

SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOKOMPOSIT TiO_2 -SELULOSA DARI LIMBAH AMPAS TEBU

SYNTHESIS AND CHARACTERISATION OF TiO_2 -CELLULOSE NANOCOMPOSITE FROM SUGARCANE BAGASSE

*Cindhy Novita Sari, Dina Kartika Maharani**

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences

Universitas Negeri Surabaya

Jl. Ketintang, Surabaya (60231), Telp. 031-8298761

** Corresponding author, email: dinakartika@unesa.ac.id*

Abstrak. Ampas tebu merupakan limbah pertanian yang melimpah di Indonesia, mencapai lebih dari 750.000 ton setiap tahunnya, namun belum banyak dimanfaatkan. Padahal ampas tebu mengandung selulosa dalam jumlah tinggi mencapai 52,7%, salah satu yang tertinggi dibandingkan limbah pertanian lainnya. Mengingat kandungan serat dan ketersediaannya yang tinggi, ampas tebu memiliki potensi untuk didaur ulang menjadi material bernilai tinggi, termasuk nanoselulosa, biopolimer berskala nano dengan luas permukaan, kekuatan mekanis, dan kristalinitas yang tinggi. Penelitian ini mengeksplorasi pemanfaatan selulosa berbahan ampas tebu, yang kemudian dikompositkan dengan nanopartikel titanium dioksida (TiO_2) untuk membentuk nanokomposit. Isolasi selulosa dilakukan menggunakan metode gabungan kimia dan mekanis yang melibatkan perlakuan basa, bleaching, dan hidrolisis asam, diikuti dengan ultrasonikasi. Sintesis nanokomposit dilakukan menggunakan metode dispersi basah dengan campuran air dan etanol sebagai pelarut. Hasil analisa XRD menunjukkan keberhasilan isolasi nanoselulosa yang ditandai dengan peningkatan derajat kristalinitas dari 51,37% menjadi 70,55% setelah proses isolasi, serta ukuran kristal berada pada rentang nanometer, yakni nanoselulosa sebesar 4,31 nm dan nanokomposit sebesar 35,41 nm. Karakteristik kimia FTIR lebih lanjut memperkuat indikasi keberhasilan isolasi di mana terjadi penurunan intensitas gugus fungsional komponen amorf seperti C=O dan C=C aromatik khas hemiselulosa dari 0,0181 menjadi 0,0131 dan dari 0,0314 menjadi 0,0140.

Kata kunci : Ampas tebu, Nanokomposit TiO_2 -Selulosa, XRD, FTIR

Abstract. Sugarcane bagasse is an abundant agricultural waste in Indonesia, reaching more than 750,000 tons annually, yet it remains underutilized. It contains a high cellulose content of up to 52.7%, one of the highest among agricultural residues. Considering its high fiber content and wide availability, sugarcane bagasse has significant potential to be recycled into high-value materials, including nanocellulose, a nanoscale biopolymer with high surface area, mechanical strength, and crystallinity. This study explores the utilization of cellulose derived from sugarcane bagasse, which was subsequently composited with titanium dioxide (TiO_2) nanoparticles to form nanocomposites. Cellulose isolation was carried out using a combined chemical and mechanical method involving alkali treatment, bleaching, and acid hydrolysis, followed by ultrasonication. The nanocomposite synthesis was performed through a wet dispersion method using a water-ethanol mixture. XRD analysis confirmed the successful isolation of nanocellulose, as indicated by an increase in crystallinity index from 51.37% to 70.55% after isolation, with crystal sizes in the nanometer range, that is 4.31 nm for nanocellulose and 35.41 nm for the nanocomposite. FTIR characterization corroborates the success of isolation, showing a decrease in the intensity of functional groups associated with amorphous components such as C=O and aromatic C=C, from 0.0181 to 0.0131 and from 0.0314 to 0.0140, respectively.

Key words: Sugarcane Bagasse, TiO_2 -Cellulose Nanocomposite, XRD, FTIR

PENDAHULUAN

Salah satu material yang saat ini tengah mendapat perhatian sebagai fotokatalis adalah nanopartikel TiO_2 , dikarenakan aktivitas fotokatalitik yang efisien, celah pita (*band gap*) yang sempit, sensitif terhadap cahaya UV, serta mampu mendegradasi berbagai polutan organik dan anorganik [1]. Selain itu, TiO_2 juga bersifat tidak beracun, mudah diperoleh karena melimpah di alam, memiliki stabilitas kimia yang tinggi dalam rentang pH yang luas, serta biaya produksinya relatif rendah [2].

Nanopartikel TiO_2 memiliki kekurangan yakni cenderung mengalami aglomerasi. Salah satu upaya untuk mengurangi terjadinya aglomerasi adalah dengan menambahkan matriks yang dapat membantu mendispersikan partikel TiO_2 secara lebih merata dan mencegah penggumpalan [3]. Salah satu matriks yang dianggap ideal adalah selulosa, karena ketersediaannya yang melimpah dan mudah diperoleh. Hampir semua tumbuhan mengandung selulosa dalam jumlah tinggi, menjadikannya salah satu sumber daya alam terbarukan yang sangat luas. Melalui proses isolasi, ukuran selulosa murni yang dihasilkan dapat bervariasi tergantung pada bahan baku, metode isolasi, serta teknik penanganan yang digunakan.

Nanoselulosa merupakan partikel selulosa yang berukuran kurang dari 100 nm [4]. Ukuran nanoselulosa yang sangat kecil ini menyebabkan peningkatan kemampuan dispersi dan biodegradasi, serta meningkatkan kristalinitas, aspek rasio, dan luas permukaan spesifik. Oleh karena itu, nanoselulosa dapat digunakan dalam berbagai produk *biodegradable*, penguat membran, penghantar obat, serta pengikat dalam kertas dan nanokomposit [5]. Nanokomposit yang merupakan kombinasi antara polimer dan material anorganik memiliki banyak keunggulan. Aplikasi penggabungan TiO_2 dengan nanoselulosa telah menunjukkan peningkatan pada sifat-sifat TiO_2 , seperti stabilitas yang lebih baik, serta meningkatnya sifat fotokatalitik, antibakteri, dan hidrofilik. Hal ini menjadikan nanoselulosa kandidat yang baik sebagai material komposit untuk TiO_2 [6].

Nanoselulosa dapat diperoleh melalui proses isolasi dari limbah pertanian, salah satunya adalah ampas tebu (*Saccharum officinarum* L.). Ampas tebu, atau sering disebut *bagasse*, merupakan produk samping dari proses ekstraksi cairan tebu. Pemanfaatan limbah ampas tebu di

Indonesia saat ini meliputi pupuk, pakan ternak, dan campuran bahan baku kertas, namun masih dianggap belum optimal mengingat jumlah limbah yang dihasilkan setiap tahunnya sangat besar, yakni mencapai 756.582,72 ton pada tahun 2021. Padahal, ampas tebu mengandung serat yang cukup tinggi, yaitu selulosa sebesar 52,7%, lignin 24,2%, dan hemiselulosa 20% [7]. Kandungan selulosa dalam ampas tebu merupakan salah satu yang tertinggi dibandingkan dengan limbah pertanian lainnya, seperti ampas kopi sebesar 8,6% [8] dan batang jagung sebesar 42,6% [9]. Berdasarkan data tersebut, ampas tebu dinilai memiliki potensi besar untuk diolah menjadi material dalam pembuatan nanokomposit TiO_2 -selulosa.

Isolasi selulosa dapat dilakukan dengan berbagai metode, seperti hidrolisis asam, hidrolisis enzimatis, metode mekanis, atau kombinasi dari beberapa metode tersebut. Metode mekanis memiliki beberapa kelemahan, seperti membutuhkan waktu lama serta energi dan tekanan yang tinggi. Sementara itu, metode enzimatis memerlukan proses panjang dan tergantung pada kemampuan mikroorganisme. Oleh karena itu, metode kimia dianggap sebagai pilihan paling efisien dalam proses isolasi selulosa. Metode kimia ini dapat dikombinasikan dengan metode mekanis atau enzimatis [10]. Kombinasi antara metode kimia (hidrolisis asam) dan metode mekanis telah dilaporkan menghasilkan nanoselulosa dengan nilai indeks kristalinitas (*Icr*) yang lebih tinggi (64,9%) dibandingkan tanpa bantuan proses mekanis (58,6%) [11]. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini, isolasi dilakukan menggunakan kombinasi metode kimia dan mekanis.

Sejumlah penelitian sebelumnya terkait nanokomposit TiO_2 telah dilakukan. Misalnya, Anaya (2020) melaporkan bahwa penggabungan TiO_2 dengan polisakarida seperti selulosa dapat meningkatkan sifat mekanik, stabilitas termal, perlindungan UV, dan sifat anti-air (*water-resistance*) diakibatkan interaksi kuat antara gugus -OH pada selulosa dengan TiO_2 [12]. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Ratod mengenai fotodegradasi MEF (asam mefenamat) menunjukkan peningkatan efisiensi fotokatalitik pada komposit nanoselulosa- TiO_2 sebesar 44,97%, dibandingkan dengan efisiensi TiO_2 murni yang hanya sebesar 24,2% [13].

Fokus utama dari penelitian ini adalah mengkaji pemanfaatan ampas tebu sebagai sumber

selulosa serta karakteristiknya sebagai bahan nanokomposit. Inisiatif ini diharapkan dapat berkontribusi dalam mengurangi jumlah limbah ampas tebu yang sangat melimpah di Indonesia serta mengolahnya menjadi material yang bernilai tinggi.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah: ampas tebu, NaOH 2% (b/v), NaOH 12% (b/v), H_2O_2 , H_2SO_4 1% (v/v), ethanol, TiO_2 , dan akuades.

Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah: neraca analitik, penghalus, ayakan 80 mesh, pipet, spatula, gelas beaker, gelas ukur, hotplate magnetic stirrer, termometer, oven, centrifuge, kertas saring, freeze dryer.

Prosedur Penelitian

Preparasi Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah ampas tebu. Ampas tebu mula-mula dicuci dengan air untuk menghilangkan kotoran, kemudian dipotong hingga berukuran 2-3 cm dan dikeringkan dalam oven pada suhu 80 °C. Setelah kering, ampas tebu dihaluskan dengan *chopper* hingga berbentuk serbuk dan diayak menggunakan saringan berukuran 80 mesh. Serbuk yang lolos ayakan 80 mesh inilah yang dipergunakan sebagai bahan dalam isolasi nanoselulosa.

Isolasi Nanoselulosa

Nanoselulosa diisolasi dengan menggunakan metode campuran kimia dan mekanik. Metode kimia diawali dengan dua tahap perlakuan basa menggunakan larutan NaOH 2% (b/v) dan NaOH 12% (b/v). Setiap tahap perlakuan basa dilakukan selama 2 jam pada suhu 80°C menggunakan *hot plate magnetic stirrer*. Setelah itu, sampel dibilas dengan akuades dan disaring. Filtrat yang dihasilkan setelah proses perlakuan basa kemudian dilakukan *bleaching* menggunakan 250 ml larutan H_2O_2 pada suhu 75°C selama 15 menit. Setelah proses *bleaching*, sampel dibilas lagi dengan akuades hingga pH netral dan disaring. Filtrat yang dihasilkan selanjutnya dihidrolisis asam menggunakan larutan H_2SO_4 1% (v/v) pada suhu 80°C selama 2 jam. Setelah itu, metode

meknik dilakukan dengan sonikasi selama 2 jam, kemudian sampel disentrifugasi pada kecepatan 10.000 rpm selama 15 menit. Selulosa yang diperoleh kemudian dikeringkan menggunakan alat *freeze dryer*.

Sintesis Nanokomposit

Nanokomposit disintesis dengan metode disperse basah. Sebanyak 1 gram nanoselulosa yang telah diisolasi dari ampas tebu dilarutkan dalam campuran 50 mL etanol dan 50 mL air. Kemudian, nanopartikel TiO_2 ditambahkan ke dalam larutan tersebut. Larutan diaduk selama 15 menit dan disonikasi selama 20 menit. Nanokomposit yang telah terdispersi kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 70°C selama 24 jam, menghasilkan nanokomposit TiO_2 -Selulosa. Diagram alir isolasi selulosa ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir Isolasi Selulosa

Karakterisasi Sampel

Sampel dianalisis menggunakan FTIR untuk mengamati gugus fungsi yang terdapat dalam sampel. Sampel juga dianalisis menggunakan XRD untuk menentukan ukuran dan indeks kristalinitas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Nanokomposit TiO_2 -Selulosa

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengolah limbah ampas tebu menjadi nanokomposit TiO_2 -Cellulose. Isolasi dilakukan dengan kombinasi metode kimia dan mekanik. Proses isolasi diawali dengan pretreatment alkali menggunakan NaOH 2% dan 12%. Fungsi dari pretreatment alkali adalah untuk menghilangkan lamela, yaitu bagian dari serat tanaman yang kaya akan lignin. Setelah *pre-treatment* alkali, sampel

menunjukkan perubahan warna dari kuning muda menjadi oranye.

Selanjutnya dilakukan proses bleaching menggunakan H_2O_2 . Setelah bleaching, sampel yang awalnya berwarna oranye berubah menjadi putih kekuningan. Perubahan ini terjadi karena proses bleaching yang dilakukan setelah pretreatment basa berkontribusi dalam memodifikasi warna sampel menjadi lebih pudar, karena mampu menghilangkan sisa lignin dan tanin [14]. Sampel yang telah diputihkan kemudian mengalami proses hidrolisis asam menggunakan H_2SO_4 . Asam sulfat yang digunakan dalam proses hidrolisis bereaksi dengan gugus hidroksil pada permukaan nanokristal, dan menghasilkan gugus ester sulfat bermuatan negatif. Gugus bermuatan negatif ini memengaruhi kestabilan dispersi nanokristal selulosa [15].

Setelah proses kimia, tahap selanjutnya adalah proses mekanik dengan metode ultrasonikasi menggunakan gelombang ultrasonik yang menghasilkan efek kavitasi akustik. Gelombang ultrasonik menyebabkan gelembung kavitasi meledak sehingga dapat memutus ikatan α -glikosida di area amorf selulosa [16]. Ultrasonikasi memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode mekanik lain seperti homogenisasi, antara lain waktu yang dibutuhkan relatif lebih cepat, memberikan kontrol yang lebih baik terhadap ukuran partikel dan distribusinya melalui pengaturan daya dan durasi, serta mampu menghasilkan ukuran yang relatif lebih kecil dan seragam tanpa memerlukan kecepatan tinggi. Setelah itu, sampel kemudian dikeringkan menggunakan metode *freeze dry*.

Persentase hasil (yield) dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Yield (\%)} = \frac{\text{Berat awal (gr)}}{\text{Berat akhir (gr)}} \times 100\%$$

Tabel 1. Nilai Rendemen Selulosa Ampas Tebu

| Proses | Masa (g) | Yield (%) |
|-----------------|----------|-----------|
| Basa 1 | 40,01 | 79,78 |
| Basa 2 | 34,38 | 68,55 |
| Bleaching | 24,44 | 48,73 |
| Hidrolisis Asam | 20,04 | 39,96 |

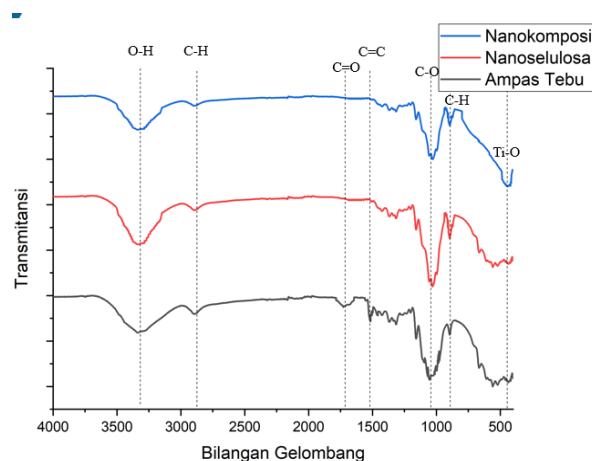
Berdasarkan data pada Tabel 1 diketahui bahwa hasil rendemen akhir selulosa dari ampas Tebu adalah sebesar 39,96 %. Hasil pada penelitian ini serupa dengan penelitian lain yaitu sebesar 27,3% [17] dan 26,3 % [18]. Sebanyak 1 gram selulosa yang telah dihasilkan dari proses isolasi kemudian dikompositkan dengan TiO_2 menggunakan metode dispersi basah. Larutan tersebut diaduk selama 15 menit, lalu dilanjutkan dengan ultrasonikasi selama 20 menit. Nanokomposit yang telah terdispersi kemudian dikeringkan dalam oven selama 24 jam, sehingga diperoleh nanokomposit TiO_2 -Selulosa. Gambar 2 menunjukkan hasil dari nanokomposit TiO_2 -Selulosa.



Gambar 2. (a) Setelah perlakuan basah, (b) Setelah bleaching, (c) Setelah hidrolisis asam, (d) nanokomposit TiO_2 -Selulosa

Analisa FTIR

Karakterisasi FTIR dilakukan untuk menganalisis gugus fungsional yang terdapat dalam sampel. Gambar 3 menunjukkan spektra FTIR dari sampel.



Gambar 3. Spektra FTIR dari sampel

Spektrum FTIR memperlihatkan adanya getaran regangan alifatik C-H pada bilangan gelombang 2927 cm^{-1} yang berasal dari ikatan antara karbon dan hidrogen dalam rantai alifatik. Keberadaan gugus C-O glikosidik yang terdeteksi

pada 1045 cm^{-1} menandakan adanya ikatan β -1,4-glikosidik yang menyusun rantai selulosa. Puncak pada 896 cm^{-1} menunjukkan vibrasi bending C–H yang berasal dari ikatan β -1,4-glikosidik. Area ini sering disebut sebagai *fingerprint region* atau wilayah penanda khas selulosa tipe 1 [19].

Keberhasilan proses isolasi ditunjukkan dengan berkurangnya kandungan lignin dan hemiselulosa dalam sampel. Vibrasi rangka aromatik lignin ditunjukkan pada 1516 cm^{-1} , sedangkan peregangan C=O hemiselulosa pada 1729 cm^{-1} dan. Pada spektrum FTIR nanoselulosa, puncak yang berkorespondensi dengan lignin dan hemiselulosa tampak berkurang secara signifikan [20]. Vibrasi C=C khas lignin ditunjukkan pada 1516 cm^{-1} , sedangkan peregangan C=O khas hemiselulosa berada pada 1729 cm^{-1} . Pada spektrum FTIR nanoselulosa setelah isolasi, puncak C=O dan C=C mengalami penurunan intensitas dari 0,0181 menjadi 0,0131 dan dari 0,0314 menjadi 0,0140. Selain itu, tampak terjadi peningkatan intensitas puncak O–H dari 0,0902 menjadi 0,1244, hal ini mengindikasikan peningkatan ikatan hidrogen akibat penurunan area amorf [21].

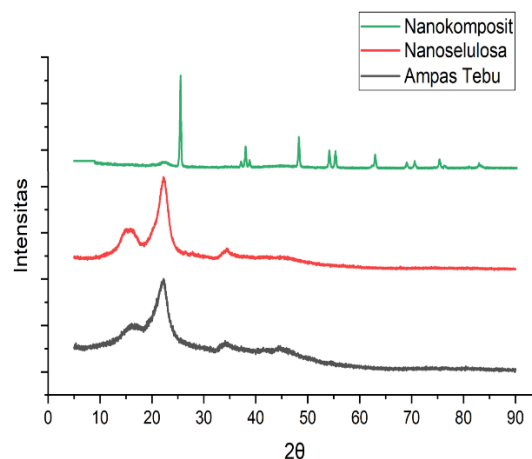
Spektrum FTIR nanokomposit menunjukkan adanya puncak baru pada area $500\text{--}700\text{ cm}^{-1}$. Puncak tersebut merupakan ciri khas vibrasi Ti–O yang menunjukkan keberadaan TiO_2 dalam nanokomposit. Puncak khas dari selulosa seperti O–H, C–H, dan C–O glikosidik tetap terdeteksi dan tidak mengalami penurunan intensitas. Hal ini menunjukkan bahwa proses sintesis telah berhasil mendispersikan TiO_2 dalam nanoselulosa tanpa merusak strukturnya. Tabel 2 menunjukkan gugus fungsional dari sampel.

Tabel 2. Identifikasi Gugus Fungsional Spektrum FTIR

| Gugus Fungsional | Bilangan Gelombang |
|------------------|--------------------|
| O–H | 3400 |
| C–H alifatik | 2900 |
| C–H | 897 |
| C–O glikosidik | 1045 |
| C=C aromatik | 1516 |
| C=O aromatik | 1729 |
| Ti–O | 400–500 |

Analisa XRD

Karakterisasi XRD dilakukan untuk menganalisis ukuran kristalit dan indeks kristalinitas dari nanoselulosa dan nanokomposit. Gambar 4 menunjukkan pola difraksi dari sampel yang diuji.



Gambar 4 Difraktogram XRD dari sampel

Analisis XRD terhadap TiO_2 komersial menunjukkan puncak difraksi pada nilai 2θ sebesar $25,2^\circ$, $37,7^\circ$, $47,94^\circ$, $53,91^\circ$, $55,09^\circ$, dan $62,75^\circ$, yang masing-masing sesuai dengan bidang kristal (101), (004), (200), (105), (211), dan (204). Pola ini sesuai dengan JCPDS No. 21-1272, yang mengonfirmasi bahwa fase TiO_2 yang terbentuk adalah anatase. Sementara itu, pola difraksi selulosa menunjukkan puncak pada $15,2^\circ$, $16,5^\circ$, $22,4^\circ$, dan $34,6^\circ$, yang sesuai dengan bidang (110), (110), (200), dan (004), menunjukkan bahwa selulosa hasil ekstraksi merupakan selulosa tipe I, sebagaimana tercantum dalam JCPDS No. 00-050-22411.

Perbandingan pola difraksi antara ampas tebu mentah dan nanoselulosa hasil isolasi menunjukkan puncak yang jauh lebih tajam dan intens di sekitar $2\theta = 22^\circ$, yang merupakan ciri khas dari selulosa kristalin tipe I. Puncak tajam pada sudut tersebut menunjukkan struktur kristalin yang tinggi dari selulosa tipe I [22]. Intensitas dan ketajaman puncak yang tinggi menunjukkan adanya peningkatan kristalinitas. Ampas tebu menunjukkan puncak yang lebih lebar akibat tingginya kandungan hemiselulosa dan lignin yang bersifat amorf. Setelah proses isolasi, terjadi peningkatan indeks kristalinitas karena komponen amorf berhasil dihilangkan selama proses isolasi [19]. Pola difraksi ampas tebu dan selulosa

menunjukkan puncak pada sudut yang sama, namun dengan ketajaman yang meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa struktur kristalin tidak rusak selama proses isolasi, melainkan justru meningkat [23].

Ukuran kristal dihitung menggunakan persamaan Debye Scherrer [24]. Tabel 3 menunjukkan rata-rata ukuran kristal dari sampel yang diuji. Didapatkan nilai ukuran kristal dari nanoselulosa dan nanokomposit keduanya telah berada pada rentang nanometer.

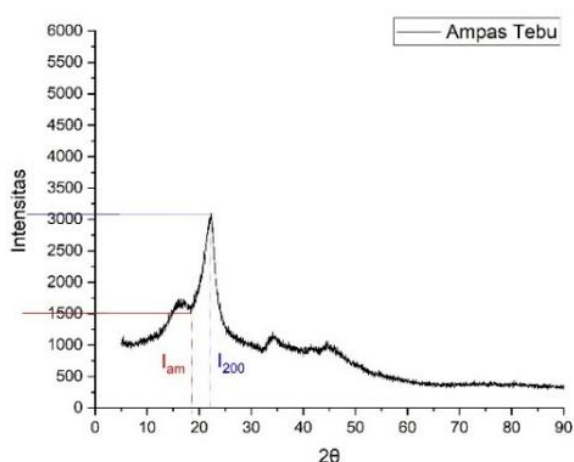
Tabel 3 Ukuran Kristal Sampel

| No. | Sampel | Ukuran Kristal (nm) |
|-----|------------------|---------------------|
| 1 | TiO ₂ | 33,5 |
| 2 | Selulosa | 4,31 |
| 3 | Nanokomposit | 35,41 |

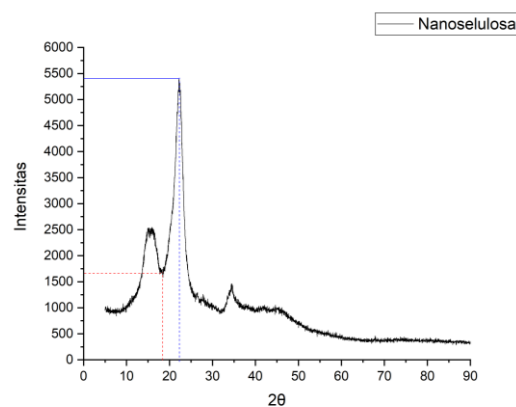
Derajat kristalinitas (CrI) dihitung menggunakan metode Segal dengan persamaan sebagai berikut [25]:

$$\text{CrI (\%)} = \frac{I_{002} - I_{\text{am}}}{I_{002}} \times 100\%$$

di mana I_{002} adalah intensitas maksimum difraksi pada bidang kristalin (002) di $2\theta \approx 22^\circ\text{--}23^\circ$, dan I_{am} adalah intensitas latar belakang amorf pada $2\theta \approx 18^\circ\text{--}19^\circ$.



Gambar 5. Nilai I_{am} dan I_{002} ampas tebu



Gambar 6. Nilai I_{am} dan I_{002} nanoselulosa

Gambar 5 dan 6 menunjukkan Nilai I_{am} dan I_{002} ampas tebu dan nanoselulosa. Didapatkan bahwa nilai I_{am} dan I_{002} ampas tebu adalah 1498 dan 3081 sedangkan nilai I_{am} dan I_{002} nanoselulosa adalah 1582 dan 5373. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa indeks kristalinitas sampel sebelum isolasi adalah sebesar 51,37%, dan meningkat menjadi 70,55% setelah proses isolasi. Temuan ini menunjukkan bahwa perlakuan tersebut berhasil menghilangkan bagian amorf dan meningkatkan struktur kristalin dari selulosa. Nilai derajat kristalinitas nanoselulosa tersebut terbilang tinggi. Beberapa penelitian lain seperti yang dilakukan oleh Pelissari (2014) melaporkan hasil derajat kristalinitas sebesar 64,9% dan penelitian oleh Khawas (2016) sebesar 63,64%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa nanoselulosa dapat diisolasi dari limbah ampas tebu melalui kombinasi metode mekanik dan kimia. Hal ini dibuktikan dengan analisis FTIR yang menunjukkan keberadaan gugus fungsi khas selulosa serta hilangnya gugus karbonil (C=O) dan eter (C–O) yang berasal dari hemiselulosa dan kerangka aromatik lignin. Selain itu, hasil analisis XRD menunjukkan adanya peningkatan derajat kristalinitas setelah proses isolasi dibandingkan dengan sebelum isolasi. Hal ini menunjukkan bahwa proses isolasi berhasil menghilangkan area amorf pada sampel dan menyisakan struktur kristal selulosa tipe 1. Kombinasi antara nanoselulosa dengan TiO₂ XRD.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada dosen pembimbing, karyawan, staf Universitas Negeri Surabaya, orang tua, dan teman-teman yang telah memberikan bantuan dan dukungan sehingga penelitian dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Calia, M. Lettieri, M. Masieri, S. Pal, A. Licciulli, and V. Arima, "Limestones Coated with Photocatalytic TiO₂ to Enhance Building Surface with Self-cleaning and Depolluting Abilities," *Journal of Cleaner Production*, vol. 165, pp. 1036–1047, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.07.193.
- [2] R. Nurillahi, D. N. Halimah, D. G. Apriliani, and I. Fatimah, "Pengolahan Limbah Batik Cair Menggunakan Fotokatalis TiO₂-Abu Vulkanik Desa Wukirsari Yogyakarta," *Khazanah: Jurnal Mahasiswa*, vol. 10, no. 2, pp. 1–8, 2018, doi: 10.20885/khazanah.vol10.iss2.art3
- [3] A. Matsudo, "Eco-Friendly Photocatalytic Solutions: Synthesized TiO₂ Nanoparticles in Cellulose Membranes for Enhanced Degradation of Indigo Carmine dye ACS Paragon Plus Environment, 2024, doi: 10.1021/acsomega.4c04017.
- [4] Nina Hartati, "Isolasi, Karakterisasi, Dan Aplikasi Nanokristal Selulosa: Review," *JSSIT: Jurnal Sains Dan Sains Terapan*, vol. 1, no. 2, pp. 29–38, 2023, doi: 10.30631/jssit.v1i2.19.
- [5] M. Börjesson and G. Westman, "Crystalline Nanocellulose — Preparation, Modification, and Properties. *Cellulose - Fundamental Aspects and Current Trends*, 2015, doi: 10.5772/61899.
- [6] K. Gabryelle, M. F. A. Ramadhan, & A. S. Handayani, "Synthesis Nanocomposites of Nanocellulose-TiO₂ for Red Base 218 Waste Water Treatment," *Jurnal IPTEK*, vol 7, no. 1, pp. 51–57, 2018.
- [7] A. Fadilla, V. Amalia, I. R. Wahyuni, "Pengaruh Selulosa Ampas Tebu (*Saccharum officinarum*) sebagai Zat Pengisi Plastik Biodegradable berbasis Pati Kulit Singkong (*Manihot fsculenta*)," *Gunung Djati Conference Series*, vol. 34, pp. 69–80, 2023.
- [8] C. V. Seli, K. T. Leto, and K. R. Nisa, "Pengaruh Penambahan Ampas Kopi Sebagai Adsorben Pada Limbah Cair Tenun Ikat," *Journal Innovation In Education*, vol. 2, no. 2, pp. 01–07, 2024, doi: 10.59841/inoved.v2i2.1057.
- [9] N. W. Asmoro, A. Afriyanti, and I. Ismawati, "Ekstraksi Selulosa Batang Tanaman Jagung (*Zea Mays*) Metode Basa," *Jurnal Ilmiah Teknosains*, vol. 4, no. 1, pp. 24–28, 2018, doi: 10.26877/jitek.v4i1.1710.
- [10] A. N. Vu, L. H. Nguyen, H. C. V. Tran, K. Yoshimura, T. D. Tran, H. Van Le and N. U. T. Nguyen, "Cellulose Nanocrystals Extracted From Rice Husk Using The Formic/peroxyformic Acid Process: Isolation and Structural Characterization," *RSC Advances*, vol. 14, no. 3, pp. 2048–2060, 2024, doi: 10.1039/d3ra06724f.
- [11] F. M. Pelissari, P. J. D. A. Sobral, and F. C. Menegalli, "Isolation and Characterization of Cellulose Nanofibers From Banana Peels," *Cellulose*, vol. 21, no. 1, pp. 417–432, 2014, doi: 10.1007/s10570-013-0138-6.
- [12] L. M. Anaya-Esparza, Z. Villagrán-de la Mora, J. M. Ruvalcaba-Gómez, R. Romero-Toledo, T. Sandoval-Contreras, S. Aguilera-Aguirre, E. Montalvo-González, and A. Pérez-Larios, "Use of Titanium Dioxide (TiO₂) Nanoparticles as Reinforcement Agent of Polysaccharide-Based Materials. *Processes*, vol. 8, no. 11, pp. 1395, 2020.
- [13] Rathod, "Nanocellulose/TiO₂ Composites: Preparation, Characterization and Application in Photocatalytic Degradation of a Potential Endocrine Disruptor, Mefenamic Acid, from Aqueous Media," *Photochemical & Photobiological Sciences*, Vol. 17, pp. 1301–1309, 2018, doi: 10.1039/C8PP00156A.
- [14] H. Tibolla, F. M. Pelissari, J. T. Martins, A. A. Vicente, and F. C. Menegalli, "Cellulose Nanofibers Produced From Banana Peel by Chemical and Mechanical Treatments: Characterization and Cytotoxicity Assessment," *Food Hydrocolloids*, vol. 75, pp. 192–201, 2018, doi: 10.1016/j.foodhyd.2017.08.027
- [15] K. Sahlin, L. Forsgren, T. Moberg, D. Bernin, M. Rigdahl, G. Westman, "Surface Treatment of Cellulose Nanocrystals (CNC): Effects on

- Dispersion Rheology. *Cellulose*, vol. 25, no. 1, pp. 331–345, 2018, doi: 10.1007/s10570-017-1582-5
- [16] S. Amirudin, T. Tamrin, and S. Rejeki, “Metode Sintesis Nanoselulosa: Kajian Pustaka,” vol. 2, no. 1, pp. 89–96, 2024.
- [17] D. Nawangsari, “Isolasi dan Karakterisasi Selulosa Mikrokrystal dari Ampas Tebu (*Saccharum Officinarum* L.),” *Pharmacon: Jurnal Farmasi Indonesia*, vol. 16, no. 2, 2019. e-ISSN 2685-5062
- [18] Yuliatun and Santoso, “Pengaruh Konsentrasi Natrium Hidroksida pada Isolasi Selulosa dari Ampas Tebu,” *Indonesian Sugar Research Journal*, vol. 2, no. 1, pp 12-21, June, 2022.
- [19] A. T. Melenia, S. Jovita, D. I. Utami, R. Tamim, H. Holilah, H. Bahruji, Z. A. A. Hamid, F. Mubarak, W. Widiyastuti, A. T. Wibisono, S. Suprpto, A. A. Jalil, and D. Prasetyoko, “Nanocrystalline cellulose from *Calophyllum inophyllum* shells waste by adjusting organic acid hydrolysis and optimization of reaction parameters using response surface methodology,” *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 281, Nov. 2024, Art. no. 135705, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.135705.
- [20] C. J. Wijaya, S. Ismadji, H. W. Aparamarta, and Gunawan, “Optimization of Cellulose Nanocrystals From Bamboo Shoots Using Response Surface Methodology,” *Heliyon*, vol. 5, no. 11, 2019, Art. no. e02807, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02807.
- [21] C.J. Wijaya, S. N. Saputra, F. E. Soetaredjo, J.N. Putro, C. X. Lin, A. Kurniawan, Y. H. Ju, and S. Ismadji, “Cellulose Nanocrystals From Passion Fruit Peels Waste as Antibiotic Drug Carrier,” *Carbohydrate Polymers*, vol. 175, pp. 370–376, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.carbpol.2017.08.004.
- [22] N. Samsalee, J. Meerasri, and R. Sothornvit, “Rice Husk Nanocellulose : Extraction by High-pressure Homogenization, Chemical Treatments and Characterization,” *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, vol. 6, Dec. 2023, Art. no. 100353.
- [23] P. Khawas, and S. C. Deka, “Isolation and Characterization of Cellulose Nanofibers from Culinary Banana Peel using High-intensity Ultrasonication Combined with Chemical Treatment. Vol. 137, pp. 608–616, 2016.
- [24] V. Zharvan, N. I. As, R. Daniyati, and G. Yudoyono, “Sintesis Serbuk Nano Titanium Dioksida dan Identifikasi Struktur Kristalnya,” *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*, vol. 16 no. 1, pp. 80, 2020, doi: 10.35580/jspfv16i1.19097
- [25] F. A. Sabaruddin, H. Ariffin, S.S. Shazleen, L. N. Y. Foong, P. O. Rujitanaroj, K. Thitiwutthisakul, P. Permpaisarnsakul, and P. Tinnasulanon, “Enhanced Mechanical Strength of Polypropylene Bionanocomposites Through Spray-dried Nanocrystalline Cellulose Reinforcement,” *RSC Sustainability*, vol. 3, no. 1, pp. 352–364, 2024, doi: 10.1039/d4su00295d.