

# PENCANGKOKAN N-ISOPROPILAKRILAMIDA PADA NIRTENUN LYOCELL DENGAN BANTUAN IRADIASI PLASMA LUCUTAN KORONA BERTEKANAN ATMOSFIR

## *GRAFTING OF N-ISOPROPYLACRILAMIDE ON LYOCELL NONWOVEN WITH THE ASSISTANCE OF ATMOSPHERIC CORONA DISCHARGE PLASMA IRRADIATION*

Jakariya Nurgraha<sup>1,2</sup>, Mohamad Widodo<sup>2</sup>, Hardiyanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Balai Besar Tekstil, Jalan Ahmad Yani No. 390 Bandung

<sup>2</sup>Politeknik STTT Bandung, Jalan Jakarta No. 31 Bandung

E-mail: jaka@kemenperin.go.id

Tanggal diterima: 4 April 2022, direvisi: 23 Juni 2022, disetujui terbit: 24 Juni 2022

### ABSTRAK

Suatu material tekstil dapat dimodifikasi menjadi tekstil cerdas terhadap perubahan suhu melalui pencangkokan polimer termoresponsif seperti N-isopropilakrilamida (NIPAM). Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses polimerisasi cangkok NIPAM pada nirtenu lyocell dengan bantuan iradiasi plasma. Dalam kegiatan penelitian ini, telah dilakukan upaya untuk mempolimerisasikan NIPAM menjadi p(n-isopropilakrilamida) atau PNIPAM sekaligus mencangkokkannya pada nirtenu lyocell dengan bantuan iradiasi plasma dari mesin plasma jenis lucutan korona bertekanan atmosfer. Metode penelitian meliputi iradiasi plasma pada permukaan nirtenu lyocell untuk menciptakan radikal bebas permukaan, perendaman NIPAM, pencucian, dan pengeringan nirtenu lyocell hasil proses. Pengujian nilai persentase kadar pencangkokan dan analisis morfologi serat dari nirtenu hasil proses dilakukan untuk mengetahui keberhasilan pencangkokan. Selain itu, keberhasilan polimerisasi NIPAM pada permukaan nirtenu lyocell juga dikonfirmasi melalui analisis gugus fungsi menggunakan spektrometer ATR-FTIR. Dari penelitian yang dilakukan, waktu perendaman dan metode pencucian berpengaruh terhadap kadar pencangkokan dari sampel yang dihasilkan. Diketahui bahwa nilai kadar pencangkokan paling tinggi sebesar 26,11%, yakni pada sampel nirtenu lyocell dengan perendaman NIPAM selama 24 jam tanpa pencucian. Citra SEM juga menunjukkan adanya NIPAM yang terdeposisi pada permukaan nirtenu lyocell. Sementara itu, hasil analisis gugus fungsi pada permukaan nirtenu lyocell hasil penelitian menunjukkan adanya gugus khas dari NIPAM, tetapi tidak dengan gugus khas dari PNIPAM. Hasil studi mengindikasikan bahwa proses pencangkokan telah berhasil, namun polimerisasi belum berhasil dilakukan.

**Kata kunci:** polimerisasi cangkok, NIPAM, nirtenu lyocell, plasma, kadar pencangkokan

### ABSTRACT

*A textile material can be modified into a smart textile against temperature changes through a grafting of thermoresponsive polymer such as N-isopropylacrylamide (NIPAM). This research aims to study plasma radiation-assisted graft polymerization NIPAM to lyocell nonwoven. In this research, efforts have been made to polymerize NIPAM into PNIPAM as well as graft it onto lyocell nonwoven with the assistance of plasma irradiation from an atmospheric corona discharge plasma machine. The research method consists of plasma irradiation on the surface of lyocell nonwoven to create surface free radicals, NIPAM immersion, washing, and drying of the treated lyocell nonwoven. Testing of grafting yield and analysis of fiber morphology from the treated nonwoven were carried out to determine the success of grafting. In addition, the success of NIPAM polymerization on the surface of lyocell nonwoven was confirmed through the functional group analysis using an ATR-FTIR spectrometer. From the research conducted, the immersion time and washing method affected the grafting yield of the resulting samples. It was found that the highest grafting yield was 26.11%, which was in lyocell nonwoven samples with NIPAM immersion for 24 hours without washing. SEM images also showed that there was a NIPAM deposited on the surface of lyocell nonwoven. Meanwhile, the results of the functional group analysis on the surface of lyocell nonwoven showed the presence of a typical NIPAM group, nevertheless there was no PNIPAM typical group. The results of the study indicate that the grafting process has been successful, but the polymerization has not been successful.*

**Keywords:** graft polymerization, NIPAM, lyocell nonwoven, plasma, grafting yield.

## PENDAHULUAN

Teknologi material cerdas dengan penggunaan *stimuli-responsive polymer* dewasa ini menjadi topik penelitian yang menarik dan berkembang.<sup>1</sup> *Stimuli-responsive polymers* disebut juga sebagai polimer cerdas karena mempunyai kemampuan dalam merespon atau memberikan tanggapan terhadap lingkungannya dengan mengubah sifat fisik dan atau kimianya. Perubahan-perubahan tersebut dapat terjadi apabila dipicu dengan berbagai kondisi lingkungan, seperti perubahan pH, suhu, gaya mekanik, adanya berbagai molekul kecil, dan medan magnet atau listrik.<sup>2</sup>

Di antara tanggapan terhadap rangsangan yang disebutkan di atas, sejauh ini suhu menjadi yang paling banyak dipelajari dan dimengerti.<sup>2</sup> *p(n-Isopropylacrilamide)* atau PNIPAM merupakan salah satu contoh *stimuli-responsive polymer* yang sensitif terhadap rangsangan suhu.<sup>3</sup> PNIPAM akan memberikan tanggapan berupa konformasi rantai molekulnya apabila suhu berada pada titik kritis yang dikenal dengan *Low Critical Solution Temperature* (LCST). Jika suhu lingkungan kurang dari LCST, maka rantai molekul PNIPAM berbentuk memanjang dan bersifat hidrofilik, sedangkan jika suhu lebih dari LCST, rantai molekul PNIPAM akan berubah menjadi menggulung dan bersifat hidrofobik. Diketahui PNIPAM mempunyai nilai LCST pada suhu 32°C.<sup>4</sup>

PNIPAM dapat disintesis dari monomernya dan dimodifikasi pada berbagai permukaan dengan berbagai cara, di antaranya dengan polimerisasi radikal bebas, polimerisasi yang dimediasi nitrooksida, polimerisasi anionik, polimerisasi *reversible addition-fragmentation chain transfer* (RAFT) dan polimerisasi transfer atom radikal (ATRF).<sup>5,6,7</sup> Salah satu strategi yang dapat digunakan adalah dengan polimerisasi cangkok jenis *grafting-from*. *Grafting-from* sendiri merupakan pendekatan yang dilakukan untuk mencangkokkan suatu monomer pada permukaan bahan sekaligus menginduksi monomer bereaksi polimerisasi dengan adanya suatu radikal bebas dari inisiator. Adapun mekanismenya adalah dengan menambatkan inisiator yang dapat menginisiasi timbulnya *sites* aktif pada permukaan bahan secara *in-situ* yang bersifat radikal. Radikal permukaan ini akan memulai proses polimerisasi cangkok monomer NIPAM melalui gugus vinil menjadi PNIPAM pada bahan yang dimodifikasi.<sup>8,9,10</sup>

Plasma bertekanan atmosfer dapat menciptakan elektron, radikal bebas, ion-ion positif dan negatif, atom dan molekul netral, serta foton. Spesies-spesies tersebut dapat bereksitasi dan dapat berinteraksi dengan permukaan bahan. Interaksi pada permukaan bahan akan menciptakan suatu efek permukaan tertentu, serta dapat terjadi pembentukan radikal bebas dan gugus-gugus reaktif

permukaan yang dapat dimanfaatkan untuk modifikasi permukaan bahan secara kimia melalui polimerisasi cangkok pembentukan radikal bebas. Seperti halnya yang telah dilakukan oleh Sun dkk. (2018), yang mencangkok NIPAM dengan kapas menggunakan iradiasi plasma yang terdiri dari perlakuan awal kain plasma atmosfer, pencelupan kain katun dengan larutan monomer NIPAM, dan perlakuan setelah plasma. Hasil analisisnya menunjukkan bahwa kain katun yang diproses memiliki sifat termoresponsif saat dibasahi dan *grafting yield*-nya dapat ditingkatkan dengan perlakuan berulang kali.<sup>11</sup> Selain itu, teknologi plasma dinilai sebagai teknologi yang ramah lingkungan karena prosesnya kering, tidak melibatkan air, hemat energi, serta tidak menghasilkan polusi.<sup>12</sup>

Lyocell merupakan salah satu serat turunan selulosa. Dibandingkan dengan serat yang lain, lyocell diklaim sebagai serat yang lebih ramah lingkungan baik dari segi proses produksinya maupun biodegradabilitasnya.<sup>13</sup> Bahkan sifat-sifat seperti kehalusan, penyerapan, ketahanan panas, kestabilan bentuk, dan daya celup lyocell jauh lebih baik daripada serat viskosa.<sup>14</sup> Di sisi lain, nirtunen merupakan jenis material tekstil yang serba guna. Nirtunen digunakan pada beberapa sektor, seperti rumah tangga, teknik sipil, dan kesehatan.<sup>15</sup> Menurut laporan Sengupta & Debnath (2019), permintaan nirtunen untuk bahan *personal hygiene care, beauty care, medical care*, dan lap pembersih rumah tangga meningkat secara besar-besaran dalam satu dekade, dimana lebih dari 30% diperuntukkan untuk produk kebersihan.<sup>16</sup>

Salah satu dari aplikasi tekstil pada produk kebersihan dan kesehatan adalah masker wajah kecantikan atau *facial sheet mask*. *Sheet mask* umumnya terdiri dari lembaran bahan tekstil yang direndam oleh bahan aktif atau nutrisi yang biasanya disebut sebagai serum.<sup>17</sup> Bahan tekstil hanya berfungsi sebagai media penyimpanan nutrisi dan menjaga supaya nutrisi tidak menguap secara cepat karena berada pada fasa cair.<sup>18</sup>

PNIPAM yang mempunyai kemampuan mengubah sifatnya dari hidrofilik ke hidrofobik berdasarkan perubahan suhu, dapat dimanfaatkan untuk aplikasi *smart facial sheet mask*. Ketika suhu lingkungan kurang dari LCST, maka bahan tekstil yang sudah dimodifikasi dengan PNIPAM akan bersifat hidrofilik dan akan memuat nutrisi dan menjaganya supaya tidak menguap.<sup>19</sup> Di sisi lain, ketika digunakan, maka nutrisi tersebut akan dikeluarkan secara mandiri oleh PNIPAM karena adanya kontak dengan suhu kulit tubuh manusia, yakni lebih dari suhu LCST.<sup>20</sup>

Karakteristik unik dari PNIPAM yang tanggap terhadap perubahan suhu dan nirtunen lyocell yang ramah lingkungan akan menjadi kajian menarik. Jika dikombinasikan, kedua bahan

tersebut memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan *sheet mask* cerdas. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah mencangkakkan serta mempolimerisasikan NIPAM pada permukaan nirtenun lyocell dengan bantuan iradiasi plasma korona bertekanan atmosfer untuk dapat diaplikasikan lebih lanjut sebagai *smart facial sheet mask*.

## METODE

### Bahan

Bahan tekstil yang digunakan pada studi ini adalah nirtenun lyocell dengan berat 39,59 gram/cm<sup>2</sup> dan tebal 0,4020 mm. Nirtenun lyocell tersebut merupakan donasi dari PT. Central Georgette Nusantara yang beralamat di Jalan Cibaligo KM.1,7 No. 45, Cibeureum, Kec. Cimahi Selatan, Kota Cimahi, Jawa Barat 40535. Selanjutnya, senyawa monomer N-isopropilakrilamida (NIPAM) 97% dibeli dari Sigma Aldrich Singapura (CAS Number 2210-25-5). Pelarut yang digunakan adalah 2-propanol/isopropil alkohol 100% (teknis) dari Brataco.

### Peralatan

Peralatan yang digunakan yaitu mesin plasma berjenis lucutan korona bertekanan atmosfer dengan elektroda titik-bidang berukuran 2 x 30 cm dan jarak yang dapat diatur serta bertegangan hingga 20 kV milik Balai Besar Tekstil, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Peralatan laboratorium yang digunakan yaitu perlengkapan gelas di antaranya gelas piala, gelas ukur, dan batang pengaduk. Selain itu, digunakan neraca analitik dengan ketelitian 0,0001 gram dari Chyo seri JL-180 dan oven merk Heraeus yang digunakan untuk keperluan penimbangan dan pengeringan.

Instrumen yang digunakan untuk karakterisasi hasil percobaan terdiri dari spektrometer FTIR dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). SEM yang digunakan untuk mengevaluasi morfologi permukaan serat hasil percobaan adalah merk JEOL dengan seri JSM-6510 milik Balai Besar Tekstil. Sementara itu, spektrometer yang digunakan untuk menganalisis gugus fungsi permukaan adalah spektrometer ATR-FTIR IRAffinity1S (Shimadzu) yang dilengkapi dengan pemisah berkas cahaya (*beam splitter*) KBr berlapis germanium dan detektor yang terbuat dari triglisin sulfat yang di-*dope* dengan lanthanum alfa alanin terdeuterasi (*DLATGS = Deuterated Lanthanum a Alanine-doped TriGlycine Sulphate*) milik Laboratorium Sintesa Kimia dan Polimer Politeknik STTT Bandung.



Gambar 1. Mesin plasma lucutan korona

### Percobaan

Percobaan diawali dengan proses paparan iradiasi plasma pada sampel nirtenun lyocell berukuran 2 x 30 cm selama 20 menit dengan jarak antar elektroda setinggi 15 mm.<sup>21</sup> Sampel hasil perlakuan plasma tersebut dipotong hingga berukuran 2 x 2 cm untuk selanjutnya ditimbang dan dicatat sebagai berat awal sampel ( $W_0$ ). Berikutnya, sampel direndam pada larutan NIPAM 4 M.<sup>11</sup> Larutan NIPAM tersebut disiapkan dengan melarutkan monomer NIPAM pada *isopropyl alcohol* dalam suhu ruangan. Proses perendaman dilakukan dalam dua kondisi waktu, yakni 40 menit dan 24 jam pada suhu ruangan. Setelah perendaman, sampel dikeluarkan untuk kemudian dicuci pada tiga kondisi pencucian yang berbeda dan dikeringkan. Ketiga kondisi tersebut yakni, tanpa pencucian (a), pencucian dengan air (b), dan pencucian dengan sabun (c). Pengeringan dilakukan pada suhu 60°C selama 2 jam di dalam oven.<sup>10</sup> Sampel yang sudah dikeringkan, disimpan di desikator untuk kemudian ditimbang hingga mendapatkan berat tetap dan dicatat sebagai berat akhir ( $W_1$ ).<sup>10</sup> Adapun jarak waktu dari preparasi sampel setelah perlakuan plasma hingga perendaman adalah sekitar 10 menit.

### Pengujian dan Karakterisasi

Salah satu parameter keberhasilan pencangkakan adalah kadar pencangkakan atau *grafting yield*. Perhitungan kadar pencangkakan dilakukan dengan metode gravimetri. Berat sampel setelah perlakuan ( $W_1$ ) dibandingkan dengan berat awal sebelum perlakuan ( $W_0$ ). Perhitungan kadar menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kadar Pencangkakan (\%)} = ((W_1 - W_0) / W_0) \times 100\%$$

Karakterisasi gugus fungsi dan evaluasi morfologi permukaan serat hasil percobaan dilakukan menggunakan alat ATR-FTIR dan SEM.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Salah satu parameter keberhasilan pencangkakan adalah bertambahnya berat sampel.

Pertambahan berat tersebut dinyatakan sebagai persentase kadar pencangkokan atau % *grafting yield* (GY). Tabel 1 berikut menunjukkan data persentase kadar pencangkokan serta kadar pencangkokan spesifik hasil proses polimerisasi cangkok menggunakan metode iradiasi plasma.

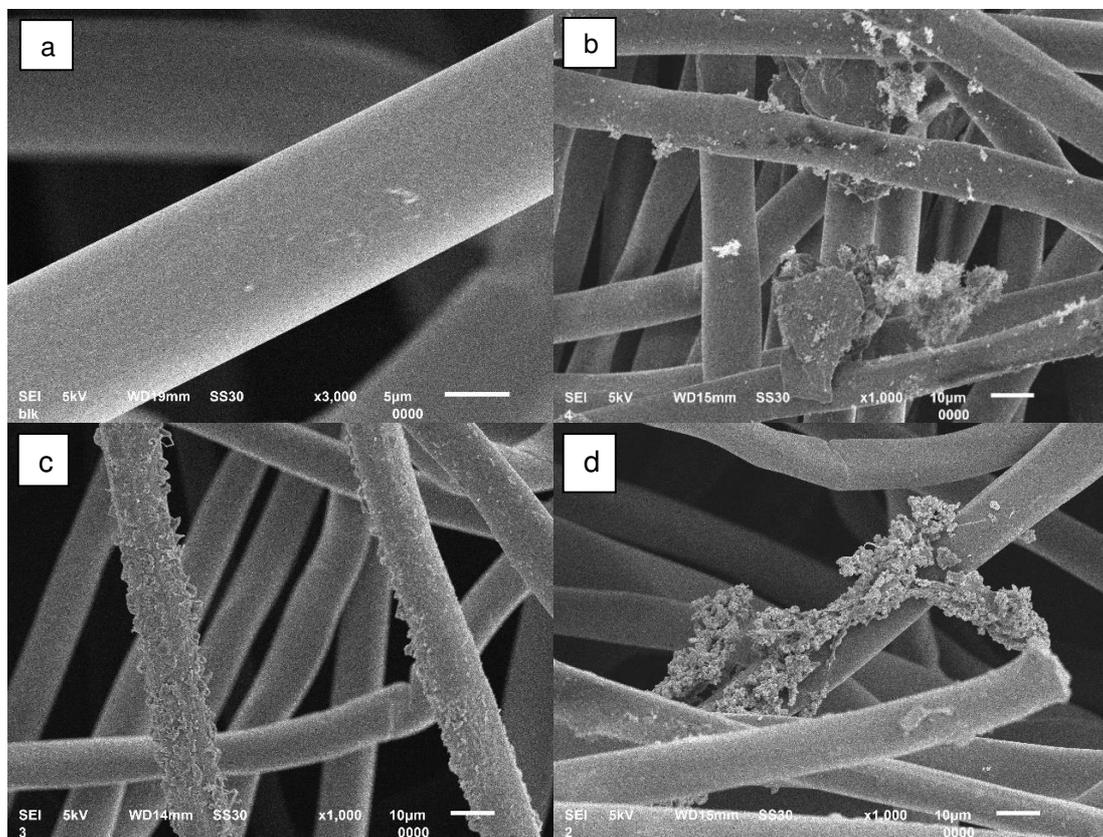
**Tabel 1.** Data persentase kadar pencangkokan

Waktu Perendaman NIPAM	Kadar Pencangkokan (%)		
	Tidak Cuci	Cuci Air	Cuci Sabun
40 Menit	23,03	0,64	0
24 Jam	26,11	1,87	0,67

Kondisi waktu perendaman NIPAM yang dilakukan, yakni pertama selama 40 menit dan berikutnya selama 24 jam. Selain itu, dilakukan juga tiga kondisi pencucian setelah perendaman NIPAM. Proses pencucian dilakukan untuk membuang monomer yang tidak tercangkok secara sempurna. Pada Tabel 1, terlihat bahwa ada perbedaan nilai persentase kadar pencangkokan antara dua kondisi waktu perendaman. Waktu perendaman selama 24 jam menghasilkan nilai persentase kadar pencangkokan yang lebih tinggi dibandingkan dengan waktu perendaman selama 40 menit pada semua kondisi pencucian. Selain faktor

radikal bebas dari perlakuan plasma dan juga jarak waktu antara perlakuan plasma hingga ke perendaman, nilai persentase kadar pencangkokan yang lebih tinggi pada waktu perendaman selama 24 jam ini disebabkan karena waktu yang diberikan untuk proses polimerisasi cangkok monomer NIPAM pada nirtenun lyocell lebih lama, sehingga memungkinkan terjadinya interaksi dan reaksi polimerisasi cangkok yang lebih banyak.<sup>22,23</sup> Di sisi lain, perbedaan waktu yang terlalu jauh mengakibatkan tren peningkatan persentase kadar pencangkokan belum dapat dipelajari. Adapun untuk melihat keberhasilan proses polimerisasi, sampel akan diuji lebih lanjut dengan analisis gugus fungsi permukaan menggunakan spektrofotometer ATR-FTIR.<sup>24</sup>

Pada kondisi pencucian, data menunjukkan bahwa pencucian memberikan pengaruh terhadap nilai persentase kadar pencangkokan. Sampel yang diperlakukan tanpa pencucian memiliki kadar pencangkokan yang paling tinggi dibandingkan dengan pencucian air dan pencucian sabun. Sedangkan sampel dengan pencucian sabun menunjukkan nilai kadar pencangkokan yang paling kecil, bahkan nilainya nihil. Hal ini dikarenakan masih adanya monomer yang tidak tercangkok secara sempurna dan atau monomer yang belum terpolimerisasi secara sempurna.



**Gambar 2.** Citra SEM pada serat (a) *untreated lyocell*, (b) *grafted lyocell* sebelum cuci (sampel tanpa pencucian), (c) *grafted lyocell* setelah dicuci air, (d) *grafted lyocell* setelah dicuci sabun

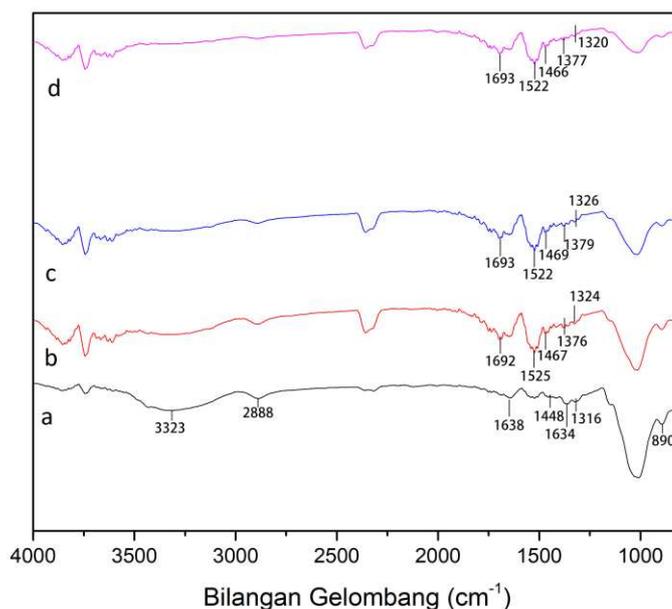
### Morfologi Serat

Untuk mengkonfirmasi nilai persentase pengcangkakan yang nihil pada sampel dengan pencucian sabun, serta untuk melihat penampakan morfologi pada sampel lainnya, telah dilakukan uji morfologi serat menggunakan SEM. Gambar 2 menunjukkan citra SEM dari sampel sebelum dan setelah perendaman NIPAM selama 40 menit dengan berbagai kondisi pencucian. Gambar 2 (a) memperlihatkan morfologi serat lyocell sebelum perlakuan hingga perbesaran 3000x terlihat bersih dan halus tanpa adanya kontaminasi ataupun deposit dari bahan lainnya. Berikutnya Gambar 2 (b) menunjukkan sampel tanpa pencucian, terlihat kumpulan-kumpulan NIPAM pada hampir semua bagian seratnya. Hal ini disebabkan karena tidak dilakukannya proses pencucian, sehingga NIPAM yang tidak tercangkok sempurna belum terseleksi dan masih berkumpul dengan NIPAM yang sudah tercangkok, seperti yang terlihat pada citra SEM. Pada sampel dengan pencucian air sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 (c), terlihat distribusi NIPAM yang tertempel pada permukaan serat lebih rata. Tidak hanya itu, NIPAM yang menempel memiliki dimensi yang lebih kecil, sehingga lebih mirip sebagai serpihan yang menempel secara merata di permukaan serat. Hal ini disebabkan karena monomer yang tidak tercangkok sudah terseleksi oleh adanya proses pencucian. Selain itu, dengan NIPAM yang menempel menjadi lebih kecil ukurannya dan lebih sedikit, hal ini sekaligus mengkonfirmasi terjadinya pengurangan nilai persentase kadar pencangkakan pada sampel dengan perlakuan pencucian, sebagaimana yang tersaji pada Tabel 1.

Citra SEM ini juga dapat mengkonfirmasi nilai persentase kadar pengcangkakan yang nihil pada sampel dengan perlakuan pencucian sabun. Terlihat pada Gambar 2 (d) masih terlihat deposit NIPAM pada permukaan serat sampel, namun kemungkinan jumlah NIPAM yang tercangkokkan pada permukaan serat tersebut terlalu sedikit sehingga tidak terdeteksi oleh neraca analitik. Di samping itu, kemungkinan lainnya adalah karena adanya helai-helaian serat yang terlepas ketika proses dilakukan, sehingga berat sampel berkurang dan mempengaruhi hasil perhitungan persentase kadar pencangkakan.

### Analisis Gugus Fungsi Permukaan

Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan untuk menilai keberhasilan sintesis monomer NIPAM menjadi poli-NIPAM adalah dengan melihat gugus fungsinya melalui analisis gugus fungsi permukaan menggunakan spektrometer ATR-FTIR. Beberapa literatur menyebutkan bahwa puncak serapan utama yang khas dari spektra NIPAM adalah pada kisaran bilangan gelombang 1680–1620  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan  $\text{C}=\text{C}$  stretching.<sup>25,26</sup> Puncak serapan tersebut akan menghilang dalam spektra FTIR apabila NIPAM telah berhasil dipolimerisasi menjadi poli-NIPAM atau PNIPAM. Hal tersebut terjadi karena reaksi polimerisasi yang terjadi antar radikal monomer dan dibentuk oleh pembukaan ikatan rangkap selama proses polimerisasi adisi radikal bebas. Puncak serapan baru yang akan muncul adalah pada sekitaran 1638  $\text{cm}^{-1}$  yang disebabkan oleh adanya peregangan gugus amida karbonil.<sup>25,24,27</sup>



**Gambar 3.** Spektra FTIR lyocell cangkok NIPAM: (a) lyocell blangko, (b) *grafted* lyocell sebelum cuci (sampel tanpa pencucian), (c) *grafted* lyocell setelah dicuci air, (d) *grafted* lyocell setelah dicuci sabun

**Tabel 2.** Gugus dan bilangan gelombang khas PNIPAM<sup>26</sup>

Gugus	Bilangan gelombang (cm <sup>-1</sup> )
C-H <i>asymmetric stretching</i>	2970–2950
C-H <i>symmetric stretching</i>	2880–2860
C=O (amida I)	1630-1635
N-H <i>bending</i> (amida II)	1650–1550
C-N <i>stretching</i> (amina aromatik II)	1350–1280
CH <sub>2</sub> -	1485–1445
-CH <sub>3</sub>	1380–1370

Pada Gambar 3, terdapat tiga spektra dari sampel percobaan dengan kondisi waktu perendaman NIPAM selama 40 menit ditambah satu spektra sampel lyocell kontrol. Pada ketiga gambar tersebut, tidak ditemukan puncak serapan di sekitaran bilangan gelombang 1638 cm<sup>-1</sup> yang dapat mengkonfirmasi keberhasilan polimerisasi NIPAM menjadi PNIPAM. Namun, puncak-puncak serapan khas dari NIPAM seperti N-H *bending*, C-N *stretching*, CH<sub>2</sub>- dan -CH<sub>3</sub> terdeteksi pada tiap-tiap spektra sampel. Berdasarkan literatur, N-H *bending* berada pada bilangan gelombang 1540 cm<sup>-1</sup>, C-N *stretching* pada bilangan gelombang 1366 cm<sup>-1</sup>, serta bilangan gelombang 1460 dan 1386 cm<sup>-1</sup> untuk masing-masing CH<sub>2</sub>- dan -CH<sub>3</sub>.<sup>28</sup> Pada literatur lain, disebutkan bahwa gugus-gugus tersebut mempunyai rentang bilangan gelombang sebagaimana yang ditampilkan oleh Tabel 2.<sup>26</sup> Adapun pada spektra sampel percobaan, gugus N-H *bending* terdeteksi pada 1525 dan 1522 cm<sup>-1</sup>. Sementara itu, gugus C-N *stretching* pada bilangan gelombang 1324, 1326, dan 1320 cm<sup>-1</sup>. Terakhir, untuk CH<sub>2</sub>- terdeteksi pada bilangan gelombang 1467, 1469, dan 1466 cm<sup>-1</sup> serta -CH<sub>3</sub> terdeteksi pada bilangan gelombang 1376, 1379, dan 1377 cm<sup>-1</sup>.

## KESIMPULAN

Pada penelitian ini, NIPAM telah berhasil dicangkokkan pada permukaan nirtunen lyocell dengan bantuan perlakuan plasma lucutan korona bertekanan atmosfer, ditinjau dari hasil perhitungan persentase kadar pencangkokan dan citra SEM. Namun, berdasarkan analisis gugus fungsi permukaan menggunakan FTIR, spektra yang terbentuk tidak menunjukkan keberhasilan proses polimerisasi NIPAM menjadi PNIPAM.

Hal tersebut kemungkinan terjadi karena dua faktor. Pertama, radikal bebas yang terbentuk dari perlakuan plasma belum mampu untuk menginisiasi terjadinya proses polimerisasi. Kedua, adanya jarak waktu antara dari perlakuan plasma hingga ke perendaman mengakibatkan radikal-radikal bebas tersebut berinteraksi dengan udara sekitar dan menjadi berkurang, sehingga mempengaruhi kinerjanya dalam menginisiasi proses polimerisasi. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, disimpulkan bahwa proses pencangkokan NIPAM pada permukaan nirtunen lyocell telah berhasil, tetapi NIPAM tidak terpolimerisasi menjadi PNIPAM.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT. Central Georgette Nusantara yang telah mendonasikan sampel nirtunen lyocell untuk keperluan penelitian ini.

## PUSTAKA

- Zhou, Y. *et al.* Stimuli-Responsive Nanoplatform-Assisted Photodynamic Therapy Against Bacterial Infections. *Frontiers in Medicine* vol. 8 (2021).
- Wei, M., Gao, Y., Li, X. & Serpe, M. J. Stimuli-responsive polymers and their applications. *Polym. Chem.* **8**, 127–143 (2017).
- Halperin, A., Kröger, M. & Winnik, F. M. Poly(N-isopropylacrylamide) Phase Diagrams: Fifty Years of Research. *Angew. Chemie - Int. Ed.* **54**, (2015).
- Oliveira, T. E. De, Mukherji, D., Kremer, K. & Netz, P. A. Effects of stereochemistry and copolymerization on the LCST of PNIPAm Effects of stereochemistry and copolymerization on the LCST of PNIPAm. **034904**, (2017).
- Chang, D. & Okano, T. 5.16 Medical applications of cell sheet engineering. in *Comprehensive Biomaterials II* (2017). doi:10.1016/B978-0-08-100691-7.00131-2.
- Virtanen, O. L. J. *et al.* Direct Monitoring of Microgel Formation during Precipitation Polymerization of N-Isopropylacrylamide Using in Situ SANS. *ACS Omega* **4**, (2019).
- Spasojević, M., Vorenkamp, J., Jansen, M. R. P. A. C. S., de Vos, P. & Schouten, A. J. Synthesis and phase behavior of poly(N-isopropylacrylamide)-b-poly(L-lysine hydrochloride) and poly(N-isopropylacrylamide-co-acrylamide)-b-poly(L-lysine hydrochloride). *Materials (Basel)*. **7**, 5305–5326 (2014).

8. Macchione, M. A., Biglione, C. & Strumia, M. Design, synthesis and architectures of hybrid nanomaterials for therapy and diagnosis applications. *Polymers (Basel)*. **10**, 1–34 (2018).
9. Carrillo, F., Colom, X., Suñol, J. J. & Saurina, J. Structural FTIR analysis and thermal characterisation of lyocell and viscose-type fibres. *Eur. Polym. J.* **40**, 2229–2234 (2004).
10. Primadi, D., Widodo, M. & Noerati, N. Pencangkakan Poli (N-Isopropilakrilamida) Pada Jaring Raschel Polietilena Menggunakan Plasma Lucutan Korona Bertekanan Atmosfir. *Texere* **19**, 46–61 (2021).
11. Sun, X., Denhartog, E., Zhang, X. & Mccord, M. Applied Surface Science Study of poly ( N-isopropylacrylamide ) grafted cotton fabrics initiated by atmospheric pressure plasma. *Appl. Surf. Sci.* **453**, 182–191 (2018).
12. Zille, A. textiles. (2020).
13. Edgar, K. J. & Zhang, H. Antibacterial modification of Lyocell fiber : A review. *Carbohydr. Polym.* **250**, 116932 (2020).
14. Zhang, S., Chen, C., Duan, C., Hu, H. & Li, H. Regenerated Cellulose by the Lyocell Process , a Brief Review of the Process and Properties. **13**, 4577–4592 (2018).
15. Jp, S. Nonwoven: A Versatile Fabric. *J. Text. Sci. Eng.* **04**, 4–5 (2014).
16. Melani, L. & Kim, H. J. The surface softness and mechanical properties of wood pulp–lyocell wet-laid nonwoven fabric. *J. Text. Inst.* **112**, 1191–1198 (2021).
17. Morganti, P., Morganti, G., Chen, H. & Gagliardini, A. Beauty Mask : Market and Environment. 1–10 (2019).
18. Nilforoushzadeh, M. A. *et al.* Skin care and rejuvenation by cosmeceutical facial mask. *J. Cosmet. Dermatol.* **17**, 693–702 (2018).
19. Futscher, M. H., Philipp, M., Müller-Buschbaum, P. & Schulte, A. The Role of Backbone Hydration of Poly(N-isopropyl acrylamide) Across the Volume Phase Transition Compared to its Monomer. *Sci. Rep.* **7**, 1–10 (2017).
20. Liu, B. A Study Thermosensitive Poly(N-Isopropylacrilamide)/Polyurethane Hydrogel Modified Nonwoven Fabric. Thesis. The Hongkong Polytechnic University. (2006).
21. Prayudie, U. & Novarini, E. Sistem Plasma Non Termal Tekanan Atmosfer Dengan Surface Modification of Polyester Fibers Using Non Thermal Atmospheric Pressure Plasma System With Corona Discharge. *Modif. Permukaan Serat Poliester Menggunakan Sist. Plasma Non Termal Tekanan Atmos. Dengan Metod. Lucutan Korona Oleh Ionis. Udar.* **Vol. 30 No**, 45–54 (2015).
22. Korpayev, S., Kavaklı, C., Çolak, Ş. & Kavaklı, P. A. Preparation and characterization of ethylenediamine modified glycidyl methacrylate-grafted nonwoven cotton fabric adsorbent. *Cellulose* **25**, 813–828 (2018).
23. Habib, S. Surface Functionalization of a Polyurethane Surface via Radio-Frequency Cold Plasma Treatment Using. (2020) doi:10.3390/coatings10111067.
24. Genç, S. D. & Aksoy, S. A. Synthesis of poly ( N-isopropylacrylamide ) polymer for fabrication of thermo-responsive cotton fabric. **46**, 385–397 (2021).
25. Jadhav, S. A., Brunella, V., Miletto, I., Berlier, G. & Scalarone, D. Synthesis of poly(N-isopropylacrylamide) by distillation precipitation polymerization and quantitative grafting on mesoporous silica. *J. Appl. Polym. Sci.* **133**, 2–10 (2016).
26. Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R. & Ragadhita, R. How to read and interpret ftir spectroscopy of organic material. *Indones. J. Sci. Technol.* **4**, 97–118 (2019).
27. Demirbağ, S. & Alay Aksoy, S. Fabrication of thermoresponsive cotton graft PNIPAA fabric. *J. Text. Inst.* **110**, 171–178 (2019).
28. Shah, L. A., Farooqi, Z. H., Naeem, H., Shah, S. M. & Siddiq, M. Synthesis and characterization of poly(N-isopropylacrylamide) hybrid microgels with different cross-linker contents. *J. Chem. Soc. Pakistan* **35**, 1522–1529 (2013).

