

PENINGKATAN KETAHANAN OKSIDASI TERMAL KARET ALAM MELALUI REAKSI TRANSFER HIDROGENASI KATALITIK FASA LATEKS MENGGUNAKAN SENYAWA DIIMIDA

Improvement of Thermal Oxidative Resistance on Natural Rubber Via Transfer Hydrogenation on Latex Phase by Using Diimide Compound

Santi PUSPITASARI^{1*}, Woro ANDRIANI¹, Desra LIANSYAH², dan SUJONO²

¹Pusat Penelitian Karet
Jalan Salak Nomor 1 Bogor 16151 Jawa Barat
*Email : puspitasari.santi@puslitkaret.co.id

²Prodi Kimia Jurusan Kimia Sekolah Tinggi MIPA Bogor
Jalan Vila Permata Bangbarung Nomor 29 Bogor 16152 Jawa Barat

Diterima : 12 November 2018 / Disetujui : 27 Desember 2018

Abstract

In the research, an effort have been made to improve the thermal oxidation properties of natural rubber through the mechanism of chemical modification of natural rubber latex by catalytic transfer hydrogenation by using diimide compounds as hydrogen donors. The diimide compound was generated in situ from the oxidation of hydrazine hydrate by hydrogen peroxide, with boric acid as catalyst and combination of SLS/PPE surfactant as stabilizer. The catalytic transfer hydrogenation transfer reaction was run on a semi-pilot scale with a capacity of 2.5 kg of concentrated latex / batch at a reaction temperature set at 30°C, 40°C, and 50°C. The hydrogenated natural rubber latex obtained was coagulated with formic acid, then hydrogenated natural rubber was dried in an oven at 100°C for 240 minutes. The quality evaluation of hydrogenated natural rubber was carried out qualitatively using FTIR spectrophotometer and quantitative analysis included iodine number test, hydrogenation degree, plasticity retention index, and volatile matter content. The results of the analysis showed that the reaction temperature of 30°C and drying time for 240 hours were considered as the optimal condition because it produced hydrogenated natural rubber with the highest plasticity retention index value of 43.7. The value of the plasticity retention index is generally used to

indiate the thermal oxidative resistance of raw natural rubber.

Keywords : Hydrogenated natural rubber, catalytic transfer hydrogenation, diimide compound, thermal oxidative

Abstrak

Dalam riset telah dilakukan upaya untuk meningkatkan sifat ketahanan oksidasi termal karet alam melalui mekanisme modifikasi kimiawi lateks karet alam secara transfer hidrogenasi katalitik menggunakan senyawa diimida sebagai donor hidrogen. Senyawa diimida dihasilkan secara insitu dari reaksi oksidasi hidrasin hidrat oleh hidrogen peroksida berkatalis asam borat dan berpenstabil kombinasi larutan surfaktan SLS/PPE. Reaksi transfer hidrogenasi katalitik dijalankan pada skala semi pilot berkapasitas 2,5 kg lateks pekat/batch pada suhu reaksi yang ditetapkan pada 30°C, 40°C, dan 50°C. Lateks karet alam terhidrogenasi yang diperoleh digumpalkan dengan asam format, selanjutnya karet alam terhidrogenasi dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 240 menit. Evaluasi mutu karet alam terhidrogenasi yang dihasilkan dilakukan secara kualitatif menggunakan

spektrofotometer FTIR dan uji kuantitatif meliputi uji bilangan iod, derajat hidrogenasi, indeks ketahanan plastisitas, dan kadar zat menguap. Hasil analisis diketahui bahwa suhu reaksi sebesar 30°C dan waktu pengeringan selama 240 jam dianggap sebagai kondisi teroptimal karena menghasilkan karet alam terhidrogenasi dengan nilai indeks ketahanan plastisitas tertinggi sebesar 43,7. Nilai indeks ketahanan plastisitas umumnya digunakan untuk menggambarkan ketahanan oksidasi termal karet alam mentah.

Kata kunci: Karet alam terhidrogenasi, transfer hidrogenasi katalitik, senyawa diimida, oksidasi termal

PENDAHULUAN

Rantai panjang biopolimer *cis* 1,4-poliisoprena merupakan bahan utama penyusun karet alam *Hevea brasiliensis* Muell Arg selain protein dan phospholipid. Rantai panjang molekul poliisoprena yang memiliki bobot molekul sekitar 10^4 sampai dengan 10^6 daltons mengakibatkan karet alam memiliki sifat mekanik yang unggul terutama sifat tarik atau elastisitas (Kovuttikulrangsie & Sakdapipanich, 2005). Namun adanya ikatan rangkap tak jenuh C=C dalam rantai molekul karet alam justru menyebabkan karet alam mudah mengalami kerusakan karena tidak tahan terhadap proses oksidasi termal karena terpapar oleh ozon, oksigen, dan sinar matahari. Akibatnya karet alam kurang cocok digunakan dalam pembuatan barang jadi karet untuk aplikasi luar ruangan atau harus dikombinasikan dengan karet sintetik yang tahan oksidasi termal dalam manufaktur produk hilir karet untuk keperluan tersebut (Arayaprane & Rempel, 2009 ; Kongparakul *et al.*, 2001; Piya-areetham *et al.*, 2013).

Kebutuhan karet sintetik tahan oksidasi termal di dalam negeri harus dipenuhi secara impor. Oleh karena itu diperlukan upaya lain untuk meminimalisasi penggunaan produk impor. Alternatif cara yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan modifikasi kimiawi terhadap rantai molekul karet alam agar menjadi lebih tahan terhadap proses oksidasi termal. Modifikasi kimiawi yang

paling sesuai adalah melalui reaksi transfer hidrogenasi menggunakan senyawa diimida. Transfer hidrogenasi akan memutuskan ikatan rangkap tak jenuh C=C menjadi ikatan tunggal jenuh C-C tanpa diikuti dengan pemutusan panjang rantai molekul sehingga karet alam menjadi lebih tahan terhadap oksidasi termal tanpa disertai dengan penurunan sifat mekaniknya (Piya-areetham *et al.*, 2013).

Reaksi transfer hidrogenasi menggunakan senyawa diimida yang diperoleh secara insitu hasil dari oksidasi hidrasin hidrat oleh hidrogen peroksida hanya dapat dilakukan pada fasa lateks, dimana partikel karet alam masih tersebar secara merata dalam serum lateks. Metode transfer hidrogenasi dengan senyawa diimida lebih disukai daripada hidrogenasi konvensional dengan gas H₂ karena hanya menggunakan katalis homogen, memiliki selektivitas tinggi, serta dapat dijalankan pada suhu rendah dan tekanan atmosferis (Mahittikul *et al.*, 2009; Wang & Astruc, 2015). Beberapa variabel sangat menentukan keberhasilan reaksi transfer hidrogenasi antara lain rasio komposisi antara hidrasin hidrat dan hidrogen peroksida, jenis dan dosis aditif (katalis dan bahan penstabil), serta kondisi reaksi (suhu dan waktu). Penelitian bertujuan untuk membuat produk karet alam mentah hasil modifikasi kimiawi secara transfer hidrogenasi dengan senyawa diimida yang memiliki keunggulan lebih tahan terhadap proses oksidasi termal atau pengaruh ozon, oksigen dan cahaya matahari dari bahan baku karet alam fasa lateks. Reaksi transfer hidrogenasi lateks karet alam dalam riset ini dipelajari pada berbagai suhu reaksi.

BAHAN DAN METODE

Penelitian berlangsung di Pabrik Percobaan dan Laboratorium Penguji Pusat Penelitian Karet sejak bulan April hingga Juli 2018. Bahan utama yang digunakan dalam percobaan meliputi lateks karet alam pekat kadar amoniak tinggi, hidrasin hidrat (N₂H₄) 35%, hidrogen peroksida (H₂O₂) 30%, larutan surfaktan anionik SLS 5%, larutan surfaktan Polyoxyethylene phenyl ether (PPE) 5%, larutan asam borat 10% sebagai katalis, larutan natrium thiosulfat 10%, dan larutan asam format 5% yang seluruhnya pada spesifikasi teknis. Selain itu digunakan

juga reagen kimia *pure analysis* (pa) untuk pengujian bilangan iod meliputi kloroform, pereaksi Wijs, indikator kanji, kalium dikromat, HCl, dan KI. Sementara peralatan yang digunakan dalam percobaan meliputi reaktor hidrogenasi skala semi pilot berkapasitas 20 liter lateks pekat/batch tipe tangki berpengaduk yang dilengkapi dengan pengaduk mekanis dan pemanas jacket heater dengan media air serta pengendali suhu. Selanjutnya instrumen untuk karakterisasi meliputi spektrofotometer FTIR Nicolet iS5, Wallace plastimeter, serta berbagai peralatan kaca laboratorium.

Metode penelitian mencakup pembuatan karet alam terhidrogenasi dari lateks karet alam pekat dan senyawa diimida pada skala semi pilot dilanjutkan dengan pengujian karet alam terhidrogenasi yang meliputi parameter uji indeks ketahanan plastisitas (PRI, SNI 1903-2000), kadar zat menguap (SNI 1903-2000), bilangan iod (Metode Wijs, SNI 7431-2015), dan spektrum FTIR. Rancangan percobaan yang diaplikasikan dalam riset adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga perlakuan (suhu 30°C, 40°C, 50°C) dengan 3 kali pengulangan pada setiap perlakuan.

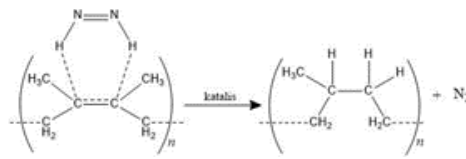
Pembuatan karet alam terhidrogenasi mengikuti prosedur sebagai berikut : sebanyak 2,5 kg lateks pekat kadar amoniak tinggi dituangkan ke dalam reaktor, selanjutnya ke dalam lateks tersebut ditambahkan katalis berupa larutan asam borat 10% sebanyak 74 mL, diikuti dengan penambahan larutan surfaktan SLS 5% sebanyak 148 mL dan larutan PPE 5% 148 mL. Campuran lateks dengan ketiga larutan tersebut terus diaduk pada kecepatan skala 5 dan suhu reaksi. Setelah itu ke dalam campuran lateks tambahkan larutan hidrasin hidrat 35 % sebanyak 62 mL dan hidrogen peroksida 30% sebanyak 55 mL dituangkan sedikit demi sedikit (waktu reaksi selama 7 jam dan 10 kali penambahan larutan hidrasin hidrat dan hidrogen peroksida). Suhu reaksi setiap penambahan larutan hidrasin hidrat dan hidrogen peroksida dicatat. Setelah penambahan larutan hidrasin hidrat dan hidrogen peroksida yang terakhir, waktu reaksi diperpanjang selama 15 menit, kemudian tambahkan larutan natrium tiosulfat sebanyak 74 mL, penambahan larutan natrium tiosulfat berlangsung 30

menit. Lateks terhidrogenasi yang diperoleh diakhir reaksi kemudian digumpalkan dengan larutan asam format 5% sehingga terbentuk gumpalan karet alam terhidrogenasi. Karet alam terhidrogenasi tersebut dicuci dengan air mengalir dan rendam dengan air selama ±20 jam. Gumpalan karet alam terhidrogenasi yang sudah bersih tersebut digiling dengan mesin *creper* menjadi lembaran karet alam terhidrogenasi, kemudian karet alam terhidrogenasi yang sudah digiling tersebut dikering-anginkan selama 2-3 hari sebelum dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 240 menit. Lembaran karet alam terhidrogenasi kemudian dikarakterisasi.

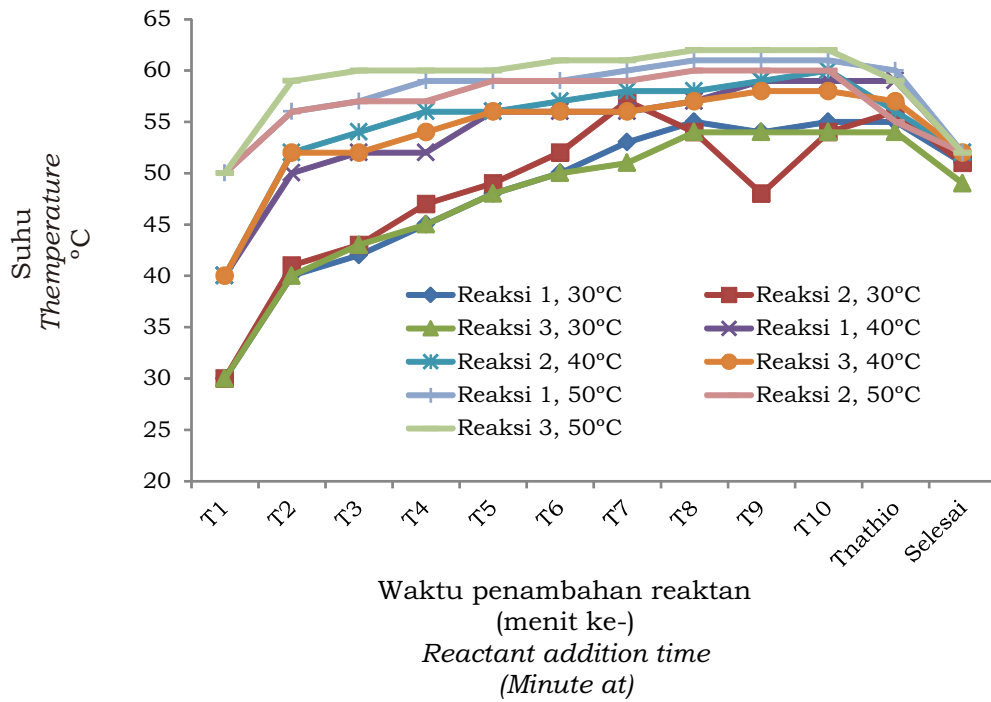
HASIL DAN PEMBAHASAN

Mekanisme reaksi transfer hidrogenasi katalitik lateks karet alam menggunakan senyawa diimida terjadi melalui dua tahapan yaitu oksidasi hidrasin hidrat oleh hidrogen peroksida membentuk senyawa diimida dan diikuti oleh pemutusan ikatan rangkap C=C dalam rantai poliisoprena karet alam oleh senyawa diimida yang berfungsi sebagai donor hidrogen menjadi ikatan tunggal (Gambar 1). Berlangsungnya reaksi transfer hidrogenasi ini ditandai dengan peningkatan suhu reaksi karena reaksi berjalan *irreversibel* ke kanan secara eksotermis (Gambar 2). Dari Gambar 2 terlihat, bahwa pada suhu reaksi sebesar 30°C mengalami peningkatan suhu tertinggi, sedangkan pada suhu reaksi 50°C terjadinya kenaikan suhu tidak terlalu besar dan cepat stabil (suhu konstan). Selain itu, reaksi transfer hidrogenasi lateks karet alam diindikasikan dengan timbulnya gas N₂ yang mengakibatkan munculnya buih. Timbulnya gas N₂ sering kali timbul pada reaksi redoks yang menggunakan hidrogen peroksida (Yulianto, 2014). Karet alam terhidrogenasi yang diperoleh bertekstur kokoh, keras dan tidak lengket. Pada kondisi basah berwarna putih dan berubah menjadi kuning saat kering (Gambar 3).

Terbentuknya karet alam terhidrogenasi dikonfirmasi dari hasil analisis kualitatif menggunakan spektroskopi FTIR. Setiap ikatan akan menyerap radiasi inframerah pada bilangan gelombang yang berbeda-beda sehingga setiap molekul akan memiliki spektrum



Gambar 1. Mekanisme transfer hidrogenasi katalitik poliisoprena oleh diimida
 Figure 1. Polyisoprene catalytic transfer hydrogenation by diimida mechanism



Gambar 2. Pola kenaikan suhu reaksi transfer hidrogenasi lateks karet alam
 Figure 2. Temperature increasing pattern at NR latex transfer hydrogenation



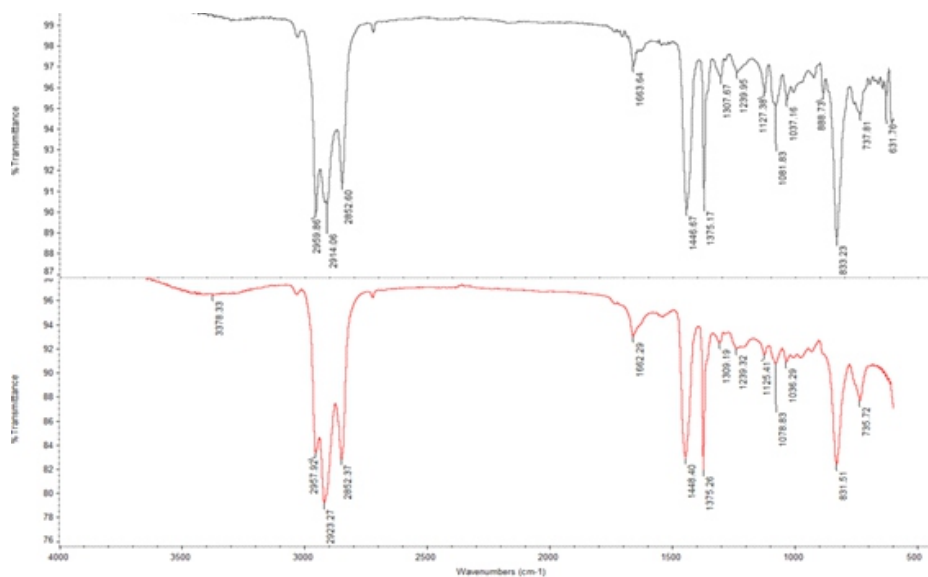
Gambar 3. Visualisasi karet alam terhidrogenasi
 Figure 3. Vizualitation of HNR

inframerah yang khas. Hasil spektrum FTIR karet alam murni dan karet alam terhidrogenasi dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut. Berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa spektrum FTIR karet alam dicirikan oleh adanya serapan tajam pada puncak bilangan gelombang 1661 cm^{-1} (ikatan rangkap tak jenuh (C=C)) dan 831 cm^{-1} (ikatan (C-H)) (Ibrahim *et al.*, 2014). Puncak serapan lain yang terdapat pada rantai molekul karet alam antara lain 2960 cm^{-1} (ikatan CH_3), 1446 cm^{-1} (ikatan CH_3), 2850 cm^{-1} (ikatan CH_2), 1375 cm^{-1} (ikatan CH_2) dan 737 cm^{-1} (ikatan (CH_2)) (Mahittikul *et al.*, 2007; Mahittikul *et al.*, 2009; Arayaprane & Rempel., 2013). Sementara itu pada spektra FTIR karet terhidrogenasi nampak terjadinya penurunan intensitas puncak serapan pada bilangan gelombang 1663 cm^{-1} dan 832 cm^{-1} yang diikuti dengan peningkatan intensitas pada puncak serapan 738 cm^{-1} (Puviarasan *et al.*, 2004). Reaksi hidrogenasi menyebabkan tereliminasi ikatan rangkap tak jenuh (C=C) menjadi ikatan tunggal jenuh (C-C). Atom hidrogen dari senyawa diimida mengadisi ikatan rangkap (C=C) pada rantai molekul poliisoprena (karet alam) sehingga terputus menjadi ikatan tunggal (C-C).

Secara kuantitatif, sifat karet alam terhidrogenasi yang diperoleh dikonfirmasi melalui pengujian bilangan iod, derajat hidrogenasi, indeks ketahanan plastisitas, dan kadar zat menguap. Hasil pengujian sifat

karet alam terhidrogenasi secara kuantitatif dirangkum dalam Tabel 1.

Tingkat ketidakjenuhan suatu senyawa yang memiliki ikatan rangkap dinyatakan dalam bilangan iod. Iodin akan mengadisi ikatan rangkap pada senyawa alkena dan menjenuhkannya (Kongparakul *et al.*, 2011). Semakin banyak iodin yang mengadisi maka semakin tinggi pula tingkat ketidakjenuhannya. Nilai bilangan iod digunakan untuk mengetahui derajat hidrogenasi pada sampel karet alam terhidrogenasi dengan senyawa diimida. Nilai derajat hidrogenasi diperoleh dari perbandingan penurunan nilai bilangan iod sampel hasil hidrogenasi dengan nilai bilangan iod karet alam sebelum hidrogenasi. Semakin kecil bilangan iod hasil hidrogenasinya, maka semakin besar pula penurunan ikatan rangkap dan besar pula persen hidrogenasinya. Mengacu pada Tabel 1 terlihat bahwa derajat hidrogenasi tertinggi dicapai pada suhu reaksi hidrogenasi sebesar 40°C yaitu 36%, diikuti pada suhu 50°C (31%) dan 30°C (25%). Pada suhu 40°C , diperkirakan terjadi reaksi samping depolimerisasi yang mengakibatkan terputusnya rantai molekul karet alam. Terputusnya rantai molekul karet alam yang didahului melalui mekanisme pemutusan ikatan rangkap juga akan diindikasikan oleh turunnya bilangan iod dan derajat hidrogenasi.



Gambar 4. Spektrum FTIR karet alam murni dibandingkan karet alam terhidrogenasi
Figure 4. FTIR Spectrum of pure NR compared to HNR

Tabel 1. Sifat kimia karet alam terhidrogenasi
 Table 1. Chemical properties of hydrogenated natural rubber

Suhu reaksi <i>Temperature</i> (°C)	Kode <i>Code</i>	Bilangan Iod <i>Iod</i> <i>number</i>	Derajat hidrogenasi <i>Degree of</i> <i>hydrogenation</i> (%)	Indeks ketahanan plastisitas <i>Plasticity</i> <i>retention</i> <i>index</i> (PRI)	Kadar zat menguap <i>Volatile</i> <i>matter</i> <i>content</i> (%)
30	NR Murni	665,6		37,9	0,53
	A1	506,2	23,9	48,7	0,99
	A2	464,4	30,2	44,4	0,89
	A3	515,5	22,6	38,1	0,95
	Rata-rata	495,4	25,6	43,7	0,94
40	B1	422,7	36,5	33,9	0,23
	B2	430,7	35,3	41,4	0,37
	B3	421,5	36,7	31,6	0,18
	Rata-rata	425,0	36,2	35,6	0,26
50	C1	452,7	32,0	32,7	0,22
	C2	473,5	28,9	35,0	0,39
	C3	443,9	33,3	34,6	0,21
	Rata-rata	456,7	31,4	34,1	0,27

Selain itu, dari Tabel 1 juga dapat dipahami bahwa seiring dengan kenaikan suhu reaksi maka justru menyebabkan penurunan nilai indeks ketahanan plastisitas (PRI). Nilai PRI karet alam terhidrogenasi yang lebih rendah mengakibatkan karet alam terhidrogenasi tersebut lebih rentan terhadap proses oksidasi termal dibandingkan dengan karet alam murni. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pada reaksi transfer hidrogenasi lateks karet alam pekat yang dijalankan pada suhu 40°C dan 50°C telah terjadi reaksi samping depolimerisasi. Reaksi depolimerisasi menyebabkan terjadinya pemutusan rantai panjang molekul poliisoprena menjadi rantai molekul yang lebih pendek. Reaksi samping ini tidak diinginkan karena menurunkan sifat mekanik dan panas karet alam. Dengan demikian tingginya nilai derajat hidrogenasi yang ditemukan pada karet alam terhidrogenasi yang direaksikan pada suhu 40°C dan 50°C bukan disebabkan oleh pemutusan ikatan rangkap C=C melalui mekanisme transfer hidrogenasi oleh senyawa diimida melainkan pemutusan rantai molekul secara depolimerisasi. Reaksi depolimerisasi ini diperkirakan terjadi karena dipicu oleh adanya radikal bebas

hidroksil yang terbentuk dari peruraian hidrogen peroksida pada suhu tinggi.

Parameter kadar zat menguap tidak dipengaruhi langsung oleh kondisi reaksi transfer hidrogenasi, melainkan oleh kondisi pengeringan karet alam terhidrogenasi. Meskipun demikian parameter ini turut menentukan mutu karet alam terhidrogenasi. Zat menguap didalam karet sebagian besar terdiri dari uap air dan sisanya adalah zat-zat lain seperti serum yang mudah menguap pada suhu 100°C. Adanya zat menguap di dalam karet selain dapat menyebabkan bau busuk juga dapat memudahkan timbulnya jamur. Jamur dapat menimbulkan kesulitan pada waktu mencampurkan bahan-bahan kimia ke dalam karet pada saat pembuatan kompon karet terutama untuk pencampuran carbon black pada suhu rendah (BSN, 2000). Pengeringan lembaran karet alam terhidrogenasi pada suhu 100°C dibatasi selama 240 menit. Waktu pengeringan yang lama pada suhu tinggi, cenderung dapat menurunkan sifat karet alam terhidrogenasi. Adanya sisa hidrogen peroksida yang tidak bereaksi, maka dapat membentuk radikal bebas saat berlangsungnya proses pengeringan. Radikal bebas ini dapat

memicu terjadinya reaksi depolimerisasi yang menyebabkan karet alam terhidrogenasi memiliki tekstur yang lembek dan lengket. Dari Tabel 1 terlihat bahwa, nilai kadar zat menguap cukup rendah (di bawah 1%) yang berarti bahwa waktu pengeringan selama 240 menit dapat dianggap sebagai waktu pengeringan karet alam terhidrogenasi yang optimal.

KESIMPULAN

Terbentuknya karet alam terhidrogenasi di konfirmasi secara kualitatif dengan uji FTIR dan secara kuantitatif melalui pengujian bilangan iod, derajat hidrogenasi, dan indeks ketahanan plastisitas. Pada spektrum FTIR karet alam terhidrogenasi terlihat terjadinya penurunan intensitas serapan pada bilangan gelombang 1661 cm^{-1} akibat dari terputusnya ikatan rangkap tak jenuh C=C menjadi ikatan tunggal jenuh C-C. Demikian pula dengan nilai bilangan iod karet alam terhidrogenasi yang lebih rendah dari nilai bilangan iod karet alam murni juga disebabkan karena terputusnya ikatan rangkap C=C dalam rantai molekul karet alam terhidrogenasi. Suhu reaksi transfer hidrogenasi yang ditetapkan pada 30°C dan waktu pengeringan karet alam terhidrogenasi selama 240 jam dianggap sebagai kondisi teroptimal karena menghasilkan karet alam terhidrogenasi dengan nilai indeks ketahanan plastisitas tertinggi sebesar 43,7. Nilai indeks ketahanan plastisitas umumnya digunakan untuk menggambarkan ketahanan oksidasi termal karet alam mentah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penghargaan tinggi dan ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi atas bantuan pendanaan riset yang telah diberikan kepada Pusat Penelitian Karet melalui Program Insentif Sistem Inovasi Nasional (INSINas) Gelombang 1 TA 2018 sesuai dengan Kontrak Pelaksanaan Insentif Penelitian Nomor : 21/INS-1/PPK/E4/2018.

DAFTAR PUSTAKA

- Arayaprane, W., & Rempel, G.L. (2009). Synthesis and mechanical properties of diimide hydrogenated natural rubber vulcanizates. *Journal of Applied Polymer Science*, 114(6), 4066 – 4075. Doi : 10.1002/app.31132.
- Arayaprane, W., Rempel, G.L. (2013). Effects of polarity on the filler-rubber interaction and properties of silica filled grafted natural rubber composite. *Journal of Polymers*, 2013, 1-9. Doi : 10.1155/2013/279529.
- Badan Standarisasi Nasional. (2000). SNI 06-1903-2000 : *Standard Indonesian Rubber (SIR)*. Jakarta, Indonesia : BSN.
- Ibrahim, S., Daik, R., & Abdullah, I. (2014). Functionalization of liquid natural rubber via oxidative degradation of natural rubber. *Polymers*, 6, 2928-2941. Doi : 10.3390/polym6122928.
- Kongparakul, S., Ng, F.T.T., & Rempel, G.L. (2011). Metathesis hydrogenation of natural rubber latex. *Applied Catalysis A: General*, 405(1-2), 129 – 136. Doi : 10.1016/j.apcata.2011.07.039.
- Kovuttikulrangsie, S., & Sakdapipanich, J.T. (2005). The molecular weight (MW) and molecular weight distribution (MWD) of NR from different age and clone Hevea tress. *Songklanakarinn. J. Sci. Technol.* 27(2), 337-342.
- Mahittikul, A., Prasassarakich, P., & Rempel, G.L. (2007). Diimide hydrogenation of natural rubber latex. *Journal of Applied Polymer Science*, 105(3), 1188 – 1199. Doi : 10.1002/app.25944.
- Mahittikul, A., Prasassarakich, P., & Rempel, G.L. (2009). Hydrogenation of natural rubber latex in the presence of $[\text{Ir}(\text{cod})(\text{Pcy}_3)(\text{py})]\text{PF}_6$. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 297, 135-141. Doi : 10.1016/j.molcata.2008.09.006.

- Piya-areetham, P., Prasassarakich, P., & Rempel, G.L. (2013). Organic solvent-free hydrogenation of natural rubber latex and synthetic polyisoprene emulsion catalyzed by water-soluble rhodium complexes. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 372, 151 – 159. Doi : 10.1016/j.molcata.2013.02.025.
- Puviarasan, N., Arjunan, V., & Mohan, S. (2004). FTIR and FT-Raman Spectral investigation on 4-Aminoquinoline and 5-Aminoquinoline. *Turkish Journal of Chemistry*, 28, 53-65.
- Wang, D., & Astruc, D. (2015). The golden age of transfer hydrogenation. *Chemical Reviews*, 115, 6621-6686.
- Yulianto, E. (2014). *Modifikasi Karet Alam Pada Fase Lateks Pekat (Hevea Brasiliensis) dengan cara Hidrogenasi Tanpa Katalis* [Tesis]. Institut Pertanian Bogor. Bogor.