

PENGARUH PENAMBAHAN ADITIF BERBASIS MINYAK KELAPA SAWIT TERHADAP SIFAT MEKANIK KOMPOSIT KARET ALAM

The Effect of Oil Palm Based Rubber Additive to the Mechanical Properties of Natural Rubber Composite

Mili PURBAYA^{1*}, dan Sherly HANIFARIANTY²

¹Pusat Penelitian Karet
Jalan Raya Palembang – Pangkalan Balai KM 29
Sembawa, Banyuasin 30953, Sumatera Selatan
*Email: mp_plazoe2000@yahoo.com

²Balai Penelitian Teknologi Karet, Pusat Penelitian Karet
Jalan Salak Nomor 1 Bogor 16128 Jawa Barat

Diterima : 21 September 2020 / Disetujui : 21 Desember 2020

Abstract

Natural rubber has many advantages which cannot be found in synthetic rubber, such as high rebound resilience and tensile strength, good tear strength and abrasion resistance, better viscoelasticity, and flexibility at low temperature. On the other hand natural rubber also has several disadvantages such as low resistance to heat, ozone, and sunlight, weak oil and hydrocarbon solvents resistance. The content of unsaturated fatty acids in palm oil is relatively high, around 37-56% therefore palm oil is highly potential to be converted into dimer acid as the main ingredient in the synthesise of an bioelastomeric material. Test results of the experiment showed that the addition of palm oil based bioelastomer into rubber compound and vulcanizate increased the maximum torque, torque delta, hardness, tear strength, and compression set of the rubber. However it reduced the scorch time, optimum curing time, tensile strength, elongation at break, flex cracking resistance, and rebound resilience of the rubber. Thus, the oil resistance test result showed that B3 rubber compound formula (consisted of 7.5 phr palm oil based bioelastomer) has the smallest mass change value, therefore the rubber formula can be developed into oil resistant rubber based product.

Keywords: *Bioelastomer; mechanical properties; palm oil; rubber products*

Abstrak

Karet alam memiliki keunggulan yang tidak dimiliki oleh karet sintesis, seperti daya pantul, kuat tarik, ketahanan sobek, ketahanan abrasi, viskoselastisitas, dan fleksibilitas pada suhu rendah. Namun karet alam juga memiliki kelemahan seperti ketahanan terhadap panas, ozon, dan sinar matahari serta ketahanan terhadap minyak, minyak tanah dan pelarut hidrokarbon yang rendah. Kandungan asam lemak tidak jenuh dalam minyak kelapa sawit relatif tinggi, sekitar 37-56 % sehingga minyak kelapa sawit memiliki potensi dikonversikan menjadi asam dimer sebagai bahan utama dalam pembuatan bioelastomer. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan bioelastomer berbasis minyak kelapa sawit dapat meningkatkan nilai torsi maksimum, delta torsi, nilai kekerasan, kekuatan sobek, dan pampatan tetap dari kompon dan vulkanisat karet. Namun penambahan bioelastomer berbasis minyak kelapa sawit dalam kompon karet juga berakibat menurunkan waktu pra vulkanisasi, waktu pemasakan optimum, nilai tegangan putus, perpanjangan putus, ketahanan retak lentur, dan nilai kepegasan pantul. Hasil pengujian ketahanan minyak vulkanisat karet menunjukkan bahwa formula kompon karet B3 (mengandung 7,5 phr bioelastomer berbasis minyak kelapa sawit) memiliki nilai perubahan massa yang paling kecil sehingga berpotensi

dikembangkan menjadi produk barang jadi karet yang tahan terhadap minyak.

Kata Kunci: Barang jadi karet; bioelastomer; minyak kelapa sawit; sifat mekanik

PENDAHULUAN

Indonesia kaya akan sumber daya alam terutama di bidang perkebunan seperti perkebunan kelapa sawit. Hasil perkebunan kelapa sawit menempatkan Indonesia sebagai produsen kelapa sawit terbesar kedua di dunia setelah Malaysia. Perkebunan kelapa sawit menghasilkan *Crude Palm Oil (CPO)* yang umumnya diolah menjadi minyak sayur (*vegetable oil*). Minyak kelapa sawit memiliki kandungan asam lemak jenuh 44,7 – 53,2 % dan asam lemak tak jenuh 37 – 56 % (Ketaren, 1986). Tingginya kandungan asam lemak tidak jenuh pada minyak kelapa sawit memungkinkan minyak sawit diolah menjadi produk olahan yang bersumber dari *vegetable oil* seperti bioelastomer.

Elastomer merupakan salah satu jenis polimer yang memiliki sifat elastis (kenyal) seperti karet. Bioelastomer adalah elastomer yang bersumber dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui (*renewable*) dalam penelitian ini adalah minyak kelapa sawit. Biasanya elastomer bersumber dari minyak bumi yang tidak dapat diperbaharui sehingga menghasilkan karet sintesis, tetapi bioelastomer yang akan disintesis pada penelitian ini bersumber dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu minyak kelapa sawit.

Sintesis bioelastomer yang bersumber dari minyak nabati telah diteliti oleh Cordier *et al.* (2008) dan Montarnal *et al.* (2008) yang dalam percobaannya tidak menggunakan minyak nabati secara langsung, namun menggunakan turunan asam lemak (*fatty acid derivatives*). *Fatty dimer acid* disintesis menjadi karet yang

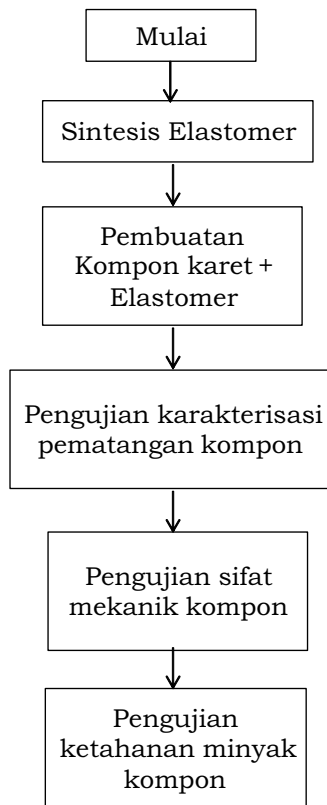
dapat memperbaiki diri sendiri (*self-healing ability*). Karet ini memiliki sifat elastis dan dapat disatukan kembali setelah diputuskan atau dirobek. Purbaya (2013) telah melakukan sintesis supramolekular polimer yang bersumber dari minyak bunga matahari, tetapi supramolekular polimer yang diperoleh hanya memiliki sifat *healing ability* yang rendah.

Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis bioelastomer bersumber dari minyak kelapa sawit. Bioelastomer berbasis kelapa sawit yang diperoleh kemudian dicampur dengan karet alam dalam pembuatan kompon karet alam, dan selanjutnya dianalisis sifat mekanik komposit karet alamnya. Tujuan dari penelitian ini difokuskan untuk menghasilkan barang jadi karet yang tahan terhadap minyak yang baik.

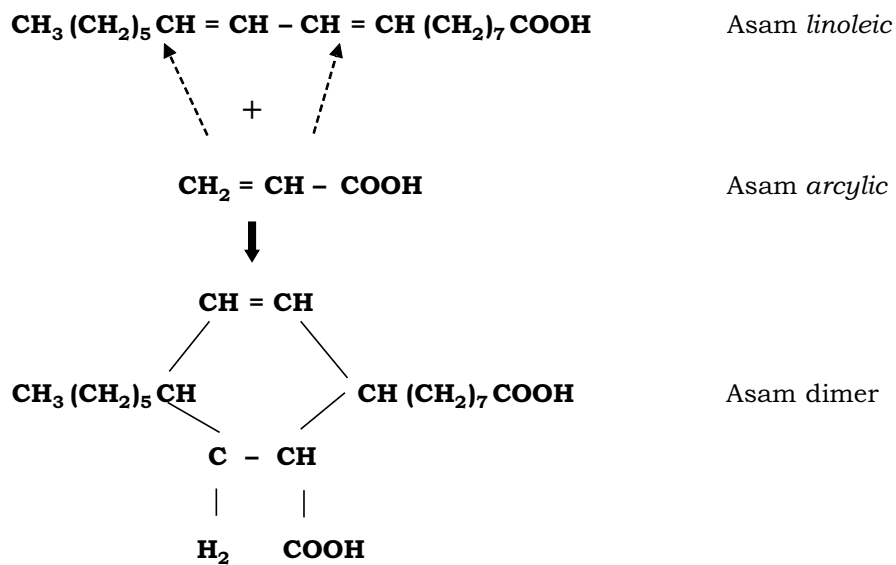
BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak kelapa sawit. Dalam penelitian ini, sintesis bioelastomer akan dilakukan dalam tiga tahap (Gambar 1). Tahap pertama yaitu pembuatan asam dimer dari minyak kelapa sawit. Asam dimer adalah asam yang memiliki dua gugus fungsional asam karboksilat (-COOH). Asam dimer dapat diperoleh dari reaksi *Diels-Alder* asam oleat atau asam linoleat. Gambar 2 adalah perkiraan mekanisme reaksi *Diels-Alder* antara asam linoleat (memiliki dua ikatan rangkap) dengan asam akrilat (satu ikatan rangkap) dalam menghasilkan asam dimer (Kadesch, 1979).

Tahap kedua sintesis bioelastomer adalah pembuatan oligoamida dari asam dimer dengan mereaksikan asam dimer dan *diethylenetriamine*. Tahap ketiga adalah sintesis bioelastomer dengan mereaksikan oligoamida dengan urea. Perkiraan reaksinya dapat dilihat pada Tabel 1.

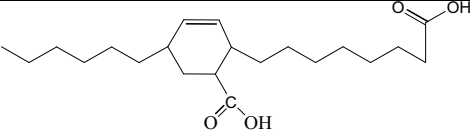
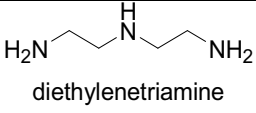
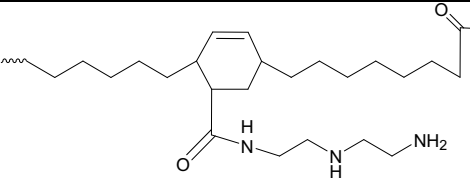
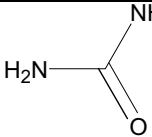
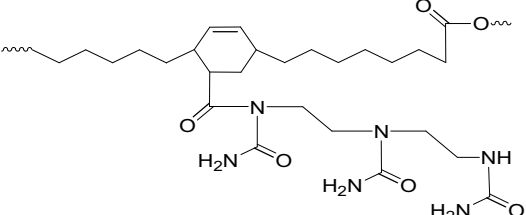


Gambar 1. Alur kerja penelitian
 Figure 1. Stages of research activities



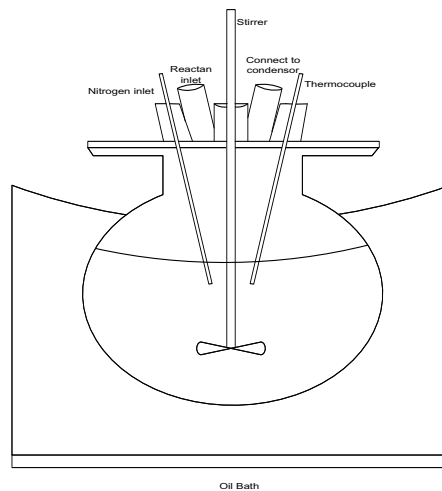
Gambar 2. Pembuatan asam dimer melalui reaksi Diels-Alder (Kadesch, 1979)
 Figure 2. Synthesize of dimer acid by using Diels-Alder reaction (Kadesch, 1979)

Tabel 1. Pembuatan oligoamida dan sintesis bioelastomer
 Table 1. Synthesize of oligoamide and bioelastomer

Reaktan Reactants	Produk Products
Pembuatan oligoamida	
 Dimer acid	 diethylenetriamine
Sintesis bioelastomer	
 Oligoamide	 urea
	Elastomer

Peralatan sintesis terdiri dari reaktor yang memiliki penutup berleher lima (Gambar 3), pengaduk mekanik, *heating mantle*, dan kondensor. Bahan yang akan digunakan terdiri dari minyak kelapa sawit, asam akrilat, *iodine*, *diethylenetriamine*, urea, kloroform, dan metanol. Penelitian ini dilakukan dari bulan Januari hingga Desember 2018. Pembuatan kompon karet

alam dengan penambahan bioelastomer berbasis minyak kelapa sawit sebagai aditif dilakukan di Laboratorium Teknologi Balai Penelitian Sembawa. Sedangkan pengujian karakteristik pematangan dan sifat mekanik sampel komposit karet dilakukan di Laboratorium Penguji, Balai Penelitian Teknologi Karet, Bogor.



Gambar 3. Peralatan sintesis bioelastomer
 Figure 3. Bioelastomer synthesis equipment

Tahapan Sintesis Bioelastomer Berbasis Minyak Kelapa Sawit

1. Pembuatan Asam Dimer

Minyak kelapa sawit terlebih dahulu dicampur dengan *iodine* kemudian diaduk dengan pengaduk mekanis pada suhu kamar. Banyaknya *iodine* yang ditambahkan adalah 0,1% dari berat minyak. Kemudian campuran dimasukkan ke dalam reaktor yang dilengkapi dengan kondensor, *thermocouple*, dan *dropping funnel* untuk menambahkan asam akrilat. Dosis penambahan asam akrilat dibuat bervariasi yaitu 12% dan 24% dari berat minyak nabati. Campuran dipanaskan pada suhu 230 - 250°C. Pada suhu 230°C, asam akrilat ditambahkan setetes demi setetes. Reaksi dilakukan selama 1- 2 jam. Setelah reaksi selesai, campuran didinginkan pada suhu kamar.

2. Pembuatan Oligoamida

Oligoamida diperoleh dengan mereaksikan asam dimer dengan *diethylenetriamine* (DETA) di dalam reaktor yang dilengkapi dengan kondensor, *thermocouple*, pengaduk mekanis dan nitrogen inlet. Dosis DETA yang digunakan adalah 50% dari berat asam dimer. Campuran oligoamida dan DETA dipanaskan sampai suhu 120°C dengan dialirkan gas nitrogen sampai campuran menjadi transparan. Suhu campuran kemudian dinaikkan sampai suhu 160°C selama 6 - 7 jam sambil dialiri gas nitrogen. Campuran yang diperoleh didinginkan pada suhu kamar. Campuran yang telah dingin kemudian dilarutkan dalam 250 g kloroform dan kemudian dicuci sebanyak lima kali dengan larutan metanol (campuran 120 g metanol dan 300 g air). Oligoamida yang diperoleh tersimpan sebagai larutan dalam kloroform.

3. Sintesis Bioelastomer

Sintesis bioelastomer dilakukan dengan mereaksikan oligoamida dengan urea. Sebelum sintesis dilakukan, kloroform sebagai pelarut oligoamida dikurangi volumenya menjadi satu per tiga bagian dari volume awal kloroform yang dilakukan dengan destilasi. Oligoamida yang telah

berkurang kandungan kloroformnya kemudian dimasukkan ke dalam reaktor yang dilengkapi dengan pengaduk mekanis, *thermocouple*, dan inlet untuk menambahkan urea. Oligoamida dipanaskan pada suhu 80°C dengan aliran nitrogen selama 30 menit. Kemudian, urea ditambahkan ke dalam reaktor dengan dosis 25 % dari berat oligoamida. Campuran kemudian dipanaskan pada suhu 160°C. Temperatur dipertahankan konstan sampai campuran menjadi kental dan naik ke pengaduk mekanis sebagai tanda bahwa reaksi telah sempurna.

Pencampuran Bioelastomer dan Karet Alam

Proses pencampuran dilakukan pada mesin giling terbuka dengan berbagai variasi perbandingan bioelastomer berbasis minyak kelapa sawit dan karet alam. Pembuatan kompon dari campuran bioelastomer berbasis minyak kelapa sawit dan karet alam menggunakan formulasi kompon karet seperti diuraikan pada Tabel 2. Kompon karet kemudian diuji karakterisasi vulkanisasi, sementara vulkanisat karet diuji sifat mekaniknya untuk mengetahui pengaruh penambahan bioelastomer berbasis minyak kelapa sawit pada kompon karet padat.

Pengujian Karakteristik Pematangan Kompon

Pengujian karakteristik pematangan (*Curing characteristic*) kompon dilakukan dengan alat *Rheometer Alpha 2000R* pada suhu 150°C sesuai dengan ASTM 5289 (*Standard Test Method for Rubber Property-Vulcanization Using Rotorless Cure Meters*).

Pengujian Sifat Mekanik Vulkanisat

Pengujian sifat mekanik vulkanisat terdiri dari parameter kekerasan (ASTM D.2240-15), tegangan putus (ASTM D.412-16), perpanjangan putus (ASTM D.412-16), kekuatan sobek (ASTM D.624-00(ra2012)), ketahanan retak lentur (ASTM D.624-00(ra2012)), kepegasan pantul (Lupke) (ISO 4662:2017) dan pampatan tetap (ASTM D.395-16e1).

Tabel 2. Formulasi kompon karet
 Table 2. Rubber compound formulation

Kode Code	Komposisi (bsk) Compotition (phr)					
	Karet alam Natural Rubber	Elastomer Elastomer	Seng oksida Zinc Oxide	Asam stearate Stearic Acid	MBT MBT	Belerang Sulfur
Kontrol B	100	0	6	0,5	0,5	3,5
B1	100	2,5	6	0,5	0,5	3,5
B2	100	5	6	0,5	0,5	3,5
B3	100	7,5	6	0,5	0,5	3,5
B4	100	10	6	0,5	0,5	3,5
B5	100	12,5	6	0,5	0,5	3,5
B6	100	15	6	0,5	0,5	3,5

Pengujian Ketahanan Terhadap Minyak

Pengujian terhadap minyak dilakukan dengan cara melakukan perendaman komposit hasil pencampuran karet alam dan bioelastomer di dalam minyak selama beberapa hari. Minyak yang akan digunakan adalah oli mesin. Pengujian ketahanan terhadap minyak dilakukan sesuai dengan metode ISO 1817:2005.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bioelastomer yang dihasilkan pada percobaan ini memiliki warna pucat dengan tekstur yang sangat keras sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4 sebagai berikut.

Hasil Analisa Karakteristik Pematangan Kompon

Karakteristik pematangan kompon terdiri dari parameter torsi maksimum (S_{max}), torsi minimum (S_{min}), delta torsi ($S_{max} - S_{min}$), waktu pematangan optimum (t_{90}) dan waktu pra vulkanisasi (ts_2). Hasil pengujian karakteristik pematangan kompon karet dengan formula yang telah ditentukan dapat dilihat pada Tabel 3.

Perlakuan penambahan bioelastomer ternyata dapat meningkatkan nilai torsi maksimum dan delta torsi, jika dibandingkan dengan kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa bioelastomer yang ditambahkan pada kompon dapat meningkatkan derajat ikatan silang kompon. Delta torsi memberikan gambaran



Gambar 4. Biolastomer dari minyak kelapa sawit
 Figure 4. Bioelastomeric based on palm oil

Tabel 3. Karakteristik pematangan kompon
Table 3. Curing characteristics of compound maturation

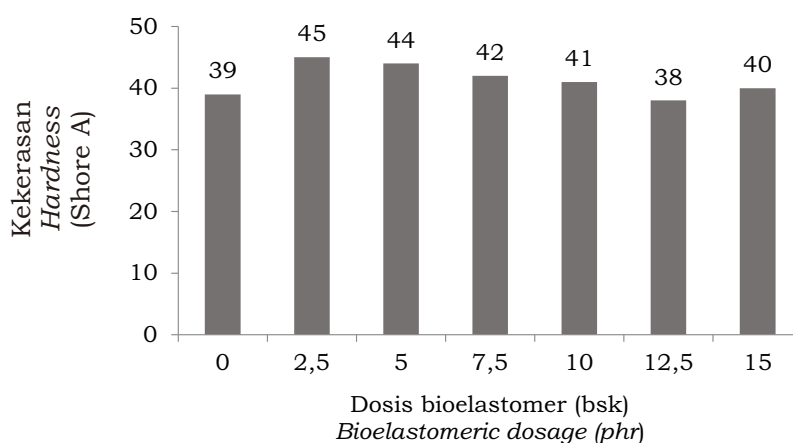
Kode Code	S _{max} (Kg/cm)	S _{min} (Kg/cm)	ΔS (Kg/cm)	t ₉₀ (min, sec)	ts ₂ (min,sec)
Kontrol B	5,28	0,68	4,60	20,58	7,42
B1	8,13	0,80	7,33	20,46	4,05
B2	8,02	0,38	7,64	19,08	2,40
B3	7,64	0,90	6,74	19,04	3,03
B4	7,69	0,42	7,27	18,54	3,23
B5	6,02	0,45	5,57	18,16	3,19
B6	7,18	0,73	6,45	17,54	3,00

pembentukan jaringan dalam ikatan silang atau derajat ikatan silang (Javanovic *et al.*, 2009). Derajat ikatan silang yang lebih besar dapat meningkatkan modulus, kekerasan dan menurunkan perpanjangan putus (Fathurrohman & Ramadhan, 2015).

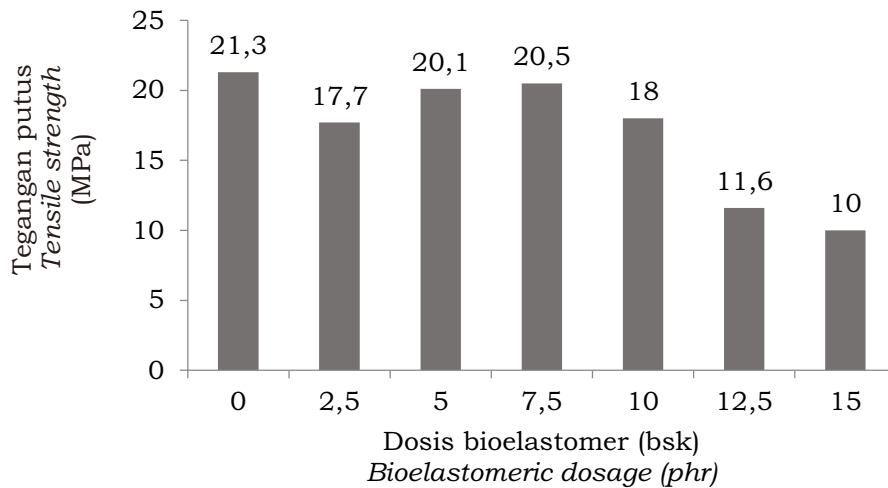
Berdasarkan Tabel 3, kompon dengan penambahan bioelastomer mempunyai waktu yang lebih singkat jika dibandingkan dengan kontrol. Menurut Yuniari *et al.* (2013), peningkatan suhu vulkanisat berpengaruh terhadap kecepatan waktu *scorch*, dikarenakan panas tersebut dapat juga meningkatkan reaksi antar molekul karet dan bahan lainnya. Sedangkan, *optimum cure time* merupakan waktu yang menunjukkan 90% tingkat kematangan kompon (Alfa, 2005). Berdasarkan Tabel 3, penambahan bioelastomer dapat menurunkan waktu optimum pematangan kompon karet. Ibrahim *et al.* (2018) melaporkan bahwa ketebalan karet juga dapat mempengaruhi waktu pematangan kompon.

Hasil Analisa Sifat Mekanik Kompon

Hasil pengujian sifat mekanik vulkanisat komposit karet dengan penambahan bioelastomer berbasis minyak kelapa sawit sebagai bahan aditif kompon karet disajikan pada Gambar 5 hingga Gambar 12 sebagai berikut. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui besarnya kekerasan vulkanisat karet dengan kekuatan penekanan tertentu. Nilai kekerasan dipengaruhi oleh jenis bahan pengisi dan bahan pelunak. Berdasarkan Gambar 5, penambahan bioelastomer dapat meningkatkan nilai kekerasan kompon jika dibandingkan perlakuan kontrol, kecuali untuk dosis bioelastomer sebesar 12,5 phr. Boonstra, (2005) menyatakan bahwa derajat ikatan silang yang berjumlah banyak dapat menyebabkan meningkatnya kekerasan pada kompon karet. Sedangkan Carli *et al.* (2011) menjelaskan bahwa peningkatan nilai kekerasan dimungkinkan terjadi karena adanya pemisahan bahan pengisi ke dalam matrik karet.



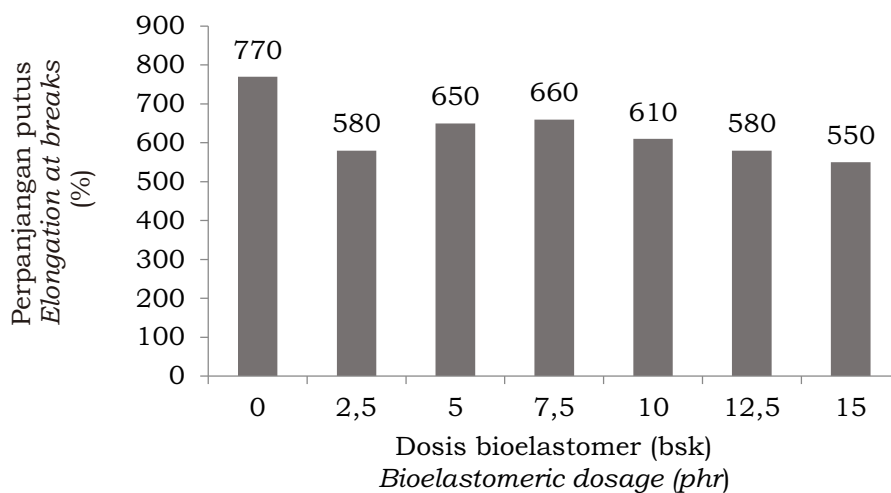
Gambar 5. Pengaruh dosis bioelastomer terhadap kekerasan vulkanisat.
Figure 5. Effect of bioelastomeric dosage on hardness of vulcanized



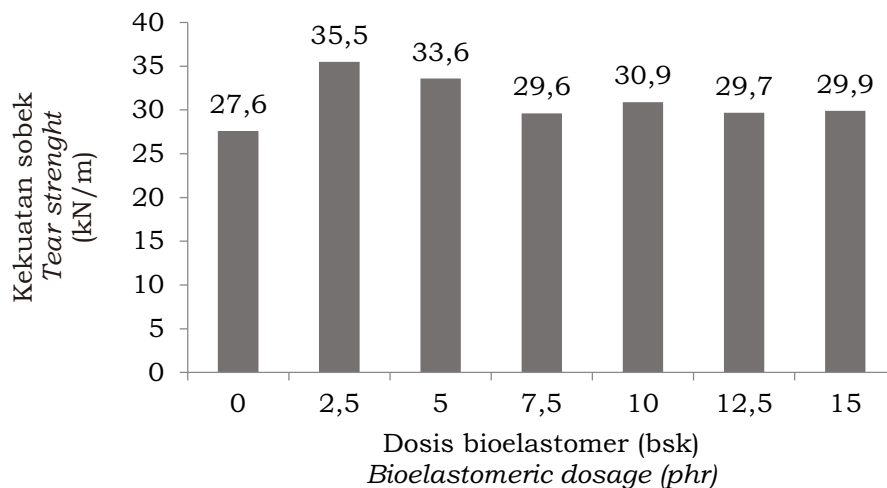
Gambar 6. Pengaruh dosis bioelastomer terhadap nilai tegangan putus vulkanisat
 Figure 6. Effect of bioelastomeric dosage on tensile strength of vulcanized

Tegangan putus menunjukkan besarnya beban yang diperlukan untuk merengangkan potongan uji sampai putus. Berdasarkan Gambar 6, penambahan bioelastomer dapat menurunkan nilai tegangan putus. Menurut Li *et al.* (2008) hal ini kemungkinan disebabkan oleh segmental mobilitas rantai polimer yang hilang. Untuk SNI tegangan putus, yaitu SNI 06-4966-1999, mengenai penentuan sifat – sifat tegangan dan regangan dari karet vulkanisat dan karet termoplastik, nilai yang dihasilkan minimal 45, sehingga memenuhi SNI tersebut. Perpanjangan putus adalah penambahan panjang suatu potongan uji

bila diregangkan sampai putus. Berdasarkan Gambar 7, penambahan bioelastomer menurunkan perpanjangan putus vulkanisat. Hal yang sama dilaporkan oleh Ashri *et al.* (2014) bahwa penambahan dosis elastomer 25 phr dapat menghasilkan kompon karet yang rendah sifat kekerasan dan kekenyalannya. Sedangkan berdasarkan SNI perpanjangan putus memenuhi kriteria, yaitu SNI 06-4966-1999, mengenai penentuan sifat – sifat tegangan dan regangan dari karet vulkanisat dan karet termoplastik dengan nilai yang dihasilkan minimal 250%.



Gambar 7. Pengaruh dosis bioelastomer terhadap nilai perpanjangan putus vulkanisat
 Figure 7. Effect of bioelastomeric dosage on elongation at breaks of vulcanized



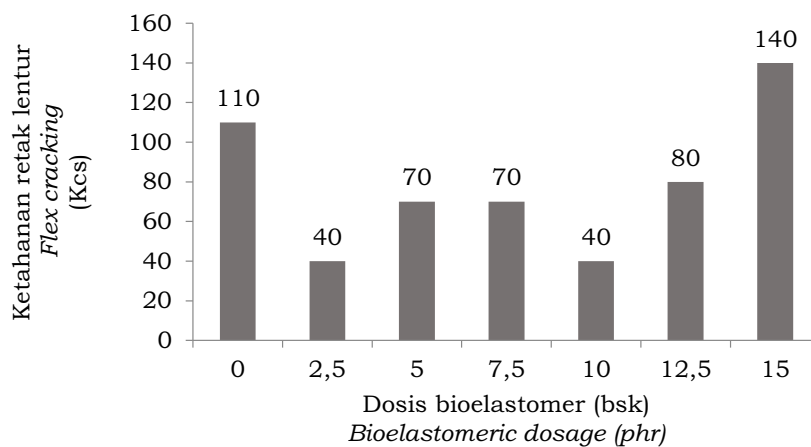
Gambar 8. Pengaruh dosis bioelastomer terhadap nilai kekuatan sobek vulkanisat
 Figure 8. Effect of bioelastomer dosage on tear strength of vulcanized

Kekuatan sobek adalah besarnya tenaga yang dibutuhkan untuk menarik vulkanisat karet alam sampai putus. Dengan demikian berarti semakin besar nilai kekuatan sobek maka semakin besar tenaga yang dibutuhkan untuk menarik karet alam hingga putus (Vachlepi & Suwardin, 2015). Berdasarkan Gambar 8, dapat diketahui bahwa penambahan bioelastomer dapat meningkatkan kekuatan sobek vulkanisat karet jika dibandingkan dengan kontrol. Untuk kekuatan sobek, SNI nya adalah SNI 06-0899-1989 mengenai lembaran karet cetak sol, yaitu memiliki nilai 50 kg/cm².

berulang kali secara terus menerus melalui pengujian ketahanan letih dinamik. Berdasarkan Gambar 9, penambahan bioelastomer dapat menurunkan nilai ketahanan retak lentur karet. Untuk percobaan ini, semua perlakuan mempunyai nilai ketahanan retak lentur di bawah kontrol, kecuali untuk formulasi B6. Alahkawi *et al.* (2013) melaporkan bahwa karet sintesis *Polybutadiene* berpotensi memiliki nilai retak lentur yang tinggi pada produksi ban kendaraan.

Ketahanan retak lentur dilakukan untuk mengetahui besarnya kerusakan karet jika dilenturkan atau ditekukkan

Uji kepegasan pantul dilakukan untuk mengetahui persentase daya pantul dari vulkanisat karet sebagai gambaran dari hilangnya energi histeresis. Dari Gambar 10, penambahan bioelastomer hanya sedikit



Gambar 9. Pengaruh dosis bioelastomer terhadap nilai ketahanan retak lentur vulkanisat
 Figure 9. Effect of elastomeric dosage on flex crack resistance of vulcanized

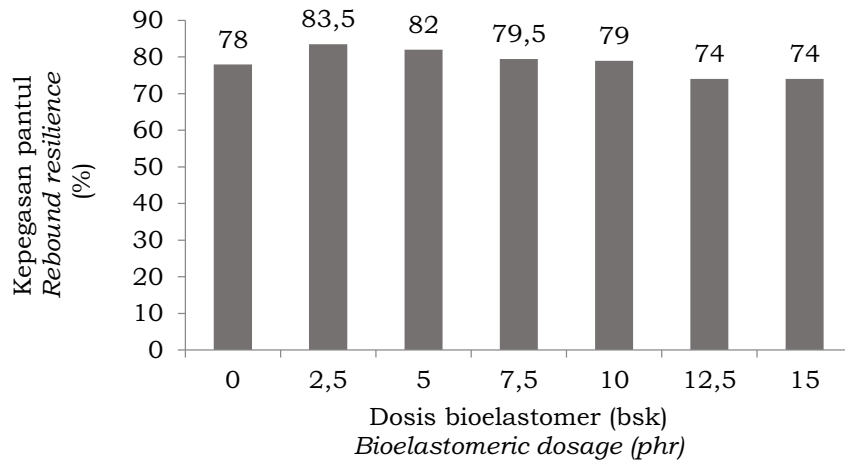
meningkatkan nilai kepegasan pantul karet, bahkan penambahan dosis bioelastomer lebih lanjut akan menurunkan nilai kepegasan pantul. Untuk uji kepegasan pantul, SNI nya memenuhi standar, yaitu SNI 12-01721987, mengenai sol sepatu sebesar minimal 30%.

Uji pampatan tetap dilakukan untuk mengetahui sifat elastik vulkanisat karet setelah ditekan pada waktu tertentu dan kondisi tertentu, terutama untuk vulkanisat yang dalam pemakaiannya mengalami penekanan. Berdasarkan Gambar 11, penambahan bioelastomer pada karet dapat menurunkan sifat pampatan tetap karet, karena semakin tinggi dosis bioelastomer maka semakin tinggi nilai pampatan tetap karet yang dihasilkan. Ali *et al.* (2017) melaporkan bahwa mendapatkan nilai

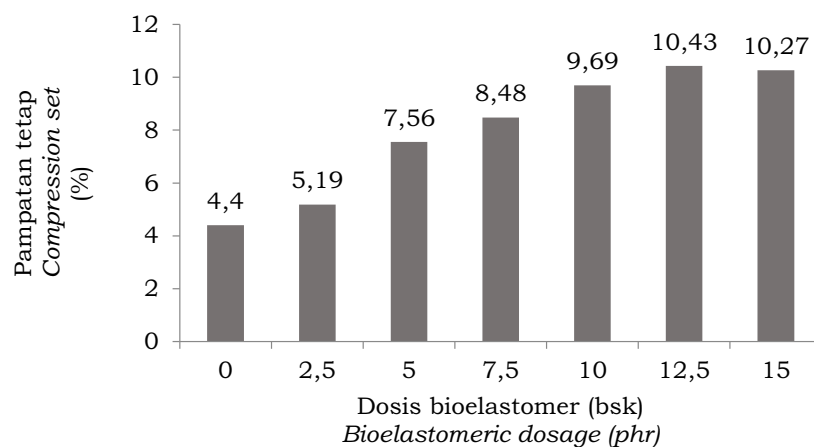
sebesar 8,3%, sedangkan Egwaikhide menghasilkan penurunan nilai untuk uji pampatan sebesar 39 menjadi 5%.

Hasil Pengujian Ketahanan Minyak

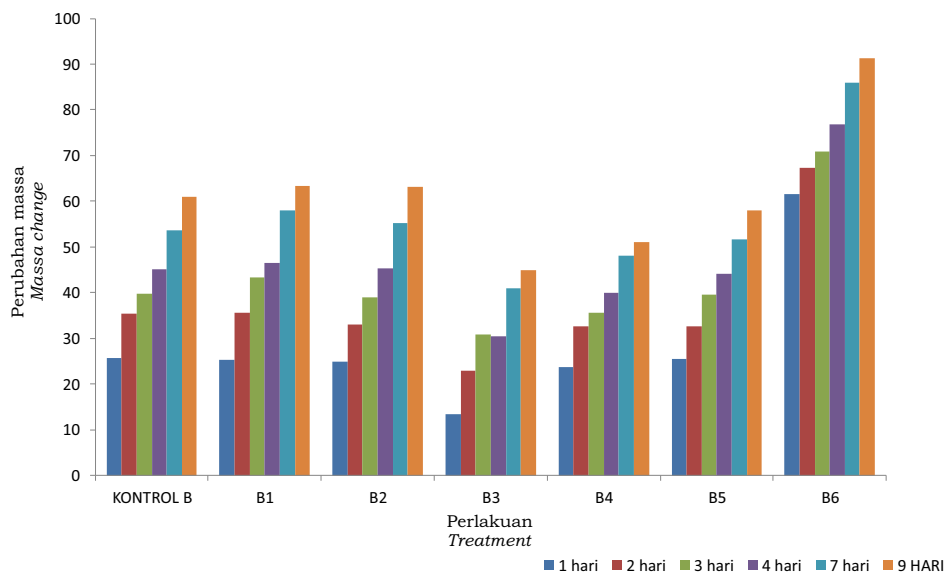
Vulkanisat karet pada percobaan ini juga diuji ketahanannya terhadap minyak dengan menggunakan oli mesin komersial. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 12. Dari hasil pengujian, diketahui bahwa perlakuan B3 memiliki nilai perubahan massa yang paling rendah dibandingkan dengan perlakuan lainnya, bahkan terhadap perlakuan kontrol. Ini menunjukkan bahwa formulasi kompon B3 berpotensi dikembangkan menjadi produk barang jadi karet yang memiliki sifat ketahanan terhadap minyak yang unggul.



Gambar 10. Pengaruh dosis bioelastomer terhadap nilai kepegasan pantul vulkanisat
 Figure 10. Effect of bioelastomeric dosage on rebound resilience of vulcanized



Gambar 11. Pengaruh dosis bioelastomer terhadap nilai pampatan tetap vulkanisat
 Figure 11. Effect of elastomeric dosage on compression set of vulcanized



Gambar 12. Uji ketahanan minyak vulkanisat
Figure 12. Oil resistance test of vulcanized

KESIMPULAN

Pembuatan bioelastomer dari minyak kelapa sawit pada percobaan ini dilakukan dengan penambahan asam akrilat dan urea pada komposisi tertentu. Bioelastomer yang dihasilkan dari percobaan ini memiliki tekstur yang keras. Pengaruh bioelastomer pada karakterisasi pematangan kompon karet menunjukkan bahwa penambahan bioelastomer dapat meningkatkan nilai torsi maksimum, delta torsi dan menurunkan waktu pra vulkanisasi serta waktu pemasakan optimum. Sementara pengaruh bioelastomer pada sifat mekanik vulkanisat menunjukkan bahwa penambahan bioelastomer dapat meningkatkan nilai kekerasan, kekuatan sobek, dan pampatan tetap karet, tetapi menurunkan nilai tegangan putus, perpanjangan putus, ketahanan retak lentur, dan nilai kepegasan pantul vulkanisat. Hasil pengujian ketahanan minyak vulkanisat menunjukkan bahwa formula karet B3 (dosis penambahan bioelastomer sebesar 7,5 phr) memiliki nilai perubahan massa yang paling kecil sehingga formula kompon B3 dapat dikembangkan menjadi formula untuk produk barang jadi karet yang tahan terhadap minyak.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Alkawi, H.J., Al-Fattal, D.S., & Abd-Ali, N.K. (2013). The flexing fatigue properties of filled rubbery compounds under constant and variable amplitude. *JKAU: Engineering Science*, 24(2), 57-79. <https://doi.org/10.4197/Eng.24-2.3>
- Alfa, A.A. (2005). *Bahan Kimia untuk Kompon Karet*. Bogor, Indonesia: Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor.
- Ashri, A., Yusof, M.S.M., Jamil, M.S., Abdullah, A., Yusoff, S.F.M., Arip, M.N.M., & Lazim, A.M. (2014). Physicochemical characterization of starch extracted from Malaysian wild yam (*Dioscorea hispida* Dennst.). *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 26(8), 652. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v26i8.17098>
- Boonstra, B.B. (2005) Reinforcement by filler. *J. Rubber Age* 92 (6) : 227±235. Dalam: Marlina, P., F. Pratama, B. Hamzah & R. Pambayun (2014). Pengaruh Suhu dan lama penyimpanan terhadap karakteristik kompon karet dengan bahan pengisi arang tempurung kelapa dan nano silica sekam padi. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 25(1), 43-51. <http://dx.doi.org/10.28959/jdpi.v25i1.677>

- Carli, L.N., Roncato, C.R., Zanchet, A., Mauler, R.S., Giovanela, M., Brandalise, R.N., & Crespo, J.S. (2011). Characterization of natural rubber nanocomposites filled with organoclay as a substitute for silica obtained by the conventional two-roll mill method. *Applied Clay Science*, 52, 56-61. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2011.01.029>
- Cordier, P., Tournilhac, F., Soulié-Ziakovic, C., & Leibler, L. (2008). Self-healing and thermoreversible rubber from supramolecular assembly. *Nature*, 451, 977-980. <https://doi.org/10.1038/nature06669>
- Fathurrohman, M.I., & Ramadhan, A. (2015). Sifat mekanik vulkanisat campuran karet alam-karet polibutadien dengan bahan pengisi organobentonit terekspansi. *Jurnal Penelitian Karet*, 33(1), 65-74. <https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v33i1.172>
- Harwood, H. J. (1962). Reactions of the hydrocarbon chain of fatty acids. *Chemical Reviews*, 62(2), 99-154. <https://doi.org/10.1021/cr60216a0022>
- Ibrahim, S.Z., Engku, Z.E.Z., Ahmad, M.A., & Samsuri, A. (2018). Cure characteristics and mechanical properties of different accelerator systems for thick rubber article. *National Symposium on Polymeric Materials 2017 (NSPM 2017) AIP Conf. Proc.* 1985, 040012-1-040012-6. <https://doi.org/10.1063/1.5047189>
- Jovanovic, V., Simendic, B.J., Jovanovic, S.S., Moarkovic, G., & Concovic, M.M. (2009). The influence of carbon black on curing kinetics and thermal aging of acrylonitrile-butadiene rubber. *Chemical Industry & Chemical Engineering*, 15(4), 283-289. <http://dx.doi.org/10.2298/CICEQ0904283J>
- Kadesch, R.G. (1979). Fat-based dibasic acid. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 56(11), 845A-849A. <https://doi.org/10.1007/BF02667460>
- Ketaren, S. (1986). *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Jakarta, Indonesia: Universitas Indonesia.
- Li, Z.H., Zhang, J., & Chen, S.J. (2008). Effects of carbon blacks with various structures on vulcanization and reinforcement of filled ethylenepropylene-diene rubber. *eXPRESS Polymer Letters*, 2(10), 695-704. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2008.83>
- Montarnal, D., Cordier, P., Soulié-Ziakovic, C., Tournilhac, F., & Leibler, L. (2008). Synthesis of self-healing supramolecular rubbers from fatty acid derivatives, diethylene triamine, and urea. *Journal of Polymer Science. Part A : Polymer Chemistry*, 46(24), 7925-7936. <https://doi.org/10.1002/pola.23094>
- Purbaya, M. (2013). *Synthesis and characterization of supramolecular polymer based on linoleic acid of sunflower oil*. [Tesis]. Kuala Lumpur, Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia.
- Vachlepi, A., & Suwardin, D. (2015). Kajian pembuatan kompon karet alam dari bahan pengisi abu briket batubara dan arang cangkang sawit. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 26(1), 1-19. <http://dx.doi.org/10.28959/jdpi.v26i1.696>
- Yuniari, A., Mayasari, H. E., & Setyorini, I. (2017). Curing characteristics, swelling, and mechanical properties of natural rubber / nitrile butadiene rubber blends with and without compatibilizer. *Majalah Kulit Karet Plastik*, 33(2), 65-72. <http://dx.doi.org/10.20543/mkpv33i2.3265>