

APLIKASI TEKNIK PLASMA SOLUSI PADA PRODUKSI KARET ALAM TERDEPROTEINASI (DPNR)

The Application of Solution Plasma Technique on Deproteinized Natural Rubber (DPNR) Production

Norma A. KINASIH^{1*} dan Rathanawan MAGARAPHAN²

¹Unit Riset Bogor Getas, Pusat Penelitian Karet, Jalan Salak No. 1 Bogor, Jawa Barat

²The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

*Email: norma.kinasih88@gmail.com

Diterima: 12 Desember 2022 / Disetujui: 24 Januari 2023

Abstract

Deproteinized Natural Rubber (DPNR) was produced to meet protein allergy disorder product requirements and NR particle modification processes. DPNR was prepared with solution plasma technique on various voltage values, i.e., 1, 5, and 10 kV to examine the highest degradation of the non-rubber parts in DPNR. The processed DPNR was further called DPNR 1 kV, DPNR 5 kV, and DPNR 10 kV. FT-IR, nitrogen content, gel content, and viscosity test determined the non-rubber part degradation. Solution plasma treatment with 10 kV showed the lowest peak ratio of protein and nitrogen content of 65.9% degraded rubber protein. These results revealed that 10 kV voltage was the optimum condition of the solution plasma technique to degrade protein.

Keywords: deproteinized natural rubber; solution plasma; protein

Abstrak

Karet alam terdeproteinasi (DPNR) diproduksi untuk memenuhi kebutuhan persyaratan produk untuk gangguan alergi protein dan proses modifikasi partikel karet alam. DPNR dibuat dengan teknik plasma solusi dengan pengaplikasian beberapa nilai voltase yaitu 1, 5, dan 10 kV untuk mengamati degradasi tertinggi bagian non-karet di DPNR. DPNR yang dihasilkan melalui plasma solusi dengan voltase tegangan 1, 5, dan 10 kV selanjutnya disebut DPNR 1 kV, DPNR 5 kV, dan DPNR 10 kV. Degradasi bagian non-karet ditentukan menggunakan *Fourier Transform Infra-Red*

(FT-IR), pengujian kadar nitrogen, kandungan gel, dan viskositas. DPNR 10 kV memiliki nilai rasio puncak protein dan kadar nitrogen terendah sebesar 65,9% protein karet terdegradasi. Hasil ini menunjukkan bahwa voltase 10 kV merupakan kondisi optimum untuk mendegradasi protein dengan teknik plasma solusi.

Kata kunci: terdeproteinasi karet alam; plasma solusi; protein

PENDAHULUAN

Penggunaan lateks sebagai bahan baku produk medis memiliki keterbatasan, dimana kandungan protein dalam lateks menyebabkan alergi pada penggunaannya. Penurunan kandungan protein di dalam lateks melalui teknik terdeproteinasi perlu dilakukan untuk meminimalisir risiko alergi saat menggunakan produk medis. Teknik ini menghasilkan lateks dengan kandungan protein yaitu karet alam terdeproteinasi (DPNR). DPNR memiliki kandungan protein 10-30% lebih kecil dibanding karet alam (Kovuttikulrangsie et al., 2004; Nawamawat et al., 2010; Wei et al., 2020). Penggunaan DPNR juga mampu mempermudah proses modifikasi karet alam, baik secara kimia ataupun fisika. Protein yang menyelimuti partikel karet akan menghambat masuknya bahan kimia untuk kontak langsung dengan partikel karet (Kinasih & Magaraphan, 2021).

Beberapa teknik terdeproteinasi telah dikembangkan, dimana sebagian besar menggunakan bahan kimia yang dapat

mencemari barang jadi lateks (BJL). Teknik awal deproteinasi dilakukan dengan mengkombinasikan penggunaan surfaktan (ionik atau anionik) dan enzim proteolitik seperti papain (Kinasih et al., 2017; Yapa & Fernando, 1998) atau KP-3939 (KAO) (Klinklai et al., 2003; Nawamawat et al., 2011). Teknik ini membutuhkan waktu yang lama sekitar 15-72 jam, memerlukan kontrol suhu yang ketat (37-50°C), mampu menurunkan protein sekitar 50-70% (Klinklai et al., 2003) dan memiliki kualitas produk yang tidak stabil, karena papain dihasilkan dari bahan alam yang memiliki kualitas kinerja enzim sangat bervariasi (Manroshan et al., 2008). Proses deproteinasi yang lebih efektif dan efisien dilakukan dengan menggunakan 0,1 b/b% urea dan 1 b/b% natrium dodesil sulfat (SDS; Kishida Co., Ltd., Osaka, Jepang) pada 303°K selama 1 jam dengan sistem batch (Yamamoto et al., 2007). Proses ini mampu mereduksi hingga 90-99% protein.

Teknik deproteinasi terbaru menggunakan alumina berlapis magnet ($\text{Fe}_3\text{O}_4@Al_2O_3$) (Mahendra et al., 2021) untuk menghilangkan protein melalui interaksi anionik-kationik dan interaksi hidrofobik. Teknik ini berhasil menurunkan kadar protein dari 0,38% menjadi 0,016% dengan menambahkan 1 b/b% $\text{Fe}_3\text{O}_4@Al_2O_3$ dan surfaktan 0,25% selama 15 menit. Teknik deproteinasi ini merupakan proses degradasi protein tercepat. Namun, pelapisan alumina dengan magnet merupakan tahap persiapan tambahan yang cukup kompleks dan bahan kimia yang digunakan tidak ramah lingkungan sehingga mengakibatkan pencemaran.

Teknik plasma merupakan solusi teknik deproteinasi baru yang dilakukan pada penelitian ini. Plasma adalah energi terbarukan, dimana secara identik merupakan ion bermuatan positif, media penghantar listrik yang umumnya terdiri atas elektron bermuatan dan atom atau molekul netral, atau keduanya. Plasma dapat dihasilkan di dalam larutan/ solusi, dimana disebut sebagai plasma solusi. Proses deproteinasi dengan plasma solusi relatif sederhana dan membutuhkan sedikit bahan kimia. Plasma solusi menghasilkan radikal bebas seperti radikal hidroksil yang mampu mendegradasi molekul kitosan (Ma et al., 2012; Prasertsung et al., 2012).

Penggunaan variasi tegangan dalam teknik plasma solusi dapat memengaruhi struktur dan berat molekul protein dalam kitosan (Ma et al., 2012; Pornsunthorntawe et al., 2014; Prasertsung et al., 2012). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum teknik plasma solusi dalam mendegradasi protein di dalam lateks. Berbagai nilai tegangan yaitu 1, 5, dan 10 kV digunakan untuk mendegradasi protein lateks. Efektivitas degradasi protein di dalam lateks ditentukan dengan menggunakan *Fourier Transform Infra-Red* (FT-IR), pengujian kadar nitrogen, kandungan gel, dan viskositas.

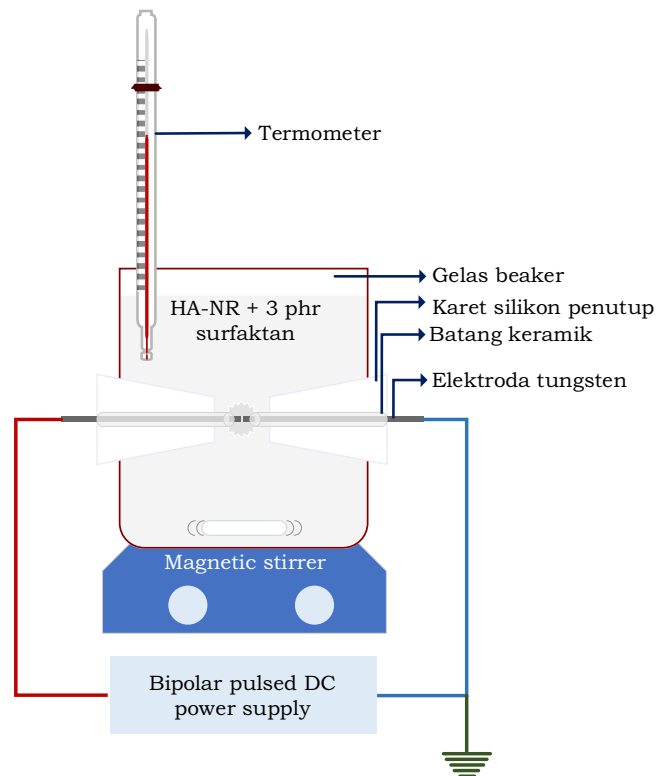
BAHAN DAN METODE

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam pembuatan DPNR terdiri atas lateks amonia tinggi (HA-NR) dan surfaktan non-ionik. HA-NR diperoleh dari Thailand Rubber Research Institute. Surfaktan non-ionik, polyoxyethylene lauryl ether (Emulgen 147) dari Kao Corporation digunakan sebagai bahan penstabil lateks, dan 99,5% toluena (RCI Labscan Ltd.) yang diproduksi oleh V.S. Chem House Co., Ltd., Thailand.

Peralatan Penelitian

Teknik plasma solusi pada HA-NR menggunakan seperangkat teknologi plasma dari Pekuris-Jepang dan seperangkat peralatan pendukung (Gambar 1) seperti gelas beaker modifikasi yang dilengkapi dengan elektroda tungsten dengan kemurnian 100% produksi Siam Plasma Thailand, penutup/penyumbat silikon No. 13 produksi TTK Science CO., LTD, batang keramik CERAC3-20 produksi Misumi (Thailand) Co. Proses deproteinasi dilakukan dengan *magnetic stirrer* Heidolph tipe MR Hei-Standard produksi ITS Thailand Co., LTD dan pengaduk magnetik (panjang 2,5 cm). DPNR selanjutnya dipurifikasi dengan mesin *centrifuge* Kubota 5922 (Kubota Corporation, Japan) dan *ultrasonic bath* Elmasonic-S70H (Elma Schmidbauer GmbH, German). DPNR murni dipisahkan dengan bagian serum menggunakan micro pipet volume 100-1000 μL (Nichiryo- Sigma Aldrich).



Gambar 1. Seperangkat plasma solusi
Figure 1. Set solution plasma apparatus

Produksi DPNR dengan Teknik Plasma Solusi

HA-NR distabilkan dengan menambahkan 3 *per hundred rubber* (phr) non-ionik surfaktan 10% b/v sebelum dideproteinasi, selanjutnya diencerkan dengan air destilasi hingga mencapai 20% kadar karet kering (KKK). HA-NR (terstabilisasi surfaktan) sebanyak 100 ml dideproteinasi dengan seperangkat plasma solusi (Gambar 1) dan diaduk secara kontinu dengan kecepatan 1.000 rpm selama 270 menit. Teknik plasma solusi dioperasikan pada *pulse frequency* 15 kHz, *pulse width* 2,0 μs , jarak antar tungsten 1 mm, dan dengan variasi voltase tegangan bipolar DC 1, 5, dan 10 kV. DPNR yang dihasilkan melalui plasma solusi dengan voltase tegangan 1, 5, dan 10 kV selanjutnya disebut DPNR 1 kV, DPNR 5 kV, dan DPNR 10 kV. Perubahan suhu larutan HA-NR pada proses deproteinasi diukur menggunakan termometer, sedangkan nilai pH DPNR dikarakterisasi menggunakan kertas pH. DPNR selanjutnya dimurnikan melalui sentrifugasi pada suhu 25°C dan kecepatan

10.000 rpm selama 60 menit. DPNR murni kemudian dipisahkan dengan serumnya dan dibuat film untuk diuji karakterisasinya.

Karakterisasi DPNR

Fourier-transform infrared spectrometer (FT-IR)

Analisa FT-IR dilakukan menggunakan Thermo Scientific FTIR tipe Nicolet iS5 Mode id7 ATR dan dianalisa menggunakan software OMNIC 9. Data dianalisa pada panjang gelombang 4000–400 cm^{-1} dengan rata-rata 64 pemindaian pada resolusi 4 cm^{-1} . Lembaran film karet digunakan untuk menganalisa struktur kimia HA-NR dan DPNR. Analisa struktur kimia difokuskan pada panjang gelombang 832, 1541 dan 1630, 1660, 1748–1738 dan 3280 cm^{-1} , yang berurutan merujuk pada untuk serapan regangan =C-H (Dinsmore & Smith, 1948), Amide II (seperti ikatan N-H dan regangan C-N) (Lu & Hsu, 1987), ikatan rangkap C=C pada cis-1,4-isoprene unit di karet alam (Nallasamy & Mohan, 2004), Amide I (seperti

regangan $R_1(C=O)-NH-R_2$ dari protein), dan regangan N-H dari grup amide (Aik-Hwee et al., 1993).

Rasio tinggi absorbansi puncak antara ikatan peptida dan di luar tekukan (*out of bending*) =C-H dapat digunakan

$$\text{Level kandungan protein} = \left[\frac{3280+1630+1541}{832} \right] \text{ cm}^{-1} \quad (1)$$

Kadar nitrogen

Total kandungan protein pada film DPNR dianalisa dengan mengukur kadar nitrogen (N %). Pengujian kadar nitrogen mengacu pada metode Kjeldahl (Ng & Gan, 1981; Ng, 1992). Nilai kadar nitrogen merupakan nilai rata-rata dari tiga ulangan pengujian.

sebagai indikasi level kandungan protein di karet alam (Nun-anan et al., 2018). Level kandungan protein di karet alam dapat diperkirakan dengan menghitung tinggi puncak absorbansi pada serapan gelombang tertentu dengan rumus berikut (Nun-anan et al., 2018).

Kandungan gel

0,025 gram (m_0) DPNR dilarutkan dalam 25 ml toluene dan selama satu minggu disimpan pada suhu ruang dalam ruangan gelap tanpa dilakukan pengadukan (Yusof et al., 2021). Gel yang terbentuk selanjutnya disaring dan dikeringkan dalam oven suhu 80°C selama 2-4 jam, masa kering gel dinyatakan sebagai m (gram). Kandungan gel DPNR merupakan nilai rata-rata dari tiga ulangan perhitungan, dimana perhitungan berdasarkan rumus berikut:

$$\text{Kandungan gel (\%)} = \left[\frac{\text{berat gel kering (m)}}{\text{berat awal karet (m}_0\text{)}} \right] \times 100 \quad (2)$$

Minimum Torsi

Nilai viskositas DPNR direpresentasikan dengan nilai torsi minimum (Marković et al., 2013). Nilai torsi minimum ditentukan dengan *Moving Die Rheometer* (MDR) model Tech-Pro rheoTECH MD+. Sebanyak 4 gram lembaran DPNR diletakkan pada rotor MDR. Rotor bawah dan atas MDR menekan lembaran pada suhu 100°C selama 20 menit. Nilai minimum torsi DPNR merupakan nilai rata-rata dari dua ulangan pengujian.

spesies kimia aktif dari molekul air (Rodebush & Wahl, 1933), seperti hidrogen peroksida (Malik et al., 2001; Rodebush et al., 1947) yang selanjutnya menyebabkan penurunan pH lateks.

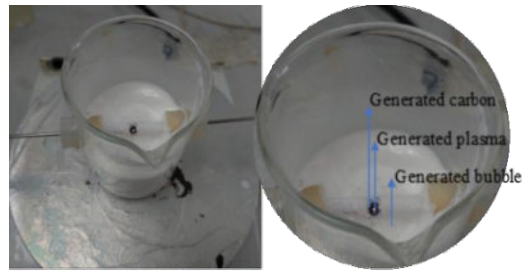
Hasil pengamatan menunjukkan bahwa lateks yang dideproteinasi mengalami kenaikan suhu dan penurunan pH. Suhu berubah dari 25°C menjadi 40°C pada pengaplikasian 10 kV plasma solusi (Tabel 1).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi DPNR dengan Teknik Plasma Solusi

Deproteinasi lateks melalui teknik plasma solusi dilakukan pada suhu ruang. Aplikasi berbagai voltase tegangan pada plasma solusi membentuk gelembung mikro (*microbubble*) dan cahaya putih pucat di area sekitar tungsten (Gambar 2), menaikkan suhu larutan, dan menghasilkan radikal dan

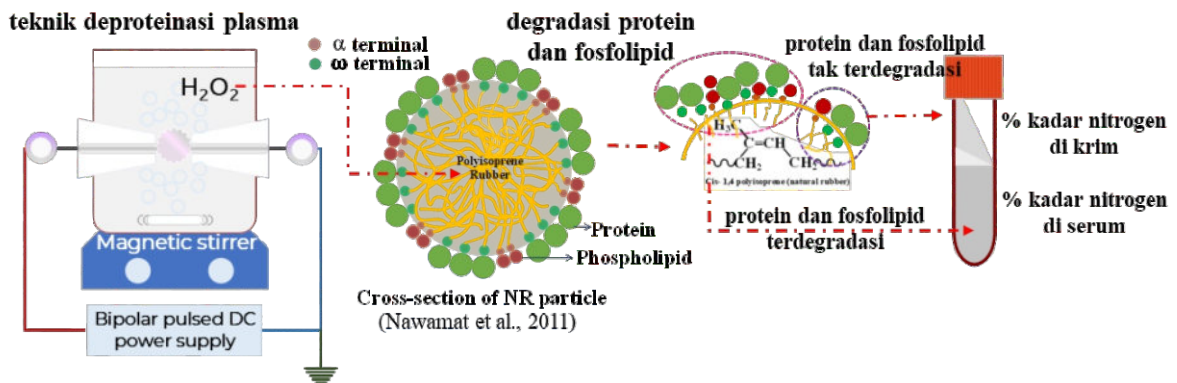
Bagian non karet yaitu protein dan fosfolipid berikatan dengan molekul NR yang masing-masing terikat pada α dan ω terminal (Nawamawat et al., 2011) dan terletak mengelilingi partikel karet (Gambar 3). Hidrogen peroksida secara bertahap mendegradasi bagian non karet kemudian bagian karet, ikatan C-C dan C-H. Lapisan protein dan fosfolipid yang terdegradasi akan terlarut dalam serum, sehingga nilai kandungan nitrogen bagian krim DPNR rendah, seperti ilustrasi pada Gambar 3. Penguraian ikatan C-C dan C-H seiring



Gambar 2. Kondisi lateks selama proses terdeproteinasi menggunakan teknik plasma solusi
 Figure 2. Latex condition during deproteinization process with solution plasma technique

Tabel 1. Karakteristik lateks dan karbon residu HA-NR dan DPNR setelah terdeproteinasi dan pemurnian
 Table 1. Latex characteristic and carbon residue of HA-NR and DPNR after deproteinization and purification

Kode sampel sample code	HA-NR	DPNR 1 kV	DPNR 5 kV	DPNR 10 kV
pH	11	9	9	9
Temperatur (°C)	25	25	32	40
Penampakan setelah pemurnian				
Residu karbon di tungsten				



Gambar 3. Ilustrasi proses terdeproteinasi pada teknik plasma solusi
 Figure 3. The deproteinization process illustration in plasma solution technique

peningkatan suhu larutan selama plasma solusi menghasilkan karbon (Morishita et al., 2016) dan menurunkan stabilitas lateks (Goossens & Vogt, 1990; Imprastitichai et al.,

2009) sehingga karet menggumpal di sekitar tungsten. Selain itu, partikel kecil karbon juga tampak tersuspensi di bagian serum setelah dilakukannya pemurnian (Tabel 1).

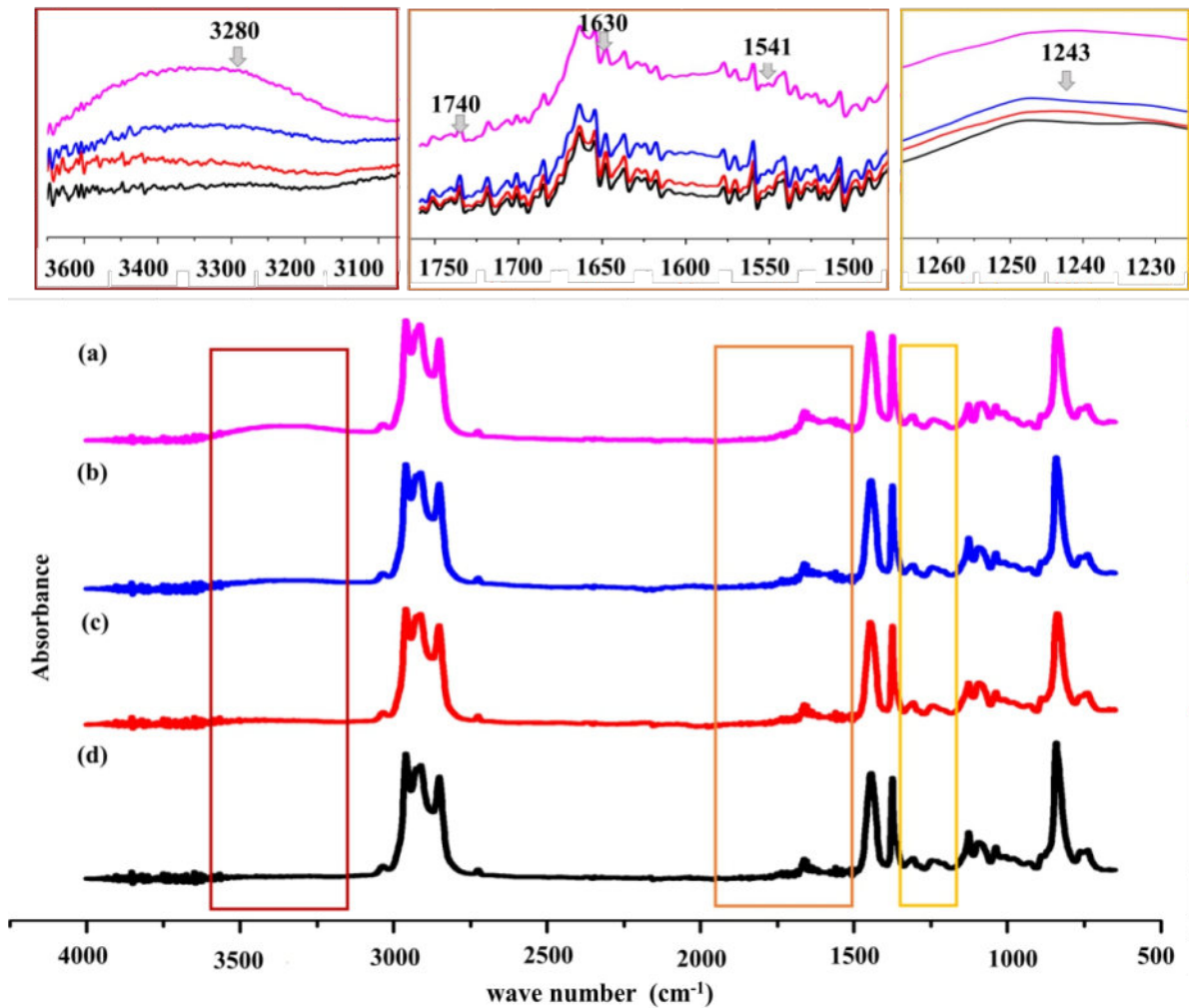
Karakterisasi DPNR

Fourier-Transform Infrared Spectrometer (FT-IR)

Spektrum FT-IR DPNR yang dihasilkan dari teknik plasma solusi disajikan pada Gambar 4. Proses deproteinasi dengan teknik plasma solusi diketahui tidak mengubah struktur karet alam, dimana pita serapan DPNR identik dengan pita serapan HA-NR. Sampel DPNR 1 kV, 5 kV, dan 10 kV menunjukkan puncak vibrasi regangan protein seperti N-H gugus amida, amida I (yaitu vibrasi regangan $R_1(C=O)-NH-R_2$ protein), dan amida II pada masing-masing panjang gelombang 3280,

1630, dan 1541 cm^{-1} lebih rendah dibandingkan HA-NR. Selain itu, perlakuan plasma juga menurunkan fosfolipid, dimana pita serapan pada bilangan gelombang 1243 cm^{-1} menggambarkan peregangan asimetris fosfolipid O-P-O (Wong & Mantsch, 1988) dan puncak serapan pada kisaran 1740 cm^{-1} yang menggambarkan peregangan C=O untuk ester asam lemak terkait (Tarachiwin et al., 2005).

Degradasi protein pada DPNR dapat diamati dengan menghitung rasio tinggi absorbansi puncak ikatan peptida di luar tekukan (*out of bending*) =C-H, sesuai dengan rumus perhitungan level kandungan protein (persamaan 1). Nilai rasio yang diperoleh digunakan untuk



Gambar 4. Spektrum FT-IR sampel (a) HA-NR, (b) DPNR 1 kV, (c) DPNR 5 kV, dan (d) DPNR 10 kV

Figure 4. FT-IR spectrum of (a) HA-NR, (b) DPNR 1 kV, (c) DPNR 5 kV, and (d) DPNR 10 kV sample

mengindikasikan kandungan protein karet setelah dideproteinasi melalui teknik plasma solusi (Nun-anan et al., 2018), dimana nilai tersebut akan dikonfirmasi dengan kadar nitrogen. Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai rasio puncak protein DPNR menurun dibandingkan HA-NR dan penurunan terjadi linier seiring peningkatan aplikasi voltase pada plasma solusi.

Terbentuknya hidrogen peroksida selama perlakuan plasma solusi tampak pada spektrum FT-IR (Gambar 4). Hidrogen peroksida diamati pada puncak gelombang 3.364, 2.780, dan 1.350 cm^{-1} (Giguère, 1950), namun perlakuan plasma solusi tidak menunjukkan perubahan puncak gelombang gugus hidrogen peroksida yang signifikan dengan kenaikan tegangan voltase yang diberikan. Perlakuan plasma menciptakan hidrogen peroksida untuk memotong ikatan peptida sehingga protein terdegradasi. Jadi, puncak absorbansi hidrogen peroksida tidak cukup untuk diukur.

Kadar nitrogen

Penentuan kadar nitrogen untuk mengetahui kandungan protein dalam sampel pada bagian serum dan krim DPNR. Penentuan kadar nitrogen pada sampel HA-NR hanya dapat dilakukan pada bagian krim dikarenakan adanya kendala dalam penyuplikan bagian serum HA-NR. Kendala tersebut menyebabkan nilai kadar nitrogen bagian serum tidak merepresentasikan nilai sebenarnya, maka nilai kadar nitrogen bagian serum HA-NR tidak ditabulasikan.

Protein dan fosfolipid diduga terdistribusi dalam fraksi serum serta mengelilingi permukaan partikel karet

(Chaikumpollert et al., 2011; Sansatsadeekul et al., 2011), di mana 20% teradsorpsi pada partikel karet, 20% terkait dengan fraksi bawah (Archer & Sekhar, 1955), dan sisanya terlarut dalam fase serum. Protein yang terdegradasi selama plasma solusi terlarut dalam bagian serum, sedangkan protein yang tersisa pada sampel berada pada bagian krim seperti ilustrasi pada Gambar 3. Kadar nitrogen di bagian masing-masing krim dan serum disajikan pada Tabel 2.

Nilai kadar nitrogen pada bagian krim DPNR menurun dibandingkan HA-NR dan kadar nitrogen bagian krim menurun seiring dengan tegangan plasma solusi. Peningkatan kadar nitrogen di dalam serum mengindikasikan adanya proses deproteinasi yang mengakibatkan protein dan fosfolipid yang mengelilingi partikel karet terlepas dan terlarut pada bagian serum (Liengprayoon et al., 2021; Varghese, 2000). Nilai kadar nitrogen pada bagian serum meningkat seiring meningkatnya tegangan plasma yang digunakan.

Hasil ini menunjukkan bahwa indikasi penurunan protein, dengan menghitung ratio tinggi absorbansi puncak protein pada hasil FT-IR (Gambar 2), dapat digunakan sebagai acuan penurunan protein sampel. Tabel 2 menunjukkan bahwa aplikasi tegangan 10 kV mampu mendegrasi 65,9% protein karet (HA-NR). Hasil menunjukkan bahwa teknik plasma cukup efektif untuk mendegradasi protein prosesnya singkat dan hanya menambahkan 3 phr surfaktan non-ionik pada HA-NR sebelum dideproteinasi.

Tabel 2. Karakteristik HA-NR dan DPNR hasil produksi teknik plasma solusi
 Table 2. The characteristic of HA-NR and DPNR processed by solution plasma technique

Sampel <i>Sample</i>	Rasio puncak protein <i>Protein peak ratio</i>	Kadar nitrogen (%wt) <i>Nitrogen content (%wt)</i>	
		Bagian krim <i>criem section</i>	Bagian serum <i>serum part</i>
HA-NR	0.0459	0.255 ± 0.042	
DPNR 1 kV	0.0436	0.107 ± 0.006	1.765 ± 0.120
DPNR 5 kV	0.0396	0.103 ± 0.006	1.855 ± 0.332
DPNR 10 kV	0.0378	0.087 ± 0.006	2.63 ± 0.275

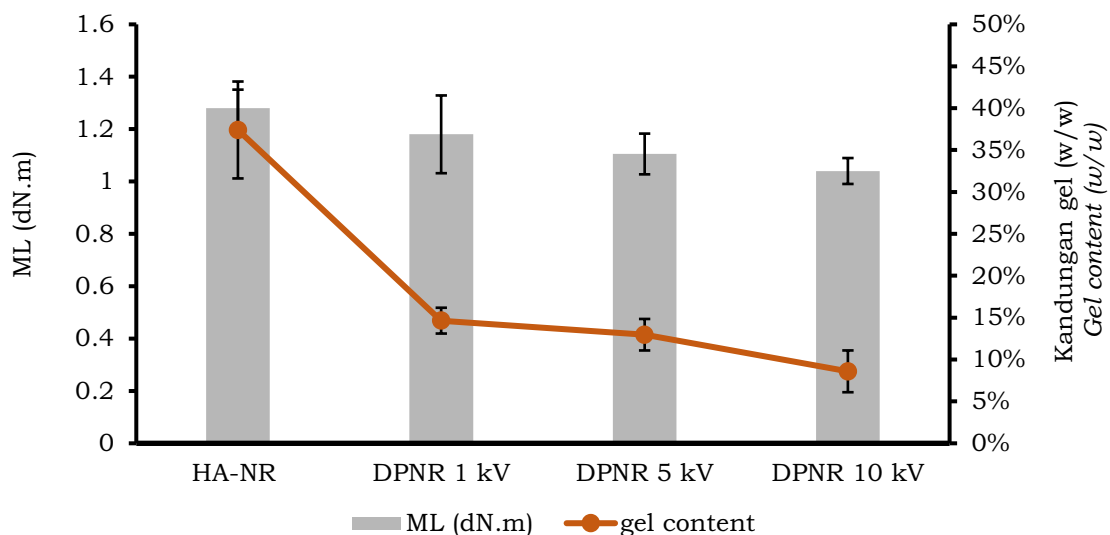
Kandungan gel

Karet alam memiliki percabangan rantai melalui terminal fungsional, dimana ω terminal berhubungan dengan protein dan α terminal berhubungan dengan mono- and difosfat grup, yang berasosiasi dengan fosfolipid melalui ikatan H (Tanaka, 2001). Kedua terminal tersebut berhubungan dengan rantai poliisoprena linier dalam NR dan membentuk percabangan atau topologi *net-net work*. Percabangan tersebut yang menentukan berat molekul karet alam. Interaksi kedua fungsional grup dihasilkan fraksi gel (Amnuaypornsi et al., 2009). Fraksi gel dalam karet alam diketahui sebagai ikatan silang alami protein dan fosfolipid pada dua kelompok ujung terminal rantai karet alam yang mewakili kandungan gel. Proses deproteinasi memutus percabangan yang berhubungan dengan grup fungsional (Tangpakdee, 1997) sehingga nilai kandungan gel rendah pada DPNR. Kandungan gel DPNR yang diproses dengan plasma solusi disajikan pada Gambar 5. Kandungan gel DPNR memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan HA-NR. Amnuaypornsi et al. (2009) melaporkan bahwa DPNR memiliki viskositas mooney dan kandungan gel yang lebih kecil dibandingkan leteks segar, akibat dikomposisi dari percabangan protein dan fosfolipid (Amnuaypornsi et al., 2009).

Kandungan gel DPNR menurun secara linier dengan besarnya pengaplikasian tegangan pada plasma solusi. Aplikasi voltase 10 kV menunjukkan penurunan kandungan gel terbesar.

Viskositas

Nilai viskositas DPNR direpresentasikan dengan nilai torsi minimum hasil uji rheometer MDR. Viskositas karet alam berhubungan dengan percabangan rantai polimer, berat molekul karet alam, dan kandungan gel (Amnuaypornsi et al., 2009; Xu et al., 2015). Penghilangan sebagian atau keseluruhan protein dan fosfolipid pada karet alam menurunkan berat molekul karet alam (Sansatsadeekul et al., 2011) dan kandungan gel (Amnuaypornsi et al., 2009), yang terepresentasi pada viskositas. Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai minimum *torque* DPNR lebih kecil dibandingkan HA-NR dan menurun seiring dengan kenaikan aplikasi voltase. Hasil ini selaras dengan penelitian Amnuaypornsi et al. (2009), dimana DPNR memiliki viskositas yang lebih kecil dibandingkan lateks segar akibat penghilangan protein dan fosfolipid. Penurunan nilai kandungan nitrogen dan viskositas (Gambar 5) membuktikan bahwa berat molekul karet menurun seiring proses deproteinasi melalui plasma solusi.



Gambar 5. Kandungan gel dan minimum *torque* HA-NR, DPNR 1 kV, DPNR 5 kV, dan DPNR 10 kV.

Figure 5. Gel content and minimum *torque* of HA-NR, DPNR 1 kV, DPNR 5 kV, and DPNR 10 kV.

KESIMPULAN DAN SARAN

Teknik plasma solusi dapat mendegradasi komponen non-karet pada karet alam. Perlakuan berbagai tegangan, yaitu 1,5 kV dan 10 kV, terbukti mampu mendegradasi bagian non-karet (protein dan fosfolipid) yang tampak pada menurunnya puncak serapan protein di spektra FT-IR, menurunnya kadar nitrogen, kandungan gel, dan viskositas DPNR 1 kV; DPNR 5 kV; dan DPNR 10 kV dibanding HA-NR. Penurunan tersebut sejalan dengan aplikasi tegangan plasma solusi pada proses terdeproteinasi. Hasil karakterisasi DPNR menunjukkan bahwa aplikasi tegangan 10 kV mampu mendegradasi 65,9% protein karet (HA-NR). Teknik plasma cukup efektif dalam pembuatan karet protein rendah mengingat cukup singkatnya proses dengan hanya ditambahkan 3 phr 10 % b/v non-ionik surfaktan pada HA-NR sebelum dideproteinasi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih diucapkan kepada Universitas Chulalongkorn yang telah memberikan ASEAN *Scholarship* dan *National Research Council of Thailand* untuk pendanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Aik-Hwee, E., Kawahara, S., & Tanaka, Y. (1993). Determination of low nitrogen content of purified natural rubber. *Journal of Natural Rubber Research*, 8, 109-109.
- Amnuaypornsrri, S., Nimpaiboon, A., & Sakdapipanich, J. (2009). Role of phospholipids and proteins on gel formation and physical properties of NR during accelerated storage. *Kgk Kautschuk Gummi Kunststoffe*, 62(3), 88.
- Archer, B., & Sekhar, B. (1955). The proteins of *Hevea brasiliensis* latex. 1. Protein constituents of fresh latex serum. *Biochemical Journal*, 61(3), 503-508.
- Chaikumpollert, O., Sae-Heng, K., Wakisaka, O., Mase, A., Yamamoto, Y., & Kawahara, S. (2011). Low temperature degradation and characterization of natural rubber. *Polymer Degradation and Stability*, 96(11), 1989-1995.
- Dinsmore, H., & Smith, D. C. (1948). Analysis of natural and synthetic rubber by infrared spectroscopy. *Analytical Chemistry*, 20(1), 11-24.
- Giguère, P. A. (1950). The infra-red spectrum of hydrogen peroxide. *The Journal of Chemical Physics*, 18(1), 88-92.
- Goossens, J., & Vogt, H. (1990). The coagulation mechanism of heat sensitive latices. *Colloids and Surfaces*, 51, 129-139.
- Imprastitichai, K., Thanawan, S., & Suchiva, K. (2009). Preparation and characterizations on natural rubber from natural rubber latex by using thermal drying method. *KKU Research Journal (Graduate Studies)*, 9(2), 59-64.
- Kinasih, N. A., Fathurrohman, M. I., & Winarto, D. A. (2017). Swelling behaviour in n-pentane and mechanical properties of epoxidized natural rubber with different epoxide content. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 223, 012002. doi:10.1088/1757-899x/223/1/012002

- Kinasih, N. A., & Magaraphan, R. (2021). Characterization of epoxidized natural rubber based on deproteinized natural rubber prepared with solution plasma technique. *PPC & Petromat Symposium 2021*, 8.
- Klinklai, W., Kawahara, S., Mizumo, T., Yoshizawa, M., Sakdapipanich, J. T., Isono, Y., & Ohno, H. (2003). Depolymerization and ionic conductivity of enzymatically deproteinized natural rubber having epoxy group. *European Polymer Journal*, 39(8), 1707-1712.
- Kovuttikulrangsie, S., Sahakaro, K., Intarakong, C., & Klinpituksa, P. (2004). PMMA blended and DPNR g PMMA coated DPNR and NRLA for dipping applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 93(2), 833-844.
- Liengprayoon, S., Vaysse, L., Jantarasunthorn, S., Wadeesirisak, K., Chaiyut, J., Srisomboon, S., Musigamart, N., Roytrakul, S., Bonfils, F., Char, C., & Bottier, C. (2021). Distribution of the non-isoprene components in the four *Hevea brasiliensis* latex centrifugation fractions. *Journal of Rubber Research*, 24(5), 759-769.
- Lu, F., & Hsu, S. (1987). A vibrational spectroscopic analysis of the structure of natural rubber. *Rubber Chemistry and Technology*, 60(4), 647-658.
- Ma, F., Wang, Z., Zhao, H., & Tian, S. (2012). Plasma depolymerization of chitosan in the presence of hydrogen peroxide. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(6), 7788-7797.
- Mahendra, I. P., Linh, M. K., Thang, N. N., Thuy, V. T., Trang, L. T., Thinh, Phuong, N. T. H., Kawahara, S., Yamamoto, Y., & Nghia, T. T. (2021). Protein removal from natural rubber latex with Fe₃O₄@ Al₂O₃ nanoparticle. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 32(2), 320-328.
- Malik, M. A., Ghaffar, A., & Malik, S. A. (2001). Water purification by electrical discharges. *Plasma Sources Science and Technology*, 10(1), 82-91. doi:10.1088/0963-0252/10/1/311
- Manroshan, S., Asrul, M., Vivayganathan, K., Mok, K.L., & Lim, E. (2008). The Effects of Surfactants in Deproteinized Natural Rubber Latex. Paper presented at the. 4th International Rubber Glove Conference & Exhibition 2008. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Marković, G., Marinović-Cincović, M., Jovanović, V., Samaržija-Jovanović, S., & Budinski-Simendić, J. (2013). NR/CSM/biogenic silica rubber blend composites. *Composites Part B: Engineering*, 55, 368-373.
- Morishita, T., Ueno, T., Panomsuwan, G., Hieda, J., Yoshida, A., Bratescu, M. A., & Saito, N. (2016). Fastest formation routes of nanocarbons in solution plasma processes. *Scientific Reports*, 6(1), 1-13.
- Nallasamy, P., & Mohan, S. (2004). Vibrational spectra of cis-1, 4-polyisoprene. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 29(1; PART A), 17-26.
- Nawamawat, K., Sakdapipanich, J. T., & Ho, C. C. (2010). Effect of deproteinized methods on the proteins and properties of natural rubber latex during storage. Paper presented at the Macromolecular Symposia.
- Nawamawat, K., Sakdapipanich, J. T., Ho, C. C., Ma, Y., Song, J., & Vancso, J. G. (2011). Surface nanostructure of *Hevea brasiliensis* natural rubber latex particles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 390(1), 157-166. doi:https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.09.021

- Ng, S.-C., & Gan, L.-H. (1981). Reaction of natural rubber latex with performic acid. *European Polymer Journal*, 17(10), 1073-1077.
- Ng, Y. T. (1992). RRIM test methods for standard Malaysian rubbers. Malaysia: Rubber Research Institute of Malaysia.
- Nun-anan, P., Wisunthorn, S., Pichaiyut, S., Vennemann, N., & Nakason, C. (2018). Novel approach to determine non-rubber content in *Hevea brasiliensis*: Influence of clone variation on properties of unvulcanized natural rubber. *Industrial Crops and Products*, 118, 38-47.
- Pornsunthorntawee, O., Katepetch, C., Vanichvattanadecha, C., Saito, N., & Rujiravanit, R. (2014). Depolymerization of chitosan-metal complexes via a solution plasma technique. *Carbohydrate Polymers*, 102, 504-512. doi:10.1016/j.carbpol.2013.11.025
- Prasertsung, I., Damrongsakkul, S., Terashima, C., Saito, N., & Takai, O. (2012). Preparation of low molecular weight chitosan using solution plasma system. *Carbohydrate Polymers*, 87(4), 2745-2749. doi:https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.11.055
- Rodebush, W., Keizer, C., McKee, F. S., & Quagliano, J. (1947). The reactions of the hydroxyl radical. *Journal of the American Chemical Society*, 69(3), 538-540.
- Rodebush, W., & Wahl, M. (1933). The reactions of the hydroxyl radical in the electrodeless discharge in water vapor. *The Journal of Chemical Physics*, 1(10), 696-702.
- Sansatsadeekul, J., Sakdapipanich, J., & Rojruthai, P. (2011). Characterization of associated proteins and phospholipids in natural rubber latex. *J Biosci Bioeng*, 111(6), 628-634. doi:10.1016/j.jbiosc.2011.01.013
- Tanaka, Y. (2001). Structural characterization of natural polyisoprenes: solve the mystery of natural rubber based on structural study. *Rubber Chemistry and Technology*, 74(3), 355-375.
- Tangpakdee, J. (1997). Purification of natural rubber. *J. Nat. Rubber Res.*, 12, 112-119.
- Tarachiwin, L., Sakdapipanich, J., Ute, K., Kitayama, T., Bamba, T., Fukusaki, E., Kobayashi, A., & Tanaka, Y. (2005). Structural characterization of α -terminal group of natural rubber. 1. decomposition of branch-points by lipase and phosphatase treatments. *Biomacromolecules*, 6(4), 1851-1857. doi:10.1021/bm058003x
- Varghese, S., Katsumura, Y., Makuuchi, K., & Yoshii, F. (2000). Production of soluble protein free latex by radiation process. *Rubber Chemistry and Technology*, 73(1), 80-88.
- Wei, Y.-C., Xia, J.-H., Zhang, L., Zheng, T.-T., & Liao, S. (2020). Influence of non-rubber components on film formation behavior of natural rubber latex. *Colloid and Polymer Science*, 298(9), 1263-1271.
- Wong, P., & Mantsch, H. (1988). High-pressure infrared spectroscopic evidence of water binding sites in 1, 2-diacyl phospholipids. *Chemistry and Physics of Lipids*, 46(3), 213-224.

- Xu, L., Huang, C., Luo, M., Qu, W., Liu, H., Gu, Z., Jing, L., Huang, G., & Zheng, J. (2015). A rheological study on non-rubber component networks in natural rubber. *Rsc Advances*, 5(111), 91742-91750.
- Yamamoto, Y., Sawada, T., & Kawahara, S. (2007). Graft-copolymerization of acrylonitrile onto surfaces of natural rubber particles using deproteinized natural rubber latex. *Kobunshi Ronbunshu*, 64(3), 155-160.
- Yapa, P., & Fernando, W. (1998). Enhancement of deproteinization of Hevea rubber by maturation of papain treated Hevea latex. *Vidyodaya J. of Sci.*, 7, 93-100.
- Yusof, N. H., Darji, D., Rasdi, F. R. M., & Nesan, K. V. B. (2021). Preparation and characterisation of liquid epoxidised natural rubber in latex stage by chemical degradation. *Journal of Rubber Research*, 24(1), 93-106.