

Sintesis Senyawa-Senyawa Epoksi dari Asam Lemak Minyak Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.)

Murniati, Erin Ryantin Gunawan*, Dedy Suhendra, Dina Asnawati, Pujana Qurba

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

Corresponding Author:
Erin Ryantin Gunawan
erinryantin@unram.ac.id

Received: July 2021
Accepted: February 2022
Published: March 2022

©Erin Ryantin Gunawan et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Abstract

Epoxidation is a reaction of a carbon double bond with active oxygen, which results in the addition of an oxygen atom, converting the original double bond into a three-membered epoxide (*oxirane*) ring. Generally, the raw material for making epoxy comes from petroleum. Nyamplung kernel oil is a non-edible oil that can be used as an alternative raw material for making epoxy derivatives. The purpose of this study was to determine the optimum conditions and characterization of epoxy materials. The fatty acids of Nyamplung kernel oil were reacted formic acid and hydrogen peroxide with sulfuric acid as a catalyst. The optimum condition of the following parameters on the study of this process was investigated: the epoxidation time, temperature, and the mole ratio of formic acid and hydrogen peroxide. The results showed that the optimum reaction conditions with the temperature was 65°C, the mole ratio of formic acid and hydrogen peroxide was 1:6, and the reaction time was 75 minutes. The results of the characterization under optimum conditions showed the oxirane value of 1.69, the iodine number of 9.63 mg iod/100 g, and the epoxy conversion of 67.6%. The results of FTIR characterization showed absorption at a wavenumber of 820.03 cm⁻¹ which is a specific absorption from the oxirane ring of the epoxy compound.

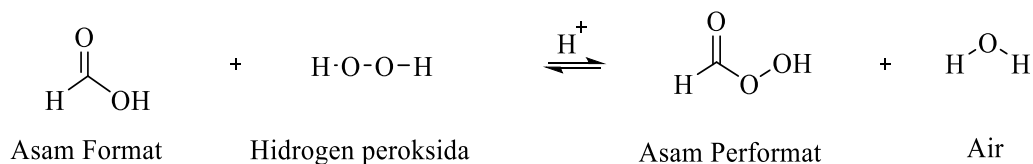
Keywords: epoxy; fatty acids; Nyamplung; kernel oil

Pendahuluan

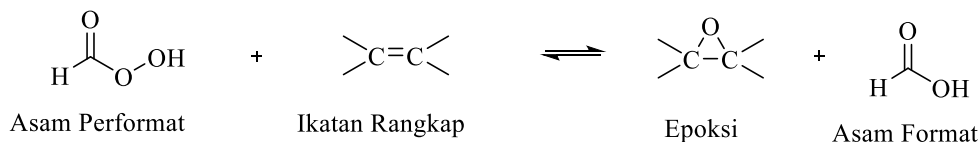
Epoksi merupakan senyawa kimia yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Senyawa epoksi dapat dimanfaatkan sebagai *raw material* pada sintesis polimer seperti poliuretan, poliester, epoksi resin, dan beberapa senyawa kimia lainnya seperti karbonil, olefin, alkanolamin, alkohol, dan glikol^[1]. Selain itu, senyawa-senyawa epoksi banyak digunakan di dalam dunia industri terutama sebagai penstabil dan plasticizers yang berfungsi untuk

meningkatkan elaksitas dan fleksibilitas polivinil klorida (PVC)^[2].

Senyawa-senyawa epoksi dapat disintesis melalui reaksi epoksidasi dari oksidasi ikatan rangkap dengan suatu asam peroksi dan katalis (Gambar 1 dan 2)^[3]. Epoksidasi merupakan metode reaksi yang sangat efektif dan efisien untuk mengubah ikatan rangkap pada asam lemak dan minyak nabati menjadi senyawa epoksi^{[4],[5]}. Pada umumnya, epoksidasi minyak menggunakan H₂O₂ sebagai oksidator.



Gambar 1. Reaksi pembentukan asam peroksi (asam performat).



Gambar 2. Reaksi pembentukan epoksi.

Akan tetapi, H_2O_2 merupakan oksidator yang kurang kuat sehingga harus diubah dalam bentuk lebih reaktif yaitu asam performat (asam peroksi)^[6]. Reaksi epoksidasi diawali dengan reaksi pembentukan asam peroksi antara asam format (CHOOH) dengan hidrogen peroksida (H_2O_2) menggunakan katalis asam sulfat (H_2SO_4)^[7].

Penggunaan asam format sebagai pembentuk asam peroksi, karena memiliki reaktivitas yang tinggi dibandingkan dengan asam asetat, karena kereaktifannya itulah yang memicu pembukaan cincin oksiran lebih cepat dibandingkan dengan asam asetat^{[8],[9]}. Asam peroksi (asam performat) yang dibentuk dari reaksi hidrogen peroksida dengan asam format merupakan bentuk yang reaktif. Asam peroksi dapat bereaksi sangat cepat dengan senyawa tidak jenuh. Asam peroksi yang dihasilkan kemudian bereaksi dengan ikatan rangkap membentuk cincin oksiran dengan reaksi^[10].

Senyawa epoksi berbahan baku minyak nabati memiliki kelebihan tersendiri dibandingkan dengan senyawa-senyawa epoksi berbahan baku minyak bumi (petrokimia), karena kelimpahannya dan dapat diperbaharui. Namun, bahan baku minyak nabati yang digunakan umumnya berasal dari minyak

bahan pangan (*edible oil*) seperti minyak kelapa sawit^[3], minyak kedelai^[11] dan minyak jagung^[12]. Penggunaan *edible oil* sebagai bahan baku sintesis senyawa-senyawa epoksi dapat menyebabkan permintaan yang tinggi terhadap minyak tersebut, yaitu permintaan sebagai minyak bahan pangan. Oleh karena itu diperlukan bahan alternatif lain sebagai sumber minyak nabati yang *non-edible* dari bahan tidak terpakai dan ketersediannya melimpah, yaitu minyak Nyamplung.

Buah Nyamplung dapat menghasilkan minyak dengan rendemen antara 40-75%^{[13],[14],[15]}. Komposisi asam lemak minyak Nyamplung yaitu asam oleat 48,49%, asam linoleat 20,7%, asam palmitat 15,89%, asam stearat 12,3%, asam arakidat 6,94%, asam erukat 0,72%, asam linolenat 0,27%, dan asam miristat 0,09%^[16]. Komposisi terbesar dari minyak Nyamplung adalah asam lemak tidak jenuh. Asam lemak tidak jenuh merupakan asam lemak yang memiliki ikatan rangkap pada strukturnya, ikatan rangkap tersebut dapat ditransformasikan menjadi gugus oksiran dengan mengoksidasi ikatan rangkap sehingga terbentuk senyawa epoksi^[3]. Hal ini menyebabkan minyak Nyamplung memiliki potensi yang besar untuk digunakan sebagai bahan baku sintesis senyawa epoksi.

Senyawa epoksi telah berhasil di sintesis dari minyak dan asam lemak secara langsung. Senyawa epoksi dari minyak Tung menghasilkan persen konversi 48,94%^[17]. Senyawa epoksi dari minyak kelapa sawit di sintesis menggunakan asam format dan hidrogen peroksida diperoleh senyawa epoksi pada kondisi optimum dengan nilai bilangan oksiran tertinggi sebesar 3,61% dan viskositas 358,1 cSt^[3]. Senyawa epoksi juga dapat disintesis dari minyak goreng bekas menghasilkan bilangan oksiran 1,872 dan konversi oksigen oksiran 62,259%^[18]. Selain itu, senyawa epoksi dari asam lemak yaitu dari asam oleat menghasilkan bilangan oksiran sebesar 4,167% dengan persen konversi epoksi sebesar 88,9% pada kondisi optimum perbandingan mol asam oleat dan asam format: hidrogen peroksida 1:1:6, suhu reaksi 65°C dan pada waktu reaksi 75 menit^[19]. Oleh karena itu, pada penelitian ini mengkaji faktor-faktor yang mempengaruhi reaksi yang meliputi waktu epoksidasi, suhu dan perbandingan mol hidrogen peroksida dan asam format untuk mendapatkan kondisi reaksi yang terbaik, serta karakterisasi sifat fisika kimia untuk membuktikan terbentuknya senyawa epoksi dari asam lemak minyak Nyamplung.

Metodologi Penelitian

Bahan kimia

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian adalah buah Nyamplung yang diambil disekitar kampus Universitas Mataram, *n*-heksana (Merck, Jerman), kertas saring Whatman, metanol (Merck, Jerman), NaOH (Merck, Jerman), KOH (Merck, Jerman), H₂SO₄ (Merck, Jerman), Na₂S₂O₃ (Merck, Jerman), *Lipozyme* TL IM (Novoyzmes LA330045, Denmark), CHOOH (Merck, Jerman), H₂O₂ (Merck, Jerman) dan akuades.

Peralatan

Peralatan yang digunakan berupa alat-alat gelas, seperangkat alat soklet, refluks, *magnetic stimer*, labu leher tiga, *hot plate*, desikator, timbangan analitik (DC-600A), rotary

evaporator (B-ONE RE-1000VN), *stirrer water bath* (Biosan WB-4MS) dan spektrofotometer FTIR (Perkin Elmer-Spectrum Two, AS) dan Viskometer Ostwald (pyrex).

Prosedur penelitian

Ekstraksi minyak Nyamplung

Ekstraksi minyak dari inti buah Nyamplung menggunakan metode sokletasi dengan sedikit modifikasi pada jumlah berat sampel^[20]. Inti buah Nyamplung yang telah dihaluskan kemudian ditimbang sebanyak 50 g kemudian dibungkus dengan kertas saring dan dilakukan proses sokletasi selama 6 jam menggunakan 250 mL pelarut *n*-heksana. Ekstrak yang diperoleh kemudian diuapkan pelarut *n*-heksana dengan *rotary evaporator* pada suhu 40°C dengan kecepatan 120 rpm. Minyak yang diperoleh ditentukan sifat fisika-kimia yang meliputi persen rendemen, bilangan asam dan bilangan iod.

Persen rendemen dapat ditentukan dengan persamaan (1) berikut:

$$\% \text{ Rendemen} = \frac{\text{Berat minyak ketapang (g)}}{\text{Berat biji ketapang (g)}} \times 100\% \quad (1)$$

Perhitungan bilangan asam:

Penentuan bilangan asam dilakukan dengan cara titrasi menggunakan larutan basa KOH. Bilangan asam dihitung dengan persamaan (2) berikut:

$$\text{Bilangan asam} = \frac{A \times N \times 40}{G} \quad (2)$$

Dimana A adalah volume larutan NaOH untuk titrasi (mL), N adalah normalitas larutan NaOH dan G adalah massa sampel (g).

Perhitungan bilangan iod:

Penentuan bilangan iod (*iodine value/IV*) mengikuti standar AOCS Official Method Cd 1d - 92.

$$\text{Bilangan iod} = \frac{(V_0 - V_s) \times N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 12,691}{\text{Berat sampel (g)}} \quad (3)$$

Di mana V_o adalah volume titran $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ untuk blanko (mL), V_s adalah volume titran $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ untuk sampel (mL), N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ adalah konsentrasi $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ yang digunakan 0,1 N.

Hidrolisis minyak

Proses hidrolisis menggunakan metode enzimatis^[21]. Sebanyak 2 g minyak Nyamplung dimasukkan ke dalam erlenmeyer, selanjutnya tambahkan 1 mL akuades dan enzim yang ditambahkan sebanyak 2,5% (0,05 g) dari berat substrat. Campuran dimasukkan ke dalam *waterbatch shaker* pada suhu 40 °C selama 18 jam. Minyak Nyamplung hasil hidrolisis dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR.

Sintesis senyawa epoksi

Sintesis senyawa epoksi menggunakan metode epoksidasi secara *in-situ*^[8]. Sebanyak 2,82 g asam lemak dari minyak Nyamplung, ditambahkan asam format dan H_2O_2 tetes demi tetes. Kemudian ditambahkan H_2SO_4 sambil diaduk dengan *mechanical stirrer*. Proses sintesis dilakukan dengan memvariasikan variabel waktu (60, 75, 90) menit, suhu reaksi (60, 65, 70) °C, dan perbandingan mol asam format: H_2O_2 (1:5; 1:6 dan 1:7) mol. Setelah reaksi selesai, campuran reaksi dipindahkan ke dalam Erlenmeyer dan ditambahkan NaHCO_3 5%, akuades, dan NaCl 5% untuk memisahkan lapisan organik dari campuran. Produk yang berada pada lapisan organik kemudian dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif.

Penentuan bilangan oksiran

Penentuan bilangan oksiran hasil sintesis (*oxirane oxygen content/OOc*) menggunakan AOCS Official Method Cd 9-57. Persentase bilangan oksiran dihitung dengan persamaan (4) berikut:

$$\text{OO}_{\text{exp}, \%} = \frac{\text{ml HBr} \times N \times 1,6}{\text{gr sampel}} \quad (4)$$

OO_{exp} adalah bilangan oksiran yang diperoleh berdasarkan eksperimen dan N adalah normalitas asam bromide 0,1 N.

Nilai bilangan oksiran yang diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan nilai persen relatif konversi menjadi oksiran (% Oks), dengan persamaan (5) berikut: (2)

$$\% \text{ Oks} = \frac{\text{OO}_{\text{exp}}}{\text{OO}_{\text{th}}} \times 100\% \quad (5)$$

Dimana OO_{th} adalah nilai bilangan oksiran maksimum berdasarkan teori. Nilai OO_{th} dihitung dengan persamaan (6) berikut:

$$\text{OO}_{\text{th}} = \frac{\left(\frac{\text{IV}_o}{2\text{Ai}}\right)}{100 + \left(\frac{\text{IV}_o}{2\text{Ai}}\right)\text{Ao}} \times 100 \quad (6)$$

Dengan Ai adalah berat atom iodium (126,90) dan Ao adalah berat atom oksigen (16,00). IV_o adalah bilangan iod asam lemak (sampel awal).

Analisis FTIR

Senyawa-senyawa epoksi pada kondisi optimum dianalisis menggunakan spektrofotometer infra merah menggunakan pelet KBr.

Hasil dan Diskusi

Minyak Nyamplung

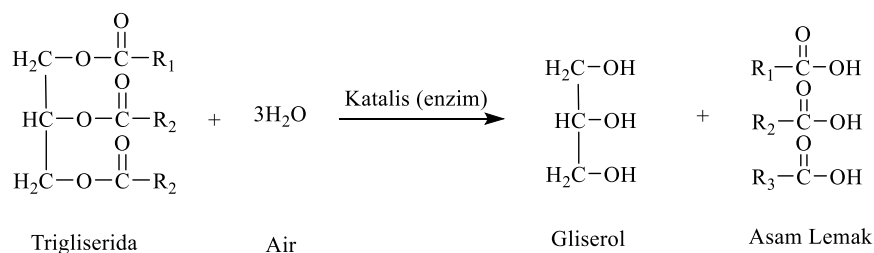
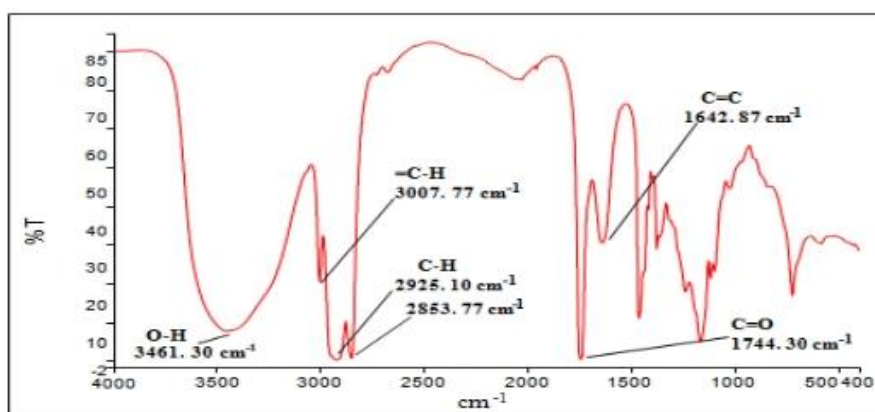
Ekstraksi minyak Nyamplung menggunakan metode sokletasi. Penggunaan metode sokletasi dikarenakan simplisia yang digunakan bersifat relatif stabil terhadap pemanasan. Selain itu, ekstraksi dengan metode ini lebih cepat dan efisien (waktu dan jumlah pelarut), serta pelarut dapat diperoleh kembali setelah proses ekstraksi sehingga dapat digunakan kembali. Sifat fisika kimia minyak Nyamplung ditunjukkan pada Tabel 1.

Asam lemak dari minyak Nyamplung

Asam lemak terbentuk akibat reaksi hidrolisis minyak. Reaksi hidrolisis adalah reaksi air dengan minyak yang menyebabkan putus ikatan ester dari trigliserida yang menghasilkan gliserol dan asam lemak. Reaksi pembentukan asam lemak seperti pada Gambar 3.

Tabel 1. Sifat fisika kimia minyak Nyamplung

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Warna	Kuning bening	-
2	Rendemen	61,32	%
3	Bilangan iod	82,49	mg iod/100 g
4	Bilangan asam	1,49	mg NaOH/ g

**Gambar 3.** Reaksi hidrolisis minyak.**Gambar 4.** Spektrum FTIR asam lemak hasil hidrolisis minyak Nyamplung.

Proses hidrolisis trigliserida dilakukan secara enzimatis menggunakan katalis enzim (*Lysozim* TL 1M) sebagai katalis yang berlangsung pada suhu 40°C selama 18 jam. Hasil hidrolisis terbentuk dua fase yaitu fase organik berupa asam lemak yang berwarna kuning fase air berupa gliserol yang berwarna bening. Enzim merupakan biokatalisator memiliki sifat yang spesifik, ramah lingkungan, serta aktivitas yang tinggi^[22]. Akan tetapi penggunaan enzim pada proses hidrolisis membutuhkan biaya dan stabilitas yang tinggi. Enzim dalam bentuk

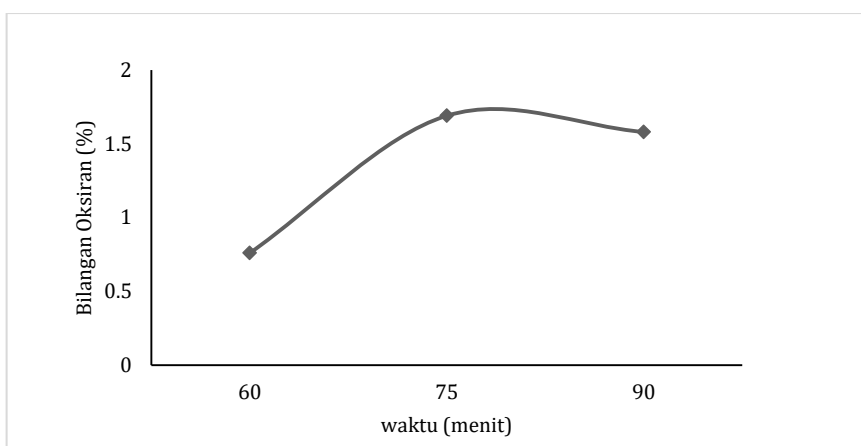
terlarut akan kehilangan aktivitas katalitiknya pada proses *batch* dan tidak dapat digunakan kembali pada proses kontinyu^[22]. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan enzim *Lysozim* TL 1M dalam bentuk granula yang sudah terimobilisasi silica berpori. Aktivitas enzim *Lysozim* TL 1M dalam berat kering sebesar 350 IUN/g. Manfaat utama dari enzim yang terimobilisasi adalah kestabilan yang tinggi dan proses pemisahan dari media yang tinggi^[22]. Analisis FTIR hasil hidrolisis minyak Nyamplung dapat dilihat pada Gambar 4.

Spektrum FTIR asam lemak menunjukkan bahwa keberadaan dari asam lemak tak jenuh hasil hidrolisis minyak Nyamplung dibuktikan dengan adanya pita serapan atom C berikatan rangkap (C=C) pada $1642,87\text{ cm}^{-1}$, diperkuat dengan munculnya serapan pada $3007,77\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi regangan =C-H^[23]. Ikatan O-H terdapat pada $3461,30\text{ cm}^{-1}$ ^[24] dan ikatan C=O pada $1744,30\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan gugus karboksilat yang terdapat pada asam lemak tak jenuh^[23]. Pada pita bilangan gelombang $2853,77\text{-}2925,10\text{ cm}^{-1}$ terdapat juga ikatan C-H dari gugus CH₂ dan CH₃^{[23], [24]}.

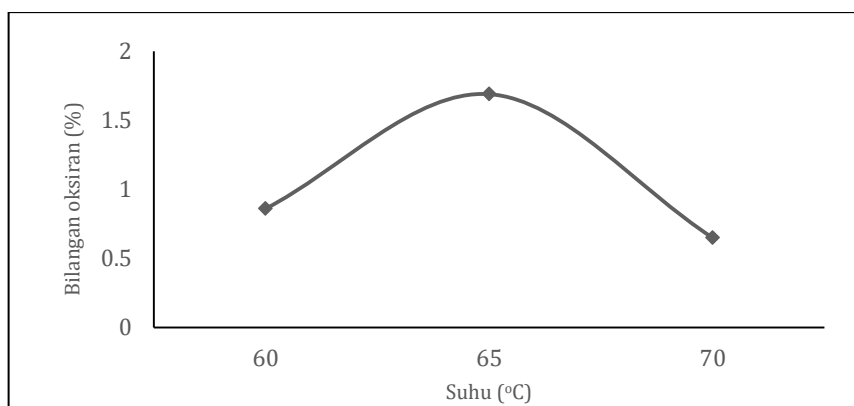
Sintesis epoksi dari asam lemak minyak Nyamplung

Pengaruh waktu reaksi

Waktu reaksi digunakan untuk mengetahui waktu tercapainya kesetimbangan reaksi^[25] Gambar 5 menunjukkan grafik pengaruh waktu reaksi terhadap bilangan oksiran dari senyawa epoksi. Pada Gambar 5 terlihat bahwa semakin lama waktu kontak reaksi maka nilai bilangan oksiran semakin meningkat dari 0,76 pada waktu 60 menit menjadi 1,69 pada waktu 75 menit.



Gambar 5. Pengaruh waktu reaksi terhadap bilangan oksiran.



Gambar 6. Pengaruh suhu reaksi terhadap bilangan oksiran.

Hal ini terjadi karena semakin lama waktu reaksi maka kontak antara molekul-molekul senyawa yang bereaksi semakin banyak^[26]. Semakin lama waktu reaksi akan menyebabkan semakin banyak asam lemak tak jenuh yang teroksidasi oleh asam performat membentuk cincin epoksi. Akan tetapi penambahan waktu reaksi akan menyebabkan terjadinya penurunan bilangan oksiran. Pada waktu 90 menit terjadi penurunan menjadi 1,58. Penurunan ini disebabkan karena pembentukan asam performat merupakan reaksi yang *reversible* sehingga semakin lama waktu akan menyebabkan asam performat mengalami dekomposisi menjadi asam format dan hidrogen peroksida kembali. Hal ini mengakibatkan reaksi pembentukan senyawa epoksi pada asam lemak tak jenuh^[25].

Pengaruh Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi reaksi epoksidasi dan laju pembentukan epoksi. Suhu dapat meningkatkan pengikatan oksigen pada ikatan rangkap sehingga membentuk cincin oksiran^[18]. Gambar 6 memperlihatkan hubungan antara suhu dan nilai bilangan oksiran senyawa epoksi.

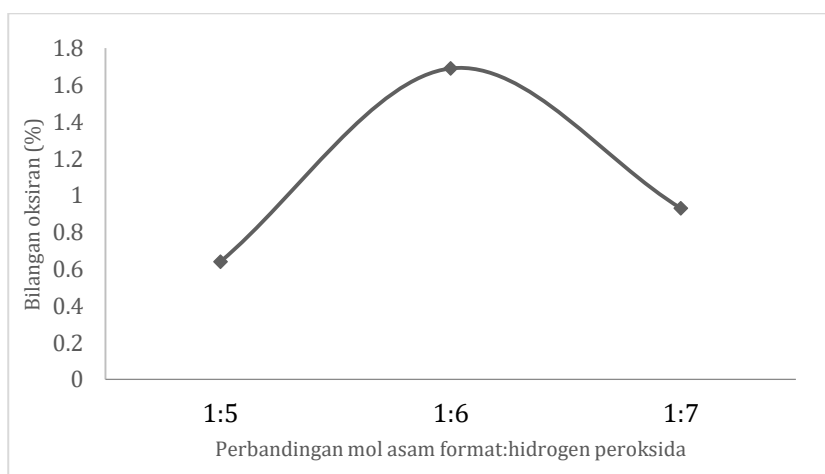
Nilai bilangan oksiran senyawa epoksi pada temperatur 60°C meningkat dari 0,86 menjadi 1,69 pada temperatur 65°C. Hal ini disebabkan

karena semakin tinggi suhu maka tumbukan antar molekul akan semakin besar, sehingga pembentukan senyawa epoksi akan semakin besar^[25]. Pada suhu 70°C bilangan oksiran mengalami penurunan menjadi 0,65. Hal ini disebabkan karena pada suhu lebih tinggi senyawa epoksi yang terbentuk akan terdegradasi oleh katalis asam sulfat membentuk gugus keton, sehingga reaksi pembentukan senyawa epoksi berjalan tidak sempurna yang ditunjukkan dengan terjadinya penurunan nilai bilangan oksiran^[25].

Pengaruh perbandingan mol asam format dan hidrogen peroksida

Perbandingan asam format dan hidrogen peroksida sangat mempengaruhi pembentukan asam performat. Peningkatan konsentrasi H₂O₂ akan meningkatkan laju pembentukan asam performat yang akan diikuti dengan peningkatan konversi epoksi^[27]. Pengaruh perbandingan mol asam format dan hidrogen peroksida terhadap bilangan oksiran dapat dilihat pada Gambar 7.

Grafik pada Gambar di bawah menunjukkan terjadinya peningkatan nilai bilangan oksiran dari perbandingan mol 1:4 sampai pada perbandingan mol 1:6 dengan nilai bilangan oksiran sebesar 1,69% dan persen konversi epoksi sebesar 67,6%.



Gambar 7. Pengaruh perbandingan mol asam format: hidrogen peroksida terhadap bilangan oksiran.

Selanjutnya untuk perbandingan mol 1:7 terjadi penurunan bilangan oksiran. Hal ini disebabkan karena konsentrasi hidrogen peroksida yang terlalu tinggi dapat menyebabkan cincin oksiran menjadi sangat tidak stabil sehingga akan terjadi pembukaan cincin oksiran^[28]. Penambahan hidrogen peroksida di atas kondisi optimum juga akan menambah jumlah air sehingga akan memutuskan cincin oksiran menjadi senyawa dihidroksi^[29].

Karakterisasi senyawa epoksi pada kondisi optimum

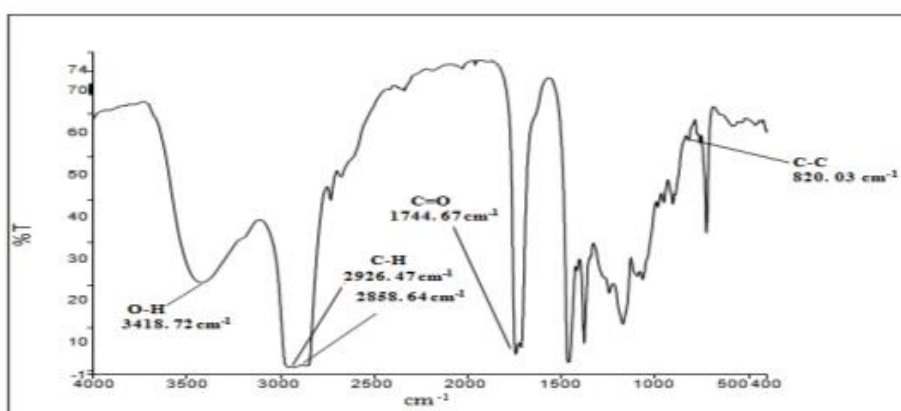
Senyawa epoksi yang dihasilkan berwarna putih kekuningan dengan bilangan iod sebesar 9,63 mg iod/100 g. Nilai bilangan iod mengalami penurunan dari asam lemak menjadi senyawa epoksi. Hal ini menunjukkan bahwa ikatan rangkap pada asam lemak sudah

mengalami reaksi epoksidasi membentuk senyawa epoksi. Pada asam lemak terdapat banyak ikatan rangkap sedangkan pada senyawa-senyawa epoksi ikatan rangkap tersebut telah terkonversi menjadi cincin oksiran, sehingga nilai bilangan iod mengalami penurunan^{[30],[31]}. Karakteristik senyawa epoksi dari asam lemak minyak Nyamplung dapat dilihat pada Tabel 2.

Nilai bilangan oksiran senyawa epoksi hasil sintesis sebesar 1,69 %. Bilangan oksiran dapat digunakan untuk menentukan persen konversi menjadi oksiran, yaitu dengan membandingkan nilai bilangan oksiran berdasarkan eksperimen dan nilai bilangan oksiran maksimum berdasarkan teori. Nilai bilangan oksiran maksimum berdasarkan teori sebesar 2,5 %, sehingga diperoleh persen konversi epoksi sebesar 67,6 %.

Tabel 2. Karakteristik senyawa epoksi dan asam lemak dari minyak Nyamplung

No	Parameter	Nilai		Satuan
		Senyawa epoksi	Asam lemak	
1.	Warna	Putih kekuningan	Kuning bening	-
2.	Bilangan iod	9,63	41,24	mg iod/100 gram
3.	Persen konversi	67,60	-	%
4.	Bilangan oksiran	1,69	-	%
5.	Viskositas	Tidak terdeteksi	17,88	cP



Gambar 8. Spektrum FTIR senyawa-senyawa epoksi hasil sintesis.

Viskositas untuk senyawa epoksi hasil sintesis tidak terdeteksi, sedangkan viskositas dari asam lemak sebesar 17,88 cP. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa-senyawa epoksi lebih kental dibandingkan dengan asam lemak. Senyawa-senyawa epoksi memiliki berat molekul yang lebih besar dan struktur yang lebih polar sehingga memiliki interaksi intermolekular yang lebih kuat^[32].

Analisis FTIR

Analisis spektrofotometer FTIR digunakan untuk mengetahui keberadaan gugus epoksi yang telah terbentuk dari proses epoksidasi asam lemak buah Nyamplung. Analisis kualitatif senyawa-senyawa epoksi menggunakan FTIR yang ditunjukkan pada Gambar 8.

Analisis spektrofotometer FTIR senyawa epoksi dari asam lemak minyak Nyamplung diketahui mengandung gugus epoksi, hal ini dibuktikan dengan munculnya serapan pada bilangan gelombang 820,03 cm^{-1} yang menunjukkan serapan spesifik dari cincin oksiran yang terdapat pada senyawa epoksi^[8] dan didukung dengan terjadinya pemutusan ikatan rangkap C=C-H pada bilangan gelombang 3007,77 cm^{-1} dan pada ikatan rangkap C=C pada bilangan gelombang 1642,87 cm^{-1} , akan tetapi serapan spesifik dari gugus epoksi tersebut tidak terlalu tajam karena diduga bahwa beberapa senyawa-senyawa epoksi atau rantai epoksi yang telah terbentuk mengalami reaksi lanjutan atau terjadinya pembukaan cincin epoksi^[18]. Salah satu hasil dari reaksi pembukaan cincin epoksi adalah senyawa hidroksil, hal ini didukung dengan adanya serapan dari gugus -OH di daerah bilangan gelombang 3418,72 cm^{-1} yang menunjukkan adanya ikatan O-H.

Kesimpulan

Kondisi optimum sintesis senyawa epoksi yaitu pada waktu 75 menit, suhu 65°C, dan perbandingan mol asam format dan hidrogen peroksida pada nilai 1:6. Hasil karakterisasi meliputi bilangan iod sebesar 9,63 mg iod/100 g, bilangan epoksi 1,69%, dengan persen

konversi sebesar 67,60% dan nilai viskositasnya tidak terdeteksi. Karakterisasi FTIR menunjukkan adanya serapan pada bilangan gelombang 820,03 cm^{-1} yang merupakan serapan spesifik dari cincin oksiran senyawa epoksi.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI) atas pendanaan penelitian ini melalui skim Penelitian Dasar Tahun 2021 Nomor Kontrak 3933/UN18.L1/2021 dan LPPM Universitas Mataram.

Daftar Pustaka

1. Goud, V. V., Pradhan, N. C. & Patwardhan, A. V., Epoxidation of karanja (*Pongamia glabra*) oil by H₂O₂. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **83**(7): 635–640 (2006).
2. Di Serio, M., Turco, R., Pernice, P., Aronne, A., Sannino, F. & Santacesaria, E., Valuation of Nb₂O₅-SiO₂ catalysts in soybean oil epoxidation. *Catal. Today*, **192**(1): 112–116 (2012).
3. Sinaga, M. S., Pengaruh katalis H₂SO₄ pada reaksi epoksidasi metil ester PFAD (palm fatty acid distillate). *J. Teknol. Proses*, **6**(1): 70–74 (2007).
4. Jalil, M. J., Hadi, A., Mora, N., Chang, S. H., Yamin, A. F. M. & Zaini, M. S. M., Kinetics of epoxidation oleic acid derived from palm oil by in situ generated performic acid. *Chem. Ind. J. Chem. Chem. Eng.*, **68**(5–6): 181–187 (2019).
5. Salimon, J., Abdullah, B. M. & Salih, N., Optimization of the oxirane ring opening reaction in biolubricant base oil production. *Arab. J. Chem.*, **9**: 1–6 (2011).
6. Qi, B., Lou, L. L., Yu, K., Bian, W. & Liu, S., Selective epoxidation of alkenes with hydrogen peroxide over efficient and recyclable manganese oxides. *Catal. Commun.*, **15**(1): 52–55 (2011).

7. Milchert, E., Malarczyk-Matusiak, K. & Musik, M., Technological aspects of vegetable oils epoxidation in the presence of ion exchange resins: A review. *Polish J. Chem. Technol.*, **18(3)**: 128–133 (2016).
8. Derawi, D. & Salimon, J., Optimization on epoxidation of palm olein by using performic acid. *E-Journal Chem.*, **7(4)**: 1440–1448 (2010).
9. La Scala, J. & Wool, R. P., The effect of fatty acid composition on the acrylation kinetics of epoxidized triacylglycerols. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **79(1)**: 59–63 (2002).
10. Kinasih, N. A. & Cifriadi, A., Perkembangan riset dan penggunaan minyak nabati teroksidasi sebagai bahan pemlastis karet dan plastik. *War. Perkaretan*, **32(1)**: 46 (2013).
11. Vyas, A. P., Verma, J. L. & Subrahmanyam, N., A review on FAME production processes. *Fuel*, **89(1)**: 1–9 (2010).
12. Said, M., Fita, M. S. & Sugiarti, R. A., Sintesis senyawa polioliol melalui reaksi hidroksilasi senyawa epoksi minyak jagung. *J. Tek. Kim.*, **23(3)**: 183–190 (2017).
13. Leksono, B., Windyarini, E. & Hasnah, T. M., *Budidaya tanaman nyamplung (Calophyllum inophyllum L.) untuk bioenergi dan prospek pemanfaatan lainnya*. IPB Press, (2014).
14. Hasibuan., Sarwani., Sahirman. & Yudawati, N. made A., Karakteristik fisikokimia dan antibakteri hasil purifikasi minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum L.*). *agriTECH*, **33(3)**: 311–319 (2013).
15. Chasani, M., Senny, W. & Adidyan, M., Sintesis dan karakterisasi sabun natrium dari minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum L.*) serta uji aktivitas antibakteri terhadap *Staphilococcus aureus*. *J. Mol.*, **10(1)**: 66–73 (2015).
16. Sudrajat, R., Sahirman, S. & Setiawan, D., Pembuatan biodiesel dari biji nyamplung. *J. Penelit. Has. Hutan*, **25(1)**: 41–56 (2007).
17. Budiyati, E., Rochmadi, R., Budiman, A. & Budhijanto, B., Studies on epoxidation of tung oil with hydrogen peroxide catalyzed by sulfuric acid. *Bull. Chem. React. Eng. Catal.*, **15(3)**: 674–686 (2020).
18. Listiana, Y., Rosa Tampubolon, H. & Suriani Sinaga, M., Pengaruh konsentrasi katalis dan waktu reaksi pada pembuatan epoksi minyak goreng bekas. *J. Tek. Kim. USU*, **6(3)**: 28 (2017).
19. Maisaroh, M. & Susetyo, I. B., Optimasi pada epoksidasi asam oleat sebagai bahan baku dalam sintesis asam 9,10-dihidroksi stearat (DHSA). *War. Ind. Has. Pertan.*, **34(2)**: 96 (2018).
20. Gunawan, E. R., Suhendra, D., Asnawati, D., Sudarma, I. M. & Zulpiani, I., Sintesis asam-asam lemak amida dari ekstrak minyak inti buah nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) melalui reaksi enzimatik. in *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, 147–154 (2014).
21. Karouw, S., Trivana, L., Barlina, R. & Santosa, B., Hidrolisis enzimatik minyak kelapa hidrolisis enzimatik minyak kelapa dengan lipase dari *Rhizomucor miehei*. *Bul. Palma*, **17(1)**: 35–40 (2016).
22. Moentamaria, D., Agaian, G., Ridhawati, M. M., Chumaidi, A. & Hendrawati, N., Hidrolisis minyak kelapa dengan lipase terimobilisasi zeolit pada pembuatan perisa alami. *J. Bahan Alam Terbarukan*, **5(2)**: 84–91 (2017).
23. Andina, L., Saputri, R., Putri, A. N. & Rohman, A., Infrared spectroscopy and multivariate calibration for the rapid quantification of free fatty acid content in pangasius hypophthalmus oil. *Int. J. Appl. Pharm.*, **10(6)**: 199–203 (2018).
24. Suhendra, D., Solehah, A., Asnawati, D. & Gunawan, E. R., Sintesis poliuretan dari asam lemak teroksidasi minyak inti buah nyamplung melalui proses polimerisasi menggunakan toluen diisosiyanat. *Chem. Prog.*, **6(2)**: 62–69 (2014).
25. Selviany, N., Fajrin, D. & Melwita, E., Pengaruh temperatur dan waktu pada pembuatan plastitizer dengan reaksi epoksidasi limbah minyak ikan patin. *Tek. Kim.*, **21(2)**: 40–44 (2015).
26. Saurabh, T., Patnaik, M., Bhagst, S. L. &

- Renge, V. C., Epoxidation of vegetable oils: a review. *Int. J. Adv. Eng. Technol. E*, **2(4)**: 459–501 (2011).
27. Maisaroh, M., Optimasi proses epoksidasi asam oleat pada scaling up sintesis asam 9,10-dihidroksi stearat (DHSA) bench scale. *Maj. Ilm. Pengkaj. Ind.*, **12(1)**: 39–46 (2018).
28. Dinda, S., Patwardhan, A. V., Goud, V. V. & Pradhan, N. C., Epoxidation of cottonseed oil by aqueous hydrogen peroxide catalysed by liquid inorganic acids. *Bioresour. Technol.*, **99(9)**: 3737–3744 (2008).
29. Ghozali, M., Meliana, Y., Fahmiati, S., Triwulandari, E. & Darmawan, A., Sintesis asam oleat terepoksidasi dengan katalis asam asetat. *J. Kim. dan Kemasan*, **40(2)**: 63–70 (2018).
30. Alamasyah, R., Susanti, I., Siregar, N. C. & Heryani, S., Pengaruh perbandingan asam format dan hidrogen peroksida dalam pembuatan senyawa epoksi dari minyak kelapa sawit. *War. Ind. Has. Pertan.*, **30(2)**: 55–74 (2013).
31. Gamage, P. K., O'Brien, M. & Karunanayake, L., Epoxidation of some vegetable oils and their hydrolysed products with peroxyformic acid-Optimised to industrial scale. *J. Natl. Sci. Found. Sri Lanka*, **37(4)**: 229–240 (2009).
32. Adhvaryu, A. & Erhan, S. Z., Epoxidized soybean oil as a potential source of high-temperature lubricants. *Ind. Crops Prod.*, **15(3)**: 247–254 (2002).