

PEMBUATAN KARET RIKLIM DARI BAN BEKAS DENGAN MICROWAVE DITINJAU DARI KARAKTERISTIK VULKANISASI KOMPON

(PREPARATION OF RECLAIMED RUBBER FROM USED TYRE USING MICROWAVE OBSERVED FROM VULCANIZATION CHARACTERISTIC OF THE COMPOUND)

Rumpoko Wicaksono¹⁾, Sutardi²⁾, dan Herminiwati³⁾

ABSTRACT

The research is aimed to study the effect of heat of microwave in the preparation of reclaimed rubber from used tire and the application of rubber compound observed from the characteristics of its vulcanization. Reclaimed rubber is found from used tire treads that ground and shifted using 10 mesh of shifter. Devulcanization was carried out in microwave with power output from 0, 100, 200 watt. The reclaimed rubber was used as the natural rubber substitute, with proportion of 20, 40 and 60 parts per hundred of rubber. The characteristic of the compound was tested by using Rheometer whereas the reactivity of the rubber against the Vulcanizing agents was observed by using Fourier Transform Infrared Spectrophotometer. The results showed that reclaimed rubber prepared by heating in microwave with power output of 100 and 200 watt as well as without heating treatment showed significant effect to characteristic of vulcanization. Proportion of utilization of reclaimed rubber as much as 20, 40 and 60 parts showed significant effect to characteristic of vulcanization. Proportion of 40 part reclaimed rubber prepared by microwave heating with power output 100 watt showed the best characteristic of vulcanization.

Key words : reclaimed rubber, microwave, used tire, vulcanization.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh panas *microwave* pada pembuatan karet riklim dari ban bekas dan penerapannya untuk kompon karet ditinjau dari karakteristik vulkanisasinya. Karet riklim dibuat dari karet telapak ban bekas yang diperkecil ukurannya hingga lolos ayakan 10 mesh. Proses devulkanisasi dilakukan dengan daya *microwave* mulai dari 0, 100 dan 200 watt. Karet riklim yang dihasilkan digunakan untuk bahan substitusi karet alam dengan proporsi 20, 40 dan 60 bagian perseratus karet. Karakteristik vulkanisasi kompon diuji dengan rheometer sedangkan reaktivitas karet terhadap pemvulkanisasi diamati dengan *Fourier Transform Infrared Spektrofotometer*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karet riklim yang dibuat dengan pemanasan *microwave* 100 dan 200 watt serta tanpa pemanasan berpengaruh terhadap karakteristik vulkanisasi kompon. Proporsi karet riklim sebesar 20, 40, dan 60 bagian berpengaruh terhadap karakteristik vulkanisasi kompon. Proporsi 40 bagian karet riklim yang dibuat dengan pemanasan *microwave* 100 watt merupakan karet riklim yang mempunyai karakteristik vulkanisasi terbaik.

Kata kunci: karet riklim, *microwave*, ban bekas, vulkanisasi.

PENDAHULUAN

Kendaraan bermotor sudah menjadi salah satu kebutuhan pokok untuk menunjang aktivitas masyarakat. Peningkatan kebutuhan kendaraan bermotor secara tidak langsung mempengaruhi kebutuhan karet yang digunakan sebagai salah satu

komponen pendukungnya yaitu ban. Peningkatan kebutuhan ban akan menambah volume penjualan karet terutama karet alam, namun di sisi lain pembuangan ban bekas dapat menimbulkan masalah lingkungan yang cukup serius mengingat karet ban bekas sulit terdegradasi secara alami, menimbulkan

¹⁾ Fak. Pertanian Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto

²⁾ Fak. Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

³⁾ Balai Besar Kulit, Karet dan Plastik, Yogyakarta

masalah polusi udara apabila dibakar dan dapat menjadi habitat nyamuk untuk berkembang biak.

Salah satu upaya untuk menekan masalah limbah ban bekas yaitu dengan cara didaur ulang. Ban bekas tidak dapat digunakan secara langsung untuk diolah menjadi barang karet sehingga diperlukan proses pengolahan yang disebut dengan proses pembuatan karet riklim. Pembuatan karet riklim merupakan suatu prosedur perubahan karet sisa atau limbah karet dengan menggunakan energi mekanik dan panas menjadi suatu bentuk yang dapat dicampur, diolah, dan divulkanisasi lagi. Ada beberapa metode pembuatan karet riklim, metode tertua yang dilakukan adalah dengan cara menggiling karet bekas menjadi butiran-butiran karet. Butiran tersebut kemudian dicampurkan ke dalam karet baru sebagai bahan pengisi (Stafford dan Wright, 1961). Selanjutnya, metode pembuatan karet riklim berkembang dan melibatkan penggunaan bahan kimia (reclaiming agent) dan energi panas untuk mendegradasi karet, terutama untuk memutus ikatan silangnya.

Prinsip proses pembuatan karet riklim adalah devulkanisasi. Devulkanisasi merupakan proses pemutusan jaringan karet, pembentukan rantai karbon yang lebih pendek dan ikatan ganda baru sehingga mudah untuk divulkanisasi kembali (Franta, 1989). Pemutusan yang terjadi dapat berupa pemutusan ikatan C-C dari rantai hidrokarbon asal atau pemutusan jembatan belerang yang menghubungkan antar polimer karet. Pemutusan ikatan silang belerang atau karbon menyebabkan karet bersifat plastis sehingga memungkinkan untuk diolah kembali menjadi barang karet yang baru.

Energi panas untuk pembuatan karet riklim dapat berasal dari uap panas atau timbul akibat proses mekanis selama pengolahan. Sumber energi panas lain yang berpotensi untuk digunakan dalam proses pembuatan karet riklim adalah *microwave*. Proses pembuatan karet riklim dapat dipercepat dengan menggunakan *microwave* sebagai sumber energi panas serta dapat menekan penggunaan bahan-bahan kimia yang berpotensi mencemari lingkungan. Metode ini kurang mempengaruhi ikatan C-C karena ikatan ini lebih kuat daripada C-S atau S-S. Pemutusan ikatan C-S dan S-S merupakan tujuan utama dari proses devulkanisasi. Frekuensi yang digunakan sebesar 915-2.450 MHz dan waktu devulkanisasi biasanya 5 menit (Makarov dan Drozdovski, 1991).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh panas *microwave* pada pembuatan karet riklim ban bekas dan penerapannya dalam pembuatan kompon karet ditinjau dari karakteristik vulkanisasinya.

BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan penelitian terdiri atas karet alam ribbed smoke sheet (RSS 1) berasal dari PTPN IX Semarang, karet telapak ban bekas jenis *light truck* yang diperoleh dari pasar ban bekas di Purwokerto, ZnO, asam stearat, karbon aktif ukuran 200 mesh, tetramethylthiuram disulphide (TMTD), dan belerang.

Alat

Peralatan penelitian terdiri atas *microwave* "Hitachi" MR-5750, ayakan 10 dan 60 mesh, spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) "Shimadzu" 82101 PC, *two roll mill* tipe S(X) K 160 A (160 X 320 mm) kapasitas 1-2 kg, dan rheometer HungTa tipe HT-8756.

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak lengkap faktorial. Faktor yang diteliti yaitu : 1) besarnya daya *microwave* untuk devulkanisasi ban bekas (D) dan 2) proporsi penggunaan ban bekas terhadap karet alam (B). Faktor D terdiri atas 3 aras yaitu tanpa devulkanisasi (D0), devulkanisasi ban bekas menggunakan panas *microwave* dengan daya sebesar 100 watt (D100) dan 200 watt (D200). Faktor B terdiri atas 3 aras yaitu perbandingan penggunaan karet riklim ban bekas terhadap karet alam RSS 1 sebanyak berturut-turut 20:80 (B20), 40:60 (B40), dan 60:40 (B60). Kombinasi perlakuan dan formula kompon yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Formula kompon campuran karet alam dan karet riklim ban bekas

Bahan	Formula kompon (part per hundred rubber)								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
RSS 1	80	60	40	80	60	40	80	60	40
Karet riklim	20	40	60	20	40	60	20	40	60
ZnO	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Asam stearat	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
Karbon aktif	35	35	35	35	35	35	35	35	35
TMTD	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Belerang	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25

Keterangan :

I : D0B20 IV : D100B20 VII : D200B20
 II : D0B40 V : D100B40 VIII : D200B40
 III : D0B60 VI : D100B60 IX : D200B60

Parameter yang diamati meliputi waktu scorch (t_{s2}), waktu vulkanisasi optimum (t_{c90}), laju vulkanisasi, dan modulus torsi (t). Data yang diperoleh dianalisis dengan uji F dan dilanjutkan dengan Duncan Multiple Range Test dengan $p = 0,05$.

Prosedur Percobaan

Pembuatan karet riklim dari ban bekas dan identifikasi gugus fungsionalnya

Prinsip pembuatan karet riklim dari ban bekas yang dilakukan yaitu pengecilan ukuran dan pemanasan dengan menggunakan *microwave*. Telapak ban bekas dipotong-potong berbentuk lembaran dengan ketebalan 1 cm dan panjang 30 cm sekaligus dilakukan pembuangan benang ban. Selanjutnya digiling menggunakan *two roll mill* dan diayak menghasilkan partikel karet lolos ayakan 10 mesh. Partikel karet tersebut dibagi tiga bagian, bagian pertama tidak diberi perlakuan pemanasan. Bagian kedua dan ketiga beturut-turut diberi perlakuan pemanasan menggunakan *microwave* 100 dan 200 watt. Bahan yang akan dipanasi ditimbang sebanyak 70 g dan diletakkan dalam *beaker glass* 500 ml. Waktu pemanasan masing-masing perlakuan selama 5 menit.

Identifikasi gugus fungsional dilakukan dengan metode spektroskopi inframerah. Pengujian dilakukan dengan cara menghaluskan sampel hingga lolos ayakan 60 mesh kemudian diambil sebanyak 1 mg dan ditambah KBr sebanyak 200-300 mg. Campuran sampel dibuat pelet dan ditipiskan dengan alat pres, selanjutnya diamati spektrum serapan inframerahnya dengan menggunakan spektrofotometer FTIR.

Pembuatan kompon dan uji rheometer

Pembuatan kompon secara umum mengacu cara pencampuran menurut ASTM D 3184, *Standard Test Methods for Rubber-Evaluation of Natural Rubber* (ASTM, 1993). Panas rol saat penggilingan berlangsung dipertahankan pada suhu $70 \pm 5^\circ\text{C}$. Kompon dikondisikan pada suhu $27 \pm 2^\circ\text{C}$ dan kelembaban ruangan $65 \pm 5\%$ selama 24 jam. Sampel diambil sebanyak 7 gram untuk diuji karakteristik vulkanisasinya menggunakan rheometer dengan suhu pengujian 150°C dan tekanan rotor sebesar 150 kg/cm^2 .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Hasil pengamatan terhadap parameter karakteristik vulkanisasi kompon disajikan pada Tabel 2.

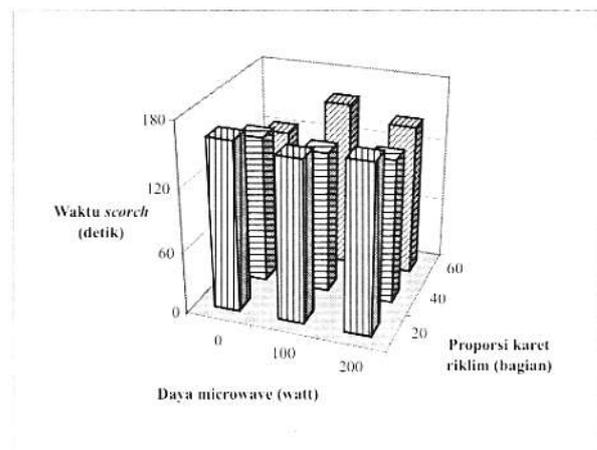
Tabel 2. Pengaruh pemanasan *microwave* terhadap karakteristik vulkanisasi*

Perlakuan pemanasan dan proporsi karet riklim	Waktu scorch (t_{s2}) (detik)	Waktu vulkanisasi optimum (t_{c90}) (detik)	Laju vulkanisasi (detik)	Modulus torsi (Δt) (kgf/cm)
Tanpa pemanasan, 20 bagian	161	326	164	19,15
Tanpa pemanasan, 40 bagian	142	274	133	29,24
Tanpa pemanasan, 60 bagian	126	514	391	29,08
<i>Microwave</i> 100 watt, 20 bagian	154	274	120	17,04
<i>Microwave</i> 100 watt, 40 bagian	136	262	127	23,8
<i>Microwave</i> 100 watt, 60 bagian	158	742	674	12,61
<i>Microwave</i> 200 watt, 20 bagian	161	274	113	16,16
<i>Microwave</i> 200 watt, 40 bagian	138	254	116	23,10
<i>Microwave</i> 200 watt, 60 bagian	147	516	371	22,69

*Rata-rata dari tiga ulangan pengujian sampel.

1. Waktu scorch (t_{s2})

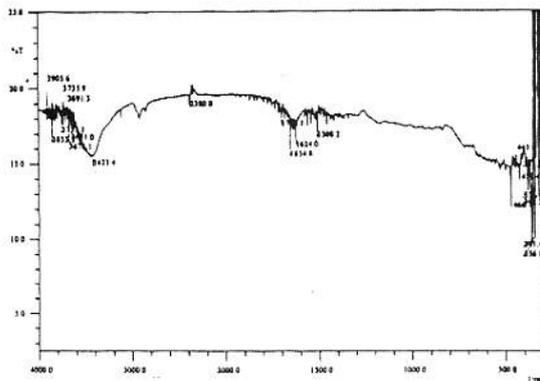
Evaluasi waktu scorch dilakukan untuk mengetahui waktu yang ditempuh kompon dari awal pemanasan hingga awal vulkanisasi, atau disebut juga waktu induksi vulkanisasi. Pengaruh pemanasan *microwave* dan proporsi karet riklim terhadap waktu scorch (t_{s2}) dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh pemanasan *microwave* dan proporsi karet riklim terhadap waktu scorch (t_{s2})

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa karet riklim dengan atau tanpa pemanasan *microwave* memberi pengaruh yang berbeda-beda terhadap t_{s2} .

Meskipun demikian, perbedaan tersebut tidak berbeda nyata secara statistik. Keadaan demikian diduga berkaitan dengan reaktivitas campuran karet alam dan karet riklim antar perlakuan yang tidak berbeda jauh terhadap bahan pemvulkanisasi, yang dipengaruhi oleh adanya ikatan rangkap C dalam karet alam dan karet riklim. Hal ini sesuai dengan pendapat Amir (1987), yang menyatakan bahwa reaktivitas karet terhadap bahan pemvulkanisasi dipengaruhi oleh ikatan rangkap C dalam karet. Karet alam mempunyai ikatan rangkap C dalam tiap unit monomernya. Ikatan rangkap C juga terdapat dalam karet riklim yang digunakan. Pendapat ini didukung oleh hasil pengamatan spektrum inframerah karet riklim yang dihasilkan dari ban bekas (Gambar 2). Pada gambar tersebut tampak bahwa ada serapan pada bilangan gelombang 1600-1680 cm^{-1} . Menurut Sastrohamidjojo (1992), daerah tersebut merupakan daerah serapan inframerah untuk ikatan C=C.



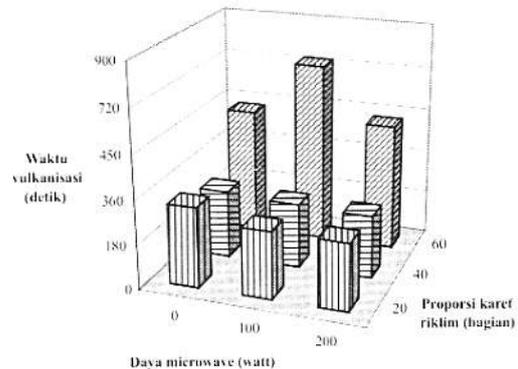
Gambar 2. Spektrum inframerah karet riklim ban bekas

Perlakuan pengecilan ukuran dan timbulnya panas akibat penggilingan dalam persiapan pembuatan karet riklim pada penelitian ini, diduga berperan dalam pembentukan ikatan rangkap C baru. Hal ini sesuai dengan pendapat Franta (1989), bahwa ikatan rangkap C yang baru, dapat terbentuk akibat pemutusan ikatan silang belerang serta pembentukan rantai karbon yang lebih pendek. Pemanasan *microwave* yang dilakukan dalam penelitian ini juga dapat memutuskan rantai karbon karet seperti yang dinyatakan oleh Schnabel (1981), bahwa pemanasan dapat memutuskan rantai utama karbon, memutuskan rantai samping, sampai terbentuk monomer-monomer atau depolimerisasi.

2. Waktu vulkanisasi optimum (tc90)

Waktu matang optimum (tc90) merupakan waktu yang diperlukan sejak awal pemanasan untuk mematangkan kompon sampai kematangan optimum. Pengaruh pemanasan *microwave* dan proporsi karet

riklim terhadap waktu vulkanisasi optimum disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh pemanasan *microwave* dan proporsi karet riklim terhadap waktu vulkanisasi optimum

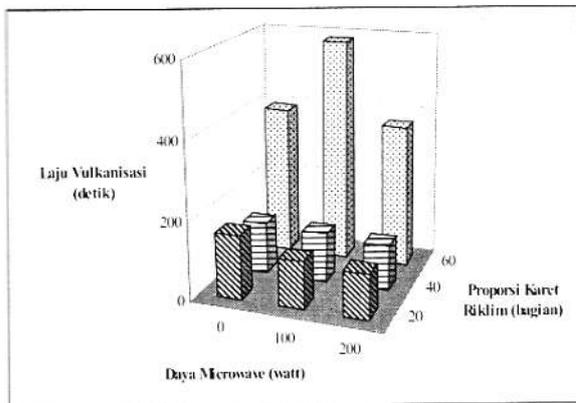
Dari Gambar 3 dapat diketahui bahwa waktu vulkanisasi cenderung dipengaruhi oleh proporsi karet riklim. Proporsi karet riklim sebanyak 60 bagian secara umum menunjukkan waktu vulkanisasi optimum yang relatif lama. Proporsi penggunaan karet riklim yang lebih banyak dibandingkan dengan karet alam dapat memperlambat dicapainya waktu vulkanisasi optimum. Hal ini kemungkinan berhubungan dengan reaktivitas karet riklim terhadap belerang yang lebih rendah dibandingkan dengan karet alam yang belum mengalami vulkanisasi.

Karet alam yang belum divulkanisasi mempunyai ikatan rangkap karbon yang lebih besar dibandingkan karet riklim, sehingga mudah bereaksi dengan bahan kimia pemvulkanisasi membentuk jaringan tiga dimensi. Selain itu, penambahan proporsi karet riklim sebanyak 60 bagian dapat menyebabkan perbedaan viskositas campuran antara karet alam dan karet riklim yang makin besar. Perbedaan viskositas yang makin besar dapat memperlambat pembentukan campuran yang homogen. Sebagai akibatnya, bahan-bahan kimia yang digunakan tidak terdistribusi merata dalam campuran kedua jenis karet. Hal ini sesuai dengan pendapat Amir (1987), bahwa bahan-bahan yang digunakan dalam komponding terutama carbon black dan seng oksida lebih banyak terdispersi dalam karet yang mempunyai viskositas rendah.

3. Laju vulkanisasi

Laju vulkanisasi merupakan waktu yang diperlukan untuk mencapai kematangan optimum yang diukur sejak pertama kali terjadi vulkanisasi. Pengaruh pemanasan *microwave* dan proporsi karet

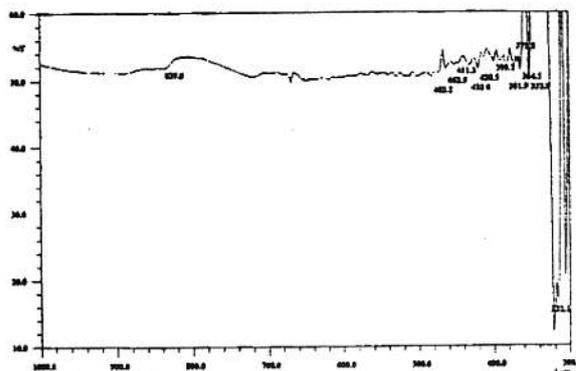
riklim terhadap laju vulkanisasi disajikan pada Gambar 4.



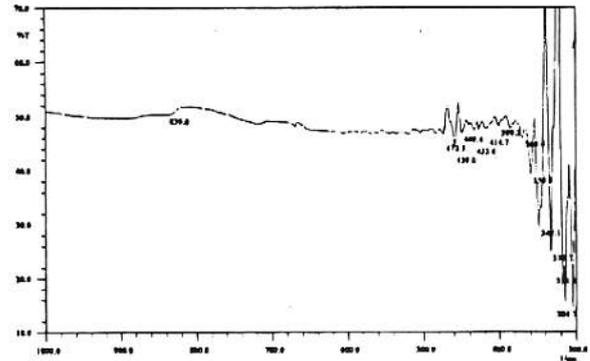
Gambar 4. Pengaruh pemanasan *microwave* dan proporsi karet riklim terhadap laju vulkanisasi

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa makin besar kadar karet riklim, maka laju vulkanisasi makin lambat. Laju vulkanisasi dipengaruhi oleh reaktivitas karet terhadap bahan pemvulkanisasi. Meskipun proses devulkanisasi dalam pembuatan karet riklim dimungkinkan terbentuknya ikatan rangkap baru namun belum dapat menyamai karet alam yang belum divulkanisasi. Oleh karena itu proporsi karet riklim yang besar dalam kompon karet menurunkan laju vulkanisasi.

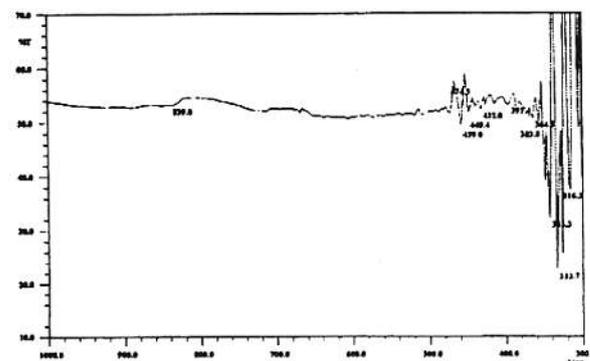
Berdasarkan pengamatan pada spektrum inframerah karet riklim tersebut dapat dilihat bahwa spektrum inframerah karet riklim tanpa pemanasan *microwave* (Gambar 5) dan pada pemanasan *microwave* 200 watt (Gambar 6) menunjukkan serapan ikatan sulfida yang relatif lebih besar dibandingkan karet riklim dengan perlakuan pemanasan *microwave* 100 watt (Gambar 7).



Gambar 5. Spekrtrum inframerah karet riklim ban bekas tanpa perlakuan pemanasan *micriwave*



Gambar 6. Spektrum inframerah karet riklim ban bekas dengan perlakuan pemanasan *microwave* 200 watt



Gambar 7. Spektrum inframerah karet riklim ban bekas dengan perlakuan pemanasan *microwave* 100 watt

Menurut Nyquist dan Kagel (1971), serapan ikatan sulfida muncul pada bilangan gelombang $395\text{--}411\text{cm}^{-1}$. Dari spektrum inframerah tersebut dapat dilihat bahwa pada spektrum inframerah karet riklim tanpa pemanasan *microwave* (Gambar 5) terdapat serapan pada bilangan gelombang 399,2 dengan transmisi sebesar 52,64 persen. Pada spektrum inframerah karet riklim dengan pemanasan *microwave* 200 watt (Gambar 6) terdapat serapan pada bilangan gelombang 399,2 dengan transmisi sebesar 48,17 persen, sedangkan pada karet riklim hasil pemanasan *microwave* 100 watt (Gambar 7) terdapat serapan pada bilangan gelombang 395,4 dengan transmisi sebesar 53,17 persen.

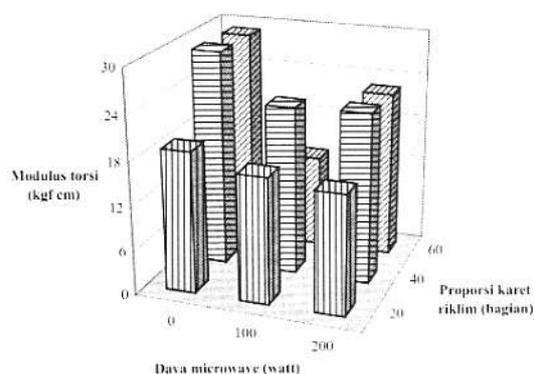
Munculnya serapan ikatan sulfida yang lebih besar pada penggunaan *microwave* 200 watt menunjukkan bahwa selain memutuskan ikatan sulfida, pemanasan juga dapat menyebabkan pengikatan kembali sulfida yang terputus. Menurut Nieuwenhuizen et al. (1977), panas yang berkelanjutan menghasilkan degradasi ikatan silang sulfida dan dapat terbentuk ikatan sulfida kembali

terutama ikatan sulfida siklis.

Besarnya proporsi karet riklim yang digunakan juga tampak mempengaruhi laju vulkanisasi. Secara umum proporsi karet riklim sebanyak 60 bagian menunjukkan waktu vulkanisasi yang lebih lama. Penggunaan karet riklim yang makin banyak akan menurunkan proporsi karet alam sehingga menurunkan reaktivitas campuran terhadap bahan kimia pemvulkanisasi, yang ditunjukkan dengan laju vulkanisasi yang lebih lama. depolimerisasi.

4. Modulus torsi (t)

Pengaruh pemanasan *microwave* dan proporsi karet riklim terhadap modulus torsi dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengaruh pemanasan microwave dan proporsi karet riklim terhadap modulus torsi

Besarnya nilai modulus torsi dapat digunakan sebagai indikator banyaknya ikatan silang yang terbentuk sebagai hasil vulkanisasi (Manna et al., 1997). Secara umum kompon campuran karet alam dan karet riklim tanpa perlakuan pemanasan menunjukkan modulus torsi yang relatif besar dibandingkan dengan modulus torsi kompon campuran karet alam dan karet riklim dengan perlakuan pemanasan menggunakan *microwave*. Karet riklim yang dibuat tanpa pemanasan dapat berperan sebagai bahan pengisi penguat dalam kompon karet sehingga meningkatkan viskositas. Akibatnya, modulus torsi yang dihasilkan tinggi.

Karet riklim yang dibuat dengan pemanasan *microwave* bersifat lebih lunak, sehingga bila ditambahkan dalam kompon, viskositasnya lebih rendah dibanding viskositas kompon dengan penambahan karet riklim tanpa pemanasan. Hal tersebut menyebabkan modulus torsinya kecil.

Dari Gambar 8 tampak bahwa penggunaan 40 bagian karet riklim baik dengan atau tanpa pemanasan ke dalam kompon karet, diperoleh modulus torsi yang relatif tinggi. Modulus torsi yang relatif tinggi dapat

menggambarkan kekuatan vulkanisat yang baik. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Amir (1987) yang menunjukkan bahwa penggantian separuh karet alam oleh karet riklim belum menunjukkan pengaruh yang buruk terhadap sifat kompon, bahkan dapat memperkuat.

Berdasarkan karakteristik vulkanisasi (waktu scorch, waktu vulkanisasi optimum, laju vulkanisasi, modulus torsi), daya *microwave* dan proporsi karet riklim dalam kompon karet, dapat dikemukakan bahwa karet riklim yang dibuat dengan pemanasan *microwave* 100 watt dan penerapannya dalam kompon dengan proporsi 40 bagian perseratus karet merupakan karet riklim dengan karakteristik vulkanisasi terbaik.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa:

1. Karet riklim yang dibuat dengan pemanasan *microwave* 100 dan 200 watt serta tanpa pemanasan berpengaruh terhadap karakteristik vulkanisasi kompon.
2. Proporsi karet riklim sebesar 20, 40 dan 60 bagian berpengaruh terhadap karakteristik vulkanisasi kompon.
3. Proporsi 40 bagian karet riklim yang dibuat dengan pemanasan *microwave* 100 watt merupakan karet riklim yang mempunyai karakteristik vulkanisasi terbaik.

DAFTAR PUSTAKA

- Amir, E. J. 1987. *The effects of reclaim rubber on properties of natural rubber/PP Blends*. Proceeding Malaysian RRD Board.
- Franta, I. 1989. *Reclaimed Rubber*. In I. Franta (ed.) *Elastomers and Rubber Compounding Materials, Manufacture, Properties and Applications*. Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo.
- Makarov, V. M. and V. F. Drozdovski. 1991. *Reprocessing of Tires and Rubber Wastes: Recycling from the Rubber Products Industry*. Ellis Horwood, New York, Leiden, Toronto, Sydney, Tokyo, Singapore.
- Manna, A. K., P. P. De, D. K. Tripathy, S. K. De and M. K. Chatterjee. 1997. *Chemical Interaction between Surface Oxidized Carbon Black and Epoxidized Natural Rubber*. *Rubber Chem. Technol.* 70 (4): 624 - 633.
- Nieuwenhuizen, J. Reedijk, M. van Duin, and W. J. McGill. 1997. *Thiuram - and Dithiocarbamate - accelerated Sulfur Vulcanization from the Chemist's*

- Perspective; Methods, Materials and Mechanisms Reviewed. Rubber Chem. Technol.* 70(3): 368-429.
- Mechanisms Reviewed. *Rubber Chem. Technol.* 70(3): 368-429.
- Nyquist R. A. and R. O. Kagel, 1971. *Infrared Spectra of Inorganic Compounds*. Academic Press, Inc., Orlando, San Diego, New York, London, Toronto, Montreal, Sydney, Tokyo.
- Sastrohamidjojo, H., 1992. *Spektroskopi Inframerah*. Liberty, Yogyakarta.
- Schnabel, W. 1981. *Polymer Degradation : Principles and Practical Applications*. Hanser Internasional. Macmillan Publishing Co., Inc., New York.
- Stafford W. E. and R. A. Wright, 1961. *Fundamental Aspects of Reclaimed Rubber*. In W.J.S. Naunton (ed.). *The Applied Science of Rubber*. Edward Arnold Ltd., London.