

PENGARUH PATI DAN RADIASI SINAR GAMMA TERHADAP SIFAT FISIK/MEKANIK DAN DEGRADABILITAS KARET ALAM VULKANISAT

Sudradjat Iskandar
Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN

ABSTRAK

PENGARUH PATI DAN RADIASI SINAR GAMMA TERHADAP SIFAT FISIK/MEKANIK DAN DEGRADABILITAS KARET ALAM VULKANISAT. Dalam upaya mengatasi masalah limbah karet yang mencemari lingkungan, telah dilakukan karakterisasi pengaruh penambahan pati, dan radiasi sinar gamma terhadap sifat fisik/mekanik dan degradabilitas karet alam vulkanisat. Karet alam berupa krep, dicampur dengan bahan aditif, vulkanisator dan bahan pengisi menggunakan mesin dua rol selama 30 menit pada suhu 70°C. Bahan aditif yang dicampurkan adalah anti oksidan irganox 1067, wax, maleat anhidrat, minarex B, asam stearat, dan ZnO. Vulkanisator yang dipakai adalah belerang dan dipenilguanidin (DPG). Pati digunakan sebagai bahan pengisi. Kadar pati yang dicampurkan bervariasi yaitu 16,7 ; 33,3 ; 66,7 dan 100 psk (perseratus bagian berat karet). Kompon karet alam yang terbentuk selanjutnya divulkanisasi dengan mesin pres panas pada suhu 150°C, dan didinginkan pada suhu 25°C. Waktu vulkanisasi karet alam bervariasi yaitu 5, 10, 15, 20, dan 25 menit, sedangkan waktu pendinginan 3 menit. Karet alam vulkanisat kemudian diiradiasi dengan sinar gamma pada dosis 5, 10, dan 25 kGy. Pengujian sifat fisik/mekanik karet alam vulkanisat seperti modulus, tegangan putus, dan perpanjangan putus dilakukan dengan Strogaph R-1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan pati, radiasi sinar gamma, dan waktu vulkanisasi mempengaruhi sifat fisik/mekanik dan degradabilitas karet alam vulkanisat. Tegangan putus maksimum karet alam vulkanisat sebanyak 20,18 MPa, dapat dicapai dengan penambahan pati sebanyak 33,3 psk, divulkanisasi selama 20 menit, dan diiradiasi dengan sinar gamma pada dosis 5 kGy. Kehilangan berat dapat mencapai 60% setelah penyimpanan karet alam vulkanisat di dalam tanah selama 2 tahun

ABSTRACT

THE EFFECT OF STARCH AND GAMMA IRRADIATION ON THE PHYSICAL/MECHANICAL PROPERTIES AND DEGRADABILITY OF VULCANIZED NATURAL RUBBER. To overcome the environmental problem from natural rubber vulcanized waste, studies on the effect of starch and gamma irradiation on the physical/mechanical properties and degradability of vulcanized natural rubber have been done. The crepe of natural rubber was mixed with additive, vulcanizing agent, and filler using roll mill at 70°C for about 30 minutes. The mixed additive were irganox 1067, wax, minarex B, maleat anhidrat, stearic acid, and ZnO. The vulcanizing agent was sulfur and diphenylguanidyne (DPG). The starch was used as filler. The starch mixed were 16.7; 33.3; 66.7 and 100 phr (per hundred part of rubber). The natural rubber compound obtained was then vulcanized using hot press machine at 150°C, and cold it's at 25°C. The vulcanization time were 5, 10, 15, 20, and 25 minutes, and cooling time was 3 minutes. The vulcanized natural rubber then irradiated with gamma ray from the source of Cobalt-60 at room temperature. The irradiation dose was 5, 10, and 25 kGy. The physical/mechanical properties of vulcanized natural rubber such as modulus, tensile strength and elongation at break were characterized using Strogaph R-1. The experimental results showed that the physical/mechanical properties and degradability of vulcanized natural rubber was influenced by additional starch, gamma irradiation and vulcanization time. The maximum tensile strength of vulcanized natural rubber about 20.18 MPa, was obtained with addition of 33.3 phr starch, vulcanization time for 20 minutes, and irradiated with gamma ray at 5 kGy. About 60% of natural rubber vulcanized was lost of weight after its stored on the soil for 2 years

PENDAHULUAN

Kebutuhan barang jadi karet akan terus meningkat sejalan dengan perkembangan penduduk dan kemajuan teknologi. Indonesia sebagai negara penghasil karet alam terbesar setelah Thailand (1), perlu untuk memperhatikan karet alam. Di Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi, Batan, telah dilakukan penelitian dan pengembangan teknologi radiasi pada vulkanisasi karet alam tanpa penambahan belerang, diantaranya pengaruh iradiasi sinar gamma terhadap sifat fisik/mekanik campuran karet alam-LDPE, HDPE, dan LLDPE, kompon karet alam, penambahan monomer polifungsional, penambahan hitam karbon, dan penambahan kalsium karbonat (2-9). Makalah ini dilaporkan

hasil penelitian teknologi radiasi pada karet alam yang divulkanisasi menggunakan belerang, dengan bahan pengisi pati.

Pada umumnya barang jadi karet alam divulkanisasi dengan sistem belerang, dan bahan pengisinya hitam karbon. Karet alam sebelum divulkanisasi memiliki sifat fisik yang rendah, mudah larut dalam pelarut kimia, dan mudah terurai oleh sinar matahari atau bakteri pembusuk (10). Setelah belerang ditambahkan sebagai bahan pengikat antara molekul karet dan hitam karbon dan divulkanisasi, maka barang jadi karet alam menjadi lebih kuat, tahan terhadap pelarut kimia dan berdaya guna, tetapi sulit terurai di alam sehingga dapat mencemari lingkungan. Belerang yang ditambahkan dalam

karet alam, selain membentuk jaringan tiga dimensi, juga berfungsi sebagai penghambat tumbuhnya bakteri pembusuk pada karet alam. Demikian pula hitam karbon memiliki sifat tahan terhadap sinar ultra violet (10) sehingga dapat melindungi karet dari kerusakan karena sinar matahari.

Pati atau polisakarida yang terdiri dari amilosa dan amilopeptin berupa granulat dengan ukuran bervariasi antara 3 sampai 100 mikron, memiliki sifat tahan panas sampai 180°C, mudah terurai di alam oleh jasad renik *aspergillus niger* dan *penicilliumfuniculosum* (11), dan murah harganya. Dengan menggunakan pati sebagai bahan pengisi, diharapkan selain membantu mempercepat proses penguaraan barang jadi karet di alam dan menurunkan ongkos produksi, tetapi juga memiliki sifat fisik/mekanik karet alam vulkanisat yang baik.

Sifat fisik/mekanik karet alam vulkanisat tergantung pada struktur molekul yang terbentuk, sedangkan struktur molekul karet alam vulkanisat erat hubungannya dengan waktu vulkanisasi (12). Waktu vulkanisasi adalah waktu proses pemanasan kompon karet alam dengan menggunakan mesin pres panas pada suhu 150°C. Kompon karet alam, yaitu campuran karet alam, aditif, vulkanisator, dan bahan pengisi. Dengan ditelitinya waktu vulkanisasi, diharapkan akan diperoleh sifat fisik/mekanik karet alam vulkanisat optimum.

Menurut HEINISH (13), pengikatan antar molekul karet alam tidak hanya dengan belerang, tetapi juga dapat dilakukan dengan radiasi energi tinggi. Dalam makalah ini juga dibahas pengaruh radiasi sinar gamma, dengan harapan radiasi sinar gamma dapat mengikat molekul karet alam yang belum ter Vulkanisasi dengan belerang, sehingga sifat fisik/mekanik vulkanisat karet alam akan menjadi lebih baik.

Sehubungan dengan rencana para Produsen otomotif akan menggunakan produk ramah lingkungan (14), penelitian ini diarahkan kepada produk karet untuk otomotif non ban, seperti karet rem, dan lain-lain.

TINJAUAN PUSTAKA

Menurut HEINISH (13), vulkanisasi adalah suatu proses reaksi pembentukan jembatan atau struktur jaringan tiga dimensi antara molekul tunggal, sehingga memberikan sifat fisik yang karakteristik pada vulkanisatnya (karet alam yang telah divulkanisasi). Vulkanisasi dapat terjadi melalui reaksi dengan belerang, peroksida organik, atau radiasi energi tinggi.

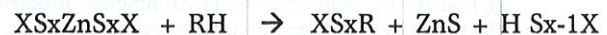
Menurut GLAZER (15), ada hubungan erat secara matematik antara jumlah rantai molekul karet alam yang berikatan silang dengan sifat

fisik/mekanik atau pengembangan di dalam pelarut. Hubungan antara sifat modulus film karet dengan jumlah ikatan silangnya dapat dirumuskan dalam satu persamaan berikut :

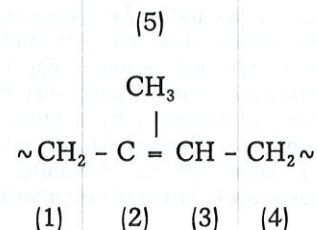
$$E = 3\rho RT/Mc$$

Notasi E adalah modulus karet alam, ρ adalah densitas karet alam yang berikatan silang, R dan T adalah konstanta gas dan suhu absolut, dan Mc adalah berat molekul karet alam 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, dan Mc kecil, maka jumlah ikatan silangnya banyak, sehingga modulusnya tinggi.

Menurut MORRELL (16), tahap awal vulkanisasi sistem belerang adalah reaksi antara belerang dengan garam seng dari bahan pemercepat vulkanisasi dan membentuk garam seng pertio ($XSxZnSxX$), dimana X adalah senyawa turunan dari bahan pemercepat vulkanisasi (DPG, MBT, dsb.). Garam tersebut kemudian bereaksi dengan senyawa hidrokarbon karet alam RH membentuk senyawa karet baru $XSx-1R$.



Atom hidrogen pada posisi 4 dan 5 pada karet alam seperti terlihat pada struktur dibawah ini adalah yang paling labil dalam reaksi ini.

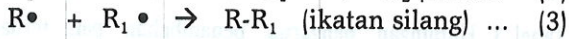
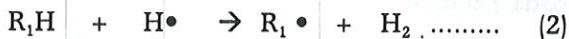


Selanjutnya senyawa karet $XSxR$ bereaksi dengan molekul hidrokarbon karet RH membentuk jaringan tiga dimensi atau ikatan silang.



Menurut CHAPIRO (17), mekanisme pengikatan silang antar polimer hidrokarbon RH menggunakan radiasi sinar gamma secara sederhana terdiri dari tiga tahap reaksi. Tahap awal (1) adalah pembentukan radikal bebas, sebagai hasil interaksi radiasi sinar gamma dengan polimer. Tahap selanjutnya (2), radikal bebas bereaksi dengan polimer lain dan membentuk radikal bebas baru, dan pada tahap

terakhir (3), yaitu tahap pembentukan molekul berikatan silang melalui reaksi rekombinasi antar radikal bebas.



Menurut SCHNABEL (18), degradasi polimer adalah perubahan sifat fisik yang disebabkan oleh reaksi-reaksi kimia yang meliputi pematahan ikatan rantai utama makromolekul. Model degradasi polimer bisa disebabkan oleh panas (termal), mekanik, fotokimia, kimia radiasi, biologi dan kimia. Pati yang terdiri dari amilosa dan amilopeptin, ikatan glukosanya terurai secara enzimatis dari amilosa menjadi maltosa oleh α -amilase dan β -amilase.

PERCOBAAN

Bahan. Pada penelitian ini dipakai karet alam berupa krep yang diperoleh dari perkebunan PTP XI Nusantara Bogor. Pati berupa tepung tapioka diperoleh dari super market Hero dengan merek ALINI dipakai sebagai bahan pengisi. Bahan aditif berupa asam stearat dan minyak minarex B buatan lokal, berfungsi untuk memudahkan pencampuran bahan pengisi kedalam kompon karet, mempersingkat waktu dan menurunkan suhu pencampuran, dan memudahkan proses pemberian bentuk. ZnO dipakai buatan lokal berfungsi untuk menggiatkan kerja dari bahan pencepat. Parafin wax yang dipakai buatan lokal berfungsi untuk melindungi karet dari kerusakan yang disebabkan karena ozon dari udara, sedangkan antioksidannya dipakai irganox 1067, berfungsi untuk melindungi karet dari kerusakan yang disebabkan karena oksigen. Belerang dipakai sebagai vulkanisator, sedangkan dipenilguanidin (DPG) dipakai sebagai pencepat vulkanisasi. Benzene dengan kualitas tehnik dipakai sebagai pelarut, dan maleat anhidrat buatan Merck dipakai sebagai *compatibiliser* antara karet dengan pati. Formulasi kompon karet alam yang dipakai dalam penelitian ditunjukkan pada Tabel 1.

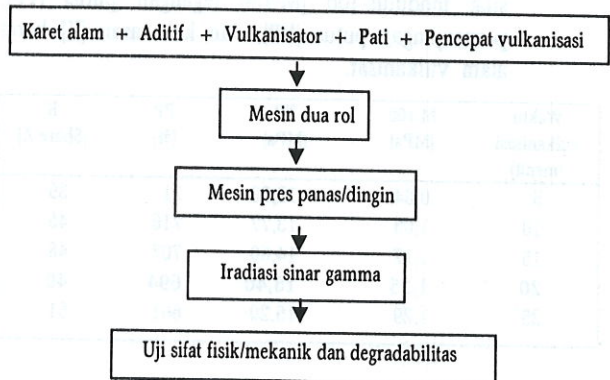
Karet alam, bahan aditif, vulkanisator, pencepat vulkanisasi dan pengisi dicampur dengan menggunakan mesin dua rol pada suhu 70°C selama 30 menit dengan kecepatan perputaran 18 rpm. Kompon karet alam yang dihasilkan kemudian divulkanisasi dengan mesin pres panas pada suhu 150°C dan didinginkan dengan pres dingin pada suhu 25°C. Waktu vulkanisasinya bervariasi, yaitu 5, 10, 15, 20 dan 25 menit, sedangkan waktu pendinginan 3 menit. Setelah divulkanisasi, karet alam vulkanisat

selanjutnya diiradiasi dengan sinar gamma dari sumber Cobalt-60 pada suhu kamar, dengan variasi dosis mulai dari 5, 10 sampai 25 kGy. Sebelum dan setelah diiradiasi, karet alam vulkanisat diuji sifat fisik/mekanik.

Tabel 1. Komposisi kompon karet dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Bahan	Formulasi I (psk)	Formulasi II (psk)	Formulasi III (psk)	Formulasi IV (psk)
Karet alam	100	100	100	100
Pati	16,7	33,3	66,7	100
ZnO	3,33	3,33	3,33	3,33
Asam stearat	0,67	0,67	0,67	0,67
Irganox 1076	0,67	0,67	0,67	0,67
Parafin wax	0,67	0,67	0,67	0,67
Minarex	5	5	5	5
Maleat anhidrat	5	5	5	5
Belerang	2	2	2	2
Dipenilguanidin	1	1	1	1

Metode penelitian. Secara garis besar tatakerja penelitian ditunjukkan pada Gambar 1



Gambar 1. Diagram alir penelitian pengaruh pati dan radiasi sinar gamma terhadap sifat fisik/mekanik dan degradabilitas karet alam vulkanisat

Pengujian sifat fisik/mekanik sampel. Pengujian sifat fisik/mekanik seperti modulus, tegangan putus, dan perpanjangan putus dilakukan berdasarkan ASTM D 412 dengan alat uji tarik stograph-R1, Toyoseiki, dengan kecepatan penarikan 500 mm/menit. Sifat kekerasan di uji dengan alat ukur kekerasan merek Zwick, berdasarkan ISO/R 868.

Pengujian degradabilitas sampel. Pengujian degradabilitas sampel dilakukan dengan mengubur sampel di dalam tanah selama 3, 6, 9, 18, 24 bulan. Degradabilitas sampel ditentukan dengan menghitung pengurangan berat sampel setelah penguburan secara gravimetri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh waktu vulkanisasi. Data hubungan pengaruh waktu vulkanisasi terhadap sifat modulus, tegangan putus, perpanjangan putus dan kekerasan vulkanisat karet alam dengan kadar pati 66,67 psk, ZnO 3,33 psk, asam stearat 0,67 psk, irganox 1076 0,67 psk, wax 0,67 psk, diukur sebelum diiradiasi dengan sinar gamma ditunjukkan pada Tabel 2. Pada tabel tersebut terlihat bahwa waktu vulkanisasi mempengaruhi sifat fisik/mekanik karet alam vulkanisat. Dengan bertambahnya waktu vulkanisasi, maka sifat modulus-100 dan kekerasan bertambah, tetapi sifat perpanjangan putusnya berkurang, sedangkan tegangan putusnya bertambah sampai mencapai nilai maksimum kemudian berkurang. Hal ini terlihat pada kecenderungan modulus-100 (0,84 ~ 1,29 MPa), tegangan putus (13,00 ~ 15,4 MPa), perpanjangan putus (661 ~ 721 %), dan kekerasan karet alam vulkanisat (39 ~ 51 shore A) yang divulkanisasi antara 5 s.d 25 menit.

Tabel 2. Hubungan pengaruh waktu vulkanisasi terhadap sifat modulus-100 (M-100 tegangan putus (TP), perpanjangan putus (PP), dan kekerasan (K) karet alam vulkanisat.

Waktu vulkanisasi (menit)	M-100 (MPa)	TP (MPa)	PP (%)	K (Shore A)
5	0,84	13,00	21	39
10	1,05	13,77	716	46
15	1,17	14,60	707	48
20	1,25	15,40	694	49
25	1,29	15,20	661	51

Dengan demikian tegangan putus maksimum dicapai sebesar 15,4 MPa pada waktu vulkanisasi 20 menit, maka waktu optimum vulkanisasi karet alam adalah 20 menit. Bertambahnya modulus, tegangan putus dan kekerasan, dan berkurangnya perpanjangan putus, telah dijelaskan oleh GLAZER dan COTTON (15). Berdasarkan persamaan modulus $E = 3pRT/Mc$, modulus karet alam vulkanisat akan meningkat jika jumlah molekul yang berikatan silang bertambah dan sebaliknya. Menurut RAGHAVAN (19), jaringan tiga dimensi molekul memiliki energi ikat yang tinggi, sehingga molekul karet akan menjadi lebih kuat dan keras dengan bertambahnya molekul yang saling berikatan membentuk suatu jaringan. Terbentuknya ikatan silang antara rantai molekul karet alam tersebut menurut MORRELL (16), disebabkan adanya reaksi karet dengan belerang. Mekanisme reaksi pengikatan molekul karetnya telah dijelaskan diatas.

Pengaruh Penambahan Pati. Hubungan pengaruh penambahan pati terhadap sifat modulus, tegangan putus, perpanjangan putus, dan kekerasan karet alam vulkanisat ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hubungan pengaruh penambahan pati terhadap sifat modulus-100 (M-100), tegangan putus (TP), perpanjangan putus (PP), dan kekerasan (K) karet alam vulkanisat.

Kadar Pati (psk)	M-100 (MPa)	TP (MPa)	PP (%)	K (Shore A)
0	0,97	17,93	658	43
16,7	0,93	16,76	672	40
33,3	0,98	19,63	723	43
66,7	1,25	15,40	694	49
100,0	1,41	9,13	611	57

Berhubung waktu vulkanisasi optimum pada Tabel 2 adalah 20 menit, maka waktu vulkanisasi karet alam vulkanisat yang dipakai pada Tabel 3 juga 20 menit, sedangkan kadar aditifnya sama, dan karet tersebut juga diuji sebelum diiradiasi dengan sinar gamma. Pada Tabel 3 terlihat bahwa penambahan pati mempengaruhi sifat fisik/mekanik karet alam vulkanisat. Dengan bertambahnya pati, sifat modulus dan kekerasan cenderung meningkat, sedangkan tegangan putus dan perpanjangan putusnya cenderung meningkat sampai nilai maksimum kemudian menurun. Hal ini terlihat pada penambahan pati sebanyak 16,7 psk, sifat modulus, tegangan putus, perpanjangan putus, dan kekerasan masing-masing adalah 0,93 MPa, 16,76 MPa, 672%, dan 40 shore A.

Setelah penambahan pati sebanyak 33,3 psk sifat modulus, tegangan putus, perpanjangan putus, dan kekerasan masing-masing menjadi 0,98 MPa, 19,63 MPa, 723 %, dan 43 shore A. Sedangkan setelah penambahan pati sebanyak 66,7 ; dan 100 psk, sifat modulus, tegangan putus, perpanjangan putus, dan kekerasan masing-masing menjadi 1,25 MPa, 15,4 MPa, 694 %, dan 49 shore A; dan 1,41 MPa, 9,13 MPa, 611 %, dan 57 shore A. Dengan demikian, tegangan putus dan perpanjangan putus maksimum dicapai dengan penambahan pati sebanyak 33,3 psk. Pati berfungsi sebagai bahan pengisi, sehingga kemungkinan antara pati dengan belerang atau karet alam tidak ada ikatan kimia. Dengan bertambahnya pati menyebabkan rantai molekul karet alam akan menjadi semakin tertahan saat ditarik atau ditekan, dan berakibat modulus, tegangan putus, perpanjangan putus dan kekerasannya meningkat. Menurunnya tegangan putus dan perpanjangan putus karet

alam vulkanisat, kemungkinan disebabkan fungsi pati berubah menjadi pemutus rantai molekul karet saat karet alam vulkanisat ditarik pada perpanjangan tertentu, sehingga tegangan putus dan perpanjangan putusnya menurun. Kemungkinan lain karena jumlah kadar karet alamnya berkurang, dengan bertambahnya pati. Dengan berkurangnya matriks karet alam, maka tidak cukup matriks polimer yang mengikat bahan pengisinya, sehingga kekuatannya berkurang.

Pengaruh Radiasi Sinar Gamma. Data hubungan pengaruh radiasi sinar gamma terhadap sifat modulus, tegangan putus, perpanjangan putus dan kekerasan karet alam vulkanisat ditunjukkan pada Tabel 4. Karet alam vulkanisat yang dipakai pada tabel tersebut mengandung pati sebanyak 33,3 psk, sedangkan kadar aditifnya sama dengan karet alam vulkanisat pada Tabel 2, dan divulkanisasi selama 20 menit.

Tabel 4. Hubungan pengaruh radiasi sinar gamma terhadap sifat modulus-600 (M-600), tegangan putus (TP), perpanjangan putus (PP), dan kekerasan (K) karet alam vulkanisat dengan kadar pati 33,3 psk.

Dosis iradiasi (kGy)	M-600 (MPa)	TS (MPa)	PP (%)	K (Shore A)
0	9,38	19,63	723	43
5	12,58	20,18	687	43
10	14,03	19,59	657	44
25	14,57	18,48	640	44

Pada Tabel 4 terlihat, bahwa radiasi sinar gamma mempengaruhi sifat fisik/mekanik karet alam vulkanisat. Dengan bertambahnya dosis iradiasi, sifat modulus karet alam vulkanisat cenderung meningkat, sifat perpanjangan putusnya menurun, sedangkan tegangan putus dan kekerasannya relatif tidak berubah.

Bertambah dan berkurangnya sifat fisik/mekanik karet alam vulkanisat setelah diiradiasi sinar gamma, sama halnya seperti pada Tabel 2 dan telah dijelaskan diatas menurut GLAZER dan COTTON (15), erat hubungannya dengan pembentukan molekul yang berikatan silang. Berdasarkan persamaan modulus $E = 3pRT/Mc$, modulus karet alam vulkanisat akan meningkat jika jumlah molekul yang berikatan silang bertambah dan sebaliknya. Terbentuknya ikatan silang antara rantai molekul karet alam tersebut menurut CHAPIRO (17) disebabkan adanya reaksi radikal bebas. Mekanisme reaksi radikalnya secara singkat telah dijelaskan diatas. Dengan demikian, radiasi sinar gamma

meningkatkan jumlah rantai molekul karet yang berikatan silang. Dengan bertambahnya rantai molekul yang berikatan silang tersebut, menyebabkan perpanjangan putusnya berkurang dan modulusnya bertambah. Berkurangnya perpanjangan putus karet alam vulkanisat tersebut disebabkan karena jumlah molekul karet alam yang berikatan silang terlalu banyak, sehingga menjadi getas.

Degradabilitas karet alam vulkanisat.

Pengaruh pati dan radiasi sinar gamma terhadap degradabilitas karet alam vulkanisat ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hubungan pengaruh pati, radiasi dan waktu penyimpanan terhadap % kehilangan berat sampel.

Kadar pati, psk	Dosis iradiasi, kGy	Pengurangan berat sampel, %				
		Waktu penyimpanan, bulan				
		3	6	9	18	24
50	0	4	11	22	48	55
75	0	7	14	28	49	68
100	0	16	26	38	51	60
100	25	9	18	33	49	59
0*	0	0,2	0,2	1,4	2,0	2,3

0*Sampel dengan metoda konvensional, tanpa pati, mengandung karbon hitam dan kalsium karbonat masing-masing 30%

Pada tabel tersebut terlihat bahwa degradabilitas karet alam vulkanisat dipengaruhi oleh waktu penyimpanan, pati dan radiasi sinar gamma. Dengan bertambahnya waktu penyimpanan dan kadar pati dalam karet alam vulkanisat, degradabilitas cenderung bertambah. Hal ini terlihat adanya pengurangan berat sampel dengan bertambahnya waktu penyimpanan dan pati di dalam karet alam vulkanisat. Demikian pula dengan radiasi sinar gamma, pengurangan berat sampel karet alam vulkanisat relatif lebih rendah dibanding dengan yang tidak diiradiasi. Pengurangan berat sampel tersebut disebabkan karena pati mudah terurai di alam oleh jasad renik *aspergillus niger* dan *penicilliumfuniculosum* (11). Semakin lama sampel di simpan, maka semakin banyak jasad renik akan berkembang biak, sehingga berat sampel akan semakin berkurang. Dengan demikian pati berfungsi sebagai *biodegradable inisiator*. Radiasi sinar gamma berfungsi sebagai penguat melalui reaksi radikal bebasnya. Telah dijelaskan diatas (17), reaksi radikal bebas menyebabkan terbentuknya ikatan silang antar rantai molekul karet alam. Menurut RAGHAVAN (19), jaringan tiga dimensi molekul atau ikatan silang memiliki energi ikat yang tinggi. Dengan demikian, jasad

renik lebih sulit untuk menembus molekul karet alam vulkanisat, sehingga nilai degradabilitasnya lebih rendah dibandingkan dengan yang tidak diiradiasi pada penyimpanan sampai 9 bulan.

KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan penelitian dapat disimpulkan bahwa, penambahan pati, dan radiasi sinar gamma mempengaruhi sifat fisik/mekanik dan degradabilitas karet alam vulkanisat. Penambahan pati dan iradiasi sinar gamma cenderung dapat meningkatkan sifat fisik/mekanik karet alam vulkanisat. Tegangan putus maksimum karet alam vulkanisat sebanyak 20,18 MPa, dapat dicapai dengan penambahan pati sebanyak 33,3 psk, yang divulkanisasi selama 20 menit, dan diiradiasi pada dosis 5 kGy. Dengan bertambahnya kadar pati, degradabilitas karet alam vulkanisat bertambah, sedangkan radiasi sedikit menghambat degradabilitas karet alam vulkanisat. Penambahan pati 100 psk dapat meningkatkan degradabilitas karet alam vulkanisat sampai 60% setelah penyimpanan dalam tanah selama 2 tahun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Saudara Armanu yang telah meradiasikan sampel, demikian pula kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penelitian dan penyusunan makalah ini hingga dapat terwujud dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. SOERJANI, M., Industri Karet Berwawasan Lingkungan, Majalah Info karet, 69 VI (1998) 4
2. 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
3. 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.
4. SUDRADJAT I., YOSHII F., dan MAKUUCHI K., Pengaruh Radiasi Berkas Elektron Terhadap Sifat Fisika Campuran LDPE-Karet Alam", Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi, Batan, Jakarta (1997) 71-84
5. SUDRADJAT I., "Pengaruh Iradiasi Berkas Elektron Terhadap Tegangan Putus Campuran HDPE-Karet Alam", Prosiding Pertemuan Ilmiah Sains Materi II, Batan, Serpong (1997) 205-208
6. SUDRADJAT I., "Karakterisasi Kompon Karet Alam Yang Divulkanisasi Radiasi Dengan Sinar Gamma", Presentasi Ilmiah Jabatan Peneliti Muda Bidang Proses Radiasi, Batan (2000) Tidak dipublikasi
7. 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
8. 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
9. 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
10. ABEDNEGO, J. G., "Bahan Kimia untuk Pembuatan Kompon", Pelatihan Kompon dan Kompon Desain, PPEI, Deperindag, (1996) tidak dipublikasi
11. STANLEY M.P., "Starch", Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, (1969) 672-791
12. ABEDNEGO, J. G., "Teknologi Komponding dan Vulkanisasi", Pelatihan Kompon dan Kompon desain, PPEI, Deperindag, Tidak dipublikasi
13. HEINISH, K. F., "Vulcanization" Dictionary of Rubber, Applied Science Publisher Ltd. (1974)

14. ANONIM, "Otokir", Toyota Rintis Pabrik Komponen Plastik, [Http://www.ikiran-rakyat.com/cetak/0803/19/tokir/laimnya7.htm](http://www.ikiran-rakyat.com/cetak/0803/19/tokir/laimnya7.htm) (1609/04)
15. AZER J., and COTTON F. H., "Theory of Vulcanization", The Applied Science of Rubber, Edward Arnold Ltd., (1961) 995
16. MORREL, S. H., "The Chemistry and Technology of Vulcanization", Rubber Technology and Manufacture, Butterworth & Co. Ltd, England (1971)
17. CHAPIRO, A., "General Aspects of Radiation Initiated Polymerization", Radiation Chemistry of Polymeric System, Interscience Publisher, John Wiley & Sons, New York (1962)
18. SCHNABEL W., "Polymer Degradation", Principles and Practical Application, Macmillan Publishing Co., Inc, New York (1981)
19. RAGHAVAN V., "Atomic Structure and Chemical Bonding", Material Science and Engineering, Prentice Hall of India Private Ltd. New Delhi (1981)

DISKUSI

ANIK SUGIYARSI

Apakah yang bapak maksud "degradabilitas karet alam vulkanisat" adalah kehilangan berat 60% atau tegangan putus maximum ?. (setelah berada di tanah 2 tahun).

SUDRADJAT ISKANDAR

Yang dimaksud degradabilitas karet alam vulkanisat adalah kehilangan beratnya.

NELLY

1. Pati apa yang digunakan (apakah semua jenis pati akan memberi hasil yang sama) ?.
2. Berapa tegangan maximum atau optimum yang diinginkan untuk ban vulkanisir ?.

SUDRADJAT ISKANDAR

1. Pati yang digunakan adalah tepung tapioka, tida semua jenis pati akan memberikan hasil yang sama.
2. Di dalam penelitian ini belum mengarah pada produksi ban.

YUNI INDRIATI F.

1. Bagaimana mengukur nilai degradabilitas karet alam vulkanisat.
2. Apakah karet alam yang telah ditambah pati dan radiasi mempunyai kualitas yang sama dengan karet alam yang asli ?.

SUDRADJAT ISKANDAR

1. Mengukur nilai degradabilitas karet alam vulkanisat yaitu dengan mengukur pengurangan berat sampel setelah penyimpanan dalam tanah.
2. Tidak sama, setelah ditambah pati dan radiasi menjadi lebih kuat, elastis, keras dan tahan terhadap pelarut.

NUNUNG N.

Bagaimana karet alam yang divulkanisasi dengan yang tidak divulkanisasi, mana yang lebih baik ?. (bila dilihat dari dunia industri)

SUDRADJAT ISKANDAR

Karet alam yang divulkanisi akan jauh lebih baik dibandingkan dengan yang tidak divulkanisasi. Lebih baik disini artinya lebih kuat, elastis, keras, tahan terhadap pelarut dan lebih bermanfaat.

YUSTINA

Apa fungsi dari pati dalam proses crosslinking ?.

SUDRADJAT ISKANDAR

Dalam proses crosslinking tidak ada hubungannya, disini hanya berfungsi sebagai pengisi dan *biodegradableinisiator*.

FARAH NURLIDAR

Mohon dijelaskan mengapa radiasi sinar α tidak berpengaruh terhadap biodegradasi karet alam vulkanisat yang disimpan 1 - 2 tahun (dilihat dari tidak adanya perbedaan yang signifikan dari jumlah % massa yang hilang antara sampel yang diiradiasi dan yang tidak diiradiasi ?.

SUDRADJAT ISKANDAR

Karena radiasi berfungsi sebagai pengikat silang antara molekul karet, sehingga ikatan molekul karet menjadi lebih kuat, dan kemungkinan energi ikat antar molekul karet berkurang setelah 1 - 2 tahun.

IRA ARIATI

Apakah penelitian bapak yang diharapkan dapat menjadikan karet vulkanisasi menjadi ramah lingkungan telah dapat diimplementasikan kepada industri ?.
Berapa durasinya ?.

SUDRADJAT ISKANDAR

Hasil penelitian ini belum dapat diimplementasikan ke industri, karena baru penelitian awal, perlu ada penelitian lanjutan pada pembuatan barang jadi.