

PENGARUH PENGGUNAAN KATALIS BENTONIT PADA SINTESIS POLIOLESTER
DARI MINYAK BIJI JARAK KEPYAR (*Ricinus communis L.*)

THE EFFECT OF USE OF BENTONITE CATALYST ON POLYOLESTER SYNTHESIS
FROM CASTOR SEED OIL (*Ricinus communis L.*)

Samiratul Fitri, Dedy Suhendra, Erin Ryantin Gunawan
Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Mataram
Mataram, Indonesia
e-mail: samiratulfitri790@gmail.com

Abstrak: Poliolester merupakan senyawa ester sintetik sebagai bahan baku pelumas nabati menggantikan pelumas dari minyak bumi yang merupakan sumber daya tak terbarukan dan menggunakan katalis asam yang bersifat korosif. Poliolester telah berhasil disintesis dari minyak biji jarak kepyar (*non-edible oil*) menjadi polioliol sebagai *intermediate*, dilanjutkan reaksi asetilasi untuk mensubstitusi gugus -OH menjadi gugus -OR dengan bantuan katalis yang lebih aman, yaitu bentonit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh katalis bentonit terhadap konversi poliolester dan karakterisasinya. Reaksi pembentukan poliolester dilakukan dengan beberapa tahap reaksi yaitu epoksidasi dan hidroksilasi membentuk polioliol, dilanjutkan dengan reaksi asetilasi membentuk poliolester. Reaksi asetilasi dilakukan pada suhu 60 °C selama 30 menit dengan bervariasi jumlah katalis bentonit yang digunakan. Bentonit dengan jumlah katalis 3% (w/v) menghasilkan konversi poliolester tertinggi sebesar 40,47%. Penurunan bilangan hidroksil polioliol menjadi poliolester yaitu 235,72 mgKOH/g menjadi 140,32 mgKOH/g dan penurunan ilangan iod yaitu 10,152 gI₂/100g menunjukkan poliolester telah berhasil terbentuk.

Kata kunci: Poliolester, Polioliol, Bentonit, Katalis, Minyak Biji Jarak Kepyar.

Abstract: Polyolester is a ester synthetic as a raw material for biolubricants, replacing lubricants from petroleum which are non-renewable and use acid catalysts which corrosive. Polyolester has been synthesized from castor seed oil (non-edible oil) to polyol as an intermediate, followed by acetylation reaction to substitute the -OH group into the -OR group with the help of a safer catalyst, namely bentonite. This study aims to determine the effect of bentonite catalyst on polyolester conversion and its characterization. The reaction of polyolester formation is carried out by several reaction stages, namely epoxidation and hydroxylation to form polyols, followed by an acetylation reaction to polyolester. The acetylation reaction was carried at 60 °C for 30 minutes by varying the amount of bentonite catalyst. Bentonite with a catalyst amount of 3% (w/v) yielded the highest polyolester conversion of 40.47%. A decrease in the hydroxyl number of polyols to polyolester from 235.72 mgKOH/g to 140.32 mgKOH/g and a decrease in iodine refineries of 10.152 gI₂/100g indicate that polyolester has been successfully formed.

Keys: Polyolester, Polyol, Bentonite, Catalyst, Castor oil.

PENDAHULUAN

Poliolester merupakan senyawa yang disintesis dengan mensubstitusi turunan asam lemak rantai panjang terhidroksilasi menjadi senyawa ester, baik melalui reaksi asetilasi maupun reaksi esterifikasi. Reaksi asetilasi merupakan reaksi kimia yang bertujuan untuk mengubah

gugus hidroksil pada poliol menjadi gugus ester sehingga terbentuk poliester. Poliester dalam bidang industri dimanfaatkan sebagai salah satu bahan dasar pelumas sintetik atau pelumas nabati. Pelumas nabati dapat menggantikan peran pelumas mineral karena memiliki stabilitas termal yang baik, viskositas dan daya alir yang bagus, sifat antikorosi yang lebih baik, sehingga membuat mesin menjadi lebih bersih dan produk yang dihasilkan tidak beracun (Salimon, dkk., 2010; Aziz, dkk., 2016; Said, dkk., 2017; Siskayanti dan Kosim, 2017 ; Rochmat, dkk., 2018).

Pelumas pada umumnya disintesis dengan bahan dasar turunan minyak bumi yang sifatnya tidak dapat diperbaharui, serta kekurangan seperti korosif, stabilitas dan viskositas yang rendah. Oleh karena itu, digunakan alternatif lain sebagai pengganti minyak bumi seperti minyak nabati yang dapat disintesis menjadi pelumas nabati. Minyak nabati merupakan sumber daya alam terbarukan yang ada di bumi, karena memiliki ketersediaan yang melimpah serta ramah lingkungan (Rihayat dan Mashura, 2018). Minyak nabati diketahui memiliki potensi sebagai bahan dasar pelumas nabati seperti poliester karena memiliki ikatan tak jenuh yang cukup tinggi (Sudrajat, dkk., 2007; Prianto, dkk., 2022).

Sintesis poliester dari tumbuhan mulai dikembangkan saat ini seperti minyak sayur, minyak jagung dan minyak sawit (Liu, dkk., 2014; Said, dkk., 2017; Sari dan Puspa, 2022). Beberapa bahan baku yang telah digunakan menggunakan bahan baku minyak nabati yang bersifat *edible oil* atau minyak yang dikonsumsi. Manfaat bahan tersebut sebagai bahan makanan dan bahan produksi poliester sebagai pelumas akan menyebabkan terjadinya kompetisi dari bahan baku *edible oil* tersebut. Sehingga diperlukan minyak nabati *non-edible* dengan potensi tinggi dan keberadaan yang sangat melimpah sebagai pengganti bahan baku poliester. Salah satu tanaman yang berpotensi sebagai bahan dasar sintesis poliester yaitu minyak biji jarak kepyar.

Tanaman jarak kepyar merupakan salah satu tanaman liar yang banyak ditemukan di Nusa Tenggara Barat, khususnya pulau Lombok. Jarak kepyar merupakan bahan nonkomersial yang dapat dimanfaatkan menjadi minyak nabati dan dapat dimanfaatkan menjadi sumber alternatif yaitu sumber energi terbarukan. Minyak biji jarak kepyar telah banyak dilaporkan pemanfaatannya sebagai pelumas nabati (Kamalakar, dkk., 2015). Jarak kepyar memiliki kandungan minyak sebesar 72% (Bekele, dkk., 2018) dan 43-53% (Omari, dkk., 2015) dari bobot bijinya. Minyak jarak diketahui mengandung asam lemak yang didominasi oleh asam risinoleat yaitu sebesar 83,5%-92,2 dan dipertegas kembali yaitu mengandung 91,06% asam risinoleat, 3,48% asam linoleat, 2,93% asam oleat, 0,91% asam stearat, 1% asam palmitat dan kurang dari 1% asam lemak linolenat (Bekele, dkk., 2018 dan Omari, dkk., 2015).

Poliolester disintesis melalui beberapa tahap reaksi yaitu epoksidasi, hidroksilasi, dan asetilasi polioliol (Said, dkk., 2017; Liu, dkk., 2014). Reaksi epoksidasi dan hidroksilasi akan menghasilkan senyawa polioliol melalui pembukaan cincin oksiran secara langsung (Sihotang, dkk., 2019) yaitu alkohol sintesis sebagai senyawa antara pembuatan poliolester (Danova, dkk., 2015). Senyawa polioliol selanjutnya disintesis menjadi senyawa poliolester dengan reaksi asetilasi. Reaksi asetilasi akan menyebabkan gugus karboksil $-(COOH)$ dan gugus hidroksil $-(OH)$ pada senyawa polioliol akan disubstitusi menjadi gugus $-(COOR)$ dan gugus $-(OR)$ yaitu ester. Pada reaksi ini, akan dibantu dengan keberadaan katalis.

Metode yang digunakan pada sintesis senyawa poliolester bervariasi tergantung dari sifat reaktan dan katalis yang digunakan untuk reaksi. Dalam suatu reaksi, diperlukan katalis yang bertujuan untuk mempercepat reaksi. Sintesis poliolester sebelumnya telah dilakukan secara enzimatik (Zhu, dkk., 2020) dan katalis asam oleh Du dkk., (2012) namun kekurangannya menghasilkan reaksi samping serta karbonisasi dan viskositas yang sangat tinggi bahkan hampir menjadi fase padat. Jadi digunakan katalis lain yaitu katalis heterogen yang bersifat mudah dipisahkan dari produk, lebih selektif, murah dan ramah lingkungan (Sienkiewicz dan Czub, 2016). Salah satu katalis heterogen yang telah digunakan dalam sintesis poliolester yaitu katalis bentonit. Sintesis poliolester dengan katalis bentonit sebelumnya telah dilakukan oleh Juwita dkk. (2021) dengan minyak sawit dan Said dkk. (2017) pada minyak jagung dengan bervariasi jumlah katalis bentonit, suhu, dan waktu, menghasilkan konversi poliolester sebesar 38,41% dengan 3% katalis dan 48,69% dengan 2% katalis. Konversi poliolester yang didapatkan berbeda-beda sesuai dengan bahan dan perbedaan jumlah katalis yang digunakan.

Penggunaan jumlah katalis bentonit mempengaruhi hasil % konversi reaksi atau jumlah ester pada poliolester. Berat katalis yang berbeda akan menghasilkan konversi poliolester yang berbeda, sehingga diperlukan penentuan penggunaan berat katalis yang tepat untuk proses asetilasi polioliol yang baik. Sintesis poliolester dari minyak biji jarak kepyar telah dilakukan oleh Haerani dkk. (2023) dengan jumlah katalis bentonit 2% mendapatkan konversi sebesar 82,94%, namun perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dalam perbedaan jumlah katalis dalam menghasilkan konversi yang maksimal. Penelitian ini akan mengkaji “Pengaruh Penggunaan Katalis Bentonit pada Sintesis Poliolester dari Minyak Biji Jarak Kepyar (*Ricinus Cimmunus L*)”. Sintesis senyawa poliolester akan dilakukan dengan mengkondisikan jumlah katalis bentonit yaitu 1%, 2% dan 3% untuk mengetahui % konversi tertinggi yang dihasilkan.

MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimental dengan beberapa rangkaian percobaan. Penelitian ini berlangsung dari bulan Februari sampai bulan Oktober 2023 dan dilaksanakan di Laboratorium Kimia Lanjut Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian yaitu, alat sokletasi, kolom kromatografi vakum, *rotary evaporator*, *magnetic stirrer*, *water bath*, *hot plate*, kondensor, timbangan analitik, Chamber, statif, timbangan analitik, labu leher tiga, thermometer, corong pisah, piknometer, viskometer ostwald, alat spektrofotometer FTIR (parkin Elmer Spectrum Two, USA) dan alat gelas pada umumnya. Sedangkan bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu, biji jarak kepyar, aquades, *n*-heksana, dietil eter, asam format 90%, hidrogen peroksida 30%, asam sulfat pekat, NaHCO₃ 2 M, asam asetat anhidrat, amilum 1%, minyak jarak komersil, *silica gel*, plat KLT, NaOH 0,1 N, NaOH 2 M, Na₂SO₄ anhidrat, H₂SO₄, NaHCO₃, metanol 96%, etanol 96%, indikator fenofthalein 1%, CCl₄, pereaksi wijs, larutan KI 20%, Na₂S₂O₃ 0,1 N, metanol 96%, etanol 96%, katalis bentonit, KOH 0,5 N, KOH alkoholis 0,5 N, HCl 0,5 N, asam asetat: kloroform (3:2), piridin:asam asetat anhidrat (35:3).

Prosedur Kerja

1. Proses sintesis poliolester

Sintesis poliolester dilakukan dengan 3 tahap yaitu pembuatan polioliol dengan reaksi epoksidasi dan hidroksilasi. Minyak jarak yang didapatkan dari proses sokhletasi direaksikan dengan 60 ml asam format, 30 ml H₂O₂ dan 2 ml H₂SO₄ yang dimasukkan kedalam labu leher 3 dengan pengaduk magnetic stirrer pada suhu 40°C-50°C selama 1 jam. Kemudian sebanyak 50 mL (51,02 g) minyak dimasukan melalui corong penetes secara perlahan-lahan. Suhu tetap dipertahankan yaitu 40-50°C sambil diaduk selama 2 jam. Sampel didiamkan selama satu malam sehingga terbentuk 2 fase. Kedua fase dipisahkan, lalu fase organik dilarutkan dalam 150 mL dietil eter. Lapisan eter yang terbentuk dicuci menggunakan 25 mL NaOH 2 M dan akan terbentuk dua fase kembali. Fase organik ditambahkan 25 mL aquades sebanyak 3 kali dalam keadaan mendidih. Setelah pencucian lalu dikeringkan dengan menambahkan Na₂SO₄ anhidrat kemudian disaring. Filtrat yang diperoleh diuapkan melalui *rotary evaporator* untuk mendapatkan senyawa polioliol.

senyawa polioliol hasil reaksi sebelumnya direaksikan sebanyak 60 ml dan asam asetat anhidrat 97% sebanyak 6 ml serta penambahan katalis. Penelitian ini menggunakan katalis bentonit, setiap katalis divariasikan konsentrasi yang digunakan yaitu sebesar 1 %, 2% dan 3% dari masa polioliol. Sebelumnya, katalis diaktivasi terlebih dahulu selama 6 jam dengan suhu 450 °C untuk memperluas permukaannya. Senyawa polioliol dipanaskan sampai mencapai suhu 60 °C selama 30 menit. Hasil reaksi dipisahkan dari katalisnya dengan kertas saring. Hasil penyaringan ditambahkan aquades sebanyak 200 mL. Hasil campuran senyawa asetilasi dinetralisasi dengan larutan NaHCO₃ untuk menghilangkan asam asetatnya, didiamkan selama 1 hari dan dipisahkan asetil anhidrat yang didapatkan.

2. Karakterisasi minyak, polioliol dan poliolester

a. Penentuan bilangan iod

Penentuan bilangan iod dilakukan berdasarkan AOAC (2000) yang telah dimodifikasi. Minyak dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL sebanyak 0,1 g lalu 15 mL karbon tetraklorida (CCl₄) dan 25 mL preaksi Wijs ditambahkan. Campuran disimpan dalam ruang bebas cahaya selama 30 menit pada suhu kamar dengan sesekali di kocok. Ke dalam Erlenmeyer 10 mL larutan KI (20 % v/v) dan 100 mL aquades yang telah dididihkan, ditambahkan lalu dititrasi dengan larutan Na₂S₂O₃ 0,1 N secara perlahan. Titrasi dilakukan hingga didapatkan warna kuning hampir hilang atau kuning pucat. Selanjutnya, sampel ditambahkan 4 mL amilum dan dititrasi kembali sampai warna biru menghilang. Nilai bilangan iod dihitung dengan persamaan:

$$\text{Bilangan Iod} = \frac{(V_B - V_S) \times N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 12,69}{m}$$

dengan V_B adalah volume titrasi blanko, V_S adalah volume titrasi sampel, m adalah jumlah sampel.

b. Penentuan bilangan hidroksil

Analisis bilangan hidroksil pada polioliol dan poliolester dilakukan dengan metode ASTM E1899-08. Sampel sebanyak 0,5 g minyak dimasukkan kedalam erlenmeyer 100 mL. Penambahan 4 mL reagen asetilasi (piridin: asam asetat anhidrat) 35:3 dan dilakukan pemanasan mencapai suhu 90°C selama dua jam. Campuran didinginkan dan ditambahkan aquades 6 mL. Campuran didiamkan selama 24 jam dan ditambahkan 3-4 tetes indikator fenofthalein 1%. Nilai bilangan hidroksil dihitung dengan persamaan:

$$\text{Bilangan Hidroksil} = \frac{(V_B - V_S) \times N \text{ KOH} \times 56,1}{m}$$

HASIL DAN DISKUSI

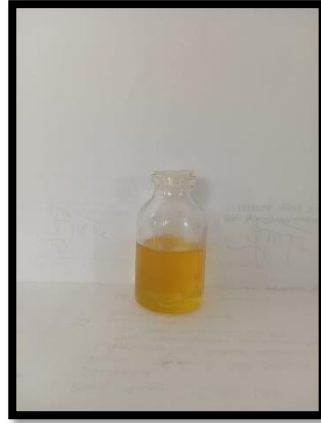
Sintesis poliol dilakukan dengan reaksi epoksidasi dan dilanjutkan dengan reaksi hidrosilasi sehingga menjadi poliol. Reaksi epoksidasi merupakan reaksi pembukaan ikatan rangkap yang diikuti dengan penambahan gugus oksigen dengan asam performat membentuk cincin oksiran. Reaksi ini dilakukan dengan mereaksikan asam lemak tak jenuh dari minyak dan asam peracid. Asam peracid yang dibutuhkan direaksikan secara *insitu* dari reaksi antara senyawa asam format dengan hidrogen peroksida dengan bantuan katalis asam sulfat (H_2SO_4). Asam format sebagai gugus asam karboksilat digunakan pada proses epoksidasi berperan sebagai pembawa oksigen aktif (Mausaroh dan Purwanto, 2019) sedangkan hidrogen peroksida akan mengoksidasi ikatan rangkap menjadi gugus oksiran dengan menyumbangkan oksigennya. Senyawa peracid akan mengganggu ikatan rangkap yang terdapat dalam minyak sehingga dapat dengan mudah membentuk gugus oksiran sebelum dihidrosilasi membentuk senyawa poliol (Anya dkk., 2014). Gugus hidroksil yang terdapat dalam paracid akan bertindak sebagai elektrofil yang akan menyerang ikatan rangkap yang terdapat pada minyak sehingga menghasilkan senyawa epoksida dengan reaksi samping berupa asam format (Triwulandari dkk., 2014).

Minyak terepoksidasi tersebut selanjutnya mengalami pembukaan cincin epoksi dengan air membentuk gugus -OH dengan reaksi hidrosilasi menghasilkan poliol (Ifa, dkk., 2012). Proses ini membutuhkan pelarut karena memiliki karapatan atau kekentalan yang cukup tinggi yaitu dengan pelarut dietil eter. Lapisan eter yang terbentuk selanjutnya dinetralkan dengan NaOH dan aquades. Penenetralkan bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa asam lemak dan asam format dari reaksi sebelumnya. Penggunaan asam sulfat pada proses epoksidasi menyebabkan terjadinya protonisasi senyawa epoksida yang bereaksi dengan nukleofilik dari aquades membentuk H_3O^+ sehingga dapat membuka cincin pada gugus oksiran dan bereaksi menghasilkan poliol (Triwulandari, dkk., 2014). Aquades pada proses hidrosilasi berperan sebagai pembawa proton H^+ kemudian bereaksi dengan gugus O pada cincin oksiran membentuk dihidroksil.

Lapisan yang berwarna kuning keruh dibagian atas merupakan lapisan organik dan lapisan putih keruh dibagian bawah merupakan campuran air dan sisa reaktan. Poliol yang didapatkan yaitu berupa cairan berwarna kuning kental. Poliol yang didapatkan setelah pemisahan pelarut berwarna kuning keruh sesuai dengan penelitian oleh Lonescu dkk. (2016), poliol minyak biji jarak kepyar berwarna coklat terang atau kuning.



(a)



(b)

Gambar 1 (a) Proses hidroksilasi membentuk polioliol (b) Polioliol

Perhitungan persen konversi polioliol dilakukan berdasarkan perbandingan hasil pengujian bilangan iod dari minyak menjadi polioliol, semakin rendah bilangan iod maka semakin besar pula persentasinya yang didapatkan. (Suhendra, dkk., 2013). Persentase konversi yang tinggi menunjukkan telah terbukanya seluruh alkena pada asam lemak minyak menjadi polioliol. Berdasarkan hasil perhitungan persen konversi polioliol dengan bilangan iod pada penelitian ini sebesar 89,49%, lebih kecil dibandingkan persentase yang dilaporkan oleh Haerani dkk. (2023) yaitu sebesar 91,43% dan Lonescu dkk. (2016) sebesar 96,3% dari minyak biji jarak kepyar. Namun, lebih tinggi dibandingkan penelitian oleh Danova dkk. (2015) mendapatkan konversi sebesar 70,71% dan Suhendra dkk. (2013) yang menghasilkan persen konversi sebesar 66,67%.

Polioliol merupakan senyawa rantai panjang membentuk polimer dengan senyawa ester. Sintesis polioliol umumnya dapat dilakukan dengan reaksi esterifikasi (Liu, dkk., 2014; Kamalakamar, dkk 2015; Padmaja, dkk., 2012), namun baru-baru ini polioliol juga dapat disintesis melalui reaksi asetilasi (Said, dkk., 2017 dan Juwita, dkk 2022). Reaksi asetilasi merupakan lanjutan dari sintesis polioliol, polioliol dengan gugus OH akan tersubstitusi dengan gugus OR membentuk polioliol ester. Reaksi asetilasi dilakukan dengan reagen asam asetat anhidrat. Asam asetat berfungsi sebagai agen *acetylation* pada gugus hidroksil menjadi gugus ester dengan bantuan katalis. Katalis digunakan bertujuan untuk mempercepat reaksi dan mendapatkan persentase konversi yang tinggi. Katalis diaktivasi dengan pemanasan pada suhu 450 °C menggunakan oven selama 6 jam untuk memperluas permukaan katalis sehingga proses mengkatalisis maksimal (Said, dkk., 2017). Pada penelitian ini, jumlah katalis bentonit divariasikan yaitu 1%, 2%, dan 3% dari senyawa polioliol terhadap hasil sintesis polioliol ester. Katalis bentonit yang digunakan pada penelitian ini dapat dikatakan berperan sebagai katalis dalam proses pembentukan senyawa polioliol ester yang disebut reaksi asetilasi pada polioliol.

Poliolester yang didapatkan dicuci dengan aquades dan NaHCO_3 yang bertujuan untuk mendapatkan pH netral. Pencucian dilakukan karena pada produksi poliolester akan menghasilkan campuran produk mentah berupa FAME (Fatty Acid Methyl Ester) yang tidak bereaksi membentuk gugus ester.



(a)

(b)

Gambar 2 (a) Proses asetilasi dari poliolester (b) Poliolester

Konversi poliolester dihitung berdasarkan perbandingan bilangan hidroksil polioliol dengan bilangan hidroksil poliolester. Terjadinya penurunan bilangan hidroksil yang dipengaruhi oleh jumlah katalis yang digunakan. Semakin banyak katalis maka akan semakin banyak pula yang bereaksi membentuk poliolester. Selain itu, waktu reaksi dan suhu juga berpengaruh terhadap kereaktifan katalis sehingga berpengaruh terhadap hasil reaksi produk. Penurunan bilangan hidroksil disebabkan oleh konversi gugus hidroksil menjadi senyawa asetil melalui proses asetilasi (Juwita, dkk., 2021). Jadi, berdasarkan hal tersebut semakin kecil bilangan hidroksil pada poliolester akan semakin besar pula konversi poliolesternya.

Berdasarkan perhitungan konversi poliolester dengan jumlah katalis bentonit 1% mendapatkan konversi sebesar 7,02%, 2% katalis bentonit menghasilkan konversi sebesar 32,14% dan dengan 3% katalis menghasilkan konversi sebesar 40,47%. Hal ini menunjukkan konversi tertinggi poliolester diperoleh dengan menggunakan 3% katalis bentonit. Hal ini terjadi karena interaksi aktivitas katalis dengan reaktan dan gugus hidroksil, semakin banyak molekul yang terhubung dengan reaktan semakin banyak reaktan yang bereaksi membentuk produk. Penambahan jumlah katalis akan semakin meningkatkan zat-zat pereaksi sehingga memperbesar peluang reaktan saling bertumbukan. Peningkatan konsentrasi katalis menghasilkan peningkatan konversi, sesuai dengan penelitian oleh Juwita dkk. (2021) pada variasi katalis bentonit sintesis poliolester minyak sawit mendapatkan variasi tertinggi dengan 3% katalis menghasilkan konversi sebesar 38,97%. Berbeda dengan optimasi poliolester oleh

Said dkk. (2017) yang mendapatkan konversi tertinggi dengan 2% katalis bentonit mendapatkan konversi sebesar 48,67%.

KESIMPULAN

Jumlah katalis bentonit 3% pada sintesis poliester minyak biji jarak kepyar mendapatkan konversi sebesar 40,47% yang dihitung berdasarkan perbandingan bilangan hidroksil polioliol dan poliester yang menandakan gugus hidroksil (OH) pada polioliol telah tersubstitusi menjadi ester (COOR). Hasil karakterisasi poliester berupa penurunan bilangan hidroksil dan bilangan iod yaitu 140,36 mgKOH/g dan 10,152 gI₂/100g mengindikasikan poliester telah terbentuk.

DAFTAR PUSTAKA

- Anya, A. U., Isa, M. T., Musa, S. H., Adagbe, & Shittu. (2014). A Review of Processes Used In Polyol Synthesis from Vegetable Oils. *Scholars Academic Journal of Biosciences*, 2(2), 141–143. <https://www.researchgate.net/publication/303810603>
- AOAC. (n.d.). *Official Method Cd 3d-63, Am2-93. (1995). Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society, Champaign, IL, USA: AOCS Press.*
- AOAC 17th edition. (2000). *Official Method 920. 159 – Iodine Absorption Number of Oils and Fats / I.S.I Handbook of Food analysis (Part XIII), 1984; 76.*
- AOCS (2003c). (n.d.). *AOCS Official Method Cd 3-25, 2003. Official Methods and Recommended Practices of the AOCS. 5th edn. American Oil Chemist's Society Champaign, Illinois.*
- Bekele, B. A., Ourgessa, A. W., Terefe, A. A., & Hailu, S. S. (2018). Studies on Ethiopian Castor Seed (*Ricinus communis* L.): Extraction and Characterization of Seed Oil. *Journal of Natural Products and Resources*, 4(2), 188–190. <https://doi.org/10.30799/jnpr.064.18040204>
- Da Silva, J. A. C., Habert, A. C., & Freire, D. M. G. (2013). A potential biodegradable lubricant from castor biodiesel esters. *Lubrication Science*, 25(1), 53–61. <https://doi.org/10.1002/lis.1205>
- Danova, A., Tarigan, D., & Akkas, D. E. (2015). Pembuatan Senyawa Polioliol sebagai Bahan Dasar Pelumas melalui Reaksi Epoksidasi dan Hidroksilasi Minyak Biji Kelor (*Moringa oleifera*). *Prosiding Seminar Tugas Akhir FMIPA UNMUL*, 53–57.
- Diana Susanti, A., Budi Sediawan, W., & Kompiang Wirawan, S. (2017). Penentuan Pelarut untuk Adsorpsi Oryzanol dari Minyak Bekatul dengan Investigasi Kromatografi Lapis Tipis (Thin Layer Chromatography). *Equilibrium*, 16(2). <http://equilibrium.ft.uns.ac.id>
- Du, X., Sun, H., Wu, Y., Zhou, J., Tan, X., Zhang, D., & Zhang, H. (2012). Synthesis of tung oil anhydride-ester polyol. *Advanced Materials Research*, 418–420, 693–697. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.418-420.693>
- Fernandes, K. V., Papadaki, A., da Silva, J. A. C., Fernandez-Lafuente, R., Koutinas, A. A., & Freire, D. M. G. (2018). Enzymatic Esterification of Palm Fatty-Acid Distillate for The

- Production of Polyol Esters with Biolubricant Properties. *Industrial Crops and Products*, 116, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.058>
- Gala, S. (2011). Sintesa Polioli dari Minyak Sawit dengan Reaksi Epoksidasi dan Hidroksilasi The Polioli Sithesis from Sawit Oil with Epoksidasion and Hidroksilasion Reaction. *Jurnal Chemica*, 12(2), 36–43.
- Haerani, Suhendra, D., Ryantin Gunawan, E., & Murniati. (2023). *Sintesis Senyawa Poliiolester Minyak Jarak Kepyar (Ricinus communis L.) sebagai Bahan Dasar Pelumas Sintetik*.
- Hakim, A., & Mukhtadi, E. (2017). Pembuatan Minyak Biji Karet Dari Biji Karet Dengan Menggunakan Metode Screw Pressing: Analisis Produk Penghitungan Rendemen, Penentuan Kadar Air Minyak, Analisa Densitas, Analisa Viskositas, Analisa Angka Asam Dan Analisa Angka Penyabunan. *METANA*, 13(1), 13–22.
- Ifa, L., Kalla, R., Rasyidin, M. F., & Natsir, R. W. (2020). Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi Hidrogenasi Pembuatan Bahan Pelunak Kompon Karet Dari Minyak Jarak. *Journal of Chemical Process Engineering*, 5(2), 30–36.
- Ifa, L., Sumarno, susianto, & Mahfud. (2012). Model Kinetika Reaksi Pembentukan Polyoli Berbasis Minyak Sawit. *Reaktor*, 14(1), 1–8.
- Juwita, M., Faizal, M., Said, M., Prianto, J., Hartawan, R. A., & Aprianti, N. (2021). Synthesis of Crude Palm Oil-Based Polyoli Ester as Biolubricant. *REKAYASA*, 19(2), 62–74. <https://doi.org/10.15294/rekayasa.v19i2.36292>
- Kamalakar, K., Mahesh, G., Prasad, R. B. N., & Karuna, M. S. L. (2015). A novel methodology for the synthesis of acyloxy castor polyoli esters: Low pour point lubricant base stocks. *Journal of Oleo Science*, 64(12), 1283–1295. <https://doi.org/10.5650/jos.ess15133>
- Liu, C., Liu, J., Ma, L., & Rong, L. (2014). Preparation of novel high-temperature polyoli esters from vegetable oils. *Journal of Chemistry*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/802732>
- Lonescu, M., Radojčić, D., Wan, X., Shrestha, M. L., Petrović, Z. S., & Upshaw, T. (2016). Highly functional polyols from castor oil for rigid polyurethanes. *European Polymer Journal*, 84, 736–749. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2016.06.006>
- Mausaroh, & Purwanto, W. (2019). Tinjauan Termodinamika Dan Kesetimbangan Kimia dalam Hubungan Perubahan Suhu Terhadap Konversi Reaksi Epoksidasi Asam Oleat Berbasis Sawit. *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat LPPM UMJ*, 1–11. <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaskat>
- Mubofu, E. B. (2016). Castor oil as a potential renewable resource for the production of functional materials. *Sustainable Chemical Processes*, 4(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40508-016-0055-8>
- Omari, A., Mgani, Q. A., & Mubofu, E. B. (2015). Fatty Acid Profile and Physico-Chemical Parameters of Castor Oils in Tanzania. *Green and Sustainable Chemistry*, 05(04), 154–163. <https://doi.org/10.4236/gsc.2015.54019>
- Padmaja, K. V., Rao, B. V. S. K., Reddy, R. K., Bhaskar, P. S., Singh, A. K., & Prasad, R. B. N. (2012). 10-Undecenoic Acid-Based Polyoli Esters as Potential Lubricant Base Stocks. *Industrial Crops and Products*, 35(1), 237–240. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.07.005>

- Prianto, J., Said, M., Faizal, M., Hartawan, R. A., Juwita, M., Rosdiana, F., & Kunci, K. (2022). Sintesis Polioliol sebagai Senyawa Intermediate pada Pembuatan Biolubricant dari Minyak Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Kimia*, 28(2), 68–75. <https://doi.org/10.36706/jtk.v28i2.1067>
- Rihayat, T., & Mashura. (2018). Pelapis Poliuretan Berbasis Minyak Jarak dan Bentonit Sebagai Ketahanan Panas. *Jurnal Reaksi (Journal of Science and Technology)*, 16(2), 1–10.
- Rochmat, A., Dudayev Alfaruqi, A., Saefuri, & suaedah. (2019). Sintesis Esterifikasi- Transesterifikasi Biolubrikan Berbasis Minyak Jarak (*Jatropha Curcas L*) dengan Katalis Asam Klorat. *Jurnal Integrasi Proses*, 8(2), 65–69. <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip>
- Rochmat, A., Nurhanifah, A. H., Parviana, Y., & suaedah. (2018). Biolunrication Synthesis Made From Used Cooking Oil and Bayah Natural Zeolite Catalyst. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 3, 113–117.
- Said, M., Agustria, & Utama, D. A. (2017). Sintesis Poliolester Melalui Reaksi Asetilasi Senyawa Polioliol Minyak Jagung. *Jurnal Teknik Kimia*, 23(3), 199–207.
- Salimon, J., Salih, N., & Yousif, E. (2010). Biolubricants: Raw materials, chemical modifications and environmental benefits. In *European Journal of Lipid Science and Technology* (Vol. 112, Issue 5, pp. 519–530). <https://doi.org/10.1002/ejlt.200900205>
- 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), 40–44.
- Sienkiewicz, A. M., & Czub, P. (2016). The unique activity of catalyst in the epoxidation of soybean oil and following reaction of epoxidized product with bisphenol A. *Industrial Crops and Products*, 83, 755–773. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.11.071>
- Sihotang, H., Ginting, M., & Nadeak, M. E. A. (2019). Synthesis of Polyurethane from Diphenyl Methane 4,4 Diisocyanate (Mdi) Polymerization with Hydroxilated Avocado Oil Polyol. *Journal of Chemical Natural Resources*, 01(01), 19–30.
- Singh, I., Samal, S. K., Mohanty, S., & Nayak, S. K. (2020). Recent Advancement in Plant Oil Derived Polyol-Based Polyurethane Foam for Future Perspective: A Review. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 122(3), 1–43. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201900225>
- Siskayanti, R., & Kosim, E. (2017). Analisis Pengaruh Bahan Dasar terhadap Indeks Viskositas Pelumas Berbagai Kekentalan. *Jurnal Rekayasa Proses*, 11(2), 94–100.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2015). *Mutu dan Metode Uji Minyak Nabati Murni untuk Bahan Bakar Motor Diesel Putaran Sedang*. Dewan Standarisasi Nasional.
- Sudrajat, R., yulita, I. R., & Setiawan, D. (2010). Pembuatan Polioliol Dari Minyak Jarak Pagar Sebagai Bahan Baku Poliuretan (Polyol Manufacturing from *Jatropha curcas L*. Oil as Raw Material for Polyurethane). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 28(3), 231–240.
- Suhendra, D., Solehah, A., Asnawati, D., & Gunawan, E. R. (2013). Sintesis Poliuretan dari Asam Lemak Teroksidasi Minyak Inti Buah Nyamplung Melalui Proses Polimerisasi Menggunakan Toluena Diisosiyanat. *Chem. Prog*, 6(2), 62–69.