

## **PENGARUH VULKANISASI LATEKS KARET ALAM DENGAN CARA RADIASI MENGGUNAKAN MESIN BERKAS ELEKTRON (MBE) TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KADAR PROTEIN BARANG JADINYA**

*The Influence of Latex Vulcanization with Irradiation using Electron Beams Machine on Latex Goods Mechanical Properties and Protein Content*

Hani HANDAYANI<sup>1\*</sup>, Adi CIFRIADI<sup>1</sup>, Santi PUSPITASARI<sup>1</sup>, Arief RAMADHAN<sup>1</sup>, DARSONO<sup>2</sup>, dan Elin NURAINI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Balai Penelitian Teknologi Karet, Pusat Penelitian Karet  
Jalan Salak Nomor 1 Bogor 16128 Jawa Barat  
\*Email: hani.ppkbogor@gmail.com

<sup>2</sup>Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, BATAN  
Tambak Bayan Catur Tunggal Depok Sleman Yogyakarta 55281

Diterima : 17 Februari 2020 / Disetujui : 26 Maret 2020

### **Abstract**

*Currently, there are three popular vulcanization processes commonly used in natural rubber latex industries, which are sulphur, radiation and peroxide vulcanization. Sulphur vulcanization produced products with superior mechanical properties compared to radiation and peroxide vulcanization. Radiation vulcanization of natural rubber latex can be accomplished by merely exposing natural rubber latex to high-energy ionizing radiation such as gamma ray or electron beam. The use of electron beam radiation for vulcanization of natural rubber is still limited especially for application to its latex goods such as gloves. This paper discussed the effect of electron beam irradiation on vulcanizations latex to the mechanical properties and protein content of its latex goods. Three kinds of latexes were used (concentrated latex, deproteinized latex and latex compound) then they were irradiated with electron beam at various doses (0, 50, 70, 90, 130, and 150 Kgy). After vulcanization, the latexes were casted in the thin layer of glass film. The film latex then tested its mechanical properties such as tensile strength and elongation at break. Latex vulcanization with sulphur was used as control. The result showed that elasticity of film latex using electron beam irradiation was still lower than vulcanization with sulphur. The crosslinking of irradiate latex with electron beam machine only on the surface layer of latex so it was not able to enhance the*

*elasticity and overall mechanical properties of its latex goods.*

*Keywords: Electron beams machine; irradiation; natural rubber latex; vulcanization*

### **Abstrak**

Saat ini, terdapat tiga proses vulkanisasi yang umum digunakan di industri lateks karet alam, yaitu vulkanisasi dengan belerang, radiasi, dan peroksida. Vulkanisasi belerang menghasilkan produk dengan sifat mekanis yang unggul dibandingkan dengan vulkanisasi radiasi dan peroksida. Vulkanisasi lateks karet alam dengan radiasi dilakukan dengan mengekspos lateks karet alam terhadap radiasi pengion berenergi tinggi seperti sinar gamma atau berkas elektron. Penggunaan radiasi berkas elektron untuk vulkanisasi karet alam masih terbatas terutama untuk aplikasi pada barang jadi lateksnya seperti sarung tangan. Makalah ini membahas efek iradiasi berkas elektron pada vulkanisasi lateks terhadap sifat mekanik barang jadi lateksnya. Tiga jenis lateks yang digunakan (lateks pekat, lateks terdeproteinisasi, dan kompon lateks) kemudian diradiasi dengan mesin berkas elektron pada variasi dosis (0, 50, 70, 90, 130, dan 150 Kgy). Setelah vulkanisasi, lateks dituang di atas lapisan tipis kaca film membentuk film lateks. Film

lateks kemudian diuji sifat mekaniknya seperti kekuatan tarik dan perpanjangan putus. Vulkanisasi lateks dengan belerang digunakan sebagai kontrol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tarik film lateks yang divulkanisasi menggunakan radiasi berkas elektron lebih rendah dibandingkan vulkanisasi dengan belerang. Lateks iradiasi dengan mesin berkas elektron membentuk ikatan silang hanya di lapisan permukaan sehingga tidak dapat meningkatkan sifat mekanik keseluruhan barang jadi lateksnya.

Kata kunci: Lateks karet alam; mesin berkas elektron; radiasi; vulkanisasi

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara produsen karet alam terbesar kedua di dunia setelah Thailand. Luas perkebunan karet pada tahun 2017 mencapai 3,66 juta Ha dengan produksi diperkirakan mencapai 3,68 juta ton (Direktorat Jenderal Perkebunan [Ditjenbun], 2018). Karet alam merupakan sumber devisa negara, disamping untuk kebutuhan dalam negeri. Pada tahun 2018, ekspor karet alam sebesar 2,95 juta ton dan sisanya untuk konsumsi domestik sekitar 653 ribu ton (Gabungan Perusahaan Karet Indonesia [Gapkindo], 2018).

Untuk pembuatan barang jadi lateks, misalnya sarung tangan, kondom, tensimeter, dan lain-lain, lateks kebun perlu diolah terlebih dahulu menjadi lateks pekat agar diperoleh KKK (Kadar Karet Kering) yang lebih tinggi, sehingga produk barang jadi karet mempunyai sifat-sifat yang lebih baik. Barang jadi karet yang dibuat dari lateks mentah mempunyai sifat fisika yang kurang baik, misalnya tidak tahan perubahan suhu dan pelarut, kekuatan mekanik rendah, perpanjangan putus terlalu tinggi, dan mudah lengket. Agar lateks alam dapat dibuat menjadi barang-barang karet untuk keperluan industri, maka lateks karet alam harus divulkanisasi terlebih dulu. Vulkanisasi terhadap lateks alam dapat meningkatkan tegangan putus, perpanjangan putus, dan ketahanan terhadap panas maupun pelarut (Marsongko, 2013).

Proses vulkanisasi lateks karet alam dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu dengan cara konvensional, cara iradiasi, dan menggunakan peroksida (Ibrahim *et al.*, 2018). Vulkanisasi konvensional dilakukan menggunakan belerang namun cara ini masih menimbulkan banyak masalah terutama untuk barang jadi lateks yang digunakan untuk keperluan medis. Sistem vulkanisasi konvensional menghasilkan lateks dengan kandungan protein alergen dan nitrosamin (Djoko, 2007). Nitrosamin dapat menyebabkan kanker dan protein alergen dapat menyebabkan alergi kulit (Prihatin *et al.*, 2014). Protein alergen menjadi masalah yang cukup serius dalam industri lateks di dunia (Makuuchi, 2000). Beberapa teknik untuk menurunkan kadar protein lateks telah dilaporkan, walaupun tidak semuanya efektif, antara lain dengan sentrifugasi berulang, klorinasi atau penambahan tanin. Namun, klorinasi kurang disukai karena dapat menurunkan tegangan putus sedangkan penambahan tanin dapat menyebabkan lateks berwarna gelap (Siswantoro, 2006). Alternatif lainnya adalah dengan teknik radiasi atau dengan penambahan enzim protease dalam lateks pekat untuk menguraikan sebagian besar protein yang terkandung di dalamnya (Marlina, 2009).

Vulkanisasi radiasi lateks karet alam adalah proses yang jauh lebih ramah lingkungan karena senyawa belerang tidak diperlukan untuk pengikatan silang, meskipun bahan kimia seperti monomer akrilat, terutama akrilat multifungsi masih digunakan sebagai *sensitizer* (bahan pemeka) untuk proses iradiasi (Chirinos & Lugao, 2002). Sementara itu vulkanisasi dengan cara iradiasi dapat mengurangi bahkan menghilangkan kandungan protein alergen dan nitrosamin serta keuntungan-keuntungan lainnya diantaranya bahan lateks transparan dan lebih halus serta hemat dalam pemakaian energi. Perbedaan antara lateks alam proses belerang dengan lateks alam iradiasi lainnya yaitu, daya simpan lateks alam iradiasi lebih tahan lama, yakni dapat disimpan sampai enam bulan. Sedangkan untuk lateks alam vulkanisasi belerang hanya mampu disimpan sekitar tiga minggu. Selain itu, lateks alam iradiasi bebas nitrosamin dan

rendah protein, sehingga bila digunakan untuk barang karet tidak menyebabkan penyakit kanker atau alergi (Djoko, 2007).

Jenis radiasi yang digunakan untuk proses vulkanisasi dapat berupa berkas elektron atau radiasi sinar gamma ( $\gamma$ ). Irradiasi berkas elektron sangat mirip dengan radiasi gamma dalam hal energi pengion tetapi berbeda dalam hal tingkat dosis dan penetrasi. Jika dibandingkan dengan iradiasi sinar gamma, pemrosesan berkas elektron memiliki beberapa keunggulan diantaranya lebih aman dan murah (Ozer, 2007). Keuntungan lain proses radiasi dengan berkas elektron yaitu laju dosis sangat tinggi ( $\pm 1$  Mrad/detik) dan dapat dihidupkan/dimatikan sesuai kebutuhan (Sabharwal, 2006). Selain itu, rasio energi yang diberikan oleh berkas elektron pada material per satuan panjang lebih tinggi dari energi yang diberikan oleh sinar gamma (Ozer, 2007). Radiasi berkas elektron memiliki kisaran energi 0,15 hingga 10 MeV yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi. Energi rendah memiliki rentang energi 0,15-0,5 MeV, umumnya digunakan untuk perlakuan di permukaan dan iradiasi pada lapisan serta film polimer (*coating*). Energi medium memiliki rentang energi 0,5-5 MeV sedangkan energi tinggi memiliki rentang energi 5-10 MeV yang biasanya digunakan untuk sterilisasi produk kesehatan dan pengolahan makanan (Ozer, 2007).

Dalam industri pemrosesan bahan, aplikasi utama berkas elektron adalah untuk proses *grafting* (pencangkakan), *curing* (pemasakan), *degrading* (pemutusan) dan pembentukan ikatan silang (*cross linking*) dan hampir 55% aplikasi berkas elektron digunakan untuk pembentuk ikatan silang. Karena aplikasinya yang cukup luas untuk membentuk ikatan silang sehingga radiasi mesin berkas elektron dapat digunakan untuk proses vulkanisasi lateks karet alam.

Nuraini *et al.* (2018) telah melakukan optimasi proses iradiasi lateks karet alam menggunakan Mesin Berkas Elektron (MBE) untuk mendapatkan film lateks yang memenuhi standar untuk produk sarung tangan. Dari proses vulkanisasi yang telah dilakukan, didapatkan film karet dengan gaya pada saat putus (*force at break*) terbesar yaitu 8,860 N dan perpanjangan

putus sebesar 900%. Hasil tersebut diperoleh pada kondisi waktu iradiasi 150 menit. Hasil pengujian dapat memenuhi persyaratan SNI ISO11193-1-2008 untuk produk sarung tangan dengan standar gaya pada saat putus minimum sebesar 7 N dan perpanjangan putus minimum sebesar 650%. Marsongko (2018) telah membandingkan pembuatan sarung tangan dari lateks vulkanisasi menggunakan belerang dan radiasi menggunakan sumber radiasi  $^{60}\text{Co}$ . Hasil penelitian menunjukkan bahwa sarung tangan yang dihasilkan baik dari lateks alam vulkanisasi radiasi maupun vulkanisasi belerang kualitasnya memenuhi Standar Nasional Indonesia, yaitu sarung tangan karet sekali pakai untuk pemeriksaan kesehatan (SNI 16-2623-2002) dan sarung tangan karet steril sekali pakai untuk keperluan pemeriksaan bedah (SNI 16-2622-2002).

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan iradiasi lateks karet alam dengan mesin berkas elektron (MBE) untuk pembuatan prototipe sarung tangan lateks dan mengkaji pengaruh dosis iradiasi terhadap sifat mekanik dan kadar protein vulkanisat karet alam.

## **BAHAN DAN METODE**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah lateks pekat dari supplier lokal, bahan kimia kompon yang terdiri dari antioksidan ionol, bahan pencepat ZDC (*zinc dithiocarbamate*), bahan pengawet surfaktan anionik, dan bahan pengaktif seng oksida dengan *grade* teknis dari supplier lokal. Enzim proteolitik KP-3939 dan surfaktan SDS (*Sodium Dodecyl Sulphate*) dari Merck. Sementara itu bahan pemeka radiasi yaitu nBA (*n-Butyl Acrylate*) dan Neopelex FS diperoleh dari supplier lokal.

Peralatan penelitian meliputi mesin berkas elektron untuk radiasi lateks (Gambar 1), oven Memmert untuk pemanas, plat kaca tipis untuk mencetak film lateks, Tensile Machine untuk pengujian kuat tarik dan perpanjangan putus merek LLOYD tipe 2000R serta Durometer Shore-A untuk pengujian kekerasan merek Frank Härteprüfe tipe DIN 53 505 dan ISO/R 868 serta Automatic Distillation and Titration System untuk pengujian kadar protein.

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan dari bulan Maret sampai bulan September 2019. Irradiasi lateks dengan MBE dilakukan di Laboratorium Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA)-BATAN, Yogyakarta. Pembuatan *sample* lateks serta pengujiannya dilakukan di Pabrik Percobaan dan Laboratorium Penguji, Balai Penelitian Teknologi Karet, Bogor. Pengujian protein alergen dilakukan di Laboratorium Penguji LPPT - UGM (Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu - Universitas Gadjah Mada).

### Penyiapan Contoh Lateks

Bahan baku lateks yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan 3 (tiga) jenis lateks yaitu lateks pekat, lateks terdeproteinisasi (DPNR), dan kompon lateks. Sebagai pembanding digunakan

lateks yang divulkanisasi secara konvensional menggunakan belerang.

Lateks pekat diolah dari lateks kebun yang dipekatkan dengan cara sentrifugasi sehingga diperoleh lateks dengan kadar karet kering (KKK) minimal 60%. Lateks terdeproteinisasi (DPNR) dibuat secara enzimatis menggunakan enzim proteolitik KP-3939 sebanyak 0,04% distabilkan dengan 1% SDS selama 12 jam pada suhu 32 °C dan diikuti dengan sentrifugasi. Fraksi krim didispersikan dalam larutan SDS 1% untuk menghasilkan lateks dengan KKK 30% kemudian dicuci dua kali dengan sentrifugasi untuk membuat lateks yang dideproteinisasi secara enzimatis sesuai metode Yamamoto *et al.* (2007). Kompon lateks dibuat dengan formula seperti dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Rangkaian alat radiasi dengan Mesin Berkas Elektron (MBE)  
Figure 1. Radiation apparatus with Electron Beam Machine

Tabel 1. Formula lateks untuk irradiasi dengan mesin berkas elektron  
Table 1. Latex formulation for irradiation using electron beams machine

Bahan Material	Jumlah (berat seratus karet, bsk) Quantity (per hundred rubber, phr)			
	A	B	C	D
Lateks Pekat 60%	100		100	100
Lateks DPNR 60%		100		
Surfaktan anionik 20%			1	1
Belerang 50%			0	1
ZDC 50%			1	1
ZnO 50%			0,75	0,75
Ionol 50%			1	1

Keterangan (Remarks):

A = Lateks pekat, B = Lateks DPNR, C = Kompon lateks irradiasi, D = Kompon lateks konvensional  
(A = Latex concentrated, B = DPNR latex, C = Irradiated latex compound, D = Conventional latex compound)

## **Irradiasi Lateks**

Proses penyiapan contoh lateks sebelum diiradiasi dilakukan di Balai Penelitian Teknologi Karet sedangkan proses iradiasi lateks dilakukan di Pusat Sains dan Teknologi Akselerator –BATAN. Sebelum diiradiasi, contoh lateks yang telah disiapkan oleh Balai Penelitian Teknologi Karet kemudian diencerkan menjadi KKK 30%. Selanjutnya ke dalam lateks tersebut ditambahkan bahan pemeka iradiasi yaitu emulsi larutan nBA 50% dengan larutan Neopelex FS 1% dengan perbandingan 50:50. Campuran lateks tersebut kemudian diaduk dengan kecepatan 150 rpm selama ± 15 menit dan lateks siap diiradiasi. Proses iradiasi lateks dilakukan dengan memvariasikan jenis lateks dan dosis iradiasi. Lateks hasil iradiasi selanjutnya diuji sifat mekanik dan kadar proteinnya.

## **Pengujian Sifat Fisik Film Lateks**

Percobaan dilakukan dalam 2 (dua) tahap yaitu percobaan pendahuluan untuk mempelajari fenomena yang terjadi ketika lateks diiradiasi dengan mesin berkas elektron pada berbagai dosis terhadap sifat mekanik vulkanisatnya. Mesin Berkas Elektron (MBE) yang digunakan berdaya 350 keV dengan kuat arus 10 mA. Percobaan pendahuluan dilakukan menggunakan satu jenis lateks yaitu lateks terdeproteinisasi (lateks DPNR). Iradiasi dilakukan pada tujuh variasi dosis (0, 30, 50, 70, 110, 130, dan 150 Kgy) kemudian sifat fisiknya diuji. Parameter sifat fisik yang diuji antara lain kekerasan (*hardness*), kuat tarik (*tensile strength*), dan perpanjangan putus (*elongation at break*). Hasil percobaan pendahuluan digunakan sebagai dasar untuk menentukan variasi yang akan digunakan pada percobaan selanjutnya yaitu iradiasi lateks untuk pembuatan prototipe sarung tangan.

Penyiapan contoh untuk pengujian sifat fisik dilakukan dengan metode *casting*. Contoh lateks yang telah diiradiasi ditempatkan dalam pelat kaca berukuran 40x40 cm dengan ketebalan sekitar 2 mm. *Sample* dikeringanginkan di ruangan hingga *sample* lateks dapat dilepas dari pelat kaca (sekitar 2 hari). Selanjutnya lembaran film lateks dikeringkan dalam oven pada suhu 70 °C dengan cara digantung hingga warna film lateks berubah menjadi transparan. *Sample*

film lateks tersebut selanjutnya dipreparasi untuk diuji sesuai dengan standar metode uji parameter yang digunakan.

## **Pengujian Kadar Protein Film Lateks**

Sebanyak ± 1 gram *sample* lateks dimasukkan ke dalam tabung Kjedahl kemudian ke dalamnya ditambahkan kalium sulfat ( $K_2SO_4$ ) sebanyak 3,5 g tembaga sulfat pentahidrat ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ) sebanyak 0,1 gram dan asam sulfat pekat sebanyak 12 ml. campuran tersebut kemudian dipanaskan dalam lemari asam pada instrument *Automatic Digestion Unit* untuk proses destruksi. Cairan hasil destruksi kemudian dipindahkan ke dalam *Automatic Distillation and Titration System* untuk proses analisis destilasi dan titrasi. Kadar protein diperoleh berdasarkan hasil titrasi.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Percobaan Pendahuluan**

Percobaan pendahuluan bertujuan untuk melihat fenomena yang terjadi ketika lateks diiradiasi dengan mesin berkas elektron pada berbagai dosis. Hal ini perlu dilakukan untuk menentukan kondisi percobaan yang akan dilakukan dalam proses iradiasi lateks selanjutnya untuk pembuatan prototipe sarung tangan lateks. Dalam percobaan pendahuluan ini digunakan lateks DPNR yang diiradiasi dengan mesin berkas elektron pada 7 variasi dosis (0, 50, 70, 90, 110, 130, dan 150 Kgy). Hasil percobaan pendahuluan dapat dilihat pada Tabel 2.

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa pada dosis 50 Kgy kuat tarik vulkanisat karet sebesar 0,2 MPa, ketika dosisnya dinaikkan menjadi 70 Kgy, kuat tariknya naik menjadi 0,9 MPa namun ketika dosisnya dinaikkan menjadi 90 Kgy kuat tariknya turun menjadi 0,4 MPa dan turun kembali menjadi 0,1 MPa ketika dosis dinaikkan lagi menjadi 110 Kgy dan naik menjadi 0,4 MPa pada dosis 130 dan 150 Kgy. Dari data tersebut terlihat pengaruh dosis terhadap kuat tarik lateks masih belum menunjukkan pola tertentu sehingga variasi dosis tersebut akan tetap digunakan pada percobaan selanjutnya. Namun hasil

Tabel 2. Hasil percobaan pendahuluan iradiasi lateks DPNR dengan mesin berkas elektron  
 Table 2. Result of preliminary research of deproteinized latex irradiation using electron beams machine

Kode Code	Dosis Doses (Kgy)	Kekerasan Hardness (Shore A)	Kuat Tarik Tensile Strength (MPa)	Perpanjangan Putus Elongation at Break (%)	Kepadatan Ikatan Silang Crosslink Density (%)
L <sub>1</sub>	50	20	0,2	920	5,51 x 10 <sup>-6</sup>
L <sub>2</sub>	70	15	0,9	1000	2,53 x 10 <sup>-6</sup>
L <sub>3</sub>	90	20	0,4	1000	4,25 x 10 <sup>-6</sup>
L <sub>4</sub>	110	20	0,1	1000	5,37 x 10 <sup>-6</sup>
L <sub>5</sub>	130	20	0,4	1000	5,15 x 10 <sup>-6</sup>
L <sub>6</sub>	150	19	0,4	900	5,52 x 10 <sup>-6</sup>

terbaik ditunjukkan ketika lateks diiradiasi pada dosis 70 Kgy dengan kuat tarik paling tinggi yaitu 0,9 MPa. Penggunaan dosis iradiasi di atas 70 Kgy menyebabkan turunnya kuat tarik hal ini dapat disebabkan karena dosis iradiasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan putusannya rantai karet alam sehingga elastisitasnya menurun.

Sementara itu untuk perpanjangan putus, nilainya naik dari 920% menjadi 1000% ketika dosis iradiasi dinaikkan dari 50 Kgy menjadi 70 Kgy dan nilainya konstan 1000% hingga dosis 130 Kgy kemudian turun menjadi 900% ketika dosisnya dinaikkan menjadi 150 Kgy. Dari fenomena nilai perpanjangan putus tersebut dapat dilihat bahwa dosis iradiasi berkas elektron maksimum sebesar 130 Kgy. Pemberian dosis iradiasi yang semakin tinggi (di atas 130 Kgy) menyebabkan turunnya perpanjangan putus. Sama halnya dengan yang terjadi pada kuat tarik, dosis iradiasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan putusannya rantai karet alam sehingga elastisitasnya menurun.

Data kepadatan ikatan silang menunjukkan terjadi penurunan ketika dosis iradiasi dinaikkan dari 50 Kgy menjadi 70 Kgy. Kepadatan ikatan silang kembali naik ketika dosis iradiasi dinaikkan menjadi 90 Kgy dan terus naik tanpa ada kenaikan yang signifikan sampai iradiasi pada dosis 150 Kgy. Kepadatan ikatan silang menunjukkan derajat terjadinya vulkanisasi di dalam lateks. Semakin tinggi kepadatan ikatan silang berarti vulkanisasinya semakin baik.

### Percobaan Iradiasi Lateks Menggunakan Mesin Berkas Elektron (MBE)

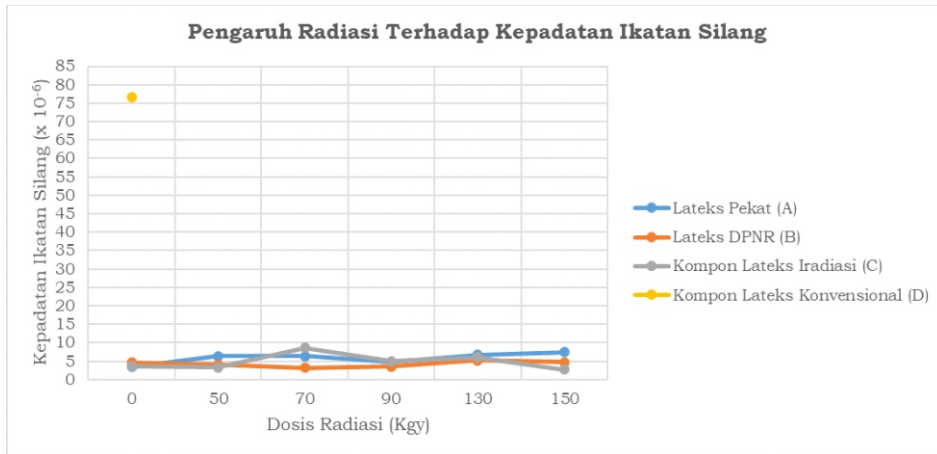
Berdasarkan hasil pada percobaan pendahuluan, penggunaan dosis berkas elektron terlalu tinggi pada lateks DPNR menyebabkan turunnya sifat mekanik vulkanisat karet alam. Percobaan dengan menggunakan jenis lateks yang lain perlu dilakukan untuk memastikan apakah penurunan tersebut dipengaruhi pula oleh jenis lateks atau hanya dosis iradiasi. Oleh karena itu dalam proses penyiapan lateks iradiasi sebagai bahan baku untuk membuat prototipe sarung tangan lateks, digunakan 3 jenis lateks yaitu lateks pekat, lateks DPNR, dan kompon lateks. Ketiga jenis lateks kemudian diiradiasi pada enam variasi dosis (0, 50, 70, 90, 130, dan 150 Kgy) menggunakan mesin berkas elektron (MBE) dan hasilnya diuji kuat tarik dan perpanjangan putusannya. Sebagai pembanding digunakan lateks kompon yang divulkanisasi secara konvensional (menggunakan belerang). Selain itu, diuji pula kadar protein alergen setelah lateks diiradiasi. Formula lateks dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil pengujian kepadatan ikatan silang, sifat mekanik dan kadar protein dari ketiga jenis lateks setelah diiradiasi disajikan pada Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.

Hasil penentuan kepadatan ikatan silang untuk iradiasi dengan mesin berkas elektron pada ketiga jenis lateks dengan variasi dosis menunjukkan bahwa nilainya masih jauh di bawah lateks yang divulkanisasi dengan sulfur. Hal ini menunjukkan bahwa lateks belum terdivulkanisasi secara sempurna ketika diiradiasi menggunakan mesin berkas elektron.

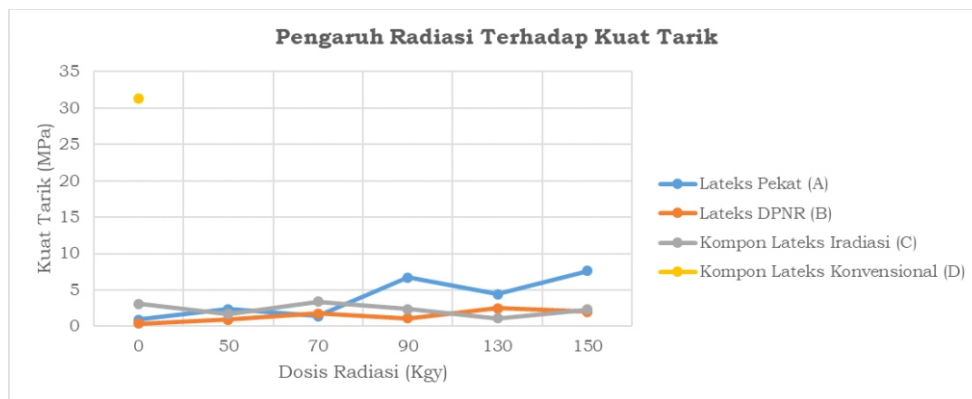
Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa nilai kuat tarik lateks pekat setelah iradiasi lebih besar dibandingkan dengan lateks pekat yang tidak diiradiasi dan nilainya cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya dosis iradiasi. Nilai kuat tarik tertinggi diperoleh pada dosis iradiasi 150 Kgy yaitu sebesar 7,6 MPa, namun nilai tersebut masih belum bisa melampaui nilai kuat tarik dari lateks yang divulkanisasi dengan belerang. Hal yang sama terjadi pada lateks DPNR, dimana nilai kuat tarik lateksnya setelah diiradiasi lebih besar dibandingkan dengan lateks DPNR yang tidak diiradiasi. Nilai kuat tarik tertinggi diperoleh pada dosis iradiasi 130 Kgy yaitu sebesar 2,5 MPa. Diduga, baik lateks pekat maupun lateks DPNR hasil iradiasi belum ter Vulkanisasi secara

sempurna sehingga kuat tariknya masih di bawah lateks yang divulkanisasi belerang yang menghasilkan *crosslinking* yang sempurna (Coran, 2013) seperti dapat dilihat pada Gambar 2.

Nilai kuat tarik setelah iradiasi dari lateks pekat lebih besar dibandingkan dengan lateks DPNR. Hal tersebut disebabkan karena pada proses pembuatan lateks DPNR secara enzimatik digunakan bahan SDS sebagai penstabil. Keberadaan bahan lain selain lateks diduga dapat menghalangi proses radiasi dari berkas elektron sehingga menghambat proses vulkanisasi dari lateksnya. Hal tersebut diperkuat dengan nilai kuat tarik yang diperoleh pada kompon lateks setelah diiradiasi dengan berkas elektron tidak



Gambar 2. Pengaruh radiasi mesin berkas elektron terhadap kepadatan ikatan silang  
 Figure 2. The effect of irradiation using electron beams machine to crosslink density



Gambar 3. Pengaruh radiasi mesin berkas elektron terhadap kuat tarik  
 Figure 3. The effect of irradiation using electron beams machine to tensile strength

menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan kompon lateks yang belum diiradiasi. Keberadaan bahan kimia lain di dalam lateks pada kompon lateks diduga dapat menghalangi proses penetrasi berkas elektron ke dalam partikel karet di dalam lateks sehingga menghambat proses vulkanisasinya. Namun, sama halnya dengan lateks pekat dan lateks DPNR, nilai kuat tarik dari kompon lateks baik sebelum maupun sesudah diiradiasi dengan berkas elektron masih belum mampu melampaui nilai kuat tarik lateks yang divulkanisasi secara konvensional menggunakan belerang.

Iradiasi lateks menggunakan sinar gamma telah dilakukan pada skala pilot oleh Utama *et al.* (2005) dan hasilnya diperoleh kuat tarik sebesar 25-26 MPa dan perpanjangan putus sebesar 900%. Nilai tersebut hampir sama dengan sifat mekanik lateks yang divulkanisasi dengan belerang. Nampaknya hal serupa tidak terjadi pada lateks yang diiradiasi dengan mesin berkas elektron.

Berbeda dengan radiasi sinar gamma yang dapat memindai ke segala arah, radiasi mesin berkas elektron hanya dapat memindai satu arah sehingga penetrasinya terbatas. Energi berkas elektron memainkan peran penting dalam proses radiasi bahan karena menentukan seberapa dalam energi akan menembus ke dalam material. Penetrasi material meningkat secara linear dengan energi yang terjadi. Bahan dengan elektron yang lebih tinggi per satuan massa memiliki dosis yang diserap lebih tinggi di dekat permukaan (Ozer, 2017). Fenomena tersebut terjadi ketika lateks diiradiasi dengan mesin berkas elektron, lateks hanya mengalami vulkanisasi pada bagian permukaannya saja sehingga bagian dalam tidak tervulkanisasi. Akibatnya kuat tariknya sangat kecil, jauh dibawah lateks yang divulkanisasi secara konvensional.

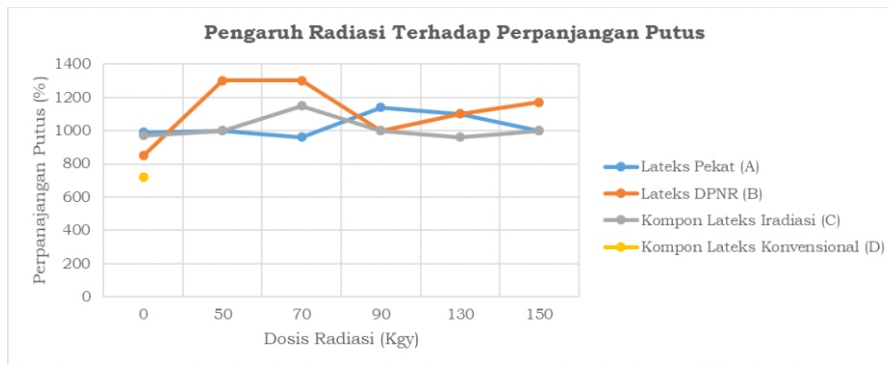
Sama halnya dengan kuat tarik, perpanjangan putus dari lateks setelah diiradiasi umumnya meningkat seiring bertambahnya dosis iradiasi baik pada lateks pekat, lateks DPNR maupun kompon lateks seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

Nilai perpanjangan putus dari ketiga jenis lateks tersebut baik sebelum maupun sesudah diiradiasi dengan berkas elektron lebih besar dibandingkan dengan kuat tarik lateks yang divulkanisasi secara konvensional menggunakan belerang. Diduga lateks hasil iradiasi belum tervulkanisasi secara sempurna sehingga sifatnya hampir sama dengan lateks yang belum tervulkanisasi. Ikatan silang yang terbentuk hanya dipermukaan sehingga kekuatannya kurang dan mudah ditarik bahkan hingga perpanjangan 1000%, berbeda dengan lateks yang divulkanisasi menggunakan belerang. Lateks D yang divulkanisasi dengan belerang membentuk ikatan silang tidak hanya di permukaan sehingga strukturnya kuat dan dapat ditarik hingga perpanjangan tertentu dan jika dilepas dapat kembali ke bentuk semula (Coran, 2013).

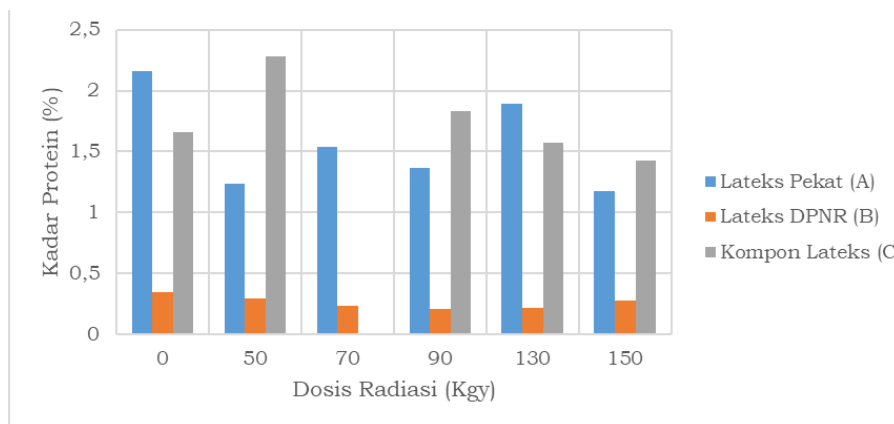
Selain mempelajari pengaruh radiasi lateks dengan mesin berkas elektron terhadap sifat mekanik barang jadi lateksnya, dalam percobaan ini juga diuji kadar protein sebelum dan sesudah iradiasi. Penentuan kadar protein produk sarung tangan lateks untuk keperluan medis penting untuk dilakukan untuk memastikan bahwa kandungan protein alergen yang berbahaya bagi kulit berkurang atau bahkan hilang setelah diiradiasi. Hasil percobaan dapat dilihat pada Gambar 5.

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa kadar protein untuk lateks pekat dan lateks DPNR setelah lateks diiradiasi mengalami penurunan cukup signifikan. Kandungan protein dari lateks DPNR lebih rendah dibandingkan dalam lateks pekat karena protein dalam lateks DPNR telah dihilangkan atau dikurangi secara enzimatik menggunakan enzim protease. Namun nampaknya proses iradiasi tidak berpengaruh menurunkan kadar protein pada lateks kompon secara signifikan. Hal tersebut dapat disebabkan karena keberadaan bahan kimia lain di dalam lateks pada kompon lateks menghalangi proses penetrasi berkas elektron ke dalam partikel karet sehingga tidak dapat menguraikan protein yang terkandung di dalam lateks.





Gambar 4. Pengaruh radiasi mesin berkas elektron terhadap perpanjangan putus  
 Figure 4. The effect of irradiation using electron beams machine to elongation at break



Gambar 5. Pengaruh radiasi mesin berkas elektron terhadap penurunan kadar protein  
 Figure 5. The effect of irradiation using electron beams machine to protein content

### KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian iradiasi lateks menggunakan mesin berkas elektron yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Daya radiasi mesin berkas elektron hanya sampai di permukaan lateks sehingga ikatan silang hanya terjadi di permukaan sedangkan lateks di bagian dalam tidak mengalami ikatan silang. Akibatnya kekuatan tarik dari film lateksnya sangat rendah dibandingkan dengan lateks yang divulkanisasi secara konvensional (menggunakan belerang).
2. Radiasi lateks dengan mesin berkas elektron kurang cocok untuk pembuatan barang jadi lateks dengan sistem *dipping* (celup) seperti sarung tangan karet karena lateks tidak ter Vulkanisasi secara sempurna.

Berdasarkan kesimpulan hasil penelitian yang diperoleh, dapat disarankan hal-hal sebagai berikut:

1. Radiasi lateks dengan mesin berkas elektron lebih cocok digunakan untuk lateks yang dilapiskan pada permukaan, contohnya lateks untuk pelapis kain (*coating*).
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai aplikasi radiasi mesin berkas elektron untuk lateks yang dilapiskan pada permukaan kain misalnya untuk alas embung.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Riset dan

Teknologi/Badan Riset Inovasi Nasional (Kemenristek/BRIN) atas bantuan dana penelitian melalui program Riset Sinergi Pusat Unggulan IPTEK. Terima kasih dan penghargaan turut disampaikan kepada Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, BATAN, Yogyakarta selaku mitra litbang dalam riset ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Chirinos, H., & Lugao, A. (2002). Radiation vulcanization of natural rubber latex sensitized with commercial gases. *International Nuclear Information System (INIS)*, 33(46), 4p.
- Coran, A.Y. (2013). Vulcanization. *The Science and Technology of Rubber* (4th Edition). Academic Press.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2018). *Statistik Perkebunan Karet Indonesia 2017-2019*. Jakarta, Indonesia: Ditjenbun.
- Djoko, S. (2007). Rancangan bejana iradiasi lateks karet alam untuk vulkanisasi dengan iradiasi berkas elektron. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya*, 9, 27-35.
- Gabungan Pengusaha Karet Indonesia (2018). *Statistik Ekspor dan Konsumsi Karet Alam Indonesia*. Jakarta, Indonesia: Gapkindo.
- Ibrahim, S., Badri, K., Ratnam, C.T., & Ali, N.H. (2018). Enhancing mechanical properties of prevulcanized natural rubber latex via hybrid radiation and peroxidation vulcanizations at various irradiation doses. *Journal Radiation Effect and Defects in Solids*, 173(5-6), 427-434. Doi : 10.1080/10420150.2018.1462366.
- Makuuchi, K. (2000). Progress in radiation vulcanization of natural rubber latex. Takasaki Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment, *JAERI Conference*, 6p.
- Marlina, P. (2009). Teknologi pembuatan sarung tangan karet rendah protein alergen. *Jurnal Riset Industri*, 3(2), 103-108.
- Marsongko. (2013). Pembuatan sarung tangan dari lateks alam yang divulkanisasi radiasi dan belerang. *J. Kimia Kemasan*, 35 (2), 131-136. Doi: 10.24817/jkk.v35i2.1885.
- Nuraini, E., Andriyanti, W., & Saptaji, R. (2018). Optimasi proses iradiasi lateks karet alam menggunakan mesin berkas elektron (MBE). *Risalah Fisika*, 2(1), 15-19.
- Ozer, Z.N. (2017). Electron beam irradiation processing for industrial and medical applications. *EPJ Web of Conferences TESNAT 2017*.
- Prihatin, S., Utama, M., & Andriyanti, W. (2014). Kajian produk karet dari lateks alam vulkanisasi iradiasi. *Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet, dan Plastik*, 29 Oktober 2014. Yogyakarta.
- Sabharwal, S. (2006). *Development of Applications of Electron Beam Based Technology*. International Atomic Energy Agency (IAEA), Department of Nuclear Sciences and Application.
- Siswantoro, D. (2004). *Kajian aktivitas tanin dengan penisilin terhadap bakteri Streptococcus pyogenes dan Pasteurella multocida secara in vitro*. Tesis. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Utama, M., Suhartini, M., Herwinarni, Siswanto, Syamsu, Y., Halik, H. M., Prayitno, Muklis, H. M., & Ruslim, S. (2005). Pilot scale production of irradiated natural rubber latex and its dipping products. *Jurnal Atom Indonesia*, 31(2), 61-78.
- Yamamoto, Y., Nghia, P. T., Klinklai, W., Saito, T., & Kawahara, S. (2008). Removal of proteins from natural rubber with urea and its application to continuous processes. *Journal of Applied Polymer Science*, 107(40), 2329-2332.