

Studi Perbandingan Sifat Mekanis Vulkanisat Karet Menggunakan Plasticizer Minyak Jelantah Epoksi Dan Komersil

Andri Saputra¹, Pani Satwikanitya^{2*}, Muh Wahyu Sya'bani³, Mertza Fitra Agustian⁴,
Fitria Puspita⁵, Putra Oktavianto⁶

^{1,2,3,4}Program Studi Pengolahan Karet dan Plastik, Politeknik ATK Yogyakarta, Yogyakarta
55187, Indonesia

⁵Program Studi Kimia Analisis, Politeknik AKA Bogor, Jawa Barat 16154, Indonesia

⁶Pusat Riset Teknologi Daur Bahan Bakar Nuklir dan Limbah Radioaktif, KST BJ Habibie Gd
20, Tangerang Selatan, Banten 15313, Indonesia

Email: *pani.satwikanitya@atk.ac.id

Received 15 April 2023 | Revised 20 April 2023 | Accepted 1 Mei 2023

ABSTRAK

Tingginya jumlah minyak jelantah yang tersedia sebagai limbah menjadi tantangan terbesar. Asam lemak tak jenuh yang terdapat dalam minyak jelantah memiliki potensi sebagai bahan baku pembuatan *plasticizer* minyak epoksi. Di sisi lain, pengembangan *plasticizer* terbarukan berbasis bahan alam untuk menggantikan *plasticizer* fosil telah menjadi perhatian banyak peneliti karena isu menipisnya bahan baku minyak bumi, masalah lingkungan, hingga isu kesehatan yang ditimbulkan oleh *plasticizer* fosil. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perbandingan sifat mekanis vulkanisat karet yang menggunakan *plasticizer* minyak jelantah epoksi terhadap *plasticizer* komersil (minyak parafinik dan minyak kedelai epoksi). Minyak jelantah yang masih mengandung asam lemak tak jenuh diproses epoksidasi dengan metode refluks (60°C selama 4 jam) menggunakan pelarut n-heksane, katalis asam asetat glasial dan resin amberlit IR-120, dan oksigen donor hidrogen peroksida. Minyak jelantah epoksi dikarakterisasi gugus oksiran menggunakan spektrofotometer FTIR dan bilangan oksiran menggunakan metode titrasi. *Plasticizer* minyak jelantah epoksi, minyak parafinik, dan minyak kedelai epoksi diaplikasikan pada kompon karet dan diuji sifat mekanis vulkanisat karet menggunakan mesin *universal testing machine*. Hasil penelitian menunjukkan spektra FTIR minyak jelantah epoksi memperlihatkan keberadaan vibrasi peregangan gugus epoksi (C-O-C) pada puncak 1240 cm⁻¹ dan bilangan oksiran 2,24%. Hasil pengujian vulkanisat menggunakan *plasticizer* minyak jelantah epoksi (EUCO) memiliki nilai kekuatan tarik, kekuatan sobek, dan ketahanan kikis yang lebih unggul dibandingkan vulkanisat menggunakan *plasticizer* minyak parafinik (PO). Hal tersebut menunjukkan bahwa minyak jelantah epoksi mampu menggantikan *plasticizer* berbasis minyak bumi, seperti minyak parafinik (PO). Kekuatan sobek dan ketahanan kikis vulkanisat yang menggunakan EUCO lebih tinggi dibandingkan vulkanisat yang menggunakan minyak kedelai epoksi (ESO), meskipun kekuatan tariknya lebih rendah, sehingga mengindikasikan bahwa minyak jelantah epoksi yang disintesis dapat memberikan kinerja yang cukup baik sebagai *plasticizer* karet, sebanding dengan minyak epoksi komersial, seperti minyak kedelai epoksi.

Kata kunci: Minyak jelantah epoksi, *Plasticizer* komersil, Sifat mekanis, Vulkanisat.

ABSTRACT

The high volume of waste cooking oil is one of the biggest obstacles. Unsaturated fatty acids in waste cooking oil have the potential as a raw material for producing plasticizer of epoxy oil. The development of renewable plasticizers based on natural materials to replace petroleum plasticizers has become the concern of many researchers due to the issue of depletion of petroleum raw materials, environmental problems, and health issues caused by petroleum plasticizers. This research aims to study the comparison of mechanical properties of vulcanized rubber using plasticizer of epoxy waste cooking oil to commercial plasticizers (paraffinic oil and epoxy soybean oil). Waste cooking oil containing unsaturated fatty acids was epoxidized by reflux method (60°C for 4 hours) using n-hexane as solvent, glacial acetic acid and IR-120 amberlite resin as catalyst, and hydrogen peroxide as oxygen donor. The epoxy cooking oil was characterized for oxirane groups using FTIR spectrophotometer and oxirane number using titration method. Epoxy waste cooking oil, paraffinic oil, and epoxy soybean oil were applied to rubber compounds and tested for mechanical properties of vulcanized rubber using a universal testing machine. The results showed that the FTIR spectra of epoxy waste cooking oil showed the presence of epoxy group stretching vibrations (C-O-C) at a peak of 1240 cm⁻¹ and an oxirane number of 2.24%. The test results of vulcanizates using epoxy waste cooking oil (EUCO) have superior tensile strength, tear strength, and scrape resistance values compared to vulcanizates using paraffinic oil (PO). This shows that epoxy waste cooking oil can replace petroleum-based plasticizers, such as paraffinic oil (PO). The tear strength and scrape resistance of the vulcanizates using EUCO were higher than those using epoxy soybean oil (ESO), although the tensile strength was lower, thus indicating that the synthesized epoxy waste cooking oil can provide quite good performance as a rubber plasticizer, comparable to commercial epoxy oils, such as epoxy soybean oil.

Keyword: Commercial plasticizer, Epoxy waste cooking oil, Mechanical properties, Vulcanized rubber.

1. INTRODUCTION

Penggunaan *plasticizer* mengalami peningkatan setiap tahun karena dapat diaplikasikan di berbagai industri. Konsumsi *plasticizer* sekitar 5 juta ton setiap tahun di Cina, di mana *plasticizer* fosil menyumbang 75% dari total konsumsi *plasticizer*. Namun, belakangan ini industri mulai beralih dari *plasticizer* berbasis fosil ke *plasticizer* terbarukan karena isu menipisnya bahan baku minyak bumi [1-2], masalah lingkungan, hingga isu kesehatan [3-4]. Oleh karena itu, pengembangan *plasticizer* terbarukan berbasis bahan alam (*bioplasticizer*) untuk menggantikan *plasticizer* fosil telah menjadi perhatian banyak peneliti. *Bioplasticizer* berasal dari biomassa, seperti produk pertanian. Minyak nabati, pati dan selulosa, serta asam sitrat merupakan sumber bahan baku *bioplasticizer*. Sifat *bioplasticizer* antara lain tidak beracun, memiliki kompatibilitas yang baik, efisiensi tinggi, tidak mudah bermigrasi keluar dari polimer, dan murah [5].

Minyak nabati dapat diubah menjadi monomer teroksidasi yang dapat dipolimerisasi dengan cara epoksidasi. Minyak nabati terepoksidasi dapat digunakan sebagai *plasticizer* dan penstabil dalam polimer. Hal ini disebabkan minyak nabati yang terepoksidasi memiliki gugus fungsional epoksida [6]. Minyak nabati yang digunakan harus memiliki kandungan asam lemak tak jenuh atau asam lemak yang memiliki ikatan rangkap pada strukturnya agar dapat diperoleh senyawa epoksi [7]. Sintesis minyak epoksi dari berbagai macam minyak nabati telah dilakukan, seperti menggunakan minyak kedelai [8], minyak biji rami [9], minyak kanola [10], minyak jarak [11], minyak karanja [12], minyak biji kapas [13], minyak rapa [14], minyak sawit [15]. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan minyak bekas pemakaian atau penggorengan dari minyak sawit, yaitu minyak jelantah.

Jumlah limbah minyak jelantah yang tersedia dari berbagai pihak yang menggunakan minyak goreng di Indonesia adalah sekitar 4 juta ton per tahun [16]. Meningkatnya jumlah minyak jelantah dapat menimbulkan permasalahan akibat kurangnya pemanfaatan. Beberapa literatur menyatakan bahwa

limbah minyak goreng sejauh ini telah dikembangkan pemanfaatannya sebagai bahan baku pembuatan sabun dan biodiesel [17-18]. Eksplorasi lebih lanjut terkait pemanfaatan minyak jelantah perlu dilakukan. Salah satu alternatif yang dapat digunakan yaitu memanfaatkan minyak jelantah sebagai bahan baku pembuatan senyawa epoksi.

Minyak jelantah mengandung asam oleat 22,64%, asam linoleat 52,68%, asam linolenat 2,60% yang merupakan asam lemak tak jenuh dan asam palmitat 17,34%, asam stearat 4,21% yang merupakan asam lemak jenuh [19]. Asam lemak tak jenuh yang cukup tinggi pada minyak jelantah memiliki potensi sebagai bahan baku pembuatan minyak epoksi. Sintesis epoksi dari minyak jelantah pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya menggunakan heksana sebagai pelarut, hidrogen peroksida, asam asetat glasial dan asam sulfat sebagai katalisnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu reaksi optimum adalah 300 menit dengan konsentrasi katalis 1,5% diperoleh bilangan iod sebesar 0,96 g I₂/100 g minyak jelantah [20]. Berbeda dengan penelitian terdahulu, katalis yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah asam asetat glasial dan resin amberlit IR-120. Penggunaan asam sateat glasial dan resin amberlit IR-120 sebagai katalis dalam proses epoksidasi minyak pernah digunakan, seperti untuk epoksidasi minyak kemiri [21] dan untuk epoksidasi minyak biji karet [22]. Resin amberlit IR-120 memiliki struktur siklik yang memiliki ikatan dengan beberapa oksigen. Selain itu, resin amberlit IR-120 memiliki harga yang murah dan mudah diperoleh di pasaran.

Minyak epoksi yang telah disintesis kemudian digunakan dalam formulasi kompon karet. Kompon karet terdiri dari bahan-bahan yang diformulasikan dengan jumlah tertentu, sehingga menghasilkan produk karet yang diinginkan. Material yang digunakan meliputi bahan baku karet, *filler*, *vulcanizing agent*, *accelerator*, *activator*, *plasticizer*, antioksidan, dan retarder [23]. Penelitian ini mempelajari karakteristik vulkanisat karet dengan *plasticizer* minyak jelantah terepoksi dan membandingkan kinerjanya terhadap vulkanisat karet dengan *plasticizer* komersial seperti minyak kedelai epoksi dan minyak parafinik.

2. METHODOLOGY

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia, Workshop Karet, dan Laboratorium Pengujian Fisis Politeknik ATK Yogyakarta, dan Laboratorium Analisis Politeknik AKA Bogor.

Bahan yang digunakan untuk sintesis minyak jelantah epoksi antara lain minyak jelantah yang diperoleh dari masyarakat di lingkungan Politeknik ATK Yogyakarta, n-Heksana 98,5% No. CAS 110-54-3 (Merck), resin amberlit IR-120, asam asetat glasial 99,8% No. CAS 64-19-7 (Merck), hidrogen peroksida 30% No. CAS 7722-84-1 (Merck), dan akuades. Bahan yang digunakan untuk analisis bilangan oksiran minyak jelantah epoksi antara lain hidrogen bromida 47-49% No. CAS 10035-10-6 (Loba Chemie), asam asetat glasial 99,8% No. CAS 64-19-7 (Merck), dan indikator kristal violet. Bahan yang digunakan untuk pembuatan kompon karet seperti yang tertera dalam Tabel 1. Jumlah dari setiap bahan dalam formula dinyatakan dalam bagian seratus karet (bsk). *Plasticizer* komersil yang menjadi pembanding antara lain minyak kedelai epoksi dan minyak parafinik.

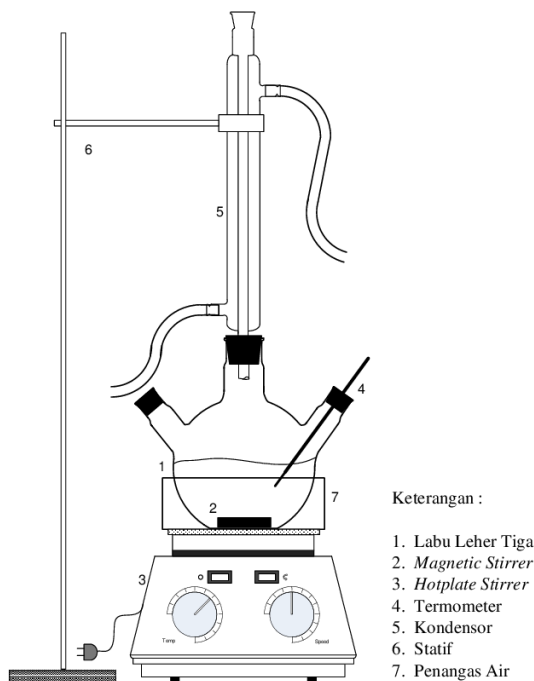
Tabel 1. Formula kompon karet

Bahan	Formulasi (bsk)		
	1	2	3
<i>Standard Indonesian Rubber</i> 20 (SIR 20)	35	35	35
<i>Styrene-Butadiene Rubber</i> (SBR) Indopol	35	35	35
<i>Butadiene Rubber</i> (BR)	30	30	30
Zink oksida C041605 HM Chemical Technology Co., Ltd.	3	3	3
Asam stearat DK-1838 Henan Yeedok Industry Co., Ltd.	2	2	2
Silika dioksida Zeosil 175MP Solvay	40	40	40
<i>Carbon black</i> N330 CAS No. 1333-86-4 Dimacolor Group	15	15	15
Minyak jelantah epoksi	5	-	-
Minyak parafinik CAS No. 8012-95-1 HQ Tech	-	5	-
Minyak kedelai epoksi CAS No. 8013-07-8 Hebei Tianhao-PA Co., Ltd.	-	-	5
2,2,4-trimethyl-1,2-dihydroquinoline (TMQ) CAS No. 26780-96-1 RICHON	2	2	2
n-cyclohexyl-2-benzothiazole sulfonamide (CBS) CAS No. 95-33-0 MAXTOP	1,5	1,5	1,5
1,3-diphenylguanidine (DPG)	0,5	0,5	0,5
Sulfur CAS No. 1326-66-7 OEM	1,8	1,8	1,8

Secara garis besar peralatan yang digunakan dalam studi ini antara lain alat refluks meliputi labu leher tiga yang dilengkapi kolom kondensor, termometer, pengaduk magnetik sekaligus pemanas, neraca analitik, corong pemisah atau alat sentrifugasi, gelas beker, erlenmeyer, bulpet, pipet ukur, sendok sungsung, aluminium foil, spektrofotometer FTIR PerkinElmer, mesin *two-roll mill* Y315H-6 LEADGO, *moving die rheometer* Gotech GT-M2000-AN, mesin *hot press molding* USMC CO KR, *durometer hardness tester shore A* Teclock GS-719G, termometer, *universal testing machine* (UTM) ETM-D, *din abrasion tester* DECCA DC-5611, *thickness gauge* digital TF-TGD030, dan gunting.

2.1 Sintesis minyak jelantah epoksi

Rangkaian alat pada proses epoksidasi seperti pada Gambar 1. Minyak jelantah 100 g dimasukkan ke dalam labu leher tiga dan ditambahkan n-heksana 20 g, asam asetat glasial 15,5 mL, resin amberlit IR-120 3,15 g. Campuran dipanaskan hingga mencapai suhu 50°C dan ditambahkan hidrogen peroksida 56 mL. Selama penambahan hidrogen peroksida, suhu campuran dipertahankan pada 50°C. Kemudian campuran direfluks selama 4 jam pada suhu 60°C. Minyak epoksi dipisahkan dari impuritasnya dengan menggunakan alat sentrifugasi.



Gambar 1. Rangkaian alat epoksidasi

2.2 Karakterisasi minyak jelantah epoksi

Pembentukan senyawa oksiran dan penurunan ikatan tak jenuh minyak jelantah epoksi dianalisis secara kualitatif menggunakan spektrofotometer FTIR PerkinElmer. Analisis dilakukan pada rentang panjang gelombang 4000-650 cm^{-1} .

Analisis bilangan oksiran hasil percobaan (OC_e) ditentukan menggunakan metode titrasi langsung (*direct titration*). Analisis bilangan oksiran dilakukan dengan mengambil 0,49 gr sampel yang ditambahkan 10 mL asam asetat glasial dan indikator kristal violet 3 tetes. Setelah itu campuran dititrasi dengan larutan hidrogen bromida 0,1 N sampai larutan menjadi warna dari ungu menjadi biru kemudian menjadi biru-hijau yang bertahan selama 30 detik. Saat titrasi digunakan buret mikro dan bagian atas buret ditutup dengan aluminium foil.

OC_e dihitung menggunakan Persamaan 1, dimana V merupakan volume hidrogen bromida yang dipakai pada titrasi sampel (mL), K merupakan normalitas hidrogen bromida, dan G merupakan berat sampel minyak (gram).

$$\text{OC}_e (\%) = \frac{V \times K}{G} \times 1,60 \quad (1)$$

2.3 Pembuatan vulkanisat karet

Bahan baku ditimbang sesuai dengan formulasi kompon yang tertera pada Tabel 1. SIR 20, SBR Indopol, dan BR dimastikasi selama 10-15 menit menggunakan mesin giling terbuka (*two-roll mill*) hingga karet lunak. Karet yang telah lunak ditambahkan silika dioksida dan *carbon black* sedikit demi sedikit dan diselingi dengan penambahan *plasticizer*. Lembaran karet yang ada di dinding mesin giling disobek dan digulung di beberapa sisi agar silika dioksida dan *carbon black* terdispersi dan terdistribusi lebih optimal pada lembaran karet. Karet ditambahkan zink oksida, asam stearat, dan TMQ sedikit demi sedikit sambil digiling hingga tercampur homogen. Lembaran karet yang ada pada dinding mesin giling disobek dan digulung kembali di beberapa sisi agar bahan terdispersi dan terdistribusi lebih optimal

pada lembaran karet. Lembaran karet ditambahkan CBS, DPG, dan sulfur sedikit demi sedikit sambil lembar karet terus digiling, disobek, dan digulung kembali pada mesin giling hingga diperoleh kompon karet yang homogen. Selama proses komponding suhu dijaga tidak lebih dari 80°C untuk menghindari terjadinya pengusangan dini (*scorching*). Lalu, kompon karet didinginkan pada suhu ruang.

Penamaan kompon dan vulkanisat karet dilakukan berdasarkan jenis *plasticizer* yang digunakan, yaitu minyak jelantah epoksi/*epoxidized waste cooking oil* (EUCO), minyak kedelai epoksi/*epoxidized soybean oil* (ESO), dan minyak parafinik/*paraffinic oil* (PO).

Kompon karet dilakukan uji rheologi menggunakan mesin rheometer untuk mengetahui waktu dan suhu pencetakan. Kompon karet dicetak menggunakan plat tipis (tebal 2 mm) dan plat tebal (16 mm) dalam mesin cetakan tekan panas (*hot press molding*) menggunakan parameter waktu dan suhu seperti yang tertera pada Tabel 2. Plat tipis digunakan untuk menghasilkan vulkanisat karet untuk spesimen uji kekuatan tarik, kekuatan sobek, dan perpanjangan putus. Plat tebal digunakan untuk menghasilkan vulkanisat karet untuk spesimen uji kekerasan dan indeks abrasi.

Tabel 2. Parameter pencetakan kompon karet

No.	Kode Kompon dan Vulkanisat Karet	Plat Tebal		Plat Tipis	
		Suhu (°C)	Waktu (Menit:Detik)	Suhu (°C)	Waktu (Menit:Detik)
1	EUCO	150	5:11	150	18:25
2	ESO	150	3:22	150	11:58
3	PO	150	3:18	150	11:44

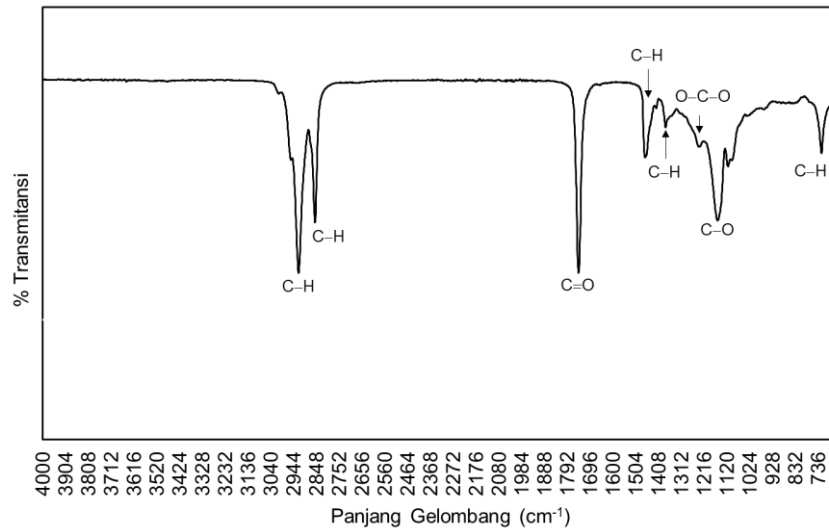
2.4 Pengujian sifat mekanik vulkanisat karet

Uji kekuatan tarik dan perpanjangan putus vulkanisat karet menggunakan mesin UTM mengacu pada SNI 778:2017. Uji kekuatan sobek vulkanisat karet menggunakan mesin UTM mengacu pada ISO 34-1-2015. Pengukuran indeks abrasi vulkanisat karet menggunakan *din abrasion tester* mengacu pada ISO 4649-2010. Pengukuran kekerasan vulkanisat karet menggunakan durometer shore A mengacu pada ASTM D2240. Data yang dihasilkan pada penelitian ini merupakan nilai rata-rata dari replikasi 3 kali percobaan.

3. RESULT AND DISCUSSION

3.1 Karakteristik minyak jelantah epoksi

Konversi asam lemak tak jenuh pada minyak jelantah menjadi oksiran (gugus epoksi) dan gugus lainnya telah dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR. Spektra FTIR minyak jelantah epoksi seperti terlihat pada Gambar 2.



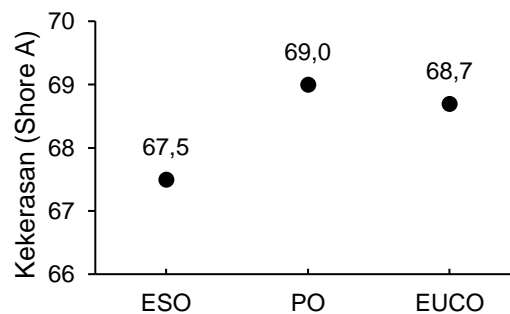
Gambar 2. Spektra FTIR minyak jelantah epoksi

Spektra FTIR memperlihatkan keberadaan vibrasi peregangan gugus epoksi (C-O-C) pada puncak 1240 cm⁻¹. Vibrasi gugus epoksi (C-O-C) pada puncak 1240 cm⁻¹ juga ditemukan dalam penelitian yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya [24-25]. Berdasarkan analisis menggunakan spektrofotometer FTIR diperkirakan bahwa sintesis epoksi dari minyak jelantah telah berhasil dilakukan.

Hasil analisis dengan metode titrimetri diketahui bahwa minyak jelantah epoksi memiliki bilangan oksiran sebesar 2,24% dan konversi oksiran sebesar 78,73%. *Plasticizer* digunakan pada tahap mastikasi karet. Pada mastikasi terjadi pemutusan rantai molekul oleh tenaga mekanis mesin *two-roll mill* menjadi radikal-radikal bebas. Peran oksigen oksiran pada *plasticizer* adalah menghalangi terjadinya penggabungan kembali rantai-rantai molekul karet yang terputus, sehingga diperoleh karet yang lebih lunak dan mudah untuk ditambahkan bahan aditif seperti bahan pengisi, sulfur, dan sebagainya. Selain itu, *plasticizer* memberikan efek pelumasan pada kompon, sehingga distribusi bahan aditif dapat dilakukan dengan baik dan diperoleh kompon yang seragam (homogen).

3.2 Kekerasan vulkanisat karet

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengukur besarnya nilai kekerasan vulkanisat karet. Nilai kekerasan semakin besar menunjukkan bahwa karet semakin tidak elastis [26]. Jenis *plasticizer* yang ditambahkan pada kompon karet mempengaruhi sifat mekanik vulkanisat [27]. Hasil penelitian dalam Gambar 3 membuktikan bahwa jenis *plasticizer* (ESO, PO, EUCO) yang ditambahkan pada kompon karet memberikan sifat kekerasan vulkanisat yang berbeda-beda.

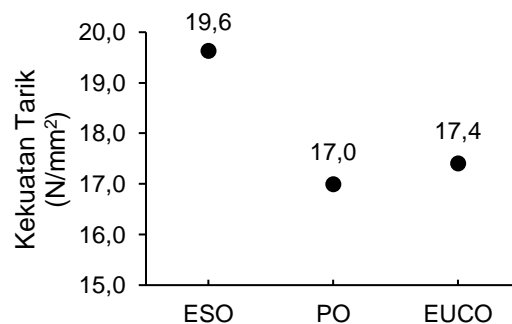


Gambar 3. Pengaruh *plasticizer* terhadap kekerasan vulkanisat karet

Penggunaan minyak epoksi EUCO dan ESO sebagai *plasticizer* memberikan nilai kekerasan vulkanisat yang lebih rendah dibandingkan penggunaan *plasticizer* non-epoksi, seperti pada PO. Hasil penelitian ini mendukung studi sebelumnya yang menyatakan bahwa kekerasan vulkanisat yang menggunakan *plasticizer* minyak yang terepoksi lebih rendah dibandingkan menggunakan *plasticizer* non-epoksi (dioktil ftalat atau DOP) [28]. Meskipun jenis *plasticizer* non-epoksi yang digunakan berbeda dengan yang digunakan oleh Kinasih and Cefriadi (2014), namun PO dan DOP sama-sama tergolong dalam *plasticizer* non-epoksi. Minyak epoksi EUCO dan ESO mengandung gugus oksiran yang dihasilkan dari proses epoksidasi. Gugus oksiran akan berikatan dengan ikatan rangkap pada rantai poliisoprene karet, sehingga ikatan rangkap tersebut putus. Adanya pemutusan ikatan rangkap menyebabkan vulkanisat menjadi lebih elastis [29]. Karena vulkanisat EUCO dan ESO lebih elastis dibanding PO, maka menghasilkan vulkanisat EUCO dan ESO dengan kekerasan yang lebih rendah dibanding PO. Hal ini mendukung yang disampaikan oleh peneliti sebelumnya yang menyatakan bahwa semakin keras vulkanisat menunjukkan vulkanisat tersebut semakin tidak elastis [26].

3.3 Kekuatan tarik vulkanisat karet

Kekuatan tarik memperlihatkan besarnya gaya yang dapat ditahan karet sebelum karet tersebut putus. Kekuatan tarik menggambarkan beban maksimum yang dapat diterima oleh karet. Penambahan *plasticizer* mempengaruhi kekuatan tarik vulkanisat karet [27]. Hasil penelitian yang disajikan dalam Gambar 4 menampakkan karet dengan *plasticizer* minyak epoksi (EUCO dan ESO) memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan karet dengan *plasticizer* non-epoksi (PO). Kekuatan tarik yang lebih tinggi menandakan distribusi bahan aditif yang lebih homogen dan ikatan silang yang terbentuk lebih baik [30]. Hal ini memperlihatkan minyak epoksi (EUCO dan ESO) memiliki efektivitas sebagai *plasticizer* yang lebih tinggi dibandingkan *plasticizer* non-epoksi (PO). Penggunaan *plasticizer* menurunkan viskositas dan mempermudah pergerakan molekul karet, sehingga meningkatkan kemampuan proses karet, menurunkan kebutuhan energi dan mempersingkat waktu komponding [31].

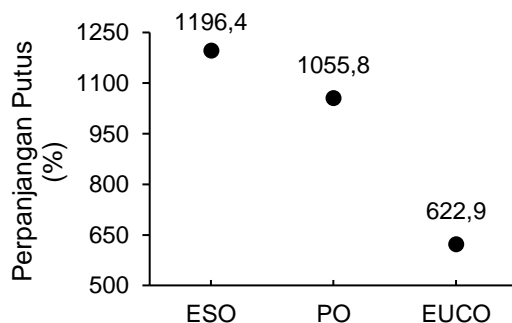


Gambar 4. Pengaruh *plasticizer* terhadap kekuatan tarik vulkanisat karet

Pada proses vulkanisasi terjadi pembentukan ikatan silang. Penggunaan *plasticizer* minyak epoksi dapat mendispersikan bahan aditif dengan baik, sehingga meningkatkan pembentukan ikatan silang. Derajat ikatan silang lebih besar menunjukkan peningkatan kekuatan tarik dan menurunkan perpanjangan putus [32]. Bahan aditif dapat tersebar merata di antara molekul karet dan terjadi interaksi antara keduanya. Pada saat yang bersamaan terbentuk jaringan tiga dimensi dari reaksi antara sulfur dengan karet yang menyebabkan ikatan semakin kuat, sehingga sifat mekanik karet meningkat. Kekuatan tarik menunjukkan elastisitas karet ketika diregangkan, sehingga nilainya berbanding terbalik dengan kekerasan. Semakin tinggi nilai kekerasan, maka kekuatan tarik vulkanisat karet semakin rendah [28].

3.4 Perpanjangan putus vulkanisat karet

Perpanjangan putus menggambarkan besarnya pertambahan panjang suatu material yang dapat dicapai sebelum material tersebut putus. Perpanjangan putus memperlihatkan keuletan, elastisitas, dan fleksibilitas bahan dengan adanya peregangan hingga putus [33]. Penggunaan jenis *plasticizer* yang berbeda mempengaruhi perpanjangan putus vulkanisat karet [34]. Hasil penelitian yang disajikan dalam Gambar 5 menunjukkan bahwa karet dengan *plasticizer* minyak jelantah epoksi (EUCO) memiliki perpanjangan putus yang lebih rendah dibandingkan karet dengan *plasticizer* komersil (ESO dan PO).



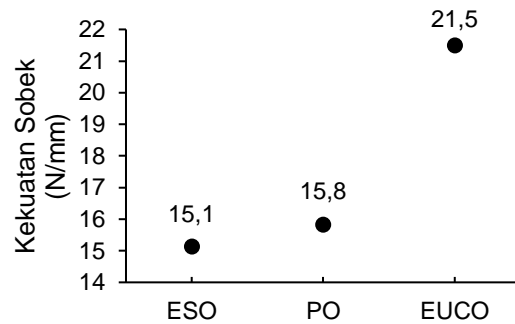
Gambar 5. Pengaruh *plasticizer* terhadap perpanjangan putus vulkanisat karet

EUCO memperlihatkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan PO. Pada umumnya, material dengan kekuatan tarik tinggi cenderung memiliki perpanjangan putus yang rendah. Kekuatan tarik merupakan kemampuan material untuk menahan tarikan, sedangkan elongasi merupakan kemampuan material untuk meregang tanpa putus. Material dengan kekuatan tarik tinggi biasanya memiliki struktur molekul yang kuat dan kaku, sehingga tahan terhadap deformasi. Hal itu menunjukkan bahwa material tersebut memiliki perpanjangan putus atau keuletan yang rendah [35]. Perpanjangan putus yang lebih rendah dapat terjadi karena adanya interaksi antara bahan aditif dengan molekul karet yang menyebabkan karet menjadi kaku, sehingga ketahanan ketika diregangkan menjadi rendah [36].

ESO memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan disertai perpanjangan putus yang tinggi. ESO bersifat sangat elastis. Ketika diregangkan, rantai polimer mampu mengendur dan menghasilkan peningkatan pertambahan panjang. ESO juga memiliki derajat ikatan silang yang tinggi, sehingga kekuatannya tinggi. Namun demikian, tingginya kuat tarik dan perpanjangan putus pada karet dapat bervariasi, tergantung jenis karet dan bahan aditif yang digunakan. Derajat ikatan silang, jenis *filler*, kondisi pemrosesan dan vulkanisasi juga dapat mempengaruhi sifat mekanik karet [30].

3.5 Kekuatan sobek vulkanisat karet

Ketahanan sobek merupakan besarnya gaya yang dibutuhkan untuk menyobek spesimen uji sampai putus. Nilai ketahanan sobek semakin besar menunjukkan bahwa daya tahan terhadap sobekan karet semakin baik. Hasil penelitian yang disajikan dalam Gambar 6 memperlihatkan bahwa penggunaan minyak jelantah epoksi sebagai *plasticizer* karet (EUCO) menghasilkan kekuatan sobek yang lebih tinggi dibandingkan *plasticizer* komersil (ESO dan PO). Hal ini kemungkinan disebabkan minyak jelantah epoksi berperan sebagai *coupling agent* yang memiliki kemampuan untuk berinteraksi pada *interface* karet dan filler, sehingga meningkatkan sifat mekanik vulkanisat karet [37].

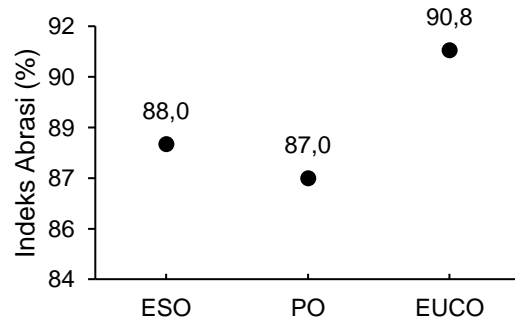


Gambar 6. Pengaruh *plasticizer* terhadap kekuatan sobek vulkanisat karet

Penambahan *plasticizer* mempengaruhi sifat mekanik karet karena memberikan dampak pada ikatan antar molekul dalam karet. Bahan aditif menempati ruang antar molekul karet dan menyebabkan perbedaan nilai kekuatan sobek. Kekuatan sobek berkaitan erat dengan ikatan antar molekul, ikatan silang, dan tingkat kerapatan molekul karet. Selain itu, jenis karet dan bahan aditif menentukan daya ikat antar molekul yang mengarah pada sifat vulkanisat karet. Formulasi material yang digunakan mempengaruhi intensitas rantai polimer dalam membentuk ikatan [38].

3.6 Indeks abrasi vulkanisat karet

Pengujian indeks abrasi bertujuan untuk mengetahui ketahanan kikis dari vulkanisat yang digesekkan pada ampelas kikis. Vulkanisat dengan indeks abrasi tinggi berarti memiliki ketahanan abrasi yang tinggi juga. Sebaliknya jika indeks abrasi rendah maka produk yang dihasilkan akan mudah aus. Hasil penelitian yang disajikan dalam Gambar 6 memperlihatkan bahwa jenis *plasticizer* (ESO, PO, EUCO) yang ditambahkan pada kompon karet memberikan sifat abrasi vulkanisat yang berbeda-beda.



Gambar 7. Pengaruh *plasticizer* terhadap indeks abrasi vulkanisat karet

Vulkanisat dengan *plasticizer* EUCO memiliki ketahanan abrasi yang lebih tinggi dibandingkan karet dengan *plasticizer* komersil (ESO dan PO). Indeks abrasi material memiliki korelasi terhadap nilai kekerasannya. Material yang memiliki kekerasan yang tinggi memiliki ketahanan abrasi yang tinggi juga [39]. Jika melihat hasil dalam Gambar 3 terlihat bahwa vulkanisat EUCO memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan vulkanisat ESO. Hasil ini juga sejalan dengan indeks abrasi vulkanisat dalam Gambar 7 yang menyatakan bahwa vulkanisat EUCO memiliki indeks abrasi yang lebih tinggi dibanding vulkanisat ESO. Ketahanan kikis merupakan sifat penting yang harus dimiliki produk karet. Berdasarkan hasil uji abrasi ini terlihat bahwa penggunaan minyak jelantah epoksi sebagai *plasticizer* karet (EUCO) dapat menghasilkan barang jadi karet yang tidak mudah aus atau tidak mudah terkikis.

4. CONCLUSION

Hasil pengujian vulkanisat menggunakan *plasticizer* minyak jelantah epoksi (EUCO) memiliki nilai kekuatan tarik, kekuatan sobek, dan ketahanan kikis yang lebih unggul dibandingkan vulkanisat menggunakan *plasticizer* minyak parafinik (PO). Hal tersebut menunjukkan bahwa minyak jelantah epoksi mampu menggantikan *plasticizer* berbasis minyak bumi, seperti minyak parafinik (PO). Kekuatan sobek dan ketahanan kikis vulkanisat yang menggunakan EUCO lebih tinggi dibandingkan vulkanisat yang menggunakan minyak kedelai epoksi (ESO), meskipun kekuatannya lebih rendah, sehingga mengindikasikan bahwa minyak jelantah epoksi yang disintesis dapat memberikan kinerja yang cukup baik sebagai *plasticizer* karet, sebanding dengan minyak epoksi komersial, seperti minyak kedelai epoksi.

REFERENCES

- [1] S. Chuepeng and C. Komintarachat, "Interesterification optimization of waste cooking oil and ethyl acetate over homogeneous catalyst for biofuel production with engine validation," *Applied Energy*, vol. 232, pp. 728–739, 2018, doi: [10.1016/j.apenergy.2018.09.085](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.085).
- [2] Y. Xiong *et al.*, "Solid alcohol based on waste cooking oil: Synthesis, properties, micromorphology and simultaneous synthesis of biodiesel," *Waste Management*, vol. 85, pp. 295–303, 2019, doi: [10.1016/j.wasman.2018.12.036](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.12.036).
- [3] K. Peng *et al.*, "Systematic comparison of hydrogen production from fossil fuels and biomass resources," *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, vol. 10, no. 6, pp. 192–200, 2017, doi: [10.25165/j.ijabe.20171006.2990](https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20171006.2990).
- [4] T. Zheng *et al.*, "Structural modification of waste cooking oil methyl esters as cleaner plasticizer to substitute toxic dioctyl phthalate," *Journal of Cleaner Production*, vol. 186, pp. 1021–1030, 2018, doi: [10.1016/j.jclepro.2018.03.175](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.175).
- [5] S. S. Muobom, A.-M. S. Umar, A.-P. Brolin, and Y. Soongseok, "A Review on Plasticizers and Eco-Friendly Bioplasticizers: Biomass Sources and Market," *IJERT*, vol. 9, no. 5, pp. 1138–1144, Jun. 2020, doi: [10.17577/IJERTV9IS050788](https://doi.org/10.17577/IJERTV9IS050788).
- [6] S. G. Tan and W. S. Chow, "Biobased Epoxidized Vegetable Oils and Its Greener Epoxy Blends: A Review," *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. 49, no. 15, pp. 1581–1590, 2010, doi: [10.1080/03602559.2010.512338](https://doi.org/10.1080/03602559.2010.512338).
- [7] M. Murniati, E. R. Gunawan, D. Suhendra, D. Asnawati, and P. Qurba, "Synthesis of Epoxy Compounds from Nyamplung Oil Fatty Acids (*Calophyllum inophyllum* L.)," *J.Ris.Kim.*, vol. 13, no. 1, pp. 89–99, Mar. 2022, doi: [10.25077/jrk.v13i1.447](https://doi.org/10.25077/jrk.v13i1.447).
- [8] V. Thulasiraman, S. Rakesh, and M. Sarojadevi, "Synthesis and characterization of chlorinated soy oil based epoxy resin/glass fiber composites," *Polym. Compos.*, vol. 30, no. 1, pp. 49–58, 2009, doi: [10.1002/pc.20532](https://doi.org/10.1002/pc.20532).
- [9] G. Wuzella, A. R. Mahendran, U. Müller, A. Kandelbauer, and A. Teischinger, "Photocrosslinking of an Acrylated Epoxidized Linseed Oil: Kinetics and its Application for Optimized Wood Coatings," *J Polym Environ*, vol. 20, no. 4, pp. 1063–1074, 2012, doi: [10.1007/s10924-012-0511-9](https://doi.org/10.1007/s10924-012-0511-9).
- [10] X. Kong, T. S. Omonov, and J. M. Curtis, "The development of canola oil based bio-resins," *Lipid Technology*, vol. 24, no. 1, pp. 7–10, 2012, doi: [10.1002/lite.201200167](https://doi.org/10.1002/lite.201200167).

- [11] S.-J. Park, F.-L. Jin, and J.-R. Lee, "Effect of Biodegradable Epoxidized Castor Oil on Physicochemical and Mechanical Properties of Epoxy Resins," *Macromol. Chem. Phys.*, vol. 205, no. 15, pp. 2048–2054, 2004, doi: [10.1002/macp.200400214](https://doi.org/10.1002/macp.200400214).
- [12] A. Kadam, M. Pawar, O. Yemul, V. Thamke, and K. Kodam, "Biodegradable biobased epoxy resin from karanja oil," *Polymer*, vol. 72, pp. 82–92, 2015, doi: [10.1016/j.polymer.2015.07.002](https://doi.org/10.1016/j.polymer.2015.07.002).
- [13] S. Dinda, A. V. Patwardhan, V. V. Goud, and N. C. Pradhan, "Epoxidation of cottonseed oil by aqueous hydrogen peroxide catalysed by liquid inorganic acids," *Bioresource Technology*, vol. 99, no. 9, pp. 3737–3744, 2008, doi: [10.1016/j.biortech.2007.07.015](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.07.015).
- [14] S. Arumugam and G. Sriram, "Synthesis and characterization of rapeseed oil bio-lubricant dispersed with nano copper oxide: Its effect on wear and frictional behavior of piston ring–cylinder liner combination," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, vol. 228, no. 11, pp. 1308–1318, 2014, doi: [10.1177/1350650114535384](https://doi.org/10.1177/1350650114535384).
- [15] A. J. Clark and S. S. Hoong, "Copolymers of tetrahydrofuran and epoxidized vegetable oils: application to elastomeric polyurethanes," *Polym. Chem.*, vol. 5, no. 9, pp. 3238–3244, 2014, doi: [10.1039/C3PY01527K](https://doi.org/10.1039/C3PY01527K).
- [16] H. Adhari, Yusnimar, and S. P. Utami, "Pemanfaatan minyak jelantah menjadi biodiesel dengan katalis ZnO presipitan zinc karbonat: Pengaruh waktu reaksi dan jumlah katalis," *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, vol. 3, no. 2, pp. 1–7, 2016.
- [17] K. Handayani, M. Kanedi, S. Farisi, and W. A. Setiawan, "Pembuatan Sabun Cuci Dari Minyak Jelantah Sebagai Upaya Mengurangi Limbah Rumah Tangga," *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat TABIKPUN*, vol. 2, no. 1, pp. 55–62, 2021, doi: [10.23960/jpkmt.v2i1.25](https://doi.org/10.23960/jpkmt.v2i1.25).
- [18] E. Permana, M. Naswir, M. E. T. Sinaga, H. Alfairuz, and SD. S. Murti, "Kualitas biodiesel dari minyak jelantah berdasarkan proses saponifikasi dan tanpa saponifikasi," *Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 6, no. 1, p. 26, 2020, doi: [10.31884/jtt.v6i1.244](https://doi.org/10.31884/jtt.v6i1.244).
- [19] T. F. Adepoju and O. Olawale, "Acid catalyzed esterification of waste cooking oil with high FFA for biodiesel production," vol. 21, pp. 80–85, 2014, [Online]. Available: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/CPER/article/view/12175/12528>
- [20] Y. Listiana, H. R. Tampubolon, and M. S. Sinaga, "Effect of catalyst concentration and reaction time to epoxy production from waste cooking oil," *J. Teknik Kimia*, vol. 6, no. 3, pp. 28–33, 2017, doi: [10.32734/jtk.v6i3.1586](https://doi.org/10.32734/jtk.v6i3.1586).
- [21] Rahmaniar, G. Priyanto, and B. Hamzah, "Rubber Gompounding With Epoxy Gandlenut Oil Addition," *Dinamika Penelitian BIPA*, vol. 20, no. 35, pp. 59–68, 2009, [Online]. Available: <https://repository.unsri.ac.id/12798/>
- [22] Rahmaniar and H. A. Prasetya, "Epoxy Rubber Seed Oil As A Softener Agent For Radiator Seal Production Epoxidized Rubber Seeds Oil As A Softener Agent For Radiator Seals," *Jurnal Riset Industril*, vol. V, no. 1, pp. 71–78, 2011, [Online]. Available: <http://litbang.kemenperin.go.id/jriXX/article/view/82/83>
- [23] B. Rodgers, *Rubber Compounding: Chemistry and Applications*. United States: CRC Press, 2015.

- [24] A. Salih *et al.*, “Synthesis of Radiation Curable Palm Oil–Based Epoxy Acrylate: NMR and FTIR Spectroscopic Investigations,” *Molecules*, vol. 20, no. 8, pp. 14191–14211, Aug. 2015, doi: [10.3390/molecules200814191](https://doi.org/10.3390/molecules200814191).
- [25] A. M. Sienkiewicz and P. Czub, “The unique activity of catalyst in the epoxidation of soybean oil and following reaction of epoxidized product with bisphenol A,” *Industrial Crops and Products*, vol. 83, pp. 755–773, May 2016, doi: [10.1016/j.indcrop.2015.11.071](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.11.071).
- [26] D. Daud, “Caolin as filler substitute in rubber compounding: the effects of size and quantity towards physico-mechanic properties,” *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, vol. 26, no. 1, 2015, doi: [10.28959/jdpi.v26i1.701](https://doi.org/10.28959/jdpi.v26i1.701).
- [27] Nasruddin, “Studi pengaruh komposit bahan pelunak terhadap sifat mekanik vulkanisat karet alam SIR-20,” *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, vol. 30, no. 1, pp. 65–76, 2019, [Online]. Available: http://litbang.kemenperin.go.id/dpi/article/view/5292/pdf_69
- [28] N. A. Kinasih and A. Cefriadi, “The Characteristic of Pure Epoxidized *Jatropha Curcas* (*Jatropha curcas* L.) Oil as NBR Vulcanizate Plasticizer,” *International Journal of Natural Rubber Research*, vol. 32, no. 2, pp. 198–205, 2014, doi: [10.22302/ppk.jpk.v32i2.165](https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v32i2.165).
- [29] J. Thomas, *Desain Kompon*. Bogor: Balai Penelitian Teknologi Karet, 2003.
- [30] K. Sahakaro, C. Pongpaiboon, and C. Nakason, “Improved mechanical properties of NR/EPDM blends by controlling the migration of curative and filler via reactive processing technique,” *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 111, no. 4, pp. 2035–2043, 2009, doi: [10.1002/app.29193](https://doi.org/10.1002/app.29193).
- [31] S. Puspitasari, A. Cifriadi, K. Krisnawati, and T. T. Irawadi, “Reaksi transfer hidrogenasi minyak jarak kastor serta aplikasinya sebagai bahan pelunak kompon karet,” *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, vol. 32, no. 2, p. 85, 2016, doi: [10.20543/mkpk.v32i2.1361](https://doi.org/10.20543/mkpk.v32i2.1361).
- [32] M. I. Fathurrohman and A. Ramadhan, “Sifat Mekanik Vulkanisat Campuran Karet Alam-Karet Polibutadien dengan Bahan Pengisi Organobentonit Tereksansi,” *Jurnal Penelitian Karet*, vol. 3, no. 1, pp. 65–74, 2015, doi: [10.22302/ppk.jpk.v33i1.172](https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v33i1.172).
- [33] H. Nabil, H. Ismail, and A. R. Azura, “Compounding, mechanical and morphological properties of carbon-black-filled natural rubber/recycled ethylene-propylene-diene-monomer (NR/R-EPDM) blends,” *Polymer Testing*, vol. 32, no. 2, pp. 385–393, 2013, doi: [10.1016/j.polymertesting.2012.11.003](https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2012.11.003).
- [34] M. Oktaviani, B. Santoso, and A. T. Bondan, “Pengaruh Penambahan Berbagai Minyak Nabati sebagai Bahan Pelunak terhadap sifat Fisik Produk Karet Sol Sepatu,” in *Prosiding Seminar Nasional II Hasil Litbangyasa Industri*, Palembang, 2019, vol. 2, pp. 120–128. [Online]. Available: <http://litbang.kemenperin.go.id/pmbp/article/view/5457>
- [35] W. D. Callister and D. G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering*, 10th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2018.
- [36] P. A. Egwaikhide, E. E. Akporhonor, and F. E. Okieimen, “Effect of coconut fibre filler on the cure characteristics physico-mechanical and swelling properties of natural rubber vulcanisates,” *International Journal of Physical Sciences*, vol. 2, no. 2, pp. 039–046, 2007, [Online]. Available: <https://academicjournals.org/journal/IJPS/article-full-text-pdf/7D99A2412877>

- [37] P. P. Kundu, “Improvement of filler-rubber interaction by the coupling action of vegetable oil in carbon black reinforced rubber,” *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 75, no. 6, pp. 735–739, 2000, doi: [10.1002/\(SICI\)1097-4628\(20000207\)75:6<735::AID-APP1>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(20000207)75:6<735::AID-APP1>3.0.CO;2-T).
- [38] Nasruddin and T. Susanto, “Study of the Mechanical Properties of Natural Rubber Composites with Synthetic Rubber Using Used Cooking Oil as a Softener,” *Indonesian Journal of Chemistry*, vol. 20, no. 5, p. 967, 2020, doi: [10.22146/ijc.42343](https://doi.org/10.22146/ijc.42343).
- [39] B. Setiyana, “Identifikasi sifat tribologi dari karet vulkanisir dengan menggunakan metode uji pin on disc,” in *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, Semarang, 2019, pp. 41–46. doi: [10.36499/psnst.v1i1.2818](https://doi.org/10.36499/psnst.v1i1.2818).