

KEMAMPUAN PROSES DAN KARAKTERISTIK VULKANISASI CAMPURAN NBR/EPDM

PROCESSABILITY AND VULCANIZATION CHARACTERISTICS OF NBR/EPDM BLEND

Hesty Eka Mayasari¹⁾, Ike Setyorini¹⁾ dan Noor Maryam Setyadewi¹⁾

¹⁾Balai Besar Kulit, Karet, dan Plastik
Jl. Sokonandi No. 9 Yogyakarta, 55166, Indonesia
e-mail: hestyeka@kemenperin.go.id

Diterima: 6 Februari 2018; Direvisi : 23 Februari 2018 – 20 Juni 2018; Disetujui: 28 Juni 2018

ABSTRAK

Pencampuran dua karet atau lebih dapat menghasilkan sifat produk yang unggul. Penelitian ini mempelajari tentang kemampuan proses dan karakteristik pematangan dari campuran NBR/EPDM. Pada penelitian ini digunakan beberapa jenis kompatibiliser, yaitu metil-metakrilat-butadiene-stirene (MBS), montmorillonite, dan silika. Kompatibiliser digunakan untuk mendapatkan kompon yang homogen. Kompon NBR/EPDM dibuat dengan menggunakan *two-roll mill*. Viskositas mooney, reologi, dan kinetika pematangan dipelajari dengan menggunakan *mooney viscometer* dan *rheometer*. Dari penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa campuran NBR/EPDM menghasilkan kompon dengan kemampuan proses, waktu pematangan, serta indeks kecepatan reaksi yang lebih baik dari kompon NBR dan kompon EPDM secara terpisah. Montmorillonite sebagai kompatibiliser menghasilkan kompon yang memiliki kemampuan proses serta memberikan indeks kecepatan reaksi yang lebih baik dibandingkan dengan MBS dan silika. Montmorillonite dapat menjadi kompatibiliser yang sesuai untuk campuran NBR/EPDM.

Kata kunci: NBR/EPDM, MBS, montmorillonite, silika, kompatibiliser

ABSTRACT

Blending of two rubbers can produce superior product properties. This study examines the process and cure characteristics of the NBR/EPDM blend. This study used several types of compatibilizer, i.e. methyl-methacrylate-butadiene-stirene (MBS), montmorillonite, and silica. Compatibilizer is used to get the homogeneous blend. NBR/EPDM compounds were done by two-roll mill. The mooney viscosity, rheology, and cure kinetics were studied with mooney viscometer and rheometer. It is known that the NBR/EPDM blends produce the compound with the process ability, curing time, and cure rate index better than NBR compound and EPDM compound separately. Montmorillonite as the compatibilizer produces compound with the process ability and cure rate index better than MBS and silica. Montmorillonite can be used as appropriate compatibilizer for the NBR/EPDM blend.

Keywords: NBR/EPDM, MBS, montmorillonite, silica, compatibilizer

PENDAHULUAN

Karet merupakan polimer yang memiliki banyak kegunaan di kehidupan sehari-hari. Kebutuhan akan produk karet semakin lama semakin meningkat dan bervariasi seiring dengan bertambahnya kebutuhan manusia. Saat ini, penelitian banyak dilakukan mengenai pencampuran antar karet, baik karet alam dengan karet alam maupun karet alam dengan karet sintesis. Pencampuran dua buah karet dapat meningkatkan kualitas produk dan mengimprovisasi kekurangan dari masing-masing karet yang digunakan. Proses pencampuran karet merupakan hal menarik karena banyak hal yang perlu

diperhatikan agar tercapainya produk yang diinginkan. Beberapa hal yang menyebabkan campuran tidak kompatibel diantaranya perbedaan polaritas, kejenuhan, dan kelarutan. Beberapa cara untuk mendapatkan campuran karet yang kompatibel diantaranya dengan penambahan kompatibiliser (Tawfik & El, 2014) ataupun dengan modifikasi teknik blending (Indrajati & Sholeh, 2014).

Dalam penelitian ini, dipelajari pencampuran antar karet sintesis yaitu karet NBR (Nitrile butadiene rubber) dan EPDM (Ethylene propylene diene monomer rubber). Karet NBR adalah kopolimer dari akrilonitril dan butadiena yang bersifat polar dan tidak jenuh.

Kepolaran dari NBR ini ditentukan oleh besarnya kadar akrilonitril dalam NBR. Semakin besar kadar ACN, semakin tahan terhadap pelarut hidrokarbon (Kantala *et al.*, 2009). NBR banyak digunakan pada industri otomotif karena ketahannya terhadap minyak yang baik. Namun, karet NBR mudah terdeteriorasi ozon dan tidak tahan terhadap pelarut polar (Jovanović *et al.*, 2009). EPDM adalah karet nonpolar dan memiliki ketahanan ozon yang baik karena memiliki ikatan jenuh pada strukturnya (Ning *et al.*, 2014). EPDM memiliki ketahanan terhadap pelarut polar dan ketahanan terhadap panas yang baik (Yi *et al.*, 2014). EPDM banyak digunakan di industri kimia dan sebagai insulator (Jovanovic *et al.*, 2013).

Dalam penelitian ini akan dilakukan pencampuran NBR/EPDM dengan penggunaan beberapa kompatibiliser, diantaranya dengan MBS (methyl methacrylate-butadiene-styrene), montmorillonite, dan silika. MBS sebelumnya digunakan oleh Arayaprane *et al.* dan mendapatkan hasil bahwa MBS dapat meningkatkan kompatibilitas NR/EPDM (Arayaprane & Rempel, 2007). MBS dikenal dapat mengimprovisasi ketahanan impak pada polimer. MBS mengandung polimer karet pada susunan elastomernya yaitu styrene-butadiene rubber (SBR) sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik polimer (Ren *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2014; Zhou *et al.*, 2012). MBS juga banyak digunakan sebagai kompatibiliser baik untuk plastik (Moolsin & Saksayamkul, 2016; Mousavi & Amraei, 2015; Liu *et al.*, 2014). Montmorillonite (MMT) adalah salah satu mineral tanah liat alami yang memiliki luas permukaan yang besar. Beberapa penelitian menggunakan MMT sebagai kompatibiliser, dan didapatkan hasil bahwa MMT dapat meningkatkan ketahanan termal, ketahanan terhadap api dan memperbaiki sifat mekanik pada EPDM (Yi *et al.*, 2014), NBR/SBR (Tawfik & El, 2014), EPDM/silicone (Vijayalekshmi & M, 2013), NBR (Rajasekar *et al.*, 2009). Sedangkan silika merupakan salah satu bahan pengisi yang banyak digunakan untuk produk karet yang berwarna. Namun, silika juga dapat memberikan

pengaruh yang baik sebagai kompatibiliser yang ditunjukkan pada penelitian yang dilakukan oleh Kantala *et al.* pada campuran NR/NBR (Kantala *et al.*, 2009).

Pencampuran NBR/EPDM ini diharapkan dapat menghasilkan produk dengan kualitas superior dan mengurangi kelemahan pada masing-masing karet. Diharapkan campuran NBR/EPDM dapat menghasilkan produk yang memiliki ketahanan terhadap oli dan panas yang baik dan dapat diaplikasikan di industri otomotif, selang, dan *belt conveyor*. Penelitian mengenai pencampuran NBR/EPDM telah banyak dilakukan, terutama mengenai blending rasio dan bahan pengisi (Al-gahtani, 2011; Samarz *et al.*, 2013; Jovanovic *et al.*, 2013). Namun, penelitian mengenai jenis kompatibiliser yang cocok untuk campuran ini belum banyak dilakukan. Dalam penelitian ini dilakukan blending NBR/EPDM baik tanpa kompatibiliser maupun dengan menggunakan beberapa kompatibiliser. Kompatibiliser yang digunakan dalam penelitian ini adalah metil-metakrilat-butadiene-stirene (MBS), montmorillonite, dan silika. Dengan diketahuinya perbedaan hasil penggunaan kompatibiliser maupun tanpa kompatibiliser serta diketahuinya jenis kompatibiliser terbaik, maka dapat diketahui formulasi yang tepat dalam pencampuran NBR/EPDM.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah NBR (Krynac 4975 F dengan kadar ACN $48,5 \pm 1,5\%$), EPDM (Keltan 4551 A dengan kadar ENB 8,7%). Bahan aditif yang digunakan adalah zinc oxide (ZnO) Indoxide dan asam stearat Aflux 42 M ex Rhein Chemie sebagai aktivator, *carbon black* jenis N330 *High Abrasion Furnace* (HAF) dan N774 *Semi Reinforcing Furnace* (SRF) (OCI, Korea) sebagai *filler*, parafinik oil dari Indrasari, parafin wax Antilux 654 A sebagai anti oksidan, TMQ Kemai sebagai antioksidan, 6PPD Starchem sebagai anti ozonan, 2,2'-dithiobis(benzothiazole) (MBTS) Kemai,

N-cyclohexyl-benzothiazylsulphenamide (CBS) Kemai sebagai akselerator, methyl methacrylate-butadiene-styrene (MBS) ZB-521 ZB-32 (Huaxing), montmorillonite (Sigma Aldrich), dan Silika (Zeosil 175P, Rhodia Silica Qingdao) sebagai kompatibiliser, PEG (PEG 4000 Korea), serta sulfur Miwon sebagai bahan pemvulkanisasi.

Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *two-roll mill*, *hydraulic press*, *mooney viscometer*, *rheometer* MDR

Gotech 3000 A, *tensile strength tester* merk Kao Tieh, dan *durometer shore A*.

Metode Penelitian

NBR dan EPDM serta bahan tambahan lainnya ditimbang sesuai formulasi, selanjutnya digiling dengan *two-roll mill* dengan suhu 40-50°C. Kompon yang diperoleh dikondisikan pada suhu ruang selama 24 jam. Setelah itu dilakukan uji dengan *rheometer*. Selanjutnya kompon divulkanisasi sesuai waktu pada *rheometer*. Formulasi penelitian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Formulasi komposit NBR/EPDM

Jenis bahan	Jumlah bahan, phr					
	N ₁₀ E ₀	N ₀ E ₁₀	N ₅ E ₅	N ₅ E ₅ M	N ₅ E ₅ MMT	N ₅ E ₅ S
NBR	100	0	50	50	50	50
EPDM	0	100	50	50	50	50
Zinc Oksida (ZnO)	5	5	5	5	5	5
Asam stearat	1	1	1	1	1	1
HAF CB N330	30	30	30	30	30	30
SRF CB N774	30	30	30	30	30	30
MBS	0	0	0	2.5	0	0
Montmorillonite	0	0	0	0	2.5	0
Silica (zeosil)	0	0	0	0	0	2.5
PEG	0	0	0	0	0	0.1
Paraffinic Oil	10	10	10	10	10	10
Paraffinic Wax	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
6 PPD	5	5	5	5	5	5
MBTS	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
CBS	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Sulphur	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

Viskositas Mooney NBR/EPDM (ML1+4, 100 °C)

Viskositas mooney ML(1+4), diukur dengan menggunakan MonTech *Mooney Viscometer* MV 3000 pada 100°C dengan kecepatan rotor 2 rpm (0.21 putaran/detik). Kondisi ML (1+4) diartikan 1 menit pre-heating dan uji selama 4 menit.

Reologi campuran NBR/EPDM

Waktu *scorch* (ts₂), waktu pemasakan optimum (t₉₀), kecepatan reaksi, torsi viskos (S'') and elastis (S') didapat dari pengujian dengan menggunakan Moving

Die *Rheometer* Gotech M-3000A. Sampel diuji pada suhu 150, 160, 170 and 180°C.

Dari hasil *rheometer*, dapat dihitung indeks kecepatan pematangan (CRI) dengan persamaan berikut:

$$CRI = \frac{100}{(t_{90} - t_{s2})} \quad (1)$$

Dari hasil *rheometer* juga dapat dipelajari kinetika pematangannya, untuk kemudian didapatkan konstanta kecepatan reaksi. Kinetika pematangan dapat dihitung menggunakan model kinetika untuk

memprediksi waktu pematangan optimum. Perhitungan konstanta kecepatan reaksi dilakukan seperti penelitian sebelumnya (Semsarzadeh *et al.*, 2005; Yuniari *et al.*, 2016). Reaksi kimia secara umum dapat dimodelkan dalam persamaan diferensial seperti pada persamaan (2)

$$\frac{dx}{dt} = k f(x) \tag{2}$$

Dimana persamaan kimia secara umum dapat ditulis sebagai berikut:

$$k = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \tag{3}$$

Derajat kematangan atau konversi (α) didefinisikan oleh persamaan (1)

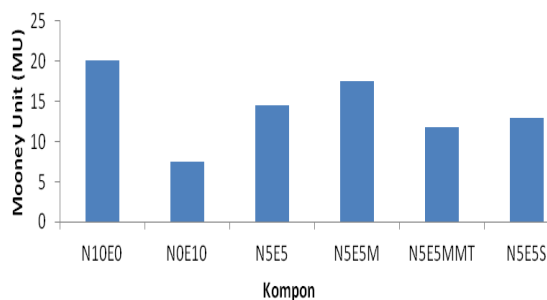
$$\ln \frac{(M_H - M_t)}{(M_H - M_L)} = kt \tag{4}$$

Dengan memplotkan $\ln(M_H - M_t)$ dan t , didapatkan garis lurus reaksi pematangan mengikuti orde pertama dan didapatkan nilai konstanta kecepatan reaksi, k .

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Viskositas Mooney

Viskositas mooney menunjukkan kemampuan proses dari kompon yang menunjukkan kemampuan alir kompon. Semakin tinggi viskositas menunjukkan kemampuan alir yang kurang baik sehingga semakin susah suatu kompon untuk diproses. Hal ini kurang disukai di industri karena membutuhkan tenaga yang besar untuk memprosesnya. Namun, kompon dengan viskositas yang tinggi memiliki sifat mekanik yang lebih baik dari kompon dengan viskositas mooney yang rendah (Mayasari *et al.*, 2017).



Gambar 1. Viskositas mooney (ML 1+4) campuran NBR/EPDM

Dari hasil pengujian, kompon EPDM (N0E10) memiliki viskositas mooney yang paling rendah dan kompon NBR (N10E0) memiliki viskositas mooney tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa EPDM memiliki laju alir yang lebih baik dari NBR, sehingga lebih mudah diproses dan dicetak. Kompon campuran NBR/EPDM menunjukkan viskositas mooney yang berada diantara viskositas mooney kompon NBR dan kompon EPDM secara terpisah. Hal ini menunjukkan bahwa laju alir kompon campuran NBR/EPDM lebih baik jika dibandingkan dengan kompon NBR dan sifat mekaniknya juga lebih baik daripada kompon EPDM.

Montmorillonite memberikan viskositas mooney lebih rendah (11.735 MU) dibandingkan dengan kompatibiliser lainnya, sedangkan MBS memberikan viskositas mooney tertinggi. Dari hasil uji viskositas mooney ini, diketahui bahwa montmorillonite ini memberi pengaruh yang baik dalam laju alir kompon NBR/EPDM. Dimungkinkan kompatibiliser montmorillonite terdispersi merata pada molekul karet sehingga membuat kompon mudah mengalir.

b. Reologi dan karakteristik dinamik

Pengujian reologi kompon dilakukan dengan *rheometer*. Dari hasil pengujian dari *rheometer* didapatkan waktu *scorch* (ts_2) dan waktu optimum (tc_{90}) yang ditunjukkan pada Tabel 2. Waktu *scorch* adalah indikator waktu aman untuk kompon. Waktu *scorch* merupakan batas waktu aman ketika kompon masih dapat diproses karena bersifat plastis. Semakin tinggi waktu *scorch*, semakin baik kompon tersebut karena memiliki waktu simpan yang lebih lama. Setelah melewati waktu *scorch*, akan terjadi reaksi kimia dan terbentuk ikatan silang antara molekul karet dan bahan aditifnya. Pembentukan ikatan silang ini akan berlangsung hingga tc_{90} (Yuniari *et al.*, 2016). Waktu optimum (tc_{90}) adalah waktu yang dibutuhkan kompon hingga masak. Dalam proses pembentukan ikatan silang, dibutuhkan energi panas, sehingga waktu optimum

(t_{c90}) yang lebih singkat lebih disukai untuk mengurangi biaya produksi.

Tabel 2. Waktu *scorch* dan waktu optimum kompon NBR/EPDM

Kompon	t_{s2} , detik				t_{c90} , detik			
	150°C	160°C	170°C	180°C	150°C	160°C	170°C	180°C
N₁₀E₀	46	28	16.5	10.5	460.5	504.5	402.5	272.5
N₀E₁₀	460.5	504.5	402.5	272.5	2822.5	2339.5	1848.5	1089.5
N₅E₅	60.5	15	22	17.5	948	444.5	249.5	129.5
N₅E₅M	57	4.5	23.5	18	1161.5	520.5	259.5	168
N₅E₅MMT	59.5	7.5	26	17	1059.5	434.5	263	128
N₅E₅S	59	31	25	17.5	1069.5	610	314	144.5

Dari hasil pengujian diketahui bahwa secara umum kompon NBR (N10E0) memberikan waktu *scorch* time dan waktu optimum pemasakan yang paling rendah. Sedangkan kompon EPDM (N0E10) memberikan waktu aman dan waktu pemasakan optimum yang paling tinggi. Sedangkan campuran NBR/EPDM memberikan waktu aman dan waktu pematangan diantara keduanya, sehingga pencampuran kedua karet ini dapat memberikan waktu aman yang lebih lama dan juga waktu pemasakan optimum yang lebih cepat (948; 444.5; 249.5; 129.5 detik pada 150, 160, 170, dan 180°C). Sedangkan pengaruh kompatibiliser tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada waktu *scorch* dan waktu pemasakan optimum.

Suhu vulkanisasi memberikan pengaruh pada *scorch* time dan waktu optimum pemasakan. Semakin tinggi suhu vulkanisasi, secara umum semakin cepat juga waktu *scorch* dan waktu pemasakan optimum. Hal ini dikarenakan panas dapat meningkatkan laju reaksi, sehingga reaksi antara molekul karet dan bahan aditifnya berlangsung lebih cepat (Yuniari *et al.*, 2017).

Dari persamaan (1) dapat diketahui CRI (*cure rate index*) suatu kompon yang ditunjukkan pada Tabel 3. CRI yang tinggi menunjukkan tingginya kecepatan reaksi. Semakin tinggi suhu vulkanisasi menghasilkan CRI yang semakin tinggi. Hal ini dikarenakan panas dapat membuat

partikel karet dan bahan aditif bergerak semakin cepat, sehingga tumbukan antar molekul karet terjadi lebih sering, maka laju reaksi akan meningkat. Campuran NBR/EPDM tanpa kompatibiliser memberikan nilai CRI yang secara umum lebih besar dari kompon NBR dan kompon EPDM secara terpisah (0.113; 0.233; 0.440; 0.893 detik^{-1} pada 150, 160, 170, dan 180°C) yang menunjukkan bahwa reaksi vulkanisasi campuran NBR/EPDM lebih cepat dari kompon NBR dan kompon EPDM secara terpisah. Montmorillonite sebagai kompatibiliser memberikan laju reaksi yang tinggi yang menunjukkan bahwa reaksi vulkanisasi terjadi lebih cepat. Hal ini sesuai dengan waktu pemasakan optimum yang lebih cepat dari kompon lainnya (1059,5; 434,5; 263; 128 detik pada 150, 160, 170, dan 180°C).

Tabel 3. CRI kompon NBR/EPDM

Kompon	CRI (detik^{-1})			
	150°C	160°C	170°C	180°C
N₁₀E₀	0.241	0.210	0.259	0.382
N₀E₁₀	0.042	0.054	0.069	0.122
N₅E₅	0.113	0.233	0.440	0.893
N₅E₅M	0.091	0.194	0.424	0.667
N₅E₅MMT	0.100	0.234	0.422	0.901
N₅E₅S	0.099	0.173	0.346	0.787

Tabel 4. Karakteristik dinamik kompon NBR/EPDM

Suhu vulkanisasi	Kompon	S'ML kgf.cm	S'MH kgf.cm	S''ML kgf.cm	S''MH kgf.cm	tan δ S''ML	tan δ S''MH	delta torsi kgf.cm
150°C	N₁₀E₀	4.22	50.42	4.14	10.98	0.98	0.22	46.2
	N₀E₁₀	5.61	34.27	5.46	9.48	0.97	0.28	28.66
	N₅E₅	4.09	42.97	4.1	10.78	1.00	0.25	38.88
	N₅E₅M	4.46	43.09	4.43	12.14	0.99	0.28	38.63
	N₅E₅MMT	4.55	40.39	4.38	11.6	0.96	0.29	35.84
	N₅E₅S	4.27	37.65	4.24	10.92	0.99	0.29	33.38
160°C	N₁₀E₀	3.99	59.21	3.9	12.55	0.98	0.21	55.22
	N₀E₁₀	5.66	36.44	5.26	10.64	0.93	0.29	30.78
	N₅E₅	4.05	41.92	4.01	10.45	0.99	0.25	37.87
	N₅E₅M	4.29	39.51	4.15	11.59	0.97	0.29	35.22
	N₅E₅MMT	4.27	38.09	4.16	11.45	0.97	0.30	33.82
	N₅E₅S	4.06	40.46	4	11.78	0.99	0.29	36.4
170°C	N₁₀E₀	3.52	55.11	3.58	11.98	1.02	0.22	51.59
	N₀E₁₀	5.25	44.01	5.1	10.18	0.97	0.23	38.76
	N₅E₅	3.76	40.68	3.79	9.41	1.01	0.23	36.92
	N₅E₅M	4.00	37.36	3.93	11.44	0.98	0.31	33.36
	N₅E₅MMT	3.97	36.25	3.95	11.07	0.99	0.31	32.28
	N₅E₅S	3.67	37.5	3.71	11.54	1.01	0.31	33.83
180°C	N₁₀E₀	3.54	51.76	3.63	12.3	1.03	0.24	48.22
	N₀E₁₀	5.4	45.58	5.02	10.26	0.93	0.23	40.18
	N₅E₅	3.52	37.1	3.6	9.57	1.02	0.26	33.58
	N₅E₅M	3.8	35.13	3.71	10.8	0.98	0.31	31.33
	N₅E₅MMT	4.26	34.72	4.06	10.29	0.95	0.30	30.46
	N₅E₅S	3.54	34.27	3.63	12.3	1.03	0.36	30.73

Tabel 4 menunjukkan karakteristik dinamik dari kompon NBR/EPDM. Data karakteristik ini didapat dari pengujian dengan menggunakan *rheometer*, yang menunjukkan mH (torsi maksimum) dan mL (torsi minimum). Karet merupakan material yang memiliki elemen viskos (S'') dan elemen elastis (S') sehingga disebut bersifat viskoelastis. Dari Tabel 4 diketahui bahwa kompon EPDM memberikan S'ML

yang tertinggi. Torsi elastis minimum (S'ML) berhubungan dengan viskositas dan kemampuan proses kompon (Jovanovic *et al.*, 2013; Kinasih & Fathurrohman, 2016). Hal ini menunjukkan bahwa kompon EPDM memberikan viskositas dan kemampuan proses terbaik, sesuai dengan hasil uji viskositas mooney. Sedangkan torsi elastis maksimum (S'MH) menunjukkan

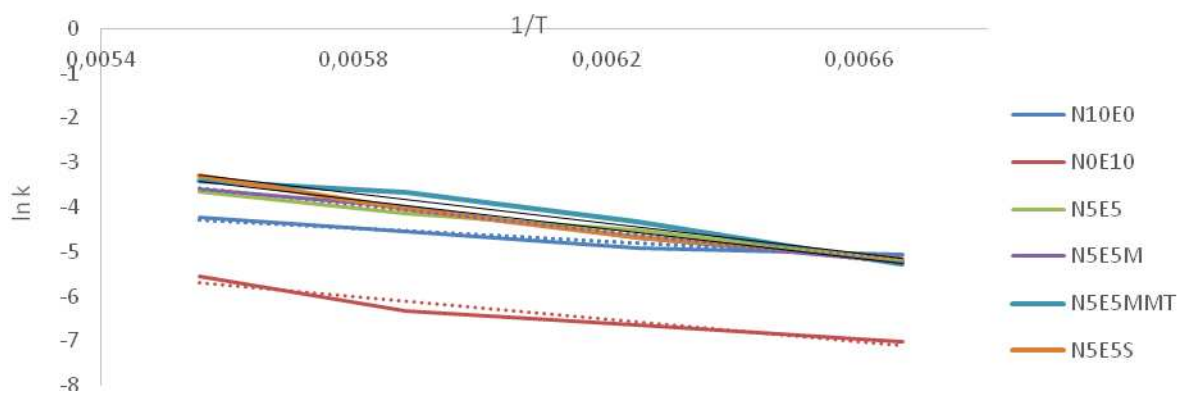
ikatan silang pada proses vulkanisasi. Dari Tabel 4 diketahui bahwa kompon NBR memberikan S'MH tertinggi, demikian pula dengan selisih torsi (S'MH-S'ML). Sedangkan campuran NBR/EPDM tanpa kompatibiliser memberikan selisih torsi sedikit lebih tinggi dibandingkan campuran NBR/EPDM dengan kompatibiliser. Selisih torsi merepresentasikan banyaknya ikatan silang yang terjadi dan berkaitan dengan modulus geser pada kompon (Jovanović *et al.*, 2009).

Dari hasil uji *rheometer* juga dapat diketahui karakteristik damping dari kompon. Karakteristik damping adalah rasio dari elemen viskos dan elastis (S''/S'). Hal ini penting untuk mengetahui sifat kompon yang berhubungan dengan pencetakan. $\tan \delta$ (ML) menunjukkan karakteristik damping pada kompon dan $\tan \delta$ (MH) menunjukkan karakteristik damping pada vulkanisat. Dari Tabel 4 diketahui bahwa faktor damping ($\tan \delta$ MH) berbanding terbalik dengan jumlah ikatan silang. Ikatan silang yang tinggi menunjukkan bahwa vulkanisat banyak

didominasi oleh elemen elastis (Nabil *et al.*, 2013; Indrajati & Sholeh, 2014).

c. Kinetika vulkanisasi

Kinetika vulkanisasi dapat dipelajari dari data *rheometer*. Dari persamaan (4) didapatkan grafik plot yang ditunjukkan pada Gambar 2 sehingga dapat dilakukan perhitungan kinetika vulkanisasi yang disajikan pada Tabel 5. Suhu vulkanisasi yang semakin tinggi memberikan konstanta kecepatan reaksi yang juga semakin tinggi. Hal ini dikarenakan panas dapat membuat partikel karet dan bahan aditif bergerak semakin cepat, sehingga tumbukan antar molekul terjadi lebih sering dan laju reaksi meningkat. Konstanta kecepatan reaksi tertinggi diberikan oleh montmorillonite, yang menunjukkan bahwa kompatibiliser dapat meningkatkan kecepatan reaksi. Hal ini juga sesuai dengan perhitungan CRI yang menyatakan bahwa montmorillonite menghasilkan indeks kecepatan pematangan tertinggi. Konstanta kecepatan reaksi merepresentasikan indeks kecepatan pematangan.



Gambar 2. Plot grafik persamaan (4) kompon NBR/EPDM

Dari Tabel 5 diketahui bahwa montmorillonite menghasilkan energi aktivasi tertinggi pada campuran NBR/EPDM (14126.32 kJ/mol). Seluruh kompatibiliser membutuhkan energi yang lebih tinggi untuk proses vulkanisasi dibandingkan dengan NBR/EPDM tanpa kompatibiliser maupun kompon NBR dan kompon EPDM. Kompon dengan montmorillonite membutuhkan energi

aktivasi yang tertinggi untuk memulai reaksi vulkanisasi. Energi aktivasi vulkanisasi adalah energi yang dibutuhkan selama proses pematangan. Energi aktivasi untuk campuran NBR/EPDM lebih besar daripada kompon NBR dan kompon EPDM dapat dikarenakan energi untuk pencampuran dua karet lebih besar daripada energi untuk memproses satu jenis karet.

Tabel 5. Kinetika vulkanisasi NBR/EPDM

Vulkanisat	Rate konstan, k (sec ⁻¹)				E_a (kJ/mol)	R^2
	150 °C	160 °C	170 °C	180 °C		
N ₁₀ E ₀	0.0064	0.0072	0.0106	0.0147	6395.38	0.9420
N ₀ E ₁₀	0.0009	0.0013	0.0018	0.0039	10473.98	0.9325
N ₅ E ₅	0.0055	0.0108	0.0158	0.0260	11340.30	0.9932
N ₅ E ₅ M	0.0053	0.0093	0.0185	0.0277	12693.82	0.9944
N ₅ E ₅ MMT	0.0051	0.0133	0.0252	0.0328	14126.32	0.9640
N ₅ E ₅ S	0.0057	0.0094	0.0173	0.0367	13812.05	0.9792

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa campuran NBR/EPDM memberikan kemampuan proses kompon dan karakteristik vulkanisat yang lebih baik dibandingkan dengan kompon NBR dan kompon EPDM secara terpisah berdasarkan mooney viscosity (14.455 MU), waktu optimum (948; 444.5; 249.5; 129.5 detik pada 150, 160, 170, dan 180°C) serta indeks kecepatan pematangan (0.113; 0.233; 0.440; 0.893 detik⁻¹ pada 150, 160, 170, dan 180°C). Kompatibiliser tidak memberi pengaruh yang sangat signifikan terhadap waktu *scorch* dan selisih torsi kompon. Kompatibiliser montmorillonite memberikan kemampuan proses kompon terbaik dengan viskositas mooney terendah (11.735 MU), waktu pemasakan optimum yang baik (1059.5; 434.5; 263; 128 detik pada 150, 160, 170, dan 180°C) serta indeks kecepatan pematangan tertinggi (0.100; 0.234; 0.422; 0.901 detik⁻¹ pada 150, 160, 170, dan 180°C). Kompon dengan montmorillonite sebagai kompatibiliser membutuhkan energi aktivasi tertinggi untuk memulai reaksi vulkanisasi (14126.32 kJ/mol). Hal ini menunjukkan bahwa montmorillonite dapat menjadi kompatibiliser yang sesuai untuk campuran NBR/EPDM.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Balai Besar Kulit, Karet, dan

Plastik atas pendanaan dari penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Ir. Arum Yuniari yang telah memberi masukan dalam kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-gahtani, S. (2011). Mechanical Properties of Acrylonitrile butadiene / Ethylene Propylene Diene Monomer Blends: Effects of Blend Ratio and Filler Addition. *Journal of American Science*.7(8): 804–809.
- Arayaprane, W., & Rempel, G. L. (2007). Properties of NR / EPDM Blends with or without Methyl Methacrylate-Butadiene-Styrene (MBS) as a Compatibilizer. *International Journal of Materials and Structural Reliability*.5(1): 1–12.
- Indrajati, I. N., & Sholeh, M. (2014). Pengaruh rasio MBTS/ZDEC pada campuran karet alam dan etilen propilen diena yang dibuat dengan teknik kontrol migrasi curatives. *Majalah Kulit, Karet Dan Plastik*. 30(1): 43–52.
- Jovanovic, S., Markovic, G., Budinski, J., & Marinovic, M. (2013). Composites based on carbon black reinforced NBR / EPDM rubber blends Composites: Part B. *Composites: Part B*.45: 333–340. <http://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.05.020>
- Jovanović, V., Budinski-Simendić, J., Samardžija-Jovanović, S., Marković, G., & Marinović-Cincović, M. (2009). The influence of carbon black on curing kinetics and thermal aging of acrylonitrile-butadiene rubber. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*.15(4): 283–289. <http://doi.org/10.2298/CICEQ0904283J>

- Kantala, C., Wimolmala, E., Sirisinha, C., & Sombatsompop, N. (2009). Reinforcement of compatibilized NR / NBR blends by fly ash particles and precipitated silica. *Polymer Advance Technology*.20: 448–458. <http://doi.org/10.1002/pat.1293>
- Kinasih, N. A., & Fathurrohman, M. I. (2016). Ketahanan n-pentana dan sifat mekanis vulkanisat karet perapat dari campuran karet alam / akrilonitril-butadiena dengan kompatibiliser. *Majalah Kulit, Karet Dan Plastik*.32(2), 99–110.
- Liu, Y., Li, H., Ding, X., Zhu, J., Zhang, L., Pan, W., & Cai, R. (2014). Effect of the compatibilizers on polycarbonate (PC) (ABS) blend.1(3): 48–52.
- Mayasari, H. E., Setyadewi, N. M., & Yuniari, A. (2017). Pengaruh Kompatibiliser pada Karakteristik Kompon dan Sifat Mekanik Komposit NBR / EPDM Influence of Compatibilizer on Compound Characteristic and Mechanical Properties of NBR / EPDM Composite. *Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet, Dan Plastik*.6: 111–122.
- Moolsin, S., & Saksayamkul, N. (2016). Natural rubber grafted poly (methyl methacrylate) as compatibilizer in 50 / 50 natural rubber / nitrile rubber blend. *Journal of Elastomer & Plastics*. 1–18. <http://doi.org/10.1177/0095244316671021>
- Mousavi, S. R., & Amraei, I. A. (2015). Influence of nanosilica and methyl methacrylate – butadiene – styrene core – shell rubber particles on the physical-mechanical properties and cure kinetics of diglycidyl ether of bisphenol-A-based epoxy resin. *High Performance Polymers*. 1–11. <http://doi.org/10.1177/0954008315600228>
- Nabil, H., Ismail, H., & Azura, A. R. (2013). Compounding, mechanical and morphological properties of carbon-black-filled natural rubber/recycled ethylene-propylene-diene-monomer (NR/R-EPDM) blends. *Polymer Testing*.32(2): 385–393. <http://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2012.11.003>
- Ning, N., Ma, Q., Zhang, Y., Zhang, L., & Wu, H. (2014). Enhanced thermo-oxidative aging resistance of EPDM at high temperature by using synergistic antioxidants. *Polymer Degradation and Stability*.102: 1–8. <http://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2014.01.037>
- Rajasekar, R., Pal, K., Heinrich, G., Das, A., & Das, C. K. (2009). Development of nitrile butadiene rubber – nanoclay composites with epoxidized natural rubber as compatibilizer. *Materials and Design*.30(9): 3839–3845. <http://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.03.014>
- Ren, L., Zhang, M. Y., Wang, Y. R., Na, H., & Zhang, H. X. (2014). The influence of the arrangement of styrene in methyl methacrylate / butadiene / styrene on the properties of PMMA / SAN / MBS blends. *Polymers Advance Technology*.25: 273–278. <http://doi.org/10.1002/pat.3232>
- Samarz, S., Budinski-simendic, J., Markovic, G., & Marinovic, M. (2013). Composites : Part B Composites based on carbon black reinforced NBR / EPDM rubber blends. *Journal Composites*.45: 333–340. <http://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.05.020>
- Semsarzadeh, M. A., Bakhshandeh, G. R., & Barvarz, M. G. (2005). Effect of carbon black on rate constant and activation energy of vulcanization in EPDM/BR and EPDM/NR blends. *Iranian Polymer Journal*. 14: 573–578.
- Tawfik, M. E., & El, S. H. (2014). Compatibilization of NBR / SBR blends using amphiphilic montmorillonites *Journal of Elastomers and Plastics*.46(6): 514–526. <http://doi.org/10.1177/0095244313476507>
- Vijayalekshmi, V., & M, A. M. S. S. (2013). Mechanical , Thermal and Electrical Properties of EPDM / Silicone blend Nanocomposites. *International Journal of Engineering Research and Applications*.3(2): 1177–1180.
- Yi, Z., Jincheng, W., Youcheng, D., Chen, P., & Wen, Z. (2014). Enhanced Application Properties of EPDM / Montmorillonite Composites. *Polymer & Polymer Composites*.22(9): 799–808.
- 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.33(2): 65–72.

- Yuniari, A., Setyorini, I., & Mayasari, H. E. (2016). Kinetika vulkanisasi dan sifat mekanis komposit acrylonitrile butadiene rubber (NBR). *Majalah Kulit, Karet Dan Plastik*. 32(2): 117–124.
- Zhou, C., Liu, H., Chen, M., Wu, G., & Zhang, H. (2012). Toughening of Polyvinylchloride by Methyl Methacrylate – Butadiene – Styrene Core – Shell Rubber Particles: Influence of Rubber Particle Size. *Polymer Engineering and Science*. 52(12): 2523–2529. <http://doi.org/10.1002/pen>