

NANOKOMPOSIT RAMAH LINGKUNGAN MELALUI ISOLASI NANOFIBRIL SELULOSA (NFS) DARI TANDAN KOSONG SAWIT DAN POLY LACTID ACID (PLA) SEBAGAI MATRIK

Nadia Handayani¹

¹*Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe*
Jln. B. Aceh-Medan Km. 280 NBuketrata 24301 INDONESIA

[¹nadiahandayani114@gmail.com](mailto:nadiahandayani114@gmail.com)

ABSTRAK

Nanokomposit merupakan salah satu kelompok material yang terdiri dari matriks polimer yang diperkuat dengan nanopartikel organik dan anorganik yang memiliki setidaknya satu dimensi dalam rentang 10 hingga 100 nm. Biodegradabilitas nanokomposit dapat dipertahankan dengan memanfaatkan bahan polimer dan bahan penguat yang berasal dari sumber daya terbarukan. Bahan nanokomposit polimer seperti biopolimer menunjukkan sifat mekanik dan fisik yang lebih baik dibandingkan dengan biopolimer lain karena luas permukaan yang besar dan rasio aspek partikel nano yang tinggi. Tantangan dalam menghasilkan nanokomposit PLA berkinerja tinggi adalah meningkatkan kompatibilitas antara nanoselulosa dan matriks polimer PLA untuk memperbaiki dispersi partikel nanoselulosa. Nanoselulosa diperkuat PLA nanokomposit umumnya menunjukkan dispersi pengisi yang buruk dalam matriks PLA karena karakteristik hidrofilik dan hidrofobik yang berbeda masing-masing.

Kata kunci : Nanokomposit, Selulosa, PLA

ABSTRACT

Nanocomposites are a group of materials consisting of a polymer matrix reinforced with organic and inorganic nanoparticles that have at least one dimension in the 10 to 100 nm range. The biodegradability of nanocomposites can be maintained by utilizing polymeric materials and reinforcing materials derived from renewable sources. Polymer nanocomposite materials such as biopolymers exhibit better mechanical and physical properties compared to other biopolymers due to their large surface area and high aspect ratio of nanoparticles. The challenge in producing high performance PLA nanocomposites is to improve the compatibility between the nanocellulose and the PLA polymer matrix to improve the dispersion of the nanocellulose particles. Nanocellulose reinforced PLA nanocomposites generally show poor filler dispersion in the PLA matrix due to different hydrophilic and hydrophobic characteristics respectively.

Keywords: Nanocomposites, Cellulose, PLA

PENDAHULUAN

1.1 Landasan Teori

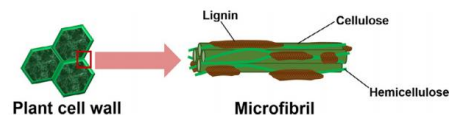
1.1.1 Biomassa Lignoselulosa

Biomassa lignoselulosa mencakup berbagai bahan organik alami yang sebagian besar mengacu pada tumbuhan

atau bahan nabati, yang merupakan kelompok bahan karbon berkelanjutan dalam jumlah terbesar dan merupakan bahan baku paling menjanjikan untuk produksi berkelanjutan biokimia, bioetanol, dan biofuel. Terutama biomassa lignoselulosa merupakan sumber serat alami yang dapat menggantikan polimer berbasis minyak bumi karena sifatnya yang ramah lingkungan. Selain itu, limbah dari biomassa seperti limbah pertanian dan sisa hutan memiliki potensi tinggi untuk digunakan kembali sebagai bahan bakar atau bahan baku untuk produksi bahan bernilai tambah tinggi tanpa persaingan dengan rantai makanan manusia dan hewan.

Struktur dinding sel biomassa lignoselulosa terutama terdiri dari tiga macam polimer, yaitu lignin, hemiselulosa, dan selulosa. Namun, komposisi dan kandungan ketiga komponen ini bervariasi karena perbedaan spesies, jenis, dan sumber biomassa lignoselulosa. Lignin mewakili sekitar 10-25% berat biomassa lignoselulosa kering. Di dinding sel tumbuhan, lignin berfungsi sebagai pengikat yang menahan antara bagian selulosa dan kulit hemiselulosa (Gambar 1). Dengan fungsi pengikatannya, lignin memberikan kekakuan, kekuatan tekan, tahan terhadap pembusukan, dan kedap air pada dinding sel tanaman. Lignin terdiri dari kopolimer amorf ikatan silang yang disintesis dari tiga monomer fenilpropana yang berbeda secara acak, yaitu *p-coumaryl*, *coniferyl*, dan *sinapyl alcohol* yang masing-masing mengandung nol, satu, dan dua gugus metoksil. Perbandingan ketiga satuan monomer primer ini bergantung pada spesies dan sumber biomassa lignoselulosa. Baru-baru ini, isolasi lignin dari biomassa

lignoselulosa dan depolimerisasi lignin terutama dipelajari untuk produksi *biofuel* dan bahan kimia dari bahan alami. Selain itu, bahan karbon berbasis lignin juga diterapkan untuk katalisis, penyimpanan energi, dan penghilangan polutan, yang dikembangkan secara menarik.

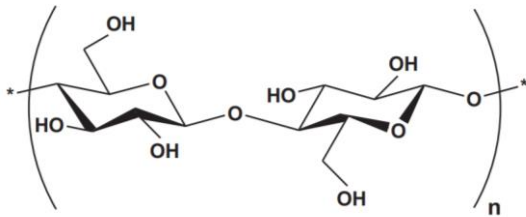


Gambar 1. Struktur utama dinding sel tumbuhan

dalam biomassa lignoselulosa terdiri dari lignin, hemiselulosa, dan selulosa.

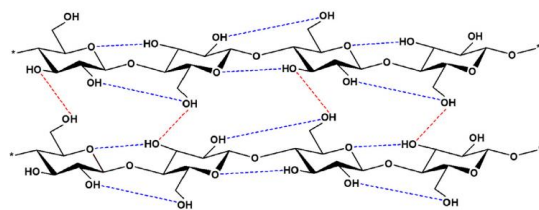
Hemiselulosa mewakili sekitar 20-35% dalam biomassa lignoselulosa. Hemiselulosa adalah heteropolimer yang tersusun oleh rantai pendek, linier, dan bercabang dari berbagai jenis monomer seperti pentosa dan heksosa. Jenis hemiselulosa yang umum adalah xilan dan glukomanan. Xilan banyak tersusun di kayu keras sedangkan glukomanan sebagian besar ditemukan di kayu lunak. Hemiselulosa melekat pada fibril selulosa melalui ikatan hidrogen dan interaksi Van der Waal (Gambar 1). Selain itu, ia juga berhubungan silang dengan lignin. Penimbunan hemiselulosa dengan selulosa dan lignin berkaitan dengan kekuatan struktur dinding sel tumbuhan. Hemiselulosa dapat dihidrolisis oleh asam, alkali, atau enzim dalam kondisi ringan untuk produksi bahan bakar etanol dan bahan kimia berharga dari oligomer atau monomernya yang dapat digunakan untuk makanan, kosmetik, industri pertambangan dan sebagainya.

Selulosa adalah komponen utama dalam biomassa lignoselulosa yang terutama terlokalisasi di dinding sel tanaman sekitar 35-50%. Selulosa terdiri dari homopolisakarida linier dari unit anhidro-D-glukosa terkait- β -1,4 dengan unit berulang selobiosa (Gambar 2).



Gambar 2. Skema selobiosa

Monomer selobiosa, yang dinamai unit anhidroglukosa, terdiri dari tiga gugus hidroksil yang membentuk ikatan hidrogen kuat dengan unit glukosa yang berdekatan dalam rantai yang sama dan dengan rantai berbeda, masing-masing disebut sebagai jaringan ikatan hidrogen intramolekul dan antarmolekul (Gambar 3).



Gambar 3. Jaringan ikatan hidrogen intramolekul

(----) dan antarmolekul (----) dalam struktur selulosa.

Jaringan ikatan hidrogen ini kuat dan padat di bagian kristal fibril selulosa yang mengarah pada keras, kekuatan, berserat, tidak larut dalam air, dan ketahanan tinggi terhadap sebagian besar pelarut organik di dinding sel tanaman.

Orientasi molekul glukosa dan jaringan ikatan hidrogen dalam selulosa memiliki orientasi yang luas, sehingga menghasilkan amorf selulosa yang berbeda. Variasi amorf selulosa tergantung pada sumber biomassa lignoselulosa dan metode perlakuannya. Secara umum terdapat empat jenis amorf selulosa yaitu selulosa tipe I, II, III, dan IV. Selulosa tipe I adalah amorf umum selulosa di alam atau selulosa asli yang merupakan pengepakan paralel jaringan ikatan hidrogen. Selulosa tipe II berasal dari regenerasi kimiawi selulosa tipe I dengan cara dilarutkan dalam pelarut atau pembengkakan dalam larutan asam atau basa. Dengan regenerasi kimiawi ini, selulosa tipe II disusun oleh berbagai pengaturan pengemasan antiparalel jaringan ikatan hidrogen. Selulosa tipe III dapat diperoleh dari perlakuan amonia selulosa I atau II, sedangkan selulosa tipe IV merupakan modifikasi dari selulosa III dengan pemanasan hingga 260 °C dalam gliserol. Dengan karbon yang berlimpah, gugus hidroksil, monomer glukosa, selulosa adalah sumber paling alami untuk produksi bahan berbasis karbon, bahan kimia berharga, tekstil, kertas, dan sebagainya.

1.1.2 Nanoselulosa

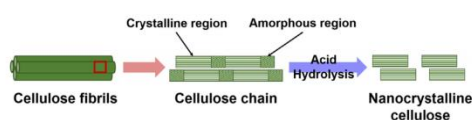
Nanoselulosa adalah serat alami yang dapat diekstraksi dari selulosa. Yang menjadi perhatian khusus adalah ukuran serat nanoselulosa yang umumnya memiliki diameter kurang dari 100 nm dan panjang beberapa mikrometer. Nanocellulose adalah nanofiber biodegradable dengan bobot ringan, kepadatan rendah (sekitar 1,6 g / cm³) dan sifat kekuatan yang luar biasa. Terutama, ia memiliki kekakuan tinggi hingga modulus elastisitas 220 GPa yang lebih besar dari serat Kevlar. Selain itu,

nanoselulosa memiliki kekuatan tarik yang tinggi hingga 10 GPa yang lebih besar dari besi tuang dan rasio kekuatan terhadap beratnya 8 kali lebih tinggi dari baja tahan karat. Selain itu, nanoselulosa transparan dan penuh dengan permukaan reaktif gugus hidroksil yang dapat difungsikan ke berbagai properti permukaan.

Nanoselulosa dapat dikategorikan menjadi tiga tipe utama; selulosa nanokristalin, selulosa nanofibrilasi, dan nanoselulosa bakteri. Meskipun semua jenis memiliki komposisi kimia yang sama, tetapi morfologi, ukuran partikel, kristalinitas, dan beberapa sifat berbeda karena perbedaan sumber dan metode ekstraksi.

1.1.2.1 Selulosa Nanokristalin

Selulosa nanokristalin, juga dikenal sebagai nanokristal selulosa, kristal nano selulosa, atau cabang nano selulosa, adalah nanoselulosa dengan kekuatan tinggi, yang biasanya diekstraksi dari fibril selulosa dengan hidrolisis asam. Bentuknya seperti batang pendek atau bentuk kumis dengan diameter 2–20 nm dan panjang 100–500 nm. Juga, ini mengandung 100% komposisi kimia selulosa terutama di daerah kristal (kristalinitas tinggi sekitar 54-88%). Gambar 4. menunjukkan skema selulosa nanokristalin yang dapat diekstraksi dari fibril selulosa dengan hidrolisis asam. Bagian amorf dihidrolisis dan dihilangkan oleh asam sedangkan bagian kristal masih dipertahankan. Kesimpulan dari metode ekstraksi ini adalah selulosa nanokristalin mengandung kristalinitas tinggi dengan bentuk batang pendek.

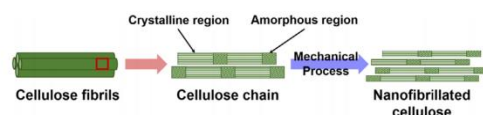


Gambar 4. Skema selulosa nanokristalin yang dapat

diekstraksi dari rantai selulosa menghilangkan daerah amorf dengan hidrolisis asam dan hanya menyisakan daerah kristal

1.1.2.2 Selulosa Nanofibril

Nanoselulosa ini juga dikenal sebagai mikrofibril selulosa, selulosa mikrofibrilasi, serat nano selulosa, nanofibril selulosa, atau selulosa nanofibrillar, adalah nanoselulosa panjang, fleksibel, dan terjerat yang dapat diekstraksi dari fibril selulosa dengan metode mekanis. Ia memiliki bentuk fibril panjang dengan diameter 1-100 nm dan panjang 500-2000 nm. Juga, ini mengandung 100% komposisi kimia selulosa dengan daerah kristal dan amorf. Gambar 5. menunjukkan skema selulosa nanofibrillated yang dapat diekstraksi dari rantai selulosa dengan pembelahan fibril dalam sumbu longitudinal dari gaya yang diterapkan oleh proses mekanis. Dibandingkan dengan selulosa nanokristalin, selulosa nanofibrilasi memiliki panjang yang lebih panjang dengan rasio aspek tinggi (panjang terhadap diameter), luas permukaan tinggi, dan gugus hidroksil ekstensif yang mudah diakses untuk modifikasi permukaan.



Gambar 5. Skema selulosa nanofibrilasi yang dapat

diekstraksi dari rantai selulosa menggunakan proses mekanis untuk membelah serat menjadi ukuran diameter nanometer.

1.1.2.3 Nanoselulosa Bakteri

Nanoselulosa bakteri adalah jenis lain dari nanoselulosa yang berbeda dari selulosa nanokristalin dan selulosa nanofibrilasi. Selulosa nanokristalin dan nanofibrilasi dapat diekstraksi dari biomassa lignoselulosa (*proses top-down*) tetapi nanoselulosa bakteri dihasilkan dari penumpukan gula dengan berat molekul rendah oleh bakteri terutama oleh *Gluconacetobacter xylinus* selama beberapa hari hingga dua minggu (*proses bottom-up*). Dengan demikian, nanoselulosa bakteri selalu dalam bentuk murni tanpa adanya komponen lain dari biomassa lignoselulosa seperti lignin, hemiselulosa, pektin dan sebagainya. Nanoselulosa bakteri memiliki komposisi kimia yang sama dengan dua jenis nanoselulosa lainnya. Ini dalam bentuk pita puntir dengan diameter rata-rata 20–100 nm dan panjang mikrometer dengan luas permukaan besar per unit. (Phantong, P. dkk. 2018)

1.1.3 PLA

Poli asam laktat atau Poly Lactic Acid (PLA) dengan rumus kimia $(\text{CH}_3\text{CHOHCOOH})_n$ merupakan suatu polimer biodegradable yang diperoleh dari gabungan monomer asam laktat. PLA ditemukan pada tahun 1932 oleh Carothers yang memproduksi PLA dengan berat molekul rendah dengan memanaskan asam laktat pada kondisi vakum. PLA termasuk kedalam golongan polimer plastik yang dapat teruraikan didalam tanah dalam jangka waktu yang singkat. Polimer ini merupakan bahan serbaguna yang 100% dibuat dari bahan baku alami yang seperti jagung, pisang, ubi, gandum, pisang kentang dan bahan-bahan lainnya yang memiliki pati dalam jumlah yang banyak.

Poli asam laktat mempunyai potensi yang sangat besar dikembangkan sebagai pengganti plastik konvensional sebagai langkah untuk menunjukkan kepedulian terhadap lingkungan dan merosotnya persediaan bahan bakar. PLA diharapkan dapat menjadi bahan alternatif untuk pengganti plastik biasa yang terbuat dari hidrokarbon.



Gambar 1. *Paly Lactid Acid*

Walaupun PLA sudah dikenal sejak abad yang lalu namun PLA baru diproduksi secara komersial dalam beberapa tahun terakhir. Sebuah perusahaan NatureWork LLC di Amerika telah mengembangkan hak paten untuk memproduksi polimer berbahan dasar asam laktat dengan nama PLA dalam berbagai tipe dan jenis. Pembuatannya dilakukan dengan menggunakan substansi lingkungan berupa bahan pati dari jagung yang menghasilkan PLA dalam bentuk butiran atau biji plastik.

Tabel 1 Sifat Fisika dan Kimia *Poly Asam Lactid*

Sifat	Ukuran Sifat
Bentuk Fisik	Pellet, Putih, Keras
Berat molekul	66.000 gr/mol
Density	1,2515 gr/cm ³
Transisi Glass	55-65°C
Suhu leleh	150 – 180°C
Suhu Degradasi	250 °C
Cp (100°C)	1955 J/Kg °C
Konduktivitas Termal (190 °C)	0,195 W/m °C

(Sumber : Nature Work, LLC Data Sheet)

1.1.4 NKS/PLA Nanokomposit

Nanokomposit merupakan salah satu kelompok material yang terdiri dari matriks polimer yang diperkuat dengan nanopartikel organik dan anorganik yang memiliki setidaknya satu dimensi dalam rentang 10 hingga 100 nm. Biodegradabilitas nanokomposit dapat dipertahankan dengan memanfaatkan bahan polimer dan bahan penguat yang berasal dari sumber daya terbarukan. Bahan nanokomposit polimer seperti biopolimer menunjukkan sifat mekanik dan fisik yang lebih baik dibandingkan dengan biopolimer lain karena luas permukaan yang besar dan rasio aspek partikel nano yang tinggi. Tantangan dalam menghasilkan nanokomposit PLA berkinerja tinggi adalah meningkatkan kompatibilitas antara nanoselulosa dan matriks polimer PLA untuk memperbaiki dispersi partikel nanoselulosa. Nanocellulose diperkuat PLA nanokomposit umumnya menunjukkan dispersi pengisi yang buruk dalam matriks PLA karena karakteristik hidrofilik dan hidrofobik yang berbeda masing-masing. (Kian, L.K., dkk, 2018).

KESIMPULAN

Pemanfaatan nanoselulosa semakin mendapat perhatian dari berbagai bidang penelitian, terutama bidang nanokomposit polimer karena produk serat berbasis minyak bumi yang semakin berbahaya bagi lingkungan. Sementara itu, pencarian sumber selulosa alternatif dari berbagai tumbuhan menjadi minat untuk menghasilkan nanoselulosa dengan karakterisasi yang bervariasi sesuai dengan bidang aplikasi tertentu. Dalam kandungan ini serat kulit pohon yang panjang dan kuat dari spesies tumbuhan secara bertahap mendapatkan posisinya yang luar biasa di

bidang ekstraksi nanoselulosa dan fabrikasi nanokomposit. Serat tumbuhan atau serat selulosa dianggap sebagai agen penguat yang menjanjikan dalam matriks polimer berbasis bio dalam industri komposit polimer karena pembaharuannya, bobot yang ringan, kekuatan spesifik tinggi, modulus spesifik tinggi dan biaya rendah. Nanoselulosa dari serat kulit pohon adalah penguat yang berpotensi untuk polimer untuk meningkatkan fitur polimer dalam bahan nanokomposit dan sangat sesuai dengan permintaan untuk berbagai aplikasi industri

DAFTAR PUSTAKA

- Putri, E., & Gea, S. (2018). Isolasi dan Karakterisasi Nanokristal Selulosa dari Tandan Sawit (*Elaeis Guineensis* Jack). *Elkawnie*, 4(1), 13-22.
- Lamaming, J., Hashim, R., Sulaiman, O., Leh, C. P., Sugimoto, T., & Nordin, N. A. (2015). Cellulose nanocrystals isolated from oil palm trunk. *Carbohydrate Polymers*, 127, 202-208.
- Kian, L. K., Saba, N., Jawaid, M., & Sultan, M. T. H. (2019). A review on processing techniques of bast fibers nanocellulose and its polylactic acid (PLA) nanocomposites. *International journal of biological macromolecules*, 121, 1314-1328.
- Hartati, N., Kemala, T., Sutriah, K., & Farobie, O. (2019). Kompatibilitas Nanokristal Selulosa Termodifikasi Setrimonium Klorida (CTAC) dalam Matriks Poliasam Laktat

sebagai Material Pengemas. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 22(4), 157-163.

Aulia, F. (2013). Studi penyediaan nanokristal selulosa dari tandan kosong sawit (TKS). *Saintia Kimia*, 1(2).

Suryani, Harry Agusnar, Basuki Wirjosentono, Nurhanifa Aidy. 2017. Improving the quality of biopolymer (poly lactic acid) with the addition of bentonite as filler. IOP Conference Series Materials Science and Engineering 222(1):012008.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/222/1/012008>

Kargarzadeh, H., Mariano, M., Huang, J., Lin, N., Ahmad, I., Dufresne, A., & Thomas, S. (2017). Recent developments on nanocellulose reinforced polymer nanocomposites: A review. *Polymer*, 132, 368-393.

Julkapli, N. M., & Bagheri, S. (2017). Progress on nanocrystalline cellulose biocomposites. *Reactive and Functional Polymers*, 112, 9-21.

Vinod, A., Siengchin, S., & Parameswaranpillai, J. (2020). Renewable and sustainable biobased materials: An assessment on biofibers, biofilms, biopolymers and biocomposites. *Journal of Cleaner Production*, 120978.