

A REVIEW ON THE RUBBER PRODUCTS FROM IRRADIATION VULCANIZATION NATURAL LATEX

Samin Prihatin, Marga Utama*, dan Wiwien Andriyanti
samin@batan.go.id
Pusat Sains dan Teknologi Akselerator – BATAN, Yogyakarta
*Pusat Aplikasi Isotop Radiasi – BATAN, Jakarta

ABSTRACT

A review on the rubber products for Sphygmomanometer (such as bladders, bulb, and tube) from irradiation vulcanization natural latex in factory scale have been done. The purpose of this review was obtained the optimum condition processing of the manufacture, the physical and chemical properties of the rubber products . The most important chemical properties were free from nitrosamine and protein allergens. Nitrosamines can cause cancer and protein elergen can cause a skin allergy. The irradiation vulcanization natural latex could do two methods are using the electron beam machine (EBM) and the gamma ray of ^{60}Co . The EBM method: Latex was added with normal butyl acrylate (nBA) as much as 5 phr (part hundred ratio of rubber) and potassium hydroxide as much as 0,2 phr. Latex was irradiated by using EBM with a doses of 40 kGy. The rubber film was tested by permanent set test and the characterization of functional group structure by Fourier Transform Infra Red (FTIR). The gamma ray method. The irradiated natural latex was prepared by gamma rays ^{60}Co radiation vulcanization on natural rubber latex at the doses of 25 kGy, and 3 phr (part hundred ratio of rubber) was added by antioxidant then it was made rubber for Spygmomanometer (bladder, bulb, and tube) by coagulant dipping method. The optimum condition processing of the manufacture of rubber were the heating temperature at 90 °C, and heating time on 8 to 12 hours, then leached in 0,5 % ammonia solution. Vulcanization is the key rubber technology of the whole because this process plays a very important role in the formation physical and chemical properties of latex film. The rubber products for Spygmomanometer was tested the physical

properties (tensile strength, modulus, elongation at break, hardness) and chemical properties (nitrosamine and protein allergen content). It was founded that rubber film from irradiation vulcanization by EBM have a functional group C-H, C-C, C=C and C=O. In addition, the resulting rubber film has occurred the existence of cross-linking which has a value marked permanently set at 14%. Rubber for Spygmanometer have the tensile strength : 22 MPa , modulus 500 % : 1,4 MPa, elongation at break : 1000 %, hardness : 29 Shore A, the extractable proteins content : 661 mg/g , and nitrosamine content was not detected (zero). The value of ELISA test method for absorbance of a sensitive human serum again protein allergens was zero (negative). and the response of rubber serum again skin through SPT method was zero (negative). So the rubber products from irradiation vulcanization natural latex were free from nitrosamine and protein allergens.

Keywords : *Rubber products, irradiation, vulcanization, latex, nitrosamines, protein allergens.*

KAJIAN PRODUK KARET DARI LATEKS ALAM VULKANISASI IRADIASI

Samin Prihatin, Marga Utama*, dan Wiwien Andriyanti

samin@batan.go.id

Pusat Sains dan Teknologi Akselerator – BATAN, Yogyakarta

*Pusat Aplikasi Isotop Radiasi – BATAN, Jakarta

ABSTRAK

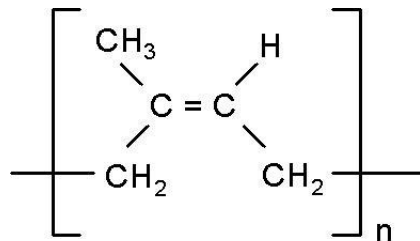
Telah dilakukan pengkajian produk karet tensimeter (seperti : *bladder*, balon, dan selang) dari lateks alam vulkanisasi iradiasi dalam skala pabrik. Tujuan kajian ini adalah mendapatkan kondisi optimum pembuatan, sifat fisis dan kimia produk karet . Sifat kimia yang terpenting adalah bebas dari nitrosamin dan protein alergen. Nitrosamin dapat menyebabkan kanker dan protein elergen dapat menyebabkan alergi kulit. Metode vulkanisasi iradiasi lateks alam dapat dilakukan dengan dua cara yaitu menggunakan mesin berkas elektron (MBE) dan sinar gamma ^{60}Co . Metode MBE : Lateks alam ditambah dengan normal butyl akrilat (nBA) sebanyak 5 psk (per seratus bagian berat karet) dan kalium hidroksida sebanyak 0,2 psk, kemudian diiradiasi menggunakan MBE dengan dosis 40 kGy. Film karet dilakukan uji *permanent set* dan karakterisasi struktur gugus fungsional dengan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Metode sinar gamma : Lateks pekat divulkanisasi radiasi dengan sinar gamma ^{60}Co pada dosis 25 kGy, dan kadar normal butyl akrilat 3 psk, kemudian ditambah anti oksidan (senyawa fenol). Film karet dari metode ini dibuat karet tensimeter (*bladder*, balon dan selang) dengan teknik pencelupan dan penggumpalan. Kondisi optimal pembuatan karet tensimeter adalah suhu pemanasan $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 8-12 jam, pencucian dengan larutan ammonia 0,5 % selama 30 menit dan direndam selama 24 jam. Vulkanisasi merupakan kunci dari keseluruhan teknologi karet karena metode ini memegang peranan yang sangat penting dalam pembentukan sifat fisik mekanik dan sifat kimia film karet Produk karet tensimeter dilakukan uji fisik mekanik (modulus, tegangan putus, perpanjangan putus, kekerasan) dan uji kimia (uji nitrosamin dan protein elergen). Diperoleh bahwa film karet hasil vulkanisasi iradiasi MBE mempunyai

gugus fungsional C-H, C-C, C=C dan C=O. Selain itu, film karet yang dihasilkan telah terjadi adanya ikatan silang dengan ditandai mempunyai nilai *permanent set* sebesar 14 %. Karet tensimeter memiliki modulus 500 % sebesar 1,4 MPa, tegangan putus 22 MPa, perpanjangan putus sebesar 1000 % , kekerasan sebesar 29 Shore A, kadar protein terekstrak : 661 mg/g dan kadar nitrosamin adalah nol. Nilai absorbansi ELISA dengan serum manusia peka protein allergen adalah nol, bahkan respon serum karet tersebut terhadap kulit melalui uji SPT (Spine prick test = uji tusuk pada kulit) adalah nol (negatif). Jadi produk karet dari vulkanisasi iradiasi lateks alam bebas nitrosamin dan protein allergen.

Kata kunci : Produk karet, vulkanisasi, iradiasi, lateks, nitrosamin, protein allergen.

PENDAHULUAN

Lateks karet alam adalah getah pohon karet yang diperoleh dari pohon karet (*Hevea brasiliensis*), berwarna putih dan berbau segar. Umumnya lateks karet alam hasil penyadapan mempunyai kadar karet kering (KKK) antara 20-35%, serta bersifat kurang mantap sehingga harus segera diolah secepat mungkin. Pada umumnya, komposisi dari lateks karet alam meliputi karet (30-40 %), resin (1-2,0 %), protein (2-2,5 %), gula (1-1,5 %), abu/ash (0,7-0,9 %), dan air (55-60 %)⁽¹⁾. Komponen utama dari karet alam adalah polimer polyisoprene yang dirumuskan dengan $\text{CH}_2\text{-C}=\text{CH}(\text{CH}_3)\text{-CH}_2$ seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Rumus polimer polyisoprene

Karet alam (polyisoprene) termasuk elastomer yaitu bahan yang dapat diregangkan dan dapat kembali seperti bentuk semula. Karet alam memiliki berbagai keunggulan dibanding karet sintetik, terutama dalam hal elastisitas, daya redam getaran, sifat lekuk lentur (*flex-cracking*) dan umur kelelahan (*fatigue*). Data sifat fisis lateks karet alam ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat-sifat lateks karet alam⁽²⁾

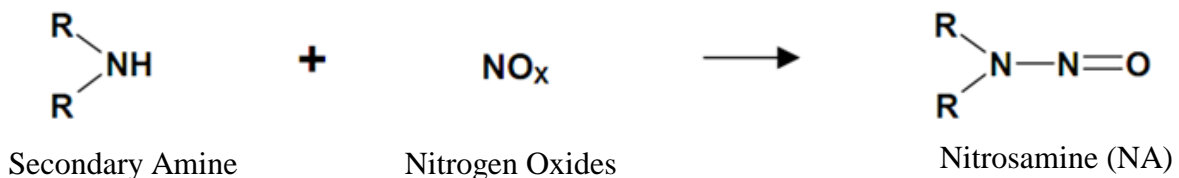
No.	Konstanta	Keterangan
1	Berat molekul	68.12 g/mol
2	Titik didih	34.067 °C
3	Viskositas	$48,6 \cdot 10^{-2} \text{ N.s/m}^2$
4	Rapat jenis	913 kg/m^3
5	Konduktivitas termal	0,134 W/m K
6	Difusivitas termal	$7 \cdot 10^{-8} \text{ m/detik}^2$
7	Kapasitas panas	1905 J/kg K

PERMASALAHAN DALAM INDUSTRI KARET

Vulkanisasi merupakan salah satu tahapan penting dalam pengolahan lateks karet alam hasil penyadapan dari pohon karet (*Havea brasiliensis*). Proses ini memegang peranan yang sangat penting dalam pembentukan sifat fisika dan sifat kimia yang dikehendaki. Ketika orang menyadap karet dengan menggores batang pohon karet, getah putih yang keluar adalah butiran polyisoprene yang masih bercampur dengan air dengan konsentrasi sekitar 20%-30%.

Jika cairan ini, setelah proses vulkanisasi, dipisahkan dengan metode sentrifugasi, diperoleh lateks dengan konsentrasi 60% untuk membuat berbagai macam alat yang terbuat dari karet alam seperti sarung tangan, balon dan produk lain yang diperlukan manusia. Dibandingkan karet sintesis yang terbuat dari minyak bumi, karet alam lebih ramah lingkungan, baik dalam hal penyediaan bahan bakunya maupun proses produksinya. Karet alam yang divulkanisasi dengan metode konvensional dapat mengandung nitrosamin dan protein alergen yang berbahaya bagi kesehatan.

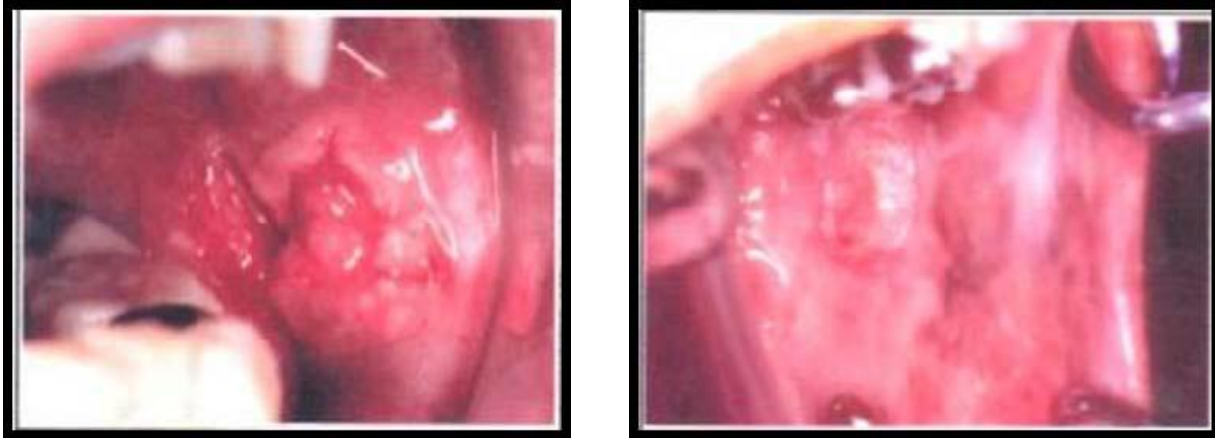
Permasalahan terbesar yang dihadapi oleh para pelaku industri karet adalah adanya kandungan nitrosamin dan protein alergen yang terdapat pada produk karet alam. Nitrosamin adalah senyawa kimia yang mengandung gugus nitroso (>NO-). Nitrosamin dirumuskan dengan R²-N-N=O dan dibentuk oleh amine sekunder yang bereaksi dengan oksida nitrogen, seperti terlihat pada reaksi kimia ⁽³⁾:



Nitrosamin dapat mempengaruhi perubahan sel-sel mukosa rongga mulut. Rongga mulut tersusun dari sel – sel yang membentuk jaringan seperti: jaringan epitel, jaringan ikat, jaringan saraf, jaringan darah, dan jaringan otot. *Nitrosamine* berkontak dengan sel – sel rongga mulut, sehingga berakibat pada proses kontrol pertumbuhan sel. Kesalahan DNA dalam penerjemahan, sistem imun tubuh yang tidak kuat, inflamasi

kronis, serta mungkin faktor lain akan dapat menyebabkan sel – sel normal di rongga mulut menjadi tidak normal, seperti terbentuknya lesi *oral leukoplakia* dan *oral submucous fibrosis* yang mengarah ke sel kanker pada rongga mulut. Kanker rongga mulut merupakan neoplasma sel epitel malignant yang menyerang rongga mulut. Lebih dari 90% termasuk kategori *oral squamous cell carcinoma*, dan paling sering ditemui pada bibir, mukosa bibir, lidah, palatum, gingiva, dasar mulut, dan mukosa pipi⁽⁴⁾. –Nitrosamin terbukti bersifat karsinogen, menyebabkan kanker dengan mengubah DNA tubuh dan mengganggu proses metabolisme. Karsinogenik ini juga mengendap dalam paru-paru dan memicu timbulnya kanker. Senyawa ini dapat menyebabkan kanker, walaupun jumlahnya sedikit sekali yaitu hanya beberapa ppb. Terbentuknya nitrosamin tersebut karena bahan pemercepat yang digunakan pada vulkanisasi belerang yaitu senyawa karbamat yang akan bereaksi dengan nitrogen oksida pada waktu pemanasan. Nitrosamin yang keluar dari bahan pemercepat tersebut tidak saja berdampak negatif dalam barang jadi karet, tetapi juga ruangan proses produksi barang jadi karet juga ikut tercemar. Oleh karena itu, di negara-negara Eropa dan Amerika telah menerapkan peraturan tentang batas maksimum nitrosamin di dalam barang jadi karet sebanyak 1-10 ppm dan di dalam ruang kerja proses produksi barang jadi karet 250 ppm/m³^(3,4). Sedangkan protein alergen berbahaya karena dapat menyebabkan alergi, terutama untuk alat-alat terbuat dari karet yang sering digunakan pada tubuh manusia dan alat-alat kesehatan⁽⁵⁾.

Tensimeter adalah alat kesehatan yang dapat digunakan untuk mengukur tekanan darah arteri secara tidak langsung dengan bantuan stetoscope, alat ini dilengkapi dengan manometer, wadah kemasan yaitu bagian luar dari alat tensimeter untuk penempatan kelengkapan alat. Wadah kemasan ini berisi : bola karet, selang karet dan *bladder* yang dibungkus dengan kain⁽⁶⁾. Bola dan selang karet sering dipegang oleh tangan manusia, dapat menimbulkan gejala kanker pada tubuh manusia karena adanya nitrosamin didalamnya, atau dapat menyebabkan alergi kulit pada tangan manusia, karena adanya protein alergen yang terkandung dalam bola dan selang karet tersebut⁽⁷⁻¹⁰⁾.



Gambar 4 . Kanker rongga mulut ⁽⁴⁾

Kasus yang pernah terjadi di Amerika pada tahun 1980 – 1985, yaitu seorang perawat ternyata mengidap penyakit kanker ganas pada bagian tubuhnya, karena sering menggunakan tensimeter. Setelah diteliti penyebabnya adalah nitrosamin dari bola tensimeter yang sering digunakan oleh perawat tersebut. Akhirnya perawat tersebut mengklaim puluhan juta dolar kepada produsen tensimeter ⁽¹¹⁾ . Kasus lain yang pernah diberitakan pada publikasi, tidak hanya nitrosamin tetapi juga protein alergen yang dapat menyebabkan alergi pada tubuh manusia. Misalnya beberapa pekerja di Rumah Sakit Jakarta, yang menggunakan sarung tangan dari karet alam menunjukkan bahwa sekitar 3 % dari jumlah pekerja tersebut menderita alergi terhadap karet alam ⁽¹²⁾, bahkan jika orang yang alergi tersebut dioperasi oleh paramedis yang memakai barang jadi karet dari karet alam (sarung tangan, kondom, dan kateter) maka akan dapat menyebabkan kematian ⁽¹³⁻¹⁵⁾ .

Dengan adanya kejadian-kejadian tersebut, maka sejak tahun 1987, Eropa telah membatasi kandungan nitrosamin dalam barang jadi karet, misalnya dalam dot bayi, maksimum 1-10 ppb, dan WHO (Badan Kesehatan Dunia) sejak tahun 1999 telah membuat draf pembatasan kandungan protein terekstrak (protein yang menyebabkan alergi) dalam barang jadi karet, misalnya sarung tangan maksimum 150 µg/g ⁽¹⁶⁻²⁰⁾ .

Tabel 2. Spesifikasi lateks alam iradaisi dan lateks pekat yang diproduksi Mei 2001 dan Desember 2002 ⁽²¹⁾

Parameter uji	Lateks alam iradaisi		Lateks pekat		SNI
	Mei 2001	Des 2002	Mei 2001	Des 2002	
LATEKS					
1. Kadar karet kering (KKK), %	60,0	60,59	60,0	60,0	60,0 *
2. Kadar jumlah padatan (KJP), %	61,5	61,82	61,5	60,5	60,5*
3. KJP – KKK, %	1,5	1,23	1,5	1,5	2 *
4. Kadar amonia, % berat karet	1,9	0,83	0,6	0,7	0,6 *
5. Bilangan VFA (Volatile Fatty Acid = asam lemak eteris)	0,04	0,0223	0,04	0,02	0,2**
6. Bilangan MST (Mechanical Stability Time = Waktu kestabilan mekanik)	1800	1000	900	700	650 *
7. pH	10,51	10,04	10,10	10,12	-
8. Kadar Mg ²⁺ , %	0,0018	0,0147	0,05	0,05	0,08 **
9. Bilangan KOH, %	0,835	0,60	0,61	0,66	0,80 **
10. Kekentalan, cP	139	355	90	95	-
Film Kartet					
1. Modulus 600 %, Mpa	2,1	1,7	3 - 5 ^{vb}	3 - 5 ^{vb}	-
2. Tegangan putus, Mpa	24 - 26	22 - 26	26 - 30 _{vb}	26 - 30 _{vb}	-
3. Perpanjangan putus, %	900	960	800 30 _{vb}	800 30 _{vb}	-
4. Kadar protein total, %	0,080	0,091	0,29	0,30	-
5. Kadar protein terekstrak, µg/g	< 100	< 100	1000	1000	-
6. Kadar lemak, %	3,67	3,78	2000	2000	-
7. Kadar karbohidrat, %	0,027	0,033	6,31 0,041	7,01 0,039	-

- Nilai minimum, ** nilai maksimum, - tidak dipersyaratkan, vb = vulkanisasi belerang

TEKNIK POLIMERISASI RADIASI

Polimer adalah makromolekul yang tersusun oleh molekul-molekul kecil atau monomer yang terikat secara kimia. Proses pengikatan monomer-monomer menjadi polimer secara kimia disebut polimerisasi. Teknik polimerisasi radiasi adalah suatu teknik modifikasi bahan/polimer dengan menggunakan radiasi sinar gamma atau berkas elektron untuk mendapatkan bahan baru dengan sifat yang dikehendaki.⁽²²⁾ Teknik radiasi dilakukan untuk menyelesaikan masalah yang tidak bisa atau kurang efisien dilakukan dengan proses kimia serta untuk memperbaiki dan meningkatkan kualitas bahan polimer. Beberapa jenis polimer yang dapat dimodifikasi antara lain tekstil, kayu, karet dan plastik.

Keuntungan teknik polimerisasi radiasi antara lain :

1. Hasil proses bersih, karena tidak mengandung residu dari bahan kimia seperti katalisator.
2. Proses dapat dilakukan pada suhu kamar, dan mudah dikontrol.
3. Mempunyai kedapatulangan yang relatif tinggi.

Sedangkan kerugiannya adalah bahwa polimerisasi radiasi tidak dapat digunakan secara umum terhadap proses-proses polimerisasi. Beberapa hasil teknik polimerisasi radiasi dijelaskan sebagai berikut.

A. **Vulkanisasi Lateks Karet Alam Iradiasi (*Radiation Vulcanized Natural Rubber Latex/ RVNRL*)**

Proses vulkanisasi lateks karet alam iradiasi dilakukan dengan penyinaran lateks karet alam dengan berkas elektron. Produk lateks karet alam iradiasi ini tidak bersifat radioaktif dan aman untuk dipakai. Yang menarik adalah prosesnya sederhana, tidak diperlukan bahan vulkanisat seperti belerang, zinc oksida dan bahan pemercepat lain sehingga mendukung produk yang ramah lingkungan. Dari percobaan untuk industri rumah tangga dan skala yang lebih besar diperoleh hasil bahwa lateks karet alam iradiasi mempunyai prospek yang cerah khususnya untuk produk-produk industri,

seperti sarung tangan, dot bayi, kateter, kondom, dan lain-lain sesuai dengan teknik dan standar yang telah mapan.

Sifat-sifat fisika mekanik dari lateks karet alam akan berubah dengan terbentuknya ikatan silang, sebagai contoh bertambahnya ketahanan terhadap bahan pelarut (*solvent*), meningkatkan kekuatan regangan dan kekerasan, berkurangnya tingkat kemuluran dan tahan terhadap panas (deformasi termal)^(1,23) .

Proses vulkanisasi lateks karet alam iradiasi terdiri dari beberapa 6 langkah, yaitu (1) :

1. Pemilihan lateks karet alam

Pemilihan lateks karet alam adalah salah satu tahap terpenting untuk mendapatkan produk kualitas tinggi dari RVNRL. Persyaratan utama dari lateks karet alam adalah tidak menyebabkan bahaya pada kesehatan.

2. Perlakuan awal

Lateks kebun cenderung cepat menggumpal dan bereaksi dengan bakteri sehingga menimbulkan bau. Untuk itu, perlakuan awal terhadap lateks karet alam hasil penyadapan dari pohon karet (*Havea brasiliensis*) sebelum dilakukan iradiasi adalah dengan penambahan bahan anti koagulan amonia sebanyak 1–5 % sehingga tidak terjadi penggumpalan awal.

3. Stabilisasi dengan Kalium Hidroksida (KOH)

Kalium Hidroksida (KOH) merupakan bahan pemantap agar tidak terjadi penggumpalan awal (prakoagulasi) pada lateks kebun pada saat ditambah emulsi normal Butyl Akrilat (nBA). KOH diasumsikan memodifikasi permukaan dari partikel karet alam dengan cara reaksi antara KOH dengan absorben bukan karet. Kandungan KOH yang wajib ditambahkan untuk menstabilkan lateks tergantung pada jenis lateks. Dalam praktek, KOH sebanyak 0,2 psk sudah cukup untuk penambahan 5 psk nBA.

4. Penambahan normal butyl akrilat (nBA)

Normal butyl akrilat (nBA) yang dirumuskan dengan $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOC}_4\text{H}_8$ merupakan bahan pemeka pada proses vulkanisasi lateks karet alam iradiasi yaitu bahan yang

dapat menurunkan dosis radiasi vulkanisasi karena memiliki radikal bebas lebih banyak daripada karet alam.

5. Iradiasi

Iradiasi bahan dilakukan menggunakan berkas elektron. Teknik iradiasinya dapat dilakukan dengan sistem *batch* atau kontinyu. Pada sistem *batch*, bahan yang diiradiasi dalam kondisi diam atau dalam suatu wadah yang diam. Dosis serap yang diterima bahan bisa diatur dengan mengatur lamanya iradiasi. Sedangkan pada sistem kontinyu/sinambung, bahan dibawa menggunakan konveyor atau bahan langsung bergerak atau dialirkan ke bagian iradiasi.

6. Perlakuan akhir

Perlakuan akhir meliputi evaluasi sifat lateks dan film karet, sehingga diketahui kualitas lateks iradiasi. Uji kualitas yang dilakukan antara lain : kadar jumlah padatan, kadar karet kering, kadar KOH, kekentalan, kestabilan mekanik, pH, sifat film karet (modulus, tegangan putus, perpanjangan putus, kekerasan), dan uji kimia (nitrosamin dan protein alergen)

B. **Perekat Kopolimer Lateks Karet Alam**

Teknik pembuatan perekat kopolimer lateks karet alam saat ini telah dikuasai dan siap untuk diaplikasikan ke industri. Metoda pembuatannya adalah sebagai berikut : getah dari pohon karet dicampur dengan monomer (bahan plastik) pada perbandingan tertentu, kemudian diiradiasi dengan sinar gamma atau berkas elektron dengan dosis antara 5 kGy sampai dengan 30 kGy, maka akan terbentuk kopolimer karet alam yang jika ditambah sedikit bahan pelengket akan menjadi perekat ⁽²²⁾ . Perekat yang dihasilkan ini secara langsung dapat dipergunakan untuk perekat pada pembuatan panel kayu (misal kayu lapis, kayu sambung dan papan partikel dari serbuk gergaji atau tongkol jagung). Disamping itu juga bisa dipergunakan untuk pembuatan berbagai macam papan serat (seperti papan sabut kelapa) serta bisa digunakan sebagai perekat sepatu, tas kain, kulit dan sebagainya.

Keunggulan dari perekat ini adalah tidak beracun, tidak mengandung bahan penyebab kanker, tidak mencemari lingkungan, dan dapat disimpan dalam jangka waktu yang lama. Oleh karena itu jenis perekat ini dapat diaplikasikan baik untuk industri besar maupun industri rumah tangga.

FASILITAS IRADIATOR

Salah satu fasilitas litbang yang terdapat di BATAN adalah iradiator. Iradiator merupakan suatu fasilitas untuk melakukan iradiasi berbagai macam sampel, baik benda hidup maupun benda mati untuk tujuan penelitian, pengembangan, pengawetan, dan sterilisasi. Oleh karena itu, iradiator disebut pula sebagai fasilitas iradiasi.

BATAN telah memanfaatkan iradiator untuk penelitian sejak tahun 1968. Sedangkan mesin berkas elektron mulai dioperasikan pada tahun 1983.



Gambar 5 . Iradiator ⁽²⁴⁾

Pada awalnya irradiator digunakan untuk pemuliaan padi dengan tujuan terjadinya mutasi genetik yang menguntungkan, yang selanjutnya dimanfaatkan untuk baik dalam skala laboratorium maupun skala pilot untuk berbagai proses iradiasi seperti

polimerisasi, grafting, mutasi tanaman, sterilisasi/pengawetan bahan, pelapisan permukaan bahan pengawetan dan sterilisasi bahan produk industri, telah dilakukan pada awal tahun 2000.

A. Iradiasi Sinar Gamma ^{60}Co

Sinar Gamma termasuk gelombang elektromagnetik yang diperoleh dari peluruhan zat radioaktif yang dipancarkan dari atom dengan kecepatan tinggi, karena adanya kelebihan energi. Radioaktivitasnya tidak terpengaruh oleh suhu, kelembaban, tekanan dan lain-lain tetapi terpengaruhi oleh keadaan inti-inti isotopnya. Radiasi sinar Gamma dapat dipancarkan oleh Cobalt-60 dan Cesium-137. Iradiasi adalah sinar radiasi yang apabila mengenai bahan akan menyebabkan terjadinya penyerapan energi di dalam bahan tersebut dengan melalui berbagai macam proses atau interaksi. Jumlah energi radiasi yang diabsorpsi oleh suatu bahan tersebut

dinyatakan dalam besaran dosis. Dosis serap (D) didefinisikan sebagai rata-rata energi yang diserap bahan per satuan massa bahan tersebut. Satuan yang digunakan saat ini adalah Gray (Gy)

dimana $1 \text{ Gray (Gy)} = 1 \text{ Joule/kg}$ sehingga diperoleh hubungan bahwa $1 \text{ Gray (Gy)} = 100 \text{ rad}$.



Gammacell-220



Gamma Chamber-4000A

Gambar 6. Fasilitas Iradiator Gamma

Iraditor gamma Gamma Chamber-4000A memiliki ruang iradiasi 2 dm³, banyak digunakan untuk penelitian di bidang pertanian terutama pemuliaan tanaman untuk mendapatkan varietas baru yang unggul yang meliputi tanaman pangan, perkebunan, hortikultura, maupun tanaman hias. Gammacell-220 pada saat ini tidak dioperasikan sehubungan aktifitas sumber radiasi sudah sangat kecil dan fungsinya sudah digantikan oleh gamma chamber 4000A.

Iradiator gamma Irapasena digunakan untuk penelitian di bidang proses iradiasi dan bidang pertanian yang memiliki volume bahan penelitian yang lebih besar dari ruang iradiasi gamma-chamber. Tahun 2012 melalui kerja sama dengan ACIAR dan Departemen Pertanian, Irapasena telah dilengkapi dengan sistem konveyor yang didesain untuk kegiatan karantina buah-buahan dan diharapkan dapat dimanfaatkan secara lebih luas untuk berbagai produk pertanian. Irka yang di desain khusus untuk penelitian vulkanisasi karet alam, pada saat ini dimanfaatkan untuk proses iradiasi lainnya yang membutuhkan dosis relatif tinggi yaitu sterilisasi dan pasteurisasi untuk penelitian maupun introduksi/penerapan teknologi iradiasi gamma kepada masyarakat dalam skala pilot. Beberapa jenis produk peralatan kesehatan, bahan farmasi, herbal, dan rempah-rempah telah memanfaatkan iradiasi di Irka sebagai salah satu bagian dari proses produksi.



Panel Kendali Iradiator Panorama Serbaguna (IRPASENA)



Panel Kendali Iradiator Karet Alam (IRKA)

Gambar 7. Panel Kendali Iradiator Gamma

B. Mesin Berkas Elektron

Mesin Berkas Elektron (MBE) atau *Electron Beam Machine* merupakan perangkat sumber elektron berenergi tinggi yang digunakan untuk mengolah bahan plastik atau polimer. Sesuai dengan perkembangan teknologi MBE mengikuti kebutuhan industri yaitu penggunaan proses iradiasi bahan yang relative tebal atau untuk menghasilkan sinar-X. Penggunaan MBE yang berenergi tinggi ini dijadikan sebagai pengganti proses radiasi selama ini yang hanya mungkin dilakukan dengan menggunakan sinar Gamma yang dihasilkan oleh isotop radioaktif ^{60}Co , seperti misalnya sterilisasi alat kedokteran atau proses radiasi pengawetan makanan . Bahan yang diradiasi dengan MBE bebas dari radioaktivitas karena interaksi berkas elektron dengan bahan yang diradiasi hanya akan menyebabkan penyusunan ulang elektron terluar dari atom atau molekul bahan. Dengan kata lain proses radiasi tersebut hanya akan menimbulkan reaksi kimia dan bukan reaksi inti sehingga tidak akan ada proses transmudasi inti dan dengan demikian tidak akan ada radioaktivitas (Anonim, 1990). Menurut Kume (2005), daya penetrasi iradiasi Sinar Gamma ^{60}Co terhadap bahan pembawa lebih tinggi jika dibandingkan dengan MBE. Sudah dibuktikan bahwa penurunan bakteri dan fungi akibat radiasi Sinar Gamma lebih besar dibandingkan dengan penurunan bakteri dan fungi akibat radiasi MBE

FASILITAS IRADIATOR MESIN BERKAS ELEKTRON

Mesin berkas elektron MBE GJ-2 memiliki energi medium (2 Mev) digunakan untuk penelitian proses iradiasi, antara lain : ikatan silang (crosslinking), grafting, sterilisasi, pasteurisasi, dan degradasi bahan.

Mesin berkas elektron energi rendah (300 Kev) dapat dimanfaatkan untuk penelitian pelapisan permukaan kayu agar tahan terhadap zat kimia atau goresan dan penampilan bahan supaya lebih baik, pada saat tidak dalam kondisi operasi dan perlu revitalisasi



Panel Kendali MBE GJ-2



Panel Kendali MBE EPS-300

Gambar 8. Panel Kendali Iradiator MBE

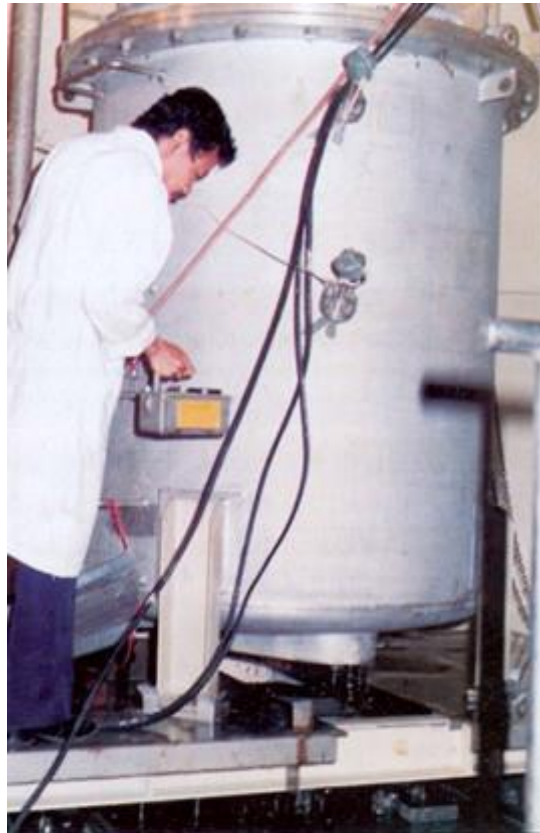


Gambar 9. Mesin Berkas Elektron di PSTA-BATAN Yogyakarta ⁽²⁾

PENGOLAHAN LATEKS ALAM IRADIASI ⁽²⁵⁾

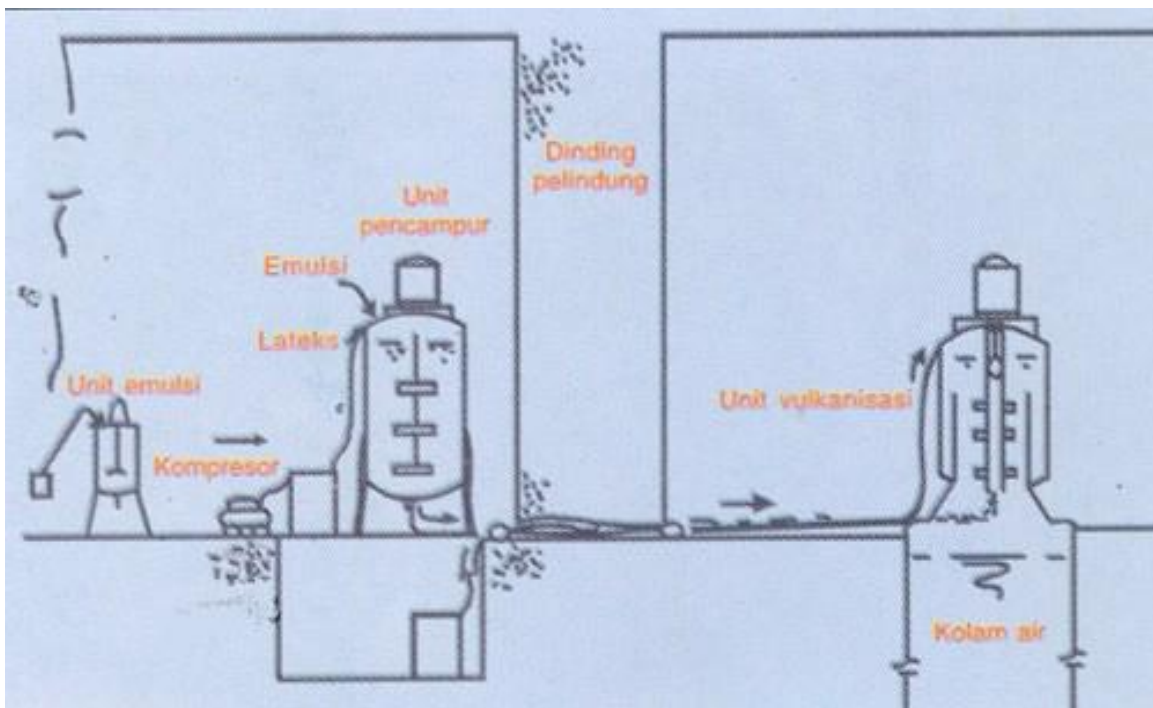
Lateks karet iradiasi atau lateks alam pekat pra-vulkanisasi adalah lateks alam yang divulkanisasi dengan menggunakan teknologi nuklir, dan langsung dapat digunakan untuk membuat barang karet seperti sarung tangan, balon, topeng, bola, produk dekorasi panggung/film, kondom, dll. Proses vulkanisasi radiasi lateks alam disajikan pada gambar 10. diagram alir proses vulkanisasi belerang lateks alam dapat di lihat di Gambar 11. Pengolahan lateks alam iradiasi artinya cara membuat lateks

alam/getah pohon karet dengan menggunakan sinar gamma ^{60}Co atau berkas elektron sebagai sumber energi. Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR)-BATAN sejak tahun 1974 melakukan penelitian tentang vulkanisasi lateks alam iradiasi. Dengan sumber radiasi berkapasitas sekitar 6.000 Curie, yang mampu meradiasi 2 liter setiap 17 jam. Pada tahun 1979 didirikan Iradiator Panoramic Serba Guna (Irpasena) dengan kapasitas sebesar 80.000 Curie dan mampu menghasilkan lateks alam iradiasi 400 kg setiap 30 jam. Hasil penelitian PAIR BATAN tersebut mampu memecahkan masalah dalam industri karet. Karena di samping teknik radiasi lebih hemat bahan kimia, energi dan waktu, juga lateks yang dihasilkan bebas nitrosamin dan rendah protein. Vulkanisasi lateks alam dengan radiasi hanya menggunakan dua macam bahan kimia, tidak perlu diperam dan dipanaskan, langsung dapat diproses menjadi produk industri karet yang dikehendaki .



Gambar 10. Proses vulkanisasi radiasi lateks alam⁽²⁵⁾

Sejak awal tahun 1982 pembuatan barang industri dari lateks alam iradiasi ini mulai dikembangkan kepada para pengrajin di Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta dan Bandung. Barang industri karet yang diproduksi antara lain berupa sarung tangan, balon, topeng, benang karet yang mutunya cukup baik . Penelitian ini berkembang pesat dengan didirikannya iradiator lateks alam yang diresmikan pada tanggal 8 Desember 1983. Iradiator lateks ini menggunakan sumber radiasi ^{60}Co berkapasitas 225.000 Curie dan dapat meradiasi lateks alam sebanyak 1.500 ton setahun (1.500 kg setiap 20 jam).



Gambar 11. Polimerisasi (Vulkanisasi) Lateks Karet Alam Secara Iradiasi⁽²⁵⁾

SIFAT LATEKS ALAM IRADIASI

Secara visual antara lateks alam proses belerang dengan lateks alam iradiasi tidak dapat dibedakan, baik warna, bau maupun bentuknya sama, yaitu berupa cairan berwarna putih susu atau berbau amonia . Perbedaannya tampak bila dilihat dengan "Scanning Electron Microscope", yaitu diameter rata-rata partikel karet lateks alam iradiasi lebih kecil dari pada karet lateks alam non iradiasi. Juga terlihat pada film hasil

uji fisik dan mekaniknya, yaitu modulus dan tegangan putus film karet latek alam iradiasi lebih kuat, ulet dan elastis dari pada karet lateks alam non radiasi ⁽²⁵⁾ .

TEKNOLOGI LATEKS ALAM IRADIASI

Teknologi Lateks Alam Iradiasi adalah suatu teknologi bagaimana cara membuat/memproduksi barang-barang karet dari lateks alam iradiasi. Saat ini ada lima cara membuat barang-barang karet dari lateks alam iradiasi, yaitu dengan cara celup, cara tuang, cara semprot, cara pelapisan dan dengan cara pembusaan ⁽²⁵⁾ . Secara rinci adalah sebagai berikut :

1. **Pembuatan barang karet dengan cara celup.** Cetakan dimasukkan ke dalam lateks alam iradiasi, kemudian lateks yang menempel pada cetakan dikeringkan, selanjutnya dilepas dari cetakannya. Barang-barang karet yang dihasilkan dengan cara celup ini mempunyai ketebalan di bawah 0,5 mm. Barang karet tersebut adalah sarung tangan, balon, kondom, dll.
2. **Pembuatan barang karet dengan cara tuang.** Lateks alam iradiasi dituangkan ke dalam cetakan, kemudian setelah lateks yang melekat pada cetakan kering, dilepas. Barang-barang karet yang dihasilkan dengan cara tuang ini mempunyai ketebalan di atas 0,5 mm, misalnya topeng, perlak bayi.
3. **Pembuatan barang karet dengan cara semprot.** Lateks alam iradiasi disemprotkan melalui lubang kecil, kemudian lateks yang keluar dari lubang kecil tersebut digumpalkan, dicuci dan dikeringkan. Cara ini hanya bisa dikerjakan oleh industri menengah atau besar, karena biasanya menggunakan peralatan yang serba otomatis. Barang karet yang dihasilkan berupa benang karet.
4. **Proses pelapisan dengan lateks alam iradiasi.** Ada dua cara yang dapat dilakukan untuk melapisi suatu benda, yaitu dengan cara mengulaskan lateks alam iradiasi. Dan yang lain dengan cara menyemprotkan lateks ke permukaan benda. Cara pertama dapat dilakukan di industri tekstil, yaitu pelapisan kain.
5. **Pembuatan barang karet dengan cara pembusaan.** Lateks alam iradiasi diberi bahan pembusa kemudian diaduk sampai lateks tersebut berbentuk busa, lalu

dalam keadaan berbusa lateks digumpalkan. Barang karet yang dihasilkan adalah karet busa.

Teknologi lateks alam iradiasi ini telah diuji coba oleh pengrajin di beberapa daerah, baik dalam skala industri rumah tangga maupun skala pabrik (Tabel 3).

Tabel 3 : Beberapa daerah yang telah mengembangkan industri rumah tangga dan uji coba pabrik produk karet dari bahan baku lateks alam iradiasi

LOKASI	JENIS PRODUK YANG DIHASILKAN	KETERANGAN
DKI Jakarta	Sarung tangan, sarung jari, dekorasi panggung/perfilman, karet busa, benang karet	Skala industri rumah tangga dan uji coba pabrik
Kab. Bogor	Balon dan sarung tangan	Industri rumah tangga
Kab. Bekasi	Balon, sarung tangan dan benang karet	Industri rumah tangga dan uji pabrik
Kab. Tangerang	Sarung tangan	Industri rumah tangga
Kab. Cianjur	Sarung tangan dan sarung jari	Industri rumah tangga
Padalarang	Karet untuk tensimeter	Uji coba pabrik
Bandung	Kondom dan perekat	Uji coba pabrik
Semarang	Balon udara	Industri rumah tangga
Surabaya	Balon, sarung tangan dan dot bayi	Industri rumah tangga



Gambar 12 : Lateks Alam Iradiasi untuk Industri Rumah Tangga

Pembuatan produk celup karet dari lateks alam iradiasi yang dikerjakan oleh industri rumah tangga di beberapa daerah (Tabel 3) dapat menghasilkan rerata 50 pasang sarung tangan per hari/orang. Produk industri karet tersebut cukup baik kualitasnya dan memenuhi standar, sehingga dapat dikembangkan sebagai salah satu produk ekspor



1. Aduklah lateks alam iradiasi atau bahan penggumpal pelan-pelan sebelum proses pencelupan
2. Celupkan cetakan sarung tangan dalam bahan penggumpal, selama 15 detik, angkat dan balikkan cetakan tersebut, kemudian celupkan lagi ke dalam lateks alam iradiasi balikan dan ulangi dicelupkan ke dalam latek alam iradiasi.
3. Kemudian letakkan cetakan lateks alam iradiasi tersebut dilantai dan biarkan hingga kering sendiri.
4. Setelah kering dilepaskan sarung tangan dari cetakan.
5. Rendam sarung tangan tersebut ke dalam air bersih 17 jam atau direbus selama 1 jam, kemudian cucilah sampai bersih.
6. Jemur sarung tangan sampai kering dan kemaslah dalam kantung plastik, selanjutnya siap dipasarkan.

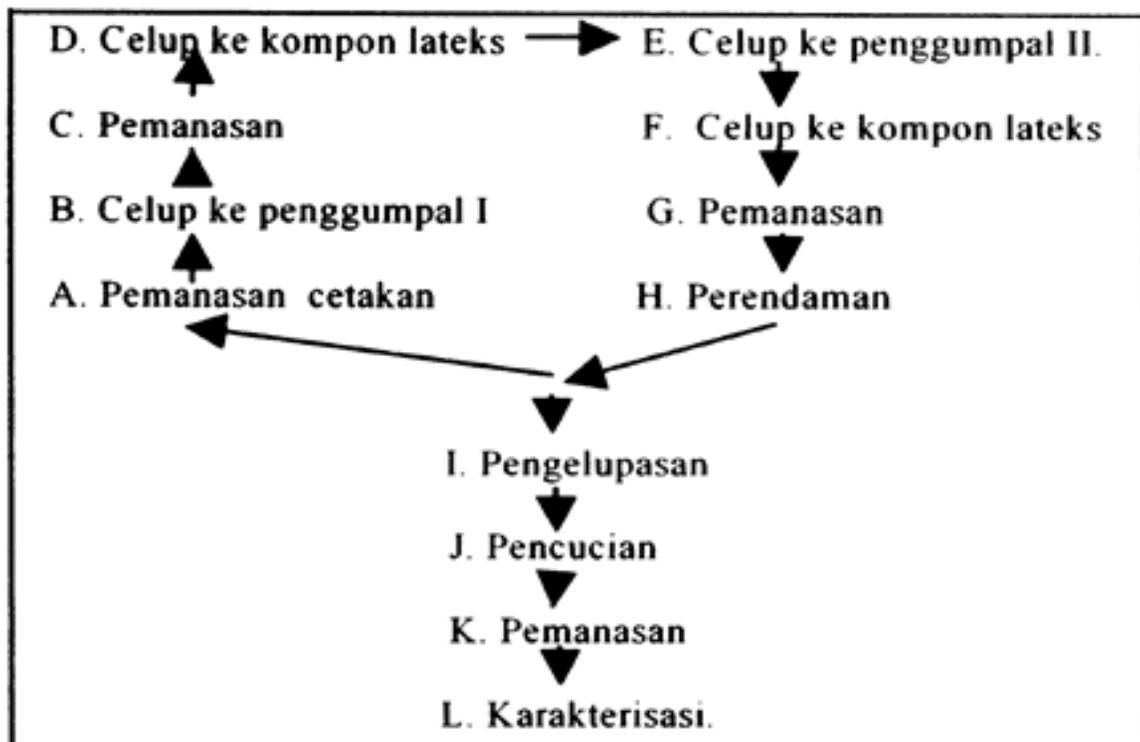
Gambar 13. Cara Pembuatan Sarung tangan Karet dari Lateks Alam Iradiasi ⁽²⁶⁾

Keuntungan Pengolahan dan Teknologi Lateks Alam Iradiasi.

Dari hasil penelitian (skala laboratorium, skala pabrik dan uji coba pada industri rumah tangga), keunggulan dalam pengolahan dan teknologi lateks alam iradiasi adalah:

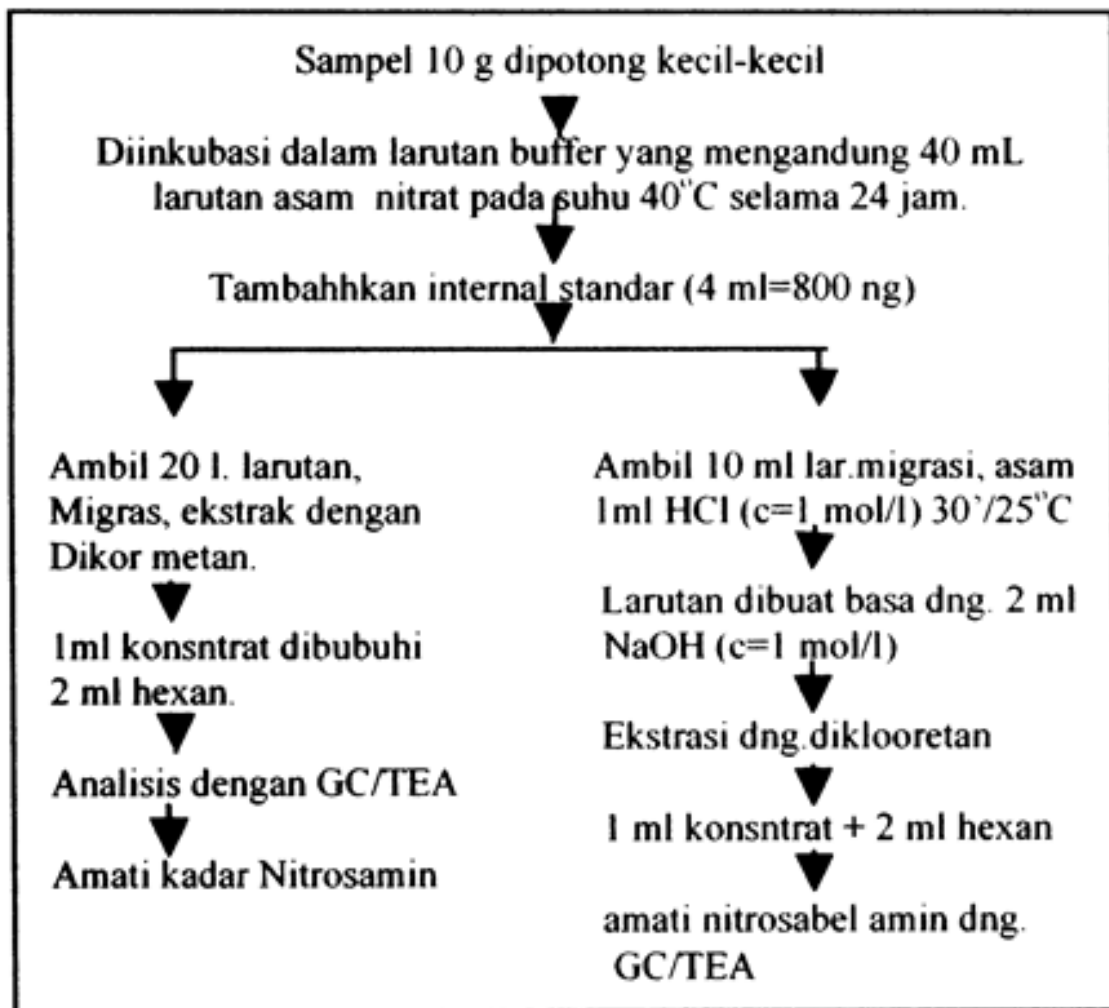
1. Hemat bahan kimia (hanya memerlukan 2 macam bahan kimia, hemat energi panas, dan hemat waktu serta dapat disimpan dalam waktu 6 bulan lebih (lateks alam vulkanisasi belerang hanya dapat disimpan sekitar 3 minggu).
2. Tidak mengandung bahan karsinogen (penyebab penyakit kanker), tidak beracun (toxic), tidak mengandung protein alergen (penyebab alergi pada tubuh manusia), prosuk karet tidak berbau tajam dan lebih elastis.
3. Lebih mudah didegradasi oleh alam, karena energi aktivitasnya lebih rendah, sehingga produk karet dari lateks alam iradiasi tidak mencemari dan akrab dengan lingkungan.

Produksi Karet Untuk Tensimeter ⁽²⁴⁾



Gambar 14. Diagram alir produksi *bladder*, bola dan selang untuk mTensimeter

Cara kerja produksi karet untuk Tensimeter (Gambar 14) yaitu: cetakan bladder, bola atau selang dari logam campuran, setelah dicuci, dikeringkan (A), dicelupkan ke bahan penggumpal I (B), dikeringkan (C), dicelupkan ke kompon lateks (D), dicelupkan lagi ke penggumpal II (E), dan dicelupkan ke kompon lateks (F) sampai ketebalan tertentu. Setelah tebal film karet sesuai dengan yang diinginkan, kemudian dikeringkan (G). Setelah kering direndam dalam air (H), dikupas (I) dan dicuci dengan air dingin, atau larutan KOH 0,5% atau larutan amonia 0,5% (J), Dikeringkan pada suhu 90°C selama 8 jam. Setelah pengeringan, karet dikondisikan dan dilakukan karakterisasi (L).



Gambar 15. Penentuan nitrosamin dalam barang jadi karet alam (bladder, bola atau selang)⁽²⁴⁾

HASIL KARAKTERISASI PRODUK KARET VULKANISASI IRADIASI

Pada Gambar 16 ditunjukkan sampel lateks sebelum dan sesudah iradiasi. Dari gambar terlihat bahwa film karet yang dihasilkan berupa lembaran tipis bening dan transparan. Film karet sesudah iradiasi juga **lebih lentur** daripada film karet sebelum iradiasi. Namun, film karet yang dihasilkan masih sedikit lengket. Kelengketan film karet dari lateks alam iradiasi kemungkinan disebabkan terjadinya oksidasi ketika mengiradiasi atau ikatan rangkap poliisoprena karet tidak seluruhnya mengadakan ikatan silang. Sebenarnya untuk membantu terjadinya ikatan silang pada poliisoprena dapat ditambahkan normal Butyl Akrilat (nBA). Selain berfungsi sebagai bahan **pemeka** yang dapat menurunkan kebutuhan dosis iradiasi pada vulkanisasi, nBA juga dapat membantu meningkatkan kecepatan reaksi ikatan silang dan meningkatkan kecepatan pembentukan ikatan silang antara rantai poliisoprena.



a. Sebelum iradiasi



b. Sesudah iradiasi

Gambar 16. Sampel lateks sebelum iradiasi (a) dan sesudah iradiasi (b)

Film karet ini selanjutnya dilakukan pengujian awal dengan melakukan uji *Permanent Set* (PS). Uji PS bertujuan untuk mengetahui bahwa film karet telah **terjadi ikatan silang**. Nilai PS yang baik untuk vulkanisasi radiasi adalah sekitar **10-15 %**. Dari perhitungan yang telah dilakukan, nilai PS untuk film karet dari lateks alam iradiasi yang dihasilkan adalah sebesar 14 %, sehingga dapat dikatakan bahwa film karet yang dihasilkan sudah cukup baik untuk vulkanisasi radiasi karena masuk dalam *range* PS, yaitu antara 10-15 %⁽²⁸⁾.

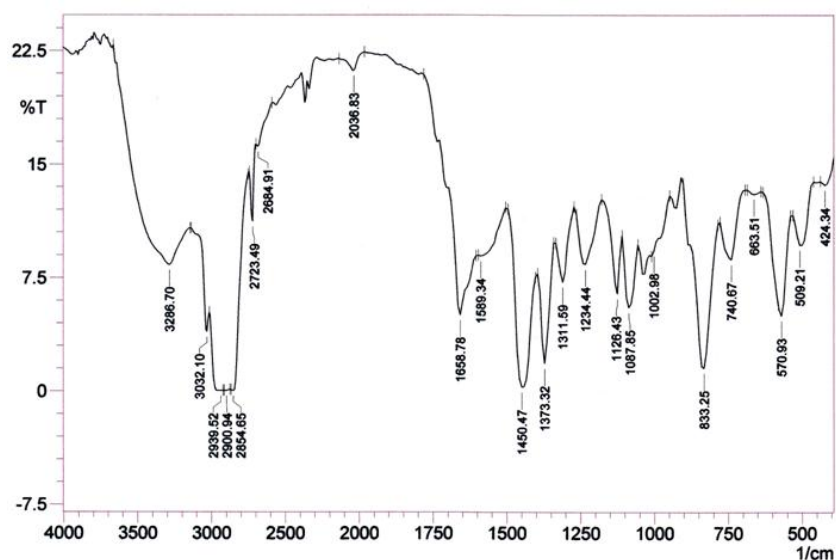
Jika dilakukan proses vulkanisasi, proses pembentukan polimer yang terkandung dalam karet untuk saling bertautan satu sama lain (*cross-linking*), maka *cross-linking* yang terjadi antar rantai polimer itu akan membuat polimer panjang yang saling terikat sehingga tidak mudah bergeser dari tempatnya. Itulah sebabnya ketika dikenakan tekanan/*stress*, karet yang sudah dilakukan vulkanisasi akan mudah berubah bentuk, tetapi ketika *stress* dilepas, kembali ke bentuk semula (bersifat lentur). Tanpa proses vulkanisasi/*cross-linking*, karet alam tidak akan memberikan sifat elastis dan tidak stabil terhadap suhu.

Struktur lateks karet alam iradiasi dapat dievaluasi menggunakan spektrofotometer inframerah, massa molar, atau spektrum resonansi magnet. Dengan menggunakan spektrometer inframerah ini, akan terlihat jelas spektra inframerah dari karet alam iradiasi dengan tambahan bahan pemeka nBA sebanyak 5 psk terjadi pada 1730 cm^{-1} ⁽²⁷⁾ . Dari hasil spektrum pita serapan infra merah FTIR pada film karet sebelum iradiasi dan sesudah iradiasi terlihat jelas adanya pengaruh penggunaan nBA dengan terlihatnya intensitas transmisi spektrum dari lateks karet alam iradiasi dengan nBA, yaitu gugus fungsional C=O pada bilangan gelombang (λ) : $1735,93\text{ cm}^{-1}$.

Pada Gambar 19 ditunjukkan spektrum pita serapan infra merah FTIR pada film karet sebelum iradiasi. Daerah antara $1400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$, bagian kiri spektrum infra merah, merupakan daerah yang khusus berguna untuk identifikasi gugus-gugus fungsional. Daerah ini menunjukkan absorpsi yang disebabkan oleh modus uluran. Sedangkan daerah di kanan 1400 cm^{-1} seringkali sangat rumit karena baik modus uluran maupun modus tekukan mengakibatkan absorpsi di daerah tersebut. Dalam daerah ini biasanya korelasi antara suatu pita dan suatu gugus fungsional spesifik tidak dapat ditarik dengan cermat. Oleh karena itu bagian spektrum ini disebut daerah sidik jari (*fingerprint region*). Untuk spektrum infra merah pada film lateks biasanya dapat dilihat pada daerah sekitar $1600\text{-}1800\text{ cm}^{-1}$ ⁽²⁸⁾ .

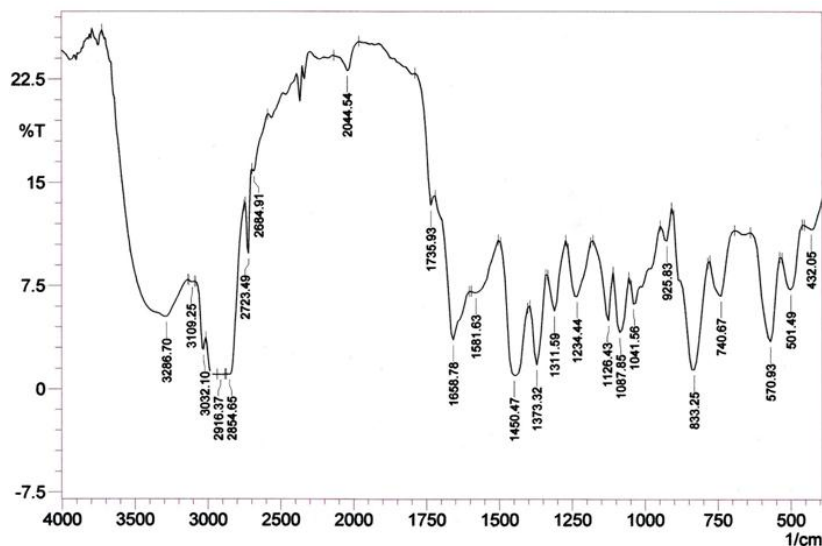
Pada Gambar 17 terlihat bahwa spektrum pita serapan pada film karet terdiri dari pita serapan rentangan vibrasi ikatan C-H dari CH_3 terlihat pada kira-kira $2600\text{-}3300\text{ cm}^{-1}$. Puncak-puncak uluran C-H seringkali berguna dalam menetapkan hibridisasi atom

karbon. Rentangan vibrasi ikatan C-C terjadi antara $1000\text{--}1233\text{ cm}^{-1}$ dan rentangan vibrasi gugus ikatan C=C terjadi pada $1589,34\text{ cm}^{-1}$ dan $1658,78\text{ cm}^{-1}$. Ikatan antar karbon sp^2 (C=C) seringkali menunjukkan absorpsi karakteristik (kuatnya beranekaragam) sekitar $1600\text{--}1800\text{ cm}^{-1}$ ⁽¹⁾. Ikatan karbon-karbon ini menunjukkan resapan pada frekuensi sedikit lebih rendah (lebih ke kanan dalam spektrum itu). Dari gambar spektrum pita serapan tersebut juga dapat dilihat bahwa gugus fungsional C=O dari nBA belum terlihat pada bilangan gelombang sekitar 1730 cm^{-1} .



Gambar 17. Spektrum pita serapan spektroskopis FTIR film karet sebelum iradiasi

Pada Gambar 18 ditunjukkan spektrum pita serapan FTIR film karet sesudah iradiasi. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pita serapan pada film karet terdiri dari rentangan vibrasi gugus fungsional C-C terjadi pada $740,67\text{--}1311,59\text{ cm}^{-1}$, gugus fungsional C-H terjadi pada $2044,54\text{--}3286,7\text{ cm}^{-1}$ dan rentang vibrasi ikatan C=C terjadi pada $1581,63\text{--}1658,78\text{ cm}^{-1}$. Vibrasi gugus fungsional C-H juga terlihat pada $432,05\text{--}570,93\text{ cm}^{-1}$ dan gugus fungsional C=O dari nBA dapat terlihat pada bilangan gelombang $1735,93\text{ cm}^{-1}$. Dapat dilihat pada Gambar 20 bahwa pengaruh iradiasi berkas elektron pada film karet adalah terjadinya penurunan intensitas absorpsi gugus fungsional C-C, C-H, dan C=C .

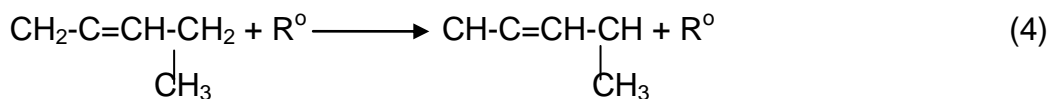
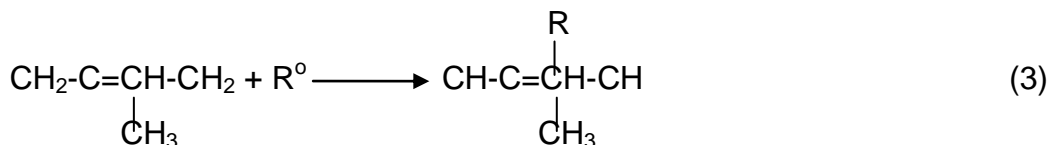
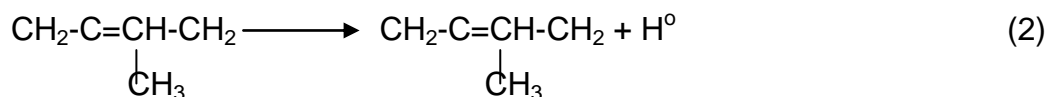


Gambar 18. Spektrum pita serapan spektroskopis FTIR film karet sesudah iradiasi ⁽²⁸⁾

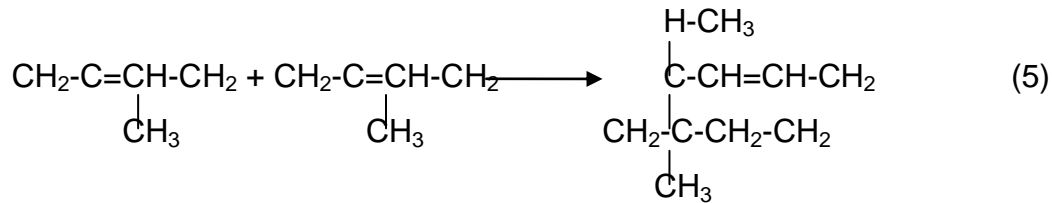
Intensitas absorbansi pada ikatan C-C yang terjadi pada 740,67–1234,44 cm^{-1} sebesar 1,421–10,78 %T, gugus fungsional C-H yang terjadi pada 2044,54–3286,7 cm^{-1} sebesar 1.045–23,104 %T dan C=C yang terjadi pada 1581,63–1735,93 cm^{-1} sebesar 6,986 %T, 3,573 %T, 13,343 %T.

Dari data analisis spektrum diatas, dapat diasumsikan bahwa reaksi pembentukan film karet berikatan silang pada gugus fungsional C=C dengan iradiasi berkas elektron ⁽²⁵⁾ :

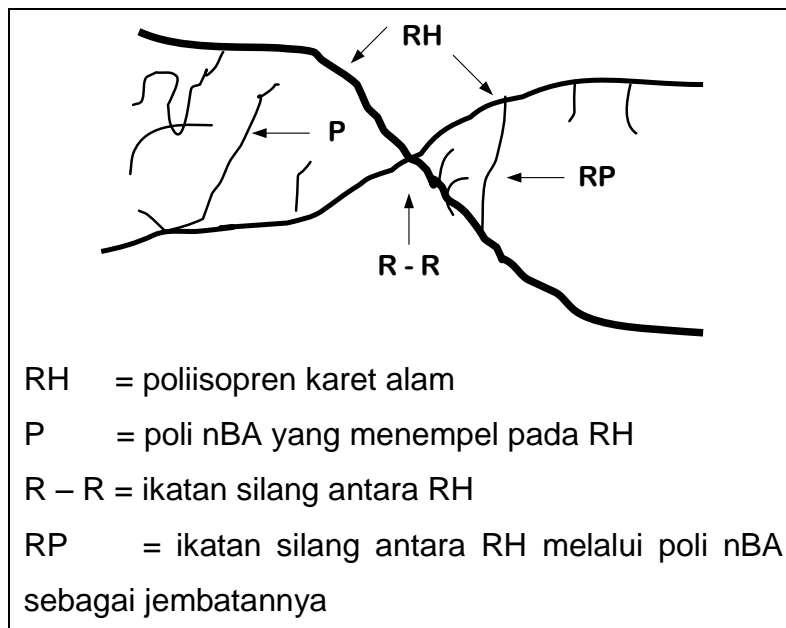
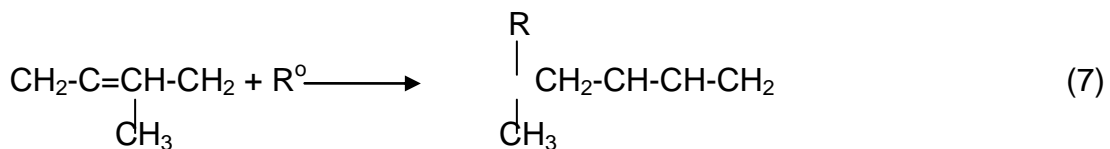
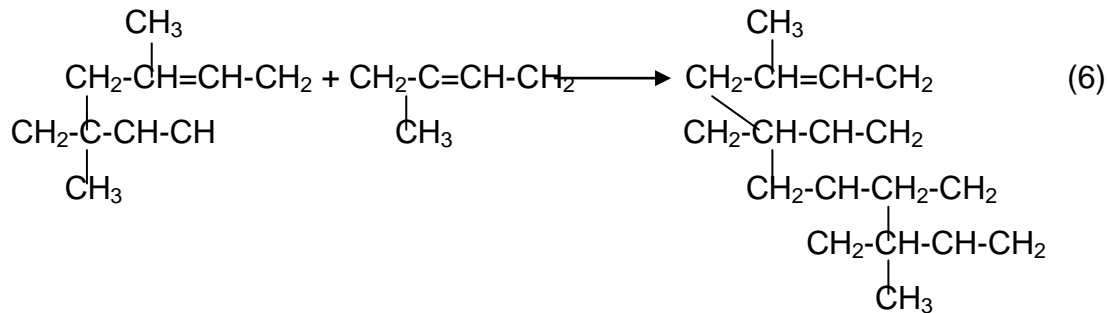
1. Inisiasi (pembentukan radikal)



2. Propagasi (pertumbuhan radikal)



3. Terminasi (pembentukan ikatan silang)



Gambar 19. Skema struktur nBA dalam partikel karet⁽²⁵⁾

Pada tahap pembentukan radikal bebas yang terdiri dari radikal poliisoprena, radikal monomer dan radikal-radikal bukan karet (radikal KOH, radikal nBA, radikal amonia, radikal air, protein, lemak, karbohidrat, dsb) terjadi apabila campuran lateks tersebut diiradiasi. Dimana R° merupakan radikal-radikal dari H° dan OH° . Radikal H° dan radikal OH° adalah spesies yang sangat aktif yang dapat menyebar ke bagian dalam partikel karet alam dan melakukan penambahan dengan ikatan rangkap unit isoprena membentuk makro-radikal. Reaksi selanjutnya merupakan kombinasi dari dua makro-radikal membentuk *cross-linking*.

Tabel 4. Pemakaian bahan kimia dan resiko toksitas, alergi dan karsinogenik dalam penyusunan Kompon lateks alam vulkanisasi radiasi dan vulkanisasi belerang ⁽²⁴⁾

Bahan Kimia	Kompon lateks belerang			Lateks alam iradiasi		
	Toksit	Aleri Tipe IV	Karsinogen	Toksit	Aleri Tipe IV	Karsinogen
Pengaktif						
• ZnO	+	+	-	0	0	0
Pemercepat						
• Thiouram/dithiocarbamat	++	++	++	0	0	0
• Mercapto benzothiazol	+	++	-	0	0	0
• Dibenzothiazol disulfide	++	++	++	0	0	0
Antioksidan						
• Senyawa fenol	+	+	-	-	-	-
• Senyawa Fenil diamine	++	++	++	0	0	0
Pemvulkanisasi						
• Belerang	+	+	-	0	0	0

+ beresiko rendah, ++ beresiko tinggi, - tidak beresiko, 0 tidak menggunakan bahan kimia

KUALITAS BARANG JADI KARET UNTUK TENSIMETER ⁽²⁴⁾

Secara visual penampilan barang jadi karet untuk tensimeter dari lateks alam iradiasi dan lateks alam atausintetis belerang relatif sama. Namun agar jangan terjadi kekeliruan antara ketiga barang jadi karet tersebut dibubuhi warna yang berbeda yaitu biru untuk barang jadi karet dari lateks alam iradiasi, hitam dari lateks alam vulkanisasi belerang dan merah dari lateks sintetis vulkanisasi belerang. Sifat fisik dan mekanik bola karet tensimeter disajikan Tabel 5, yang menunjukkan bahwa modulus 500%, kekerasan, dan berat jenis bola karet tensimeter dari lateks alam iradiasi lebih rendah daripada dari lateks alam atau lateks sintetis vulkanisasi belerang, sedangkan nilai perpanjangan putus relatif sama. Tegangan putus film karet bola tensimeter lateks alam iradiasi lebih tinggi daripada bola karet tensimeter lateks sintetis vulkanisasi belerang, tetapi lebih rendah dari lateks alam vulkanisasi belerang.

Lebih rendahnya modulus, kekerasan, dan berat jenis mencirikan bahwa bola karet tensimeter lebih nyaman dipakai, karena lebih lunak, dan lebih ringan, sedang lebih rendahnya daya rekat antara selang dengan *bladder* dikhawatirkan dapat mengurangi daya tahan terhadap tekanan udara selama tensimeter digunakan untuk mengukur tekanan darah arteri manusia. Namun setelah dilakukan uji fungsi tensimeter tersebut oleh beberapa para medis di beberapa tempat, ternyata daya tahan tekanan udara selama pemakaian tetap stabil, sehingga layak dipakai.

Menurut SNI 16-4415-1997 tentang Tensimeter, sifat fisik mekanik bola, *bladder*, dan selang karet tidak dipersyaratkan. Oleh karena persyaratan sifat fisik dan mekanik barang jadi karet untuk tensimeter dari lateks alam iradiasi relatif sama dengan barang jadi karet dari karet alam/sintetis yang divulkanisasi belerang, maka dapat dikatakan bahwa sifat fisik dan mekanik barang jadi karet dari lateks alam iradiasi untuk tensimeter sudah tidak bermasalah lagi.

Keunggulan barang jadi karet dari lateks alam iradiasi untuk tensimeter adalah bebas nitrosamin dan protein alergen, hal ini terbukti bahwa walaupun kadar protein terekstrak bola karet tensimeter dari lateks alam iradiasi adalah 661 mg/g, namun uji SPT (respons kulit terhadap protein alergi karet) dan nilai absorbansi Elisa dengan serum manusia peka protein alergen adalah nol atau negatif. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa masalah protein alergen dan nitrosamin. Pada barang jadi karet untuk tensimeter telah dapat diatasi.

Tabel 5. Sifat fisik mekanik bola karet tensimeter dari lateks alam iradiasi, lateks alam vulkanisasi belerang dan lateks alam vulkanisasi radiasi ⁽²⁴⁾

Parameter uji	Lateks alam vulkanisasi		Lateks sintesis vulkanisasi belerang
	radiasi	belerang	
Modulus 500 %, Mpa	1,4	3,3	2,5
Tegangan putus, MPa	22	36	19
Perpanjangan putus, %	1000	980	900
Daya rekat, kg/cm ²	1,57	2,02	4,04
Kadar nitrosamina, ppm	0	>50	*
Kadar total protein, %	0,34	0,34	0,29
Kadar protein terekstrak, mg/g	661	1250	*
Uji SPT (respon kulit), unit	0	0,2	*
Nilai absorbansi ELISA dengan serum manusia peka pada protein elergen, %	0	0,2	*
Kekerasan, shore A	29	40	47
Berat Jenis, g/cm ³	0,892	0,922	1,278

*belum diuji



Gambar 20. Tensimeter



Gambar 21 . Contoh kondom, sarung tangan, tensimeter

KESIMPULAN

1. Kondisi optimum metode vulkanisasi iradiasi lateks alam dengan MBE adalah Lateks alam ditambah dengan normal butyl akrilat (nBA) sebanyak 5 psk (per seratus bagian berat karet) dan kalium hidroksida sebanyak 0,2 psk, kemudian diiradiasi menggunakan MBE dengan dosis 40 kGy.
2. Kondisi optimum metode vulkanisasi iradiasi sinar gamma adalah lateks pekat divulkanisasi radiasi dengan sinar gamma ^{60}Co pada dosis 25 kGy, dan kadar normal butyl akrilat 3 psk, kemudian ditambah anti oksidan (senyawa fenol).
3. Kondisi optimum proses produksi barang jadi karet untuk tensimeter dari lateks alam iradiasi dalam skala pabrik, antara lain suhu dan waktu pemanasan adalah 90°C selama 8-12 jam. pencucian dengan larutan ammonia 0,5 % selama 30 menit dan direndam selama 24 jam.
4. Film karet hasil vulkanisasi iradiasi MBE mempunyai gugus fungsional C-H, C-C, C=C dan C=O. Nilai *permanent set* ikatan silang film karet sebesar 14 %.
5. Karet tensimeter memiliki modulus 500 % sebesar 1,4 MPa, tegangan putus 22 MPa, perpanjangan putus sebesar 1000 % , kekerasan sebesar 29 Shore A, kadar protein terekstrak : 661 mg/g . Produk karet dari vulkanisasi iradiasi lateks alam bebas nitrosamin dan protein alergen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Komisi Pembina Tenaga Fungsional – PSTA, BATAN yang telah melakukan koreksi penulisan makalah ini.

DAFTAR ACUAN

- K. MAKUUCHI, *An Introduction to Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex*, T.R.I. Global Co., Ltd, Bangkok, (2003).
- SUPRAPTO, DJOKO S.P., *Rancangan Bejana Iradiasi Lateks Karet Alam untuk Vulkanisasi dengan Iradiasi Berkas Elektron*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, PTAPB BATAN, Yogyakarta, (2007).
- ANONIM, *Nitrosamine Solutions*, Robac Chemical, Robinsons Brother Limited, Inggris, (2003).
- Journal Nitrosamine and related food intake and gastric and oesophageal cancer risk: A systematic review of the epidemiological evidence (Paula Jakszyn, Carlos Alberto González dalam *World Journal of Gastroenterology* ISSN 1007-9327wjg@wjgnet.com © 2006 The WJG Press. All rights reserved.www.wjgnet.)
- TEGUH HARJONO KARYADI, *Alergi Lateks pada Pekerja Kesehatan*, Majalah Cermin Dunia Kedokteran No. 142, PT. Kalbe Farma, Jakarta, (2004)
- SNI, *Sphygmomanometer/Tensimeter non otomatis*, SNI 16-4415-1997, Dewan Standardisasi Nasional – Jakarta, (1997)
- OERIP SISWANTORO, Senyawa karsinogen N-nitrosamin dan usaha pengendaliannya, *Makalah Temu Ilmiah*, Cimanggis Bogor, (1989)
- JORDAN N., FIING, MD., *Immunology and Allergy Clinics of North America*, *Latex Allergy*, 15 (1), W. B. Saunders Company, London, (1995)
- GERSHNIN M.E., *Clinical Review in Allergy*, 11 (3) (1993)
- OERIP SISWANTORO, Protein Alergen Berbahaya dari Barang Jadi Lateks Hevea, *Warta Perkaretan*, 12 (1) (1993)
- ADETARYA, *Hasil Diskusi Tentang Tensimeter*, PT. Abadi Nusa, Padalarang, (tidak

- dipublikasi) (1999)
- HERU SUNDARU, SISWANTO, TEGUH HARJONO KARJADI, SUHARYONO, LIES PAREDE, *Perakitan Kit Diagnostikprotein Alergen dengan Antibodi IgE Manusia untuk Kontrol Mutu dari Produk Barang Jadi Lateks Dalam Negeri*, UPBP, FKUI, PPF, BADAN LITBANG PERTANIAN, Bogor, (tidak dipublikasi), (2002)
- SPIEGELHALDER, B., and PREUMANNA, R., Nitrosamine and Rubber, *Larc Sci. Publcation*, 41 (2001)
- DALIMONTHE, Perkembangan Teknologi Karet Dewasa Ini, *Warta Perkaretan*, 12 (1993)
- BEEZHOLD, NAOYA, HAMADA, AKIHITO, HAYASHI, Deproteinizingagent and Method Preparing Cationic Deproteinized Natural Rubber latex, US Paten No. US556341, October 8 (1997)
- GORTON ADT., G.P. Mc. SENNY, and B.K.TIDD, Formulation Natural Rubber to Meet Regulary Nitrosamin Limit, *N. R. Technology*, 18 (1) (1987) 1-12
- GORTON ADT., Evaluation of New Activator/Accelator Ni Natural Rubber Latex, *N. R. Technology*, 19 (4) (1988) 61-69
- FDA., *Medical Gloves Guidance Manual, Internete Website*, <http://www.fda.gov/cdrh/manual/lob.manlpdf>.
- SIBY VARGHESE, YOSUKE KATSUMURA R., K.MAKUUCHI, FR.YOSHII, Production of Soluble Protein Free Latex Bay Radiation Process. *J. Rubber Chemical and Technology*, 73 (1) (2000) 80-88
- JOHN STIGI, *Letter do Medical Glove Industry, Office of Health and Industry Program, Centre for Devices and Radiological Health*, July 30 (1999)
- MARGA UTAMA, HERWINARNI, MADE SUMARTI, Fx. MARSONGKO, WAWAN HERAWAN, SLAMET MUDYIB, Kaji Ulang Produksi Lateks Pekat Pra-Vulkanisasi Radioasi dalam Skala Pabrik, *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia VI*, FT-UI, Jakarta, (2004)
- ANONIM, <http://www.infonuklir.com>, (2009).
- UTAMA, MARGA, *Teknologi Lateks Alam Radiasi : Solusi Problema Produksi Barang*

- Karet*, Pusat Pengembangan Informatika Nuklir, BATAN, Jakarta, (2007).
- MARGA UTAMA, DKK, “ Uji Produksi Karet Tensimeter Bebas Nitrosamin dan protein Alergen Dalam Skala Pabrik”, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Vol. 6, No. 1, Oktober 2004, hal. 45 - 52.
- UTAMA, MARGA, *Teknologi Lateks Alam Radiasi : Solusi Problema Produksi Barang Karet*, Pusat Pengembangan Informatika Nuklir, BATAN, Jakarta, (2007).
- MADE SUMARTI KARDHA, “ Pembuatan Kopolimer Lateks Karet Alam-Stiren Iradiasi Untuk Sarung Tangan Listrik”, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Vol. 11, No. 3, Juni 2010, hal. 24- 27.
- UTAMA, MARGA, “*Irradiated Natural Rubber Latex and It’s Application to Industry* “, Centre for the Application of Isotopes and Radiation Technology, BATAN, 2007.
- WIWIEN ANDRIYANTI, DKK, “ Karakterisasi Film Karet Hasil Proses Vulkanisasi Lateks Karet Alam Menggunakan Mesin Berkas Elektron 350 Kev/10 Ma “, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, 20 Juli 2010, PTAPB-BATAN Yogyakarta.