

Skrining Fitokimia, Profil Kromatografi Lapis Tipis dan Karakterisasi FTIR Ekstrak Etanol Daun Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.)Adinda Seftia¹, Suprianto², Effendy De Lux Putra³, Samran⁴, Siti Nurbaya⁵^{1,2,4}Institut Kesehatan Medistra Lubuk Pakam-Indonesia²Universitas Sari Mutiara Indonesia⁵Universitas Sumatera Utaraadindaseftia@gmail.com; *ekahasbi@gmail.com; effendydeluxputra@gmail.com; samranamatrejo@gmail.com; sitinurbaya@gmail.com;

Received: 21 November 2025; Revised: 27 Desember 2025; Accepted: 28 Desember 2025

DOI: <https://doi.org/10.52622/jisk.v6i3.02>**Abstract**

Background: Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) leaves have potential as a source of bioactive secondary metabolites, yet baseline data on their preliminary chemical profile and functional-group features are still limited. **Objective:** This study aimed to (i) screen the phytochemical constituents of rambutan leaf ethanol extract, (ii) verify major metabolite classes using thin-layer chromatography (TLC), and (iii) characterize dominant functional groups by Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy. **Method:** Dried rambutan leaves collected from Langkat Regency and Binjai City were extracted by maceration with 96% ethanol (1:10; 3×24 h), followed by remaceration (1×24 h). The filtrate was concentrated at 58 °C. Qualitative tests were conducted for alkaloids, flavonoids, tannins, saponins, and steroids. TLC analysis employed silica gel 60 F254 plates with class-specific mobile phases, while FTIR spectra were recorded in the range of 4000–600 cm⁻¹. **Results:** The extract yield was 25.7%. Phytochemical screening confirmed the presence of alkaloids, flavonoids, tannins, saponins, and steroids, with TLC R_f values of 0.70 and 0.46 (alkaloids), 0.80 (flavonoids), 0.70 (tannins), and 0.50 (steroids). FTIR bands at 3365 cm⁻¹ (O–H), 3010 cm⁻¹ (aromatic C–H), 1629 cm⁻¹ (C=C), and 1048 cm⁻¹ (C–O) indicated oxygenated secondary metabolites, particularly phenolic-related compounds. **Conclusion:** The integrated phytochemical screening, TLC, and FTIR approach provides a concise chemical baseline for rambutan leaf ethanol extract, supporting its potential use in further standardization and marker-based studies.

Keywords: *Nephelium lappaceum*; phytochemical screening; TLC; FTIR; ethanol extract.**PENDAHULUAN**

Indonesia punya biodiversitas tropis yang sangat kaya, jadi “lahan basah” buat eksplorasi senyawa bioaktif dari bahan alam untuk pengembangan farmasi [1]. Salah satu sumber yang melimpah tetapi sering dianggap limbah pertanian adalah rambutan (*Nephelium lappaceum* L.). Berbagai laporan menunjukkan bahwa bagian non-pangan rambutan—terutama kulit/shell, juga biji dan daun—mengandung metabolit sekunder seperti senyawa fenolik dan flavonoid (termasuk golongan polifenol/tanin tertentu) yang berkontribusi pada aktivitas biologis, terutama antioksidan dan antimikroba [2]–[4]. Karena itu, pemanfaatan bagian non-pangan rambutan relevan dengan tren *valorization by-product*: limbah agroindustri diolah jadi bahan bernilai tambah (mis. kandidat nutraseutikal/ingredient fungsional), sekaligus menekan beban limbah dan mendorong ekonomi sirkular [5]–[7].

Pada tahap awal pengembangan produk berbasis bahan alam, data skrining fitokimia dan karakterisasi sederhana masih menjadi fondasi penting, terutama untuk memastikan konsistensi kandungan serta memilih pendekatan analisis lanjutan yang tepat [8]. Uji kualitatif sederhana (misalnya reagen alkaloid, FeCl₃, dan uji buih) tetap banyak digunakan sebagai langkah cepat untuk memetakan kelas metabolit dominan [9]. Setelah itu, KLT sering dipakai sebagai metode konfirmasi karena murah,

cepat, dan informatif—baik untuk pemilahan fraksi, pemilihan marker, maupun kontrol mutu awal [10], [11]. Untuk memperkuat interpretasi kimia, FTIR dapat memberikan informasi gugus fungsi utama yang merefleksikan keberadaan komponen fenolik, terpenoid, maupun senyawa teroksidasi lainnya [12].

Berdasarkan kebutuhan tersebut, penelitian ini menyajikan data skrining fitokimia ekstrak etanol daun rambutan yang dikumpulkan dari Kabupaten Langkat dan Kota Binjai, serta verifikasi melalui KLT dan FTIR. Artikel ini diharapkan dapat menjadi rujukan praktis untuk riset lanjutan seperti standarisasi ekstrak, penetapan senyawa penanda, atau pengembangan sediaan.

METODE PENELITIAN

Desain dan lokasi penelitian

Penelitian laboratorium ini bersifat eksperimental-deskriptif untuk memperoleh profil awal kandungan metabolit sekunder. Sampel daun rambutan dikumpulkan dari Kabupaten Langkat dan Kota Binjai (Sumatera Utara), kemudian dilakukan determinasi tanaman untuk memastikan identitas spesies *Nephelium lappaceum* L.

Pembuatan simplisia

Daun diseleksi dalam kondisi segar, kemudian dicuci, ditiriskan, dan dikeringkan hingga menjadi simplisia [13], [14]. Setelah kering, bahan disortasi ulang, dipotong kecil, lalu digiling sampai menjadi serbuk [14], [15].

Ekstraksi

Sebanyak 700 g serbuk simplisia dimaserasi dengan etanol 96% sebanyak 3,7 L (rasio 1:10). Maserasi dilakukan selama 3×24 jam dengan pengadukan, kemudian disaring [16], [17]. Residu dilakukan remaserasi 1×24 jam menggunakan pelarut yang sama. Seluruh filtrat digabungkan dan diuapkan menggunakan rotary evaporator pada 58°C (± 90 rpm) hingga diperoleh ekstrak kental [16], [18].

Uji organoleptik dan rendemen

Uji organoleptik dilakukan dengan mengevaluasi ekstrak secara langsung meliputi bentuk, warna, aroma, dan rasa [8], [19]. Rendemen ekstrak dihitung sebagai persentase bobot ekstrak kental dibandingkan bobot awal serbuk simplisia (% b/b) [20].

Skrining fitokimia.

Skrining fitokimia dilakukan dengan beberapa uji kualitatif: untuk alkaloid, ekstrak terlebih dahulu dilarutkan dalam HCl 2 N, kemudian disaring dan filtratnya direaksikan dengan Mayer, Dragendorff, serta Bouchardat, di mana hasil positif ditunjukkan oleh terbentuknya endapan dan/atau perubahan warna khas [21], [22]; untuk flavonoid, filtrat dalam akuades ditambahkan NaOH 10% dan dinyatakan positif bila muncul warna kuning [23], [24]; untuk tanin, penambahan FeCl_3 pada filtrat menghasilkan reaksi positif apabila terbentuk warna biru tua hingga kehijauan [22], [24]; untuk saponin, ekstrak dalam akuades dikocok kuat dan dinilai positif jika menghasilkan buih stabil [24]; sedangkan untuk steroid, ekstrak dipartisi menggunakan kloroform lalu ditambahkan H_2SO_4 , dengan indikasi positif berupa terbentuknya cincin merah [9], [24].

Uji penegasan KLT

KLT menggunakan fase diam silika gel 60 F254; sampel ditotolkan pada plat, dikembangkan dalam bejana tertutup, lalu diamati/ divisualisasi sesuai tujuan analisis [8], [25]. Alkaloid: Fase gerak etil asetat:metanol:air (100:15:10), kemudian noda alkaloid divisualisasi menggunakan pereaksi Dragendorff. [8], [26]. Flavonoid: Fase gerak n-butanol:asam asetat:air (4:1:5), lalu plat diekspos uap amonia untuk membantu penampakan noda flavonoid [8], [25]. Tanin/Fenolik: Fase gerak n-butanol:asam asetat:air (4:1:5), kemudian disemprot FeCl_3 untuk deteksi senyawa fenolik/tanin. [8], [25]. Steroid/Terpenoid: Fase gerak n-heksan:etil asetat (3:7), lalu divisualisasi memakai anisaldehyd–

asam sulfat (umumnya disertai pemanasan ringan) untuk menampakkan pita terpenoid/steroid [8], [25]. Nilai Rf: Rf dihitung sebagai rasio jarak migrasi noda terhadap jarak front pelarut [27].

Analisis FTIR

Larutan uji dibuat dengan melarutkan ekstrak etanol daun rambutan ke dalam pelarut etanol hingga homogen (bila perlu disonikasi/diaduk singkat), kemudian disaring untuk menghilangkan partikel padat sehingga diperoleh larutan jernih. Sampel larutan selanjutnya ditempatkan pada wadah/aksesori pengukuran FTIR yang sesuai untuk sampel cair [28], [29]. Pengukuran dilakukan dengan merekam spektrum pada rentang bilangan gelombang 4000–600 cm^{-1} , menggunakan etanol sebagai blanko/pembanding agar kontribusi pelarut dapat diminimalkan. Puncak serapan utama yang muncul kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi gugus fungsi dominan pada ekstrak [30], [31].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Determinasi dan deskripsi sampel

Determinasi memastikan bahwa sampel merupakan *Nephelium lappaceum* L. Daun rambutan dipilih karena mudah diperoleh sepanjang tahun dan berpotensi menjadi sumber bahan baku ekstrak untuk pengembangan produk berbahan alam, termasuk kandidat antioksidan berbasis fenolik [32]–[34].

Organoleptik dan rendemen

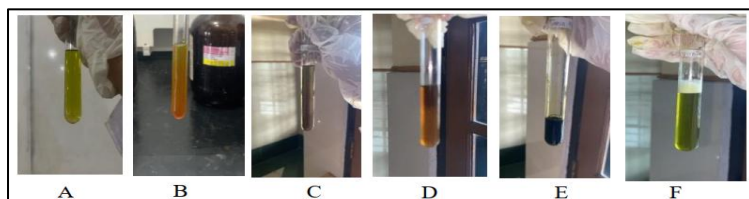
Secara organoleptik, ekstrak yang diperoleh berbentuk kental, berwarna hijau kehitaman, berbau khas, dan memiliki rasa pahit [8]. Rendemen ekstrak sebesar 25,7% menunjukkan bahwa etanol 96% mampu melarutkan fraksi polar–semipolar yang cukup besar dari matriks daun [35], [36]. Secara umum, pelarut alkohol seperti etanol sering dipilih karena relatif aman, memiliki rentang kelarutan luas untuk senyawa fenolik/flavonoid, dan kompatibel untuk pengembangan bahan baku ekstrak [33], [35].

Berdasarkan pengamatan organoleptik, ekstrak etanol daun rambutan yang diperoleh menunjukkan karakteristik berbentuk kental, berwarna hijau kehitaman, memiliki bau khas, dan memberikan rasa pahit [8]. Proses ekstraksi menggunakan 700 g serbuk simplisia dihasilkan sebanyak 180 g ekstrak kental, sehingga rendemen yang didapatkan sebesar 25,7%, yang menggambarkan efisiensi penarikan komponen terlarut dari bahan menggunakan pelarut etanol [33], [36].

Skrining fitokimia ekstrak etanol daun rambutan

Skrining fitokimia dilakukan sebagai tahap awal untuk mengidentifikasi secara kualitatif golongan metabolit sekunder yang terkandung dalam ekstrak etanol daun rambutan menggunakan pereaksi spesifik dan indikator reaksi yang khas. Ringkasan hasil pengujian tiap golongan senyawa disajikan pada **Gambar 1** dan **Tabel 1**.

Temuan positif pada uji alkaloid (Dragendorff dan Bouchardat) tetapi negatif pada Mayer dapat terjadi karena perbedaan prinsip reaksi/selektivitas dan respons reagen terhadap tipe alkaloid tertentu serta kadar alkaloid dalam ekstrak [26], [37]. Pada skrining awal, variasi intensitas reaksi merupakan hal yang umum, sehingga konfirmasi lanjutan melalui KLT atau metode instrumen menjadi penting untuk meningkatkan reliabilitas identifikasi awal [8]. Kehadiran flavonoid dan tanin mendukung dugaan bahwa ekstrak kaya komponen fenolik—kelompok yang sering dikaitkan dengan aktivitas antioksidan dan protektif biologis pada famili *Sapindaceae* [38]. Saponin dan steroid yang terdeteksi juga membuka peluang eksplorasi aktivitas biologis lain (mis. surfaktan alami, modulasi membran), meskipun interpretasi aktivitas tetap memerlukan uji farmakologi yang terukur [39][40][41].



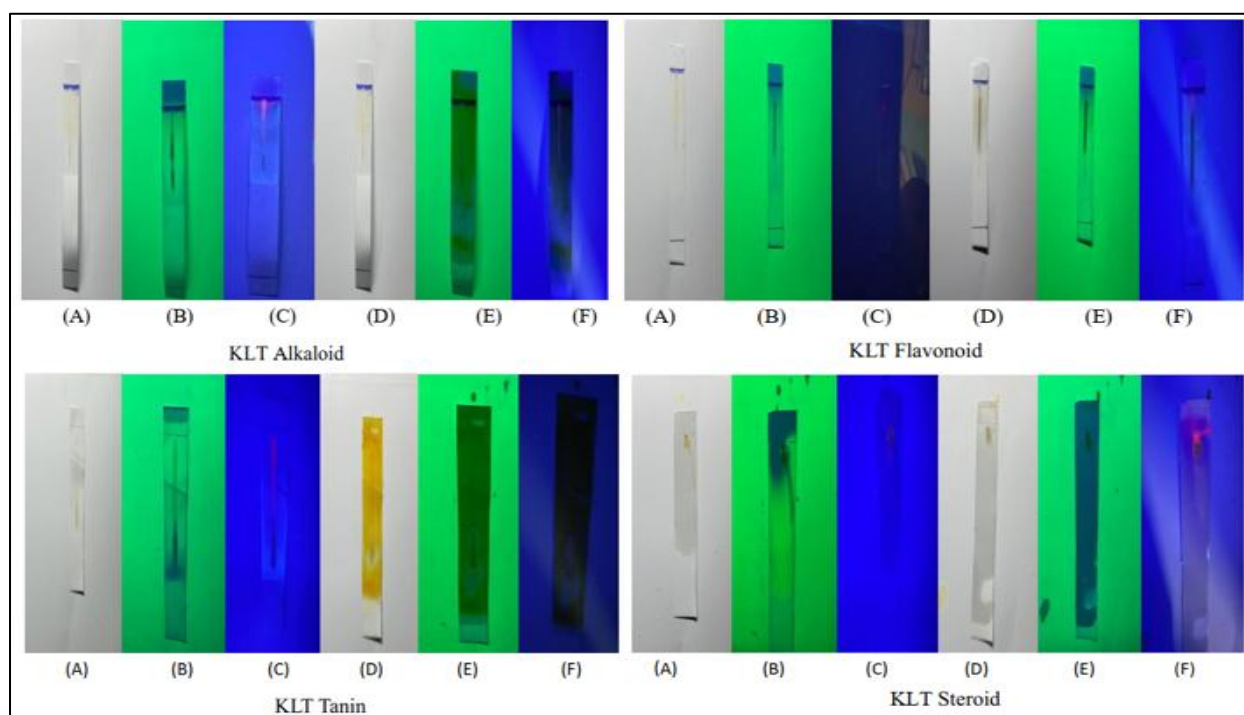
Gambar 1. Skrining fitokimia ekstrak etanol daun rambutan

Table 1. Skrining fitokimia ekstrak etanol daun rambutan

Golongan	Pereaksi/Metode	Indikator positif	Hasil
Alkaloid	Mayer	Endapan putih	Negatif
Alkaloid	Dragendorff	Endapan jingga	Positif
Alkaloid	Bouchardat	Endapan coklat	Positif
Flavonoid	NaOH 10%	Larutan kuning	Positif
Tanin	FeCl ₃	Warna biru tua/kehijauan	Positif
Saponin	Uji buih	Buih stabil	Positif
Steroid	Uji sulfat (kloroform + H ₂ SO ₄)	Cincin merah	Positif

KLT ekstrak etanol daun rambutan

Untuk mempertegas hasil skrining fitokimia, dilakukan uji penegasan menggunakan kromatografi lapis tipis (KLT) dengan fase gerak dan pereaksi penampak noda yang spesifik untuk masing-masing golongan senyawa. Pola noda yang terbentuk pada berbagai kondisi pengamatan digunakan sebagai indikator keberadaan alkaloid, flavonoid, tanin, dan steroid pada ekstrak. Hasil visualisasi KLT ditunjukkan pada **Gambar 1**.

**Gambar 1.** KLT alkaloid, flavonoid, tanin dan steroid

Profil KLT digunakan untuk mengonfirmasi keberadaan golongan metabolit sekunder pada ekstrak melalui nilai R_f dan warna noda setelah diberi pereaksi penampak. Hasil pemisahan dan visualisasi disajikan pada **Tabel 2**.

Table 2. Profil KLT ekstrak etanol daun rambutan

Golongan	Nilai R _f	Observasi noda
Alkaloid	0,70	Noda jingga (Dragendorff)
Alkaloid	0,46	Noda jingga (Dragendorff)
Flavonoid	0,80	Noda kuning (uap amonia)
Tanin	0,70	Noda biru kehitaman (FeCl ₃)
Steroid	0,50	Noda ungu (anisaldehid-asam sulfat)

Uji KLT untuk fraksi alkaloid pada ekstrak etanol daun rambutan dilakukan memakai fase diam silika gel 60 F254 dan fase gerak etil asetat:metanol:air (100:15:10). Plat yang sudah dikembangkan kemudian diamati pada sinar tampak (A), UV 254 nm (B), dan UV 365 nm (C), lalu disemprot pereaksi Dragendorff dan diamati ulang pada tampak (D), UV 254 nm (E), serta UV 365 nm (F) untuk memperkuat indikasi keberadaan alkaloid. Prosedur visualisasi multi-mode (tampak/UV) dan penggunaan derivatisasi pada KLT/HPTLC adalah praktik umum untuk memperjelas spot metabolit sekunder pada matriks bahan alam [25], [42]. Hasil KLT alkaloid (**Gambar 1**) menunjukkan dua noda dengan nilai R_f 0,70 dan 0,46, yang ditentukan sebagai perbandingan jarak migrasi noda terhadap jarak migrasi front pelarut [43]. Sebelum derivatisasi, noda dapat terdeteksi pada UV 254/365 nm dengan karakter warna/fluoresensi yang berbeda; setelah penyemprotan Dragendorff, spot alkaloid umumnya makin “terkonfirmasi” karena terbentuknya kompleks berwarna yang meningkatkan kontras/intensitas spot pada pengamatan tampak maupun UV [26], [44].

Uji KLT untuk skrining flavonoid dilakukan pada plat silika dengan fase gerak n-butanol:asam asetat:air (4:1:5), lalu bercak divisualisasi menggunakan uap amonia sebagai penampak tambahan. Pendekatan ini lazim pada analisis bahan alam karena KLT cepat untuk pemetaan profil awal, dan derivatisasi membantu memperjelas perbedaan bercak sebelum lanjut ke konfirmasi instrumen [25], [45]. Dokumentasi kromatogram dilakukan berurutan pada sinar tampak (A), UV 254 nm (B), dan UV 365 nm (C) sebelum perlakuan amonia. Setelah perlakuan amonia, pengamatan diulang pada sinar tampak (D), UV 254 nm (E), serta UV 365 nm (F) untuk menangkap perubahan warna/fluoresensi sebagai petunjuk kelas senyawa [46], [47]. Pada kondisi sebelum derivatisasi, bercak pada UV 254 nm dapat terlihat sebagai fluoresensi kebiruan, sedangkan pada UV 365 nm tampak fluoresensi kuning dengan nuansa biru samar. Pola respon lintas panjang gelombang ini selaras dengan prinsip bahwa banyak metabolit fenolik/flavonoid punya sinyal UV khas yang sering makin “kebaca” setelah diberi penampak tertentu [25], [46]. Setelah diekspos uap amonia, pada sinar tampak bercak berubah menjadi kecoklatan sehingga kontras meningkat dan interpretasi visual jadi lebih jelas. Praktik “sebelum–sesudah” uap amonia di UV 254/366 juga umum dipakai pada pemisahan senyawa alam untuk menonjolkan zona yang semula lemah/kurang kontras [46], [47]. Pada UV 254 nm pasca-amonia, bercak dapat tampak coklat kebiruan, sedangkan pada UV 365 nm dapat muncul fluoresensi biru tua terang pada bercak dengan $R_f \pm 0,8$. Penguatan fluoresensi pasca-derivatisasi ini sering dipakai sebagai indikator praktis untuk mendukung interpretasi awal berbasis KLT, namun klaim sub-kelas spesifik tetap sebaiknya dikunci dengan standar/pembanding atau teknik lanjutan (mis. HPTLC densitometri atau LC–MS) agar tidak overclaim [25], [47].

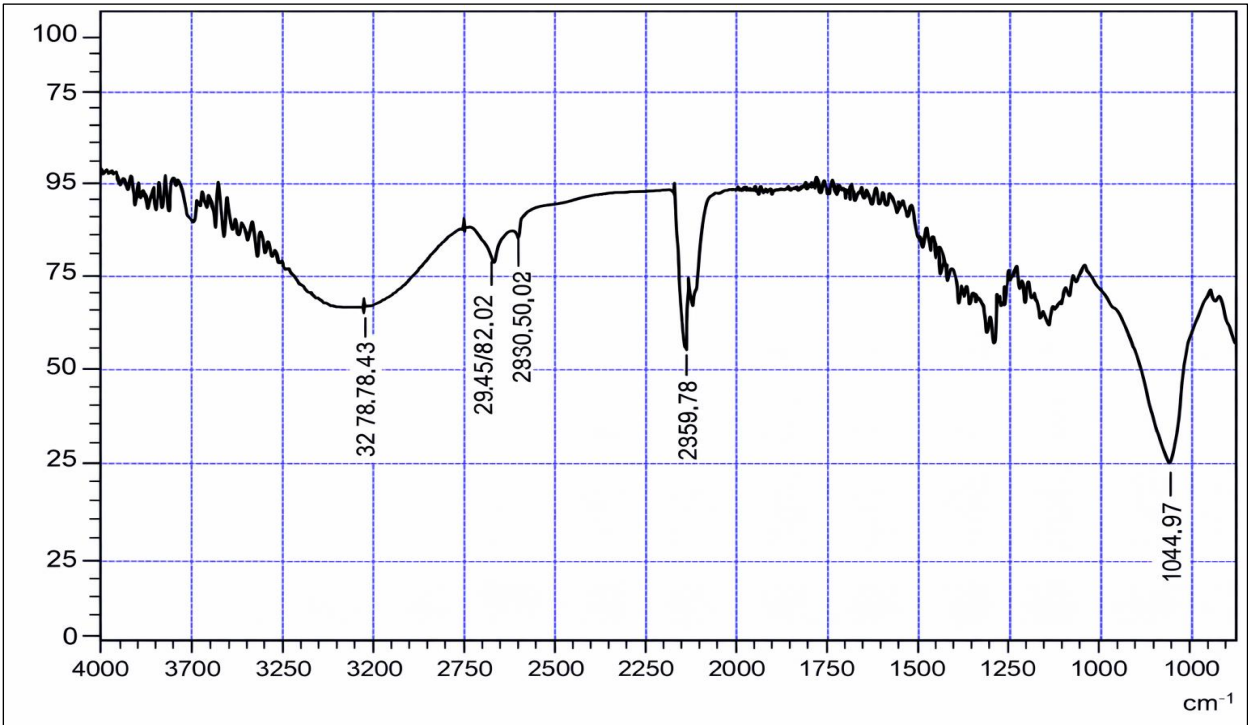
Uji KLT untuk indikasi tanin dapat dijalankan dengan fase gerak metanol:air (6:4), lalu pita/noda divisualisasi memakai reagen FeCl_3 yang diketahui membentuk kompleks berwarna gelap dengan gugus fenolik sehingga sering dipakai sebagai penanda kualitatif senyawa fenolik/tanin pada TLC [25], [48]. Kromatogram kemudian didokumentasikan pada cahaya tampak, UV 254 nm, dan UV 365 nm, sebelum dan sesudah penyemprotan/derivatisasi, karena perbandingan mode pengamatan ini lazim digunakan untuk memperkuat interpretasi fingerprint senyawa pada profil TLC/HPTLC [25], [49]. Pada hasil (**Gambar 1**), teramati satu noda utama dengan $R_f \pm 0,7$; noda tersebut tampak pada pengamatan tampak/UV dan menunjukkan penguatan warna gelap setelah derivatisasi FeCl_3 , yang konsisten dengan respon khas golongan fenolik–tannin pada TLC/HPTLC berbasis reaksi kompleksasi Fe(III) dengan fenol [48], [49]. Secara keseluruhan, pola noda dan respon FeCl_3 tersebut mendukung kesimpulan bahwa ekstrak daun rambutan mengandung komponen fenolik (termasuk kandidat tanin), sejalan dengan laporan skrining fitokimia daun rambutan yang juga menonjolkan keberadaan fenol/flavonoid [50], [51].

Uji KLT untuk skrining senyawa steroid dapat dilakukan pada plat silika dengan fase gerak n-heksan:etil asetat (6:4), lalu bercak divisualisasi menggunakan pereaksi Liebermann–Burchard sehingga reaksi positif umumnya ditandai perubahan warna ke hijau–biru/kehijauan. Visualisasi dan pemotretan kromatogram lazim dilakukan pada sinar tampak, UV 254 nm, dan UV 365/366 nm, kemudian diulang setelah penyemprotan pereaksi untuk melihat perubahan warna/fluoresensi yang memperkuat indikasi golongan sterol/steroid atau terpenoid [52], [53]. Pada hasil uji (**Gambar 1**), sebelum penyemprotan pereaksi dapat terlihat 1 spot ($R_f \pm 0,5$) yang tampak kuning pada sinar tampak, kemudian pada UV 254 nm menunjukkan spot berwarna hijau, dan pada UV 365/366 nm tampak biru.

Setelah disemprot pereaksi Liebermann–Burchard, perubahan warna bercak menjadi lebih kontras dan digunakan sebagai petunjuk kualitatif keberadaan kerangka steroid/sterol, sementara munculnya rona merah muda dapat mengarah pada indikasi terpenoid (interpretasi awal; idealnya dikonfirmasi lagi dengan pembandingan standar/teknik lanjut) [9], [52], [53].

Karakterisasi FTIR ekstrak etanol daun rambutan

Karakterisasi menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR) dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi utama yang menyusun komponen kimia dalam ekstrak etanol daun rambutan. Pendekatan ini memberikan “fingerprint” spektrum yang membantu menguatkan hasil skrining fitokimia dan profil KLT, terutama terkait keberadaan gugus hidroksil, ikatan C–H alifatik, serta gugus beroksigen seperti C–O yang lazim ditemukan pada metabolit sekunder tanaman (**Gambar 2**).



Gambar 2. Karakterisasi FTIR ekstrak etanol daun rambutan

Interpretasi puncak FTIR dilakukan untuk menautkan setiap bilangan gelombang utama dengan gugus fungsi yang mungkin ada pada ekstrak etanol daun rambutan. Ringkasan penugasan puncak disajikan pada **Tabel 3**.

Table 3. Interpretasi puncak serapan FTIR ekstrak etanol daun rambutan

Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Intensitas	Interpretasi gugus fungsi
3365,65	Lemah	Rentangan O–H (alkohol/fenol)
3010,88	Lemah	Rentangan =C–H (aromatik)
2926,20	Lemah	Rentangan C–H (alkana)
1729,15	Lemah	Rentangan C=O (aldehid/keton/asam karboksilat/ester)
1629,75	Lemah	Rentangan C=C (alkena/aromatik)
1520,04	Lemah	Rentangan N–O / C–C aromatik (interpretasi spektral)
1223,81	Lemah	Rentangan C–H (alkana) / kontribusi C–O aromatik
1048,13	Lemah	Rentangan C–O (alkohol/fenol/eter)
754,17	Lemah	Rentangan C–H (alkuna / out-of-plane aromatik)

Pita O–H $\sim 3366\text{ cm}^{-1}$ ($3400\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$) umumnya merepresentasikan gugus hidroksil berikatan-H yang khas pada polifenol. Pita $\sim 1629\text{ cm}^{-1}$ mencerminkan vibrasi C=C aromatik, sedangkan pita $\sim 1729\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan gugus karbonil (C=O) pada komponen berkarbonil (mis. ester/asam organik) [54]. FTIR efektif sebagai fingerprint cepat untuk kontrol mutu/konsistensi batch, namun penentuan senyawa spesifik tetap perlu konfirmasi dengan metode pemisahan/spektrometri yang lebih selektif [55], [56]. Dengan begitu, kombinasi skrining–KLT–FTIR yang mengarah pada dominasi komponen fenolik pada ekstrak etanol daun rambutan selaras dengan laporan kandungan fenol/flavonoid pada daun rambutan [57].

KESIMPULAN

Ekstrak etanol daun rambutan (maserasi etanol 96%) menghasilkan rendemen 25,7% dengan ciri kental, hijau kehitaman, bau khas, dan pahit. Skrining fitokimia positif alkaloid (Dragendorff, Bouchardat), flavonoid, tanin, saponin, dan steroid; KLT menunjukkan R_f alkaloid 0,70 & 0,46; flavonoid 0,80; tanin 0,70; steroid 0,50. FTIR mendukung gugus O–H, C–O, C=C, dan C=O; data ini menjadi dasar standardisasi ekstrak dan penetapan senyawa penanda.

REFERENCES

- [1] D. M. Rani *et al.*, “Anti-Cancer Bioprospecting on Medicinal Plants from Indonesia: A Review,” *Phytochemistry*, vol. 216, p. 113881, 2023.
- [2] V. Á. Valverde *et al.*, “Antioxidant and Antibacterial Extracts from Rambutan (*Nephelium lappaceum*) Skins: Exploring the Potential of Transforming Agricultural Byproducts into Functional Supplements,” *Tecnol. en Marcha*, vol. 37, no. 3, pp. 57–67, 2024.
- [3] S. Torgbo, P. Rugthaworn, U. Sukatta, and P. Sukyai, “Biological Characterization and Quantification of Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) Peel Extract as a Potential Source of Valuable Minerals and Ellagitannins for Industrial Applications,” *ACS omega*, vol. 7, no. 38, pp. 34647–34656, 2022.
- [4] N. N. M. Phuong, T. T. Le, M. Q. Dang, J. Van Camp, and K. Raes, “Selection of Extraction Conditions of Phenolic Compounds from Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) Peel,” *Food Bioprod. Process.*, vol. 122, pp. 222–229, 2020.
- [5] N. P. Nirmal *et al.*, “Valorization of Fruit Waste for Bioactive Compounds and Their Applications in the Food Industry,” *Foods*, vol. 12, no. 3, p. 556, 2023.
- [6] S. Maqsood *et al.*, “Valorization of Plant-Based Agro-Industrial Waste and by-Product for The Production of Polysaccharide: Towards a More Circular Economy,” *Appl. Food Res.*, p. 100954, 2025.
- [7] N. R. Putra *et al.*, “Advancements and Challenges in Green Extraction Techniques for Indonesian Natural Products: A Review,” *South African J. Chem. Eng.*, vol. 46, no. 1, pp. 88–98, 2023.
- [8] N. W. Muyumba, S. C. Mutombo, H. Sheridan, A. Nachtergaele, and P. Duez, “Quality Control of Herbal Drugs and Preparations: The Methods of Analysis, Their Relevance and Applications,” *Talanta Open*, vol. 4, p. 100070, 2021.
- [9] K. Godlewska, P. Pacyga, A. Szumny, A. Szymczycha-Madeja, M. Węlna, and I. Michalak, “Methods for Rapid Screening of Biologically Active Compounds Present in Plant-Based Extracts,” *Molecules*, vol. 27, no. 20, p. 7094, 2022.
- [10] J. M. Fernandes *et al.*, “Flavonoids as Markers in Herbal Medicine Quality Control: Current Trends and Analytical Perspective,” *Separations*, vol. 12, no. 11, p. 289, 2025.
- [11] T. Zheng *et al.*, “Proposal of a New Chemical Marker for The Quality Control of The Herb *Scleromitron diffusum*,” *Front. Chem.*, vol. 13, p. 1600769, 2025.
- [12] S. Thummajitsakul, S. Samaikam, S. Tacha, and K. Silprasit, “Study on FTIR Spectroscopy, Total Phenolic Content, Antioxidant Activity and Anti-Amylase Activity of Extracts and Different tea forms of *Garcinia schomburgkiana* Leaves,” *Lwt*, vol. 134, p. 110005, 2020.
- [13] A. R. Abubakar and M. Haque, “Preparation of Medicinal Plants: Basic Extraction and Fractionation Procedures for Experimental Purposes,” *J. Pharm. Bioallied Sci.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–10, 2020.

- [14] B. Ndezo Bisso, R. Njikang Epie Nkwelle, R. Tchuenguem Tchuenteu, and J. P. Dzoyem, "Phytochemical Screening, Antioxidant, and Antimicrobial Activities of Seven Underinvestigated Medicinal Plants Against Microbial Pathogens," *Adv. Pharmacol. Pharm. Sci.*, vol. 2022, no. 1, p. 1998808, 2022.
- [15] N. N. Azwanida, "A Review on The Extraction Methods Use in Medicinal Plants, Principle, Strength and Limitation," *Med aromat plants*, vol. 4, no. 196, pp. 412–2167, 2015.
- [16] C. Bitwell, S. Sen Indra, C. Luke, and M. K. Kakoma, "A Review of Modern and Conventional Extraction Techniques and Their Applications for Extracting Phytochemicals from Plants," *Sci. African*, vol. 19, p. e01585, 2023.
- [17] C. Hernández-Hernández *et al.*, "Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.): Nutritional and Functional Properties," *Trends food Sci. Technol.*, vol. 85, pp. 201–210, 2019.
- [18] W. M. Kedir, A. K. Geletu, G. S. Weldegirum, and M. F. Sima, "Antioxidant Activity of Selected Plants Extract for Palm Oil Stability via Accelerated and Deep Frying Study," *Heliyon*, vol. 9, no. 7, 2023.
- [19] E. K. Kumatia, F. Ofosu-Koranteng, A. A. Appiah, and K. B. Barimah, "Standardization and Quality Control of the Herbal Medicine Mist Nibima, Employed to Treat Malaria and COVID-19, Using Physicochemical and Organoleptic Parameters and Quantification of Chemical Markers via UHPLC-MS/MS," *Int. J. Anal. Chem.*, vol. 2021, no. 1, p. 6390481, 2021.
- [20] D. Gherdaoui *et al.*, "Kinetic Modeling, Comparative Investigations, and a New Approach to Quantifying the Global Extraction Yield of Algerian Pomegranate Peel Phenolic Compounds," *AppliedChem*, vol. 5, no. 2, p. 11, 2025.
- [21] M. Angelina *et al.*, "Physicochemical and Phytochemical Standardization, and Antibacterial Evaluation of Cassia alata Leaves from Different Locations in Indonesia," *Pharmacia*, vol. 68, pp. 947–956, 2021.
- [22] M. Naseer and M. Adil, "Phytochemical Profiling, HPLC Analysis, and Antimicrobial Potential of *Curio radicans* (L. f.) PV Heath," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, p. 34753, 2025.
- [23] M. O. Faruq, A. Rahim, M. Arifuzzaman, and G. P. Ghosh, "Phytochemicals Screening, Nutritional Assessment and Antioxidant Activities of *A. viridis* L. and *A. spinosus* L. Leaves: A Comparative Study," *J. Agric. Food Res.*, vol. 18, p. 101341, 2024.
- [24] M. Alemu *et al.*, "Antibacterial Activity and Phytochemical Screening of Traditional Medicinal Plants Most Preferred for Treating Infectious Iiseases in Habru District, North Wollo Zone, Amhara Region, Ethiopia," *PLoS One*, vol. 19, no. 3, p. e0300060, 2024.
- [25] M. Zych and A. Pyka-Pająk, "TLC in the Analysis of Plant Material," *Processes*, vol. 13, no. 11, p. 3497, 2025.
- [26] A. Raal *et al.*, "Dragendorff's Reagent: Historical Perspectives and Current Status of a Versatile Reagent Introduced Over 150 Years Ago at The University of Dorpat, Tartu, Estonia," *Die Pharm. Int. J. Pharm. Sci.*, vol. 75, no. 7, pp. 299–306, 2020.
- [27] J. Silver, "Let us Teach Proper Thin Layer Chromatography Technique!," *J. Chem. Educ.*, vol. 97, no. 12, pp. 4217–4219, 2020.
- [28] C. Socaciu *et al.*, "Attenuated Total Reflectance-Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) Coupled with Chemometrics, to Control The Botanical Authenticity and Quality of ColdPpressed Functional Oils Commercialized in Romania," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 23, p. 8695, 2020.
- [29] S. Banik, S. K. Melanthota, A. A. Vannathan, K. K. Mahato, S. S. Mal, and N. Mazumder, "Spectroscopic Methods for Assessment of Hand Sanitizers," *Chem. Pap.*, vol. 76, no. 8, pp. 4907–4918, 2022.
- [30] P. Semeraro *et al.*, "A Simple Strategy Based on ATR-FTIR Difference Spectroscopy to Monitor Substrate Intake and Metabolite Release by Growing Bacteria," *Spectrochim. Acta Part A Mol. Biomol. Spectrosc.*, vol. 302, p. 123031, 2023.
- [31] Q. Wen *et al.*, "Combination ATR-FTIR with Multiple Classification Algorithms for Authentication of the Four Medicinal Plants from *Curcuma* L. in Rhizomes and Tuberous Roots," *Sensors*, vol. 25, no. 1, p. 50, 2024.
- [32] A. J. Seukep *et al.*, "Potential of Methanol Extracts of *Nephelium lappaceum* (Sapindaceae) and

- Hyphaene thebaica (Arecaceae) as Adjuvants to Enhance The Efficacy of Antibiotics Against Critical Class Priority Bacteria,” *PLoS One*, vol. 20, no. 2, p. e0314958, 2025.
- [33] J.-E. Lee *et al.*, “The Influence of Solvent Choice on The Extraction of Bioactive Compounds from Asteraceae: A Comparative Review,” *Foods*, vol. 13, no. 19, p. 3151, 2024.
- [34] P. Bhattacharjee, S. Das, S. K. Das, and S. Chander, “Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.): A Potential Fruit for Industrial Use, Serving Nutraceutical and Livelihood Interests and Enhancing Climate resilience,” *South African J. Bot.*, vol. 150, pp. 26–33, 2022.
- [35] C. Sun, Z. Wu, Z. Wang, and H. Zhang, “Effect of Ethanol/Water Solvents on Phenolic Profiles and Antioxidant Properties of Beijing Propolis Extracts,” *Evidence-Based Complement. Altern. Med.*, vol. 2015, no. 1, p. 595393, 2015.
- [36] A. I. Dirar, D. H. M. Alsaadi, M. Wada, M. A. Mohamed, T. Watanabe, and H. P. Devkota, “Effects of Extraction Solvents on Total Phenolic and Flavonoid Contents and Biological Activities of Extracts from Sudanese Medicinal Plants,” *South African J. Bot.*, vol. 120, pp. 261–267, 2019.
- [37] E. Nortjie, M. Basitere, D. Moyo, and P. Nyamukamba, “Extraction Methods, Quantitative and Qualitative Phytochemical Screening of Medicinal Plants for Antimicrobial Textiles: A Review,” *Plants*, vol. 11, no. 15, p. 2011, 2022.
- [38] K. Florkowska, B. H. Roman, D. Maciejewska-Markiewicz, and K. Cybulska, “Extraction-Dependent Antioxidant Activity of Red Horse Chestnut (*Aesculus× carnea*, Family Sapindaceae) Plant Parts,” *Molecules*, vol. 30, no. 23, p. 4550, 2025.
- [39] S. Rai, E. Acharya-Siwakoti, A. Kafle, H. P. Devkota, and A. Bhattarai, “Plant-Derived Saponins: a Review of Their Surfactant Properties and Applications,” *Sci*, vol. 3, no. 4, p. 44, 2021.
- [40] T. B. Schreiner, M. M. Dias, M. F. Barreiro, and S. P. Pinho, “Saponins as Natural Emulsifiers for Nanoemulsions,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 70, no. 22, pp. 6573–6590, 2022.
- [41] X. Zheng and G. Gallot, “Dynamics of Cell Membrane Permeabilization by Saponins Using Terahertz attenuated Total Reflection,” *Biophys. J.*, vol. 119, no. 4, pp. 749–755, 2020.
- [42] I. D. Wilson and C. F. Poole, “Planar Chromatography—Current Practice and Future Prospects,” *J. Chromatogr. B*, vol. 1214, p. 123553, 2023.
- [43] H. Xu *et al.*, “High-Throughput Discovery of Chemical Structure-Polarity Relationships Combining Automation and Machine-Learning Techniques,” *Chem*, vol. 8, no. 12, pp. 3202–3214, 2022.
- [44] J. Garg, G. Ghoshal, S. K. Bhadada, and O. P. Katare, “Derivatisation Mechanistic-Guided Identification of Phytoconstituents of Different Extracts of *Cissus quadrangularis* by TLC and Standardization by HPTLC,” *Phytomedicine Plus*, vol. 4, no. 3, p. 100601, 2024.
- [45] A. Krakowska-Sieprawska, A. Kielbasa, K. Rafińska, M. Ligor, and B. Buszewski, “Modern Methods of Pre-treatment of Plant Material for The Extraction of Bioactive Compounds,” *Molecules*, vol. 27, no. 3, p. 730, 2022.
- [46] O. Mykhailenko, L. Ivanauskas, I. Bezruk, L. Sidorenko, R. Lesyk, and V. Georgiyants, “Characterization of Phytochemical Components of *Crocus sativus* Leaves: a New Attractive by-Product,” *Sci. Pharm.*, vol. 89, no. 2, p. 28, 2021.
- [47] D. M. El-Kersh *et al.*, “Anti-Estrogenic and Anti-Aromatase Activities of Citrus Peels Major Compounds in Breast Cancer,” *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, p. 7121, 2021.
- [48] S. Agatonovic-Kustrin, V. Gegechkori, D. S. Petrovich, K. T. Ilinichna, and D. W. Morton, “HPTLC and FTIR Fingerprinting of Olive Leaves Extracts and ATR-FTIR Characterisation of Major Flavonoids and Polyphenolics,” *Molecules*, vol. 26, no. 22, p. 6892, 2021.
- [49] V. Darina, V. Gegechkori, D. W. Morton, and S. Agatonovic-Kustrin, “The Impact of Spontaneous Fermentation on Phenolic and Antioxidant Profiles of Selected Aromatic Plant Extracts,” *JPC–Journal Planar Chromatogr. TLC*, pp. 1–9, 2025.
- [50] H. Jantapaso and P. Mittraparp-Arthorn, “Phytochemical Composition and Bioactivities of Aqueous Extract of Rambutan (*Nephelium lappaceum* L. cv. Rong Rian) Peel,” *Antioxidants*, vol. 11, no. 5, p. 956, 2022.
- [51] A. B. A. Khair, N. A. A. Razak, A. H. Buniamin, A. N. Shuid, F. A. Nordin, and D. Shahbuddin,

- “Phytochemical Screening and Antimicrobial Activities of Leaf Extracts of Five *Nephelium lappaceum* cultivars from Malaysia,” *Pak. J. Bot*, vol. 56, no. 6, pp. 2305–2313, 2024.
- [52] B. Kaboré *et al.*, “High-Performance Thin-Layer Chromatography Phytochemical Profiling, Antioxidant Activities, and Acute Toxicity of Leaves Extracts of *Lannea velutina* A. Rich,” *Rich. J. Med. Chem. Sci*, vol. 6, pp. 410–423, 2023.
- [53] A. M. El-Feky and A. A. El-Rashedy, “Sterols and Flavonoids in Strawberry Calyx with Free Radical Scavenging, Anti-Inflammatory, and Molecular Dynamic Study,” *Beni-Suef Univ. J. Basic Appl. Sci.*, vol. 12, no. 1, p. 108, 2023.
- [54] P. Wongsu, P. Phatikulrungsun, and S. Prathumthong, “FT-IR Characteristics, Phenolic Profiles and Inhibitory Potential Against Digestive Enzymes of 25 Herbal Infusions,” *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, p. 6631, 2022.
- [55] Y. Li, Y. Shen, C. Yao, and D. Guo, “Quality Assessment of Herbal Medicines Based on Chemical Fingerprints Combined with Chemometrics Approach: A Review,” *J. Pharm. Biomed. Anal.*, vol. 185, p. 113215, 2020.
- [56] E. Noviana, G. Indrayanto, and A. Rohman, “Advances in Fingerprint Analysis for Standardization and Quality Control of Herbal Medicines,” *Front. Pharmacol.*, vol. 13, p. 853023, 2022.
- [57] S. Chigurupati *et al.*, “Identification of *Nephelium lappaceum* Leaves Phenolic and Flavonoid Component with Radical Scavenging, Antidiabetic and Antibacterial Potential,” *Indian J. Tradit. Knowl.*, vol. 18, no. 2, 2019.