

RESEARCH ARTICLE

Green Extraction of Lignin Compounds from Sugarcane Bagasse Waste for Eco-Friendly Sunscreen Cream Development

(Ekstraksi Hijau Senyawa Lignin dari Limbah Ampas Tebu untuk Pengembangan Krim Tabir Surya Ramah Lingkungan)

Melisa Nur Halimah¹, Teguh Pambudi^{1*}, Hilman Imadul Umam², Fajar Amelia Rachmawati Putri³

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang,
Jl. H.S. Ronggoluyo, Telukjambe Timur, Karawang 41363, Jawa Barat, Indonesia

²Program Studi Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang,
Jl. H.S. Ronggoluyo, Telukjambe Timur, Karawang 41363, Jawa Barat, Indonesia

³Program Studi Analisis Kimia, Politeknik AKA Bogor,
Jl. Pangeran Sogiri No.283, Tanab Baru, Kec. Bogor Utara, Kota Bogor 16154, Jawa Barat, Indonesia

ABSTRACT

This study aimed to develop a lignin extraction method from sugarcane bagasse (SCB), considering the high potential of lignin as an active ingredient in natural sunscreen formulations. Indonesia, as one of the largest sugarcane producers, generates abundant SCB waste that is often underutilized, despite its significant lignin content. By valorizing this biomass, the approach is expected to support zero-waste principles and sustainability in the cosmetic industry. Lignin extraction was conducted using a green process based on Deep Eutectic Solvent (DES) and compared to the conventional NaOH-based method. Characterization was performed using FTIR spectroscopy to identify functional groups and UV-Vis spectrophotometry to evaluate UV absorption ability. The results showed that lignin extracted using DES exhibited sharper FTIR peaks in the 1000-1200 cm^{-1} region, indicating higher phenolic and C-O group content compared to NaOH-extracted lignin. In the UV-Vis analysis, the maximum absorbance of DES-extracted lignin was at 4% concentration in the UV-A and UV-B regions, suggesting effective protection against UV radiation. In addition to yielding high-quality lignin, the DES method minimized the use of hazardous chemicals. These findings demonstrate that DES-extracted lignin holds great promise as a natural active agent in environmentally friendly sunscreen formulations, supporting the growing trend toward sustainable cosmetics and offering a safer alternative to conventional synthetic ingredients.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan metode ekstraksi lignin dari limbah ampas tebu (AT), mengingat potensi besar lignin sebagai bahan aktif dalam formulasi krim tabir surya alami. Indonesia, sebagai salah satu produsen tebu terbesar, menghasilkan limbah AT dalam jumlah besar yang belum dimanfaatkan secara optimal, padahal mengandung lignin dalam jumlah signifikan. Dengan memanfaatkan limbah tersebut, pendekatan ini diharapkan mampu mendukung prinsip *zero-waste* dan keberlanjutan dalam industri kosmetik. Ekstraksi lignin telah dilakukan menggunakan pendekatan green process berbasis *Deep Eutectic Solvent* (DES) dan dibandingkan dengan metode konvensional berbasis NaOH. Karakterisasi dilakukan menggunakan spektroskopi FTIR untuk identifikasi gugus fungsi dan spektrofotometri UV-Vis untuk mengevaluasi kemampuan penyerapan sinar UV. Hasil menunjukkan bahwa lignin hasil ekstraksi DES memiliki puncak spektrum FTIR yang lebih tajam pada rentang 1000-1200 cm^{-1} , menunjukkan kandungan gugus fenolik dan C-O yang lebih tinggi dibandingkan lignin hasil ekstraksi NaOH. Pada pengujian UV-Vis, nilai absorbansi maksimum lignin DES diperoleh pada konsentrasi 4% di wilayah UV-A dan UV-B, menunjukkan potensi perlindungan yang efektif terhadap radiasi UV. Selain menghasilkan lignin berkualitas tinggi, metode DES juga meminimalisir penggunaan bahan kimia berbahaya. Hasil ini menunjukkan bahwa lignin hasil ekstraksi DES berpotensi digunakan sebagai bahan aktif alami dalam formulasi krim tabir surya yang ramah lingkungan, mendukung tren kosmetik berkelanjutan, dan memberikan alternatif terhadap bahan sintesis berisiko tinggi.

Keywords: Lignin, Bagasse, Extraction, Deep Eutectic Solvent (DES), Waste.

*Corresponding author:
Teguh Pambudi
E-mail: teguh.pambudi@ft.unsika.ac.id

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu produsen tebu terbesar di dunia dengan produksi mencapai 2,27 juta ton pada tahun 2023 dan luas lahan mencapai 504,8 ribu hektare. Namun, proses produksi gula menghasilkan limbah utama berupa ampas tebu (AT) dalam jumlah besar yang sebagian besar belum dimanfaatkan secara optimal. Limbah ini sering kali menumpuk di sekitar pabrik gula atau lahan pertanian, sehingga menimbulkan permasalahan lingkungan [1]. Padahal, AT memiliki potensi besar untuk diolah menjadi produk bernilai tambah seperti bioenergi, kompos [3], pakan ternak [4], dan bahan baku industri [2].

Secara global, pengembangan ekonomi sirkular telah mendorong pemanfaatan limbah biomassa seperti AT menjadi produk berkelanjutan, termasuk bioetanol, bioplastik, dan bahan kimia hijau [8]. Salah satu komponen utama dalam AT adalah lignin-biopolimer aromatik kompleks yang berfungsi sebagai penyusun dinding sel tanaman. Lignin memiliki keunggulan sebagai bahan aktif dalam formulasi tabir surya karena kemampuannya menyerap sinar *ultraviolet* (UV), terutama pada panjang gelombang 250-400 nm, serta sifat antioksidannya yang dapat menangkal radikal bebas [6].

Berbeda dengan bahan aktif sintetis seperti oxybenzone atau avobenzone, lignin menunjukkan stabilitas fotokimia yang lebih tinggi, tidak mudah terurai oleh sinar matahari, serta lebih ramah lingkungan dan aman bagi kulit. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan lignin hingga 10% berat dalam krim tabir surya dapat meningkatkan nilai SPF dari 1,1 menjadi 8,66, yang menunjukkan efektivitasnya dalam meningkatkan perlindungan kulit terhadap sinar UV. Selain itu, sifat antioksidan lignin turut membantu menjaga stabilitas formulasi dan mencegah kerusakan kulit akibat stres oksidatif.

Meski potensinya menjanjikan, tantangan utama dalam pemanfaatan lignin adalah proses ekstraksinya. Metode konvensional yang umum digunakan, seperti menggunakan larutan NaOH, melibatkan bahan kimia berbahaya yang dapat mencemari lingkungan serta menurunkan kualitas lignin akibat degradasi struktur aromatikanya [10]. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan ekstraksi yang lebih ramah lingkungan dan selektif.

Salah satu pendekatan inovatif adalah penggunaan *Deep Eutectic Solvent* (DES)-pelarut hijau yang terbentuk dari campuran senyawa donor dan akseptor ikatan hidrogen. Dalam penelitian ini, digunakan campuran Kolin Klorida (KK) dan Asam Sitrat (AS) sebagai formulasi DES. Kombinasi ini telah terbukti mampu mengekstraksi lignin dengan kemurnian lebih tinggi dan tanpa menghasilkan limbah berbahaya [12]. Penggunaan DES tidak hanya mendukung prinsip *green chemistry*, tetapi juga memperkuat nilai keberlanjutan dari proses ekstraksi biomassa.

Penelitian ini memiliki kebaruan dalam penerapan DES berbasis KK dan AS untuk mengekstraksi lignin dari AT secara ramah lingkungan, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai bahan aktif alami dalam formulasi tabir surya. Fokus utama penelitian adalah membandingkan efektivitas metode DES dengan metode konvensional dalam menghasilkan lignin berkualitas tinggi serta mengevaluasi karakteristiknya untuk aplikasi proteksi UV.

Urgensi penelitian ini semakin relevan dengan meningkatnya permintaan industri kosmetik global terhadap bahan aktif yang aman, alami, dan berkelanjutan. Konsumen kini semakin sadar akan isu lingkungan dan kesehatan, mendorong produsen untuk menggantikan bahan sintetis dengan alternatif berbasis biomassa. Oleh karena itu, pengembangan lignin dari limbah AT tidak hanya berkontribusi dalam pengelolaan limbah industri secara efisien, tetapi juga membuka peluang inovasi dalam produk kosmetik ramah lingkungan dan bernilai ekonomi tinggi.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan berbagai alat seperti penggiling (*grinder*) (*Fomac FGD Z100, Indonesia*), ayakan 100 mesh (*Thomas Scientific, USA*), oven (*Memmert UN30, Germany*), *mantle heater* (*IKA C-MAG, Germany*), *magnetic rod*, spatula, peralatan gelas, dan set peralatan refluks (*Pyrex, USA*). Selain itu, digunakan desikator (*Duran, Germany*), kertas saring (*Whatman No.1, UK*), timbangan analitik (*Kern EMB, Germany*), pH meter (*Xingweiqiang, China*), spektrofotometer FTIR (*Shimadzu IRTracer-100, Japan*), spektrofotometer UV-Vis (*Agilent Cary 60, USA*), viscometer (*Brookfield DV1, USA*), dan *overhead stirrer* (*IKA RW 20, Germany*).

Bahan yang digunakan meliputi limbah biomassa ampas tebu (AT) dari pengelola tebu, Kolin Klorida

dan Asam Sitrat (*Merck, Germany*), etanol 96% (*Merck, Germany*), air deionisasi, air demineral (*Sigma-Aldrich, USA*), dan Nivea Moisturizer Soft Cream (*Beiersdorf, Germany*). Prosedur penelitian dimulai dengan persiapan bahan, ekstraksi lignin, formulasi krim tabir surya serta analisis. Setiap tahap diikuti dengan pengukuran dan pengujian untuk mengevaluasi hasil ekstraksi lignin serta kinerjanya sebagai bahan aktif dalam produk tabir surya.

Prosedur

a) Persiapan Bahan

• Pengolahan Biomassa

Pengolahan biomassa ampas tebu dimulai dengan proses *reducing size* untuk mempermudah pengeringan dan karakterisasi. Ampas tebu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 7 jam hingga kering. Setelah itu, ampas tebu dihaluskan menggunakan *grinder* dan diayak dengan ayakan 100 mesh untuk mendapatkan serbuk halus yang homogen, kemudian dilakukan pencucian dengan Etanol 96% & Air Deionisasi dengan tujuan menghilangkan zat pengotor pada biomassa, setelah direndam dilakukan penyaringan dan pengeringan serta penghalusan seperti sebelumnya.

$$\% \text{Kadar Air} = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Kadar Hemiselulosa} = \frac{m_B - m_C}{m_A} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Kadar Selulosa} = \frac{m_C - m_D}{m_A} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{Kadar Lignin} = \frac{m_D - m_E}{m_A} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

Untuk karakterisasi awal, dilakukan pengujian kadar air dan pengujian kadar lignoselulosa. Kadar air dihitung menggunakan rumus standar (1) di mana m_1 merupakan massa cawan kosong, m_2 merupakan massa cawan yang diisi sampel biomassa, sedangkan m_3 merupakan massa cawan yang sudah kering. Uji kandungan lignoselulosa melibatkan penghitungan kadar hemiselulosa, selulosa, dan lignin (2), (3), (4) di mana m_A merupakan berat biomassa Ampas Tebu utuh sebanyak 1 gram, m_B merupakan berat biomassa Ampas Tebu yang sudah dikeringkan selama 24 jam setelah direfluks selama 2 jam, m_C merupakan berat biomassa Ampas Tebu setelah ditambahkan 150 mL H_2SO_4 dan direfluks selama 2 jam, m_D merupakan berat biomassa setelah perendaman 10 mL H_2SO_4 selama 2-4 jam di suhu kamar yang kemudian direfluks

selama 2 jam dan dikeringkan, m_E merupakan berat residu yang difurnace selama 5 jam pada suhu 650°C.

Ampas tebu juga dianalisis menggunakan spektrofotometer FTIR untuk mengetahui komponen kimia utama setelah pencucian dan sebelum pencucian. Analisis FTIR dipilih sebagai metode utama karena kemampuannya mendeteksi dan mengidentifikasi gugus fungsi spesifik dalam lignin, seperti gugus fenolik, C-H aromatik, dan C-O, yang relevan dengan aplikasi tabir surya. Gugus fenolik, misalnya, berkontribusi pada sifat antioksidan lignin, sementara keberadaan gugus C-H aromatik berkaitan dengan kemampuan lignin dalam menyerap sinar UV pada spektrum UV-A dan UV-B. Data spektrum ini memberikan dasar ilmiah untuk mengaitkan struktur kimia lignin dengan efektivitasnya dalam formulasi tabir surya.

• Pembuatan Pelarut

Pada tahap ini, dilakukan pembuatan pelarut *Deep Eutectic Solvent* (DES) untuk metode *green process* dengan mencampurkan 41,886 gram Kolin Klorida dan 63,04 gram Asam Sitrat diatas *Overhead stirrer* pada suhu 90°C, hingga homogen selama 2 jam. Setelah DES homogen, diamkan hingga suhu menurun kemudian ditambahkan 20% Air Deionisasi dari total berat campuran DES. Kemudian dilakukan pengujian viskositas serta pH untuk mengetahui kondisi pelarut. Sedangkan untuk metode konvensional dilakukan pencampuran 5 gram NaOH dengan 100 mL Air Deionisasi, setelah tercampur maka pelarut siap digunakan.

b) Ekstraksi

Untuk metode *green process* dilakukan pencampuran biomassa ampas tebu sebanyak 5% dari total berat *Deep Eutectic Solvent* (DES). Biomassa ampas tebu yang diolah menjadi serbuk sebanyak 5,98 gram dicampurkan ke dalam DES dengan berat 134,82 gram, kemudian direfluks selama 6 jam. Setelah proses refluks selesai dilakukan, maka langkah selanjutnya yaitu penyaringan dengan kertas saring dengan tujuan memisahkan lignin yang telah larut dalam DES dari residu padatan biomassa ampas tebu yang tersisa. Setelah dilakukan penyaringan maka langkah selanjutnya adalah pembilasan, pada metode ini dilakukan pembilasan dengan Etanol sebanyak 150 mL dan Air Deionisasi sebanyak 150 mL, kemudian hasil pembilasan dioven dan dihaluskan kembali. Setelah didapatkan bubuk lignin maka langkah

selanjutnya yaitu pengujian FTIR dan pencampuran pada krim.

Sedangkan untuk metode konvensional, dilakukan pencampuran biomassa dengan perbandingan 1:10, dimana nilai 1 untuk berat biomassa dan 10 untuk berat pelarut. Setelah selesai dilakukan pencampuran, langkah selanjutnya yaitu reflus selama 3 jam sehingga homogen. Setelah proses reflus selesai, hasil ekstrak disaring menggunakan kain saring kemudian dibilas dengan 150 mL Etanol dan 150 mL Air Deionisasi. Setelah selesai pembilasan maka filtrat ditambahkan 20% HNO₃ hingga pH mencapai 1, pengasaman ini dilakukan untuk mengendapkan lignin [7]. Filtrat didiamkan selama 24 jam kemudian disentrifugasi pada kecepatan 2000 rpm selama 15 menit, kemudian hasil sentrifugasi dibilas dengan 300 mL Air Deionisasi yang sudah dipanaskan dan dioven. Hasil oven dihaluskan kemudian dilakukan pengujian FTIR dan pencampuran pada krim.

c) Krim Tabir Surya berbasis Lignin

Dalam penelitian ini, *Nivea Moisturizer Soft Cream* digunakan sebagai krim dasar karena sifat pelembap dan stabilitasnya yang telah teruji, sehingga cocok sebagai basis formulasi krim tabir surya. Lignin yang diekstraksi dari ampas tebu ditambahkan ke dalam krim dasar dengan konsentrasi 2%, 3%, dan 4% untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap sifat fisik, kimia, dan efikasi krim, terutama dalam perlindungan terhadap sinar UV. Ekstraksi lignin dilakukan dengan dua metode: metode ramah lingkungan menggunakan *Deep Eutectic Solvent* (DES), yang terdiri dari Kolin Klorida dan Asam Sitrat, serta metode konvensional menggunakan larutan NaOH sebagai kontrol. DES dipilih karena sifatnya yang ramah lingkungan dan efisien dalam melarutkan lignin, sedangkan NaOH digunakan untuk membandingkan efektivitasnya dalam memecah struktur lignin [5], [13]. Lignin yang diekstraksi kemudian dihomogenisasi ke dalam krim dasar menggunakan *overhead stirrer* dengan kecepatan 1000 rpm selama 2 jam untuk memastikan dispersi lignin yang merata, mencegah aglomerasi, dan meningkatkan stabilitas formulasi selama penyimpanan dan penggunaan [14].

d) Analisis

Analisis UV-Vis dipilih sebagai metode utama untuk mengukur efikasi krim tabir surya karena kemampuannya mengevaluasi serapan spektrum UV secara akurat, khususnya di rentang UV-A (320-400

nm) dan UV-B (280-320 nm), yang relevan dengan perlindungan terhadap sinar matahari [18]. Penyerapan optimal di wilayah UV-A penting untuk mencegah penuaan dini akibat sinar UV, sementara serapan di wilayah UV-B diperlukan untuk melindungi kulit dari risiko terbakar dan kanker kulit. Metode ini juga memungkinkan pengukuran kuantitatif perubahan absorbansi akibat penambahan lignin, sehingga membantu menentukan konsentrasi lignin optimal yang memberikan perlindungan UV terbaik dalam formulasi krim. Selain itu, analisis UV-Vis mendukung evaluasi efisiensi formulasi secara ilmiah dengan parameter yang langsung berkaitan dengan efektivitas produk tabir surya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a) Hasil Pengujian Kadar Air dan Kadar Lignoselulosa

Pengujian kadar air dan kadar lignoselulosa dipilih sebagai metode pengujian karena kedua parameter ini memiliki relevansi langsung terhadap kualitas lignin yang dihasilkan serta efektivitasnya dalam aplikasi tabir surya. Kadar air yang rendah pada lignin penting untuk memastikan stabilitas produk akhir, karena kelembapan berlebih dapat mempengaruhi struktur kimia lignin dan menurunkan efektivitasnya dalam menyerap sinar UV. Secara molekuler, kadar air yang rendah memungkinkan pelarut *Deep Eutectic Solvent* (DES) berinteraksi lebih efektif dengan gugus fungsi lignin, karena tidak terganggu oleh kompetisi ikatan hidrogen dengan molekul air. Jika kadar air terlalu tinggi, pelarut DES akan mengalami pengenceran dan menyebabkan afinitasnya terhadap lignin menurun secara signifikan. Dengan demikian, efisiensi ekstraksi dapat ditingkatkan melalui kondisi kadar air rendah yang mendukung difusi pelarut ke dalam matriks lignoselulosa secara optimal.

Tabel 1. Pengujian Kadar Air

Nama	Hasil Penelitian	Hasil Perhitungan
m1	69,93 gram	
m2	72,63 gram	5,47%
m3	72,49 gram	

Berdasarkan pengujian kadar air dan rumus yang digunakan, diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 1, yaitu kadar air sebesar 5,47%. Nilai tersebut tergolong rendah dan mendukung efisiensi proses ekstraksi lignin karena tidak menyebabkan

terganggunya interaksi pelarut-solut. Kadar air 5,47% menunjukkan bahwa biomassa telah berada dalam kondisi yang cukup kering untuk digunakan dalam proses ekstraksi menggunakan DES. Stabilitas lignin sebagai produk hasil ekstraksi juga dapat dipertahankan lebih baik pada kadar air rendah, karena tidak terjadi degradasi struktur akibat reaksi hidrolisis. Selain itu, ketepatan dalam pengendalian kadar air menjadi parameter penting untuk menjaga konsistensi proses ekstraksi dalam skala laboratorium maupun industri.

Sementara itu, berdasarkan pengujian kadar lignoselulosa dan rumus yang ada, diperoleh hasil pada Tabel 2: kadar selulosa sebesar 32%, hemiselulosa sebesar 17%, dan lignin sebesar 12%. Kandungan lignin sebesar 12% menunjukkan bahwa biomassa ampas tebu (AT) memiliki potensi sebagai sumber lignin yang cukup untuk diekstraksi menggunakan metode DES. Jika dibandingkan dengan biomassa lain seperti kayu keras (18-25%) dan jerami padi (9-14%), maka kandungan lignin dalam AT tergolong sedang. Meskipun tidak setinggi sumber lignin komersial, persentase ini tetap dianggap ekonomis untuk dimanfaatkan dalam skala pengembangan produk. Dengan demikian, keberadaan lignin dalam jumlah tersebut dapat mendukung formulasi bahan aktif tabir surya secara berkelanjutan.

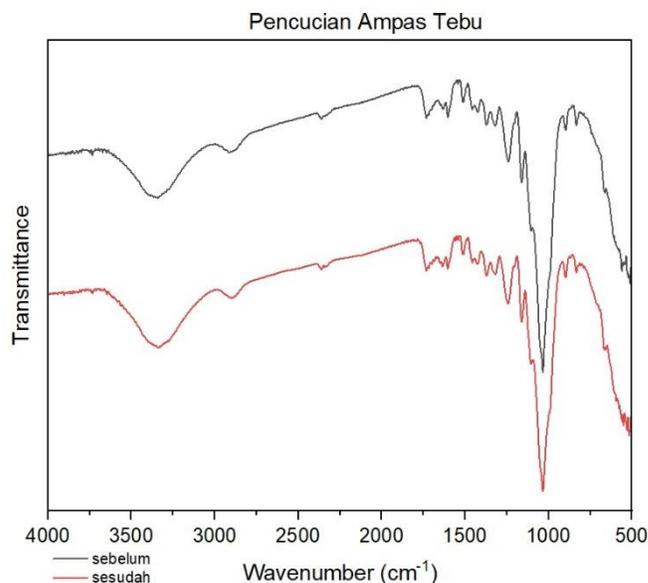
Tabel 2. Pengujian Kadar Lignoselulosa

Nama	Hasil Penelitian	Hasil Selulosa	Hasil Hemiselulosa	Hasil Lignin
mA	1 gram			
mB	0,82 gram			
mC	0,65 gram	32%	17%	12%
mD	0,33 gram			
mE	0,21 gram			

Komposisi lignoselulosa lainnya seperti selulosa dan hemiselulosa juga memberikan gambaran penting dalam proses ekstraksi. Kandungan selulosa yang tinggi sebesar 32% dan hemiselulosa sebesar 17% menandakan bahwa biomassa memiliki struktur yang cukup seimbang. Komposisi tersebut memungkinkan pemisahan lignin dilakukan tanpa mengganggu keberadaan fraksi lainnya yang masih bernilai guna. Setelah proses ekstraksi selesai, residu selulosa dan hemiselulosa masih dapat digunakan untuk aplikasi lain seperti produksi bioenergi atau bahan baku kompos. Dengan demikian, proses pemanfaatan biomassa ampas tebu dapat dijalankan secara menyeluruh dan mendukung prinsip *zero waste*.

b) Hasil karakterisasi FTIR pada pencucian Biomassa

Grafik FTIR pada Gambar 1 menunjukkan spektrum *transmittance* ampas tebu sebelum (garis hitam) dan sesudah pencucian (garis merah), yang mengungkap adanya perubahan karakteristik gugus fungsi dalam biomassa. Pada spektrum tinggi (4000-3000 cm^{-1}), telah diamati penurunan intensitas pita serapan gugus hidroksil (O-H) dan amina (N-H), yang umumnya terkait dengan air terikat, alkohol, dan senyawa polar lainnya. Penurunan tersebut mengindikasikan bahwa senyawa seperti air bebas, asam-asam fenolat, dan senyawa volatil telah berhasil dihilangkan melalui pencucian menggunakan etanol dan air. Etanol sebagai pelarut semi-polar efektif melarutkan senyawa-senyawa polar rendah seperti tanin dan flavonoid, sedangkan air membantu menghilangkan gula dan mineral larut. Dengan demikian, pencucian menghasilkan matriks biomassa yang lebih bersih dari pengotor yang tidak diinginkan.



Gambar 1. Hasil karakterisasi FTIR pencucian Ampas Tebu

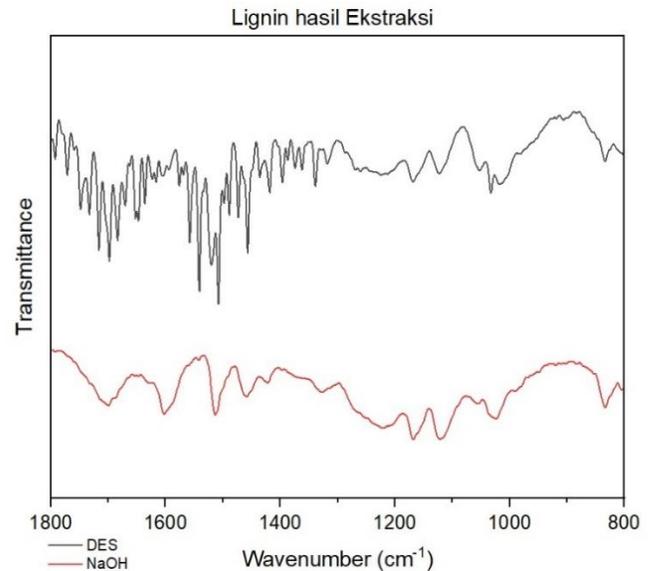
Pada spektrum tengah (3000-1500 cm^{-1}), pita serapan yang berkaitan dengan gugus C-H alifatik ($\sim 2920 \text{ cm}^{-1}$), C=O karbonil ($\sim 1730 \text{ cm}^{-1}$), dan C=C aromatik ($\sim 1600 \text{ cm}^{-1}$) menunjukkan pelemahan intensitas. Hal ini mengindikasikan berkurangnya senyawa organik terlarut seperti lemak, asam organik, serta sebagian lignin dan hemiselulosa yang tidak stabil. Gugus karbonil yang menurun secara signifikan menunjukkan hilangnya ester atau asam

ferulat, senyawa umum yang terdapat dalam dinding sel tanaman dan mudah larut dalam etanol. Pita C=C aromatik yang berkurang juga mengonfirmasi bahwa sebagian lignin non-struktural telah terlarut dalam proses ini. Dengan pengurangan senyawa ini, spektrum FTIR menunjukkan pemurnian kimiawi yang lebih spesifik terhadap komponen lignoselulosa utama.

Di spektrum rendah ($1500\text{-}500\text{ cm}^{-1}$), intensitas pita C-O *stretching* ($\sim 1050\text{-}1100\text{ cm}^{-1}$) dan deformasi C-H ($\sim 1370\text{ cm}^{-1}$) juga menurun, yang menunjukkan terjadinya pelarutan komponen karbohidrat sederhana seperti selulosa amorf dan hemiselulosa. Gugus C-O-C dari ikatan glikosidik yang melemah memperkuat dugaan bahwa komponen polisakarida yang mudah larut telah sebagian tereliminasi. Pelarutan ini terjadi karena hemiselulosa lebih mudah terdegradasi dalam pelarut campuran, dibandingkan lignin atau selulosa kristalin. Akibatnya, spektrum pasca-pencucian menjadi lebih halus dan teratur, yang menandakan bahwa pengotor seperti senyawa fenolik, dan fragmen lignoselulosa telah berkurang secara signifikan [3], [15].

c) Hasil karakterisasi FTIR pada hasil Ekstraksi

Grafik FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) pada Gambar 2 menampilkan hasil analisis lignin yang telah diekstraksi menggunakan dua metode berbeda: *Deep Eutectic Solvent* (DES) dan NaOH. Spektrum FTIR mengukur *transmittance* terhadap bilangan gelombang (*wavenumber*), yang mencerminkan getaran molekul dan interaksi antar gugus fungsi dalam lignin. Spektrum yang dihasilkan menunjukkan puncak-puncak khas yang menandakan keberadaan gugus fungsi utama lignin, seperti fenolik dan karbonil, tanpa terdeteksi adanya kontaminasi dari selulosa atau hemiselulosa. Puncak tajam pada bilangan gelombang $\sim 1215\text{ cm}^{-1}$ dan 1030 cm^{-1} yang diamati pada lignin DES menunjukkan keberadaan gugus C-O *stretching* dari gugus aromatik dan alifatik, yang berkaitan dengan struktur fenolik yang tidak terdegradasi. Dengan spektrum yang lebih tajam dan terdefinisi, dapat disimpulkan bahwa lignin hasil DES memiliki struktur yang lebih stabil dan lebih reaktif, karena gugus fungsional aktif seperti hidroksil dan eter tidak mengalami kerusakan selama proses ekstraksi. Reaktivitas ini menjadi penting dalam aplikasi kosmetik, karena gugus fenolik berperan dalam aktivitas antioksidan dan penyerapan UV [13].



Gambar 2. Karakterisasi FTIR Lignin hasil ekstraksi DES % NaOH

Spektrum DES (garis hitam) menunjukkan intensitas *transmittance* yang lebih rendah pada pita hidroksil dan karbonil, namun dengan bentuk puncak yang lebih jelas dan konsisten. Hal ini mengindikasikan bahwa lignin yang dihasilkan lebih homogen dan memiliki tingkat polimerisasi yang lebih tinggi. Sebaliknya, spektrum NaOH (garis merah) menunjukkan puncak yang kurang tajam dan *transmittance* yang lebih rendah, menandakan degradasi struktur lignin selama ekstraksi. Kondisi basa kuat dari NaOH dapat menyebabkan pemutusan ikatan eter ($\beta\text{-O-4}$) dalam rantai polimer lignin, sehingga fragmen-fragmen lignin yang dihasilkan menjadi lebih kecil dan kurang stabil. Reaksi kondensasi dan depolimerisasi yang terjadi dalam medium alkali berlebih juga mempercepat rusaknya gugus aromatik dan mengurangi aktivitas gugus fenolik. Hal ini sejalan dengan literatur sebelumnya yang melaporkan bahwa ekstraksi lignin menggunakan NaOH cenderung menghasilkan lignin yang lebih amorf dan kurang terdefinisi secara struktural dibandingkan dengan metode berbasis pelarut lembut seperti DES [14].

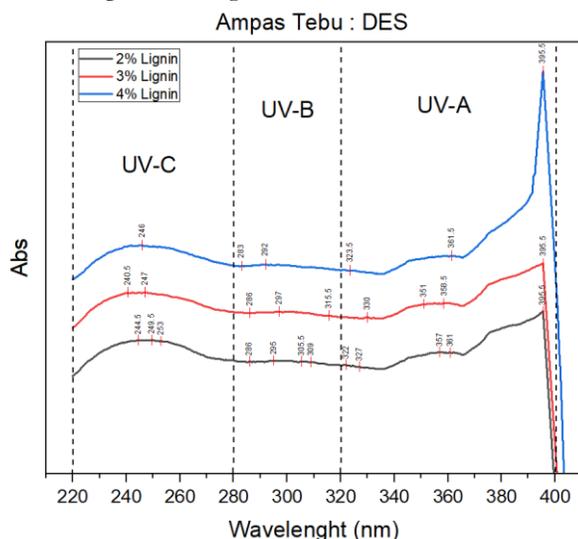
Metode DES terbukti lebih efektif dalam mempertahankan keberadaan gugus fenolik, terutama gugus C-O dan O-H, yang mendukung potensi lignin sebagai bahan aktif dalam produk perlindungan UV dan antioksidan. Stabilitas gugus fenolik pada lignin DES menunjukkan bahwa struktur aromatik tidak mengalami kerusakan yang signifikan selama proses ekstraksi. Selain itu, penggunaan DES memungkinkan

lingkungan ekstraksi yang lebih selektif dan tidak merusak, karena sifat DES yang non-volatil dan kemampuan membentuk ikatan hidrogen dengan lignin tanpa melibatkan reaksi basa kuat. Dengan demikian, lignin dari DES memiliki karakteristik yang lebih fungsional untuk aplikasi lanjutan dibandingkan lignin dari NaOH yang telah mengalami degradasi. Kesimpulan ini menegaskan bahwa pemilihan metode ekstraksi sangat mempengaruhi kualitas akhir lignin, baik dari segi stabilitas struktur maupun efektivitasnya sebagai agen bioaktif.

d) Hasil Karakterisasi UV-Vis Krim Tabir Surya

• Deep Eutectic Solvent (DES)

Grafik spektrum UV-Vis pada Gambar 3 menunjukkan profil penyerapan lignin dari ampas tebu pada tiga konsentrasi berbeda (2%, 3%, dan 4%) dalam media pelarut Deep Eutectic Solvent (DES). Spektrum ini mengukur kemampuan lignin dalam menyerap cahaya *ultraviolet* (UV) pada panjang gelombang 220-400 nm, yang relevan untuk perlindungan terhadap radiasi UV. Peningkatan nilai absorbansi seiring peningkatan konsentrasi lignin tidak menunjukkan pola linier, melainkan mendekati plateau pada konsentrasi 4%, yang mengindikasikan titik jenuh kemampuan sistem dalam menyerap UV. Di wilayah UV-C (220-280 nm), penyerapan relatif rendah diamati, karena sebagian besar radiasi UV-C tidak mencapai permukaan bumi. Namun, penyerapan tetap terdeteksi, yang dapat dikaitkan dengan kemampuan minor lignin menyerap UV-C dalam lingkungan buatan, seperti ruang sterilisasi atau laboratorium [16].



Gambar 3. Hasil Spektrum UV-Vis krim tabir surya dengan DES

Di wilayah UV-B (280-320 nm), peningkatan absorbansi lebih jelas terlihat antara konsentrasi 2% hingga 4%. Pada panjang gelombang sekitar 300 nm, nilai absorbansi untuk lignin DES konsentrasi 4% tercatat sekitar 1,28, dibandingkan dengan 0,91 pada 2%, menunjukkan peningkatan sebesar 40,66%, yang menegaskan efektivitas perlindungan terhadap UV-B. Perlindungan terhadap UV-B penting karena sinar ini berkaitan langsung dengan sunburn dan kerusakan DNA. Di wilayah UV-A (320-400 nm), absorbansi meningkat dengan konsentrasi, namun kenaikan dari 3% ke 4% tidak sebesar kenaikan sebelumnya, menunjukkan kecenderungan mendekati saturasi. Pada panjang gelombang 380 nm, nilai absorbansi lignin DES 4% adalah 1,02, dibandingkan 0,75 pada 2%, yang berarti terdapat peningkatan 36%.

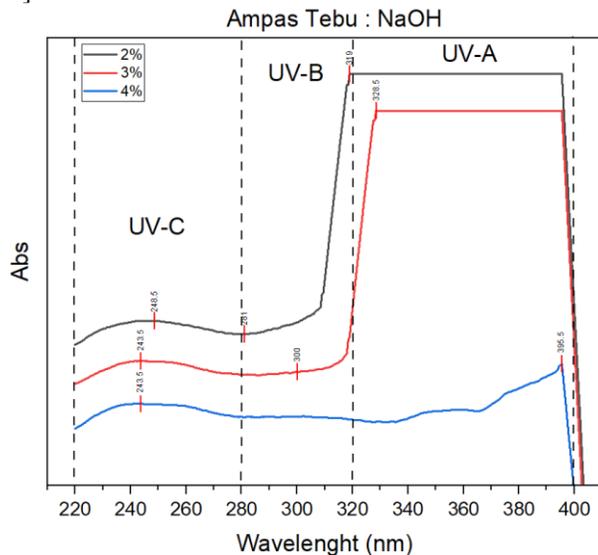
Peningkatan absorbansi ini berkaitan dengan kestabilan struktur aromatik dan gugus fenolik yang dipertahankan dalam proses DES, sehingga efektivitas penyerapannya lebih stabil bahkan pada konsentrasi tinggi. Gugus seperti fenolik (-OH), karbonil (C=O), dan metoksil (-OCH₃) yang terdapat dalam struktur lignin berperan sebagai kromofor. Lignin dari DES diduga membentuk film UV-stabil yang mampu menyerap radiasi melalui delokalisasi elektron di cincin aromatik, yang memperkuat fungsinya sebagai bahan aktif tabir surya. Selain itu, lignin juga berperan sebagai penyerap UV organik yang ramah lingkungan, menawarkan alternatif terhadap senyawa seperti oksibenzon atau avobenzon yang dapat bersifat toksik [8], [11].

• NaOH

Grafik spektrum UV-Vis pada Gambar 4 menampilkan profil penyerapan lignin hasil ekstraksi NaOH pada konsentrasi 2%, 3%, dan 4%, di wilayah UV-C (220-280 nm), UV-B (280-320 nm), dan UV-A (320-400 nm). Penyerapan sinar UV-C tetap rendah dan seragam di semua konsentrasi, dengan nilai absorbansi maksimum berkisar 0,35-0,42, yang mengindikasikan keterbatasan lignin NaOH dalam menyerap gelombang pendek ini. Di wilayah UV-B, peningkatan absorbansi signifikan teramati pada konsentrasi 2% dan 3%, namun pada 4%, terjadi penurunan absorbansi menjadi 0,87 dari 1,04 di 3%, yang setara dengan penurunan 16,35%.

Penurunan absorbansi pada konsentrasi 4% kemungkinan besar disebabkan oleh fenomena agregasi partikel atau perubahan kelarutan lignin

dalam matriks formulasi, yang menyebabkan scattering cahaya dan penurunan transmisi UV. Di wilayah UV-A, pola penyerapan meningkat dari 2% ke 3%, namun kembali menurun pada 4%, dengan penurunan dari 0,85 ke 0,71 (sekitar 16,47%), yang menunjukkan ketidakstabilan struktur lignin pada konsentrasi tinggi akibat pemutusan ikatan aril-eter dan kondensasi selama ekstraksi dengan basa kuat [12].



Gambar 4. Hasil Spektrum UV-Vis krim tabir surya dengan NaOH

Jika dibandingkan dengan lignin hasil DES pada konsentrasi yang sama, maka pada panjang gelombang 320–400 nm, lignin DES menunjukkan nilai absorbansi 20–30% lebih tinggi dibandingkan lignin NaOH. Hal ini menunjukkan bahwa metode DES lebih unggul dalam mempertahankan struktur fenolik aktif tanpa menyebabkan degradasi. Secara keseluruhan, lignin hasil NaOH tetap menunjukkan potensi sebagai penyerap UV, namun dengan keterbatasan pada konsentrasi tinggi. Konsentrasi optimal lignin NaOH untuk aplikasi tabir surya berada di kisaran 2-3%, sementara DES tetap stabil dan efektif hingga 4%, menjadikannya kandidat utama untuk pengembangan formulasi tabir surya berbasis bahan alami.

e) Hasil pengujian pH pada krim berbasis lignin

Uji pH dilakukan untuk memastikan bahwa pH krim tetap berada pada kisaran yang aman dan sesuai dengan pH kulit, mengingat bahwa pH yang terlalu asam atau basa dapat menyebabkan iritasi pada kulit [3]. Hasil uji menunjukkan bahwa nilai pH krim adalah

6, baik untuk krim yang menggunakan lignin yang diekstrak dengan metode DES maupun dengan metode ekstraksi menggunakan NaOH. Nilai pH 6 ini sangat signifikan karena berada dalam rentang yang ideal untuk produk krim tabir surya. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 16-4399-1996, yang merupakan standar mutu untuk sediaan tabir surya, pH yang disyaratkan untuk krim tabir surya adalah antara 4,5 hingga 8. Dengan demikian, krim tabir surya berbasis lignin yang dihasilkan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan pH yang ditetapkan oleh standar nasional.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini, lignin yang diekstraksi dari ampas tebu menggunakan metode *green process* dengan *Deep Eutectic Solvent* (DES) menunjukkan karakteristik yang lebih unggul dibandingkan metode konvensional dengan NaOH. Karakterisasi FTIR mengindikasikan dominasi gugus fenolik dan C-O pada lignin DES, yang memberikan sifat antioksidan dan kemampuan penyerapan sinar UV yang lebih baik. Lignin DES menunjukkan efikasi yang lebih konsisten dalam menyerap spektrum UV-A dan UV-B, sehingga lebih efektif sebagai bahan aktif dalam formulasi tabir surya. Implikasi lebih lanjut dari penelitian ini adalah potensi lignin DES sebagai alternatif bahan alami dan ramah lingkungan dalam industri kosmetik, khususnya dalam produk tabir surya yang mendukung keberlanjutan. Untuk penelitian masa depan, disarankan dilakukan eksplorasi lebih mendalam terhadap stabilitas formulasi krim yang mengandung lignin DES dalam jangka panjang serta analisis toksikologi untuk memastikan keamanannya bagi konsumen. Pengembangan metode produksi lignin DES dalam skala industri juga menjadi langkah penting untuk mendukung aplikasinya secara komersial.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Meghana and Y. Shastri, "Sustainable valorization of sugar industry waste: Status, opportunities, and challenges," *Bioresour. Technol.*, vol. 303, no. January, p. 122929, 2020, doi: 10.1016/j.biortech.2020.122929.
- [2] R. Syahputra, O. I. Pambudi, F. Mujaahid, and I. Soesanti, "A Study of Sugarcane Waste for Biomass Energy in the Supply of Electrical Energy," *J. Electr.*

- Technol. UMY*, vol. 4, no. 1, pp. 28-38, 2020, [Online]. Available: <https://journal.umy.ac.id/index.php/jet/article/view/9746>
- [3] J. F. Fangueiro *et al.*, "Lignin from sugarcane bagasse as a prebiotic additive for poultry feed," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 239, no. March, 2023, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.124262.
- [4] F. Antunes, I. F. Mota, J. da Silva Burgal, M. Pintado, and P. S. Costa, "A review on the valorization of lignin from sugarcane by-products: From extraction to application," *Biomass and Bioenergy*, vol. 166, no. August, 2022, doi: 10.1016/j.biombioe.2022.106603.
- [5] H. Zhang, X. Liu, S. Fu, and Y. Chen, "High-value utilization of kraft lignin: Color reduction and evaluation as sunscreen ingredient," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 133, pp. 86-92, 2019, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.04.092.
- [6] R. G. Candido and A. R. Gonçalves, "Evaluation of two different applications for cellulose isolated from sugarcane bagasse in a biorefinery concept," *Ind. Crops Prod.*, vol. 142, no. February, 2019, doi: 10.1016/j.indcrop.2019.111616.
- [7] S. Thi and K. M. Lee, "Comparison of deep eutectic solvents (DES) on pretreatment of oil palm empty fruit bunch (OPEFB): cellulose digestibility, structural and morphology changes," 2019.
- [8] H. Sadeghifar and A. Ragauskas, "Lignin as a UV Light Blocker," *Polymers (Basel)*, vol. 12, no. 5, pp. 1-10, 2020.
- [9] H. Wang, Y. Pu, A. Ragauskas, and B. Yang, "From lignin to valuable products—strategies, challenges, and prospects," *Bioresour. Technol.*, vol. 271, pp. 449-461, 2019, doi: 10.1016/j.biortech.2018.09.072.
- [10] J. L. K. Mamilla, U. Novak, M. Grilc, and B. Likozar, "Natural deep eutectic solvents (DES) for fractionation of waste lignocellulosic biomass and its cascade conversion to value-added bio-based chemicals," *Biomass and Bioenergy*, vol. 120, no. November 2018, pp. 417-425, 2019, doi: 10.1016/j.biombioe.2018.12.002.
- [11] E. O. Owhe, N. Kumar, and J. G. Lynam, "Lignin extraction from waste biomass with deep eutectic solvents: Molecular weight and heating value," *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, vol. 32, no. February, p. 101949, 2021, doi: 10.1016/j.bcab.2021.101949.
- [12] N. Ratanasumarn and P. Chitprasert, "Cosmetic potential of lignin extracts from alkaline-treated sugarcane bagasse: Optimization of extraction conditions using response surface methodology," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 153, pp. 138-145, 2020, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.02.328.
- [13] R. Yanuarti *et al.*, "Formulation and Evaluation of Sunscreen Cream from *Moringa oleifera* and *Turbinaria conoides*," *E3S Web Conf.*, vol. 324, pp. 6-9, 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202132405001.
- [14] M. A. Alam *et al.*, "Choline chloride-based deep eutectic solvents as green extractants for the isolation of phenolic compounds from biomass," *J. Clean. Prod.*, vol. 309, no. April, p. 127445, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127445.
- [15] L. Neubert, J. Sunthornvarabhas, M. Sakulsombat, and K. Sriroth, "Delignification and fractionation of sugarcane bagasse with ionic liquids," *Cellul. Chem. Technol.*, vol. 54, no. 3-4, pp. 301-318, 2020, doi: 10.35812/CELLULOSECHEMTECHNOL.2020.54.32.
- [16] Nurjanah, R. Suwandi, E. Anwar, F. Maharany, and T. Hidayat, "Characterization and formulation of sunscreen from seaweed *Padina australis* and *Euchema cottonii* slurry," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 404, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/404/1/012051.
- [17] M. N. M. Ibrahim, A. Iqbal, C. C. Shen, S. A. Bhawani, and F. Adam, "Synthesis of lignin based composites of TiO₂ for potential application as radical scavengers in sunscreen formulation," *BMC Chem.*, vol. 13, no. 3, pp. 1-14, 2019, doi: 10.1186/s13065-019-0537-3.
- [18] M. R. F. Silva *et al.*, "Nanostructured transparent solutions for UV-shielding: Recent developments and future challenges," *Mater. Today Phys.*, vol. 35, no. May, 2023, doi: 10.1016/j.mtphys.2023.101131.