

AKTIVITAS ANTIOKSIDAN, TABIR SURYA, DAN PROFIL FITOKIMIA LIGNIN HASIL EKSTRAKSI DENGAN DEEP EUTECTIC SOLVENT

Antioxidant Activity, Sunscreen Potential, and Phytochemical Profile of Lignin Extracted Using a Deep Eutectic Solvent

¹Maeda Wahyuningrum, ¹Franklin Solano Sinaga, ¹Nadiva Yasmin Narayana,
¹Meisy Gloria Mandak, ¹Tutur Simanjuntak, ¹Raymon Alpindo Lumbangaol,
²Manggar Arum Aristi, dan ³Yanico Hadi Prayogo

¹Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sumater

²Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret

³ Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor

ABSTRACT. This study aimed to evaluate the antioxidant activity, sunscreen potential, and phytochemical profile of lignin extracted from candlenut (*Aleurites moluccana*) shell waste using Deep Eutectic Solvent (DES) as a green chemistry approach. Lignin extraction was carried out using a choline chloride–lactic acid–based DES system with a molar ratio of 1:2 at 135 °C for 3 h. The extracted lignin was analyzed for total phenolic and flavonoid contents, antioxidant activity using the DPPH method, *in vitro* Sun Protection Factor (SPF) using UV–Vis spectrophotometry, and functional group characterization by Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy. The results showed that DES-extracted lignin possessed a high total phenolic content (389 mg GAE/g) and a flavonoid content of 15 mg QE/g. The antioxidant activity of lignin was classified as very strong, with an IC_{50} value of 28.67 ppm. Sunscreen activity evaluation indicated that lignin at a concentration of 100 ppm achieved an SPF value of 9.9, which falls within the maximal protection category. FTIR analysis confirmed the presence of phenolic hydroxyl, carbonyl, and aromatic functional groups, which play a crucial role in antioxidant activity and UV absorption. These findings demonstrate that DES-extracted candlenut shell lignin has significant potential as a natural active ingredient for environmentally friendly sunscreen applications.

Keywords: lignin, deep eutectic solvent, antioxidant activity, sunscreen, phytochemical profile

ABSTRAK. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi aktivitas antioksidan, potensi tabir surya, dan profil fitokimia lignin yang diekstraksi dari limbah cangkang kemiri (*Aleurites moluccana*) menggunakan metode *Deep Eutectic Solvent* (DES) sebagai pendekatan *green chemistry*. Ekstraksi lignin dilakukan menggunakan sistem DES berbasis kolin klorida-asam laktat dengan perbandingan molar 1:2 pada suhu 135 °C selama 3 jam. Lignin hasil ekstraksi dianalisis kandungan fenolik dan flavonoid total, aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH, nilai *Sun Protection Factor* (SPF) secara *in vitro* menggunakan spektrofotometri UV-Vis, serta karakterisasi gugus fungsi menggunakan FTIR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lignin hasil ekstraksi DES memiliki kandungan fenolik total yang tinggi (389 mg GAE/g) dan kandungan flavonoid sebesar 15 mg QE/g. aktivitas antioksidan lignin tergolong sangat kuat dengan nilai IC_{50} sebesar 28,67 ppm. Uji aktivitas tabir surya menunjukkan bahwa pada konsentrasi 100 ppm, lignin mampu memberikan nilai SPF 9,9 yang termasuk kategori proteksi maksimal. Analisis FTIR mengonfirmasi keberadaan gugus hidroksil fenolik, karbonil, dan struktur aromatik yang berperan penting dalam aktivitas antioksidan dan penyerapan UV. Hasil ini menunjukkan bahwa lignin cangkang kemiri hasil ekstraksi DES berpotensi besar sebagai bahan aktif alami untuk aplikasi tabir surya ramah lingkungan

Kata kunci: lignin, deep eutectic solvent, aktivitas antioksidan, tabir surya, profil fitokimia

Penulis untuk korespondensi, surel: maeda.wahyuningrum@rh.itera.ac.id

PENDAHULUAN

Kemiri merupakan salah satu hasil hutan bukan kayu (HHBK) yang banyak

dimanfaatkan, terutama bijinya, sebagai bahan pangan, obat tradisional, maupun minyak nabati. Namun, dalam pengolahannya, kemiri juga menghasilkan limbah dalam jumlah besar, khususnya bagian cangkang. Satu kilogram

buah kemiri dapat menghasilkan 70% limbah cangkang keras dan dengan produksi kemiri nasional yang mencapai >80.000 ton per tahun, maka ratusan ribu ton cangkang kemiri terbuang tiap tahunnya (Ashar, 2024). Apabila tidak dikelola dengan tepat, akumulasi limbah ini dapat menimbulkan pencemaran lingkungan serius. Disisi lain, cangkang kemiri memiliki kandungan komponen kimia seperti holoselulosa (49,22%) dan lignin (54,46%) yang tinggi (Wulandari, 2025). Untuk itu, perlu upaya pemanfaatan lanjutan terhadap limbah cangkang kemiri sebagai strategi peningkatan nilai tambah HHBK sekaligus mendukung pengolahan limbah biomassa berkelanjutan.

Lignin merupakan salah satu komponen kimia dalam cangkang kemiri yang berpotensi sebagai bahan aktif tabir surya. Struktur kimia lignin yang kaya akan gugus aromatik dan ikatan rangkap memungkinkan menyerap sinar UV secara efektif, terutama di rentang UV-A dan UV-B (Halimah, 2025). Hal ini menjadikan lignin sebagai agen penyerap UV alami yang efisien. Selain itu, lignin memiliki sifat antioksidan yang dapat melindungi kulit dari kerusakan oksidatif akibat radikal bebas yang dihasilkan oleh paparan sinar UV, menambah nilai lignin sebagai bahan aktif dalam produk perawatan kulit (Antunes et al., 2023). Stabilitas fitokimia lignin yang baik memastikan bahwa perlindungan UV yang diberikan tetap efektif selama penggunaan, menjadikannya pilihan yang andal untuk produk tabir surya.

Metode ekstraksi lignin konvensional, seperti alkali dan organosolv, masih memiliki keterbatasan karena menghasilkan limbah berbahaya serta menghasilkan lignin dengan kualitas rendah akibat proses kondensasi yang kurang terkendali (Adebayo & Olanrewaju, 2025). Kondisi ini menuntut adanya pendekatan baru yang lebih ramah lingkungan dan efisien. Dalam konteks tersebut, penggunaan metode ekstraksi berbasis *green chemistry* dengan *deep eutectic solvents* (DES) menjadi alternatif penting untuk meningkatkan efisiensi sekaligus keberlanjutan proses ekstraksi lignin dari limbah cangkang kemiri. DES merupakan pelarut ramah lingkungan dari senyawa metabolit primer alami dan aman (Rahman, 2023). Dengan memanfaatkan DES, diharapkan proses ekstraksi lignin dapat dilakukan dengan lebih efisien, mengurangi pembentukan lignin terkondensor yang sering terjadi pada metode tradisional, serta meningkatkan potensi valorisasi lignin sebagai bahan baku untuk produk bernilai tambah,

termasuk dalam formulasi produk kosmetika seperti tabir surya. Hal ini mendukung kondisi saat ini yang sebagian besar produk tabir surya yang beredar di pasaran umumnya terbuat dari bahan kimia sintetik, seperti oxybenzone dan octinoxate, yang diketahui berpotensi menimbulkan iritasi kulit (Sander et al., 2020). Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan mengekstraksi lignin dari limbah cangkang kemiri menggunakan metode DES untuk aplikasinya sebagai sumber antioksidan, karakterisasi fitokimia, dan potensinya sebagai bahan aktif tabir surya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dirancang sebagai penelitian eksperimental laboratorium yang bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik lignin serta aktivitas antioksidan dan potensi tabir surya secara *in vitro*. Bahan baku utama yang digunakan adalah cangkang kemiri sebagai sumber lignin. Bahan kimia utama meliputi aquades, metanol p.a, reagen Folin-Ciocalteu, asam laktat, dan asam askorbat sebagai kontrol positif antioksidan. Ekstraksi lignin cangkang kemiri dilakukan menggunakan metode Deep Eutectic Solvent (DES) sebagai pelarut hijau. DES disiapkan dengan mencampurkan choline chloride powder sebagai hydrogen bond acceptor dan asam laktat sebagai hydrogen bond donor dengan perbandingan molar 1:2. Campuran dipanaskan pada suhu $\pm 80^\circ\text{C}$ sambil diaduk menggunakan magnetic stirrer hingga terbentuk larutan homogen dan jernih. diekstraksi menggunakan larutan DES dengan rasio bahan terhadap pelarut 1:2. Ekstraksi dilakukan pada suhu 135°C selama 3 jam. Setelah proses selesai, campuran didinginkan dan disaring untuk memisahkan residu padat. Filtrat yang diperoleh kemudian ditambahkan aquades untuk mengendapkan lignin, selanjutnya endapan lignin dipisahkan melalui sentrifugasi. Lignin hasil ekstraksi dicuci berulang hingga pH netral dan dikeringkan untuk selanjutnya dianalisis serta karakterisasi aktivitas fungsionalnya.

Lignin yang dihasilkan dari proses ekstraksi dianalisis kandungan bioaktifnya melalui analisis fitokimia kuantitatif meliputi fenolik dan flavonoid total, aktivitas antioksidan, nilai SPF, dan karakterisasinya menggunakan FTIR. Analisis fitokimia dilakukan dengan mengukur kandungan total fenolik dan flavonoid. Kandungan total fenolik ditentukan

menggunakan metode Folin-Ciocalteu. Sampel lignin dilarutkan dalam metanol, kemudian sebanyak 100 μ L larutan sampel direaksikan dengan 500 μ L reagen Folin-Ciocalteu yang telah diencerkan. Setelah inkubasi awal selama 5 menit, larutan ditambahkan 400 μ L larutan natrium karbonat 7,5% dan diinkubasi selama 30 menit pada suhu ruang dalam kondisi gelap. Absorbansi diukur pada panjang gelombang 765 nm. Asam galat digunakan sebagai standar untuk pembuatan kurva kalibrasi, dan hasil kandungan fenol total dinyatakan sebagai mg GAE/g. Penentuan kandungan total flavonoid dilakukan menggunakan kolorimetri aluminium klorida. Larutan sampel sebanyak 100 μ L dicampurkan dengan 100 μ L larutan aluminium klorida 10%, 100 μ L larutan kalium asetat 1M, dan aquades hingga volume tertentu. Campuran diinkubasi selama 30 menit pada suhu ruang. Absorbansi diukur pada panjang gelombang 415 nm. Kuersetin digunakan sebagai standar untuk menyusun kurva kalibrasi, dan kandungan total flavonoid dinyatakan sebagai mg QE/g. Aktivitas antioksidan lignin dievaluasi menggunakan metode peredaman radikal bebas DPPH. Larutan DPPH dengan konsentrasi 100 μ M disiapkan dalam metanol 100%, kemudian sebanyak 100 μ L larutan DPPH ditambahkan ke dalam larutan sampel. Campuran diinkubasi selama 30 menit dalam kondisi gelap untuk mencegah degradasi fotokimia, selanjutnya absorbansi diukur pada panjang gelombang 512 nm menggunakan *microplate reader*. Data absorbansi yang diperoleh digunakan untuk menghitung presentase inhibisi radikal bebas, dan aktivitas antioksidan dinyatakan sebagai IC₅₀. Potensi tabir surya dilakukan dengan mengukur Sun Protection Factor (SPF) secara *in vitro* menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Pengukuran absorbansi dilakukan pada rentang panjang gelombang 290-320 nm untuk larutan ekstrak dengan konsentrasi 100 μ g/mL. Nilai SPF dihitung berdasarkan persamaan Mansur (1986) dengan memperhatikan [I(λ)], dan nilai absorbansi sampel pada setiap panjang gelombang. Hasil pengukuran absorbansi kemudian dihitung nilai SPF nya dengan persamaan (1):

$$SPF = CF \times \sum_{290}^{320} EE(\lambda) \times I(\lambda) \times Abs(\lambda) \dots (1)$$

Keterangan:

CF: Faktor koreksi yang (10)

EE (λ): Erythral Effect Spectrum

I(λ) : *Intensity Spectrum*

Abs: Absorbansi

Karakterisasi lignin dilakukan melalui analisis gugus fungsi menggunakan metode spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Seluruh data hasil pengujian dianalisis secara kuantitatif untuk menilai keterkaitan antara karakteristik kimia lignin.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Analisis Fitokimia

Hasil analisis fitokimia kuantitatif tersaji pada Tabel 1. Kadar fenolik total yang terkandung pada lignin cangkang kemiri tergolong tinggi apabila dibandingkan dengan beberapa laporan literatur terkait ekstraksi lignin menggunakan DES pada biomassa lain. Misalnya lignin pada jerami reed (*Phragmites australis*) yang diekstraksi menggunakan DES kolin klorida dan asam oksalat yang hanya mencapai 169.67 mg GAE/g (Morozova et al., 2024). Di sisi lain, beberapa penelitian juga melaporkan nilai fenol total yang lebih tinggi dibandingkan penelitian ini. Sebagai contoh, lignin bambu (*Phyllostachys edulis*) yang diekstraksi dengan DES kolin klorida dan p-toluena sulfonat memiliki kandungan fenolik sangat tinggi mencapai 242,11 mg GAE/100mg lignin (24% w/w) (Song et al., 2024). Selain itu, lignin kulit kayu lariks (*Larix decidua*) yang diekstraksi menggunakan DES kolin klorida/ asam asetat dibantu microwave dilaporkan memiliki kandungan fenol total 589 mg GAE/g (Meindl et al., 2022). Nilai ini jauh lebih tinggi dibandingkan lignin cangkang kemiri, yang menandakan potensi kandungan senyawa fenolik dapat memiliki nilai yang lebih besar pada biomassa dan kondisi ekstraksi tertentu. Untuk itu, nilai total fenol pada lignin cangkang kemiri berada pada tingkatan sedang hingga cukup tinggi (lebih tinggi daripada lignin hasil ekstraksi DES pada jerami, namun masih lebih rendah dibanding lignin hasil DES pada kulit kayu larik yang diekstraksi menggunakan asam kuat dan bantuan microwave).

Tabel 1. Kadar fenolik total dan flavonoid lignin cangkang kemiri

Sampel	Kadar Fenolik Total (mg GAE/g)	Kadar Flavonoid (mg QE/g)
Lignin cangkang kemiri	346,83	15,39
Lignin jerami reed	169,67 ^{*1}	Tidak dilaporkan
Lignin bambu	242,11 ^{*2}	Tidak dilaporkan
Lignin kulit kayu lariks	589 ^{*3}	Tidak dilaporkan

Keterangan : *) Hasil studi literatur; ¹⁾ (Morozova et al., 2024a); ²⁾ (Song et al., 2024); ³⁾ (Meindl et al., 2022)

Perbedaan kandungan fenolik pada beberapa biomassa dapat dijelaskan oleh beberapa faktor, terutama jenis biomassa dan komposisi DES yang digunakan. Jenis biomassa menentukan struktur lignin dan keberadaan senyawa fenolik lain (seperti tannin atau fenolat bebas) yang terekstraksi. Kulit kayu dan residu pertanian umumnya memiliki kandungan polifenol yang tinggi (Jablonsky et al., 2020). Selain itu, ekstraksi menggunakan pelarut DES pada biomassa dapat melarutkan bukan hanya lignin polimerik, tetapi juga fenolik bebas berukuran kecil, sehingga fenol total yang terukur terukur bisa sangat tinggi. Pada lignin bambu yang diekstraksi dengan DES asam p-toluena sulfonat hasil penelitian (Song et al., 2024) menunjukkan kadar fenol yang tinggi, hal ini dapat disebabkan oleh depolimerisasi lignin yang ekstensif dan kemungkinan terbawanya *pseudolignin* yang merupakan produk degradasi karbohidrat terkarbonisasi dalam endapan lignin (Song et al., 2024). *Pseudolignin* dan fenolat non-lignin tersebut dapat meningkatkan pembacaan fenolik Folin namun menurunkan kemurnian lignin. Sementara itu, biomassa cangkang kemiri memiliki komposisi fenolik lebih rendah, hal ini dapat disebabkan fenolik total yang terukur lebih mencerminkan gugus fenolik intrinsik ligninnya. Kandungan flavonoid pada lignin cangkang kemiri hasil ekstraksi DES sebesar 15 mg QE/g menunjukkan bahwa fraksi lignin yang dihasilkan masih mengandung senyawa flavonoid dalam jumlah terdeteksi, meskipun nilainya lebih rendah dibandingkan fenolik total. Fenomena ini

sejalan dengan karakteristik struktural lignin pada biomassa berkayu, secara alami didominasi oleh unit guaisil (G) dan siringil (S), serta umumnya tidak mengintegrasikan flavonoid secara ekstensif ke dalam matriks polimer lignin sebagaimana pada biomassa monokotil seperti rumput-rumputan dan residu pertanian (Obrzut et al., 2023). Penelitian yang dilakukan oleh Lan et al., (2015) melaporkan bahwa flavonoid seperti tricetin merupakan monomer lignin otentik pada tanaman monokotil, berperan sebagai nukleator lignifikasi dan terikat melalui ikatan β -O-4 pada ujung rantai lignin. Namun, pada biomassa berkayu seperti cangkang kemiri, keberadaan flavonoid lebih mungkin berasal dari flavonoid bebas atau terperangkap secara fisik dalam matriks lignin, bukan sebagai monomer struktural lignin. Hal ini menjelaskan alasan nilai total flavonoid lignin cangkang kemiri lebih rendah dibandingkan lignin dari biomassa monokotil seperti tandan kosong kelapa sawit yang diekstraksi dengan metode kraft (245.65 mg QE/g) (Salleh et al., 2015).

Aktivitas Antioksidan

Lignin merupakan polimer polifenol yang diketahui memiliki sifat antioksidan alami (Li et al., 2024), sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai antioksidan alternatif pengganti senyawa sintetis. Dalam konteks pemanfaatan tersebut, uji aktivitas antioksidan menjadi langkah penting untuk menilai kemampuan lignin dalam menangkal radikal bebas. Parameter IC₅₀ merupakan parameter yang umum digunakan untuk mengukur potensi suatu senyawa dalam menangkal radikal bebas dan nilai ini merepresentasikan konsentrasi senyawa yang dibutuhkan untuk menghambat 50% radikal bebas (Manao et al., 2024). Semakin kecil nilai IC₅₀, semakin tinggi kapasitas antioksidan senyawa tersebut. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa lignin cangkang kemiri memiliki nilai IC₅₀ sebesar 28,67 ppm (Tabel 2) yang menegaskan potensi sangat kuat antioksidan lignin cangkang kemiri dalam menangkal radikal bebas.

Tabel 2. Aktivitas antioksidan lignin cangkang kemiri

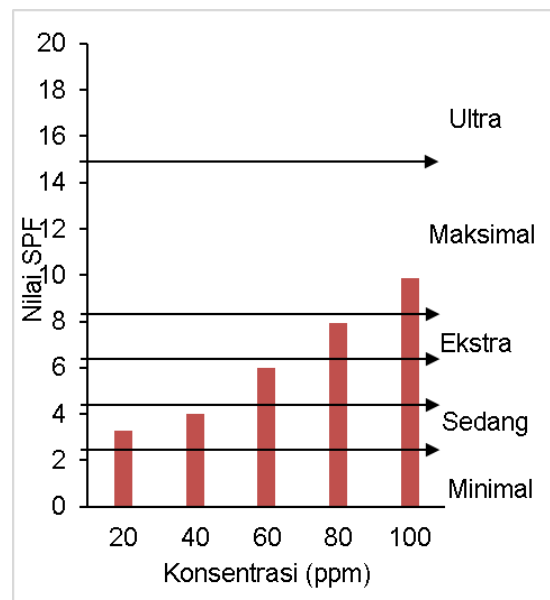
Sampel	Aktivitas Antioksidan (IC ₅₀ ppm)
Lignin cangkang kemiri	28,67
Kontrol (Vit C)	5,02

Faktor yang mendasari kuatnya aktivitas antioksidan lignin adalah banyaknya gugus fenolik pada strukturnya. Lignin cangkang kemiri diketahui kaya akan unit-unit fenolik terutama unit guaisil dengan kandungan gugus hidroksil total dan hidroksil fenolik yang tinggi (Klein et al., 2010). Gugus fenolik tersebut berperan sebagai pendonor hidrogen atau elektron yang efektif dalam menteralkan radikal bebas DPPH. Antioksidan memiliki hubungan positif dengan kadar fenolik total. Semakin tinggi kandungan fenolik total maka, semakin tinggi pula kapasitas antioksidannya. Dalam penelitian ini, kandungan fenolik total dibandingkan dengan penelitian lain berada pada kisaran sedang – tinggi (Tabel 1), untuk itu, hal tersebut menjadi salah satu faktor aktivitas antioksidan lignin cangkang kemiri tergolong sangat kuat. Namun, aktivitas antioksidan penelitian ini (Tabel 2) lebih rendah aktivitasnya dibandingkan hasil penelitian Song et al., (2024), yang menguji aktivitas antioksidan bambu menggunakan kolin klorida/p-Toluenesulfonic (IC_{50} 24,25), kolin klorida/p-Hydroxybenzenesulfonic Acid (IC_{50} 26,77), dan lebih kuat dari lignin yang dihasilkan dari ekstraksi dengan kolin klorida/maleic acid (IC_{50} 34,93) dan kolin klorida/asam laktat (IC_{50} 41,25). Fenomena ini menunjukkan komposisi DES yang digunakan juga berperan terhadap aktivitas antioksidan yang dipengaruhi oleh kandungan fenol. DES berbasis asam cenderung lebih efektif memutus ikatan eter β -O-4 dalam struktur lignin, menghasilkan fragmen lignin dengan lebih banyak gugus fenolik bebas. Contohnya, DES kolin klorida p-toulena sulfonat (memiliki sifat asam kuat) pada bambu (Song et al., 2024) menghasilkan lignin dengan fenolik paling tinggi dan bobot molekul lebih rendah, sehingga aktivitas antioksidannya tergolong paling kuat (IC_{50} 24,25) dibandingkan dengan lignin yang diekstraksi dengan donor hydrogen seperti asam laktat (yang sama dengan penelitian ini) yang dapat mengalami reaksi esterifikasi dengan gugus fenolik lignin yang dapat mengakibatkan penurunan jumlah gugus fenolik bebas pada lignin yang diekstrak.

Aktivitas Tabir Surya

Efikasi perlindungan tabir surya diukur secara kuantitatif melalui nilai SPF. Dalam pengujian *in vitro*, nilai SPF dihitung berdasarkan absorbansi sampel dalam rentang panjang gelombang UVB (290-320 nm), karena wilayah ini bertanggung jawab utama atas terjadinya

eritema atau kemerahan pada kulit yang disebabkan oleh UV (Malsawmtluangi et al., 2013). Berdasarkan hasil penelitian (Gambar 1), terdapat hubungan linear antara konsentrasi lignin dengan nilai SPF yang dihasilkan, semakin tinggi konsentrasi, maka semakin tinggi pula nilai SPF. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah kromofor (gugus penyerap cahaya) dalam larutan secara proporsional yang meningkatkan kemampuan material untuk memblokir radiasi UV (Rahmawati et al., 2018). Hasil penelitian pada Gambar 1 menunjukkan bahwa pada konsentrasi yang relatif rendah (100 ppm), lignin cangkang kemiri hasil ekstraksi dengan DES sudah mampu memberikan proteksi maksimal dengan nilai SPF mendekati 10. Nilai SPF pada konsentrasi 100 ppm (SPF 9,9) merupakan hasil yang sangat impresif untuk ekstrak bahan alam murni. Sebagai perbandingan, ekstrak etanol dari tanaman lain memerlukan konsentrasi hingga 500 ppm untuk mencapai nilai SPF yang serupa seperti yang terlihat pada penelitian Rahmawati et al., (2018). Tingginya nilai SPF pada konsentrasi yang rendah ini dapat diatribusikan pada efektivitas ekstraksi DES yang mampu mengonsentrasi unit-unit fungsional penyerap UV dalam bentuk lignin yang lebih murni dan reaktif.



Keterangan: Klasifikasi kategori SPF menurut Mansur et al., 1986

Gambar 1. Aktivitas tabir surya lignin cangkang kemiri

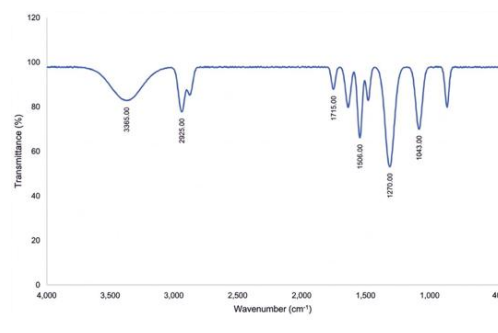
Gugus fenolik merupakan komponen kunci yang bertanggung jawab atas aktivitas biologi lignin. Nilai total fenolik yang tinggi (Tabel 1) mengindikasikan bahwa lignin memiliki densitas gugus hidroksil yang tinggi, yang berfungsi sebagai penangkal terhadap radiasi UV, elektron pada cincin aromatik mengalami transisi dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi ($\pi \rightarrow \pi^*$). Energi yang diserap ini kemudian dilepaskan kembali dalam bentuk energi panas yang tidak merusak melalui proses relaksasi vibrasi, sehingga mencegah foton tersebut mencapai dan merusak DNA sel kulit (Morozova et al., 2024). Kandungan flavonoid dalam lignin juga berpengaruh terhadap SPF, meskipun kandungan flavonoid lignin tergolong rendah, namun keberadaannya memberikan kontribusi krusial dalam menciptakan perlindungan spektrum luas (*broad-spectrum protection*). Flavonoid dikenal memiliki dua tipe serapan maksimum pada spektrum UV yaitu pita II (240-285 nm) yang mencakup UVC dan UVB, serta pita I (300-380 nm) yang mencakup wilayah UVA. Kehadiran flavonoid dalam lignin cangkang kemiri memastikan bahwa produk akhir tidak hanya mencegah eritema (terbakar sinar matahari yang dipicu UVB) tetapi juga memitigasi *photoaging* (penuaan dini) dan hiperpigmentasi yang diinduksi UVA (Mosa et al., 2025). Sementara, sifat antioksidan yang sangat kuat (Tabel 2) memastikan setiap efek samping biologis dari paparan UV yang tidak terfilter dapat segera dinetralisir, mencegah kaskade peradangan kulit dan kerusakan jangka panjang (Malsawmtluangi et al., 2013).

Profil FTIR

Analisis FTIR memberikan gambaran mendalam mengenai integritas struktural dan gugus fungsi aktif yang terkandung dalam lignin cangkang kemiri hasil ekstraksi DES. Spektrum yang dihasilkan menunjukkan puncak-puncak karakteristik yang mengonfirmasi keberadaan senyawa fenolik dan flavonoid yang melimpah, yang menjadi basis utama aktivitas antioksidannya. Berdasarkan data spektrum yang dianalisis (Gambar 2) hasil identifikasi menunjukkan pada bilangan gelombang 3365 cm^{-1} merupakan gugus hidroksil. Munculnya pita lebar pada area ini mengindikasikan vibrasi ulur gugus -OH baik dari gugus hidroksil alifatik maupun fenolik. Intensitas yang kuat pada puncak ini berkorelasi langsung dengan tingginya kandungan kadar total fenolik (Tabel 1) yang ditemukan dalam sampel. Pada

bilangan gelombang 2925 cm^{-1} , puncak ini menunjukkan adanya vibrasi ulur ikatan C-H dari gugus metil dan metilen (CH_3 dan CH_2), yang merupakan bagian dari rantai samping alifatik polimer lignin (Song et al., 2024). Keberadaan puncak pada bilangan gelombang 1715 cm^{-1} merepresentasikan vibrasi ulur C=O (karbonil). Gugus ini sering ditemukan pada struktur flavonoid dan asam asam fenolik yang terkonjugasi dengan cincin aromatik (Duy et al., 2024). Puncak tajam pada bilangan gelombang 1505 cm^{-1} merupakan sidik jari utama lignin yang menunjukkan vibrasi rangka cincin benzena. Intensitas puncak ini mengonfirmasi bahwa struktur aromatik lignin tetap terjaga selama ekstraksi DES, yang esensial untuk absorpsi sinar UV. Puncak bilangan gelombang 1270 cm^{-1} secara spesifik merujuk pada vibrasi ulur C-O dari unit guaiasil (G) salah satu penyusun utama lignin (Song et al., 2024). Tingginya unit ini berkontribusi pada densitas fenolik total. Terakhir, pada bilangan gelombang 1040 cm^{-1} , pita ini menunjukkan vibrasi ulur C-O pada alkohol primer atau ikatan eter yang masih tersisa, baik dari lignin maupun residu polisakarida.

Kandungan total fenolik yang mencapai 389 mg GAE/g tercermin secara visual melalui dominasi puncak 3365 cm^{-1} dan 1505 cm^{-1} . Ekstraksi DES secara selektif memutus ikatan eter tanpa merusak cincin aromatik, sehingga memaksimalkan ketersediaan gugus hidroksil fenolik bebas. Hal inilah yang mendasari aktivitas antioksidan yang tergolong sangat kuat (Tabel 2). Mekanisme antioksidan terjadi melalui donor atom hidrogen dari gugus hidroksil (puncak 3365 cm^{-1}) kepada radikal bebas. Kehadiran flavonoid (puncak 1715 cm^{-1}) juga memperkuat kapasitas antioksidan melalui resonansi pada inti benzopiron yang memiliki ikatan terkonjugasi. Dengan demikian, spektrum FTIR ini membuktikan secara molekuler bahwa lignin cangkang kemiri memiliki profil bioaktivitas yang tinggi.



Gambar 2. Profil FTIR lignin cangkang kemiri

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Ekstraksi lignin cangkang kemiri menggunakan *Deep Eutectic Solvent* menghasilkan profil bioaktivitas dengan kadar fenolik total 389 mg GAE/g dan flavonoid 15 mg QE/g yang berkontribusi langsung pada aktivitas antioksidan kategori sangat kuat (IC₅₀ 28, 67 ppm). Efikasi tabir surya lignin cangkang kemiri secara in vitro menunjukkan nilai SPF yang meningkat seiring peningkatan konsentrasi dan pada konsentrasi 100 ppm telah mencapai nilai SPF 9,9 yang termasuk dalam kategori proteksi maksimal. Profil FTIR lignin cangkang kemiri menunjukkan adanya gugus fungsional kritis yaitu gugus hidroksil fenolik (3365 cm⁻¹), karbonil (1715 cm⁻¹), dan rangka aromatik (1505 cm⁻¹) yang berperan sebagai penyerap radiasi UV.

Saran

Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut, disarankan melakukan pengembangan formulasi sediaan topikal seperti krim atau lotion serta melakukan uji stabilitas fisikokimia dan uji akseptabilitas panelis terkait parameter warna dan aroma lignin hasil ekstraksi DES.

DAFTAR PUSTAKA

Adebayo, A. J., & Olanrewaju, A. (2025). A Complete Review of Lignin's Extraction, Analysis, Applications, and Future Outlook. *Chemistry Africa*, 8(5), 1711–1741. <https://doi.org/10.1007/s42250-025-01323-y>

Antunes, F., Mota, I. F., Fangueiro, J. F., Lopes, G., Pintado, M., & Costa, P. S. (2023). From sugarcane to skin: Lignin as a multifunctional ingredient for cosmetic application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 234, 123592. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123592>

Ashar, Z. S. (2024). Peningkatan Nilai Kalor Briket Tongkol Jagung (*Zea mays*) dengan Penambahan Cangkang Kemiri (*Aleurites moluccana*). *Journal of Environmental Behavior and Engineering* 2(2), 69-79.

Duy, N. V., Tsygankov, P. Y., & Menshutina, N. V. (2024). Facile Lignin Extraction and Application as Natural UV Blockers in Cosmetic Formulations. *ChemEngineering*, 8(4), 69. <https://doi.org/10.3390/chemengineering8040069>

Halimah, M. N. (2025). Green Extraction of Lignin Compounds from Sugarcane Bagasse Waste for Eco-Friendly Sunscreen Cream Development. *Berkala Sainstek* 13(2), 62-70.

Jablonsky, M., Majova, V., Strizincova, P., Sima, J., & Jablonsky, J. (2020). Investigation of Total Phenolic Content and Antioxidant Activities of Spruce Bark Extracts Isolated by Deep Eutectic Solvents. *Crystals*, 10(5), 402. <https://doi.org/10.3390/cryst10050402>

Klein, A. P., Beach, E. S., Emerson, J. W., & Zimmerman, J. B. (2010). Accelerated Solvent Extraction of Lignin from *Aleurites moluccana* (Candlenut) Nuts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(18), 10045–10048. <https://doi.org/10.1021/jf1019856>

Lan, W., Lu, F., Regner, M., Zhu, Y., Rencoret, J., Ralph, S. A., Zakai, U. I., Morreel, K., Boerjan, W., & Ralph, J. (2015). Tricin, a Flavonoid Monomer in Monocot Lignification. *Plant Physiology*, 167(4), 1284–1295. <https://doi.org/10.1104/pp.114.253757>

Malsawmtluangi, C., Nath, D. K., Jamatia, I., Lianhingthangi, Zanzoliana, E., & Pachua, L. (2013). Determination of Sun Protection Factor (SPF) number of some aqueous herbal extracts. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 3(09), 150–151. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2013.3925>

Manao, M., Karo, R. M. B., & Razoki, R. (2024). Uji aktivitas antioksidan dari fraksi etil asetat ekstrak metanol daun kerai payung (*Filicium decipiens*). *Jambura Journal of Health Sciences and Research*, 6(3), 306–318. <https://doi.org/10.35971/jjhsr.v6i3.26222>

Mansur, J. S., Breder, M. N. R., Mansur, M. C. A., & Azulay, R. D. (1986). Determination of sun protection factor by spectrophotometry. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, 61, 121–124.

- Meindl, A., Petutschnigg, A., & Schnabel, T. (2022). Microwave-Assisted Lignin Extraction—Utilizing Deep Eutectic Solvents to Their Full Potential. *Polymers*, 14(20), 4319. <https://doi.org/10.3390/polym14204319>
- Morozova, O., Vasil'eva, I., Shumakovich, G., Khlupova, M., Chertkov, V., Shestakova, A., & Yaropolov, A. (2024a). Green Extraction of Reed Lignin: The Effect of the Deep Eutectic Solvent Composition on the UV-Shielding and Antioxidant Properties of Lignin. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(15), 8277. <https://doi.org/10.3390/ijms25158277>
- Mosa, F., Nagi, A., Ali, M., Muftah, S., & Ismael, A. (2025). Calculation of Sun Protection Factor (SPF) Values for Selected Organic Filters Using a UV Spectrophotometer. *Journal of Pure & Applied Sciences*, 24(3), 62–68. <https://doi.org/10.51984/jopas.v24i3.3761>
- Obrzut, N., Hickmott, R., Shure, L., & Gray, K. A. (2023). The effects of lignin source and extraction on the composition and properties of biorefined depolymerization products. *RSC Sustainability*, 1(9), 2328–2340. <https://doi.org/10.1039/D3SU00262D>
- Rahman, M. K. (2023). Ekstraksi Daun Salam Berbasis Natural Deep Eutectic Solvent dan Pemanfaatannya sebagai Antioksidan. *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry* 2(2), 7-12.
- Rahmawati, R., Muflihunna, A., & Amalia, M. (2018). Analisis aktivitas perlindungan sinar uv sari buah sirsak (annona muricata l.) berdasarkan nilai sun protection factor (spf) secara spektrofotometri uv-vis. *Jurnal Fitofarmaka Indonesia*, 5(2), 284–288. <https://doi.org/10.33096/jffi.v5i2.412>
- Salleh, N. M., Ismail, S., & Ibrahim, M. N. M. (2015). Radical scavenging activity of lignin extracted from oil palm empty fruit. 8(3). *Asian J Pharm Clin Res*. 81-87.
- Sander, M., Sander, M., Burbidge, T., & Beecker, J. (2020). The efficacy and safety of sunscreen use for the prevention of skin cancer. *Canadian Medical Association Journal*, 192(50), E1802–E1808. <https://doi.org/10.1503/cmaj.201085>
- Song, K., Yu, L., Yang, S., Cao, Y., Li, L., Wu, Z., Shi, H., & Ma, Q. (2024). Insights into the Chemical Structure and Antioxidant Activity of Lignin Extracted from Bamboo by Acidic Deep Eutectic Solvents. *ACS Omega*, 9(39), 40956–40969. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c06259>
- Wulandari, F. T. (2025). Pemanfaatan Limbah Biomassa Cangkang Kemiri dan Tempurung Kelapa sebagai Biobriket Ramah Lingkungan. *Jurnal Kehutanan Indonesia* 6(1), 1-12.