

## KARAKTERISTIK NANOSERAT SELULOSA DARI AMPAS TAPIOKA DAN APLIKASINYA SEBAGAI PENGUAT FILM TAPIOKA

### CHARACTERISTICS OF CELLULOSE NANOFIBERS FROM CASSAVA PULP AND ITS USE AS TAPIOCA-FILM REINFORCEMENT

Rumpoko Wicaksono<sup>1\*</sup>, Khaswar Syamsu<sup>2)</sup>, Indah Yuliasih<sup>2)</sup>, Muhamad Nasir<sup>3)</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman  
E-mail: rumpoko@unsoed.net

<sup>2</sup>Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor

<sup>3</sup>Pusat Penelitian Kimia LIPI, Bandung

#### ABSTRACT

*Cellulose nanofibers were isolated from cassava pulp. The objectives of this study were to study the physical properties of cellulose nanofibers and to determine the effect of its application as filler on mechanical properties of tapioca-film produced. Cellulose nanofibres from cassava pulp were obtained through a series of chemical treatments (alkali treatment and bleaching) and mechanical treatment (high velocity mixer). The cassava pulp cellulose nanofibers were treated to have diameters in the range of 20-30 nm and estimated lengths of several micrometers. Zeta potential measurement indicated that cellulose nanofibers suspension had good stability. Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopic of cellulose nanofibers demonstrated that the chemical treatment led to partial removal of hemicelluloses and lignin from the structure of fibers. XRD results revealed that chemical treatment also improved crystallinity of fibers to 33.25%. It was observed that the addition of fiber improved of tensile strength of films. The highest tensile strength of film was achieved by the addition of 3% cellulose nanofibers (22.41 MPa). The addition of cellulose nanofibers up to 3% had no effect on elongation at break of the film.*

*Keywords: cellulose nanofibers, cassava pulp, tapioca-film*

#### ABSTRAK

Nanoserat selulosa telah diisolasi dari ampas tapioka dengan tujuan untuk mempelajari sifat fisiknya dan untuk mengetahui pengaruh aplikasinya sebagai bahan pengisi terhadap sifat mekanis film tapioka yang dihasilkan. Nanoserat selulosa diperoleh melalui serangkaian metode kimiawi (perlakuan alkali dan pemucatan) dan mekanis (*mixer* berkecepatan tinggi). Diameter nanoserat selulosa yang diperoleh berukuran 20-30 nm dan panjangnya diperkirakan beberapa mikrometer. Pengukuran *zeta potential* menunjukkan bahwa suspensi nanoserat selulosa memiliki kestabilan yang baik. Pengamatan menggunakan spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) menunjukkan bahwa perlakuan kimia menyebabkan penghilangan sebagian hemiselulosa dan lignin dari struktur serat. Hasil XRD mengungkapkan bahwa perlakuan kimia juga meningkatkan kristalinitas serat, yaitu menjadi 33,25%. Penambahan nanoserat selulosa dapat meningkatkan kuat tarik film tapioka. Kuat tarik tertinggi film dicapai pada penambahan nanoserat selulosa 3% (22,41 MPa). Penggunaan nanoserat selulosa sampai 3% tidak berpengaruh terhadap pemanjangan putus film.

Kata kunci: nanoserat selulosa, ampas tapioka, film tapioka

#### PENDAHULUAN

Film plastik merupakan salah satu jenis kemasan yang banyak digunakan. Penggunaan plastik jenis tersebut umumnya hanya dalam waktu singkat dan jarang digunakan kembali. Peningkatan kepedulian terhadap lingkungan mendorong pengembangan kemasan ramah lingkungan. Salah satu bahan yang banyak digunakan sebagai bahan baku maupun sebagai bahan campuran dalam pembuatan film ramah lingkungan adalah pati. Pati mudah diperoleh, murah, dapat diperbarui, dan dapat terbiodegradasi, sehingga berpotensi sebagai alternatif pengganti plastik sintetis untuk aplikasi pengemasan.

Tapioka (pati ubi kayu) merupakan salah satu jenis pati yang dapat digunakan sebagai bahan baku kemasan ramah lingkungan. Film berbahan dasar pati merupakan salah satu jenis bioplastik yang memiliki kelemahan yang mendasar, antara lain bersifat higroskopis dan sifat mekanisnya lebih buruk dibandingkan dengan plastik konvensional. Pemanfaatan serat sebagai bahan pengisi diharapkan dapat berperan untuk memperbaiki sifat fisik dan mekanis film berbasis pati. Hal ini didasarkan dari hasil penelitian yang menunjukkan bahwa serat selulosa dapat digunakan sebagai penguat pada berbagai polimer antara lain polietilen (Prachayawarakorn *et al.*, 2010), karet alam (Pasquini *et al.*, 2010), dan polipropilen (Reddy dan Yang, 2009).

\*Penulis untuk korespondensi

Penggunaan serat asal limbah pertanian selain menjadi alternatif pemanfaatan limbah, juga diharapkan dapat mengurangi eksploitasi hutan untuk memenuhi kebutuhan serat alam bagi industri. Selain itu, limbah pengolahan hasil pertanian pada umumnya juga mengandung sedikit lignin karena sudah terbuang pada proses pengolahan, sehingga memudahkan dalam mengekstraksi serat. Salah satu sumber serat yang berasal dari limbah industri pertanian adalah ampas tapioka (onggok).

Ampas tapioka merupakan sisa ekstraksi industri tapioka. Ekstraksi tapioka dari 100 kg ubi kayu menghasilkan tapioka kasar sekitar 22 kg dan limbah padat berupa ampas sebanyak 54,5 kg (Fauzi *et al.*, 2010). Ampas tapioka hasil samping industri tapioka di Indonesia di tahun 2011 mencapai 11.328.986 kg (BPS, 2013). Komponen utama ampas tapioka adalah pati sisa ekstraksi ( $\pm$  60% basis kering) dan serat ( $\pm$ 18 % basis kering) (Rattanachomsri *et al.*, 2009). Berdasarkan data tersebut, maka serat yang berasal dari ampas tapioka berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku industri untuk produk tertentu, misalnya sebagai bahan penguat plastik.

Perkembangan aplikasi nanoteknologi di berbagai bidang, menarik peneliti untuk mengisolasi serat berukuran nano. Penggunaan nanoserat selulosa dalam film tapioka diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penguatan akibat perubahan sifat fungsional bahan, terkait dengan perubahan sifat dispersinya (Lin *et al.*, 2009) dan peningkatan luas permukaan total bahan pengisi yang dapat memfasilitasi terbentuknya interaksi yang lebih besar dengan bahan lain (Liang dan Pearson, 2009). Oleh karena itu, penelitian tentang aplikasi nanoserat selulosa dari ampas tapioka sebagai bahan pengisi film berbasis tapioka menarik untuk dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari sifat fisik nanoserat selulosa dari ampas tapioka dan untuk mengetahui pengaruh aplikasinya sebagai bahan pengisi terhadap sifat mekanis film tapioka yang dihasilkan.

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan meliputi tapioka dan ampas tapioka yang diperoleh dari industri tapioka di Kabupaten Purbalingga, Jawa Tengah, natrium klorit ( $\text{NaClO}_2$ ), kalium hidroksida (KOH), sorbitol, dan akuades. Instrumen pengujian yang digunakan meliputi *Scanning Electron Microscope* (SEM) Zeiss EVO<sup>®</sup> 50, *Transmission Electron Microscope* (TEM) JEOL JEM-1400, Delsa Nano C Beckman Coulter, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) *spectrometer* Bruker Tensor 37, *X-ray diffractometer* XRD-7000 Shimadzu, dan *Zwick Instrument*. Alat pembantu yang digunakan dalam isolasi nanoserat selulosa dan pembuatan film meliputi *beaker glass*,

*hot plate stirrer*, termometer, cetakan film, dan *cabinet dryer*.

### Isolasi Nanoserat Selulosa

Sebanyak 10 g ampas tapioka lolos ayak 100 mesh direndam dan diaduk dalam larutan KOH 4% pada suhu 80°C satu jam. Selanjutnya bahan dipucatkan (*bleaching*) sebanyak dua kali dengan  $\text{NaClO}_2$  5% pada suhu 70°C masing-masing selama 1 jam sambil diaduk. Bahan setelah dicuci kembali diberi perlakuan alkali dengan KOH 4% pada suhu 80°C selama selama satu jam, kemudian dicuci untuk menghilangkan residu alkali. Tahap akhir berupa perlakuan mekanis, bahan dihomogenisasi menggunakan *mixer* dengan kecepatan 22.000 rpm selama 10 menit.

### Pembuatan Film

Film dibuat dengan metode *casting*, yaitu pencetakan pada pelat cetakan dan dikeringkan, sehingga terbentuk lembaran film. Tapioka sebanyak 5% (basis kering) dipanaskan dalam akuades pada suhu 80°C sambil diaduk selama 15 menit. Nanoserat selulosa ditambahkan sebanyak 0%, 1%, 2%, dan 3% dari berat kering tapioka. Sorbitol ditambahkan sebanyak 1% dari total larutan film. Larutan film dituangkan ke permukaan cetakan dengan ketebalan  $\pm$  5 mm. Pengeringan dilakukan pada suhu 50°C selama 12 jam menggunakan *cabinet dryer*. Film yang terbentuk selanjutnya dilepas dari cetakan dan disimpan dalam wadah kedap udara. Film dengan bahan pengisi ampas tapioka juga dibuat sebagai pembanding. Ampas tapioka lolos ayak 100 mesh digunakan sebanyak 1%, 2%, dan 3% dari berat kering tapioka.

### Karakterisasi Nanoserat Selulosa dan Film Tapioka

Sifat fisik ampas tapioka dan nanoserat selulosa yang diamati meliputi morfologi serat, nilai *zeta potential*, spektra inframerah, dan difraksi sinar X. Sifat mekanis film yang diamati meliputi kuat tarik dan pemanjangan putus film.

### Pengamatan Mikroskopis

Morfologi ampas tapioka diamati menggunakan SEM dengan voltase akselerasi elektron 1 kV, sedangkan morfologi nanoserat selulosa diamati dengan menggunakan TEM dengan voltase akselerasi elektron 100 kV. Larutan amonium molibdat 1% ditambahkan pada sampel pengamatan menggunakan TEM untuk memperjelas gambar yang dihasilkan.

### Pengukuran Zeta Potential

Sampel berupa suspensi nanoserat selulosa diukur dalam wadah berupa *flow cell*. Instrumen mengukur mobilitas nanoserat selulosa dalam medan listrik dan dikonversi menjadi nilai *zeta potential*.

**Spektroskopi FTIR**

Sampel dibentuk *pellet* dengan penambahan KBr. Pemindaian dilakukan pada bilangan gelombang 4000-400 cm<sup>-1</sup>.

**Difraksi sinar X**

Pola difraksi sinar-X sampel diamati pada posisi statis menggunakan radiasi Cu K $\alpha$  ( $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$ ) pada 40 kV, 30 mA. Pemindaian dilakukan pada kisaran  $2\theta = 5-40^\circ$  dengan kecepatan 2 $^\circ$ /menit. Derajat kristalisasi diperoleh dengan membandingkan luas puncak kristal terhadap luas kurva total.

**Kuat Tarik dan Pemanjangan Putus**

Pengujian dilakukan pada sampel berbentuk dayung (*dumbbell*) dengan kecepatan penarikan 10 mm/menit. Nilai kuat tarik dihitung dengan membagi gaya maksimum saat bahan uji putus (Newton) dibagi dengan luas penampang bahan uji (mm<sup>2</sup>), yaitu :

$$\text{Kuat tarik (MPa)} = \frac{\text{F maksimum (Newton)}}{\text{Luas section area (mm}^2\text{)}}$$

Pemanjangan putus dihitung dengan rumus (Davis, 2004):

$$\text{Pemanjangan putus (\%)} = \frac{\text{panjang akhir saat putus} - \text{panjang mula-mula}}{\text{panjang mula-mula}} \times 100\%$$

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

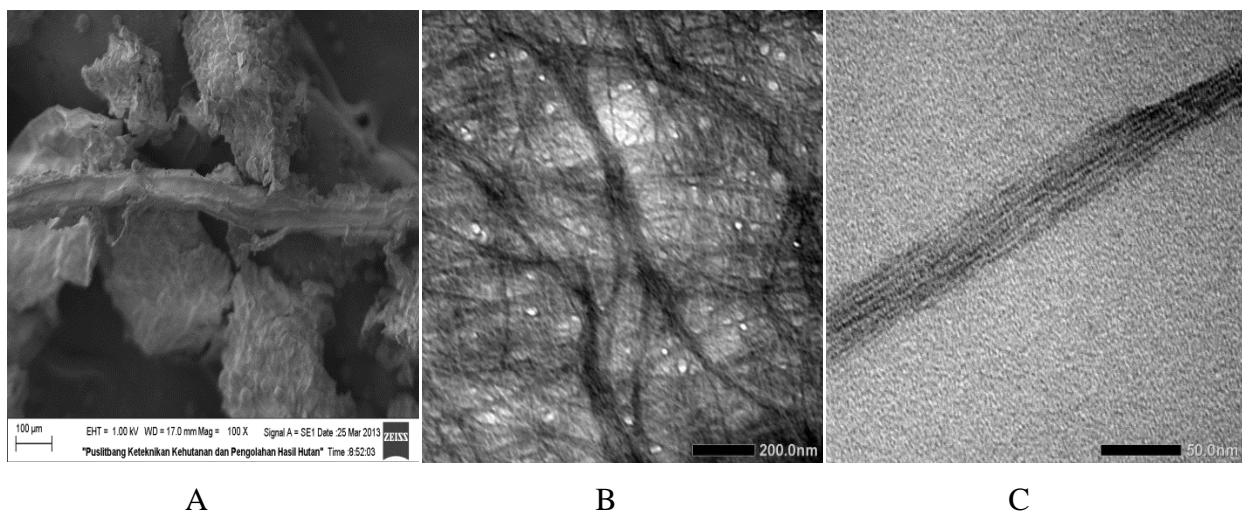
**Sifat Fisik Nanoserat Selulosa**

Metode isolasi dengan perlakuan kimiawi dan mekanis yang diterapkan pada ampas tapioka diarahkan untuk membentuk serat berukuran nano atau nanoserat selulosa. Pengamatan sifat fisik nanoserat selulosa dilakukan dengan menggunakan SEM dan TEM untuk melihat morfologi nanoserat selulosa, pengukuran *zeta potential* untuk mengetahui kestabilan suspensi nanoserat selulosa, pemindaian spektra inframerah untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada nanoserat selulosa, dan difraksi sinar X untuk mengetahui kristalinitas nanoserat selulosa.

**Morfologi Nanoserat Selulosa**

Pengamatan morfologi ampas tapioka dengan menggunakan mikroskop elektron sebelum dan setelah perlakuan pembentukan nanoserat selulosa dapat dilihat pada Gambar 1. Diameter serat ampas tapioka tampak sekitar 50  $\mu\text{m}$  dan tampak granula yang berasal dari umbi ubi kayu dengan diameter sekitar 270-290  $\mu\text{m}$ .

Perlakuan kimiawi dan mekanis yang diterapkan pada ampas tapioka menghasilkan serat berskala nanometer yang relatif homogen dengan diameter 20-30 nm. Panjang serat sulit diukur karena serat saling berbelit. Oleh karena itu, panjang serat diperkirakan sampai >1.000 nm. Granula yang berasal dari umbi sudah tidak tampak lagi. Diameter nanoserat yang dihasilkan pada penelitian ini lebih besar daripada nanoserat yang diperoleh Teixeira *et al.* (2009).



Gambar 1. Pengamatan morfologi ampas tapioka perbesaran 100 x dengan menggunakan SEM (A), nanoserat selulosa perbesaran 20.000 x (B), dan 100.000 x (C) dengan menggunakan TEM

Diameter nanoserat selulosa yang diperoleh Teixeira *et al.* (2009) sebesar 2–11 nm, dengan panjang 360-1.700 nm. Perbedaan perlakuan hidrolisis menghasilkan bentuk serat yang berbeda.

Teixeira *et al.* (2009) menggunakan hidrolisis asam untuk menghasilkan nanoserat selulosa. Perlakuan asam menyebabkan serat lebih terdisintegrasi (Cherian *et al.*, 2010). Berdasarkan bentuknya,

nanoserat selulosa yang dihasilkan dari penelitian ini dapat digolongkan sebagai *nanofibrils*, pada umumnya berdiameter 10-40 dengan panjang >1.000 nm (Siró dan Plackett, 2010).

Perlakuan alkali dan suhu tinggi menyebabkan hemiselulosa terhidrolisis dan larut dalam air. Perlakuan *bleaching* membantu menghilangkan sebagian besar lignin. Lignin teroksidasi oleh klorin menyebabkan terdegradasi dan terbentuk gugus hidroksil, karbonil, dan karboksilat, sehingga mudah larut dalam medium alkali (Cherian *et al.*, 2010). Hilangnya hemiselulosa dan lignin yang mengikat serat, menyebabkan serat berukuran nano terlepas dari berkas serat yang besar. Perlakuan mekanis digunakan untuk membelah serat hingga diameternya lebih kecil dan pendek serta dapat meningkatkan pemisahan kumpulan nanoserat selulosa (Cao *et al.*, 2012).

### Zeta Potential Nanoserat Selulosa

*Zeta potential* (ZP) merupakan parameter penting untuk mengetahui kestabilan dispersi partikel dalam suatu suspensi. Suspensi yang stabil ditunjukkan oleh nilai ZP yang besar, menunjukkan adanya gaya tolak-menolak yang besar antara partikel yang satu dan partikel lain dalam suatu sistem suspensi. Nilai ZP yang tinggi juga menunjukkan kapasitas dispersi yang tinggi (Tonoli *et al.*, 2012).

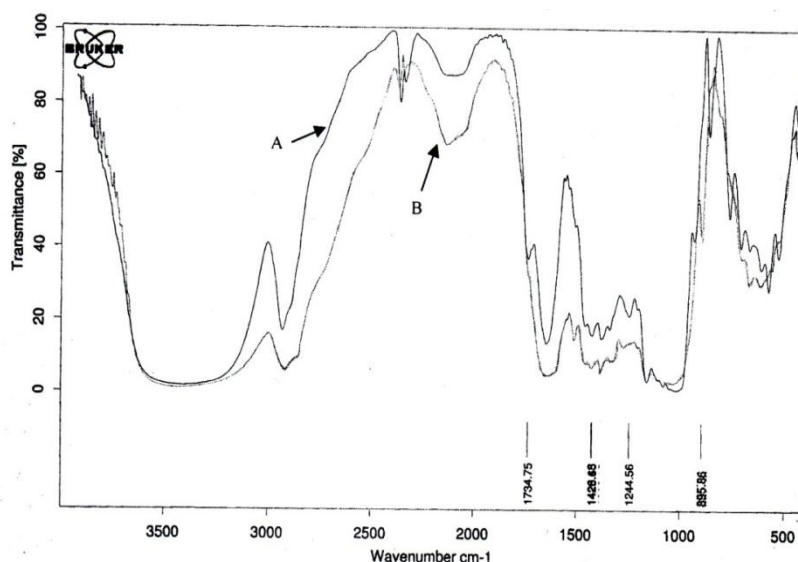
Hasil pengukuran memperlihatkan bahwa ZP nanoserat selulosa sebesar 46,47 mV. Nilai ZP lebih dari  $\pm 40$  mV menunjukkan bahwa suspensi

nanoserat selulosa memiliki kestabilan yang baik (Si dan Samulski, 2008; Silva *et al.*, 2012). Suspensi nanoserat selulosa yang diperoleh tidak mudah mengendap. Keadaan ini jauh berbeda dengan ampas tapioka yang sangat mudah mengendap jika disuspensikan dalam air. Kondisi yang mudah mengendap ini terkait dengan ukuran partikel ampas tapioka yang masih relatif besar. Partikel berukuran besar memiliki muatan permukaan partikel yang rendah, menyebabkan partikel lebih mudah berinteraksi dengan partikel lain, sehingga mudah mengendap (Elanthikkal *et al.*, 2010).

### Spektra Inframerah Nanoserat Selulosa

Analisis inframerah dilakukan untuk mengetahui keberadaan gugus fungsional tertentu dalam bahan terkait dengan senyawa lignin, hemiselulosa, dan selulosa, serta perubahannya setelah perlakuan yang diberikan. Hasil pengamatan spektroskopi inframerah menggunakan spektrometer FTIR dapat dilihat pada Gambar 2.

Spektrum FT-IR ampas tapioka memperlihatkan adanya absorpsi inframerah pada bilangan gelombang  $1734,75\text{ cm}^{-1}$  yang diduga berasal dari vibrasi regangan C=O. Daerah  $1765\text{--}1715\text{ cm}^{-1}$  pada spektrum FT-IR merupakan daerah vibrasi regangan C=O dari gugus asetil dan gugus ester uronat dari pektin, hemiselulosa atau ikatan ester gugus karboksilat asam ferulat (*ferulic*) dan p-kumarat (*p-coumaric*) dari lignin dan/atau hemiselulosa (Abraham *et al.*, 2011; Mandal dan Chakrabarty, 2011; Sundari dan Ramesh, 2012).



Gambar 2. Spektrum FT-IR ampas tapioka sebelum perlakuan (A) dan setelah perlakuan kimiawi (B)

Ampas tapioka juga menunjukkan absorpsi inframerah pada bilangan gelombang  $1423,65\text{ cm}^{-1}$  yang diduga berasal dari vibrasi regangan C=C pada cincin aromatik lignin (Alemdar dan Sain, 2008) dan pada bilangan gelombang  $1244,56\text{ cm}^{-1}$  yang diduga berasal dari vibrasi cincin aromatik pada lignin

khususnya berasal dari gugus *aryl* (Abraham *et al.*, 2011; Mandal dan Chakrabarty, 2011; Rosa *et al.*, 2012). Pita absorpsi tersebut tampak melemah bahkan ada yang tidak muncul lagi pada spektrum nanoserat selulosa. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa terdapat deformasi struktur lignin dan

hemiselulosa akibat perlakuan kimiawi yang diberikan.

Keberadaan selulosa juga dapat diduga dari munculnya sinyal pada bilangan gelombang sekitar  $895,86\text{ cm}^{-1}$ . Peningkatan intensitas sinyal pada bilangan gelombang tersebut merupakan pola khas adanya struktur selulosa (Alemdar dan Sain, 2008). Absorpsi inframerah pada bilangan gelombang sekitar  $900\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ikatan  $\beta$  glikosida di antara unit glukosa dalam selulosa (Adel *et al.*, 2010; Mandal dan Chakrabarty, 2011).

Pola difraksi sinar X ampas tapioka sebelum proses kimiawi dan setelah proses kimiawi untuk menghasilkan nanoserat selulosa dapat dilihat pada Gambar 3. Difraktogram ampas tapioka memperlihatkan dua puncak utama pada  $2\theta = 17^\circ$  dan  $2\theta = 22,9^\circ$ , sedangkan pada ampas tapioka setelah perlakuan kimiawi memperlihatkan puncak utama pada  $2\theta = 15^\circ$  dan  $2\theta = 22^\circ$ . Difraktogram memperlihatkan puncak difraksi sinar-X selulosa alami yang tajam pada daerah sekitar  $2\theta = 22^\circ$  (Adel *et al.*, 2011; Cherian *et al.*, 2011).

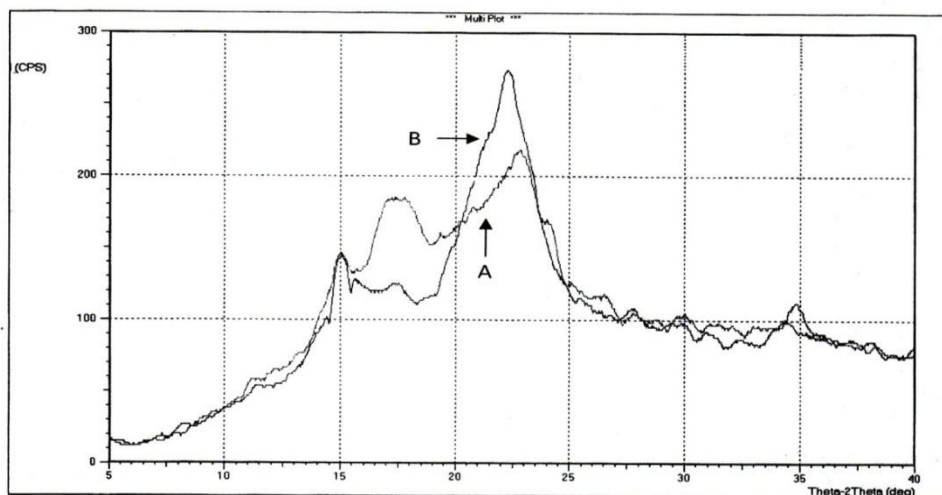
Perubahan pada intensitas puncak difraksi menunjukkan terjadi perubahan pada struktur Kristal atau keteraturan rantai molekul selulosa (Chen *et al.*, 2011; Elanthikkal *et al.*, 2010). Intensitas puncak difraksi ampas tapioka yang telah diberi perlakuan tampak lebih tinggi dibandingkan tanpa perlakuan, menunjukkan bahwa kristalinitasnya lebih tinggi. Kristalinitas yang tinggi mencirikan susunan rantai polimer dalam bahan tersusun secara teratur atau kisi-kisi kristal lebih sempurna (Lu dan Hsieh, 2010). Struktur kristal terbentuk akibat adanya interaksi ikatan hidrogen melalui gugus hidroksil intramolekuler dan ektramolekuler pada selulosa

yang berdekatan (Sheltami *et al.*, 2012). Kristalinitas ampas tapioka sebelum dan setelah perlakuan yang diperoleh dalam penelitian ini adalah 14,52% dan 33,25%. Peningkatan kristalinitas ini disebabkan oleh penurunan komposisi serat yang bersifat amorf akibat perlakuan kimiawi.

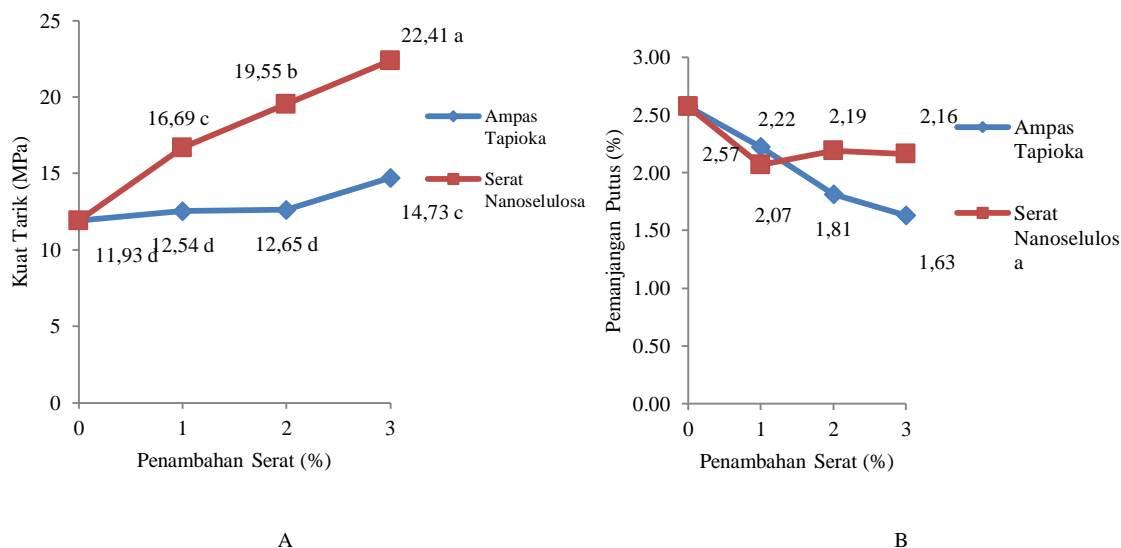
Perlakuan kimiawi diarahkan untuk menghilangkan hemiselulosa, lignin, pektin, yang merupakan komponen serat yang berkontribusi terhadap bagian amorf serat (Morán *et al.*, 2008). Bagian amorf lebih mudah terhidrolisis dibandingkan dengan bagian kristalin, sehingga perlakuan hidrolisis menyebabkan serat menjadi lebih kristalin (Elanthikkal *et al.*, 2010). Perlakuan dengan alkali, dalam hal ini KOH, dapat menghilangkan residu pati, hemiselulosa, dan pektin, sedangkan *bleaching* dengan  $\text{NaClO}_2$  dapat mereduksi lignin, sehingga lebih mudah larut dalam larutan alkali (Abe dan Yano, 2009).

### Sifat Mekanis Film Tapioka

Nanoserat selulosa yang dihasilkan diaplikasikan sebagai bahan pengisi film tapioka dengan tujuan untuk memperbaiki sifat mekanis film yang dihasilkan. Hasil pengukuran terhadap sifat mekanis film, meliputi kuat tarik dan pemanjangan putus disajikan pada Gambar 4. Penambahan ampas tapioka dan nanoserat selulosa menunjukkan pengaruh yang sangat nyata berdasarkan analisis sidik ragam. Mekanisme penguatan terkait kemampuan serat dalam membentuk struktur jaringan penguat dalam matriks film, sehingga memungkinkan terjadi peralihan beban dari matriks ke serat, apabila film terkena gaya mekanis (Bilbao-Sainz *et al.*, 2011).



Gambar 3. Difraktogram ampas tapioka sebelum (A) dan setelah perlakuan kimiawi (B)



Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji DMRT 5%

Gambar 4. Pengaruh penambahan ampas tapioka dan nanoserat selulosa terhadap kuat tarik (A) dan pemanjangan putus film tapioka (B)

Penambahan nanoserat selulosa menghasilkan peningkatan kuat tarik film tapioka yang lebih besar dibandingkan dengan ampas tapioka. Penambahan serat dari ampas tapioka sebanyak 3% baru dapat menyamai penambahan nanoserat selulosa 1%. Sifat penguatan tersebut dipengaruhi oleh sifat distribusi dan kristalinitas serat yang digunakan.

Nanoserat selulosa yang jauh lebih kecil dibandingkan serat ampas tapioka, seperti yang ditunjukkan dari hasil pengamatan TEM, dapat meningkatkan luas permukaan totalnya, sehingga memperbesar kontak permukaan antara serat dan matriks film. Peningkatan kontak permukaan memungkinkan peningkatan ikatan hidrogen antara matriks dan serat, sehingga memudahkan peralihan beban dari matriks ke serat (Bilbao-Sainz *et al.*, 2011).

Kuat tarik yang lebih rendah pada ampas tapioka juga disebabkan oleh sifatnya yang lebih mudah mengalami aglomerasi dibandingkan dalam bentuk nanoserat selulosa, sehingga mengurangi keefektifan penguatan. Pencampuran bahan pengisi yang tidak rata dapat menghasilkan matriks film yang tidak sinambung, sehingga menurunkan sifat mekanisnya atau mengurangi keefektifan penguatannya (Attarian *et al.*, 2006; Bahri dan Rashidi, 2009; Kengkhethit dan Amornsakchai, 2012; Savadekar dan Mhaske, 2012). Distribusi nanoserat selulosa diduga lebih baik daripada serat dalam ampas tapioka, tercermin pada nilai ZP-nya yaitu 46,47 mV yang tergolong stabil. Distribusi serat yang baik menyebabkan peralihan beban dari matriks ke serat berlangsung efektif (Bilbao-Sainz *et al.*, 2011).

Kemudahan dalam distribusi serat dipengaruhi pula oleh sifat adhesinya. Kemiripan struktur kimia antara serat selulosa dan matriks dari pati menghasilkan sifat adhesi yang baik dan berpengaruh positif terhadap sifat mekanis film (Chang *et al.*, 2010; Prachayawarakorn *et al.*, 2010). Penghilangan bahan non-selulosa dapat meningkatkan adhesi antara serat dan matriks film (Abraham *et al.*, 2011). Penghilangan bahan non-selulosa dapat terdeteksi dari hasil pengamatan FT-IR. Lignin merupakan bahan yang relatif hidrofob. Penghilangan lignin dapat meningkatkan interaksi antara serat dan matriks film berbasis pati. Interaksi yang baik antara serat selulosa dan matriks film dari pati, memungkinkan serat untuk terdistribusi dengan baik dalam matriks film (Guimarães *et al.*, 2010).

Kristalinitas selulosa merupakan faktor penting yang menentukan sifat mekanisnya (Abe dan Yano, 2009). Kristalinitas yang tinggi diasosiasikan dengan nilai kuat tarik serat yang tinggi, sehingga ideal untuk dijadikan bahan penguat (Alemdar dan Sain, 2008). Sifat kristal film turut meningkat dengan penambahan nanoserat selulosa, menghasilkan matriks film yang lebih kaku dan keras (Müller *et al.*, 2009b). Penghilangan bahan non-selulosa pada serat ampas tapioka dan pengecilan ukuran serat dapat meningkatkan kristalinitasnya. Kristalinitas ampas tapioka tampak lebih rendah dibandingkan kristalinitas nanoserat selulosa, seperti yang ditunjukkan dari hasil XRD, yaitu masing-masing 14,52% dan 33,25%. Hal ini menyebabkan kristalinitas film tapioka dengan nanoserat selulosa diduga lebih tinggi daripada kristalinitas film dengan ampas tapioka.

Penambahan serat pada umumnya meningkatkan kuat tarik, namun menurunkan kapasitas pemanjangan (Müller *et al.*, 2009a), akibat penghalangan mobilitas rantai molekul polimer sejalan dengan penambahan serat (Kaushik *et al.*, 2010). Namun, penambahan serat dari ampas tapioka dan nanoserat selulosa tidak menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap sifat pemanjangan putus film. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah serat yang ditambahkan sampai 3%, belum mencapai tingkat yang dapat mengganggu mobilitas rantai polimer.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Metode isolasi nanoserat selulosa dengan perlakuan kimiawi dan mekanis dalam penelitian ini yang diterapkan pada ampas tapioka dapat menghasilkan nanoserat selulosa dengan diameter 20 – 30 nm dan dengan panjang >1.000 nm. Suspensi nanoserat selulosa memiliki kestabilan baik dengan nilai *zeta potential* 46,47 mV. Penghilangan bahan non-selulosa, seperti hemiselulosa dan lignin dapat meningkatkan kristalinitas serat. Kristalinitas nanoserat selulosa sebesar 33,25%. Penggunaan nanoserat selulosa dapat meningkatkan sifat kuat tarik film tapioka. Kuat tarik tertinggi dalam penelitian ini dicapai pada penambahan nanoserat selulosa 3% (22,41 MPa). Penggunaan nanoserat selulosa sampai 3% tidak berpengaruh terhadap pemanjangan putus film.

### Saran

Perlu dicoba penambahan nanoserat selulosa lebih dari 3%, mengingat belum tercapai kuat tarik maksimumnya. Film yang dihasilkan masih kurang lentur, sehingga perlu penambahan konsentrasi bahan pemlastis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abe K dan Yano H. 2009. Comparison of the characteristics of cellulose microfibril aggregates of wood, rice straw and potato tuber. *Cellulose* 16: 1017-1023.
- Abraham E, Deepa B, Pothan LA, Jacob M, Thomas S, Cvelbar U, Anandjiwala R. 2011. Extraction of nanocellulose fibrils from lignocellulosic fibres: a novel approach. *Carbohydr Polym* 86: 1468-1475.
- Adel AM, El-Wahab ZHA, Ibrahim AA, Al-Shemy MT. 2010. Characterization of microcrystalline cellulose prepared from lignocellulosic materials. Part I. Acid catalyzed hydrolysis. *Bioresource Technol* 101: 4446-4455.
- Adel AM, El-Wahab ZHA, Ibrahim AA, Al-Shemy MT. 2011. Characterization of microcrystalline cellulose prepared from lignocellulosic materials. Part II: physicochemical properties. *Carbohydr Polym* 83: 676-687.
- Alemdar A dan Sain M. 2008. Isolation and characterization of nanofibers from agricultural residues. Wheat straw and soy hulls. *Bioresource Technol* 99: 1664-1671.
- Attarian ACL, Kechichian V, Veiga-Santos P, Ditchfield C, Tadini CC. 2006. Effect of antimicrobial edible additives on cassava starch biobased films characterization. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> CIGR Section VI International Symposium on Future of Food Engineering*, Warsaw, Poland. 26-28 April 2006.
- Bahri MH dan Rashidi M. 2009. Effect of coating methods and storage periods on some qualitative characteristics of carrot during ambient storage. *Int J Agric Biol* 11: 443-447.
- Bilbao-Sainz C, Bras J, Williams T, Senéchal T, Orts W. 2011. HPMC reinforced with different cellulose nano-particles. *Carbohydr Polym* 86: 1549-1557.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2013. Statistik Industri Manufaktur Indonesia 2011. Badan Pusat Statistik, Jakarta.
- Cao X, Ding B, Yu J, Al-Deyab SS. 2012. Cellulose nanowhiskers extracted from TEMPO-oxidized jute fibers. *Carbohydr Polym* 90:1075-1080.
- Chang PR, Jian R, Zheng P, Yu J, Ma X. 2010. Preparation and properties of glycerol plasticized-starch (GPS)/cellulose nanoparticle (CN) composites. *Carbohydr Polym* 79: 301-305.
- Chen W, Yu H, Liu Y, Chen P, Zhang M, Hai Y. 2011. Individualization of cellulose nanofibers from wood using high-intensity ultrasonication combined with chemical pretreatments. *Carbohydr Polym* 83: 1804-1811.
- Cherian BM, Leão AL, de Souza SF, Costa LMM, de Olyveria GM, Kottaisamy M, Nagarajan ER, Thomas S. 2011. Cellulose nanocomposites with nanofibers isolated from pineapple leaf fibers for medical application. *Carbohydr Polym* 86: 1790-1798.
- Cherian BM, Leão AL, de Souza SF, Thomas S, Pothan LA, Kottaisamy M. 2010. Isolation of nanocellulose from pineapple leaf fibres by steam explosion. *Carbohydr Polym* 81: 720-725.
- Davis JR. 2004. *Tensile Strength*. 2<sup>nd</sup> Edition. Ohio: ASM International.
- Elanthikkal S, Gopalakrishnanapanicker U, Varghese S, Guthrie JT. 2010. Cellulose microfibrils produced from banana plant wastes: isolation and characterization. *Carbohydr Polym* 80: 852-859.

- Fauzi AM, Rahmawakhida A, dan Hidetoshi Y. 2010. Kajian produksi bersih di industri kecil tapioka: kasus Kelurahan Ciluar, Kecamatan Bogor Utara. *J Tek Ind Pert* 18(2): 60-65.
- Guimarães JL, Wypych F, Saul CK, Ramos LP, Satyanarayana KG. 2010. Studies of the processing and characterization of corn starch and its composites with banana and sugarcane fibers from Brazil. *Carbohydr Polym* 80: 130-138.
- Kaushik A, Singh M, dan Verma G. 2010. Green nanocomposites based on thermoplastic starch and steam exploded cellulose nanofibrils from wheat straw. *Carbohydr Polym* 82:337-345.
- Kengkhetkit N dan Amornsakchai T. 2012. Utilisation of pineapple leaf waste for plastic reinforcement: 1. A novel extraction method for short pineapple leaf fiber. *Ind Crop Prod* 40:55-61.
- Liang YL dan Pearson RA. 2009. Toughening mechanisms in epoxy-silica nano-composites (ESNs). *Polymer* 50: 4895-4905.
- Lin OH, Ishak ZAM, dan Akil HM. 2009. Preparation and properties of nanosilica-filled polypropylene composites with PP-methyl POSS as compatibiliser. *Mater Design* 30: 748-751.
- Lu P dan Hsieh YL. 2010. Preparation and properties of cellulose nanocrystals: rods, spheres, and network. *Carbohydr Polym* 82: 329-336.
- Mandal A dan Chakrabarty D. 2011. Isolation of nanocellulose from waste sugarcane bagasse (SCB) and its characterization. *Carbohydr Polym* 86: 1291-1299.
- Morán JI, Alvarez VA, Cyraz VP, Vázquez A. 2008. Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers. *Cellulose* 15: 149-159.
- Müller CMO, Laurindo JB, dan Yamashita F. 2009a. Effect of cellulose fibers addition on the mechanical properties and water vapor barrier of starch-based films. *Food Hydrocolloid* 23: 1328-1333.
- Müller CMO, Laurindo JB, dan Yamashita F. 2009b. Effect of cellulose fibers on the crystallinity and mechanical properties of starch-based films at different relative humidity values. *Carbohydr Polym* 77: 293-299.
- Pasquini D, Teixeira EM, Curvelo AAS, Belgacem MN, Dufresne A. 2010. Extraction of cellulose whiskers from cassava bagasse and their applications as reinforcing agent in natural rubber. *Ind Crop Prod* 32: 486-490.
- Prachayawarakorn J, Sangnithidej P, dan Boonpasith P. 2010. Properties of thermoplastic rice starch composites reinforced by cotton fiber or low-density polyethylene. *Carbohydr Polym* 81: 425-433.
- Rattanachomsri U, Tanapongpipat S, Eurwilaichitr L, Champreda V. 2009. Simultaneous non-thermal saccharification of cassava pulp by multi-enzyme activity and ethanol fermentation by *Candida tropicalis*. *J Biosci Bioeng* 107: 488-493.
- Reddy N dan Yang Y. 2009. Properties and potential applications of natural cellulose fibers from the bark of cotton stalks. *Bioresource Technol* 100: 3563-3569.
- Rosa SML, Rehman N, Miranda MIG, Nachtigall SMB, Bica CID. 2012. Chlorine-free extraction of cellulose from rice husk and whisker isolation. *Carbohydr Polym* 87:1131-1138.
- Savadekar NR dan Mhaske ST. 2012. Synthesis of nano cellulose fibers and effect on thermoplastics starch based films. *Carbohydr Polym* 89:146-151.
- Sheltami RM, Abdullah I, Ahmad I, Dufresne A, Kargazadeh H. 2012. Extraction of cellulose nanocrystals from mengkuang leaves (*Pandanus tectorius*). *Carbohydr Polym* 88:772-779.
- Si Y dan Samulski ET. 2008. Synthesis of water soluble graphene. *Nano Lett* 8(6): 1679-1682.
- Silva HD, Cerqueira MA, dan Vicente AA. 2012. Nanoemulsions for food applications: development and characterization. *Food Bioprocess Technol* 5:854-867.
- Siró I dan Plackett D. 2010. Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review. *Cellulose* 17: 459-494.
- Sundari MT dan Ramesh A. 2012. Isolation and characterization of cellulose nanofibers from the aquatic weed water hyacinth-*Eichhornia crassipes*. *Carbohydr Polym* 87:1701-1705.
- Teixeira EM, Pasquini D, Curvelo AAS, Corradini E, Belgacem MN, Dufresne A. 2009. Cassava bagasse cellulose nanofibrils reinforced thermoplastic cassava starch. *Carbohydr Polym* 78: 422-431.
- Tonoli GHD, Teixeira EM, Corrêa AC, Marconcini JM, Caixeta LA. 2012. Cellulose micro/nanofibres from *Eucalyptus* kraft pulp: preparation and properties. *Carbohydr Polym* 89:80-88.