

PENGARUH IRADIASI GAMMA TERHADAP SIFAT MEKANIK KARET ALAM DAN CAMPURAN KARET ALAM-POLIETILEN VULKANISAT

Sudradjat Iskandar

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (PATIR)-BATAN
Jl. Raya Cinere, Kotak Pos 7002, Pasar Jumat, JAKARTA 12070

ABSTRAK

PENGARUH IRADIASI GAMMA TERHADAP SIFAT MEKANIK KARET ALAM DAN CAMPURAN KARET ALAM-POLIETILEN VULKANISAT. Untuk meningkatkan kualitas karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat, telah dilakukan iradiasi gamma. Kompon karet alam dan campuran karet alam-polietilen dibuat dengan menggunakan mesin pencampur dua roll. Bahan pencampur adalah antioksidan, antiozon, *plasticizer*, dan vulkanisator. Kompon karet alam dan campuran karet alam-polietilen selanjutnya divulkanisasi dan dibuat *slab* (benda uji) dengan menggunakan mesin *pres* panas dan *pres* dingin. *Slab* yang terbentuk kemudian diiradiasi dengan sinar gamma dari sumber *Cobalt-60* pada dosis iradiasi 75 kGy, 150 kGy dan 300 kGy. Pengaruh iradiasi terhadap modulus 300, kekuatan tarik, perpanjangan putus dan ketahanan sobek karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat dikarakterisasi dengan alat uji tarik *strograph* R1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modulus 300 dan kekerasan karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat bertambah, sedangkan kekuatan tarik dan ketahanan sobeknya bertambah sampai maksimum pada dosis tertentu kemudian berkurang dengan bertambahnya dosis iradiasi. Sifat perpanjangan putus karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat cenderung berkurang dengan bertambahnya dosis iradiasi. Kekuatan tarik maksimum karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat dicapai pada dosis iradiasi 75 kGy. Pada dosis iradiasi 75 kGy, kekuatan tarik karet alam vulkanisat dapat ditingkatkan dari 17,6 MN/m² menjadi 21,2 MN/m², sedangkan kekuatan tarik campuran karet alam-polietilen vulkanisat sedikit meningkat dari 18,7 MN/m² menjadi 19,4 MN/m².

Kata kunci : Iradiasi, Sinar gamma, Sifat mekanik, Karet alam, Campuran karet alam-polietilen, Vulkanisat.

ABSTRACT

THE EFFECT OF GAMMA IRRADIATION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF VULCANIZED NATURAL RUBBER AND NATURAL RUBBER-POLYETHYLENE BLENDS. To enhance the quality of vulcanized natural rubber and natural rubber-polyethylene blends, gamma irradiation has been done. The compound of natural rubber and natural rubber-polyethylene blends made by using roll mill machine. The mixed materials were antioxidant, antiozonan, plasticizer and vulcanisator. The natural rubber and natural rubber-polyethylene blends compound were vulcanized and made a slab (film of sample) using hot and cold press machine. The slabs produced were then gamma irradiated at irradiation dose of 75, 150 and 300 kGy. Before and after irradiation, the slabs were characterized using strograph R1 machine. The results showed that the modulus 300 and hardness of vulcanized natural rubber and natural rubber-polyethylene blends were increasing; the tensile strength and tear strength were increasing to maximum level then decreasing with gamma irradiation, while the elongation at break was decreasing. The maximum tensile strength of vulcanized natural rubber and natural rubber-polyethylene blends were found at irradiation dose of 75 kGy. At the irradiation dose of 75 kGy, the tensile strength of vulcanized natural rubber increased from 17.6 MN/m² to 21.2 MN/m², while the tensile strength of vulcanized natural rubber-polyethylene blends increased slightly from 18.7 MN/m² to 19.4 MN/m².

Key words : Irradiation, Gamma rays, Mechanical properties, Natural rubber, Natural rubber-polyethylene blends, Vulcanized

PENDAHULUAN

Kebutuhan barang jadi karet akan terus meningkat sejalan dengan perkembangan pertumbuhan penduduk dan kemajuan teknologi. Untuk meningkatkan

penggunaan karet alam yang lebih luas, perlu adanya usaha penelitian dan pengembangan modifikasi karet alam. PATIR-BATAN telah dilakukan sederetan kegiatan

penelitian diantaranya pengaruh radiasi pengion terhadap sifat mekanik kompon karet alam, campuran karet alam-polietilen, campuran karet alam dan karet sintetis [1-6].

Pada umumnya produk karet yang ada misalnya ban kendaraan roda dua atau empat, suku cadang otomotif non ban, alat listrik, alat pemadam kebakaran dan *seal casing* untuk pengeboran minyak mentah menggunakan karet alam, karet sintetis atau campuran karet alam-karet sintetis yang telah divulkanisasi. Sistem vulkanisasi yang paling banyak dipakai saat ini yaitu dengan cara vulkanisasi belerang, karena murah biaya produksinya dan sifat fisik produknya cukup baik. Radiasi pengion dapat meningkatkan kualitas ban roda empat misalnya kestabilan sifat mekanik pada suhu tinggi, ketahanan abrasi dan menurunkan ongkos produksi [7].

Penggunaannya telah diaplikasikan untuk komersial. Campuran poliolefin merupakan jenis termoplastik elastomer yang paling pesat perkembangan aplikasinya. Hal ini disebabkan campuran poliolefin memiliki potensi termurah dan sangat sederhana dalam proses produksinya. Namun demikian campuran poliolefin memiliki beberapa kelemahan seperti kekuatan tarik rendah, dan tidak tahan terhadap pelarut. Telah diteliti bahwa kekuatan tarik dan ketahanan terhadap pelarut campuran karet alam dengan polietilen densitas rendah (*LDPE*) dapat ditingkatkan dengan radiasi sinar gamma ataupun dengan berkas elektron.

Di PATIR-BATAN, penelitian pengaruh radiasi gamma terhadap karet alam dan campuran karet alam polietilen vulkanisat belum dilakukan, sedangkan pengguna teknologi radiasi pada produk karet yang telah divulkanisasi dengan vulkanisator belerang, kebanyakan masih negara yang telah maju, seperti Amerika, Jerman, Prancis, Jepang, China, Swis, Belanda, Denmark, Polandia, Hungaria, Rusia dan Australia [8]. Di Jepang, lebih dari 80 % ban radial diiradiasi dengan berkas elektron [9].

Makalah ini menyajikan hasil penelitian pengaruh radiasi sinar gamma terhadap sifat mekanik karet alam dan campuran karet alam-polietilen yang telah divulkanisasi dengan vulkanisator belerang. Diharapkan radiasi gamma dapat meningkatkan sifat mekanik karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat, sehingga penggunaannya dapat menjadi lebih luas.

METODE PERCOBAAN

Bahan

Karet alam berupa krep diperoleh dari PTP XI, Bogor. Polietilen yang dipakai adalah polietilen densitas rendah (*LDPE*) diperoleh dari pabrik *Mitsui Petro Chemical Industries* berfungsi sebagai bahan pengisi. Bahan aditif berupa asam stearat buatan lokal, berfungsi untuk memudahkan pencampuran bahan pengisi kedalam

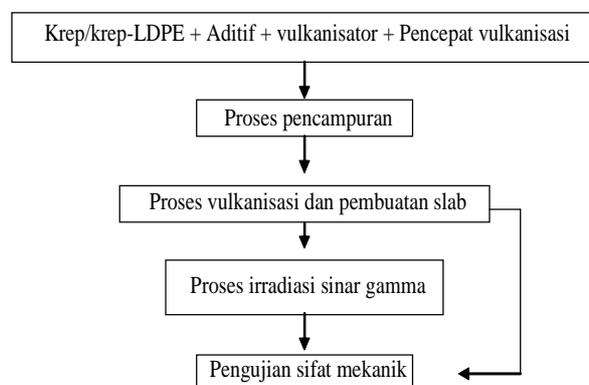
kompon karet, mempersingkat waktu dan menurunkan suhu pencampuran, dan mempermudah proses pemberian bentuk. *ZnO* dipakai buatan lokal berfungsi untuk menggiatkan kerja bahan pencepat. *Paraffin wax* dipakai buatan lokal berfungsi untuk melindungi karet dari kerusakan yang disebabkan ozon dari udara. *Irganox 1067*, berfungsi untuk melindungi karet dari kerusakan karena oksigen. Belerang dipakai sebagai vulkanisator, difenilguanidin (*DPG*) dipakai sebagai pencepat vulkanisasi. Formulasi kompon karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat yang dipakai dalam penelitian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Formulasi kompon karet alam dan karet alam-LDPE

Bahan	Formulasi [bagian perseratus bagian karet (psk)]	
	Kompon karet alam	Kompon karet alam-LDPE
Karet krep	100	100
LDPE	-	30
Belerang	2	2
Difenilguanidin (<i>DPG</i>)	2	2
<i>ZnO</i>	5	5
Asam stearat	3	3
<i>Irganox 1067</i>	1	1
<i>Paraffin Wax</i>	1	1

Cara Kerja

Secara garis besar cara kerja penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Pada pembuatan kompon karet alam, karet krep, bahan aditif, vulkanisator dan pencepat vulkanisasi dicampur dengan menggunakan mesin dua *roll* pada suhu 70 °C selama kurang lebih 20 menit. Sedangkan pada pembuatan kompon campuran karet alam-polietilen, polietilen terlebih dahulu digiling dengan menggunakan mesin dua *roll* pada suhu 130 °C sampai meleleh dan merata, selanjutnya dicampurkan bahan aditif, karet krep, vulkanisator dan pencepat vulkanisasi. Kompon karet alam dan campuran karet alam polietilen yang dihasilkan kemudian divulkanisasi dan dibuat *slab* (benda uji) dengan mesin pres panas pada



Gambar 1. Diagram alir pengaruh iradiasi gamma terhadap sifat mekanik karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat.

suhu 150 °C selama 25 menit dan didinginkan pada suhu 25 °C selama 3 menit. *Slab* yang terbentuk selanjutnya diiradiasi dengan sinar gamma dari sumber Cobalt-60 pada suhu kamar, dengan variasi dosis mulai dari 75 kGy, 150 kGy dan 300 kGy. Sebelum dan setelah diiradiasi, karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat diuji sifat mekaniknya.

Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik seperti modulus, kekuatan tarik, perpanjangan putus dan ketahanan sobek dilakukan berdasarkan ASTM D 412 dengan alat uji tarik strograph-R1 (Toyoseiki), dengan kecepatan penarikan 500 mm/menit.

Pengujian Kekerasan

Pengujian sifat kekerasan dilakukan berdasarkan ISO/R 868 dengan alat ukur kekerasan merek *Zwick*.

Nilai Modulus

Modulus adalah gaya yang dibutuhkan pada perpanjangan tertentu persatuan luas benda uji yang ditentukan. Nilai modulus dapat dihitung menurut Persamaan (1) berikut :

$$E-300 = \frac{F_{300}}{A} \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

- E-300 = Modulus (MN/m²)
- F₃₀₀ = Gaya (MN), pada perpanjangan 300 %
- A = Luas benda uji (m²)

Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik adalah gaya yang dibutuhkan untuk menarik benda uji hingga putus. Nilai kekuatan tarik dihitung berdasarkan Persamaan (2) berikut :

$$\rho_b = \frac{F_b}{A} \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

- ρ_b = Kekuatan tarik (MN/m²)
- F_b = Gaya maksimum (MN)
- A = Luas benda uji (m²)

Perpanjangan Putus

Perpanjangan putus yaitu persentase perpanjangan benda uji saat ditarik hingga putus. Nilai perpanjangan putus dihitung berdasarkan Persamaan (3) berikut :

$$E_b = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 \% \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

- E_b = Perpanjangan putus (%)
- L₀ = Panjang benda uji mula-mula (m)
- L = Panjang benda uji saat putus (m)

Ketahanan Sobek

Ketahanan sobek yaitu gaya yang dibutuhkan untuk menyobek benda uji. Nilai kekuatan sobek dihitung berdasarkan Persamaan (4) berikut :

$$K_s = \frac{F}{T} \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

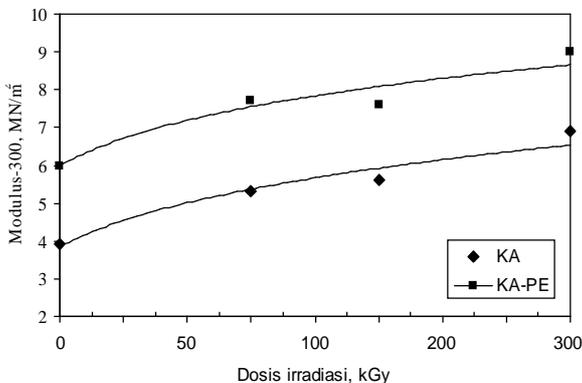
- K_s = Ketahanan sobek (N/m)
- F = Gaya yang dibutuhkan untuk menyobek benda uji (N)
- T = Ketebalan bagian yang diuji dari benda uji (m)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilaporkan [1] bahwa kualitas karet diukur berdasarkan sifat mekaniknya misalnya modulus atau daya regang karet saat ditarik pada perpanjangan tertentu, kekuatan tarik atau daya regang karet hingga putus, perpanjangan putus, kekerasan, perpanjangan tetap dan ketahanan saat karet dirobek.

Modulus 300

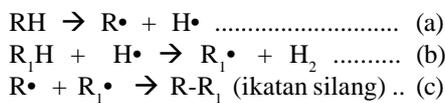
Data hasil penelitian hubungan pengaruh iradiasi gamma terhadap modulus karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat ditunjukkan pada Gambar 2. Gambar 2 menunjukkan bahwa modulus 300 campuran karet alam-polietilen vulkanisat lebih tinggi



Gambar 2. Pengaruh iradiasi gamma terhadap modulus 300 karet alam (KA) dan campuran karet alam-polietilen (KA-PE) vulkanisat

dibandingkan dengan modulus 300 karet alam vulkanisat. Perbedaan nilai modulus tersebut kemungkinan karena polietilen berfungsi sebagai bahan pengisi pada campuran karet alam-polietilen vulkanisat, sehingga karetnya sulit untuk diregang. Setelah diiradiasi gamma sampai 300 kGy, modulus karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat masing-masing meningkat dari 3,9 MN/m² menjadi 6,9 MN/m² dan dari 6 MN/m² menjadi 9 MN/m². Peningkatan modulus 300 pada karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat setelah diiradiasi erat hubungannya dengan mekanisme proses reaksi saat diiradiasi.

Saat proses radiasi, terjadi tiga tahap reaksi kimia yaitu pembentukan radikal bebas (a), pembiyakan radikal bebas (b) dan pembentukan ikatan silang melalui reaksi rekombinasi antara radikal bebas yang terbentuk (c) [10].



Jumlah ikatan silang rantai molekul yang terbentuk erat hubungannya dengan sifat modulus yang dihasilkan [11]. Secara matematik dirumuskan dalam Persamaan (5) berikut :

$$E = 3\rho RT/Mc \dots\dots\dots (5)$$

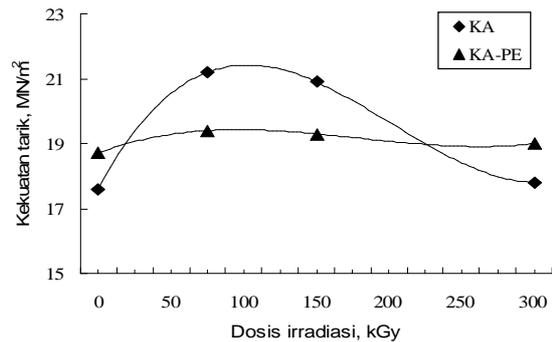
dimana :

- E = Modulus karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat
- ρ = Densitas karet alam atau campuran karet alam-polietilen vulkanisat yang berikatan silang
- R = Konstanta gas
- T = Suhu absolut
- Mc = Berat molekul rata-rata karet alam atau campuran karet alam-polietilen antara yang berikatan silang

Dengan Persamaan (5), kerapatan ikatan silang dapat dihitung baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Apabila nilai Mc besar, maka jumlah ikatan silangnya sedikit, sehingga modulusnya rendah. Sebaliknya jika Mc kecil, maka jumlah ikatan silangnya banyak, sehingga modulusnya besar.

Kekuatan Tarik

Hubungan pengaruh iradiasi gamma terhadap sifat kekuatan tarik karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa sebelum diiradiasi, kekuatan tarik campuran karet alam-polietilen vulkanisat sebesar 18,7 MN/m², lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan tarik karet alam vulkanisat sebesar 17,6 MN/m². Hal ini disebabkan keberadaan polietilen pada campuran karet alam-polietilen vulkanisat, selain berfungsi sebagai



Gambar 3. Pengaruh iradiasi gamma terhadap kekuatan tarik karet alam (KA) dan campuran karet alam-polietilen (KA-PE) vulkanisat

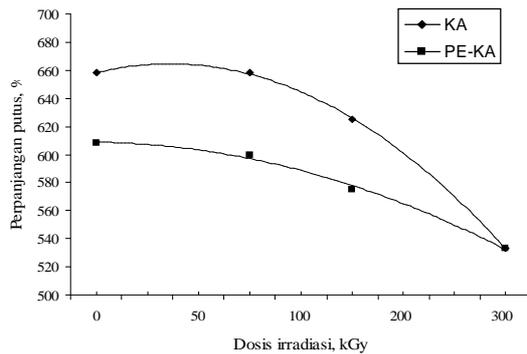
bahan pengisi, kemungkinan juga sebagai perekat antara molekul karet alam melalui proses vulkanisasi belerang, sehingga nilai kekuatan tariknya tinggi. Setelah diiradiasi 75 kGy, kekuatan tarik karet alam vulkanisat meningkat dari 17,6 MN/m² menjadi 21,2 MN/m², sedangkan kekuatan tarik campuran karet alam-polietilen vulkanisat meningkat dari 18,7 MN/m² menjadi 19,4 MN/m².

Peningkatan kekuatan tarik tersebut disebabkan terjadinya reaksi radikal bebas yang membentuk jaringan ikatan silang antara molekul karet, seperti yang telah diuraikan diatas, semakin banyak dosis iradiasi yang diberikan, akan semakin banyak rantai molekul karet berikatan silang yang dihasilkan [10], maka akan semakin sulit karet untuk meregang, sehingga kekuatan tariknya menjadi semakin meningkat. Akan tetapi setelah diiradiasi sampai dosis 300 kGy, kekuatan tarik karet alam vulkanisat berkurang dari 21,2 MN/m² menjadi 17,8 MN/m², sedangkan kekuatan tarik campuran karet alam-polietilen vulkanisat berkurang sedikit dari 19,4 MN/m² menjadi 19,0 MN/m². Berkurangnya kekuatan tarik tersebut disebabkan ikatan silang karet alam yang dihasilkan berlebihan, sehingga karet vulkanisat tersebut menjadi getas atau mudah patah seperti ebonit [10].

Setelah proses iradiasi dari 75 kGy sampai 300 kGy, nilai pertambahan kekuatan tarik karet alam vulkanisat lebih tinggi dibandingkan dengan nilai pertambahan kekuatan tarik campuran karet alam-polietilen vulkanisat. Hal ini disebabkan proses pengikatan silang molekul dengan metode radiasi hanya dapat terjadi pada bentuk struktur amorf [12]. Bentuk struktur karet alam adalah amorf, sedangkan bentuk struktur polietilen terdiri dari bentuk kristal dan amorf. Oleh karena itu pertambahan kekuatan tarik karet alam vulkanisat lebih tinggi dibandingkan dengan pertambahan kekuatan tarik campuran karet alam-polietilen vulkanisat.

Perpanjangan Putus

Hubungan pengaruh iradiasi gamma terhadap sifat perpanjangan putus karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat ditunjukkan pada Gambar 4. Gambar 4 menunjukkan bahwa sebelum dan setelah



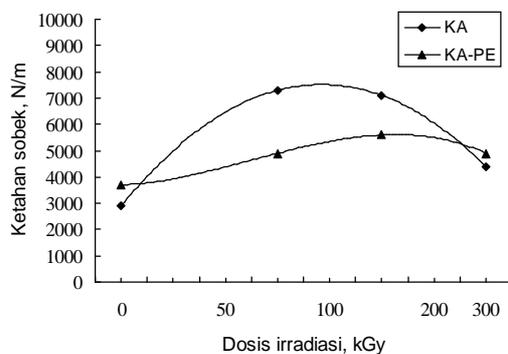
Gambar 4. Pengaruh iradiasi gamma terhadap perpanjangan putus karet alam (KA) dan campuran karet alam-polietilen (KA-PE) vulkanisat

diiradiasi sampai 150 kGy, perpanjangan putus karet alam vulkanisat lebih tinggi dibandingkan dengan perpanjangan putus campuran karet alam-polietilen vulkanisat. Perbedaan perpanjangan putus tersebut disebabkan pada campuran karet alam-polietilen vulkanisat adanya polietilen yang berfungsi sebagai bahan pengisi, dengan adanya polietilen menyebabkan campuran karet alam-polietilen vulkanisat sulit untuk diregang, sehingga perpanjangan putus campuran karet alam-polietilen lebih rendah dibandingkan dengan perpanjangan putus karet alam vulkanisat.

Setelah diiradiasi pada dosis 300 kGy, perpanjangan putus karet alam vulkanisat sama dengan perpanjangan putus campuran karet alam-polietilen vulkanisat. Hal ini kemungkinan setelah iradiasi 300 kGy, jumlah molekul karet alam yang berikatan silang sudah berlebih sehingga karet alam vulkanisat mudah putus atau getas [10], demikian pula terjadi pada campuran karet alam-polietilen vulkanisat.

Ketahanan Sobek

Hubungan pengaruh iradiasi gamma terhadap ketahanan sobek karet alam vulkanisat ditunjukkan pada Gambar 5. Gambar 5 menunjukkan bahwa ketahanan sobek campuran karet alam-polietilen vulkanisat sebelum



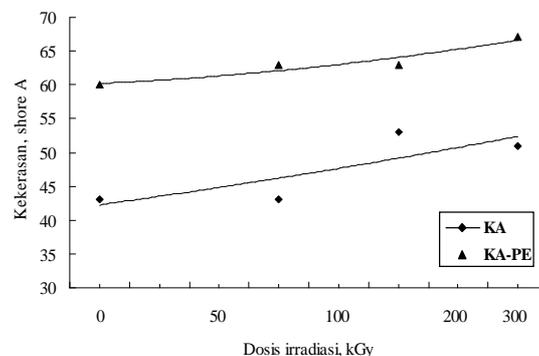
Gambar 5. Pengaruh iradiasi gamma terhadap ketahanan sobek karet alam (KA) dan campuran karet alam-polietilen (KA-PE) vulkanisat.

diiradiasi sebesar 3700 N/m lebih tinggi dibandingkan dengan ketahanan sobek karet alam vulkanisat sebesar 2900 N/m. Setelah diiradiasi gamma sampai 75 kGy, ketahanan sobek karet alam vulkanisat meningkat dan mencapai nilai maksimum sebesar 7300 N/m, kemudian berkurang sampai dosis iradiasi 300 kGy. Sedangkan ketahanan sobek campuran karet alam-polietilen vulkanisat bertambah sampai mencapai nilai maksimum sebesar 5600 N/m pada dosis iradiasi 150 kGy, kemudian berkurang sampai dosis iradiasi 300 kGy.

Bertambahnya ketahanan sobek tersebut disebabkan juga karena adanya peningkatan rantai molekul yang berikatan silang. Sedangkan berkurangnya ketahanan sobek disebabkan karena kelebihan jumlah rantai molekul yang berikatan silang, sehingga karet menjadi getas atau mudah robek [10]. Perbedaan ketahanan sobek kedua karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat setelah diiradiasi, sama penyebabnya karena adanya polietilen pada campuran karet alam-polietilen vulkanisat yang memiliki bentuk kristalin, sehingga pertambahan ketahanan sobeknya berkurang.

Kekerasan

Hubungan pengaruh iradiasi gamma terhadap sifat kekerasan karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat ditunjukkan pada Gambar 6. Pada gambar tersebut terlihat bahwa radiasi gamma dapat meningkatkan sifat kekerasan karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat masing-masing dari 43 shore A menjadi sekitar 53 shore A untuk karet alam vulkanisat dan dari 60 shore A menjadi 67 shore A untuk campuran karet alam-polietilen vulkanisat. Peningkatan kekerasan kedua karet alam vulkanisat ini, juga disebabkan karena terbentuknya molekul-molekul yang berikatan silang [11]. Dengan terbentuknya molekul yang berikatan silang, jarak antara molekul pada karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat menjadi lebih dekat, sehingga berakibat pada meningkatnya kekerasan pada karet vulkanisat tersebut [10].



Gambar 6. Pengaruh iradiasi gamma terhadap kekerasan karet alam (KA) dan campuran karet alam-polietilen (KA-PE) vulkanisat.

Campuran karet alam-polietilen vulkanisat sebelum atau setelah diiradiasi memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kekerasan karet alam vulkanisat, hal ini juga disebabkan karena polietilen yang berfungsi sebagai bahan pengisi dan memiliki bentuk kristalin. Pencampuran dua atau lebih bahan yang berbeda akan menghasilkan sifat baru yang tersusun oleh sifat bahan-bahan yang tersusun tersebut. Polietilen memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kekerasan karet alam [13].

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa radiasi gamma dapat meningkatkan sifat mekanik karet alam dan campuran karet alam-polietilen yang telah divulkanisasi belerang. Sifat modulus 300 dan kekerasan karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat cenderung meningkat, kekuatan tarik dan ketahanan sobek karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat meningkat sampai nilai maksimum pada dosis iradiasi 75 kGy, kemudian berkurang, sedangkan perpanjangan putusnya berkurang dengan bertambahnya dosis iradiasi. Pada dosis iradiasi 75 kGy, kekuatan tarik karet alam dan campuran karet alam-polietilen vulkanisat dapat ditingkatkan masing-masing dari 17,6 MN/m² menjadi 21,2 MN/m² dan dari 18,7 MN/m² menjadi 19,4 MN/m², ketahanan sobeknya masing-masing dari 2900 N/m menjadi 7300 N/m dan dari 3700 N/m menjadi 4900 N/m.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Saudara Armanu, Edi Mulyana dan Bonang S. T. dari PATIR-BATAN yang telah mengiradiasi sampel, demikian pula kepada rekan sejawat yang telah terlibat dalam penelitian dan penyusunan makalah ini hingga dapat terwujud dengan baik.

DAFTAR ACUAN

- [1]. SUDRADJAT I., Karakterisasi Kompon Karet Alam yang Divulkanisasi Radiasi dengan Sinar Gamma, *Presentasi Ilmiah Jabatan Peneliti Muda Bidang Proses Radiasi*, Batan, (2000) Tidak Dipublikasikan
- [2]. SUDRADJAT I., ISNI M., KADARIJAH, dan MADE S. K., Pengaruh Radiasi Sinar Gamma dan Penambahan Kalsium Karbonat pada Sifat Fisika dan Mekanik Kompon Karet Alam, *Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi*, Jakarta, (2000) 251-258
- [3]. SUDRADJAT I., ISNI M., KADARIJAH, dan MADE S. K., Pengaruh Iradiasi Sinar Gamma dan Penambahan Hitam Karbon Terhadap Sifat Fisik/ Mekanik Kompon Karet Alam-LDPE, *Prosiding*

- Seminar Nasional Industri Kulit, Karet dan Plastik, Deperindag, Yogyakarta, (2000) 288-296*
- [4]. SUDRADJAT I., DIAN I. and ISNI M., The Effect of Gamma Irradiation on The Physical Properties of Natural Rubber-LLDPE Blends, *Proceedings Indonesian Rubber Conference and IRRDB Symposium*, Bogor, (2000) 331-339
- [5]. SUDRADJAT I., Pengaruh Pati dan Radiasi Sinar Gamma Terhadap Sifat Fisik/Mekanik dan Degradabilitas Karet Alam Vulkanisat, *Risalah Seminar Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi*, Batan, Jakarta, (2005) 83-90
- [6]. SUDRADJAT I., Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Terhadap Sifat Fisik Karet Sintetis Nitril Butadiene Rubber Vulkanisat, *Risalah Seminar Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, Batan, Jakarta, (2007) 145-227
- [7]. MARKOVIC V., General Introduction to Radiation Processing, *Paper UNDP/IAEA/RCA Regional Training Course on Radiation Crosslinking Technology*, Changchun, China (1990) (tidak dipublikasikan)
- [8]. www.iba-wordwide.com/industrial/application/material/index.php (2006)
- [9]. DOI T., Economical Aspects of Industrial Electron Accelerators, *Proceeding of The Workshops on The Utilization of Electron Beams*, JAERI-M, 93-160 (1993) 41-59
- [10]. CHAPIRO A., *General Aspect of Radiation Initiated Polymerization, Radiation Chemistry of Polymeric System*, Interscience Publisher, John Wiley & Sons, New York (1962)
- [11]. GLAZER J., and COTTON F. H., *Theory of Vulcanization, The Applied Science of Rubber*, Edward Arnold Ltd., (1961) 995
- [12]. SIGH, A., and SILVERMAN, J., *Radiation Processing of Polymers*, Hanser Publisher, Oxford University Press, New York (1992)
- [13]. BOONSTRA B. B., *Reinforcement by Filler, Rubber Technology and Manufacture*, Butterworth & Co. Ltd. London, (1971) 228