



Pemlastis epoksi ester minyak sawit sebagai pengganti epoksi minyak kedelai pada kulit imitasi

Epoxidized-palm olein ester plasticizer as a substitute for epoxidized soybean oil in synthetic leather

Ratri Retno Utami^{1*}, Pani Satwikanitya¹, Andri Saputra¹, Muh Wahyu Syabani¹, Luthfi Auliya Indahwati¹, Danuraja Ilmannafia¹

¹Prodi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik, Politeknik ATK Yogyakarta, Indonesia

*corresponding author: ratri.retno.u@gmail.com

Received: 20th September, 2024 | accepted: 26th October, 2024

ABSTRAK

Pemlastis adalah cairan yang ditambahkan ke bahan kulit sintetis untuk membuat produk menjadi lebih lembut, fleksibel, dan mudah diproses. Pengembangan pemlastis yang berkelanjutan dilakukan melalui penggunaan minyak sawit sebagai bahan baku utama dalam penelitian ini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi aplikasi epoksi ester minyak sawit pada kulit imitasi. Proses epoksidasi menggunakan ester minyak sawit sebagai bahan dasar, dengan katalis asam asetat, hidrogen peroksida, dan resin *amberlite*. Campuran dipanaskan pada suhu 60 °C dan diaduk pada kecepatan 400 rpm selama 4 jam. Minyak epoksi yang dihasilkan kemudian diaplikasikan pada lapisan atas kulit sintetis dan diuji sifat mekaniknya. Variasi epoksi ester minyak sawit pada kulit imitasi menggantikan sebanyak 50 dan 100% epoksi minyak kedelai. Sebagai kontrol, digunakan pemlastis dari epoksi minyak kedelai komersial. Hasil pengujian mekanik menunjukkan bahwa penggantian 100% epoksi minyak kedelai dengan epoksi ester minyak sawit pada kulit sintetis tidak menghasilkan perbedaan signifikan pada kekuatan tarik membujur dan kemuluran melintang dibandingkan kontrol. Namun, kulit sintetis dengan epoksi ester minyak sawit menunjukkan ketahanan sobek yang lebih baik dibandingkan kontrol. Penelitian lanjutan diperlukan untuk menentukan kondisi optimal reaksi epoksidasi, komposisi asam lemak, dan stabilitas epoksi ester minyak sawit.

Kata kunci: epoksidasi; minyak goreng; substitusi

ABSTRACT

A plasticizer is a liquid added to synthetic leather materials to make the product softer, more flexible, and easier to process. The development of sustainable plasticizers in this study was achieved using palm oil as the primary raw material. The study aimed to evaluate the application of epoxidized palm oil esters on imitation leather. The epoxidation process used palm oil esters as the base material, with acetic acid,

hydrogen peroxide, and amberlite resin as catalysts. The mixture was heated to a temperature of 60 °C and stirred at a speed of 400 rpm for 4 hours. The resulting epoxy oil was then applied to the top layer of imitation leather, and its mechanical properties were tested. Epoxidized palm oil esters replaced 50% and 100% of epoxidized soybean oil the imitation leather. As a control, plasticizers from commercial epoxidized soybean oil were used. The mechanical test results showed that replacing 100% of the epoxidized soybean oil with palm oil esters in synthetic leather did not result in significant differences in longitudinal tensile strength and transverse elongation compared to the control. However, artificial leather with epoxidized palm oil esters demonstrated better tear resistance than the control. Further studies are required to determine the optimal conditions for the epoxidation reaction, fatty acid composition, and stability of epoxidized palm oil esters.

Keywords: epoxidation; cooking oil; substitute

PENDAHULUAN

Tren terbaru dalam industri pengolahan kulit mengarah pada praktik yang lebih berkelanjutan. Produsen kulit kini berfokus pada pengurangan penggunaan bahan kimia beracun, pemanfaatan sumber daya terbarukan, penggunaan pewarna alami, dan pengembangan metode penyamakan yang ramah lingkungan (H. L. Chen & Burns, 2006). Sejalan dengan tren ini, kulit imitasi semakin diminati sebagai alternatif kulit hewan. Bahan sintetis ini tidak hanya lebih tahan lama dan ekonomis, tetapi juga memiliki penampilan yang mirip dengan kulit asli (Li et al., 2021). Kulit imitasi sering digunakan dalam pembuatan berbagai produk seperti tas, sepatu, pakaian, komponen otomotif, hingga peralatan medis (Gurera & Bhushan, 2018). Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 1294:2009, kulit imitasi umumnya terdiri dari lapisan atas Polivinil klorida (PVC) atau Poliuretan (PU), lapisan dasar kain, dan kadang-kadang lapisan busa di tengahnya. Proses produksinya melibatkan teknik calendering, pelapisan, atau laminasi (BSN, 2009).

Kulit imitasi terdiri dari sekitar 55% polimer, 40% pemlastis, sekitar 1% stabilizer, dan sisanya adalah filler (Gurera & Bhushan, 2018). PVC merupakan salah satu bahan polimer termoplastik yang paling umum digunakan untuk pembuatan kulit imitasi. Namun, PVC memiliki beberapa kelemahan seperti viskositas tinggi, kaku, dan rapuh, sehingga tidak dapat langsung digunakan dalam proses industri tanpa modifikasi. Masalah ini dapat diatasi dengan menambahkan pemlastis ke dalam PVC (Ma et al., 2020). Pemlastis yang digunakan dalam kulit imitasi terdiri dari pemlastis primer dan sekunder. Pemlastis primer memiliki dispersi yang baik dalam resin PVC dan digunakan dalam jumlah lebih banyak dibanding pemlastis sekunder. Pemlastis sekunder memiliki dispersi terbatas dalam resin PVC dan biasanya digunakan untuk mengurangi biaya produksi (Zhang et al., 2022). Pemlastis primer, seperti *Dioctyl phthalate* (DOP), *Diisooctyl phthalate* (DIOP), dan *Disononyl phthalate* (DINP), dapat digunakan sendiri untuk meningkatkan elastisitas PVC. Sementara itu, pemlastis sekunder hanya dapat digunakan bersama dengan pemlastis primer karena memiliki kapasitas pembentukan

gel yang rendah dan kompatibilitas yang terbatas dengan polimer (Vieira et al., 2011). Pemlastis sekunder yang umum digunakan dalam kulit imitasi adalah Epoxidized Soy Bean Oil (ESBO) atau minyak kedelai terepoksidasi, yang selain berfungsi sebagai pemlastis, juga berperan sebagai penstabil dalam PVC (Rahmah et al., 2017).

Minyak nabati mengandung asam lemak tak jenuh (Wardhana & Putra, 2023) yang menyebabkan stabilitas termal dan oksidatifnya rendah (Loganathan et al., 2022). Untuk mengatasi kelemahan ini, dilakukan modifikasi gugus fungsi melalui proses esterifikasi dan epoksidasi (Fenollar et al., 2013). Beberapa jenis minyak nabati yang telah diepoksidasi dan digunakan sebagai pemlastis meliputi ester olein minyak sawit (Gan et al., 1995), minyak bunga matahari (Chavan & Gogate, 2015), dan ester minyak kedelai (Galli et al., 2014). Pemlastis dari epoxidized fatty acid methyl esters (Ep-FAMEs) memiliki efisiensi plastisasi yang tinggi dan biaya produksi yang rendah. Selain itu, Ep-FAMEs juga dapat berfungsi sebagai penstabil panas yang efektif untuk poli vinil klorida (PVC), karena gugus epoksi dalam Ep-FAMEs mampu menyerap dan menetralkan hidrogen klorida yang terbentuk selama degradasi termal atau cahaya, sehingga dapat membatasi dekomposisi lebih lanjut pada PVC (Chen et al., 2016).

Indonesia adalah produsen minyak sawit terbesar di dunia, dengan produksi yang mencapai lebih dari setengah total minyak sawit global (Gregory, 2022). Berdasarkan data BPS, impor minyak terepoksi (termasuk epoksi

minyak kedelai) pada tahun 2018 mencapai nilai 751.836 US\$ dan meningkat tiga kali lipat pada tahun 2022 (BPS, 2022). Pengembangan potensi minyak sawit menjadi penting, salah satunya dengan mengolahnya menjadi pemlastis untuk kulit imitasi sebagai substitusi epoksi minyak kedelai. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan epoksi ester dari minyak sawit pada aplikasi kulit imitasi.

METODOLOGI

1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan untuk membuat epoksi ester minyak sawit antara lain ester minyak sawit (minyak goreng) yang diperoleh dari tahap penelitian sebelumnya, bahan kimia *analytical grade* seperti n heksana (Merck), asam asetat (Merck), hydrogen peroksida (Merck), HBr (Merck), indikator kristal violet. Bahan untuk membuat kulit imitasi yang diperoleh dari supplier antara lain PVC, DINP, CaCO₃, epoksi minyak kedelai (*Epoxidized Soybean Oil/ESBO*), pemlastis sekunder TXIB, stabilizer LBZ, kain penguat.

Peralatan yang digunakan antara lain labu leher tiga, hot plate stirrer, kolom refluks berpendingin, corong pisah, sentrifuge Rotofix, alat coating kulit imitasi, kertas emboss, oven Memmert, glossmeter GM-6 Landtek 60 Degree, feeler gauge (gap 0,6 mm, 0,1 mm), rotary viscometer NDJ-9S C Goldenwall (China), Universal Tensile Machine (UTM) Gester GT-K02.

2. Epoksidasi ester minyak sawit

Epoksidasi ester minyak sawit menggunakan metode (Saputra et al., 2023). Sebanyak 100 gram ester minyak sawit dimasukkan ke dalam labu leher tiga, kemudian ditambahkan n-heksana (20%), asam asetat glasial (15,5 mL), dan resin amberlite (3,15 g). Campuran ini dipanaskan hingga suhu 60 °C, lalu ditambahkan 65 mL hidrogen peroksida. Setelah itu, campuran diaduk dengan kecepatan 400 rpm dan direfluks selama 4 jam. Minyak epoksi yang terbentuk kemudian dipisahkan menggunakan corong pisah hingga terbentuk dua lapisan,

di mana lapisan bawah adalah impuritas dan lapisan atas adalah minyak epoksi. Minyak epoksi dipisahkan dari impuritasnya, kemudian dicuci dengan air hingga mencapai pH netral dan dipisahkan menggunakan sentrifus. Pengujian minyak epoksi dilakukan dengan mengukur viskositas dan bilangan oksiran.

3. Aplikasi pemlastis pada kulit imitasi

Bahan-bahan ditimbang sesuai dengan formulasi yang tercantum dalam **Tabel 1**.

Tabel 1.
Formulasi kulit imitasi

Berat lapisan atas (g)			
Bahan	K	Ep100	Ep50
PVC (K-value 74)	15	15	15
PVC (K-value 67)	35	35	35
DINP (pemlastis primer)	27,5	27,5	27,5
Epoksi minyak kedelai (pemlastis sekunder)	5	-	2,5
Epoksi ester minyak sawit (pemlastis sekunder)	-	5	2,5
TXIB (plastisizer sekunder)	0,75	0,75	0,75
LBZ (stabilizer)	1,25	1,25	1,25
CaCO ₃ (filler)	12,5	12,5	12,5
Berat lapisan dasar (g)			
Bahan	Untuk K, Ep100, Ep50		
PVC (K-value 74)	210		
PVC (K-value 67)	210		
DINP (pemlastis primer)	210		
CaCO ₃ (filler)	105		

Keterangan:

- K-value menunjukkan derajat polimerisasi resin PVC.
- K: kontrol, menggunakan epoksi minyak kedelai 5 g.
- Ep100: jumlah epoksi minyak kedelai yang diganti epoksi ester minyak sawit sebesar 5 g (100%).
- Ep50: jumlah epoksi minyak kedelai yang diganti epoksi ester minyak sawit sebesar 2,5 g (50%).

Proses dimulai dengan pencampuran secara terpisah untuk lapisan atas dan lapisan dasar menggunakan *overhead mixer* dengan kecepatan 500 rpm selama 30 menit, hingga menghasilkan kompon/campuran (plastisol) yang homogen. Kemudian dilakukan pengujian viskositas pada plastisol. Selanjutnya, kertas embos dilapisi dengan kompon lapisan atas setebal 0,6 mm, kemudian dioven pada suhu 185 °C selama 1 menit. Setelah itu, lapisan dasar diplikasikan pada lapisan atas dengan ketebalan 0,2 mm, yang kemudian ditutup dengan kain penguat dan dioven pada suhu 185 °C selama 1 menit. Kulit imitasi diperoleh setelah proses pelepasan dari kertas embos. Hasil kulit imitasi dilakukan pengujian glossy dan pengujian sifat mekanik yang meliputi kuat tarik, kemuluran, dan

ketahanan sobek sesuai SNI 1294:2009 (Kulit Imitasi).

4. Rancangan penelitian dan analisis data

Rancangan percobaan aplikasi pemlastis pada kulit imitasi adalah rancangan acak lengkap dengan 3 perlakuan (K, Ep100, Ep50). Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali ulangan. Analisis statistik dilakukan dengan menggunakan ANOVA untuk menguji pengaruh setiap faktor dan dilanjutkan dengan uji lanjut Beda Nyata Terkecil. Tingkat kepercayaan yang digunakan sebesar 95% ($\alpha = 0,05$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat fisika epoksi ester minyak sawit ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2.
Sifat fisika pemlastis

Pemlastis	Viskositas (mPas)	Bilangan oksiran (%)
Epoksi ester minyak sawit	7,50±0,51	2,78±0,04
Epoksi minyak kedelai	248,17±0,76	6,20±0,21

1. Epoksi ester minyak sawit

Tabel 2 menampilkan hasil karakterisasi epoksi ester minyak sawit yang disintesis di laboratorium serta epoksi minyak kedelai komersial. Secara umum, terdapat perbedaan signifikan antara kedua sampel tersebut. Semakin tinggi bilangan oksiran, semakin banyak gugus epoksida yang terbentuk (Gunawan et al., 2023). Gugus epoksida ini memberikan sifat-sifat khusus pada

minyak, seperti reaktivitas tinggi dan kemampuan untuk berikatan dengan berbagai senyawa kimia. Bilangan oksiran yang lebih tinggi pada epoksi minyak kedelai menunjukkan kandungan epoksida yang lebih besar, yang merupakan gugus fungsional penting untuk aplikasi pada kulit imitasi (Tang et al., 2018).

Epoksidasi pada ester minyak sawit diharapkan meningkatkan bilangan oksirannya supaya reaktivitas epoksi

juga tinggi. Akan tetapi hasil penelitian ini menunjukkan bilangan oksiran epoksi ester minyak sawit masih lebih rendah dibandingkan epoksi minyak kedelai. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa factor produksi minyak epoksi, seperti kondisi reaksi, jenis katalis, dan kondisi bahan baku. Terkait dengan kondisi bahan baku, komposisi asam lemak tidak jenuh dari masing-masing minyak merupakan faktor utama yang memengaruhi hasil epoksidasi (Mahadi et al., 2022). Kandungan asam lemak tidak jenuh pada minyak kedelai dan ester minyak sawit masing-masing adalah 82,51% dan 54,2% (Naghshineh et al., 2010; Jovic et al., 2013). Asam lemak yang berperan dalam epoksidasi adalah asam lemak tidak jenuh dengan satu ikatan rangkap, yaitu asam oleat (C18:1). Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan ester minyak sawit, karena transesterifikasi dapat meningkatkan jumlah asam oleat (Walacik et al., 2017), yang diharapkan dapat menghasilkan bilangan oksiran yang sebanding dengan minyak epoksi komersial. Selain itu, transesterifikasi minyak nabati menjadi metil ester asam lemak dapat mengurangi hambatan sterik selama proses epoksidasi (Meng et al., 2024). Epoksidasi adalah proses penambahan atom oksigen ke ikatan rangkap C=C dalam molekul minyak, yang menghasilkan gugus epoksida (Raofuddin et al., 2023). Asam lemak tak jenuh oleat memiliki satu ikatan rangkap, sehingga dalam proses epoksidasi, penambahan atom oksigen lebih mudah terjadi pada

asam lemak *monounsaturated* dibandingkan dengan *polyunsaturated fatty acids*. Hambatan untuk penambahan atom oksigen pada asam lemak yang memiliki lebih dari satu ikatan rangkap disebabkan oleh adanya *steric hindrance* (Meng et al., 2024).

Hoekman et al. (2012) menyatakan bahwa semakin panjang rantai karbon

dan semakin banyak ikatan tak jenuh dalam minyak, viskositasnya akan semakin rendah atau minyak tersebut akan semakin encer. Viskositas yang lebih rendah menunjukkan kandungan oksiran rendah. Jika rantai karbon lebih pendek dan jumlah ikatan tak jenuh lebih sedikit, viskositas minyak akan semakin tinggi atau semakin kental. Peningkatan nilai viskositas produk menunjukkan penurunan jumlah ikatan rangkap dalam minyak (Meadows et al., 2018; Gunawan et al., 2023). Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, asam lemak tak jenuh pada minyak kedelai lebih tinggi dibandingkan dengan ester minyak sawit. Kondisi bahan baku minyak epoksi ini memengaruhi viskositas produk akhir. Selain itu, rendahnya nilai viskositas pada produk epoksi ester minyak sawit menunjukkan adanya molekul air akibat hidrolisis, yang dapat menghambat derajat epoksidasi. Keberadaan air ini bisa disebabkan oleh reaksi samping atau karena proses penghilangan air setelah pencucian epoksi ester sawit yang tidak dilakukan dengan sempurna (Meadows et al., 2018).

2. Aplikasi pemlastis pada kulit imitasi

Karakteristik kulit imitasi dengan pemlastis epoksi ester minyak sawit dan epoksi minyak kedelai ditunjukkan **Tabel 3**.

Tabel 3.
Karakteristik kulit imitasi

Sam pel	Viskositas plastisol (mpas)	Gloss y (GU)	Keteb alan (mm)	Kuat tarik (N)		Kemuluran (%)		Ketahanan sobek(N)	
				Melinta ng	Membuju r	Melintang	Membuj ur	Melinta ng	Membu jur
K	3566,33± 41,48 ^a	4,08±0 ,29 ^a	0,76±0 ,04 ^a	167,694± 7,96 ^a	218,8845± 0,81 ^a	159,0155±3 0,24 ^a	47,473±3, 71 ^b	35,89±1 ,02 ^b	44,915± 3,88 ^b
Ep10 0	1693,00± 50,86 ^c	3,98±0 ,19 ^a	0,75±0 ,03 ^a	121,21±2 6,54 ^b	209,8625± 14,70 ^a	142,6975±3 0,37 ^{a,b}	102,436± 17,49 ^a	39,23±0 ,41 ^a	49,03±6 ,94 ^a
Ep50	2106,67± 23,09 ^b	3,98±0 ,26 ^a	0,72±0 ,01 ^a	78,06±1, 22 ^c	213,785±2 0,01 ^a	113,208±29 ,01 ^b	54,0865± 8,09 ^b	36,48±1 ,63 ^{a,b}	46,88±2 ,65 ^{a,b}
SNI			0,7	Min. 60	Min. 180	20-30	13-20	Min. 20	Min. 25

Berdasarkan **Tabel 3** secara umum kemuluran semua sampel tidak sesuai dengan SNI, akan tetapi kemuluran atau fleksibilitas yang diinginkan dari kulit imitasi umumnya bergantung pada aplikasi yang diinginkan. Ketebalan, kuat tarik, dan ketahanan semua sampel kulit imitasi memenuhi SNI (BSN, 2009).

Perbedaan viskositas pada hasil campuran (plastisol) disebabkan oleh perbedaan viskositas dari pemlastis epoksi yang digunakan. Semakin banyak pemlastis epoksi minyak kedelai, semakin tinggi viskositasnya, sedangkan semakin banyak epoksi ester minyak sawit, viskositas plastisol menjadi semakin rendah. Viskositas ini berkaitan dengan ketebalan, semakin tinggi viskositas, semakin tebal produk yang dihasilkan (Mariam et al., 2024). Namun, dalam penelitian ini, ketebalan semua sampel tidak menunjukkan perbedaan yang

signifikan dan disebabkan karena penggunaan feeler gauge/gap untuk mengatur ketebalan kulit imitasi.

Glossmeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kilap atau kecerahan pada permukaan suatu objek, dengan satuan *glossy unit* (GU) (Soesaty, 2009). Nilai *glossy* menunjukkan adanya migrasi pemlastis ke permukaan kulit imitasi. Nilai *glossy* pada semua sampel tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, yang menunjukkan bahwa tingkat kilap permukaan kulit imitasi cukup konsisten. Berdasarkan pengamatan organoleptik, belum terjadi migrasi pemlastis ke permukaan kulit imitasi pada semua sampel.

Sampel kontrol menunjukkan nilai kuat tarik tertinggi, baik dalam arah melintang maupun membujur. Sampel Ep100 dan Ep50 memiliki nilai

kuat tarik melintang yang lebih rendah, sementara kuat tarik membujur tidak berbeda signifikan dibandingkan kontrol. Perbedaan ini mencerminkan variasi dalam kekuatan ikatan antar komponen kulit imitasi. Ikatan antar komponen pada sampel kontrol lebih kuat dibandingkan dengan kulit imitasi yang menggunakan pemlastis epoksi ester minyak sawit. Hal ini disebabkan oleh bilangan oksiran yang lebih tinggi pada epoksi minyak kedelai, yang memfasilitasi difusi yang lebih baik ke dalam matriks polimer dibandingkan dengan epoksi ester minyak sawit. Epoksidasi yang lebih tinggi menghasilkan kuat tarik yang lebih baik pada PVC yang diberi pemlastis (Greco et al., 2017). Pemlastis dapat mengurangi daya tarik intra-molekul yang kuat antara polimer dan mendukung pembentukan ikatan hidrogen antara pemlastis dan molekul polimer (Wang et al., 2015). Kekuatan tarik kulit imitasi dengan pemlastis epoksi ester minyak sawit lebih rendah karena ikatan hidrogen antara rantai lebih sedikit dibandingkan dengan kulit imitasi yang menggunakan pemlastis epoksi minyak kedelai. PVC, sebagai bahan kulit imitasi, bersifat kaku pada suhu normal karena jarak antar molekul yang pendek dan adanya gaya antar molekul yang kuat. Ketika pemlastis ditambahkan, molekul pemlastis bergerak di antara molekul PVC, mencegah molekul saling mendekat. Akibatnya, molekul polimer tetap

terpisah, menghasilkan produk yang fleksibel (Elgharbawy, 2022).

Kemuluran adalah kemampuan suatu produk untuk memanjang dari panjang awal hingga titik putus atau untuk berubah bentuk sebelum akhirnya putus atau robek. Terdapat variasi yang signifikan dalam nilai kemuluran, di mana sampel kontrol menunjukkan kemuluran tertinggi pada arah melintang, sementara sampel Ep100 memiliki kemuluran tertinggi pada arah membujur. Kemuluran mencerminkan fleksibilitas, kelenturan, dan kemampuan kulit imitasi untuk menyesuaikan bentuk. Peningkatan kemuluran terjadi karena pemlastis dapat mengurangi ikatan intermolekul antara matriks polimer dan menggantinya dengan ikatan hidrogen yang terbentuk antara pemlastis dan molekul polimer. Perubahan ikatan ini mengurangi kekakuan dan meningkatkan fleksibilitas (Wang et al., 2015).

Sampel Ep100 menunjukkan nilai ketahanan sobek tertinggi, baik dalam arah melintang maupun membujur. Hal ini disebabkan oleh epoksi yang berbentuk cair, di mana rantai makromolekul minyak epoksi terjatoh dalam matriks polimer, sehingga memungkinkan pelarutan yang lebih baik dengan aditif lain dan meningkatkan daya rekat serta ketahanan sobek. Selain itu, ketahanan sobek yang baik menunjukkan bahwa kompatibilitas pemlastis dengan PVC juga sangat baik (Wu et al., 2024). Ketahanan sobek yang rendah

mengindikasikan bahwa kulit imitasi lebih rentan terhadap sobekan. Ketahanan sobek dipengaruhi oleh struktur sel dan ukuran pori-pori (Radovanović et al., 2014).

SIMPULAN

Studi ini menunjukkan bahwa epoksi ester minyak sawit, sebagai produk berbasis bio, memiliki kinerja yang kompetitif dengan pemlastis komersial seperti epoksi minyak kedelai. Hasil pengujian sifat mekanik menunjukkan bahwa penggantian 100% epoksi minyak kedelai dengan epoksi ester minyak sawit pada kulit imitasi menghasilkan nilai kuat tarik membujur dan kemuluran melintang yang tidak berbeda signifikan. Sementara itu, nilai ketahanan sobek kulit imitasi dengan epoksi ester minyak sawit menunjukkan keunggulan dibandingkan kontrol. Potensi epoksi ester minyak sawit sebagai pemlastis dapat terus dikembangkan melalui penelitian lebih lanjut yang berfokus pada spesifikasi intrinsiknya, termasuk komposisi asam lemak dan gugus fungsional. Uji stabilitas oksidatif dan termal pada epoksi perlu dilakukan untuk menilai potensi penggunaannya dalam jangka panjang. Optimasi kondisi proses reaksi epoksidasi pada ester minyak sawit perlu ditentukan agar dapat meningkatkan bilangan oksiran. Penelitian juga perlu dilakukan untuk mengeksplorasi potensi aplikasi lain dari epoksi ester minyak sawit, seperti sebagai agen pengikat dalam komposit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada BDPDKS yang telah memberikan dana penelitian melalui Grant Riset Sawit 2023 berdasarkan SK Direktur Utama BDPDKS no. KEP-295/DPKS/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- BPS. (2022). Statistik Indonesia 2022. In *Statistik Indonesia* (Vol. 1101001). Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id/publication/2020/04/29/e9011b3155d45d70823c141f/statistik-indonesia-2020.html>
- BSN. (2009). *SNI 1294-2009 Kulit Imitasi*.
- Chavan, A. P., & Gogate, P. R. (2015). Ultrasound assisted synthesis of epoxidized sunflower oil and application as plasticizer. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21, 842–850. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.04.021>
- Chen, H. L., & Burns, L. D. (2006). Environmental Analysis of Textile Products. *Clothing and Textiles Research Journal*, 24(3), 248–261. <https://doi.org/10.1177/0887302X06293065>
- Chen, J., Li, X., Wang, Y., Li, K., Huang, J., Jiang, J., & Nie, X. (2016). Synthesis and application of a novel environmental plasticizer based on cardanol for poly(vinyl chloride). *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 65, 488–497. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.05.025>
- Elgharbawy, A. S. (2022). Poly Vinyl Chloride Additives and Applications - A Review. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, 12(3), 143–151. <https://doi.org/10.54560/jracr.v12i3.335>
- Fenollar, O., Garcia-Sanoguera, D., Sanchez-Nacher, L., Boronat, T., López, J., & Balart, R. (2013). Mechanical and Thermal Properties of Polyvinyl Chloride Plasticized with Natural Fatty Acid Esters. *Polymer-*



- Plastics Technology and Engineering*, 52(8), 761–767. <https://doi.org/10.1080/03602559.2013.763352>
- Galli, F., Nucci, S., Pirola, C., & Bianchi, C. L. (2014). Epoxy methyl soyate as bioplasticizer: Two different preparation strategies. *Chemical Engineering Transactions*, 37, 601–606. <https://doi.org/10.3303/CET1437101>
- Gan, L. H., Ooi, K. S., Goh, S. H., Gan, L. M., & Leong, Y. C. (1995). Epoxidized esters of palm olein as plasticizers for poly(vinyl chloride). *European Polymer Journal*, 31(8), 719–724. [https://doi.org/10.1016/0014-3057\(95\)00031-3](https://doi.org/10.1016/0014-3057(95)00031-3)
- Greco, A., Ferrari, F., & Maffezzoli, A. (2017). Mechanical and durability properties of soft PVC plasticized by cardanol derivatives. *AIP Conference Proceedings*, 1914(December). <https://doi.org/10.1063/1.5016738>
- Gregory, M. (2022). *Palm Oil Production , Consumption and Trade Patterns: The Outlook from an EU Perspective*. JUNE, 1–20. https://www.fern.org/fileadmin/uploads/fern/Documents/2022/Palm_oil_production_comsumption_and_trade_patterns.pdf
- Gunawan, E. R., Suhendra, D., Arimanda, P., Asnawati, D., & Murniati. (2023). Epoxidation of Terminalia catappa L. Seed oil: Optimization reaction. *South African Journal of Chemical Engineering*, 43(October 2022), 128–134. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.10.011>
- Gurera, D., & Bhushan, B. (2018). Fabrication of bioinspired superliquiphobic synthetic leather with self-cleaning and low adhesion. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 545, 130–137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.02.052>
- Hoekman, S. K., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E., & Natarajan, M. (2012). Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 143–169. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.143>
- Jokic, S., Sudar, R., Svilovic, S., Vidovic, S., Bilic, M., Velic, D., & Jurkovic, V. (2013). Fatty acid composition of oil obtained from soybeans by extraction with supercritical carbon dioxide. *Czech Journal of Food Sciences*, 31(2), 116–125. <https://doi.org/10.17221/8/2012-cjfs>
- Li, C., Li, R., Lyu, P., Wang, Y., Zhang, C., Dai, F., & Liu, X. (2021). The fabrication of thermoplastic polyurethane/leather powder composite film with excellent mechanical property. *Composites Communications*, 25(March), 100694. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2021.10.0694>
- Loganathan, R., Haizam, A., Tarmizi, A., Ratna Vethakkan, S., & Teng, K.-T. (2022). A Review on Lipid Oxidation in Edible Oils. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 26(6), 1378–1393.
- Ma, Y., Liao, S., Li, Q., Guan, Q., Jia, P., & Zhou, Y. (2020). Physical and chemical modifications of poly(vinyl chloride) materials to prevent plasticizer migration - Still on the run. *Reactive and Functional Polymers*, 147, 104458. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2019.104458>
- Mahadi, M. B., Rasib, I. M., Abas, N., Rahman, M. A., SH Azmi, I., & Jalil, M. J. (2022). Selective epoxidation of the unsaturated fatty acids. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1257(1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1257/1/012017>
- Mariam, O., Garba, D. K., & Guma, T. N. (2024). Analysis of the Influence of Viscosity and Coating Thickness on Corrosion rate of steel Pipelines coated with produced metallic paints. *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*, 13(7),

- 49–52. <https://doi.org/10.9790/1813-13074952>
- Meadows, S., Hosur, M., Celikbag, Y., & Jeelani, S. (2018). Comparative Analysis on the Epoxidation of Soybean Oil using Formic and Acetic Acids. *Polymers and Polymer Composites*, 26(4), 289–298. <https://doi.org/10.1177/096739111802600403>
- Meng, Y., Kebir, N., & Leveneur, S. (2024). Kinetic Modeling Comparison on the Epoxidation of Vegetable Oils and their corresponding Fatty Acid Methyl Ester. *ISCRE 28*, 2–3.
- Naghshineh, M., Ariffin, A. A., Ghazali, H. M., Mohammad, A. S., & Mirhosseini, H. (2010). Effect of saturated/unsaturated fatty acid ratio on physicochemical properties of palm olein-olive oil blend. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 87(3), 255–262. <https://doi.org/10.1007/s11746-009-1495-z>
- Radovanović, R., Jašo, V., Pilić, B., & Stojković, D. (2014). Uticaj sastava PVC plastisola i uslova proizvodnje na stepen ekspanzije pena i otpornost na cepanje. *Hemijaska Industrija*, 68(6), 701–707. <https://doi.org/10.2298/HEMIND140210028R>
- Rahmah, M., Mohd Nurazzi, N., Nordyana, A. R. F., & Anas, S. M. S. (2017). Effect of epoxidised soybean oil loading as plasticiser on physical, mechanical and thermal properties of polyvinylchloride. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 223(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/223/1/012048>
- Raofuddin, D. N. A., Rasnan, N. H. A., Azmi, I. S., Rahman, S. M. A., Yeop, M. Z., Kadir, M. Z. A., & Jalil, M. J. (2023). Epoxidation of Unsaturated Oleic Acids via in Situ Catalytic Performic Acid. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 42(5), 1491–1498. <https://doi.org/10.30492/ijcce.2022.557155.5425>
- Saputra, A., Satwikanitya, P., Puspita, F., Sya'bani, M. W., Agustian, M. F., & Pambudi, W. (2023). Synthesis of epoxy oil from Waste Cooking Oil (WCO) using acetic acid and amberlite resin IR-120 as catalyst. *Engineering and Applied Science Research*, 50(4), 335–342. <https://doi.org/10.14456/easr.2023.36>
- Soesatyo, B. (2009). Penambahan Sudut 75 Sistem Pengukuran Standar Kilap. *Jurnal Standardisasi*, 800.
- Tang, Q., Chen, Y., Gao, H., Li, Q., Xi, Z., Zhao, L., Peng, C., & Li, L. (2018). *Bio-Based Epoxy Resin from Epoxidized Soybean Oil* (M. Kasai (ed.); p. Ch. 8). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.81544>
- Vieira, M. G. A., da Silva, M. A., dos Santos, L. O., & Beppu, M. M. (2011). Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *European Polymer Journal*, 47(3), 254–263. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011>
- Walacik, A., Tanska, M., & Walacik, M. (2017). Fatty acid composition as a parameter of using vegetable oils for biofuel production. *Combustion Engines*, 169(2), 38–42. <https://doi.org/10.19206/ce-2017-207>
- Wang, Q., Wei, W., Chang, F., Sun, J., & Zhu, Q. (2015). Individualized Cellulose Nanofibrils Prepared by Combined Enzymatic Pretreatment and High Pressure Microfluidization. *Polymers*, 7(June), 1. <https://doi.org/10.3390/polym70x000x>
- Wardhana, M. G., & Putra, A. P. (2023). Analysis of oil content proximate of rice bran of Banyuwangi Regency. *Jurnal Agrotek Ummat*, 10(4), 283. <https://doi.org/10.31764/jau.v10i4.17443>
- Wu, H., Zhou, B., Cen, C., & Cao, Y. (2024). Study on the influence of environmentally friendly plasticizers on



the properties of polyvinyl chloride.
Journal of Physics: Conference Series,
2713(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2713/1/012007>

Zhang, Y., Jiang, H., Bian, K., Wang, H., & Wang, C. (2022). Flotation separation of hazardous polyvinyl chloride towards source control of microplastics based on selective hydrophilization of plasticizer-doping surfaces. *Journal of Hazardous Materials*, 423, 127095. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127095>