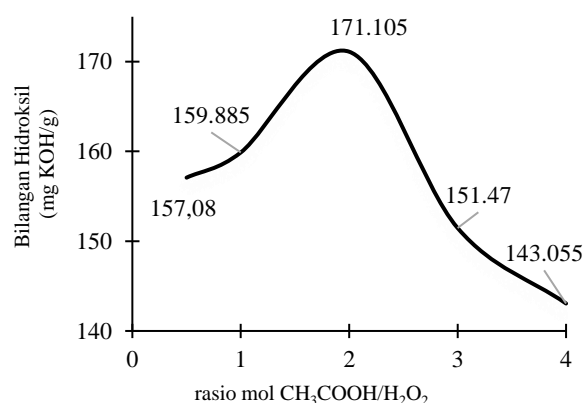
Tabel 2. Vibrasi FTIR *bio-oil* terhidroksilasi

Rentang bilangan gelombang (cm^{-1})	Gugus fungsi	Komponen senyawa	Bilangan gelombang pada <i>bio-oil</i> terhidroksilasi (cm^{-1})
3600-3200	O-H ulur	Alkohol	3387 ^(a)
3200-2800	C-H ulur	Alkana	2854,65 dan 2924,09 ^(b)
1750-1650	C=O ulur	Ester	1735,93 ^(c)
1680-1610	C=C ulur	Alkena	1651,07 ^(d)
1475-1000	C-H tekuk	Alkana	1458,18 ^(e)
1300-1000	C-O ulur	Ester, Eter	1111,00 ^(f)
	O-H tekuk	Alkohol	1373,32 ^(g)
1000-600	=CH tekuk	Alkena	948,98 ^(h)

Sumber: ^(a)Thuy *et al.*, 2017; ^(b)Meadows *et al.*, 2018; ^(c)Zhou *et al.*, 2018; ^(d)Tajau *et al.*, 2018; ^(e)Murniati *et al.*, 2014; ^(f)Afif *et al.*, 2018; ^(g)Sari, 2012; ^(h)Danova *et al.*, 2015.

Pengaruh Variasi Rasio Mol ($\text{CH}_3\text{COOH}/\text{H}_2\text{O}_2$)

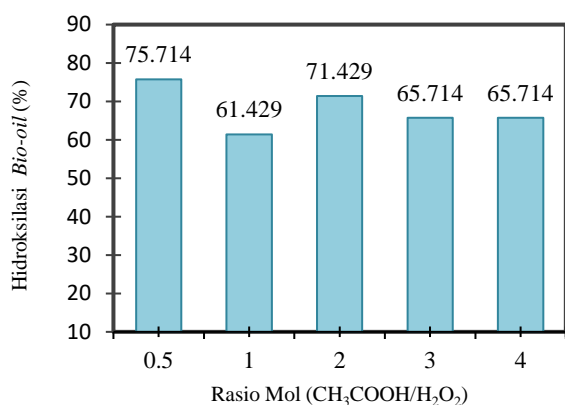
Variasi ini berfokus pada variasi mol hidrogen peroksida yaitu 0,200; 0,100; 0,050; 0,033; dan 0,025 mol, sedangkan mol asam asetat dibuat tetap pada 0,1 mol dengan waktu reaksi selama 120 menit. Grafik hubungan antara rasio mol $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{H}_2\text{O}_2$ dengan bilangan hidroksil dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hubungan antara rasio mol $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{H}_2\text{O}_2$ dengan bilangan hidroksil.

Bilangan hidroksil optimum yaitu pada rasio mol 2. Bilangan hidroksil yang rendah

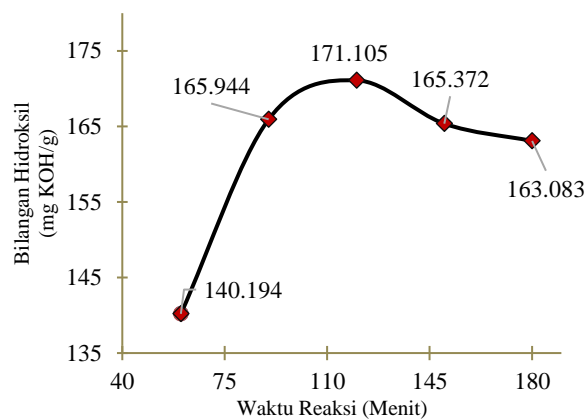
dipengaruhi oleh konsentrasi hidrogen peroksida. Jika konsentrasi terlalu besar, maka reaksi pembentukan asam perasetat menjadi tidak seimbang dan terdekomposisi kembali menjadi asam asetat (Ghozali *et al.*, 2018). Jika konsentrasi terlalu rendah, maka hanya sedikit alkena yang terkonversi menjadi epoksida yang menyebabkan sedikit pula epoksida yang terhidroksilasi. Hasil *bio-oil* terhidroksilasi pada rasio mol ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil *bio-oil* terhidroksilasi (%) pada variasi rasio mol $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{H}_2\text{O}_2$

Pengaruh Variasi Waktu Reaksi

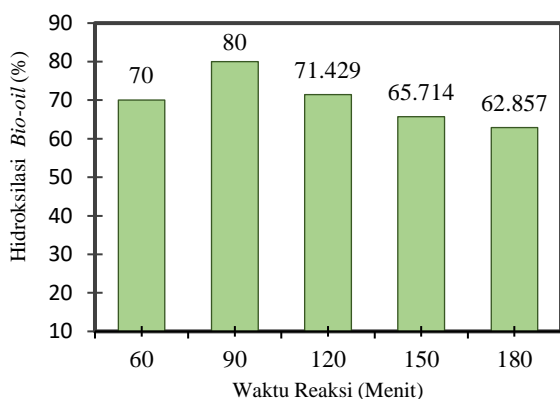
Variasi yang dilakukan hanya pada reaksi epoksidasi yaitu selama 60, 90, 120, 150, dan 180 menit dengan rasio mol $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{H}_2\text{O}_2$ sebesar 2. Bilangan hidroksil yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik hubungan antara waktu reaksi dengan bilangan hidroksil

Penurunan bilangan hidroksil disebabkan oleh molekul zat pereaksi yang saling bertumbukan dalam waktu yang lebih lama sehingga dapat mengganggu kestabilan cincin epoksida (Allundaru & Sitio, 2013). Kestabilan cincin epoksida yang terganggu dapat menurunkan efisiensi epoksidasi dan mengakibatkan pembukaan cincin oksiran (Alamsyah, 2013). Menurut Irawati *et al.* (2019), reaksi epoksidasi pada waktu reaksi selama 60 dan 90 menit masih belum sempurna. Akibatnya, masih ada sisa pereaksi yang belum bereaksi dengan senyawa alkena pada *bio-oil*.

Reaksi epoksidasi dengan variasi waktu reaksi menghasilkan jumlah *bio-oil* terhidroksilasi yang berbeda pada setiap titik variasinya yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil *bio-oil* terhidroksilasi (%) pada variasi waktu reaksi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, dapat disimpulkan:

1. Kondisi optimum reaksi epoksidasi yaitu pada waktu reaksi selama 120 menit dan rasio mol $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{H}_2\text{O}_2$ sebesar 2.
2. Bilangan hidroksil yang dihasilkan pada kondisi optimum sebesar 171,105 mg KOH/g dengan hasil sebesar 71,429% v/v.
3. Adanya vibrasi ulur dan tekuk gugus O-H alkohol pada bilangan gelombang 3387 cm^{-1} dan $1373,32\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan reaksi epoksidasi dan hidroksilasi *bio-oil* berhasil dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, M., Wijaya, N. and Mursiti, S., 2018. Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik dari Pati Biji Alpukat-Kitosan dengan Plasticizer Sorbitol. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2), pp.102-109.
- Alamsyah, R., 2013. Optimasi Pembuatan Senyawa Epoksi Minyak Sawit Kasar (CPO) pada Tingkat Konsentrasi Pelarut dan Waktu Reaksi Berbeda. *Jurnal Hasil Penelitian Industri*, 26(1), pp.1-10.
- Allundaru, R. and Sitio, T.W., 2013. Studi Kinetika Reaksi Epoksidasi Minyak Sawit. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2(2), pp.216-219.
- Apriyanti, M., 2018. *Pirolisis Minyak Sawit Menggunakan Katalis Zeolit dan Karakterisasi Bio-oil yang Dihasilkan*. Skripsi S-1 Kimia FMIPA, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.
- Atmanli, A., 2016. Effects of a Cetane Improver on Fuel Properties and Engine Characteristics of a Diesel Engine Fueled with The Blends of Diesel, Hazelnut Oil and Higher Carbon Alcohol. *Fuel*, 172, pp.209-217.
- Capunitan, J.A. and Capareda, S.C., 2012. Assessing the Potential for Biofuel Production of Corn Stover Pyrolysis Using A Pressurized Batch Reactor. *Fuel*, 95, pp.563-572.
- Coppos, A.R.R., Kahn, S. and Luiz, E.P.B., 2018. Biofuels Production by Thermal Cracking of Soap from Brown Grease. *Industrial Crops and Products*, 112, pp.561-568.
- Danova, A., Tarigan, D. and Akkas, E., 2015. *Pembuatan Senyawa Poliol sebagai Bahan Dasar Pelumas melalui Reaksi Epoksidasi dan Hidroksilasi Minyak Biji Kelor (Moringa oleifera)*. Prosiding Seminar Tugas Akhir FMIPA Universitas Mulawarman. Samarinda.
- Derawi D. and Salimon, J., 2010. Optimization on Epoxidation of Palm Olein by Using Performic Acid. *E-Journal of Chemistry*, 7(4), pp.1440-1448.
- Dinda, S., Patwardhan, A.P., Goud, V.V. and Pradhan, N.C., 2008. Epoxidation of Cottonseed Oil by Aqueous Hydrogen Peroxide Catalysed by Liquid Inorganic Acids. *Bioresource Technology*, 99, pp.3737-3744.
- Gala, S., 2011. Sintesa Poliol dari Minyak Sawit dengan Reaksi Epoksidasi dan Hidroksilasi. *Jurnal Chemica*, 12(2), pp. 36-43.

- Ghozali, M., Meliana, Y., Fahmiati, S., Triwulandari, E. and Darmawan, A., 2018. Sintesis Asam Oleat Terepoksidasasi dengan Katalis Asam Asetat. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 40(2), pp.63-70.
- Hambali, E., Mujdalipah, S., Halomoan, A., Pattiwiri, A.W., Tambunan. and Hendroko, R., 2007. *Teknologi Bioenergi*. Agromedia Pustaka, Jakarta.
- Haro, J.C. De., Izarra, I., Rodriguez, J.F., Perez, A. and Carmona, M., 2016. Modelling the Epoxidation Reaction of Grape Seed Oil by Peracetic Acid. *Journal of Cleaner Production*, 16, pp.1-26.
- Hazmi, A.S.A., Aung, M.M., Abdullah, L.C., Salleh, M.Z. and Mahmood, M.A., 2013. Producing Jatropha Oil-Based Polyol Via Epoxidation and Ring Opening. *Industrial Crops and Products*, 50, pp.563-567.
- Ileri, E. and Kocar, G., 2013. Effects of Antioxidant Additives on Engine Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Fueled with Canola Oil Methyl Ester–Diesel Blend. *Energy Conversion and Management*, 76, pp.145–154.
- Imdadul, H.K., Rashed, M.M., Shahin, M.M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Kamruzzaman, M. and Rashedul, H.K., 2017. Quality Improvement of Biodiesel Blends Using Different Promising Fuel Additives to Reduce Fuel Consumption and NO Emission from CI Engine. *Energy Conversion and Management*, 138, pp.327–337.
- Irawati., C. Kurniawan and Harjono, 2019. Optimasi Epoksidasasi Fatty Acid Methyl Ester (FAME) Berbasis Palm Oil sebagai Aditif Pemplastis Cat. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 8(1), pp.34-40.
- Kumar, M.V., Babu, A.V. and Kumar, P.R., 2018. The Impacts on Combustion, Performance and Emissions of Biodiesel by Using Additives in Direct Injection Diesel Engine. *Alexandria Engineering Journal*, 57, pp.509–516.
- Lam, S.S., Liew, R.K., Cheng, C.K., Rasit, N., Ooi, C.K., Ma, N.L., Jo-han, N., Lam, W.H., Chong, C.T. and Chase, H.A., 2018. Pyrolysis Production of Fruit Peel Biochar for Potential Use in Treatment of Palm Oil Mill Effluent. *Journal of Environmental Management*, 213, pp.400-408.
- Liu, Q., Liu, P., Xu, Z.X., He, Z.X. and Wang, Q., 2017. Bio-fuel Oil Characteristic of Rice Bran Wax Pyrolysis. *Renewable Energy*, 17, pp.1-9.
- Ma, Z., Chen, D., Gu, J., Bao, P. and Zhang, Q., 2015. Determination of Pyrolysis Characteristics and Kinetics of Palm Kernel Shell Using TGA-FTIR and Model-Free Integral Methods. *Energy Conversion and Management*, 89, pp.251-259.
- Marlina., Surdia, N.M., Radiman, C.L. and Achmad, S., 2004. Pengaruh Variasi Konsentrasi Asam Sulfat pada Proses Hidroksilasi Minyak Jarak (Castor Oil). *Jurnal Matematika dan Sains*, 9(2), pp.249-253.
- Meadows, S., Hosur, M., Celikbag, L. and Jeelani, S., 2018. Comparative Analysis on the Epoxidation of Soybean Oil using Formic and Acetic Acids. *Polymers and Polymer Composites*, 26(4), pp.289-298.
- Murniati., Handayani, S.S. and Kumalasari, R.D., 2014. Pengaruh Jenis Katalis pada Sintesis Polioli dari Minyak Inti Biji Kenari (Canarium Commune) dengan Metode Epoksidasasi. *Jurnal Penelitian UNRAM*, 18(1), pp.1-10.
- Naik, D.K., Monika, K., Prabhakar, S., Parthasarathy, S. and Satyavathi, B. 2016. Pyrolysis of Sorghum Bagasse Biomass into Bio-char and Bio-oil Products. *Journal Thermal Analysis and Calorimetry*, 16, pp.1-13.
- Rabello, C.R., Siqueira, B.G. and Demenezes, R.B., 2009. Method for Production of Cetane-Index Improvement Additive for Diesel Oil. *United States Patent Application Publication*. US 20090100749A1.

- Sari, D.N., 2012. *Sintesis dan Pencirian Surfaktan Nonionik Berbasis Polioliol dari Onggok dan Asam Oleat*. Skripsi S-1 Kimia FMIPA, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Saurabh, T., Patnaik, M., Bhagt, S.L. and Renge, V.C., 2011. Epoxidation of Vegetable Oils: A Review. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 2(4), pp.491-501.
- Sudrajat, R., Yulita, R.I. and Setiawan, D., 2010. Pembuatan Polioliol dari Minyak Jarak Pagar sebagai Bahan Baku Poliuretan. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 28(3), pp.231-240.
- Tajau, R., Rohani, R., Wan Isahak, W.R.N., Salleh, S.H. and Ghazali, Z., 2018. Development of New Bio-Based Polyol Ester from Palm Oil for Potential Polymeric Drug Carrier. *Advances in Polymer Technology*, 37, pp.3552-3560.
- Thuy, N.T., Duc, V.M. and Lie, N.T., 2017. Synthesis of Bio-polyols by Epoxide Reaction with H₂O As a Reagen. *Vietnam Journal of Chemistry*, 55(4), pp.411-416.
- Zhang, H., Xiao, R., Huang, H. and Xiao, G., 2009. Comparison of Non-Catalytic and Catalytic Fast Pyrolysis of Corncob in a Fluidized Bed Reactor. *Bioresource Technology*, 100, pp.1428-1434.
- Zhou, W., Jia, P., Zhou, Y. and Zhang, 2018. Preparation and Characterization of Tung Oil-Based Flame Retardant Polyols. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 1086, pp.1-26.