



**PEMANFAATAN SERAT NANOSELULOSA DARI LIMBAH PADAT
INDUSTRI TAPIOKA (ONGGOK) SEBAGAI BAHAN PENGISI
BIOPLASTIK**

*Utilization of Nanocellulose Fiber From Tapioca Industrial Solid Waste
as a Bioplastic Filling Material*

Rumpoko Wicaksono^{1*} dan Nur Wijayanti¹

¹Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman,
Purwokerto Indonesia

*Alamat koresponden: rumpoko.wicaksono@unsoed.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji sifat serat nanoselulosa yang dihasilkan dari onggok melalui proses hidrolisis asam, serta potensi pemanfaatannya sebagai bahan pengisi bioplastik berbasis pati ubi kayu (tapioka). Perlakuan penelitian ini berupa waktu proses hidrolisis asam terdiri atas 15 dan 30 menit serta penggunaan serat nanoselulosa sebagai bahan pengisi bioplastik sebanyak 0%, 1%, 2%, dan 3% b/b pati. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa diameter serat nanoselulosa yang dihasilkan sekitar 18-40 nm, kestabilan dispersi yang baik, indeks kristalinitas serat nanoselulosa hasil hidrolisis asam selama 15 dan 30 menit masing-masing adalah 39,7% dan 31,2%. Penambahan serat nanoselulosa dapat meningkatkan kuat tarik, namun menurunkan kemampuan elongasinya.

Kata kunci: bioplastik, onggok, serat nanoselulosa, tapioka

ABSTRACT

This study aims to examine the properties of nanocellulose fibers produced from cassava through the acid hydrolysis process, as well as their potential use as a filler for bioplastics based on cassava starch (tapioca). The treatment of this research was acid hydrolysis process time consisting of 15 and 30 minutes and the use of nanocellulose fiber as a filler for bioplastics as much as 0%, 1%, 2%, and 3% w/w starch. The results of this study indicate that the diameter of the nanocellulose fibers produced is about 18-40 nm, good dispersion stability, the crystallinity index of the nanocellulose fibers produced by acid hydrolysis for 15 and 30 minutes are 39.7% and 31.2%, respectively. The addition of nanocellulose fibers can increase the tensile strength, but decrease its elongation ability.

Keyword: bioplastic, cassava bagasse, nanocellulose fiber, tapioca



PENDAHULUAN

Bioplastik berbahan dasar pati umumnya memiliki sifat fisis dan mekanis yang kurang memuaskan karena sifat alaminya yang higroskopis dan mudah rapuh. Salah satu upaya untuk meningkatkan kekuatan bioplastik dengan cara menambahkan bahan pengisi yang dapat mengubah sifat matriks biopolimer menjadi sifat tertentu, terkait plastisitas dan kekuatannya (Lee et al., 2014). Beberapa bahan yang dapat digunakan sebagai pengisi antara lain kapur, silika, dan bahan pengisi lain. Salah satu bahan pengisi yang akhir-akhir ini menarik perhatian untuk diteliti adalah nanoselulosa, terkait dengan potensinya untuk meningkatkan kekuatan bioplastik dengan tetap menjaga kejernihannya. Selain itu, nanoselulosa juga memiliki sifat yang berguna untuk membentuk emulsi atau dispersi yang dapat digunakan sebagai pengental atau penstabil (Yuwono et al., 2020).

Salah satu sumber potensial sebagai bahan baku nanoselulosa yaitu serat alam yang berasal dari limbah pertanian. Salah satu limbah agroindustri yang berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dimanfaatkan adalah onggok. Onggok merupakan sisa ekstraksi pati ubi kayu. Ekstraksi ubi kayu dapat menghasilkan 22% tapioka dan sekitar 54,5% berupa onggok (Fauzi et al., 2010). Kandungan serat dalam onggok bervariasi tergantung jenis bahan dasarnya, yaitu berkisar antara 14,88-50,55 g/100 g bahan kering (Nair et al., 2012).

Nanoselulosa dapat diekstrak dengan berbagai metode, antara lain metode kimiawi, fisis, enzimatis, maupun mekanis. Metode hidrolisis asam menggunakan asam kuat, seperti H_2SO_4 , merupakan metode yang banyak digunakan karena mampu mendegradasi lapisan lignin dan hemiselulosa yang melapisi nanoselulosa dengan cepat dan mudah, serta mampu menghasilkan karakter nanoselulosa yang baik untuk digunakan sebagai bahan pengisi (Wulandari et al. 2016). Namun, perlakuan hidrolisis yang berlebihan dapat mendegradasi nanoselulosa sehingga menurunkan kristalinitas dan kestabilan termalnya (Benini et al., 2017; Ayu et al., 2020). Sehubungan dengan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji sifat serat nanoselulosa dari onggok yang diproduksi menggunakan metode hidrolisis asam, serta potensi pemanfaatannya sebagai bahan pengisi bioplastik berbasis pati ditinjau dari sifat mekanisnya.



METODE

Bahan dan Alat

Bahan utama meliputi tapioka dan onggok berasal dari industri tapioka, H_2SO_4 , sorbitol, dan akuades. Pengamatan mikroskopis dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) Zeiss EVO 50, dan *Transmission Electron Microscope* (TEM) JEOL JEM-1400. Sifat dispersi (nilai *zeta potential*) serat nanoselulosa diukur menggunakan DelsaNano C Beckman Coulter. Kristalinitas serat diamati dan diukur menggunakan *X-ray diffractometer* XRD-7000 Shimadzu. Sifat mekanis bioplastik diukur menggunakan Zwick Instrument.

Karakterisasi Serat Nanoselulosa

a) Pengamatan morfologi serat

Morfologi serat dari onggok diamati menggunakan SEM dengan akselerasi elektron 1 kV, sedangkan morfologi serat nanoselulosa diamati menggunakan TEM dengan akselerasi elektron 100 V.

b) Pengukuran *zeta potential*

Ion-ion pada permukaan serat nanoselulosa diukur untuk menggambarkan sifat dispersinya menggunakan DelsaNano. Sampel yang digunakan berupa suspensi serat nanoselulosa dalam akuades.

c) Difraksi sinar-X

Difraktogram sinar-X sampel diperoleh dengan cara memindai sampel secara statis menggunakan radiasi $Cu K\alpha$ ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$), 40 kV, 30 mA pada kisaran $2\theta = 5-40^\circ$ dengan kecepatan $2^\circ/\text{menit}$. Nilai kristalinitas sampel diperoleh berdasarkan perbandingan luas daerah kristalin terhadap luas daerah amorf.

d) Sifat mekanis bioplastik

Sampel bioplastik berbentuk dayung ditarik dengan kecepatan 10 mm/menit menggunakan Zwick Instrument. Nilai kuat tarik diperoleh berdasarkan pembagian gaya maksimum saat bahan uji putus (F maksimum; Newton) terhadap luas penampang melintang di bagian yang putus (mm^2), sedangkan persentase elongasi dihitung dari selisih panjang awal dan panjang akhir (saat putus) dibagi panjang awal dan dikali 100%.



Ekstraksi Serat Nanoselulosa

Onggok sebanyak 10 g dihidrolisis menggunakan 200 ml H_2SO_4 6,5 M pada suhu 60 °C dengan waktu sesuai dengan perlakuan (15 dan 30 menit). Sisa H_2SO_4 dihilangkan menggunakan akuades hingga pH suspensi mencapai 6-7. Suspensi nanoselulosa dalam akuades dihomogenisasi menggunakan *high velocity mixer* selama 10 menit dengan kecepatan 23.000 rpm.

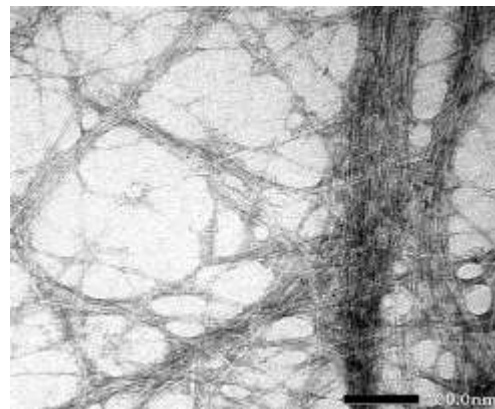
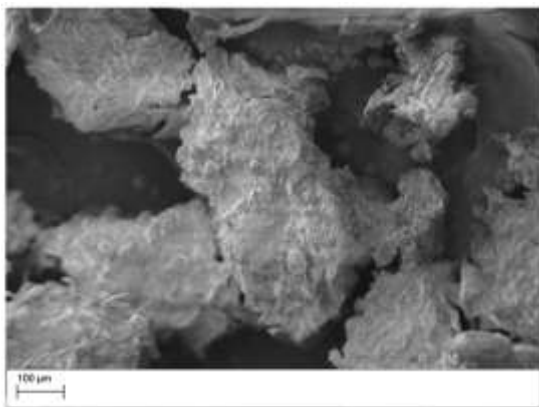
Pembuatan Bioplastik

Bioplastik dibuat dengan formula tapioka 2%, sorbitol 2% (b/b tapioka), dan serat nanoelulosa sesuai dengan perlakuan (1%; 2%; dan 3% b/b tapioka). Campuran dipanaskan pada suhu 75°C selama 20 menit, selanjutnya didinginkan. Larutan bioplastik dicetak, selanjutnya dikeringkan dengan alat pengering kabinet pada suhu 50°C selama 12 jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Serat Nanoselulosa

Hidrolisis serat onggok menggunakan asam kuat tampak berhasil mengubah bentuk fisik serat menjadi berdimensi nano. Berdasarkan pengamatan, diameter partikel onggok yang digunakan dalam penelitian ini berukuran sekitar 200-300 μm , sedangkan serat nanoselulosa yang dihasilkan berbentuk serat memanjang dengan diameter 18-40 nm. Penampakan onggok yang diamati menggunakan instrumen SEM dan nanoselulosa dengan menggunakan TEM dapat dilihat pada Gambar 1.





(A)

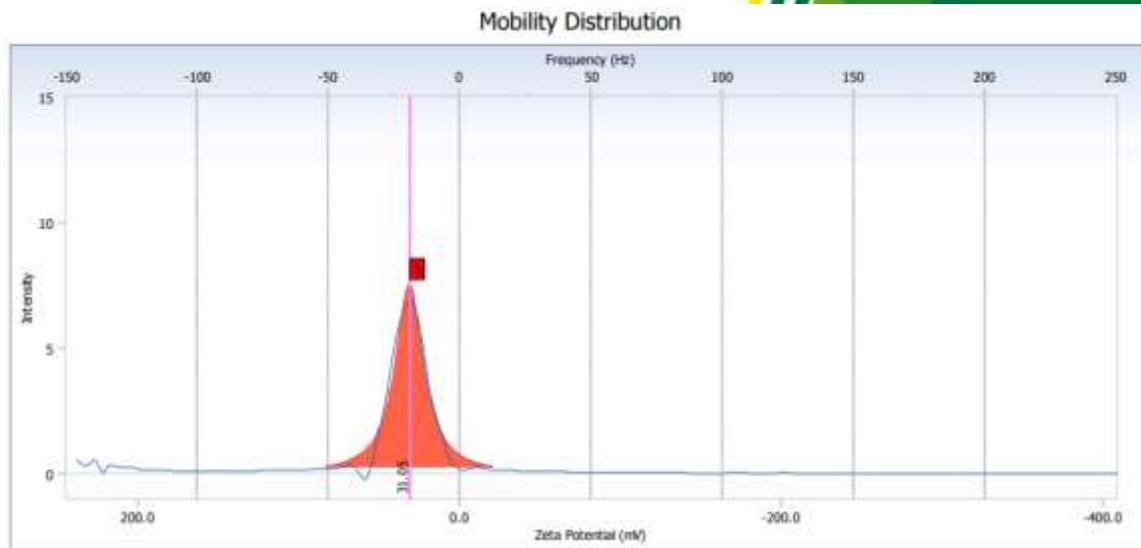
(B)

Gambar 1. Morfologi onggok perbesaran 100 x (A) dan serat nanoselulosa perbesaran 40.000 x (B).

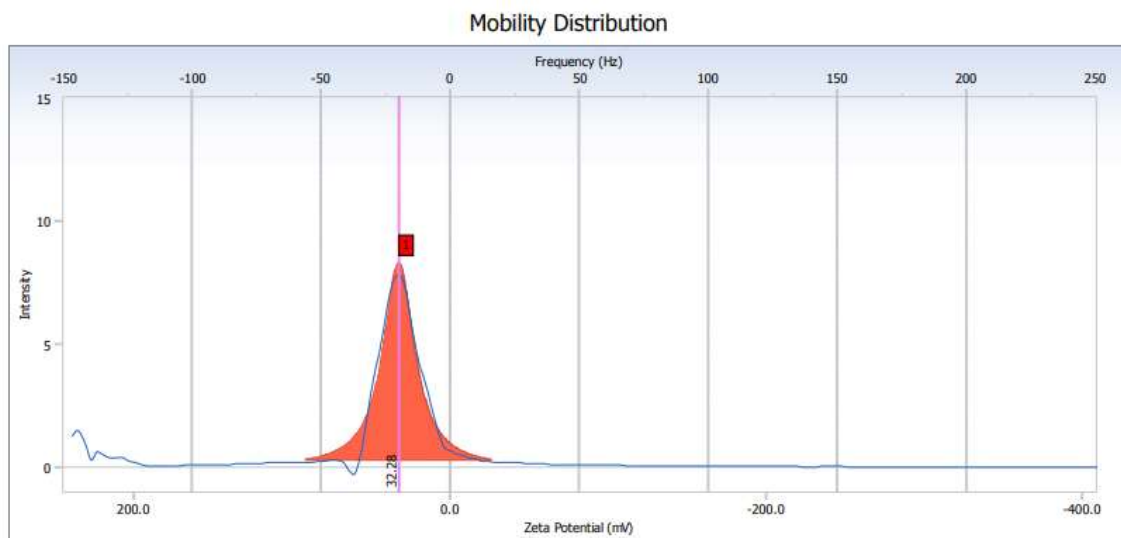
Serat selulosa tertanam dalam matriks ikatan silang antara lignin dan hemiselulosa. Sejumlah serat elementer berukuran nano dihubungkan oleh hemiselulosa dan dilingkupi oleh lignin, membentuk seberkas serat (Li *et al.*, 2016). Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa perlakuan hidrolisis asam dapat memecah lapisan lignin dan hemiselulosa yang melindungi serat selulosa yang berukuran nano, sehingga serat nanoselulosa terekstraksi. Penggunaan suhu hidrolisis yang tinggi juga dapat membantu memperkecil ukuran serat (Kusmono *et al.*, 2020). Diameter serat nanoselulosa yang dihasilkan pada penelitian ini lebih besar daripada serat nanoselulosa yang dihasilkan oleh (Teixeira *et al.* 2009), yaitu 2-11 nm. Hal ini diduga berkaitan dengan waktu hidrolisis asam pada onggok yang lebih lama, yaitu 40 menit, sehingga lebih mendegradasi berkas serat nanoselulosa.

Perubahan ukuran serat selulosa menjadi serat berukuran nano, dapat meningkatkan kestabilannya dalam suatu sistem dispersi. Kestabilan suspensi dapat ditunjukkan oleh nilai *zeta potential*, yang merupakan nilai yang menunjukkan besarnya muatan listrik di permukaan partikel di antara partikel koloid. Makin besar nilai *zeta potensial* maka makin kecil kemungkinan partikel mengalami flokulasi (Juliantoni *et al.* 2020).

Kestabilan serat onggok dalam suatu sistem dispersi sangat rendah dan mudah mengendap, sehingga sulit diukur nilai *zeta potential*-nya. Hasil pengujian *zeta potential* serat nanoselulosa dari onggok dengan perlakuan hidrolisis asam selama 15 dan 30 menit masing-masing adalah 31,05 mV dan 32,28 mV (Gambar 2).



(A)



(B)

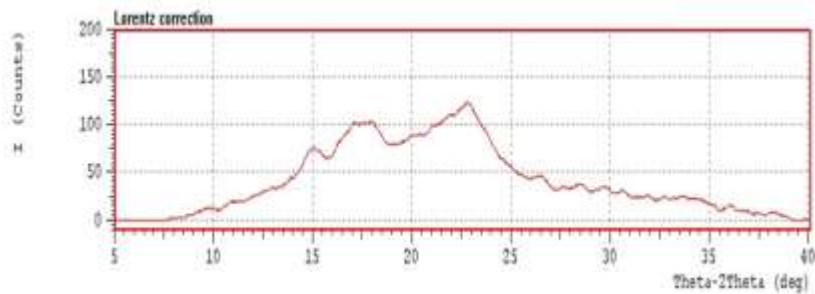
Gambar 2. Grafik hasil pengukuran nilai *zeta potential* nanoselulosa dari onggok dengan perlakuan hidrolisis asam 15 menit (A) dan 30 menit (B).

Menurut (Silva et al. 2012), nanoselulosa dengan muatan ion lebih besar dari 30 mV menjadi indikator bahwa kestabilan suspensi nanoselulosa tergolong baik. Nilai zeta potential

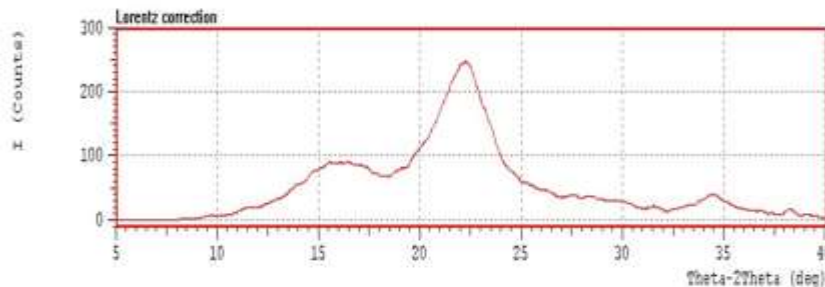


yang besar, menunjukkan adanya interaksi berupa gaya saling tolak yang besar antarpartikel dalam suatu sistem suspensi (Tonoli et al. 2012). Hal ini menunjukkan bahwa nanoselulosa yang dihasilkan memiliki kapasitas dispersi tinggi. Kapasitas dispersi yang tinggi berperan penting dalam menunjang distribusi serat nanoselulosa dalam matriks bioplastik secara merata.

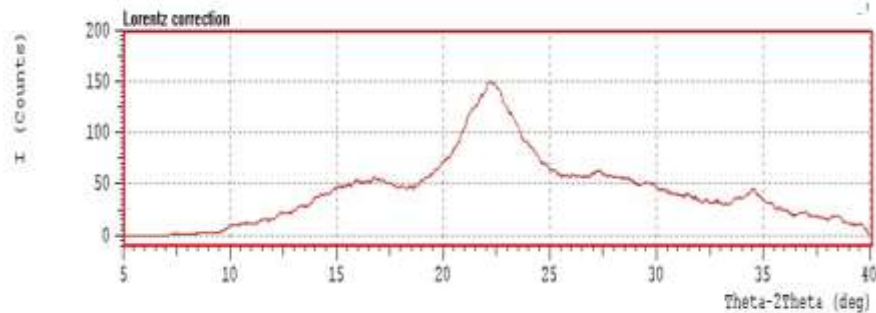
Selain nilai *zeta potential*, perubahan struktur serat selulosa menjadi nanoselulosa menyebabkan perubahan sifat kristalinitas serat. Serat bersifat semikristalin, yaitu memiliki struktur rantai polimer yang bersifat amorf dan kristalin. Perlakuan hidrolisis yang diberikan dapat memutuskan struktur amorf, sehingga meningkatkan proporsi struktur kristalinnya yang relatif tahan terhadap perlakuan hidrolisis. Kondisi tersebut menyebabkan serat menjadi lebih kristalin (Ilyas et al., 2021). Perubahan sifat tersebut dapat diamati dari pola difraksi sinar-X onggok sebelum dan setelah perlakuan hidrolisis (Gambar 3).



(A)



(B)



(C)

Gambar 3. Difraktogram onggok (A) dan nanoselulosa dari onggok dengan proses hidrolisis asam selama 15 menit (B) dan 30 menit (C).

Berdasarkan Gambar 3 tersebut dapat diketahui bahwa pola difraksi sinar-X onggok menunjukkan puncak utama difraksi pada posisi $2\theta = 22,5^\circ$, sedangkan nanoselulosa hasil hidrolisis onggok selama 15 dan 30 menit masing-masing menunjukkan puncak utama difraktogram $2\theta = 22,6^\circ$ dan $22,2^\circ$. Posisi puncak difraksi pada posisi $2\theta = 22^\circ$ merupakan salah satu ciri difraksi sinar-X yang dihasilkan dari selulosa alami (Johar et al., 2012).

Secara umum, pola difraksi sinar-X antara serat selulosa dari onggok dan serat nanoselulosa tampak serupa, namun puncak difraksi serat nanoselulosa tampak lebih tinggi. Peningkatan puncak difraksi ini menunjukkan adanya peningkatan kristalinitas serat akibat proses hidrolisis asam yang diberikan. Peningkatan kristalinitas serat nanoselulosa juga menunjukkan bahwa rantai molekul selulosa membentuk kisi-kisi kristal yang teratur akibat adanya ikatan hidrogen di antara gugus hidroksil serta gaya van der Waals pada rantai polimer selulosa yang berdekatan (Sheltami et al., 2012). Berdasarkan pola difraksinya dapat dihitung indeks kristalinitas serat onggok dan serat nanoselulosa, yaitu masing-masing 14,3%; 39,7%; dan 31,2%.

Tingkat kristalinitas serat nanoselulosa ini hanya separuh dari kristalinitas nanoselulosa ampas tebu yang diperoleh Wulandari *et al.* (2016) melalui metode hidrolisis asam, yaitu sekitar 76%. Perbedaan ini diduga karena perbedaan sifat sumber seratnya. Ampas tebu berasal dari batang tebu yang diduga memiliki kandungan lignin yang lebih tinggi dibandingkan ampas ubi kayu yang berasal dari umbi. Indeks kristalinitas yang tinggi menunjukkan potensi serat dapat



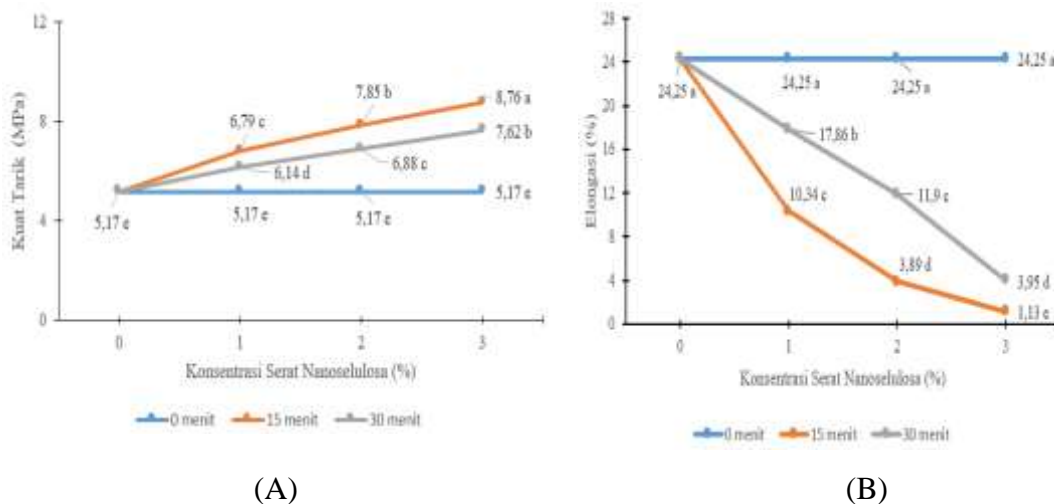
digunakan sebagai bahan penguat, yang dihubungkan dengan sifat kuat tariknya yang tinggi (Valerga et al., 2020).

Terdapat penurunan nilai indeks kristalinitas pada serat nanoselulosa yang dihidrolisis asam selama 35 menit dibandingkan yang 15 menit. Penurunan nilai kristalinitas ini diduga berkaitan dengan intensitas proses hidrolisisnya. Apabila proses hidrolisis asam yang diberikan terlalu intensif dalam hal konsentrasi, suhu, dan waktunya, maka proses tersebut dapat merusak struktur kristal nanoselulosa (Ayu et al., 2020).

Kristalinitas nanoselulosa yang dihasilkan penelitian

Sifat Mekanis Bioplastik

Perlakuan hidrolisis asam dan penambahan serat nanoselulosa sebagai bahan pengisi bioplastik menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap kuat tarik dan persentase elongasi bioplastik. Hasil pengujian sifat mekanis bioplastik dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh waktu hidrolisis asam dan konsentrasi serat nanoselulosa terhadap nilai kuat tarik (A) dan persentase elongasi (B) bioplastik (angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan taraf $\alpha = 5\%$),



Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa peningkatan kuat tarik bioplastik berbanding terbalik dengan sifat elongasinya. Hal ini berarti bahwa bioplastik berbasis nanoselulosa menunjukkan peningkatan kuat tarik akibat pengaruh penambahan serat yang berukuran nano. Reduksi ukuran serat hingga berukuran nano ini menghasilkan luas permukaan spesifik yang besar yang memberikan interaksi yang sangat baik antara matriks polimer dan nanoselulosa (Khalid et al., 2021). Kandungan nanoselulosa yang makin banyak, menyebabkan makin banyak pula ikatan hidrogen yang terbentuk antarpolimer, sehingga memerlukan energi yang lebih tinggi untuk memutuskan ikatan tersebut, yang ditunjukkan oleh nilai kuat tarik yang tinggi (Yuwono et al., 2020). Namun, di sisi lain adanya serat nanoselulosa dapat membatasi mobilitas rantai polimer, sehingga menurunkan kelenturan bioplastik akibat adanya interaksi antara serat dengan matriks bioplastik (Omran et al., 2021).

Lama waktu hidrolisis asam dalam proses ekstraksi serat nanoselulosa dan persentase penggunaannya berpengaruh terhadap sifat mekanis bioplastik. Tampak bahwa hidrolisis asam yang dilakukan selama 30 menit menunjukkan kuat tarik yang lebih rendah daripada perlakuan hidrolisis asam 15 menit. Fenomena ini diduga karena tidak hanya struktur amorf serat saja yang mengalami degradasi, namun struktur kristalin serat dapat pula mengalami degradasi akibat proses hidrolisis asam yang lebih intensif (Ayu et al., 2020).

Teixeira mengamati bahwa pati termoplastis yang ditambahkan nanoselulosa dari onggok hingga 5% menunjukkan peningkatan kuat tarik sebesar 17% dan penurunan elongasinya sebesar 15% dibandingkan kontrol. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan kuat tarik bioplastik tertinggi ditunjukkan pada penambahan serat nanoselulosa hasil hidrolisis asam dengan waktu 15 menit yang ditambahkan sebanyak 3%, yaitu mencapai 69%, sedangkan elongasinya mengalami penurunan hingga 95% dibandingkan nilai kuat tarik dan elongasi bioplastik kontrol. Perbedaan ini diduga berkaitan dengan perbedaan formulasi bioplastik dan karakter nanoselulosa yang dihasilkan (Teixeira et al. 2009).

Penambahan serat nanoselulosa yang memiliki kristalinitas tinggi ke dalam matriks bioplastik, dapat meningkatkan sifat kekerasan bioplastik. Selain itu, struktur serat nanoselulosa yang mirip benang, memungkinkan serabut serat untuk saling membelit sehingga menahan gerakan rantai polimer bioplastik. Penggunaan bahan yang dapat meningkatkan kristalinitas bioplastik dapat menurunkan sifat elongasinya (Wu et al., 2020). Tingkat degradasi struktur



kristal yang lebih rendah pada serat nanoselulosa hasil hidrolisis asam selama 15 menit menyebabkan tingkat kekerasan bioplastik yang dihasilkan menjadi lebih kaku dibandingkan bioplastik dengan serat nanoselulosa hasil hidrolisis asam selama 30 menit. Hal ini tampak pada penurunan sifat elongasi bioplastik berbahan pengisi serat nanoselulosa hasil hidrolisis asam selama 15 menit yang lebih tajam dibandingkan bioplastik yang menggunakan serat nanoselulosa hasil hidrolisis asam selama 30 menit.

SIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa diameter serat nanoselulosa yang dihasilkan sekitar 18-40 nm. Kapasitas dispersi serat nanoselulosa tergolong yang baik yang ditunjukkan oleh nilai *zeta potential* serat nanoselulosa hasil hidrolisis asam selama 15 dan 30 menit masing-masing sebesar 31,05 mV dan 32,28 mV. Proses hidrolisis asam meningkatkan kristalinitas serat nanoselulosa. Indeks kristalinitas serat nanoselulosa hasil hidrolisis asam selama 15 dan 30 menit masing-masing adalah 39,7% dan 31,2%. Penambahan serat nanoselulosa dapat meningkatkan kuat tarik, namun menurunkan kemampuan elongasinya. Nilai kuat tarik tertinggi dan persentase elongasi terendah ditunjukkan oleh bioplastik yang mengandung serat nanoselulosa hasil hidrolisis asam selama 15 menit dengan konsentrasi penambahan serat nanoselulosa 3% b/b pati. Nilai kuat tarik bioplastik tersebut sebesar 8,76 Mpa, dengan persentase elongasi 1,13%.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayu, G. E., Nasution, H., Lubis, M., Harahap, H., & Al Fath, M. T. (2020). The production of nanocrystalline cellulose from oil palm fruit fibers using chemical treatment. *AIP Conference Proceedings*, 2267 020036. <https://doi.org/10.1063/5.0015667>.
- Benini, K. C. C. C., Pereira, P. H. F., Cioffi, M. O. H., & Voorwald, H. J. C. (2017). Effect of acid hydrolysis conditions on the degradation properties of cellulose from *Imperata brasiliensis* fibers. *Procedia Engineering*, 200, 244–251.



- Fauzi, A. M., Rahmawakhida, A., & Hidetoshi, Y. (2010) . Kajian produksi bersih di industri kecil tapioka: Kasus Kelurahan Ciluar, Kecamatan Bogor Utara. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 18(2), 60-65.
- Ilyas, R. A., Sapuan, S. M., Atikah, M. S. N, Asyraf, M. R. M., Rafiqah, S. A., Aisyah, H. A., Nurazzi, N. M., & Norrahim, M. N. F. (2021). Effect of hydrolysis time on the morphological, physical, chemical, and thermal behavior of sugar palm nanocrystalline cellulose (*Arenga pinnata* (Wurmb.) Merr). *Textile Research Journal*, 91(1–2), 152–167.
- Johar, N., Ahmad, I., & Dufresne, A. (2012). Extraction, preparation and characterization of cellulose fibers and nanocrystals from rice husk. *Industrial Crops and Products*, 37, 93-99.
- Juliantoni Y., Hajrin, W., & Subaidah, W. A. (2020). Nanoparticle formula optimization of juwet seeds extract (*Syzygium cumini*) using Simplex Lattice Design Method. *Jurnal Biologi Tropis*, 20(3), 416-422.
- Khalid, M. Y., Al Rashid, A., Arif, Z. U., Ahmed, W., & Arshad, H. (2021). Recent advances in nanocellulose-based different biomaterials: types, properties, and emerging applications. *Journal of Materials Research and Technology*, 14, 2601-2623.
- Kusmono, R. F., Listyanda, M. W., Wildan, & Ilman, M. N. (2020). Preparation and characterization of cellulose nanocrystal extracted from ramie fibers by sulfuric acid hydrolysis. *Heliyon*, 6 e05486.
- Lee, K. Y., Aitomäki, Y., Berglund, L. A., Oksman, K., & Bismarck, A. (2014). On the use of nanocellulose as reinforcement in polymer matrix composites. *Composites Science and Technology*, 105, 15–27.
- Li, M., Han, G., Song, Y., Jiang, W., & Zhang, Y. (2016). Structure, composition, and thermal properties of cellulose fibers from *Pueraria lobata* treated with a combination of steam explosion and laccase mediator system. *BioResources*, 11(3), 6854-6866.
- Nair, M. P. D., Padmaja, G., Sajejev, M. S., & Sheriff, J. T. (2012). Bioconversion of cellulose-starch waste from cassava starch industries for ethanol production: Pretreatment techniques and improved enzyme systems. *Industrial Biotechnology*, 8(5), 300-308.
- Omran, A. A. B., Mohammed, A. A. B. A., Sapuan, S. M., Ilyas, R. A., Asyraf, M. R. M., Kolor, S. S. R, & Petru, M. (2021). Micro- and nanocellulose in polymer composite materials: a review. *Polymers*, 13, 231. <https://doi.org/10.3390/polym13020231>.



- Sheltami, R. M., Abdullah, I., Ahmad, I., Dufresne, A., & Kargarzadeh, H. (2012). Extraction of cellulose nanocrystals from mengkuang leaves (*Pandanustectorius*). *Carbohydrate Polymers*, 88, 772-779.
- Silva, H. D., Cerqueira, M. A., & Vicente, A. A. (2012). Nanoemulsions for food applications: development and characterization. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 854–867.
- Teixeira, E. M., Pasquini, D., Curvelo, A. A. S., Corradini, E., Belgacem, M. N., & Dufresne, A. (2009). Cassava bagasse cellulose nanofibrils reinforced thermoplastic cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 78, 422-431.
- Tonoli, G. H. D, Teixeira, E. M., Corrêa, A. C., Marconcini, J. M., & Caixeta, L. A. (2012). Cellulose micro/nanofibres from Eucalyptus kraft pulp: preparation and properties. *Carbohydrate Polymers*, 89, 80-88.
- Valerga, A. P., Fernandez-Vidal, S. R., Girot, F., & Gamez, A. J. (2020). On the relationship between mechanical properties and crystallisation of chemically post-processed additive manufactured polylactic acid pieces. *Polymers*, 12, 941. doi:10.3390/polym12040941.
- Wu, Y., Huang, A., Fan, S., Liu, Y., & Liu, X. (2020). Crystal structure and mechanical properties of uniaxially stretched PA612/SiO₂ films. *Polymers*, 12, 7. doi:10.3390/polym12030711.
- Wulandari, W. T., Rochliadi, A., & Arcana, I. M. (2016). Nanocellulose prepared by acid hydrolysis of isolated cellulose from sugarcane bagasse. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 107 012045. doi:10.1088/1757-899X/107/1/012045
- Yuwono, M., Fauziah, B., Isnaeni, & Nisak, A. (2020). Tensile strength and elongation analysis on nano cellulose film isolated from sugarcane bagasse. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 456 012088. doi:10.1088/1755-1315/456/1/012088.