



Optimasi Epoksidasi *Fatty Acid Methyl Esters* (FAME) Berbasis *Palm Olein* sebagai Aditif Pemlastis Cat

Irawati[✉], Cepi Kurniawan, dan Harjono

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Diterima Desember 2018

Disetujui Pebruari 2019

Dipublikasikan Mei 2019

Keywords:

epoksidasi

oksidasi

response surface methodology

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang optimasi epoksidasi *fatty acid methyl ester* (FAME) berbasis *palm olein* sebagai aditif pemlastis cat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil optimum senyawa epoksi yang telah disintesis berdasarkan parameter bilangan oksiran dan bilangan iod. Sintesis senyawa epoksi dilakukan menggunakan FAME, asam asetat, katalis amberlit IR-120, asam peroksida 50%, dan pelarut toluen pada suhu 70 °C dan kecepatan pengadukan 100 rpm. Pada optimasi waktu 1, 3, dan 5 jam didapat waktu optimum sintesis pada 3 jam dengan nilai bilangan oksiran sebesar 4,17% dan bilangan iod sebesar 7,66%. Pada optimasi rasio dan penambahan katalis, didapat optimum sintesis pada rasio 1:2 dan penambahan katalis 3 g dengan bilangan oksiran 4,26% dan bilangan iod sebesar 5,42%. Konversi sebesar 90% dan selektivitas sebesar 70%. Hasil karakterisasi menggunakan FT-IR diketahui bahwa senyawa hasil sintesis diduga mengandung senyawa epoksi. Analisis data menggunakan RSM menunjukkan korelasi yang tinggi antara variabel bebas dengan respon berupa variable terikat sebesar 96%.

Abstract

There has been research on the optimization epoxidation of fatty acid methyl ester (FAME) based on palm olein as paint additive plasticizers. The purpose of this study is to determine the optimum results of epoxy compounds that have been synthesized based on the parameter of the oxirane number and the iodine number. The synthesis of the epoxy compound was carried out using FAME, acetic acid, IR-120 amberlite catalyst, 50% peroxide acid, and toluene solvent at 70 °C and 100 rpm stirring rate. On optimization time of 1, 3, and 5 hours obtained optimum time of synthesis at 3 hours with oxirane number equal to 4.17% and iodine number equal to 7.66%. On optimization of ratio and addition of catalyst, optimum synthesis was obtained at 1:2 ratio and addition of 3 g catalyst with oxirane number 4.26% and iodine number 5.42%. Conversion by 90% and selectivity by 70%. The result of characterization using FT-IR is known that the synthesis compound is supposed to contain epoxy compound. Data analysis using RSM showed a high correlation between the independent variable with the response of the dependent variable of 96%.

© 2019 Universitas Negeri Semarang

✉Alamat korespondensi:

Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229

E-mail: itawari@gmail.com

p-ISSN 2252-6951

e-ISSN 2502-6844

Pendahuluan

Plastisizer atau pemlastis merupakan bahan tambahan atau zat aditif yang digunakan dalam pembuatan plastik dan ditambahkan ke dalam bahan polimer untuk meningkatkan kelunakan, kelenturan, dan pemanjangan polimer. Pemlastis pada umumnya diproduksi menggunakan bahan baku turunan minyak bumi dan turunan ester (Selviany *et al.*, 2015). Pemlastis yang sering digunakan dalam polimer adalah *dioctyl phthalate* (DOP) dan *dibuthyl phthalate* (DBP) (Navaro *et al.*, 2010). DOP dan DBP dibuat dari minyak bumi yang berasal dari fosil dan tidak dapat diperbaharui (Pan *et al.*, 2011), selain itu penggunaan DOP dan DBP juga telah mulai dilarang diberbagai Negara karena adanya potensi risiko terhadap kesehatan dan lingkungan salah satunya dapat mengakibatkan timbulnya sel kanker dari migrasi senyawa aromatik dalam jumlah besar (Xie *et al.*, 2014).

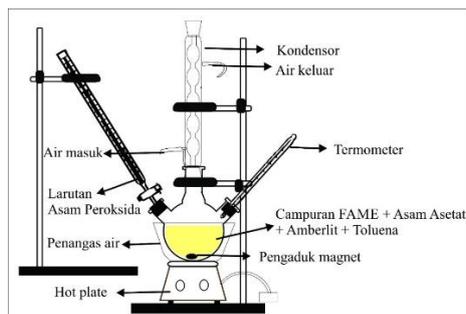
Salah satu bahan terbarukan dan aman dijadikan pemlastis adalah *Epoxidized Vegetable Oil* (EVO) (Galli *et al.*, 2014), atau *Epoxidized Fatty Acid Methyl Esters* (EFAME) yang diproduksi dari epoksidasi ikatan rangkap tak jenuh minyak nabati atau FAME dan dapat digunakan sebagai bioplastisizer (Shuangfei & Lisheng, 2011). FAME atau bio-diesel bersifat aman, terbarukan, tak beracun, dan biodegradable (Sharma *et al.*, 2007) di air (98% terdegradasi dalam beberapa minggu) (Vyas *et al.*, 2010). Ada banyak sumber nabati yang dapat dijadikan bahan baku EFAME seperti minyak kelapa sawit (Alamsyah *et al.*, 2013), minyak kedelai (Vyas *et al.*, 2010), *sucrose of fatty acids* (SEFAs) (Pan *et al.*, 2011).

Indonesia merupakan salah satu produsen kelapa sawit terbesar di dunia. Tercatat pada tahun 2016 total lahan kelapa sawit nasional seluas 12 juta hektar dan total produksi nasional 33 juta ton (Direktorat Jendral Perkebunan, 2016). Sebanding dengan hal tersebut produksi minyak kelapa sawit dari tahun ke tahun semakin meningkat. Minyak kelapa sawit sebagian besar diekspor dalam keadaan mentah, padahal minyak kelapa sawit ini dapat digunakan untuk mengganti plastisizer DOP dan DBP dengan plastisizer dari bahan nabati yang lebih aman (Alamsyah *et al.*, 2013).

Response surface methodology (RSM) adalah kumpulan teknik matematika yang menggambarkan hubungan antara beberapa variabel bebas dengan respon Metode ini dikembangkan oleh Box dan Wilson (1951) dan sejak itu telah banyak digunakan sebagai teknik untuk merancang eksperimen. Metode RSM didasarkan pada model matematika (fungsi linear, polinom persegi dan lainnya) untuk hasil eksperimen yang dihasilkan dari eksperimen yang dirancang dan verifikasi model yang diperoleh dengan menggunakan teknik statistik. Desain eksperimen (DOE) adalah alat fundamental di bidang *engineering*. Teknik ini dapat digunakan terutama untuk meningkatkan efisiensi proses. Ide dasar DOE adalah melakukan diversifikasi semua parameter yang signifikan secara bersamaan melalui serangkaian eksperimen yang dirancang dan kemudian menggabungkan hasil melalui model matematika. Setelah itu, model ini dapat secara bertahap digunakan untuk pengoptimalan, prediksi, atau interpretasi. Teknik ini mengarah pada peningkatan kinerja proses, mengurangi jumlah variabel dalam proses dengan mempertimbangkan hanya sebagian besar faktor yang signifikan, dan juga untuk mengurangi biaya dan waktu penelitian (Ghorbani *et al.*, 2008) (Montgomery & Runger, 2003).

Metode

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat instrumentasi berupa Frontier FT-IR Perkin Elmer dan *software* statistika Minitab 17.1. FAME dan asam asetat 99% serta amberlite dimasukkan ke dalam labu leher tiga. Kemudian ditambahkan Hidrogen peroksida (H_2O_2) 50% setetes demi setetes ke dalam labu leher tiga selama 10 menit. Campuran dipanaskan dan diaduk menggunakan pengaduk magnetik pada suhu 70°C. Pengadukan dilakukan agar minyak terdispersi secara sempurna. Sebelum melakukan pengujian produk epoksidasi dinetralisasi untuk menghilangkan sisa asam dengan menggunakan larutan jenuh natrium hidrogen karbonat ($NaHCO_3$). Tambahkan beberapa mililiter (mL) air aquades untuk mencuci sisa asam. Masukkan campuran ke dalam corong pisah dan dikocok, untuk memisahkan sisa air. Keluarkan lapisan air yang berada di bagian bawah corong pisah. Proses netralisasi (penambahan larutan $NaHCO_3$ jenuh) dan pencucian dengan aquadest dilakukan hingga pH campuran hasil reaksi mencapai netral. Data yang didapatkan dianalisis menggunakan *software* statistika metode respon permukaan.



Gambar 1. Rangkaian alat sintesis EFAME

Hasil dan Pembahasan

Epoksida metil ester asam lemak atau *fatty acid methyl esters* (EFAME) yang dihasilkan memiliki warna yang relatif sama dengan metil ester asam lemak (FAME) yang digunakan sebagai bahan baku.

Tabel 1. Kualitas FAME awal yang digunakan untuk sintesis

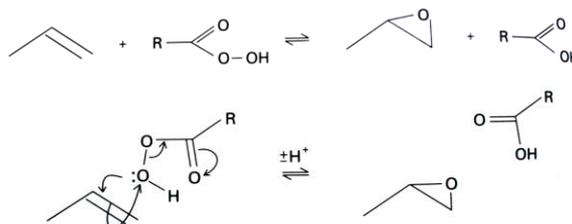
Parameter	FAME
Bilangan Iod (%)	45,07
Bilangan Oksiran (%)	0,04
Viskositas 28°C, cp	3,79
Densitas 28°C, g/mL	0,88

Tabel 1 menunjukkan bahwa bilangan iod dari FAME yang akan disintesis masih tinggi, hal ini menunjukkan jumlah ikatan rangkap yang terdapat di bahan baku masih tinggi yang berasal dari ikatan rangkap yang terdapat pada olein serta senyawa epoksi yang terdapat pada bahan baku sangat sedikit ditunjukkan dengan bilangan oksiran yang sangat rendah. Bilangan iod yang terdapat pada bahan baku relatif tinggi jika dibandingkan dengan bilangan iod *palm olein* dari penelitian Derawi (2010) sebesar 35%. Nilai bilangan iod FAME yang tinggi diharapkan menghasilkan senyawa epoksi yang lebih baik.

Tabel 2. Hasil sintesis variasi waktu

Waktu (jam)	Bil. oksiran (%)	Bil. iod (%)
1	2,60	9,33
2	4,17	7,66
3	3,03	3,51

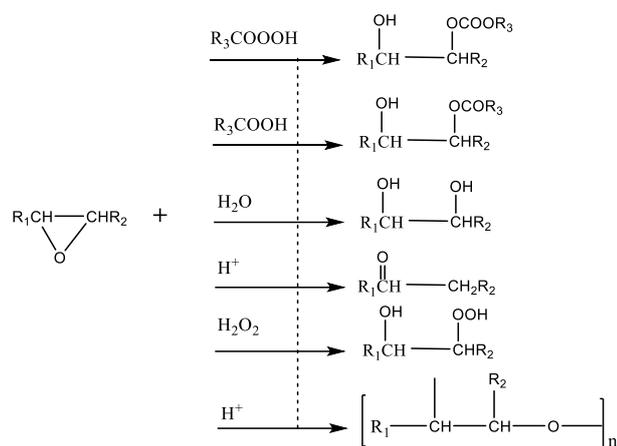
Tabel 2 memperlihatkan nilai bilangan oksiran dan bilangan Iod yang dihasilkan dari optimasi waktu sintesis senyawa EFAME. Pada sintesis 1 jam terjadi penurunan bilangan Iod FAME dari 45,07% menjadi EFAME 9,33%, Sebaliknya bilangan Oksiran pada EFAME meningkat dari 0,04% menjadi 2,60%. Penurunan bilangan iod yang terjadi mengindikasikan terjadinya proses oksidasi ikatan rangkap akibat perlakuan penelitian, sedangkan peningkatan bilangan oksiran mengindikasikan telah terbentuk cincin epoksida sebagai salah satu produk oksidasi ikatan rangkap yang terdapat pada FAME. Reaksi epoksidasi ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Reaksi epoksidasi

Waktu optimum untuk sintesis senyawa EFAME berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan adalah pada waktu 3 jam dengan indikasi peningkatan bilangan oksiran tertinggi sebesar 4,17%. Artinya pada waktu sintesis 3 jam, pereaksi-pereaksi yang ada beraksi secara optimum membentuk senyawa epoksi jika dibandingkan dengan variasi waktu 1 jam dan variasi waktu 5 jam. Pada reaksi yang berlangsung selama 1 jam proses epoksidasi yang terjadi diduga belum sempurna (bilangan oksiran 2,60%) sehingga masih ada sisa-sisa dari pereaksi yang belum beraksi sempurna. Pada waktu 5 jam, bilangan iod yang

dihasilkan semakin kecil. Penambahan waktu pada sintesis dengan waktu melebihi waktu optimum akan menyebabkan sisa-sisa dari peraksi beraksi lebih lanjut menyebabkan pembukaan pada cincin oksiran yang telah terbentuk (Alamsyah, 2013). Reaksi pembukaan cincin oksiran ditunjukkan oleh Gambar 3.



H^+ : H_2SO_4 , HNO_3 , resin penukar ion (Kale, *et al.*, 2017)

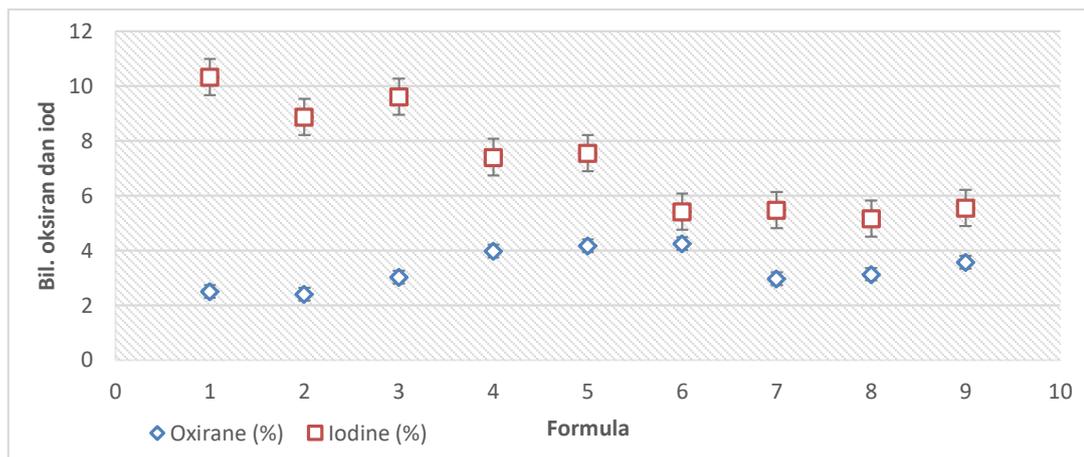
Gambar 3. Reaksi pembukaan cincin oksiran

Tabel 3. Hasil bilangan oksiran dan bilangan iod optimasi rasio dan katalis

Formula	Rasio	FAME (g)	Asam asetat (g)	Amberlit (g)	Asam peroksida (g)	Toluena (g)	Bil. oksiran (%)	Bil. iod (%)
OP1	1:1	14	3	1	7	25	2,92	10,34
OP2		14	3	2	7	24	2,52	8,87
OP3		14	3	3	7	23	2,73	9,61
OP4	1:2	14	6	1	7	22	3,58	7,40
OP5		14	6	2	7	21	4,17	7,54
OP6		14	6	3	7	20	4,26	5,42
OP7	1:3	14	9	1	7	19	2,97	5,48
OP8		14	9	2	7	18	3,13	5,16
OP9		14	9	3	7	17	3,56	5,55

Bilangan oksiran tertinggi terdapat pada formula OP6, yaitu pada rasio 1:2 dan penambahan katalis sebanyak 3 g menghasilkan bilangan oksiran 4,26%. Rasio 1:2 artinya untuk mengoksidasi 1 mol ikatan rangkap yang ada di FAME dibutuhkan 2 mol asam asetat, hal ini mungkin terjadi dikarenakan FAME yang dipakai berasal dari olein yang memiliki dua buah ikatan rangkap. Katalis yang ditambahkan dapat mempercepat reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi, semakin banyak katalis yang digunakan, reaksi epoksidasi akan semakin cepat berlangsung (Sinaga, 2007). Sintesis yang dilakukan pada waktu optimum dan pembentukan asam peroksiasetat yang sesuai dapat membuat reaksi epoksidasi berjalan optimum. Nilai bilangan oksiran yang didapat dari penelitian ini lebih rendah dari bilangan oksiran yang didapat oleh Alamsyah (2013) dan Ariatmi (2008), namun lebih tinggi dari hasil yang didapat Redjeki dan Fitriyah (2015) serta Sinaga (2007).

Data hasil sintesis menunjukkan bilangan iod terendah terdapat pada formula OP8 yaitu pada optimasi rasio 1:3, katalis 3 g sebesar 5,16%. Bilangan iod tertinggi terdapat pada formula 1 yaitu pada optimasi rasio 1:1, penambahan katalis 1 g sebesar 10,34%. Pada formula OP8 asam asetat yang digunakan untuk mengoksidasi ikatan rangkap yang ada pada FAME lebih banyak dibandingkan FAME yang digunakan, sehingga bilangan iod yang dihasilkan kecil. Hal ini setara dengan formula OP7 dan OP9, dimana nilai bilangan iod dari ketiga formula ini tidak terlalu berbeda. Pada formula 1 asam asetat yang digunakan dalam perbandingan dengan FAME yang digunakan terlalu sedikit, begitu juga dengan katalis yang digunakan sehingga tidak cukup untuk mengoksidasi ikatan rangkap yang ada di FAME.



Gambar 4. Grafik bilangan oksiran vs bilangan iod

Produk senyawa epoksi yang baik adalah produk yang memiliki nilai bilangan oksiran tertinggi dan nilai bilangan iod terendah. Pada grafik dapat dilihat bahwa bilangan oksiran tertinggi terdapat pada formula OP6, dan bilangan iod terendah terdapat pada formula OP8, sedangkan penurunan bilangan iod yang terjadi pada FAME akan sebanding dengan kenaikan bilangan oksiran. Hal ini dimungkinkan terjadi karena penurunan bilangan iod yang ada pada formula OP8 dikarenakan asam asetat yang digunakan untuk mengoksidasi ikatan rangkap yang ada pada FAME lebih banyak dibandingkan FAME yang digunakan, namun asam peroksida yang digunakan sedikit sehingga masih tersisa asam asetat yang tidak bereaksi dengan asam peroksida membentuk asam peroksiasetat yang dapat menyebabkan reaksi lebih lanjut pada epoksi yang telah terbentuk atau tidak semua terkonversi menjadi senyawa epoksida. Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa penurunan yang terjadi dari formula OP6 sampai formula OP9 tidak terlalu berbeda.

Tabel 4. Kualitas EFAME optimum

Parameter	EFAME
Bilangan Iod (%)	5,24
Bilangan Oksiran (%)	4,26
Viskositas 28 °C, cp	1,87
Konversi, %	90
Selektivitas	0,7

Tabel 4 menampilkan data kualitas EFAME optimum yang memiliki nilai bilangan oksiran sebesar 4,26% dan bilangan iod sebesar 5,42%. Uji karakteristik sifat fisik EFAME terdiri dari viskositas dan densitas yang diukur pada suhu 28 °C. viskositas yang dihasilkan adalah 1,87 cp dengan densitas 0,92 gr/ml. Viskositas EFAME lebih rendah dari viskositas FAME, hal ini disebabkan pada senyawa FAME terdapat banyak ikatan rangkap sehingga memiliki berat molekul yang tinggi menyebabkan viskositas atau kekentalan dari senyawa FAME lebih tinggi (Selviany, *et al.*, 2015).

Hasil konversi FAME menjadi EFAME berdasarkan data Tabel 4 menunjukkan konversi pada kondisi optimum sebesar 90%. Hasil konversi ini lebih tinggi dari %konversi yang dilaporkan Derawi (2014) yang menggunakan bahan baku sama yaitu *palm olein*, namun lebih rendah dari penelitian Galli (2014) dengan penggunaan minyak kedelai sebagai bahan baku. Persen konversi menunjukkan optimalnya suatu reaksi dapat berlangsung. Persen konversi semakin tinggi, semakin optimal suatu reaksi berlangsung. Selektivitas reaksi pada kondisi optimum sebesar 0,7 (%selektivitas 70%) mengindikasikan 70% bahan baku selektif terkonversi menjadi senyawa target.

Respon surface methodology (RSM) dilakukan untuk mengevaluasi hubungan antara respon (% bilangan oksiran) dengan variable reaksi. *Central Composite Design* (CCD) adalah desain eksperimen untuk membuat model orde kedua (kuadrat), kode variabel sering digunakan dalam merancang desain. Rancangan RSM berdasarkan CCD digunakan untuk mengoptimasi respon bilangan oksiran dengan tiga variabel diantaranya rasio FAME:asam asetat, penambahan katalis amberlit, dan waktu sintesis. Pada tiga level variabel bebas mulai dari -1 sampai +1 dihasilkan 18 *run* percobaan, 8 poin faktorial, 6 poin axial, dan 6 pengulangan titik tengah digunakan untuk menentukan rancangan percobaan. Data rancangan yang diperoleh dianalisis menggunakan persamaan orde kedua untuk menemukan hubungan antara

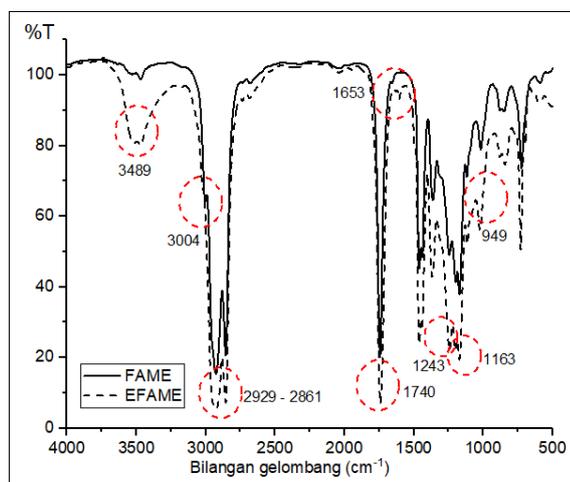
variabel bebas dengan respon bilangan oksiran. Persamaan umum polynomial orde kedua yang digunakan adalah

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon$$

Y adalah respon berupa bilangan oksiran, β_i adalah intesep; $\beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ masing-masing adalah linear, kuadrat, dan koefisien interaksi, k adalah banyaknya faktor dan X_i dan X_j adalah variabel bebas (Chumuang & Punsuvon, 2017).

Output yang didapatkan memiliki koefisien korelasi sebesar 0,98. Hal ini menunjukkan hubungan yang tinggi antara variabel asam asetat dan amberlit IR20 terhadap respon bilangan oksiran. Koefisien determinasi (R-Sq) dapat juga disebut koefisien determinasi berganda menunjukkan angka 96,15% artinya variansi dari bilangan oksiran dapat dijelaskan oleh sekelompok variable bebas asam asetat dan amberlit secara bersama sebesar 96,15% sedangkan sisanya (100% - 96,15% = 3,85%) dijelaskan oleh variable lain diluar model yang tidak diteliti.

Senyawa epoksi yang telah disintesis, dikonfirmasi keberadaannya dengan cara mengetahui gugus fungsi yang ada pada produk hasil dan dibandingkan dengan bahan awal menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR). Hasil interpretasi data spektrum FT-IR sampel EFAME ditunjukkan oleh Gambar 5 dan Tabel 5.



Gambar 5. Spektrum FTIR hasil optimum sintesis senyawa EFAME

Tabel 2. Daftar serapan EFAME

No	Serapan yang muncul pada sampel (cm ⁻¹)	Keterangan	Referensi
1	3489	Vibrasi ulur O-H	Alamsyah (2013)
2	3004	Vibrasi ulur =CH	Derawi (2010)
3	2929 – 2861	Vibrasi ulur -CH	Shah (2012)
4	1740	Vibrasi ulur C=O	
5	1653	Ikatan C=C	Shriner (2004)
6	1243	Vibrasi ulur C-O dalam epoksi	Alamsyah (2013)
7	1163	Vibrasi ulur C-O-C ester	Shah (2012)
8	949	Vibrasi ulur C-C dalam epoksi	Alamsyah (2013), shriner (2004)

Berdasarkan keterangan pada Tabel 5, dapat diketahui bahwa sampel yang diuji diduga mengandung gugus epoksi, hal ini dibuktikan oleh adanya serapan spesifik didaerah bilangan gelombang 1243 cm⁻¹ dan 949 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya vibrasi ulur C-O dan C-C dalam senyawa epoksi (Silverstein, *et al.*, 2005) namun demikian serapan spesifik dari gugus epoksi tersebut tidak terlalu tajam karena diduga bahwa beberapa senyawa epoksi atau rantai epoksi yang telah terbentuk mengalami reaksi lanjutan atau terjadinya pembukaan cincin epoksi. Salah satu hasil dari reaksi pembukaan cincin epoksi

adalah senyawa hidroksil, hal ini didukung oleh adanya serapan dari gugus –OH didaerah bilangan gelombang 3489 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi ulur O–H.

Simpulan

Pada penelitian ini didapatkan waktu optimum untuk mensintesis senyawa epoksi pada waktu 3 jam dengan indikasi nilai bilangan iod sebesar 4,17% dan bilangan Iod sebesar 7,66%. Untuk variasi rasio dan penambahan katalis didapat rasio optimum untuk mensintesis EFAME adalah 1:2 dan penambahan optimum katalis amberlit sebesar 3 gram dengan parameter nilai bilangan oksiran sebesar 4,26% dan nilai bilangan Iod sebesar 5,42%. Analisis data menggunakan RSM menunjukkan korelasi yang tinggi antara variable yang diteliti dengan hasil yaitu sebesar 96%.

Daftar Pustaka

- Alamsyah, R., Susanti, I., Siregar, N. C. & Heryani, S. 2013. Pengaruh Perbandingan Asam Format dan Hidrogen Peroksida dalam Pembuatan Senyawa Epoksi dari Minyak Kelapa Sawit. *Warta IHP*, 30(2): 55-74
- Chumuang, N. & Punsuvon, V. 2017. Respon Surface Methodology for Biodiesel Production Using Calcium Methoxide Catalyst Assisted with Tetrahydrofuran as Cosolvent. *Hindawi Journal of Chemistry*
- Direktorat Jendral Perkebunan. 2016. *Statistik Perkebunan Indonesia 2015-2017*. Jakarta: Kementerian Pertanian
- Galli, F., Nucci, S., Pirola, C. & Bianchi, C.L. 2014. Epoxy Methyl Soyate as Bio-Plasticizer: Two Different Preparation Strategies. *Chemical Engineering Transactions*, Volume 37
- Iriawan, N. & Astuti, S.P. 2006. *Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*. Yogyakarta: ANDI
- Kale, A.E., Goswami, D.G., Zade, P. & Mandake, M.B. 2017. Recent Advantages in Epoxidation of Vegetable Oils. *JETIR*, 4(4)
- Navaro, R., & Reinecke, H. 2010. Phthalate Plasticizers Covalently Bound to PVC: Plasticization with Suppressed Migration. *Macromolecules*, 43(5): 2377-2381
- Pan, X., Sengupta, P. & Webster, D.C. 2011. High Biobased Content Epoxy-Anhydride Thermosets from Epoxidized Sucrose Esters of Fatty Acids. *Biomacromolecules*, 12: 2416–2428
- Selviany, N., Fajrin, D. & Melwita, E. 2015. Pengaruh Temperatur dan Waktu pada Pembuatan Plastisizer dengan Reaksi Epoksidasi Minyak Limbah Ikan Patin. *Jurnal Teknik Kimia*, 21(2)
- Sharma, B.K., Doll, K.M. & Erhan, S.Z. 2007. Oxidation, Friction Reducing, and Low Temperature Properties of Epoxy Fatty Acid Methyl Esters. *Green Chem.*, 9: 469-474
- Shuangfei, C. & Lisheng, W. 2011. Epoxidation of Unsaturated Fatty Acid Methyl Esters in the Presence of SO_3H -functional Bronsted Acidic Ionic Liquid as Catalyst. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 19(1): 57-63
- Silverstein, R.M., Webster, F.X. & Kiemle, D. 2005. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. 7th ed. USA: John Wiley & Sons Inc
- Sinaga, M. S., 2007. Pengaruh Katalis H_2SO_4 pada Reaksi Epoksidasi Metil Ester PFAD (Palm Fatty Acid Distillate). *Jurnal Teknologi Proses*, 6(1): 70-74.
- Vyas, A.P., Verma, J.L. & Subrahmanyam, N. 2010. A Review on FAME Production Processes. *Fuel*, 89: 1-9
- Xie, Z., Chen, Y., Wang, C., Liu, Y., Chu, F., & Jin, L. 2014. Effects of Bio-based Plasticizers on Mechanical and Thermal Properties of PVC/Wood Flour Composites. *BioResources*, 9(4): 7389-7402

