

Pengaruh Jenis Bahan Pengisi Terhadap Karakteristik Pematangan Kompon Kloroprena/Karet Alam

The Effect of Filler on the Curing Characteristics of Chloroprena/ Natural Rubber Compound

Hesty Eka Mayasari

Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya
Kementerian Perindustrian
Surabaya, Indonesia
hesty.ekamayasari@yahoo.com

Agung Yanuar Wirapraja

Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya
Kementerian Perindustrian
Surabaya, Indonesia
agungyanuar1945@gmail.com

Abstrak—Pencampuran dua material dapat meningkatkan sifat akhir produk, termasuk pencampuran material karet. Penggunaan bahan pengisi dapat mempengaruhi sifat kompon karet. Karet kloroprena (CR) dan karet alam (NR) memiliki keunggulan dan kekurangan masing-masing sehingga sangat menarik untuk dipelajari. Dalam penelitian ini akan dipelajari pengaruh bahan pengisi pada kompon CR/NR. Bahan pengisi yang digunakan adalah 100% *carbon black* (CB), kombinasi CB (50%) dan zeolit (50%), kombinasi CB (50%) dan kaolin (50%), serta kombinasi CB (50%) dan bentonit (50%). Pembuatan kompon dilakukan dengan *two-roll mill* dan pengujian karakteristik kompon dilakukan dengan *rheometer* pada suhu 140, 150, dan 160 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa CB memberikan karakteristik pematangan terbaik dengan waktu pematangan optimum dan energi aktivasi terendah serta indeks kecepatan reaksi dan konstanta kecepatan reaksi tertinggi. Sedangkan bahan pengisi dari alam terbaik adalah kaolin yang dikombinasikan dengan CB yang menghasilkan waktu pematangan optimum dan energi aktivasi terendah.

Kata Kunci—*karet alam, kloroprena, bahan pengisi, kompon*

Abstract— The blending of two materials can improve the final properties of the product, such as blending the rubber material. The filler influence the characteristics of the rubber compound. Chloroprene rubber (CR) and natural rubber (NR) have their excellent and weakness properties, so it is very interesting to learn. In this study, the effect of fillers on the CR/NR compound will be studied. The fillers used are 100% carbon black (CB), a combination of CB (50%) and zeolite (50%), a combination of CB (50%) and kaolin (50%), and a combination of CB (50%) and bentonite (50 %). The compounds were done by a two-roll mill and the compound characteristics were tested by the rheometer at 140, 150, dan 160 °C. The study shows that CB provides the best curing characteristics with the lowest optimum curing time and activation energy and also the highest reaction speed index and reaction speed constants. While the best natural fillers are kaolin combined with CB which results in the lowest optimum curing time and activation energy.

Keywords—*natural rubber, chloroprene, fillers, compound*

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan, saat ini teknologi pembuatan komposit semakin menarik untuk dipelajari. Komposit adalah material yang terbuat dari dua bahan atau lebih, seperti pencampuran antara karet dengan karet, karet dengan plastik, maupun plastik dengan plastik. Penggunaan campuran dua material atau lebih dapat meningkatkan sifat produk yang dihasilkan^[1-4].

Kloroprena merupakan karet sintesis yang dibuat dari turunan minyak bumi yang bersifat polar. Karet kloroprena merupakan karet yang memiliki ketahanan terhadap ozon dan cuaca yang baik. Karet kloroprena juga memiliki ketahanan terhadap minyak, alkohol, dan alkali^[5,6]. Karena sifatnya yang baik, karet kloroprena banyak digunakan untuk *seal, joint* dan *gasket*. Karet kloroprena memiliki kekurangan, yaitu sifat mekaniknya kurang baik dan harganya cukup mahal. Indonesia merupakan penghasil karet alam terbesar kedua di dunia, namun harga karet alam cukup rendah, sehingga perlu upaya pemanfaatan untuk meningkatkan harga karet alam. Karet alam merupakan karet yang didapatkan dari pohon karet. Karet alam memiliki sifat mekanik yang baik, seperti kuat tarik, kemuluran, dan ketahanan pampat. Karet alam kurang tahan terhadap panas dan ozon^[7]. Dalam penelitian ini kloroprena digunakan bersama dengan karet alam untuk membentuk komposit dengan sifat produk akhir yang baik. Keunggulan dari masing-masing material dapat saling menutupi kekurangan sifat material tersebut.

Dalam pembuatan produk karet, dibutuhkan bahan-bahan aditif diantaranya bahan pemvulkanisasi, bahan pelunak, aktivator, antioksidan, akselerator, dan bahan pengisi. Bahan pengisi merupakan salah satu faktor penting dalam pembuatan barang karet karena berfungsi untuk menambah volume dan juga kekuatan produk. Bahan pengisi yang umum digunakan adalah *carbon black* (CB) karena mudah didapat dan memberikan sifat yang baik pada produk. Namun CB memiliki harga yang lebih tinggi daripada bahan alami karena merupakan produk impor. CB juga berpotensi merusak lingkungan dalam jangka panjang. Oleh karena itu saat ini banyak dicari bahan pengisi alternatif dari alam untuk

menggantikan CB, diantaranya *clay* seperti kaolin, bentonit, dan zeolit^[8,9].

Telah ada beberapa penelitian yang mempelajari mengenai sifat komposit dari pencampuran dua karet CR/NR. Azar et al. mempelajari pengaruh akselerator terhadap sifat CR/NR. Dewi et al. mempelajari pengaruh serat gebang untuk campuran CR/NR^[10,11]. Sepengetahuan penulis, belum ada penelitian yang mempelajari pengaruh bahan pengisi terhadap sifat komposit CR/NR, terutama pada karakteristik pematangannya. Pengaruh jenis bahan pengisi penting untuk dipelajari agar dapat diketahui jenis bahan pengisi terbaik untuk komposit CR/NR. Karakteristik pematangan berhubungan erat dengan energi, biaya, serta waktu yang diperlukan dalam proses produksi. Dengan mengetahui jenis bahan pengisi yang sesuai dan mempelajari karakteristik pematangannya, maka proses produksi akan lebih efisien.

II. BAHAN DAN METODE

Pembuatan kompon karet dilakukan dengan menggunakan alat *two-roll mill*. Bahan-bahan yang digunakan antara lain karet kloroprena (Baypren 2020), karet alam (RSS 1, PTPN), zinc oksida (Indoxide), magnesium oksida (Multicitra), asam stearat (Aflux), *carbon black* (CB N330) (Multicitra), zeolit (lokal), kaolin (lokal), bentonit (lokal), *paraffinic oil* (Indrasari), *paraffinic wax* (Antilux 654A), N-(1,3-dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenyldiamine (6PPD) (Starchem), mercaptobenzothiazole (MBT) (Bayer), dan sulfur (Miwon). Bahan-bahan pada Tabel 1 digiling pada *two-roll mill* hingga homogen dan menghasilkan kompon CR/NR. Kompon kemudian didiamkan pada suhu kamar selama 24 jam, kemudian diuji karakteristik pematangannya dengan rheometer (Gotech). Pada penelitian ini karakteristik pematangan diuji pada suhu 140, 150, dan 160 °C.

TABEL I. FORMULASI KOMPON CR/NR

Bahan	GCC1	GCC2	GCC3	GCC4
CR	25	25	25	25
NR	75	75	75	75
Zinc Oksida	5	5	5	5
MgO	3	3	3	3
Asam stearat	3	3	3	3
CB N330	50	25	25	25
Zeolit	0	25	0	0
Kaolin	0	0	25	0
Bentonit	0	0	0	25
Paraffinic Oil	5	5	5	5
Paraffinic Wax	0.5	0.5	0.5	0.5
6 PPD Vulkanox	5	5	5	5
MBT	2	2	2	2
Sulfur	2	2	2	2

^a bahan dalam satuan phr (part per hundred resin)

Dari hasil uji rheometer, dapat diketahui indeks kecepatan reaksi (*curing rate index*, CRI) yang dapat dihitung dengan persamaan (1) sebagai berikut:

$$Cure\ rate\ index,\ CRI = \frac{100}{(t_{c90} - t_{s2})} \tag{1}$$

Kinetika pematangan dari kompon CR/NR juga dapat dihitung dengan persamaan (2) sesuai dengan penelitian sebelumnya^[12]

$$\ln \frac{(M_H - M_t)}{(M_H - M_L)} = kt \tag{2}$$

Plot dari $\ln(M_H - M_t)$ dengan menghasilkan persamaan (3) garis lurus sebagai berikut:

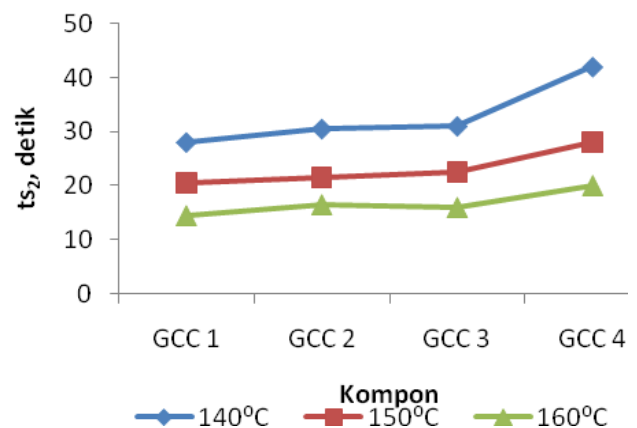
$$\ln(M_H - M_t) = \ln(M_H - M_L) - kt \tag{3}$$

Dari persamaan tersebut didapatkan nilai konstanta kecepatan reaksi. Setelah didapatkan nilai konstanta kecepatan reaksi, energi aktivasi dapat dicari dengan memplotkan persamaan (4) berikut seperti pada penelitian sebelumnya^[13]

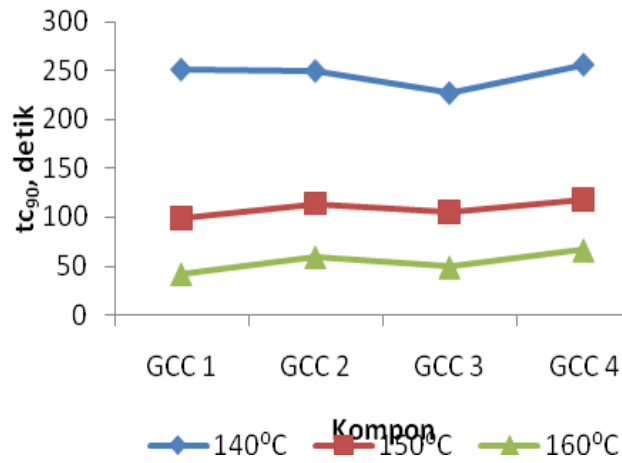
$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{R} \times \frac{1}{T} \tag{4}$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian karakteristik kompon dilakukan dengan menggunakan alat rheometer. Hasil yang didapat dari pengujian rheometer diantaranya torsi maksimal, torsi minimal, waktu scorch (*ts2*), waktu pematangan optimum (*tc90*). Waktu scorch dan waktu pematangan optimum dari kompon CR/NR dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Waktu scorch kompon CR/NR



Gambar 2. Waktu optimum komponen CR/NR

Pada Gambar 1 dan 2, diketahui bahwa semakin tinggi suhu vulkanisasi (pematangan) maka semakin singkat waktu scorch dan waktu optimumnya. Waktu scorch merupakan waktu yang dibutuhkan komponen untuk dapat dibentuk sebelum mulai mengeras (matang). Sedangkan waktu optimum merupakan waktu yang dibutuhkan untuk membuat komponen menjadi matang. Proses pematangan ini merupakan proses terbentuknya ikatan silang taramatriks karet dengan bahan pemvulkanisasinya. Ikatan silang akan semakin meningkat dengan bertambahnya waktu, hingga waktu optimum pemasakan tercapai [14].

Carbon black (CB) memberikan waktu scorch dan waktu pemasakan optimum paling singkat. Sedangkan kombinasi CB dan bentonit memberikan waktu scorch paling tinggi. Hal ini disukai dalam proses produksi, karena waktu sebelum komponen karet mulai matang cukup lama, sehingga lebih mudah dalam membentuk ataupun mencetak produk. Substitusi CB dengan bahan pengisi berbasis clay lainnya (zeolite, kaolin, dan bentonit) memberikan waktu optimum pemasakan yang lebih lama dibandingkan dengan CB tanpa substitusi. Waktu pemasakan optimum yang singkat lebih disukai dalam proses produksi karena energi dan waktu yang dibutuhkan lebih sedikit, sehingga biaya yang dikeluarkan juga lebih rendah.

Dari hasil rheometer juga dapat diketahui torsi minimum (ML) dan torsi maksimum (MH) dari komponen karet serta indeks kecepatan pematangan (CRI). Indeks kecepatan pematangan menunjukkan kecepatan reaksi yang terjadi antar molekul. Nilai torsi menggambarkan besarnya energi yang dibutuhkan untuk memproses karet hingga matang. Selisih torsi (MH-ML) menggambarkan banyaknya ikatan silang yang terbentuk. Sedangkan CRI menggambarkan kecepatan reaksi pematangan yang terjadi. Nilai torsi dan CRI komponen CR/NR dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL II. NILAI TORSI DAN CRI KOMPON CR/NR

Kompon	CRI (detik ⁻¹)			MH-ML (kgf.cm)		
	140 ° C	150 ° C	160 ° C	140 ° C	150 ° C	160 ° C
GCC 1	0.45	1.27	3.70	56.04	54.51	51.95
GCC 2	0.46	1.09	2.41	42.42	41.47	39.70
GCC 3	0.51	1.22	3.23	46.37	45.86	44.26
GCC 4	0.47	1.12	2.15	52.96	47.09	49.69

Dari Tabel 2 diketahui bahwa kenaikan suhu memberikan kenaikan nilai CRI. Kenaikan suhu membuat molekul dalam matriks karet semakin cepat bertumbukan, sehingga reaksinya berjalan lebih cepat [14-15]. Bahan pengisi CB memberikan indeks kecepatan pematangan yang paling tinggi, kemudian kombinasi bahan pengisi CB dan kaolin. Selisih torsi paling tinggi didapat dari bahan pengisi CB. Hal ini menunjukkan bahwa carbon black membentuk ikatan silang yang paling baik dengan matriks karet. Pada umumnya, ikatan silang yang tinggi membuat produk karet memiliki sifat yang lebih baik [1].

Dari hasil rheometer juga dapat dihitung kinetika reaksinya. Hal ini perlu dipelajari untuk mendapatkan efisiensi produksi. Kinetika reaksi dapat dicari dengan mengplotkan persamaan (2). Dari hasil plot persamaan (2), didapatkan persamaan garis persamaan (3) yang ditunjukkan pada Tabel 3.

TABEL III. PERSAMAAN GARIS HASIL PLOT PERSAMAAN (2)

Suhu	Kompon	y=mx+c	slope	R ²
140 ° C	GCC 1	y= -0.0132x+3.9172	-0.0132	0.9707
	GCC 2	y= -0.0079x+3.9483	-0.0079	0.9964
	GCC 3	y= -0.0123x+3.9971	-0.0123	0.9794
	GCC 4	y= -0.0064x+4.1405	-0.0064	0.9999
150 ° C	GCC 1	y= -0.0137x+4.2491	-0.0137	0.9996
	GCC 2	y= -0.0233x+3.8791	-0.0233	0.9775
	GCC 3	y= -0.0135x+4.11	-0.0135	0.9999
	GCC 4	y= -0.0105x+4.2704	-0.0105	1
160 ° C	GCC 1	y= -0.0288x+4.445	-0.0288	0.9999
	GCC 2	y= -0.0269x+4.1712	-0.0269	1
	GCC 3	y= -0.0256x+4.266	-0.0256	1
	GCC 4	y= -0.0266x+4.5282	-0.0266	0.9945

Dari hasil plot persamaan (2), diketahui bahwa didapatkan persamaan garis lurus dengan nilai R² mendekati 1. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi mengikuti orde pertama. Setelah didapatkan slope, maka diperoleh konstanta kecepatan reaksi. Setelah diketahui nilai, maka dapat dicari energi aktivasi pematangan komponen dari slope persamaan garis lurus pada persamaan (3). Nilai dan energiaktivasi (Ea) ditampilkan pada Tabel 4.

TABEL IV. NILAI KONSTANTA KECEPATAN REAKSI DAN ENERGI AKTIVASI KOMPON CR/NR

Kompon	Konstanta kecepatan reaksi, (sec ⁻¹)			Ea (kJ/mol)
	140 ° C	150 ° C	160 ° C	
GCC 1	0.0132	0.0137	0.0288	7107.97
GCC 2	0.0079	0.0233	0.0269	11586.39
GCC 3	0.0123	0.0135	0.0256	6702.33
GCC 4	0.0064	0.0105	0.0266	13156.07

Dari Tabel 4 diketahui bahwa konstanta kecepatan reaksi meningkat dengan bertambahnya suhu pematangan. *Carbon black* memberikan konstanta kecepatan reaksi tertinggi. Hal ini sebanding dengan hasil perhitungan indeks kecepatan reaksi. Energi aktivasi menggambarkan gaya yang dibutuhkan sehingga reaksi mulai terjadi. *Carbon black* dan kombinasi CB dengan kaolin membutuhkan energi yang lebih rendah dibandingkan CB dengan kombinasi zeolit dan bentonit. Dari hasil penelitian diketahui bahwa bahan pengisi CB dan kombinasi CB dengan kaolin memberikan karakteristik pematangan yang baik untuk kompon CR/NR.

IV. KESIMPULAN

Perbedaan jenis bahan pengisi pada kompon CR/NR memberikan karakteristik pematangan yang berbeda - beda. *Carbon black* 100% sebagai bahan pengisi memberikan waktu optimum pematangan yang paling singkat dan membutuhkan energi aktivasi yang rendah (7107.97 kJ/mol). CB menghasilkan ikatan silang terbanyak serta memberikan indeks kecepatan reaksi dan konstanta kecepatan reaksi tertinggi. Kombinasi CB dan kaolin membutuhkan energi aktivasi yang lebih rendah (6702.33 kJ/mol) dibanding kombinasi CB dengan bentonit maupun zeolit. Kaolin memberikan sifat kompon yang lebih baik dibandingkan zeolit dan bentonit. Dari penelitian ini diketahui bahwa bahan pengisi yang paling sesuai untuk CR/NR adalah CB tanpa kombinasi. Namun, kombinasi CB dan kaolin dapat menjadi alternatif untuk substansi bahan pengisi dari bahan alam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BBKPP yang telah memfasilitasi penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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," *Polym. Test.*, vol. 32, no. 2, pp. 385–393, 2013.
- [2] S. Chakraborty *et al.*, "Study of the properties of in-situ sodium activated and organomodified bentonite clay - SBR rubber nanocomposites - Part I: Characterization and rheometric properties," *Polym. Test.*, vol. 29, no. 2, pp. 181–187, 2010.
- [3] C. Ngudsuntear, S. Limtrakul, T. Vatanatham, A. N. Wichien, G. L. Rempel, and W. Arayaprane, "Effect of blend ratio on cure characteristics, mechanical properties, and aging resistance of silica-filled ENR / SBR blends," *Int. Trans. J. Eng. Manag. Appl. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 11–24, 2014.
- [4] V. Jovanović, S. Samaržija-Jovanović, J. Budinski-Simendić, G. Marković, and M. Marinović-Cincović, "Composites based on carbon black reinforced NBR/EPDM rubber blends," *Compos. Part B Eng.*, vol. 45, no. 1, pp. 333–340, 2013.
- [5] B. P. Kappagat and C. Das, "Reinforcing efficiency and compatibilizing effect of sol-gel derived in situ silica for natural rubber/chloroprene rubber blends," *RSC Adv.*, vol. 4, no. 102, pp. 58816–58825, 2014.
- [6] C. Guo, L. Zhou, and J. Lv, "Effects of expandable graphite and modified ammonium polyphosphate on the flame-retardant and mechanical properties of wood flour-polypropylene composites," *Polym. Compos.*, vol. 21, no. 7, pp. 449–456, 2013.
- [7] I. N. Indrajati, M. Sholeh, B. B. Kulit, and P. Yogyakarta, "Pengaruh Rasio MBTS/ZDEC pada Campuran Karet Alam dan Etilen Propilen Diena yang Dibuat dengan Trknik Kontrol Migrasi Curatives," *Maj. Kulit, Karet dan Plast.*, vol. 30, no. 1, pp. 43–52, 2014.
- [8] L. E. Yahaya, K. O. Adebawale, A. R. R. Menon, and S. Rugmini, "Natural rubber / organoclay nanocomposites : Effect of filler dosage on the physicomechanical properties of vulcanizates," *African J. Pure Appl. Chem.*, vol. 4, no. October, pp. 198–205, 2010.
- [9] X. Ge, Z. Zhang, H. Yu, B. Zhang, and U. R. Cho, "Study on viscoelastic behaviors of bentonite/nitrile butadiene rubber nanocomposites compatibilized by different silane coupling agents," *Appl. Clay Sci.*, vol. 157, no. March, pp. 274–282, 2018.
- [10] F. A. N. Azar and M. Sen, "Effects of accelerator type on stress relaxation behavior and network structure of aged natural rubber/chloroprene rubber vulcanizates," *J. Elastomers Plast.*, vol. 49, no. 5, pp. 381–396, 2017.
- [11] I. R. Dewi, A. Yuniari, M. Sholeh, N. M. Setyadewi, and B. B. Kulit, "Penggunaan serat gebang sebagai bahan pengisi sekunder pada komposit karet kloroprena / karet alam (cr / nr) berpenguat carbon use of gebang fiber as secondary filler in carbon black reinforced chloroprene rubber / natural rubber (cr / nr) composites," in *Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet, dan Plastik*, 2016, pp. 71–80.
- [12] A. Yuniari, I. Setyorini, and H. E. Mayasari, "Kinetika vulkanisasi dan sifat mekanis komposit acrylonitrile butadiene rubber (NBR)," *Maj. Kulit, Karet dan Plast.*, vol. 32, no. 2, pp. 117–124, 2016.
- [13] M. Trihotri, U. K. Dwivedi, F. H. Khan, M. M. Malik, and M. S. Qureshi, "Effect of curing on activation energy and dielectric properties of carbon black-epoxy composites at different temperatures," *J. Non. Cryst. Solids*, vol. 421, no. August 2016, pp. 1–13, 2015.
- [14] H. E. Mayasari, I. Setyorini, and A. Yuniari, "The Blending of EPDM/NR with Maleic Anhydride as Compatibilizer: Comparing the Effect of Accelerators on Cure Characteristic and Mechanical Properties," *Indones. J. Chem.*, vol. 19, no. 1, pp. 106–114, 2019.
- [15] H. E. Mayasari, I. Setyorini, and N. M. Setyadewi, "Kemampuan Proses dan Karakteristik Vulkanisasi Campuran NBR/EPDM," *J. Din. Penelit. Ind.*, vol. 29, no. 1, pp. 19–28, 2018.