

Isolasi Nanoselulosa Pelepah Aren (*Arenga pinnata* Merr.) untuk Menurunkan Kandungan Sianida dalam Limbah Tambang Emas Rakyat Sulawesi Utara

Ervi Tandi Sangbara¹, Hotma Pretty Lestari Tampubolon¹, Fitriani Mandalurang¹, Marchelino Christofel Muaja¹, Regina Pairunan, Audy Denny Wuntu^{1*}

¹Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sam Ratulangi

*email korespondensi: wuntudenny@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Sulawesi Utara merupakan salah satu daerah pertambangan emas, baik dalam skala besar maupun skala kecil. Dalam beberapa tahun terakhir, pertambangan emas skala kecil menggunakan metode sianidasi dalam pengolahan emas yang menghasilkan tailing mengandung sianida dan logam berat. Sianida merupakan senyawa yang bersifat toksik sehingga sianida dalam limbah cair ditetapkan tidak boleh melebihi konsentrasi 0,5 ppm sesuai dengan baku mutu air limbah. Eksistensi sianida dalam limbah cair dapat diminimalkan dengan cara adsorpsi. Bioadsorben yang banyak digunakan adalah adsorben yang mengandung polimer alam, salah satunya adalah selulosa. Salah satu biomassa yang mengandung selulosa ialah pelepah aren (*Arenga pinnata* Merr.). Tujuan penelitian ini ialah mengisolasi selulosa, memodifikasinya menjadi nanoselulosa, dan menentukan kemampuan nanoselulosa pelepah aren untuk menurunkan kandungan sianida dalam limbah tambang emas rakyat Sulawesi Utara. Nanoselulosa yang dihasilkan dikarakterisasi dengan FTIR, SEM-EDS, XRD dan PSA. Dari hasil analisis diperoleh selulosa sebesar 47,04% dan nanoselulosa sebesar 41,26%. Kapasitas adsorpsi sianida maksimum sebesar 52,45% terjadi pada penggunaan massa nanoselulosa 2 g dengan waktu kontak 120 menit dan pH 13, yaitu.

Kata kunci: nanoselulosa, adsorpsi, sianida, pelepah aren, tambang emas

ABSTRACT

North Sulawesi is one of the mining areas and, in recent years, the cyanidation method has been used by small-scale miners. This method produces tailings containing toxic substance cyanide and heavy metals; therefore, a maximum cyanide concentration of 0.5 ppm in wastewater is required for wastewater quality standards. The presence of cyanide in wastewater could be minimized by the adsorption process. Natural polymers, including cellulose, are one of the adsorbents widely used in this process. Cellulose could be found in biomass such as palm fronds (*Arenga pinnata* Merr.). This research aimed to isolate cellulose from palm fronds, modify it into nanocellulose, and determine the ability of the nanocellulose to reduce cyanide content in North Sulawesi gold mining waste. The nanocellulose produced was characterized using FTIR, SEM-EDS, XRD, and PSA. This research showed that the cellulose and nanocellulose obtained were 47.04% and 41.26%, respectively. Maximum cyanide adsorption of 52.45% occurred at a mass of 2 g nanocellulose with a contact time of 120 minutes and pH 13.

Keywords: nanocellulose, adsorption, cyanide, palm fronds, gold mine

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan potensi penambangan emas cukup tinggi. Hal ini dikarenakan Indonesia memiliki tektonik yang mendukung dan memungkinkan terbentuknya endapan-endapan emas tipe hidrotermal yang potensial (Idrus dkk., 2021). Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (2020) menyatakan bahwa Indonesia menyumbang kurang lebih 5% potensi cadangan emas dunia. Produksi pertambangan emas Indonesia di dunia berada pada

urutan ke 6 dengan total 160 ton. Potensi mineral logam emas hampir ditemukan pada setiap daerah di Indonesia, termasuk di daerah Sulawesi Utara. Penambangan emas di Sulawesi Utara telah dilakukan dalam skala besar maupun kecil (Rifai dkk., 2020).

Tambang emas rakyat adalah kegiatan penambangan yang dilakukan secara tradisional dalam skala kecil oleh masyarakat lokal setempat maupun masyarakat pendatang. Beberapa tahun terakhir, pertambangan emas rakyat menggunakan metode sianidasi dalam pengolahan bijih emas untuk mengekstrak emas dari padatan melalui proses *leaching*. Hal ini disebabkan perolehan emas dengan metode sianidasi lebih besar dibandingkan dengan amalgamasi yaitu lebih dari 85%, tetapi proses sianidasi lebih kompleks dibandingkan proses amalgamasi. Pelindian bijih emas dengan proses sianidasi dapat menghasilkan *tailing* yang mengandung sianida dan logam berat (Majalis dkk., 2022).

Sianida yang terkandung di dalam *tailing*, khususnya sianida bebas, sangat berbahaya bagi lingkungan. Sianida merupakan senyawa yang bersifat toksik, paparan singkat sianida pada manusia dapat mengakibatkan gangguan kesehatan, seperti tremor dan efek neurologis lainnya, sedangkan paparan pada jangka panjang dapat menyebabkan turunnya berat badan, tiroid dan kerusakan sistem saraf (Lintang dkk., 2016). Menyadari toksisitas sianida yang sangat tinggi dan fakta bahwa sianida dapat mengakibatkan kematian, maka eksistensi sianida dalam limbah cair dibatasi, tidak boleh melebihi konsentrasi 0,5 ppm sesuai dengan baku mutu air limbah kategori II (Kep. Men. LH No. 51/Men.LH/10/1995).

Eksistensi sianida dalam limbah cair dapat diminimalkan dengan cara adsorpsi. Metode adsorpsi memiliki beberapa keunggulan diantaranya adalah biaya yang relatif murah, prosesnya yang sederhana, efektivitas dan efisiensinya relatif tinggi, tidak beracun serta adsorbennya dapat dipergunakan ulang. Bioadsorben yang banyak digunakan adalah adsorben yang merupakan polimer alam, salah satunya selulosa (Kusumawardani dkk., 2018). Selulosa tidak larut dalam air dan terdapat di dinding sel tanaman terutama pada bagian batang dan semua bagian yang mengandung kayu. Selulosa di alam ditemukan melimpah, biokompatibel, ramah lingkungan, tidak beracun, dan dapat diperbarui (Mulyadi, 2019).

Pelepeh aren mengandung senyawa kimia aktif berupa selulosa 66,5%, hemiselulosa 81,2%, dan lignin 18,9% (Sahari dkk., 2012). Selulosa dapat dimodifikasi menjadi nanoselulosa dengan metode hidrolisis asam dan mekanik, kemudian dapat dimanfaatkan secara efektif. Nanoselulosa dapat dipertimbangkan sebagai adsorben yang potensial untuk menghilangkan kontaminan karena sifat uniknya, seperti luas permukaan spesifik yang besar, properti mekanik yang tinggi, biokompatibilitas, dan aksesibilitas kimiawi yang baik (Ma dkk., 2012).

Tanaman aren sekarang sudah banyak dibudidayakan dan dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan manusia. Luas lahan perkebunan tanaman aren di Sulawesi Utara sebesar 5.426 hektar (BPS, 2021). Organ tanaman aren berupa akar, batang, helaian daun dan ijuk saat ini sudah dimanfaatkan untuk kebutuhan manusia. Bagian tanaman yang paling jarang dimanfaatkan yaitu pelepeh aren. Oleh karena itu, perlu dilakukan riset untuk mengisolasi selulosa dan memodifikasinya menjadi nanoselulosa pelepeh aren serta menentukan kemampuan nanoselulosa pelepeh aren untuk menurunkan kandungan sianida dalam limbah tambang emas.

BAHAN DAN METODE

Sampel pelepeh aren yang diambil di Desa Talaitad Jaga 2, Kecamatan Suluun Tareran, Kabupaten Minahasa Selatan, Sulawesi Utara. Limbah *tailing* yang diambil dari salah satu lokasi pertambangan rakyat di Kecamatan Dimembe, Kabupaten Minahasa Utara, Sulawesi Utara. Bahan kimia berkualifikasi proanalisis antara lain natrium hidroksida, hidrogen peroksida, asam sulfat, besi(III) klorida, perak nitrat, kloramin T, piridin, asam barbiturat, asam klorida, mononatrium hidrogen fosfat dan kalium klorida diperoleh dari E. Merck (Darmstadt, Germany).

Preparasi sampel

Pelepeh aren dikupas, bagian tengah pelepeh aren dipotong kecil-kecil dan dikeringkan selama 5 hari. Setelah kering, diblender dan diayak dengan ayakan 60 mesh sehingga diperoleh serbuk halus.

Isolasi selulosa pelepeh aren

Sebanyak 80 g sampel direfluks dengan 1 L H₂O pada suhu 100 °C selama 2 jam, disaring dan dikeringkan (Dewi dkk., 2021). Selanjutnya sampel dipanaskan dalam NaOH 7,5% (b/v) sebanyak 20 mL/g sampel pada suhu 102 °C selama 90 menit kemudian dicuci hingga didapatkan pH netral dan dikeringkan. Material yang diperoleh dipanaskan dalam H₂O₂ 20% (v/v) sebanyak 20 mL/g sampel pada suhu 85°C selama 5 jam dan dicuci hingga didapatkan pH netral, lalu dikeringkan hingga didapatkan massa konstan (Mondragon dkk., 2014).

Pembuatan nanoselulosa pelepah aren

Selulosa yang diperoleh dipanaskan dalam H₂SO₄ 20% sebanyak 150 mL pada suhu (40±5)°C selama 3 jam sambil diaduk, dicuci hingga pH netral, dan disonifikasi selama 30 menit, dan dikeringkan pada suhu 60 °C selama 8 jam (Ismail dan Chalid, 2017). Hasil yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan FT-IR, SEM-EDS, XRD dan PSA.

Analisis kualitatif dan kuantitatif sianida dalam limbah

Sebelum dilakukan analisis, limbah tambang emas disentrifugasi untuk memisahkan padatan dan cair. Untuk analisis kualitatif sianida, dimasukkan 1 mL cairan hasil sentrifugasi ke dalam 2 tabung dan dipanaskan dalam air mendidih selama waktu 10-50 menit. Setelah itu, ditambahkan 1-2 tetes larutan FeCl₃ ke dalam tabung pertama dan AgNO₃ ke dalam tabung kedua. Adanya sianida dalam cairan sampel ditunjukkan endapan warna jingga pada tabung pertama dan endapan putih pada tabung kedua.

Untuk analisis kuantitatif sianida dalam limbah tambang emas dilakukan dengan cara mencampurkan 25 mL cairan hasil sentrifugasi dengan larutan NaH₂PO₄.H₂O sampai pH kurang dari 8 dan dihomogenkan. Selanjutnya, ditambahkan 2 mL larutan kloramin T, 5 mL asam piridin barbiturat dan didiamkan selama 8 menit agar terbentuk warna merah muda kebiruan dan absorbansinya diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 583 nm (Ramdan dkk., 2017).

Studi adsorpsi sianida

Pengaruh massa dan waktu kontak nanoselulosa pelepah aren

Sebanyak 20 mL cairan hasil sentrifugasi ditambahkan dengan 0,5 g selulosa komersial dan 0,5; 1; 1,5 dan 2 g nanoselulosa pelepah aren. Campuran divorteks dengan variasi waktu 30, 60, 90 dan 120 menit dan disentrifugasi dengan kecepatan 300 rpm selama 10 menit. Supernatan diambil sebanyak 0,5 mL dan ditambahkan NaH₂PO₄.H₂O 0,25 mL, 0,5 mL larutan kloramin T dan 1,25 mL asam piridin barbiturat. Larutan didiamkan selama 8 menit supaya terbentuk warna merah muda kebiruan dan absorbansinya dibaca menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 583 nm.

Pengaruh pH limbah tambang emas

Sebanyak 20 mL cairan hasil sentrifugasi diatur pH menjadi 11, 12 dan 13 dengan KCl 0,2 M dan NaOH 0,2 M, kemudian ditambahkan nanoselulosa pelepah aren sebanyak massa optimum. Campuran divorteks berdasarkan variasi waktu optimum, lalu disentrifugasi dengan kecepatan 300 rpm selama 10 menit. Supernatan diambil sebanyak 0,5 mL dan ditambahkan 0,25 mL NaH₂PO₄.H₂O, 0,5 mL kloramin T dan 1,25 mL asam piridin barbiturat. Larutan didiamkan selama 8 menit supaya terbentuk warna merah muda kebiruan dan absorbansinya diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 583 nm.

Penentuan kapasitas adsorpsi

Penentuan kapasitas adsorpsi optimum dihitung menggunakan persamaan 1 dan efisiensi adsorpsi dihitung dengan persamaan 2 di bawah ini:

$$q = \frac{(C_o - C_a)}{M} \times V \quad (1)$$

$$q = \frac{(C_o - C_a)}{C_o} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan: q = kapasitas adsorpsi (mg/g), C_o=konsentrasi awal (mg/L), C_a= konsentrasi akhir (mg/L), M = massa adsorben (g), V = volume (L)

Analisis data

Semua eksperimen dilakukan dengan dua kali ulangan dan hasilnya dinyatakan sebagai rata-rata \pm SD. Difraktogram XRD dan spektra FTIR diolah dengan bantuan perangkat lunak Origin 2023.

HASIL DAN PEMBAHASAN

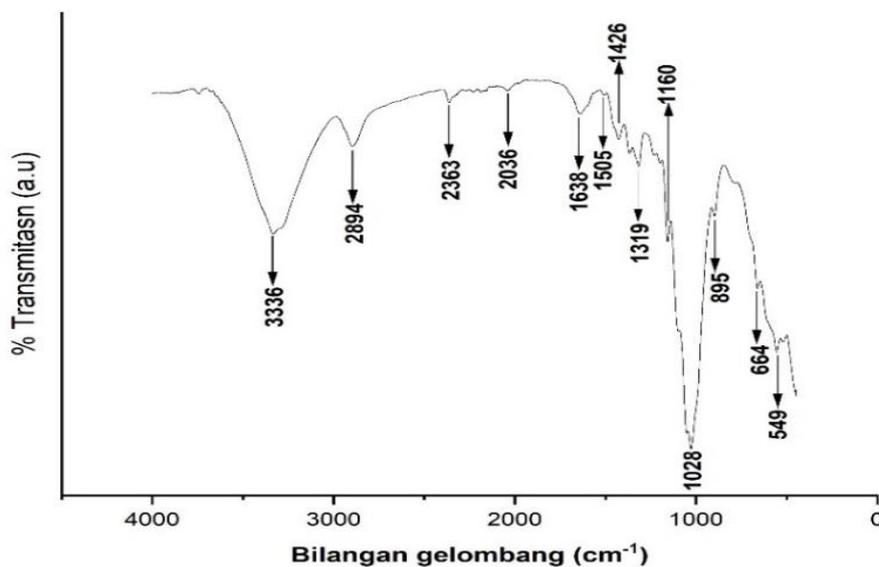
Isolasi selulosa

Pada isolasi selulosa dari pelepah aren, serbuk dipanaskan dalam H₂O untuk menghilangkan kandungan ekstraktif dalam sampel. Prehidrolisis rendemen pelepah aren yang dihasilkan adalah 90,49%. Setelah itu dilakukan proses delignifikasi menggunakan NaOH 7,5%. Lignin larut menjadi filtrat akibat ion Na⁺ berikatan dengan lignin. Pelarutan atau hilangnya lignin dalam serat dapat diamati dengan munculnya warna hitam pekat pada larutan (Muljani dkk., 2023). Setelah dilakukan delignifikasi, rendemen yang diperoleh ialah 43,45%.

Pada riset ini, bahan kimia yang digunakan untuk *bleaching* pelepah aren yang telah diekstraksi dengan NaOH adalah H₂O₂ karena dapat menurunkan kadar lignin dari gugus kromofor secara signifikan, dapat terurai menjadi H₂O dan O₂, tidak berbahaya bagi lingkungan dan biayanya rendah dibandingkan dengan bahan kimia berbasis klorin (Saputri & Sukmawan, 2020). Residu yang dihasilkan dari proses *bleaching* berwarna putih dan rendemen selulosa yang diperoleh adalah sebesar 47,04%. Jika dibandingkan dengan riset Maulan & Sunardi (2021) rendemen selulosa pelepah sagu yang dihasilkan ialah 20,19%.

Hasil analisis gugus fungsi dengan FTIR

Dalam sampel pelepah aren terdapat selulosa yang memiliki rumus molekul (C₆H₁₀O₅)_n. Gugus fungsi yang utama pada selulosa ialah -OH, -CH, dan -CO glikosidik (Djunaidi dkk., 2020). Hasil uji FTIR dianalisis dengan menginterpretasikan puncak – puncak serapan dari spektrum inframerah. Gambar 1 menunjukkan hasil gugus fungsi nanoselulosa pelepah aren.



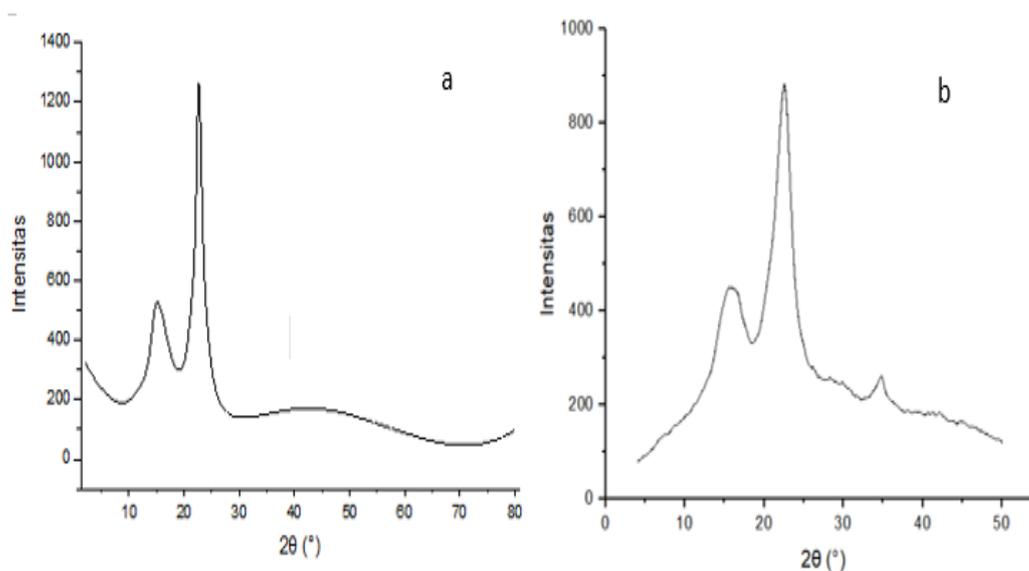
Gambar 1. Spektra FTIR nanoselulosa pelepah aren

Regangan gugus fungsi O-H dan C-O karboksilat muncul pada serapan antara area 3000-3600 cm⁻¹ dan 1050-1300 (Silitonga dkk., 2019). Spektra IR dari nanoselulosa pelepah aren menunjukkan bahwa gugus fungsi O-H dan C-O teridentifikasi pada bilangan gelombang 3336 cm⁻¹ dan 1052 cm⁻¹. Puncak serapan 3000-2850 cm⁻¹ menunjukkan keberadaan gugus C-H pada senyawa alkana yang terletak di sebelah kanan O-H. Gugus C-H pada nanoselulosa pelepah aren teridentifikasi pada bilangan gelombang 2894 cm⁻¹. Gugus fungsi C=O muncul pada serapan bilangan 1820 – 1600 dan ikatan C=C aromatik muncul pada 1500-1600 cm⁻¹ (Silitonga dkk., 2019). Pada spektra IR gugus fungsi C=O dan C=C teridentifikasi pada bilangan 1638 cm⁻¹ dan 1505 cm⁻¹ yang menunjukkan masih terdapat

hemiselulosa dan lignin dalam selulosa pelepah aren. Rendemen nanoselulosa pelepah aren dengan hidrolisis H_2SO_4 20% dan disonikasi selama 30 sebesar 41,26%.

Analisis kristalinitas dengan XRD

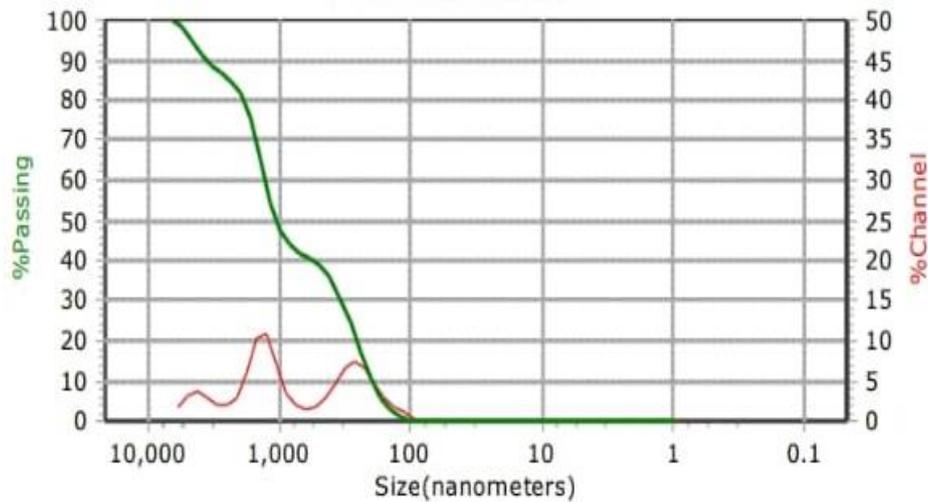
Selulosa pelepah aren dihidrolisis dengan H_2SO_4 20% untuk menghilangkan bagian amorf dari suatu rantai selulosa dan memperkecil ukuran partikel. Pembuatan nanoselulosa menggunakan H_2SO_4 dengan konsentrasi tinggi dapat menyebabkan nanoselulosa berubah warna menjadi coklat kehitaman. Menurut penelitian Muljani dkk. (2023), hal ini disebabkan oleh banyaknya komponen selulosa yang ikut terlarut dan terdegradasi. Pola difraksi sinar-x nanoselulosa pelepah aren (Gambar 2) menunjukkan nanoselulosa pelepah aren mengandung fasa kristal dan amorf. Hal ini dapat dilihat dari munculnya tiga puncak terkuat yang spesifik pada 2θ yaitu $15,68^\circ$, $22,52^\circ$ dan $34,72^\circ$. Hasil pemeriksaan XRD menunjukkan nanoselulosa pelepah aren memiliki kristalinitas yang tinggi sebesar 53,83% dengan ukuran kristal 2,87 nm. Hasil yang diperoleh juga hampir mirip dengan selulosa standar, di mana selulosa standar memiliki puncak $15,54^\circ$ dan $22,66^\circ$ dengan kristalinitas dan ukuran partikel sebesar 60,29% dan 2,86 nm.



Gambar 2. Difraktogram a) selulosa standar dan b) nanoselulosa pelepah aren

Analisis ukuran nanoselulosa dengan PSA

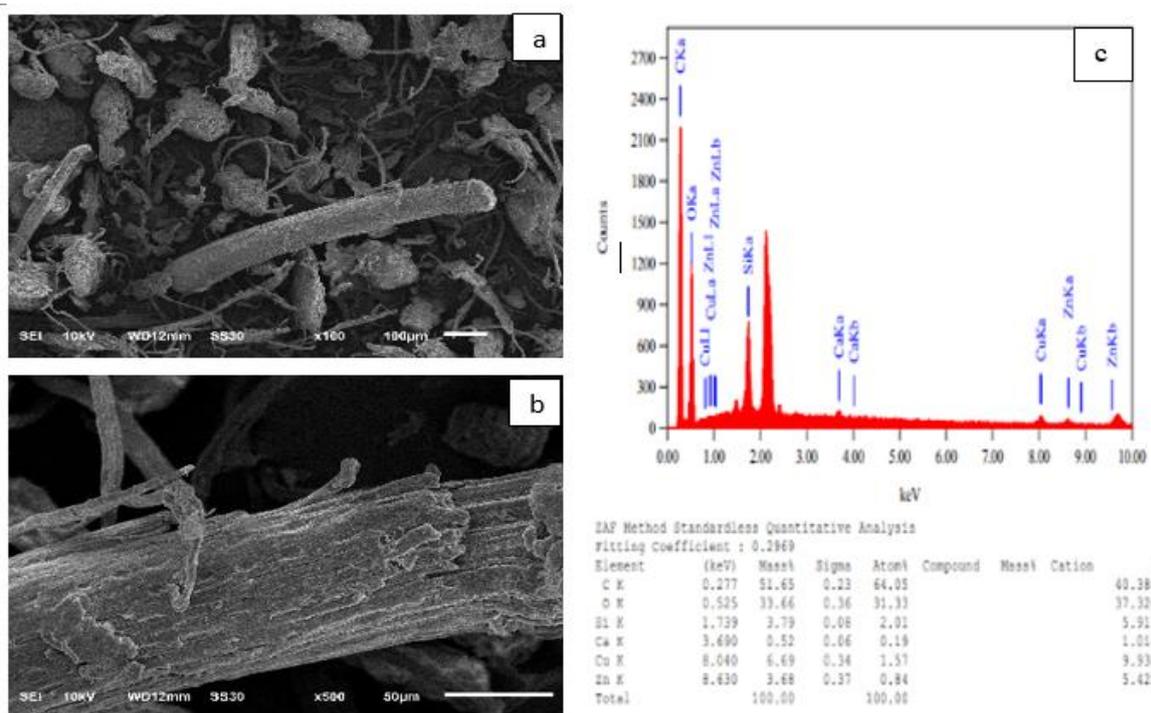
Sebelum dianalisis dengan PSA, nanoselulosa pelepah aren didispersikan ke dalam media cair sehingga partikel tidak saling beraglomerasi dan disonikasi selama 30 menit. Lama waktu sonikasi sangat berpengaruh terhadap ukuran partikel nanoselulosa. Semakin meningkatnya waktu sonikasi maka ukuran partikel akan semakin kecil (Nikmatin dkk., 2018). Pada riset tersebut ukuran selulosa yang diperoleh setelah disonikasi selama 1 dan 3 jam berturut-turut adalah 1464,1 sebanyak 38,7% dan 146,3 nm sebanyak 32%. Hasil pengujian PSA (Gambar 3) menunjukkan ukuran partikel nanoselulosa pelepah aren ialah 261,6 nm sebanyak 40,5% yang sudah memenuhi standar ukuran nano. Menurut penelitian Marno dkk. (2018) nanoserat selulosa memiliki ukuran serat dengan diameter antara 100-500 nm.



Gambar 3. Hasil analisis ukuran partikel dengan PSA

Analisis morfologi nanoselulosa dengan SEM-EDS

Morfologi permukaan dan komposisi kimia dalam nanoselulosa pelepah aren dianalisis menggunakan SEM-EDS yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. SEM-EDS nanoselulosa pelepah aren

Metode ultrasonikasi adalah metode dengan menggunakan gelombang ultrasonik untuk menghasilkan tegangan mekanik yang kuat yang menyebabkan kavitasi yang dapat memisahkan serat selulosa kedalam bentuk yang lebih kecil. Morfologi permukaan nanoselulosa pelepah aren (Gambar 4a dan 4b) menunjukkan adanya bagian serat yang sedikit tidak teratur, hal ini mengindikasikan bahwa bagian amorf dari serat cukup banyak. Perlakuan dengan cara hidrolisis dan mekanik belum cukup optimal untuk memutuskan rantai selulosa secara maksimal yaitu bagian amorf dan kristalin selulosa. Komposisi unsur kimia dalam nanoselulosa pelepah (Gambar 4c) menunjukkan adanya unsur C (51,65% massa), O (33,66% massa) dan C (64,05% atom) O (31,33 %) dan sisanya adalah Si, Ca, Cu dan Zn dalam jumlah yang sedikit.

Analisis kualitatif dan kuantitatif sianida dalam limbah

Penentuan ada atau tidaknya sianida dalam limbah tambang emas menggunakan pereaksi tetes yaitu FeCl_3 dan AgNO_3 . Gambar 5 menunjukkan bahwa limbah sianida tambang emas rakyat Sulawesi Utara positif mengandung sianida yang ditunjukkan dengan adanya endapan jingga dan endapan putih ketika direaksikan dengan FeCl_3 dan AgNO_3 .

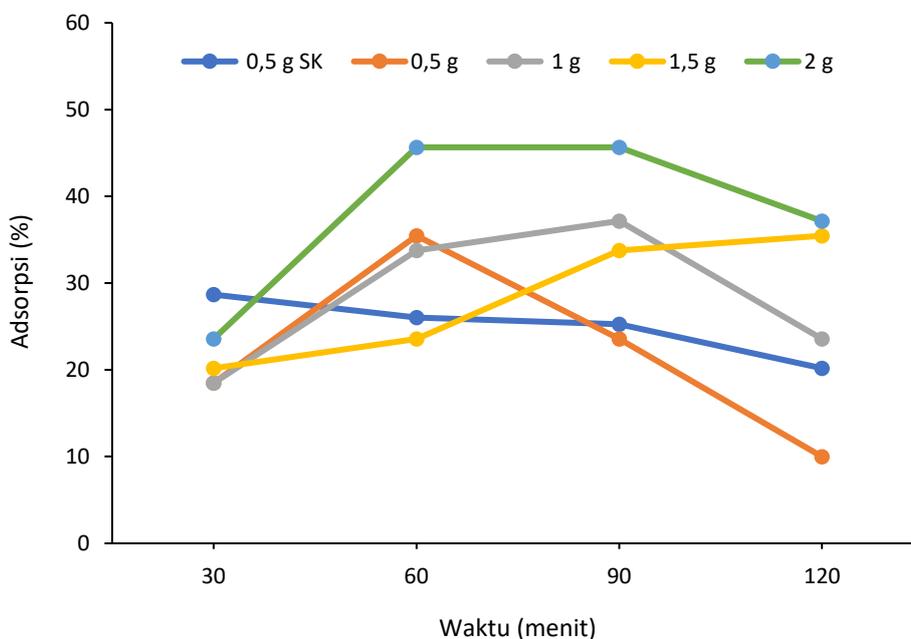


Gambar 5. Hasil pengujian kualitatif limbah tambang emas dengan pereaksi FeCl_3 dan AgNO_3

Penentuan kadar sianida dalam limbah tambang emas secara kuantitatif menggunakan metode spektrofotometri. Pada pengujian ini digunakan tiga reagen yaitu $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, kloramin T dan asam piridin barbiturat. Reagen $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ berfungsi untuk mengubah sianida menjadi HCN pada pH kurang dari 8. Semua senyawa diubah dalam reaksi klorinasi dengan penambahan kloramin T yang berfungsi untuk mengubah sianida menjadi CNCl . Penambahan asam piridin barbiturat berfungsi untuk mengetahui keberadaan CN^- dan setelah 8 menit terbentuk warna merah keunguan kemudian dianalisis dengan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 583 nm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa limbah tambang emas mengandung sianida sebesar 746,08 ppm.

Studi adsorpsi sianida

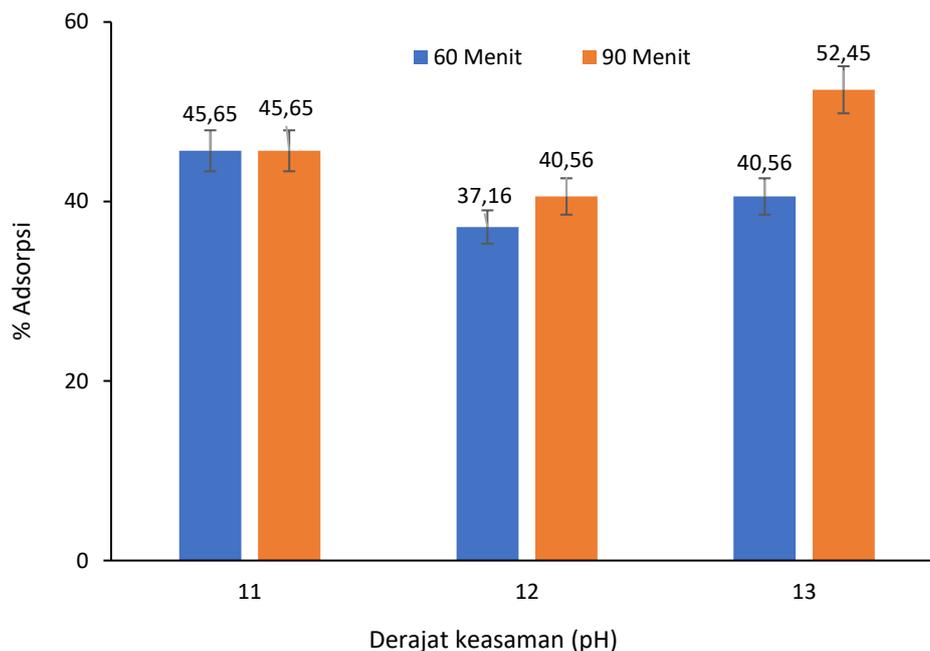
Uji penentuan kondisi optimum adsorpsi sianida pada nanoselulosa pelepah aren dilakukan untuk limbah tambang emas rakyat Sulawesi Utara. pH limbah tambang emas sebelum dilakukan pengujian yaitu 11. Persentase penurunan kadar sianida dalam limbah tambang emas dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Persentase adsorpsi sianida dari limbah tambang emas. SK (0,5 g selulosa komersial) dan nanoselulosa pelepah aren (0,5 g; 1 g; 1,5 g dan 2 g).

Partikel pencemar pada limbah akan tertarik dan terperangkap pada pori-pori nanoselulosa pelepah aren, sehingga ion CN^- pada limbah menjadi berkurang akibat adanya gaya Van Der Waals pada

pori-pori nanoselulosa pelepah. Limbah *tailing* tambang emas rakyat Sulawesi Utara dalam 20 mL mengandung sianida sebesar 736 ppm. Persentase penurunan kadar sianida dalam limbah tambang emas pada Gambar 6 menunjukkan bahwa pada waktu 30 dan 60 menit baik selulosa komersial maupun nanoselulosa pelepah aren mampu menurunkan kandungan sianida dalam limbah cair tambang emas. Pada waktu 90 menit, terjadi penurunan adsorpsi oleh 0,5 g selulosa komersial (0,5 g SK) dan nanoselulosa pelepah. Pada waktu 120 menit, konsentrasi sianida yang diadsorpsi semakin menurun hampir pada semua massa nanoselulosa kecuali pada massa 1,5 g. Hal ini dipengaruhi oleh sisi aktif pada adsorben yang telah jenuh akibat dari interaksi antara sisi aktif dengan sianida yang semakin banyak pada proses adsorpsi (Mayangsari & Astuti, 2021). Waktu 60 dan 90 menit dan massa nanoselulosa 2 g merupakan kondisi optimum dengan kapasitas adsorpsi dan persentase adsorpsi berturut-turut 3,36 mg/g dan 45,65%.



Gambar 7. Persentase adsorpsi sianida oleh nanoselulosa pelepah aren variasi pH

Pada eksperimen pengaruh pH, adsorpsi maksimum ion sianida oleh nanoselulosa pelepah aren terjadi pada pH 13 dan waktu 90 menit dengan kapasitas dan persentase adsorpsi sebesar 3,86 mg/g dan 52,45%. Nilai pKa untuk asam hidrosianat pada 9,4 ini menunjukkan bahwa dalam situasi pada saat pH > pKa, HCN terdisosiasi menjadi ion basa membentuk CN^- dan H^+ (Eke-emenzie & Etuk, 2019). Gugus fungsi OH^- pada selulosa ialah sisi aktif dan pusat reaksi yang berperan sebagai sub-unit pengikat yang dapat berinteraksi dengan CN^- dan COH yang berikatan dengan CN^- akan membentuk COH-CN^- (Perdana dkk., 2019). Amaria (2012) melaporkan penggunaan adsorben hibrida aminopropil silika gel dari sekam padi terimpregnasi aluminium memiliki efektifitas adsorpsi sebesar 67,62% dan 51,11% pada pH 5 dan pH 8 dengan konsentrasi adsorben dan sianida 50 mg dan 5 mg/L. Hal ini disebabkan karena pH dapat mempengaruhi bentuk ion dari adsorbat yang diadsorpsi, jenis adsorbat dan muatan pada permukaan adsorben yang digunakan. Semakin kecil ukuran partikel adsorben maka luas permukaannya akan semakin besar sehingga kapasitas adsorpsinya juga akan semakin besar (Agusdin & Setiorini, 2020).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil riset, selulosa pelepah aren dapat dimodifikasi menjadi nanoselulosa yang bermanfaat untuk menurunkan kadar sianida pada industri pertambangan emas. Rendemen selulosa yang diperoleh sebesar 47,04% dan nanoselulosa sebesar 41,26%. Efisiensi adsorpsi sianida maksimum

oleh nanoselulosa pelepah aren dalam limbah tambang emas rakyat Sulawesi Utara adalah sebesar 52,45% untuk massa nanoselulosa 2 g dengan waktu kontak 90 menit pada pH 13.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pembelajaran dan Kemahasiswaan, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Kebudayaan Riset dan Teknologi yang telah mendanai riset ini melalui Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) 8 bidang tahun 2023, Universitas Sam Ratulangi yang telah membantu dalam menyelesaikan riset ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agusdin & Setiorini, I.A. 2020. Analisa kemampuan penyerapan bubuk kertas (Pulp) dari kertas bekas sebagai adsorben zat warna reaktif dan logam berat (Cu dan Fe) dari limbah cair tekstil dengan adsorber vertikal. *Jurnal Teknik Patra* akademika, 11(1), 4-13.
- Amaria. 2012. Adsorpsi ion sianida dalam larutan menggunakan adsorben hibrida aminopropil silika gel dari sekam padi terimpregnasi aluminium. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 19(1), 56-65.
- Badan Pusat Statistik. 2021. Luas Tanaman Perkebunan Besar/Rakyat/Negara per Jenis Tanaman (Hektar). <https://sulut.bps.go.id/indicator/54/118/1/luas-tanaman-perkebunan-besar-rakyat-negara-per-jenis-tanaman-.html>. [10 November 2023].
- Dewi, W.O.N.T., Dewi, F. Ardiansyah, Hijria, & Ilmawati, W.O.S. 2021. Analisis kandungan hemiselulosa, selulosa, dan lignin pelepah aren (*Arenga pinnata* Merr.) berdasarkan variasi umur. *Jurnal Riset Biologi*, 8(1), 29-35.
- Djunaidi, M.C., Wibawa., P.J., & Suseno, A. 2020. Pengenalan metode adsorpsi logam Fe (III) menggunakan selulosa dan selulosa asetat dari serbuk gergaji kayu kepada siswa SMA Al-Azhar 14 Semarang. *Prosiding. Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat UNDIP*. 15 Oktober 2020. Semarang, Indonesia. pp.93-96.
- Eke-Emenzie, N.C., & Etuk, B.R. 2019. Cyanide adsorption from cassava wastewater onto calcined periwinkle shell. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 7(1), 1929-1934.
- Idrus, A., Fadlin, & Hatono, H.G. 2021. Eksplorasi geokimia untuk menentukan daerah prospek mineralisasi emas tipe urat epitermal: studi kasus di Daerah Tomposo, Kabupaten Minahasa Selatan, Sulawesi Utara. *Eksplorium*, 42(1), 13-30.
- Ismail, I., & Chalid, M. 2017. Perilaku kristalisasi polipropilena dengan penambahan selulosa mikrofibril serat sorgum sebagai bio-based nucleating agent. *SPECTA Journal of Technology*, 1(1), 37-44
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Republik Indonesia. Peluang Investasi Emas-Perak Indonesia. <https://www.esdm.go.id/en/booklet/booklet-tambang-emas-perak-2020.pdf>. [7 Februari 2023].
- Kusumawardani, R., Zaharah, T.A., & Destiarti, L. 2018. Adsorpsi kadmium(II) menggunakan adsorben selulosa ampas tebu teraktivasi asam nitrat. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 7(3), 75-83.
- Lintang, N., Shafira, C., & Helyoso, P. 2016. Studi adsorpsi sianida dari tailing pengolahan emas dengan metode resin-in-pulp. *Prosiding. Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*. 17 Maret 2016, Yogyakarta, Indonesia. pp. 1-6.
- Ma, H., Burger, C., Hsiao, B.S., & Chu, B. 2012. Nanofibrous microfiltration membrane based on cellulose nanowhiskers. *Biomacromolecules*, 13(1), 180-186.
- Majalis, A. N., Mohar, R. S., Novitasari, Y., & Hardianti, A. 2022. Pengolahan tailing sianidasi bijih emas dengan proses oksidasi-presipitasi pada kondisi batch dalam skala laboratorium. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(4), 257-768.
- Marno, M., Widiyanto, E., Sumarjo, J., & Santoso, A. 2018. Perancangan dan pengembangan sistem electrospinning sebagai teknologi dalam pembuatan nanofiber. *Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, 18(2), 101-108.
- Maulana, A.R. & Sunardi. 2021. Sintesis dan karakterisasi edible film dari gelatin dengan penguat nanoselulosa dari pelepah sagu. *Walisono Journal of Chemistry*, 4(1), 8-6.
- Mayangsari N.E., & Astuti, U.P. 2021. Model kinetika adsorpsi logam berat Cu menggunakan selulosa daun nanas. *Jurnal Chemurgy*, 5(1), 15-21.

- Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2012. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: KEP-51/MENLH/10/1995 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri. MENLH. Jakarta.
- Mondragon, G., Peña-Rodriguez, C., González, A., Eceiza, A., & A. Arbelaz. 2015. Bionanocomposites based on gelatin matrix and nanocellulose. *European Polymer Journal*, 62, 1-9.
- Muljani, S., Candra, A., & Faiqoh, I. 2023. Sintesis karakterisasi selulosa kristal dari batang tembakau. *Jurnal Teknik Kimia*, 17(2), 46-51.
- Mulyadi, I. 2019. Isolasi dan karakterisasi selulosa: Review. *Jurnal Santika UNPAM*, 1(2), 177-182.
- Nikmatin, S., Purwanto, S., Maddu, A., Mandang, T., & Purwanto, A. 2018. Analisis gugus fungsi, distribusi, dan ukuran partikel tinta stempel dari ekstrak gambir (*Uncaria gambir* Roxb) dengan senyawa pengomplek NaOH dan $Al_2(SO_4)_3$. *Jurnal Litbaang Industri*, 8(1), 31-38.
- Perdana, F., Armunanto, R., & Wijaya, K. 2019. Computational study of hydroxy chalcone compound as potential chemosensor for cyanide anion. *Jurnal UMR*, 4, 40-42.
- Ramdan, U.M., Oktaviani, D., & Hanasah, H.N. 2017. Identifikasi kadar sianida pada biji melinjo (*Gnetum gnemon* L.). *Jurnal Kesehatan Bakti Tunas Husada*, 17(2) 541-545.
- Rifai, R.F., Riogilang, H., & Supit, C. 2020. Identifikasi dan analisis penyebaran sianida pada tambang emas rakyat di Desa Buyat Bolaang Mongondow, Sulawesi Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 8(6), 835-842.
- Sahari, J., Sapuan, S.M., Ismarrubie, Z.N., & Rahman, M.Z.A. 2012. Physical and chemical properties of different morphological parts of sugar palm fibres. *Fibres and Textiles In Eastern Europe*, 2(91), 21-24.
- Saputri, L., & Sukmawan, R. 2020. Pengaruh proses blending dan ultrasonikasi terhadap struktur morfologi ekstrak serat limbah batang kelapa sawit untuk bahan baku bioplastik (selulosa asetat). *Rekayasa*, 13(1), 15-21.
- Silitonga, N., Tarigan, N., & Saragih, G. 2019. Pengaruh konsentrasi NaOH pada Karakterisasi α -selulosa dari pelepah kelapa sawit. *Jurnal Ready Star*, 2(1), 103-108.