

PENGARUH RADIASI GAMMA TERHADAP SIFAT FISIK KARET SINTETIS NITRIL BUTADIENE RUBBER VULKANISAT

Sudradjat Iskandar

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi - BATAN

ABSTRAK

PENGARUH RADIASI GAMMA TERHADAP SIFAT FISIK KARET SINTETIS NITRIL BUTADIENE RUBBER VULKANISAT. Untuk meningkatkan kualitas karet sintetis Nitril Butadiene Rubber (NBR) vulkanisat, telah dilakukan karakterisasi pengaruh radiasi gamma terhadap sifat fisik NBR vulkanisat. Kompon NBR dibuat dengan menggunakan mesin pencampur dua roll. Bahan pencampur adalah antioksidan, antiozonan, *plasticiser*, bahan pengisi, dan vulkanisator. Kompon NBR divulkanisasi dan dibuat slab dengan menggunakan mesin pres hidrolik. Slab diiradiasi dengan sinar gamma dari sumber *Cobalt-60* pada dosis iradiasi 5 - 10 - 15 - 25 - 50 kGy. Pengaruh iradiasi terhadap sifat fisik NBR vulkanisat misalnya modulus-300, kekuatan tarik, perpanjangan putus dan ketahanan sobek dikarakterisasi dengan alat uji tarik stograph R1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sobek dikarakterisasi dengan alat uji tarik putus dan ketahanan sobek NBR vulkanisat bertambah dengan bertambahnya dosis iradiasi sampai 10 kGy. Pada dosis iradiasi 50 kGy, modulus-300 dan kekuatan tarik NBR vulkanisat dapat ditingkatkan masing-masing sebanyak 64,2 % (dari 120 kg, f/cm² menjadi 197 kg, f/cm²) dan 65,4 % (dari 127 kg, f/cm² menjadi 210 kg, f/cm²), sedangkan sifat perpanjangan putus dan ketahanan sobek NBR vulkanisat berkurang masing-masing sebanyak 22 % (dari 478 % menjadi 372 %) dan 20 % (dari 69 kg, f/cm menjadi 55 kg, f/cm).

ABSTRACT

THE EFFECT OF GAMMA RADIATION ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF VULCANIZED NITRIL BUTADIENE RUBBER. To enhance the quality of vulcanized NBR, characterization of the effect of gamma radiation on the physical properties of vulcanized Nitril Butadiene Rubber (NBR) has been done. The compound of NBR made by mixing antioxidant, antiozonan, plasticiser, filler, vulcanisator with NBR using a roll mill machine. The NBR compound was vulcanized and slabs were made using hot and cool press machine. The slabs were then, irradiated at a irradiation dose of 5 - 10 - 15 - 25 - 50 kGy. Before and after irradiation, the slabs were characterized using stograph R1 machine. The results showed that the modulus-300, tensile strength, elongation at break and tear strength of vulcanized NBR increased with gamma radiation up to 10 kGy. At the irradiation dose of 50 kGy, the modulus-300 and tensile strength of vulcanized NBR increased about 64,2 % (from 120 kg, f/cm² become 197 kg, f/cm²) and 65,4 % (from 127 kg, f/cm² become 210 kg, f/cm²) respectively, while the elongation at break and tear strength decreased 22 % (from 478 % to 372 %) and 20 % (from 96 kg, f/cm to 55 kg, f/cm) respectively.

KATAKUNCI : Radiasi, sinar gamma, sifat fisik, *Nitril Butadiene Rubber*

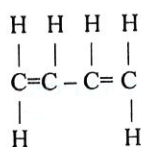
PENDAHULUAN

Untuk meningkatkan kualitas produk karet, di PATIR-BATAN telah dilakukan sederetan kegiatan penelitian diantaranya pengaruh radiasi pengion terhadap sifat fisik/mekanik kompon karet alam, campuran karet alam - polietilen dan campuran polisakarida - karet alam (1-9). Pada kenyataannya 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 tidak hanya menggunakan karet alam, atau kombinasi karet

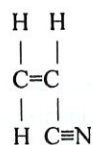
alam-karet sintetis saja, tetapi ada juga yang menggunakan karet sintetis saja sebagai bahan dasarnya.

Diperoleh informasi (10,11), bahwa radiasi pengion dapat meningkatkan kualitas ban roda empat misalnya kestabilan sifat fisik pada suhu tinggi, ketahanan abrasi dan menurunkan ongkos produksi, penggunaannya telah diaplikasikan untuk komersial. Di Jepang, lebih dari 80 % ban radial diiradiasi dengan berkas elektron (12). Dalam makalah ini disajikan hasil penelitian pengaruh radiasi sinar gamma terhadap sifat fisik karet sintetis NBR. Menurut MARION (13), Nitril Butadiene Rubber (NBR) dengan nama dagang

Perbunan N, Hycar, Butakon, FR-N, Breon, Chemigum, JSR-N, Paracril, Krynac dan sebagainya adalah salah satu jenis karet sintesis hasil reaksi kopolimerisasi dua monomer akrilonitril dan butadien.



Butadien



Akrilonitril

Dasar pembuatan NBR meliputi polimerisasi, koagulasi, pencucian dan pengeringan. Hal tersebut mirip dengan pembuatan *Stirene Butadiene Rubber* (SBR) yang disiapkan dalam bentuk emulsi atau larutan hasil reaksi polimerisasi radikal bebas, reaksinya diawali oleh radikal yang dibiakkan dari hasil dekomposisi peroksida atau peroksisulfat atau beberapa reaksi reduksi-oksidasi lainnya. Pada umumnya kombinasi potasium peroksisulfat dengan dodesilmerkaptan. Hidrokuinon dan N-fenil-2-naptilamin dipakai sebagai penghenti reaksi reduksi dan oksidasi. Selanjutnya, lateks yang terbentuk dikoagulasikan dengan larutan aluminium sulfat atau asam sulfat encer.

Menurut MORRILL (14), NBR dirancang sebagai karet sintesis yang tahan terhadap pelarut, oli dan bahan bakar. Gugus siano nitril ($\text{C}\equiv\text{N}$) pada NBR yang membuat NBR tahan terhadap pelarut, oli dan bahan bakar. Seperti struktur rantai molekul pada SBR, NBR juga memiliki struktur rantai molekul yang tidak teratur dan tidak akan terbentuk kristalin saat diregang. Vulkanisasi NBR dapat dicapai dengan penambahan belerang. NBR yang ada dipasaran banyak jenisnya, hal ini dapat dibedakan dari kadar nitril dalam NBR, diantaranya NBR kadar nitril sangat tinggi (45 %), kadar nitril tinggi (38-42 %), kadar nitril sedang tinggi (28-34 %), kadar nitril sedang rendah (24-28 %), dan kadar nitril rendah (18-22 %). Pada penelitian ini digunakan NBR kadar tinggi. Tidak sedikit produk karet yang ada di Indonesia masih merupakan produk impor, seperti selang pemadam kebakaran, *seal casing* untuk pengeboran minyak mentah, dan lain-lainnya. Pada penelitian ini dipakai tiga jenis kompon karet NBR, diantaranya kompon hasil produksi pabrik karet "GP Rubber", kompon produksi pabrik karet "GP Rubber" yang dicampur bahan pemeka trimetilolpropantrimetakrilat (TMPT) dan kompon buatan sendiri. Kompon karet, terdiri dari campuran NBR, bahan aditif, bahan pengisi, vulkanisator, dan bahan pencepat vulkanisator.

Rencana formulasi dari kompon karet buatan sendiri adalah untuk *seal casing* pengeboran minyak mentah dan untuk *seal* karet suku cadang otomotif non ban. Diperoleh informasi dari pengguna produk-produk tersebut, bahwa produk impor mahal harganya, sedangkan produk buatan lokal tidak tahan lama penggunaannya. Oleh karena masalah tersebut, maka diteliti pengaruh radiasi gamma terhadap sifat fisik NBR vulkanisat. Diharapkan radiasi gamma dapat meningkatkan sifat fisik NBR vulkanisat, sehingga penggunaannya dapat mengatasi masalah tersebut.

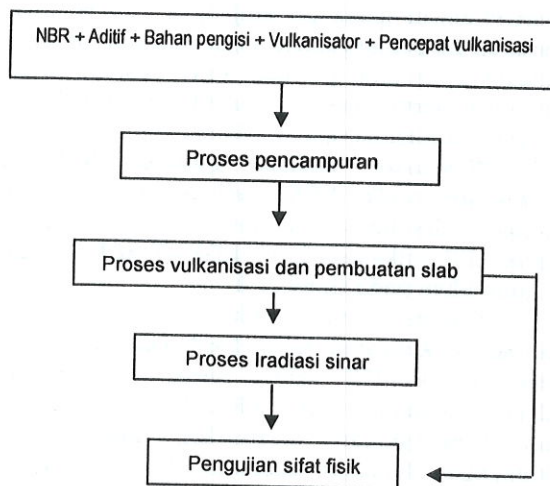
BAHAN DAN METODE

Bahan. NBR dengan kadar tinggi dan kompon NBR diperoleh dari perusahaan "GP Rubber", JL. Kapuk Kamal Raya, Kayu Besar, Komplek Pergudangan, Jakarta Barat. 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. Parafin 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. Karbon (Carbon black) berfungsi sebagai bahan pengisi. Trimetilolpropantrimetakrilat (TMPT) dipakai sebagai bahan pemeka radiasi. Benzena kualitas teknis dipakai sebagai pelarut. Formulasi kompon karet NBR yang dipakai dalam penelitian ditunjukkan pada Tabel 1, sedangkan kompon karet dari perusahaan GP Rubber tidak dicantumkan karena rahasia pabrik.

Tabel 1. Formulasi kompon karet NBR buatan sendiri sebagai berikut,

Bahan	Formulasi (psk)
NBR	100
Karbon	50
Belerang	2
Difenilguanidin (DPG)	2
ZnO	5
Asam stearat	3
Irganox 1067	1
Parafin Wax	1

Metode penelitian. Secara garis besar tatakerja penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. NBR, bahan aditif, bahan pengisi, vulkanisator dan pencepat vulkanisasi dicampur dengan menggunakan mesin dua rol. Kompon karet yang dihasilkan kemudian divulkanisasi dan dibuat slab (contoh uji) dengan mesin pres panas pada 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 5, 10, 25, dan 50 kGy. Sebelum dan setelah diiradiasi, NBR vulkanisat diuji sifat fisiknya.



Gambar 1. Diagram alir pengaruh iradiasi gamma terhadap sifat fisik karet *Nitril Butadiene Rubber* (NBR) vulkanisat.

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

Perhitungan Nilai Modulus. Modulus adalah gaya yang dibutuhkan pada perpanjangan tertentu persatuan luas contoh uji yang ditentukan. Nilai modulus dihitung menurut persamaan berikut.

$$Mn = \frac{Fn}{A}$$

Notasi : Mn = modulus (kg, f / cm²)
Fn = Gaya (kg, f), pada perpanjangan n %
A = Luas contoh uji (cm²)

Perhitungan Kekuatan Tarik. Kekuatan tarik adalah gaya yang dibutuhkan untuk

menarik contoh uji hingga putus. Nilai kekuatan tarik dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$Kb = \frac{Fb}{A}$$

Notasi : Kb = Kekuatan tarik (kg, f / cm²)
Fb = Gaya maksimum (kg, f)
A = Luas contoh uji (cm²)

Perhitungan Perpanjangan putus. Perpanjangan putus yaitu persentase perpanjangan contoh uji saat ditarik hingga putus. Nilai perpanjangan putus dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$PP = \frac{L - Lo}{Lo} \times 100 \%$$

Notasi : PP = Perpanjangan putus (%)
Lo = Panjang contoh uji mula-mula (cm)
L = Panjang contoh uji saat putus (cm)

Perhitungan Ketahanan Sobek. Ketahanan sobek yaitu gaya yang dibutuhkan untuk menyobek contoh uji. Nilai kekuatan sobek dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$Ks = \frac{F}{T}$$

Notasi : Ks = Ketahanan sobek (kg, f / cm)
F = Gaya yang dibutuhkan untuk menyobek contoh uji (kg, f)
T = Ketebalan bagian yang diuji dari contoh uji (cm)

Analisis fraksi Gel. Fraksi gel ditentukan dengan metode ekstraksi. Sebanyak 0,2 g contoh uji diekstraksi dengan benzena selama 24 jam. Fraksi gel dihitung sebagai berikut.

$$Fg = \frac{A}{B} \times 100 \%$$

Notasi : Fg = Fraksi gel, %
A = Berat contoh uji setelah diekstraksi (gram)
B = Berat contoh uji sebelum diekstraksi (gram)

HASIL DAN PEMBAHASAN

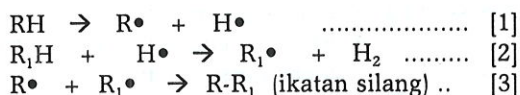
Kualitas karet diukur pada sifat fisiknya misalnya modulus atau daya regang karet saat ditarik pada perpanjangan tertentu, kekuatan tarik atau daya regang karet hingga putus, perpanjangan putus dan ketahanan saat karet dirobek.

Pengaruh iradiasi gamma terhadap modulus-300 NBR vulkanisat. Data hasil penelitian hubungan pengaruh iradiasi gamma

terhadap sifat fisik modulus NBR vulkanisat dari kompon buatan sendiri (KBS), kompon buatan pabrik "GP Rubber" (KGP) dan kompon buatan pabrik "GP rubber" yang telah dicampur bahan pemeka TMPT sebanyak 3 psk (KGP+TMPT) ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan bahwa sebelum diiradiasi, modulus-300 NBR vulkanisat KBP dan KBP+TMPT lebih tinggi dibandingkan dengan modulus-300 NBR vulkanisat KBS. Penyebab perbedaan nilai modulus tersebut kemungkinan karena formulasi KGP yang dirahasiakan mempengaruhi peningkatan tersebut. Penambahan TMPT pada NBR vulkanisat KBP menyebabkan turunnya nilai modulus, baik sebelum maupun setelah diiradiasi gamma. Hal ini kemungkinan polimer TMPT yang terbentuk dalam kompon NBR vulkanisat KBP memiliki sifat yang lebih lentur, sehingga modulusnya berkurang. Setelah diiradiasi gamma, modulus NBR vulkanisat dari ketiga kompon tersebut meningkat. Peningkatan modulus pada masing-masing kompon NBR vulkanisat berbeda-beda. Pada NBR vulkanisat KGP terbatas sampai dosis 5 kGy dengan peningkatan 7,6 % dari 172 kg, f/cm² menjadi 185 kg, f/cm², sedangkan pada NBR vulkanisat KGP+TMPT terbatas sampai dosis 10 kGy dengan peningkatan 6,5 % dari 168 kg/cm² menjadi 179 kg, f/cm² dan NBR vulkanisat KBS sampai dosis 50 kGy dengan peningkatan 64,2 % dari 120 kg, f/cm² menjadi 197 kg, f/cm².

Peningkatan modulus-300 pada NBR vulkanisat setelah diiradiasi erat hubungannya dengan mekanisme proses reaksi saat diiradiasi. Saat proses radiasi, menurut CHAPIRO (15), terjadi tiga tahap reaksi kimia yaitu pembentukan radikal bebas [1], pembiyakan radikal bebas [2], dan pembentukan ikatan silang melalui reaksi rekombinasi antara radikal bebas yang terbentuk [3].



Menurut GLAZER (16), jumlah ikatan silang rantai molekul yang terbentuk erat hubungannya dengan sifat modulus yang dihasilkan. Secara matematik dirumuskan dalam satu persamaan berikut,

$$E = 3pRT/Mc$$

Notasi E adalah modulus NBR vulkanisat, ρ adalah densitas NBR vulkanisat yang berikatan silang, R dan T adalah konstanta gas dan suhu absolut, dan Mc adalah berat molekul rata-rata NBR antara yang berikatan silang.

Dengan persamaan tersebut, 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. Menurut BOONSTRA (17), modulus dan kerapatan ikatan silang erat hubungannya dengan persamaan teori kinetik berikut,

$$\sigma = RT v (\lambda - 1/\lambda^2)$$

Notasi σ adalah modulus, v adalah jumlah ikatan silang per cm³, λ adalah besaran perpanjangan (pada perpanjangan 100 %, maka besaran perpanjangannya 2), sedangkan R dan T adalah konstanta gas dan suhu absolut. Maka menurut persamaan tersebut nilai modulus akan tinggi bila nilai kerapatan silangnya tinggi.

Pengaruh radiasi gamma terhadap kekuatan tarik NBR vulkanisat. Hubungan pengaruh iradiasi gamma terhadap sifat kekuatan tarik NBR vulkanisat KGP, KGP+TMPT dan KBS ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan bahwa sebelum diiradiasi kekuatan tarik NBR vulkanisat KBP dan KBP+TMPT lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan tarik NBR vulkanisat KBS. Hal ini kemungkinan disebabkan kedua NBR vulkanisat tersebut sebelum diiradiasi sudah memiliki jumlah rantai molekul yang berikatan silang lebih banyak dibandingkan dengan yang lainnya. Setelah diiradiasi sampai 50 kGy, terjadi peningkatan kekuatan tarik dari ketiga macam NBR vulkanisat. Peningkatan kekuatan tarik tersebut masing-masing sebesar 65,4 % untuk NBR vulkanisat KBS dari 127 kg, f/cm² menjadi 210 kg, f/cm², sebesar 11 % untuk NBR vulkanisat KBP dari 182 kg, f/cm² menjadi 202 kg, f/cm², dan 14,4 % untuk NBR vulkanisat KBP+TMPT dari 187 kg, f/cm² menjadi 214 kg, f/cm². Peningkatan kekuatan tarik tersebut disebabkan karena 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, maka akan semakin sulit karet untuk meregang, sehingga kekuatan tariknya menjadi semakin meningkat.

Pengaruh radiasi gamma terhadap perpanjangan putus NBR vulkanisat. Hubungan pengaruh iradiasi gamma terhadap sifat perpanjangan putus NBR vulkanisat KBS, KBP dan KBP+TMPT ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan bahwa sebelum dan setelah diiradiasi, perpanjangan putus BNR vulkanisat KBS lebih tinggi dibandingkan dengan perpanjangan putus NBR vulkanisat KBP maupun KBP+TMPT. Lebih tingginya perpanjangan putus tersebut disebabkan jumlah rantai molekul yang berikatan silang pada BNR vulkanisat KBP maupun KBP+TMPT lebih banyak, sehingga sulit untuk diregang. Pada dosis iradiasi 10 kGy, nilai perpanjangan putus NBR vulkanisat KBP dibawah 300 %, sehingga NBR vulkanisat KBP tidak memiliki nilai modulus-300, demikian pula pada NBR vulkanisat KBP+TMPT, pada dosis iradiasi 25 kGy.

Nilai perpanjangan putus NBR vulkanisat KBS dan KBP+TMPT setelah diiradiasi 10 kGy terlihat ada peningkatan, peningkatan tersebut masing-masing dari 478 % menjadi 483 % dan dari 340 % menjadi 358 %. Pada dosis iradiasi 50 kGy, NBR vulkanisat dari ketiga kompon mengalami penurunan masing-masing sebanyak 22,2 % untuk NBR vulkanisat KBS dari 478 % menjadi 372 %, sebanyak 34 % untuk NBR vulkanisat KBP dari 338 % menjadi 223 %, dan sebanyak 27,1 % untuk NBR vulkanisat KBP+TMPT dari 340 % menjadi 248 %. Maka radiasi gamma selain dapat meningkatkan, juga dapat menurunkan sifat perpanjangan putus NBR vulkanisat tergantung pada dosis iradiasinya.

TMPT Pengaruh radiasi gamma terhadap ketahanan sobek NBR vulkanisat. Hubungan pengaruh iradiasi gamma terhadap ketahanan sobek NBR vulkanisat KBS, KBP dan KBP+TMPT ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5 menunjukkan bahwa sebelum diiradiasi, ketahanan sobek NBR vulkanisat KBS lebih tinggi dibandingkan dengan ketahanan sobek NBR vulkanisat KBP dan KBP+TMPT. Setelah diiradiasi gamma, ketahanan sobek NBR vulkanisat KBS meningkat pada dosis iradiasi 5 kGy dan 10 kGy, kemudian berkurang pada dosis iradiasi 50 kGy. Sedangkan ketahanan sobek NBR vulkanisat KBP dan KBP+TMPT berkurang. Bertambahnya ketahanan sobek tersebut kemungkinan 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.

Pengaruh iradiasi gamma dan TMPT terhadap fraksi gel NBR vulkanisat. Hubungan pengaruh iradiasi gamma dan penambahan polifungsional monomer TMPT terhadap fraksi gel NBR vulkanisat ditunjukkan pada Gambar 6.

Fraksi gel merupakan salah satu indikator yang menunjukkan bagian dari rantai molekul yang sulit larut dalam pelarut pada suhu

mendidih atau rantai molekul yang berikatan kimia sesamanya. Grafik pada Gambar 6 menunjukkan bahwa fraksi gel NBR vulkanisat KBP+TMPT atau kompon pabrik "GP Rubber" yang telah ditambahkan TMPT sebelum diiradiasi maupun setelah diiradiasi gamma lebih tinggi dibandingkan dengan fraksi gel NBR vulkanisat KBP atau kompon yang tidak ditambahkan polifungsional monomer TMPT. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan polifungsional monomer TMPT dapat meningkatkan jumlah rantai molekul yang berikatan silang dan ketahanan terhadap pelarut pada suhu tinggi. Penambahan jumlah rantai molekul yang berikatan silang ini disebabkan karena pada molekul TMPT memiliki 2 gugus ikatan rangkap yang mudah pecah menjadi radikal bebas, sehingga jumlah radikal bebas yang dihasilkan menjadi lebih banyak dibandingkan dengan kompon yang tidak ditambahkan TMPT. Terlihat pada Grafik 6 bahwa radiasi gamma dapat menyebabkan meningkatnya fraksi gel kedua kompon tersebut. Mekanisme reaksi pengaruh iradiasi gamma terhadap polifungsional monomer TMPT ditunjukkan pada Gambar 7.

KESIMPULAN

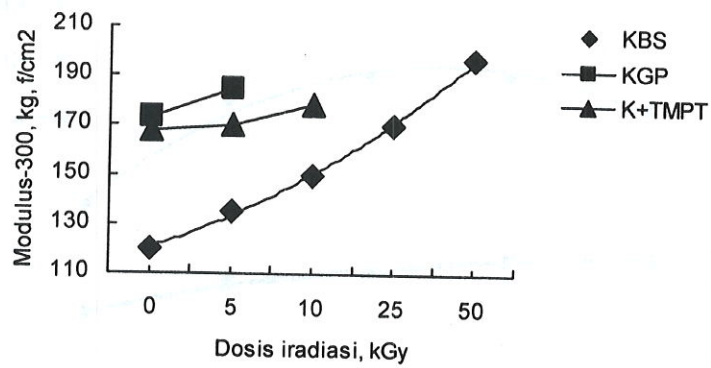
Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa radiasi gamma dapat meningkatkan sifat fisik NBR vulkanisat. Sifat modulus-300, kekuatan tarik, perpanjangan putus dan ketahanan sobek NBR vulkanisat meningkat dengan bertambahnya dosis iradiasi sampai 10 kGy. Pada dosis iradiasi 50 kGy, modulus-300 dan kekuatan tarik NBR vulkanisat dapat ditingkatkan masing-masing sebanyak 64,2 % (dari 120 kg, f/cm² menjadi 197 kg, f/cm²) dan 65,4 % (dari 127 kg, f/cm² menjadi 210 kg, f/cm²), sedangkan sifat perpanjangan putus dan ketahanan sobeknya berkurang masing-masing sebanyak 22 % (dari 478 % menjadi 372 %) dan 20 % (dari 69 kg, f/cm menjadi 55 kg, f/cm). Penambahan bahan pemeka TMPT pada kompon NBR dapat meningkatkan jumlah rantai molekul yang berikatan silang dan ketahanan terhadap pelarut pada suhu tinggi, tetapi sedikit mempengaruhi sifat fisik NBR vulkanisat.

UCAPAN TERIMA KASIH

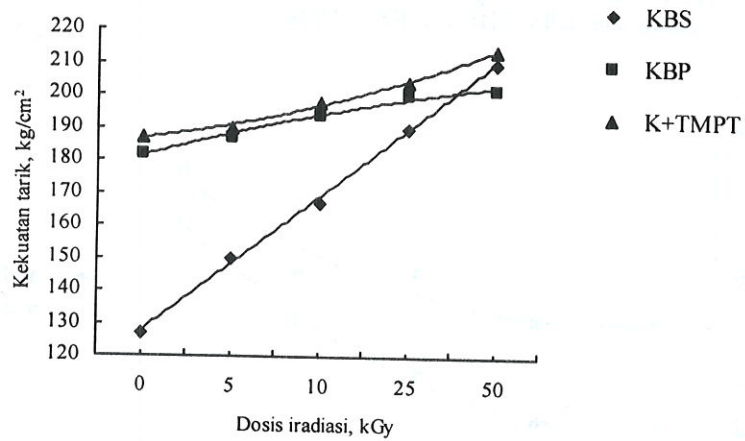
Ucapan terima kasih disampaikan kepada Saudara Armanu, Edi Mulyana dan Bonang S. T. dari PATIR-BATAN yang telah mengiradiasi sampel, demikian pula kepada rekan sejawat yang telah terlibat dalam penelitian dan penyusunan makalah ini hingga dapat terwujud dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

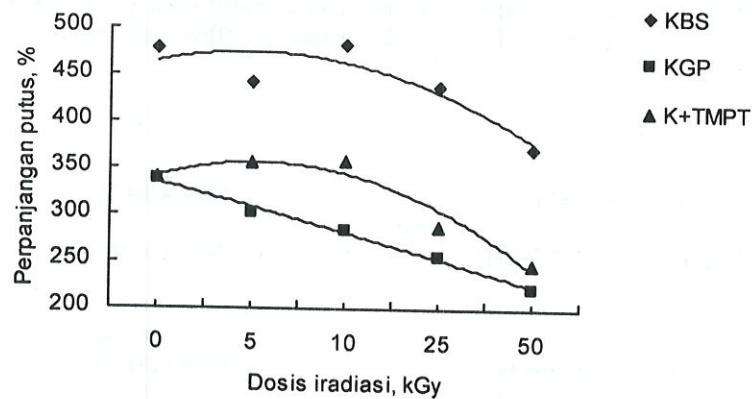
1. SUDRADJAT I., DIAN I., ISNI M., dan KADARIJAH, "Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Terhadap Sifat Fisik Campuran Polietilen Karet Alam", *Risalah Pertemuan Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, Batan, Jakarta (1994) 277
2. SUDRADJAT I., YOSHII F., and MAKUUCHI K., "Radiation Crosslinking of Natural Rubber-Low Density Polyethylene Blends with Polyfunctional Monomers", *Proceedings of The International Workshop on Green Polymers*, Indonesian Polymer Association (IPA), Bandung (1996) 145
3. SUDRADJAT I., YOSHII F., dan MAKUUCHI K., "Pengaruh Radiasi Berkas Elektron Terhadap Tegangan Putus Campuran HDPE-Karet Alam", *Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi*, Batan, Jakarta (1997) 71-84
4. SUDRADJAT I., "Pengaruh Iradiasi Berkas Elektron Terhadap Tegangan Putus Campuran HDPE-Karet Alam", *Prosiding Pertemuan Ilmiah Sains Materi II*, Batan, Serpong (1997) 205-208
5. SUDRADJAT I., "Karakterisasi Kompon Karet Alam yang Divulkanisasi Radiasi dengan Sinar Gamma", *Presentasi Ilmiah Jabatan Peneliti Muda Bidang Proses Radiasi*, Batan (2000) Tidak Dipublikasikan
6. 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
7. 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
8. 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
9. 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
10. MARKOVIC V., "General Introduction to Radiation Processing", Paper UNDP/IAEA/RCA Regional Training Course on Radiation Crosslinking Technology, Changchun, China (1990) (tidak dipublikasikan)
11. NONAME, Material Application/IBA Industrial E-Beam and X-Ray Irradiation Technology/Advance Material Enhancement/Tire, www.iba-wordwide.com/industrial/application/material/index.php (2006)
12. 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
13. MARION W. W., "Elastomer, Synthetic", *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 7 (1969) 682-692
14. MORRILL J. P., "Nitril and Polycrylate Rubbers", *Rubber Technology*, Van Nostrand Reinhold Company, New York (1959) 302-321
15. CHAPIRO A., General Aspect of Radiation Initianted Polymerization", *Radiation Chemistry of Polymeric System*, Interscience Publisher, John Wiley & Sons, New York (1962)
16. GLAZER J., and COTTON F. H., "Theory of Vulcanization", *The Applied Science of Rubber*, Edward Arnold Ltd., (1961) 995
17. BOONSTRA B. B., "Reinforcement by filler", *Rubber Technology and Manufacture*, Butterworth & Co. Ltd. London, 227 (1971)



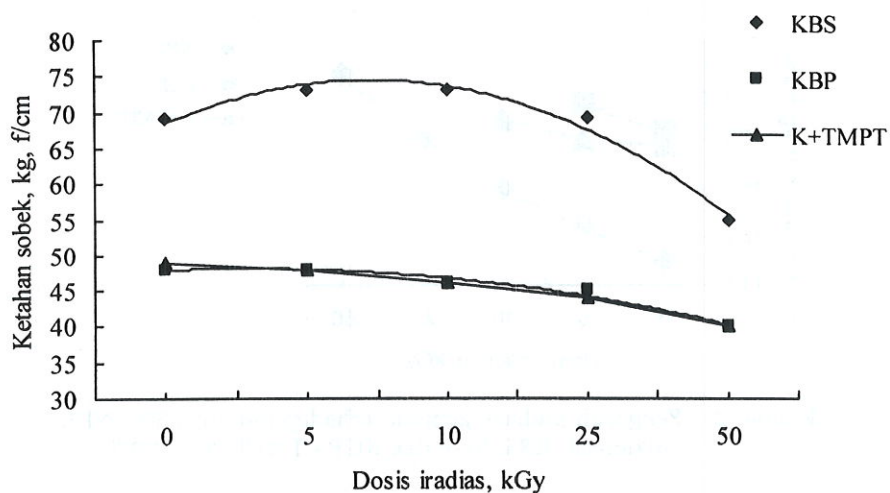
Gambar 2. Pengaruh iradiasi gamma terhadap modulus-300 NBR vulkanisat KBS, KGP dan KGP + TMPT (K + TMPT).



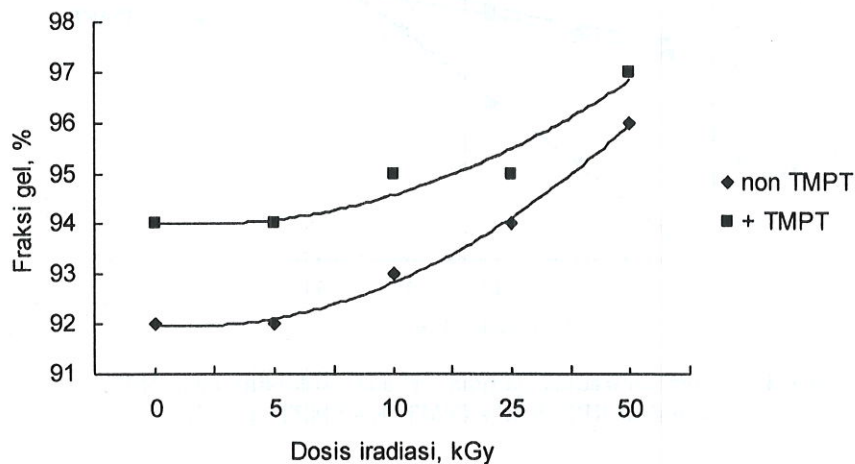
Gambar 3. Pengaruh iradiasi gamma terhadap kekuatan tarik NBR vulkanisat KBP, KBP + TPMT (K + TMPT) dan KBS



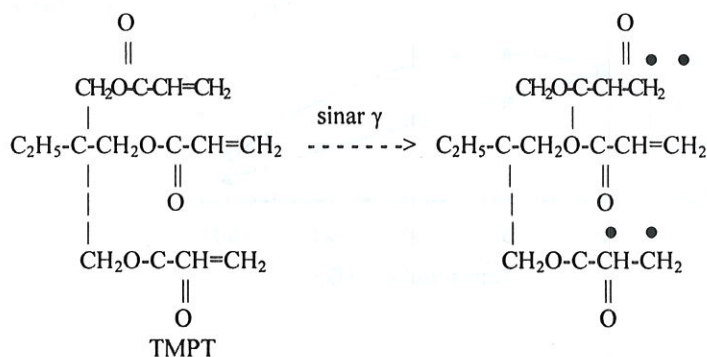
Gambar 4. Pengaruh iradiasi gamma terhadap perpanjangan putus karet NBR vulkanisat KBS, KBP dan KBP + TMPT.



Gambar 5. Pengaruh iradiasi gamma terhadap ketahanan sobek NBR vulkanisat KBS, KBP dan KBP + TMPT.



Gambar 6. Pengaruh iradiasi gamma dan penambahan polifungsional monomer TMPT terhadap fraksi gel NBR vulkanisat.



Gambar 7. Mekanisme reaksi pengaruh iradiasi gamma terhadap polifungsional monomer trimetilolpropantrimetakrilat.