

KAJIAN METODE VULKANISASI LATEKS KARET ALAM BEBAS NITROSAMIN DAN PROTEIN ALERGEN

Wiwien Andriyanti, Darsono, Wisjachudin Faisal

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan – BATAN, Yogyakarta

wiwien@batan.go.id, b_darsono@batan.go.id, wisjach@yahoo.com

ABSTRAK

KAJIAN METODE VULKANISASI LATEKS KARET ALAM BEBAS NITROSAMIN DAN PROTEIN ALERGEN. Telah dilakukan kajian tentang proses vulkanisasi lateks karet alam bebas dari kandungan nitrosamin dan protein alergen. Kajian ini lebih ditekankan pada penelusuran pustaka tentang kelebihan dan kekurangan proses vulkanisasi lateks karet alam baik yang menggunakan proses kimia konvensional maupun yang menggunakan mesin berkas elektron (MBE). Vulkanisasi merupakan kunci dari keseluruhan dari teknologi karet karena proses ini memegang peranan yang sangat penting dalam pembentukan sifat fisika dan sifat kimia dari film lateks. Dari penelusuran pustaka didapatkan bahwa proses vulkanisasi iradiasi terbukti berhasil menghilangkan adanya nitrosamin dan protein alergen pada produk hasil karet.

Kata kunci : vulkanisasi, lateks, berkas elektron, nitrosamin, protein alergen.

ABSTRACT

STUDY OF NATURAL RUBBER LATEX VULCANIZATION METHOD FREE NITROSAMINES AND PROTEIN ALLERGENS. The studies of natural rubber latex vulcanization process free from nitrosamines and protein allergens have been done. This study is focused on the literature about the advantages and disadvantages of natural rubber latex vulcanization process whether using conventional or chemical process on an electron beam machine (EBM). 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. Based on the literature it is found that the vulcanization process of irradiation has proven to eliminate the nitrosamines and protein allergens in rubber products.

Key words: vulcanization, latex, electron beam, nitrosamines, protein allergens.

PENDAHULUAN

Karet merupakan komoditi perkebunan yang sangat penting peranannya di Indonesia, yaitu antara lain sebagai sumber pendapatan dan lapangan kerja penduduk, sumber devisa negara dari ekspor non migas, serta dapat mendorong tumbuhnya agro-industri di bidang perkebunan, sumber daya hayati dan pelestarian lingkungan. Luas areal tanaman karet Indonesia pada tahun 2007 sekitar 3,31 juta hektar, dimana sebesar 2,8 juta ha (85%) adalah perkebunan rakyat dan selebihnya, yaitu sebesar 531 ribu ha (15%) adalah perkebunan besar dengan produksi 2,64 juta ton atau 27,3% produksi karet alam dunia (9,2 juta ton), sehingga menempatkan Indonesia sebagai negara penghasil karet alam terbesar kedua setelah Thailand.^[1] Di sektor perdagangan, karet dan produk karet merupakan salah satu dari 10 (sepuluh) produk utama yang menjadi program prioritas Departemen Perdagangan, yang perlu ditingkatkan pengembangannya melalui berbagai kebijakan dan

program yang berkesinambungan dan terpadu, dalam mendukung keberhasilan pembangunan ekonomi, khususnya dalam perolehan devisa negara dari ekspor non migas.

Hasil kajian para pakar memperlihatkan bahwa prospek perdagangan karet alam dunia sangat baik. Dalam jangka panjang, perkembangan produksi dan konsumsi karet menurut ramalan ahli pemasaran karet dunia yang juga Sekretaris Jenderal International Rubber Study Group, Dr. Hidde P. Smit, menunjukkan bahwa konsumsi karet alam akan mengalami peningkatan yang sangat signifikan dari 8,5 juta ton di tahun 2005, naik menjadi 9,23 pada tahun 2006, dan diprediksi menjadi 11,9 juta ton pada tahun 2020.^[2] Oleh karena itu peningkatan kualitas produk karet sangat diperlukan terutama dalam proses pembuatannya.

Permasalahan utama yang sering terjadi pada penggunaan karet alam adalah adanya kandungan nitrosamin yang dapat menyebabkan kanker dan adanya protein alergen yang dapat menyebabkan

alergi pada kulit manusia. Penggunaan karet alam sebagai bahan baku di bidang kesehatan seperti sarung tangan medis, kateter, selang infus, kondom dan *sphygmomanometer* tetap menjadi masalah apabila proses vulkanisasinya masih dengan cara konvensional yaitu menggunakan belerang yang dapat menimbulkan bahaya karena adanya kandungan nitrosamin dan protein alergen yang menyebabkan reaksi alergi bagi sebagian pemakainya. Untuk memecahkan masalah tersebut maka dilakukan proses vulkanisasi dengan sinar gamma ^{60}Co yang telah dipelajari oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional sejak 1979. Proses iradiasi menggunakan sinar gamma tidak saja mampu mengurangi protein alergen namun proses vulkanisasi ini dapat dilakukan tanpa penambahan bahan pemercepat sehingga terhindar dari proses pembentukan senyawa nitrosamin yang dapat menyebabkan kanker. Teknik iradiasi dengan sinar gamma ini sebenarnya sudah cukup mapan namun pengoperasiannya memerlukan bangunan *radiation shielding* yang terbuat dari beton tebal sehingga tidak ekonomis dan sulit diterapkan langsung di daerah lokasi perkebunan karet. Di masa yang akan datang, teknik iradiasi menggunakan berkas elektron cukup menjanjikan sebagai alternatif teknik iradiasi menggunakan sinar gamma. Seperti halnya sinar gamma, teknik iradiasi menggunakan berkas elektron pada karet alam terbukti dapat menghasilkan lateks yang bebas nitrosamin dan protein alergen.

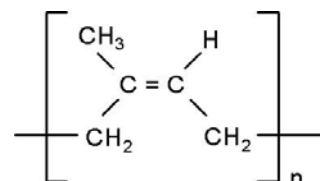
Untuk itulah dalam makalah ini dibahas tentang metode proses vulkanisasi lateks karet alam bebas nitrosamin dan protein alergen sehingga penggunaan bahan-bahan yang terbuat dari karet alam dapat aman digunakan terutama untuk bahan-bahan dalam bidang kesehatan.

STUDI LITERATUR

Karet Alam

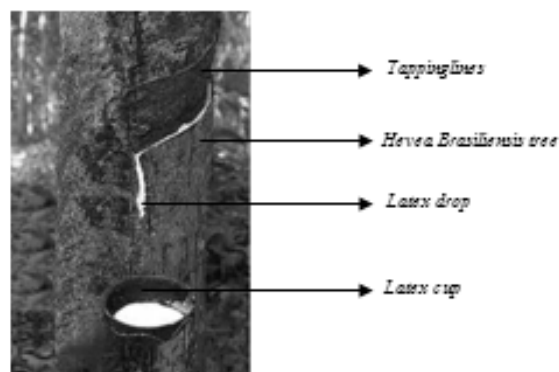
Lateks karet alam adalah getah pohon karet yang diperoleh dari pohon karet (*Hevea brasiliensis*), berwarna putih dan berbau segar. Umumnya lateks karet alam hasil penyadapan mempunyai kadar karet kering (KKK) antara 20-35%, serta bersifat kurang mantap sehingga harus segera diolah secepat mungkin. Cara penyadapan dan penanganan karet alam sangat berpengaruh kepada sifat bekuan sekaligus tingkat kebersihannya. Getah lateks karet alam dari *Hevea brasiliensis* dalam satu kali penyadapan dapat diperoleh sekitar 200-400 ml, yang mengandung berbagai komponen non karet, baik organik maupun inorganik pada penambahan karet. 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 %).^[3] 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

Molekul-molekul karet pada siang hari terbentuk di bagian daun tumbuhan karet dan bila menjelang sore, getah dikirim ke bagian kulit pohon dalam bentuk polimer. Proses pengambilan getah karet dilakukan pada pukul 5 sampai pukul 8 pagi karena getah karet terakumulasi pada pagi hari. Getah yang diperoleh dari pohon *Hevea Brasiliensis* adalah sekitar 200-400 ml. Pohon karet (*Hevea Brasiliensis*) yang sedang disadap dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses penyadapan karet

Karet alam (polyisoprene) termasuk ke dalam 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-data sifat fisis lateks karet alam ditunjukkan pada Tabel 1.

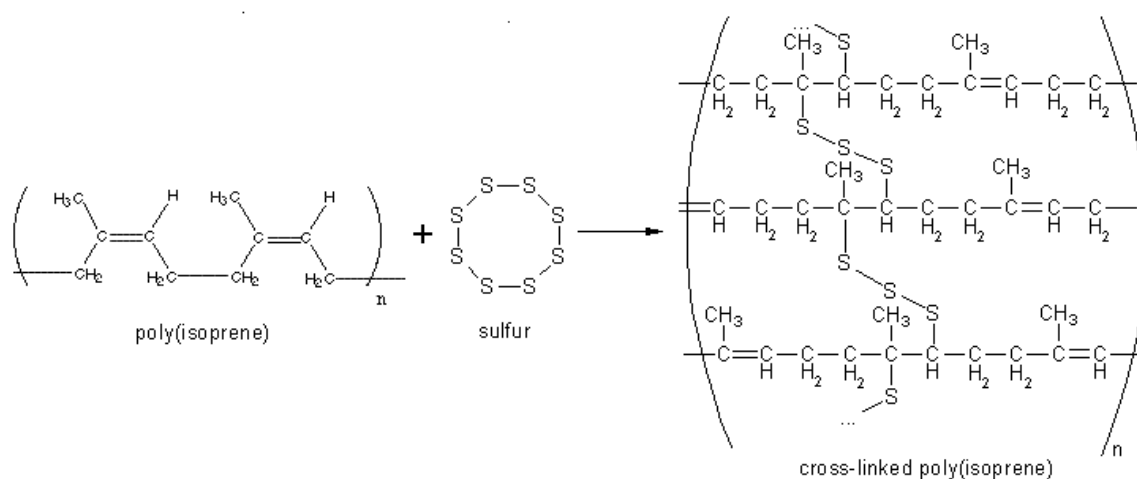
Tabel 1. Sifat-sifat lateks karet alam^[4]

No	Konstanta	Keterangan
1	Berat molekul	68.12 g/mol
2	Titik leleh	-145.95 °C
3	Titik didih	34.067 °C
4	Viskositas	48,6 . 10 ⁻² N.s/m ²
5	Rapat jenis	913 kg/m ³
6	Konduktivitas termal	0,134 W/m K
7	Difusivitas termal	7 . 10 ⁻⁸ m/detik ²
8	Kapasitas panas	1905 J/kg K

Vulkanisasi Lateks Karet Alam Secara Konvensional

Untuk mengubah sifat fisis dari karet dilakukan proses vulkanisasi. Vulkanisasi adalah proses pembentukan ikatan silang kimia dari rantai molekul yang berdiri sendiri, yang dapat meningkatkan elastisitas dan menurunkan plastisitas. Proses vulkanisasi secara konvensional menggunakan belerang pertama kali ditemukan oleh Charles Goodyear tahun 1839, untuk proses vulkanisasi ini sering dipakai senyawa belerang (sulfur) sebagai pengikat polimer karet tersebut. Pada proses vulkanisasi konvensional yang menggunakan belerang ini, dibutuhkan 3 sampai 4 macam bahan kimia yaitu bahan pemvulkanisasi yaitu belerang, bahan pemercepat berupa senyawa karbamat, bahan pengikat, dan bahan pemantap yaitu KOH lalu dipanaskan pada suhu 40 – 50 °C

selama 2 – 3 hari, pemanasan kedua 70 °C selama 2 jam, dan pemanasan akhir 100 °C selama 1 jam.^[5] Pemanasan awal dan kedua bertujuan membuat kompon pravulkanisasi sedangkan pemanasan akhir merupakan tahap penyempurnaan. Senyawa karbamat harus ditambahkan pada lateks karet alam untuk mempercepat proses vulkanisasi. Beberapa senyawa kimia yang biasa digunakan sebagai bahan pemercepat diantaranya ialah morpholino(di)thiobenzothiazole, dithiomorpholine, tetramethylthiuram disulfide (TMTD), zinc dimethyldithiocarbamate (ZDEC) dan sebagainya. Bahan-bahan tersebut dapat membentuk 4-nitrosomorphine dan dimethylnitrosamine. Kedua kandungan nitrosamin inilah yang merupakan unsur karsinogen yang berbahaya bagi kesehatan. Proses vulkanisasi secara konvensional menggunakan belerang seperti terlihat pada reaksi Gambar 3.



Gambar 3. Reaksi vulkanisasi secara konvensional menggunakan 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.^[6] 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 kedapatulungan yang relatif tinggi.

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

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 mekanik dan fisika 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)^[3,5].

Proses vulkanisasi lateks karet alam iradiasi terdiri dari beberapa proses, yaitu :^[3]

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 dirasa 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 radiasinya 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 serta sifat film karet (modulus, tegangan putus, perpanjangan putus, kekerasan).

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 diradiasi 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.^[6]

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 disimpam dalam jangka waktu yang lama. Oleh karena itu jenis perekat ini dapat diaplikasikan baik untuk industri besar maupun industri rumah tangga.

METODOLOGI

Pendekatan yang digunakan dalam kegiatan kajian ini adalah diskriptif analisis dengan melakukan penelusuran pustaka tentang kelebihan dan kekurangan proses vulkanisasi lateks karet alam baik yang menggunakan proses kimia konvensional

maupun yang menggunakan mesin berkas elektron (MBE).

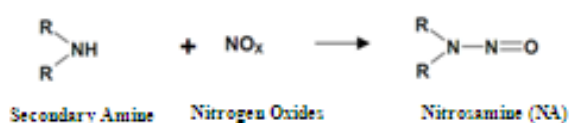
PEMBAHASAN

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, dipisah 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 nitrosa (>NO-). Nitrosamin dirumuskan dengan R-N-N=O dan dibentuk oleh amine sekunder yang bereaksi dengan oksida nitrogen, seperti terlihat pada reaksi pada gambar 4.^[7]



Gambar 4. Reaksi pembentukan nitrosamin

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 terutama 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.

Untuk mengatasi agar barang jadi karet dari lateks bebas nitrosamin dapat dilakukan dengan cara vulkanisasi belerang tanpa menggunakan senyawa karbamat sebagai bahan pemercepat, vulkanisasi peroksida, dan vulkanisasi radiasi. Proses vulkanisasi belerang membutuhkan 3-4 bahan kimia yaitu bahan pemvulkanisasi (belerang), bahan pemercepat (senyawa karbamat), bahan penggiat, dan bahan pemantap lalu dipanaskan pada suhu 40-50 °C selama 2-3 hari. Proses vulkanisasi peroksida hampir sama dengan proses vulkanisasi belerang, hanya saja bahan pemvulkanisasinya menggunakan tributil peroksid tanpa menggunakan bahan pemercepat. Sementara itu, proses vulkanisasi radiasi hanya membutuhkan satu macam bahan kimia yaitu bahan pemeka berupa normal butyl akrilat (nBA) dan dapat diiradiasi pada suhu kamar. Dari uraian tersebut menunjukkan bahwa proses vulkanisasi radiasi lebih menguntungkan karena lebih hemat bahan kimia dan energi panas daripada kedua proses lainnya.^[5]

Cara mengurangi agar kandungan nitrosamin dalam karet sedikit mungkin atau bahkan bebas dari nitrosamin harus dilakukan mulai dari awal pengolahan dan pemakaian bahan-bahan kimia yang ditambahkan dalam proses vulkanisasi, antara lain :

1. Menghindarkan pemakaian bahan peptisida atau fungisida yang mengandung sekunder amine atau tertier amine pada waktu aplikasi langsung ke kebun.
2. Mengganti TMTD (tetra metil thiouram disulfat) dengan bahan pengawet lainnya, misalnya : Dowicil, PRBL, ZBEP/ZnO.
3. Membubuhkan penangkal nitrosamin pada lateks alam misalnya tokoferol, tokotrienol.
4. Menghindarkan bahan pemercepat vulkanisasi yang mengandung senyawa karbamat, yaitu dengan menggunakan teknik vulkanisasi iradiasi atau vulkanisasi peroksida.

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. Protein yang terdapat dalam getah karet antara 1-1,8 % tergantung dari tempat tumbuh, spesies, dan tempat penyemaian. Saat ini telah terdeteksi sebanyak ± 200 jenis protein dan telah diketahui beberapa protein yang menyebabkan alergi (Tabel 2). Sebagian besar protein alergen yang terdeteksi di

dalam karet alam juga terdeteksi pada produk barang jadi lateks, kadang-kadang dalam keadaan terurai atau bergabung dengan protein lain sewaktu pengolahan. Untuk itulah, salah satu cara menurunkan kadar protein terlarut dalam karet alam saat penyadapan adalah dengan menambahkan amonia 1–5 %. Protein mengandung asam amino, dimana asam amino dapat dihidrolisa dengan amonia sehingga protein yang terlarut dalam air jumlahnya meningkat. Protein yang terkandung di dalam lateks juga dapat terdegradasi karena berinteraksi dengan elektron. Akibat degradasi inilah maka berat molekul akan menurun drastis, sehingga menjadi asam-asam amino yang mudah larut dalam air. Kemudian setelah dibuat film, dan dicuci, maka protein (penyebab alergi) akan larut selama pencucian, akibatnya film karet bebas dari protein. Selain itu, protein yang terkandung dalam lateks juga dapat dihilangkan pada saat proses *sentrifuge* (pemusingan).^[5, 8]

Tabel 2. Protein alergen dalam lateks^[9]

Allergen Subcelluler	Localization
Hev. b1	Large rubber particle
Hev. b2	Lutoids
Hev. b3	Small rubber particle
Hev. b4	Lutoids
Hev. b5	Cytoplasm
Hev. b01	Lutoids
Hev. b02	Lutoids
Hev. b03	Lutoids
Hev. b7	Cytoplasm
Hev. b8	Cytoplasm
Hev. b9	Cytoplasm
Hev. b10	Mitochondria

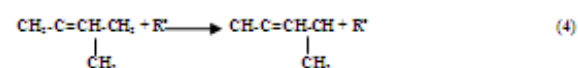
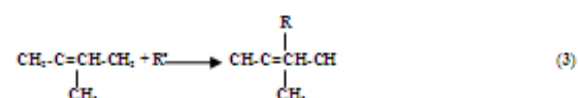
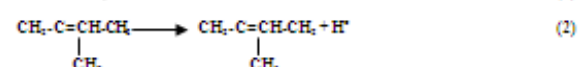
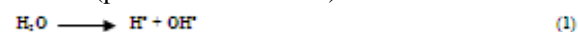
Antigen lateks pada sarung tangan dapat menyebabkan reaksi alergi sistemik melalui paparan langsung pada kulit maupun penyebaran melalui udara yang diperkirakan terbawa oleh bedak/*talk* yang ada pada sarung tangan yang dapat menyebabkan rinitis alergi, asma bronkial, reaksi anafilaktik.

Para peneliti dari Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI) berhasil melakukan proses vulkanisasi dengan berkas elektron yang berenergi cukup rendah, sekitar 200-300 keV, sehingga efek radiasi sinar X pada kesehatan bisa lebih kecil dibandingkan iradiasi dengan sinar gamma.^[3] Berkas iradiasi elektron yang berkekuatan kurang dari 100 mA ini ditembakkan pada cairan lateks dalam bejana sambil diaduk, sehingga proses iradiasi bisa berlangsung lebih merata. Hal ini disebabkan penetrasi elektron berenergi rendah ini hanya sekitar 0,3 mm saja. Selain dengan pengadukan, bisa juga dengan membuat cairan

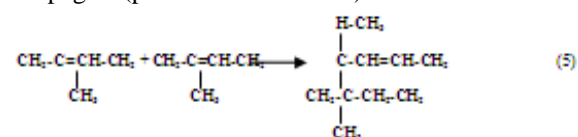
lateks menjadi selaput tipis film (ketebalan sekitar 90 mm) agar elektron bisa terpenetrasi ke seluruh bahan lateks. Dengan cara ini dapat dihasilkan selaput lapisan tipis yang kuat dan liat. Dan yang terpenting adalah tidak adanya kandungan nitrosamin dan protein alergen dari film karet yang dihasilkan.

Bagian penting pada proses vulkanisasi adalah interaksi elektron dengan bahan yang diiradiasi. Radiasi pada lateks akan menimbulkan terjadinya peristiwa terbentuknya radikal bebas serta pengikatan silang antara rantai poliisopren. Mekanisme reaksi yang terjadi pada proses vulkanisasi lateks karet alam iradiasi, yaitu :^[5]

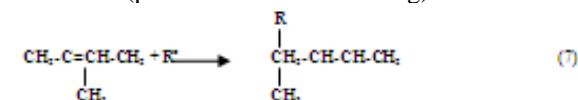
Inisiasi (pembentukan radikal)



Propagasi (pertumbuhan radikal)



Terminasi (pembentukan ikatan silang)



Dimana R^o merupakan radikal-radikal dari H^o, OH^o, dan HO₂^o. Dari reaksi tersebut menunjukkan bahwa ada tiga tahap penting yang terjadi, yaitu tahap inisiasi atau pembentukan radikal bebas, tahap propagasi atau perbanyakan radikal bebas, dan tahap terminasi yaitu pembentukan ikatan silang antara poliisopren karet alam yang merupakan tahap akhir proses vulkanisasi.

Ada beberapa keunggulan dalam pengolahan dan teknologi lateks karet alam iradiasi bila dibandingkan lateks alam proses vulkanisasi belerang, yaitu :

1. RVNRL mempunyai kestabilan tinggi, sehingga dapat dipakai dalam jangka panjang.
2. Barang jadi yang dihasilkan tidak mengandung nitrosamin yang bersifat karsinogen dan protein alergen yang berpotensi terhadap alergi serta tidak beracun (*toxic*).

3. Produk mudah untuk perwarnaan (*clarity-better colouration*).
4. Proses yang sederhana, mudah ditangani dan ramah lingkungan karena bebas dari berbagai macam polutan.
5. Hemat bahan kimia, hemat waktu dan pengurangan energi panas sehingga biaya produksi menurun.
6. Bersifat stabil dalam penyimpanan sehingga sangat cocok untuk industri kecil dan menengah dan lebih elastis.
7. Rendah kadar abu dan rendah produksi gas bila RVNRL telah dipakai (sebagai sampah).

Berbeda dengan vulkanisasi konvensional dengan menggunakan dithiocarbamates yang dapat menyebabkan timbulnya nitrosamin yang bersifat karsinogen, proses vulkanisasi iradiasi ini bebas dari bahan penyebab kanker ini. Selain itu, protein dalam lateks mengalami disintegrasi ketika proses iradiasi

ini, sehingga protein alergen mudah dilarutkan. Melalui sentrifugasi, protein alergen ini dengan mudah bisa dipisahkan dari produk karet. Selain itu, apabila produk karet dari lateks alam iradiasi ini dibakar, tidak menghasilkan gas sulfur dioksida (SO_x) yang banyak seperti pada karet proses vulkanisasi belerang. Gas SO_x ini berbahaya bagi lingkungan karena bisa mengakibatkan hujan asam. Selain itu, karet iradiasi lebih mudah didegradasi, sehingga produk karet dari lateks alam iradiasi tidak mencemari dan akrab dengan lingkungan. Bahan tambahan dalam proses vulkanisasi belerang, seperti *dithiocarbamates* yang biasanya digunakan sebagai katalisator untuk mempercepat proses vulkanisasi, diperkirakan menjadi racun juga bagi bakteri-bakteri pengurai karet. Perbandingan proses vulkanisasi lateks karet alam secara konvensional dan proses vulkanisasi iradiasi menggunakan berkas elektron dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan proses vulkanisasi lateks karet alam secara konvensional dan proses vulkanisasi iradiasi menggunakan berkas elektron

No.	Tinjauan	Proses Vulkanisasi secara Konvensional	Proses Vulkanisasi Iradiasi Berkas Elektron
1.	Bahan kimia yang digunakan	Dibutuhkan banyak bahan kimia, yaitu bahan pemvulkanisasi (belerang), bahan pemercepat (senyawa karbamat seperti Tetra Metyl Thiouram Disulfat/TMTD), bahan penggiat (ZnO), bahan penstabil (KOH) dan bahan pemantap (Na laurat) ^[10]	Hanya dibutuhkan satu macam bahan kimia yaitu bahan pemeka berupa normal butil akrilat (nBA) untuk menurunkan dosis radiasi
2.	Teknik produksi	Proses vulkanisasi dilakukan selama 2-3 hari dengan proses yang lebih rumit	Hemat waktu (iradiasi hanya memerlukan beberapa menit saja), hemat energi, dan panas, serta prosesnya sederhana dan ramah lingkungan
3.	Produk karet yang dihasilkan	Masih terdapat kandungan nitrosamin dan protein alergen. Produk karet kurang elastis dan menghasilkan banyak gas SO_x	Bebas nitrosamin dan protein alergen, serta tidak beracun. Mudah didegradasi oleh alam sehingga lebih ramah lingkungan. Produk karet tidak berbau tajam dan lebih elastis. Produk karet bila dibakar, gas SO_x yang dihasilkan hanya 1/20 daripada vulkanisasi belerang
4.	Waktu penyimpanan	Selama 3 minggu	Selama 6 bulan

Prospek Pemanfaatan MBE untuk Proses Vulkanisasi

Di masa akan datang, teknik iradiasi dengan berkas elektron cukup menjanjikan sebagai alternatif iradiasi dengan sinar gamma maupun

teknik vulkanisasi konvensional menggunakan belerang. Seperti halnya sinar gamma, teknologi iradiasi berkas elektron pada karet alam ini terbukti bisa menghasilkan proses vulkanisasi tanpa belerang, dan bisa pula digunakan untuk mengurai protein alergen pada karet alam. Selain itu, proses

penghilangan protein alergen ini bisa dilakukan in-situ di dekat lokasi perkebunan karet, karena memungkinkan untuk dibuat mesin berkas elektron yang mudah dipindah-pindah (*mobile*), dengan konsumsi tenaga listrik yang tidak banyak.^[11]

Apalagi sekarang tengah dikembangkan mesin berkas elektron dengan luas penampang berkas yang luas berbeda dengan Mesin Berkas Elektron (MBE) konvensional yang prinsip dasarnya mirip tabung CRT (*Cathode Ray Tube*) televisi di mana sumber elektron adalah filamen panas dan berkas elektron titik digerakkan untuk *scanning*. MBE baru ini bisa menghasilkan berkas

elektron dengan penampang sebesar 15x65 cm tanpa proses *scanning*. Dari percobaan iradiasi lateks menggunakan MBE yang bersumber plasma ini, diketahui karet alam yang masih segar ternyata bisa mencapai kualitas sifat mekanik yang lebih baik tanpa bahan pemercepat^[12]. Perbandingan sifat-sifat mekanik dari lateks karet alam menggunakan iradiasi sumber elektron plasma, iradiasi sinar gamma dan nilai awalnya dapat dilihat pada Tabel 4. Kelebihan lain dari MBE ini ialah bisa dibuat power supply yang lebih kecil sehingga dapat dirancang suatu sistem MBE yang kecil dan bisa dipindah-pindah (*mobile*).

Tabel 4. Perbandingan sifat-sifat mekanik lateks karet alam menggunakan iradiasi berkas elektron plasma katoda, iradiasi sinar gamma dan nilai awalnya.

Sifat-sifat mekanik	Nilai awal	Iradiasi berkas elektron (lama)	Iradiasi berkas elektron (baru)	Iradiasi sinar gamma
Permanent set, %	75	15	15	23
Elongation at break, %	1060	1040	1040	1000
Modulus 600 %, MPa	0.4	1.9	n.a	2.1
Tensile strength, MPa	2.2	12.3	18	18.6
Swelling ratio in toluence (immersed for 24 hours), %	Compeletely diluted	270	300	160

KESIMPULAN

Vulkanisasi merupakan kunci dari keseluruhan dari teknologi karet karena proses ini memegang peranan yang sangat penting dalam pembentukan sifat fisika dan sifat kimia dari film lateks. Permasalahan utama dalam industri karet adalah adanya kandungan nitrosamin dan protein alergen yang terdapat pada produk karet alam karena proses vulkanisasi secara konvensional menggunakan belerang.

Di masa akan datang, teknik iradiasi dengan berkas elektron cukup menjanjikan sebagai alternatif iradiasi dengan sinar gamma dalam proses vulkanisasi lateks karet alam. Keunggulan utama dari proses vulkanisasi lateks karet alam iradiasi ini adalah tidak adanya kandungan nitrosamin sebagai bahan penyebab kanker dan protein alergen sebagai penyebab alergi pada tubuh. Apalagi sekarang tengah dikembangkan mesin berkas elektron dengan luas penampang berkas yang luas berbeda dengan power supply yang lebih kecil sehingga dapat dirancang suatu sistem MBE yang kecil dan bisa dipindah-pindah (*mobile*) dengan kualitas sifat mekanik yang lebih baik tanpa bahan akselerator.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya makalah ini kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Drs. Tjipto Sujitno, MT., dan seluruh staf kelompok Teknologi Aplikasi Plasma atas segala bantuan yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. PARHUSIP, ADLY BASAR, *Potret Karet Alam Indonesia*, Economic Review No. 213, Jakarta, (2008).
2. ANONIM, <http://www.rubberstudy.com>, (2009).
3. K. MAKUUCHI, *An Introduction to Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex*, T.R.I. Global Co., Ltd, Bangkok, (2003).
4. 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).

5. UTAMA, MARGA, *Teknologi Lateks Alam Radiasi : Solusi Problema Produksi Barang Karet*, Pusat Pengembangan Informatika Nuklir, BATAN, Jakarta, (2007).
6. ANONIM, <http://www.infonuklir.com>, (2009).
7. ANONIM, *Nitrosamine Solutions*, Robac Chemical, Robinsons Brother Limited, Inggris, (2003).
8. DUCLERC F. PARRA, CARLOS F., HUGO D.C., AND ADEMAR B.L., *Extractable Protein from Field Radiation Vulcanized Natural Rubber Latex*, www. Elsevier.com, (2009)
9. TEGUH HARJONO KARYADI, *Alergi Lateks pada Pekerja Kesehatan*, Majalah Cermin Dunia Kedokteran No. 142, PT. Kalbe Farma, Jakarta, (2004)
10. UTAMA, MARGA, *Lateks Alam Polimerisasi dan Barang Jadi Karetnya*, PT. Rel-ion Sterilization Service, Bekasi, (2008)
11. P. RAHARDJO, *Karet, Material Andalan Ekspor antara Harapan dan Ancaman*, <http://www.infometrik.com>, (2009)
12. P. RAHARJO, K. UEMURA, N.N. KOVAL, V. SHUGUROV, V. DENISOV, AND V. JAKOVLEV, W. SETIAWAN, AND M. UTAMA, *Application of Large Area Plasma Cathode Electron Beam for Natural Rubber Vulcanization*, Proceedings of 15th International Symposium on High Current Electronics, Tomsk, Russia, (2008).

TANYA JAWAB

Ariyani Kusuma Dewi

- Berapa lama masa kadaluwarsa lateks dan apa pengaruhnya bila menggunakan lateks yang melebihi masa kadaluwarsa tersebut ?

Wiwien Andriyanti

- Umumnya lateks pekat yang beramonia tinggi (0,7 % berat) memiliki umur sampai 6 bulan, asalkan lateks tersebut ditutup rapat-rapat (kedap udara) dan dalam suhu kamar. Bila lebih dari 6 bulan harap hati-hati karena amoniaknya berkurang sehingga mudah menggumpal bila diaduk dengan kecepatan 50 – 100 rpm. Tetapi apabila diaduk tidak menggumpal maka lateks tersebut masih bisa digunakan.

Aryadi

- Di dalam makalah dikatakan bahwa protein yang terkandung di dalam lateks dapat terdegradasi karena berinteraksi dengan elektron, mekanismenya seperti apa ?

Wiwien Andriyanti

- Mekanisme yang terjadi pada iradiasi lateks alam adalah terjadinya degradasi. Akibat degradasi maka berat molekul menurun drastis, sehingga menjadi asam-asam amino yang mudah larut dalam air. Kemudian setelah dibuat film dan dicuci maka protein berberat molekul rendah (penyebab alergi) akan larut selama pencucian. Akibatnya film karet bekas dari protein berberat molekul rendah.