

**TINJAUAN TAKSONOMI, FILOGENETIK, DAN METABOLIT  
SEKUNDER JAMUR GENUS *TERMITOMYCES***

***A Review of Taxonomy, Phylogeny, and Secondary Metabolites of  
the Fungal Genus Termitomyces***

**Hisreidi Funome<sup>1</sup>, Ewinda Isensi Feni<sup>1</sup>**

Program studi Biologi, Universitas San Pedro, Kupang, NTT<sup>1</sup>,  
[hisreidifunome@gmail.com](mailto:hisreidifunome@gmail.com)<sup>1</sup>

**Abstrak**

Genus *Termitomyces* merupakan kelompok jamur Basidiomycota yang dikenal memiliki hubungan simbiotik obligat dengan rayap dan berperan penting secara ekologis, pangan, serta berpotensi sebagai sumber senyawa bioaktif. Artikel ini bertujuan untuk meninjau secara komprehensif perkembangan kajian taksonomi, filogenetik, dan metabolit sekunder pada genus *Termitomyces* berdasarkan literatur ilmiah dalam rentang waktu 2019–2024. Metode yang digunakan adalah tinjauan literatur terhadap artikel penelitian dan artikel ulasan yang relevan dari jurnal nasional dan internasional. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa identifikasi *Termitomyces* telah berkembang dari pendekatan morfologi menuju integrasi data molekuler berbasis marker genetik, yang memberikan kejelasan hubungan filogenetik dan delimitasi spesies. Selain itu, berbagai spesies *Termitomyces* dilaporkan menghasilkan metabolit sekunder seperti senyawa fenolik, flavonoid, terpenoid, polisakarida, dan senyawa volatil dengan aktivitas biologis, terutama antioksidan dan antimikroba. Keterkaitan antara taksonomi dan profil metabolit sekunder menunjukkan bahwa keakuratan identifikasi spesies menjadi dasar penting dalam eksplorasi senyawa bioaktif. Tinjauan ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagi penelitian lanjutan terkait biodiversitas, bioprospeksi, dan pemanfaatan *Termitomyces* secara berkelanjutan.

**Kata Kunci:** *Termitomyces; Taksonomi; Filogenetik; Metabolit Sekunder; Bioaktivitas*

**Abstract**

*The genus Termitomyces comprises basidiomycetous fungi that form an obligate symbiotic association with termites and play important ecological, nutritional, and biotechnological roles. This article aims to comprehensively review recent advances in taxonomy, phylogeny, and secondary metabolites of the genus Termitomyces based on scientific literature published between 2019 and 2024. A*

*literature review method was employed by analyzing relevant research and review articles from national and international journals. The review reveals that Termitomyces identification has shifted from morphology-based approaches toward the integration of molecular data using genetic markers, improving species delimitation and phylogenetic resolution. In addition, several Termitomyces species have been reported to produce diverse secondary metabolites, including phenolic compounds, flavonoids, terpenoids, polysaccharides, and volatile compounds, exhibiting notable biological activities such as antioxidant and antimicrobial properties. The relationship between taxonomy and secondary metabolite profiles highlights the importance of accurate species identification for effective bioactive compound exploration. This review is expected to provide a scientific basis for future studies on biodiversity, bioprospecting, and sustainable utilization of Termitomyces.*

**Keywords:** *Termitomyces; Taxonomy; Phylogeny; Secondary Metabolites; Bioactivity*

## **PENDAHULUAN**

Indonesia memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi, termasuk jamur yang berperan penting sebagai pengurai utama ekosistem hutan (Khosy'in, 2021). Jamur merupakan kelompok organisme eukariotik yang memiliki peran fundamental dalam berbagai sistem ekologi dan proses biologis. Jamur digolongkan menjadi dua bagian yaitu jamur mikroskopis dan jamur makroskopis. Kedua golongan ini dibedakan dengan ukuran tubuhnya (Norfajrina et al., 2021). Sebagai komponen utama dalam Kingdom Fungi, jamur berfungsi sebagai dekomposer yang berperan penting dalam siklus biogeokimia, khususnya dalam dekomposisi bahan organik kompleks seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Aktivitas tersebut berkontribusi terhadap ketersediaan unsur hara di dalam ekosistem dan menjaga keseimbangan dinamika lingkungan (Tharu et al., 2022). Habitat jamur meliputi tanah, serasah daun, ranting pohon lapuk, kayu lapuk, pohon hidup, serta kondisi lingkungan seperti suhu, pH, dan kelembapan sangat mempengaruhi tumbuh dan berkembangnya jamur (Anggin, 2021; Khosi'in, 2021; Manalu et al., 2018). Jamur memiliki manfaat kesehatan, nilai gizi, dan sifat bioaktif yang bermanfaat sebagai bahan pangan maupun obat (Gebreyohannes & Sbhatu, 2023; Paloi et al., 2023; Sitati et al., 2021; Sulistiany & Sari, 2022).

Dalam kajian biologi dan mikologi modern, jamur dikaji tidak hanya dari aspek ekologis dan morfologis tetapi juga taksonomi dan senyawa metabolit sekunder yang dimilikinya (Paloi et al., 2023). Struktur taksonomi jamur yang kompleks, yang mencakup ratusan spesies dalam satu genus, sering membutuhkan pendekatan morfologi dan molekuler untuk menentukan identitas dan hubungan kekerabatan antarspesies (Azeem et al., 2020). Genus *Termitomyces* misalnya, mencakup sekitar ratusan spesies saprofit yang tersebar luas di habitat hutan (Rava et al., 2019; Tang et al., 2023).

Jamur genus *Termitomyces* merupakan kelompok basidiomycetes yang unik dan ekologis penting karena hubungan simbiotiknya dengan rayap penggerek kayu (*Macrotermitinae*) (Anggin, 2021; Augustinus & Putra, 2021; Jawab, n.d.). Simbiosis ini memungkinkan rayap untuk mendekomposisi materi lignoselulosa melalui bantuan enzim yang dihasilkan oleh jamur, sehingga memegang peran penting dalam daur ulang bahan organik di ekosistem tropis dan subtropis. Selain interaksi ekologisnya (Faturrahman et al., 2024), *Termitomyces* juga dikenal sebagai sumber pangan yang bernilai gizi tinggi dan memiliki potensi nutraceutical serta bioaktif yang kuat, termasuk aktivitas antioksidan dan antimikroba (Sulistiany & Sari, 2022; Tharu et al., 2022).

Secara taksonomi, *Termitomyces* termasuk dalam famili Lyophyllaceae (ordo *Agaricales*), dan identifikasi spesiesnya telah berkembang dari pendekatan morfologi tradisional menuju aplikasi molekuler seperti *internal transcribed spacer* (ITS) dan data genetik lainnya yang memberikan pemahaman yang lebih akurat terhadap batas-batas spesies dalam genus ini (Rava et al., 2019). Pendekatan molekuler dianggap perlu karena variasi morfologi yang sering kali tumpang tindih antar spesies, sehingga menyebabkan tantangan dalam penentuan taksonomi yang tepat (Tang et al., 2023).

Dalam dekade terakhir, penelitian tentang *Termitomyces* tidak hanya berfokus pada aspek taksonomi dan filogenetiknya tetapi juga pada metabolit sekunder yang dihasilkan (B. et al., 2022). Senyawa-senyawa ini, termasuk polisakarida bioaktif seperti  $\beta$ -glukan, terpenoid, dan fenolik, telah dilaporkan menunjukkan aktivitas biologis penting seperti antioksidan, antimikroba, dan modulasi sistem imun. Sebagai contoh, polisakarida yang diisolasi dari beberapa spesies *Termitomyces* menunjukkan struktur kimia yang beragam dan potensi bioaktif yang relevan dengan aplikasi nutraceutical dan farmasi (Rava et al., 2019; Sitati et al., 2021; Tharu et al., 2022).

Namun demikian, meskipun peningkatan publikasi tentang genus ini dalam 10 tahun terakhir, masih terdapat kebutuhan untuk sintesis ilmiah yang komprehensif mengenai bagaimana pendekatan taksonomi yang akurat dapat memandu pemahaman terhadap profil metabolit sekunder yang beragam. Peninjauan ini dilakukan untuk merangkum temuan terbaru terkait taksonomi *Termitomyces*, profil metabolit sekunder yang dilaporkan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis potensi keanekaragaman jamur genus *Termitomyces* melalui studi literatur. Urgensi dari penelitian ini adalah dibutuhkan informasi rangkum terkait keanekaragaman jamur genus *termitomyces* untuk memperkaya proses pembelajaran materi peranan fungi.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini merupakan tinjauan literatur (literature review) yang disusun secara sistematis untuk mengkaji perkembangan penelitian terkait taksonomi dan

metabolit sekunder jamur genus *Termitomyces*. Tinjauan ini bertujuan untuk mengintegrasikan hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan guna memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai aspek taksonomi, filogenetik, serta potensi metabolit sekunder yang dihasilkan oleh genus tersebut. Studi literature ini melewati beberapa tahap yaitu yang pertama pengumpulan data dan penelusuran literatur dilakukan pada beberapa basis data ilmiah nasional dan internasional, meliputi Google Scholar, PubMed, Scopus, dan ScienceDirect. Kata kunci yang digunakan dalam proses pencarian antara lain: *Termitomyces*, *taxonomy*, *phylogeny*, *secondary metabolites*, *bioactive compounds*, serta kombinasi kata kunci tersebut dalam bahasa Inggris dan bahasa Indonesia. Pencarian literatur dibatasi pada publikasi yang diterbitkan dalam rentang 10 tahun terakhir untuk memastikan kebaruan dan relevansi data yang dikaji. Tahap selanjutnya yaitu proses seleksi literatur dilakukan secara bertahap, dimulai dengan penyaringan judul dan abstrak untuk menilai kesesuaian dengan tujuan tinjauan. Artikel yang dinilai relevan kemudian ditelaah secara menyeluruh pada bagian metodologi, hasil, dan pembahasan. Literatur yang memenuhi seluruh kriteria inklusi selanjutnya diklasifikasikan berdasarkan fokus kajian, yaitu taksonomi, pendekatan molekuler dan filogenetik, serta jenis dan aktivitas metabolit sekunder.

Data yang diperoleh dari literatur terpilih dianalisis secara deskriptif dan komparatif. Analisis dilakukan dengan mengelompokkan informasi berdasarkan tema utama, kemudian disintesis untuk mengidentifikasi pola, kesamaan, perbedaan, serta perkembangan penelitian yang telah dilakukan. Hasil sintesis digunakan untuk mengkaji keterkaitan antara keakuratan taksonomi dengan variasi metabolit sekunder pada genus *Termitomyces*, serta untuk mengidentifikasi kesenjangan pengetahuan dan peluang penelitian di masa mendatang.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **1. Karakteristik Umum dan Keanekaragaman Genus *Termitomyces***

Genus *Termitomyces* merupakan kelompok jamur basidiomikota yang hidup dalam hubungan simbiotik mutualistik dengan rayap penggerek kayu dari subfamili Macrotermitinae (Shaleh et al., 2021). Hubungan ini bersifat obligat, di mana rayap menyediakan substrat tumbuh berupa fungal comb (kebun jamur) yang merupakan hasil pengolahan material lignoselulosa, sedangkan jamur *Termitomyces* membantu dalam proses dekomposisi dan menyediakan nutrisi bagi koloni rayap (Hussain et al., 2024).

Secara taksonomi, *Termitomyces* tergolong dalam famili Lyophyllaceae (ordo Agaricales, Divisi Basidiomycota), sebuah kelompok jamur yang dikenal dengan beragam strategi ekologis termasuk saprofit dan simbiotik (Hussain et al., 2024). Morfologi tubuh buah *Termitomyces* bervariasi cukup luas; umumnya mereka menghasilkan badan buah yang menyerupai jamur berkaki ("agaricoid"),

dengan pileus (topi) yang kadang besar, lamellae bebas atau terpisah, dan stipe yang sering memanjang seperti akar (pseudorrhiza) yang biasanya tertanam dalam comb rayap. Keunikan struktur ini mencerminkan adaptasi ekologis terhadap lingkungan simbiotik tersebut (Paloi et al., 2023).

Keanekaragaman spesies dalam genus ini terus bertambah dalam dekade terakhir. Kajian morfologi dan molekuler telah mengungkapkan sejumlah spesies baru dalam berbagai wilayah Asia tropis, termasuk Thailand, Pakistan, dan Oman, menunjukkan bahwa *Termitomyces* memiliki variasi yang lebih tinggi dari yang sebelumnya diperkirakan (Hussain et al., 2024; Paloi et al., 2023). Sebagai contoh, survei terbaru di India yang dilakukan oleh Pooja et al mengidentifikasi lima spesies berbeda tergolong baru atau belum pernah dilaporkan sebelumnya, berdasarkan karakter morfologi dan analisis genetik (Pooja et al., 2024). Penemuan-penemuan spesies baru pada genus *Termitomyces* dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Hasil Penemuan spesies baru Genus *Termytomyces*

No	Spesies	Lokasi Temuan	Ciri Morfologi Utama	Metode Identifikasi	Sumber
1.	<i>Termitomyces assamicus</i>	Kerala, India	Pileus coklat-oranye-abu-abu; lamellae putih-abu dengan tepi bergerigi; stipe panjang 50–100 mm	Morfologi + ITS-rDNA sequencing	Das et al., (2023)
2.	<i>Termitomyces srilankensis</i>	Kerala dan Sri Lanka	Ciri morfologi khas spesies Asia Selatan; ukuran pileus & spora spesifik	Morfologi + karakter mikroskopik	(Ediriweera et al., 2023)
3.	<i>T. microcarpus</i>	Kerala, India	Pileus kecil, sering berkelompok; stipe tanpa pseudorrhiza mencolok	Morfologi & Gen (ITS)	Pooja et al., (2024)
4.	<i>T. srilankensis</i>	Kerala, India	Variasi ukuran pileus & spora; berbeda dari <i>T. microcarpus</i>	Morfologi & Analisis molekuler (ITS)	Pooja et al., (2024)
5.	<i>T. fuliginosus</i>	Kerala, India	Pileus gelap; struktur basidiospore berbeda antar spesimen	Morfologi + Genetik	Pooja et al., (2024)
6.	<i>T. heimii</i>	Kerala, India	Tubuh buah sering besar, pseudorrhiza panjang	Morfologi & ITS	Pooja et al., (2024)
7.	<i>T. eurhizus</i>	Kerala, India	Ukuran pileus besar, stipe panjang, basidiospore khas	Morfologi & ITS	Pooja et al., (2024)

Distribusi geografis *Termitomyces* meliputi kawasan Afrika, Asia Selatan, Asia Tenggara, dan wilayah lain di zona tropis serta subtropics. Studi filogenetik menunjukkan bahwa ada pemisahan klad antara spesies Afrika dan Asia, menunjukkan sejarah evolusi yang panjang dan kompleks yang mungkin

melibatkan migrasi lintas benua sejak jutaan tahun lalu (Aryal, 2024; Cahyanti et al., 2024; Ediriweera et al., 2023; Hussain et al., 2024; Ndifon, 2021; Nurhakiki & Putra, 2024; Sathiya Seelan et al., 2020; Tang et al., 2023; Tharu et al., 2022; Usman & Khalid, 2020; van de Peppel & Aanen, 2020).

Keanekaragaman ekologis *Termitomyces* juga dipengaruhi oleh spesies inang rayap, di mana beberapa jamur menunjukkan hubungan yang relatif tidak khusus terhadap satu genus rayap tertentu. Artinya, satu spesies *Termitomyces* dapat berasosiasi dengan beberapa spesies rayap berbeda, menunjukkan pola simbiosis yang fleksibel dalam konteks ekologisnya (van de Peppel & Aanen, 2020).

Secara keseluruhan, karakteristik *Termitomyces* mencerminkan suatu genus jamur yang sangat adaptif dan beragam, baik secara morfologi maupun genetika, dengan distribusi yang luas di ekosistem tropis sebagai hasil dari evolusi panjang simbiosis mutualistik dengan rayap. Perkembangan studi molekuler telah sangat membantu dalam merekonstruksi hubungan filogenetik antar spesies, sehingga memperbaiki pemahaman taksonomi dan variasi keanekaragaman dalam genus ini.

## 2. Perkembangan Taksonomi dan Filogenik Genus *Termitomyces*

Taksonomi genus *Termitomyces* telah mengalami perkembangan yang signifikan seiring dengan kemajuan metode molekuler. Dalam pendekatan taksonomi klasik, identifikasi spesies dilakukan terutama berdasarkan karakter morfologi tubuh buah seperti bentuk pileus, struktur lamela, dan ukuran basidiospora. Namun, karakter morfologi ini seringkali tidak cukup spesifik dan rentan terhadap variasi lingkungan, sehingga menimbulkan kesulitan penentuan batas spesies yang akurat jika hanya bergantung pada ciri makroskopik. Karena itu, integrasi metode molekuler telah menjadi pendekatan yang dominan dalam studi taksonomi modern *Termitomyces* (Hussain et al., 2024; Paloi et al., 2023).

Analisis filogenetik *Termitomyces* umumnya menggunakan urutan gen penanda DNA seperti internal transcribed spacer (ITS1-5.8S-ITS2), large subunit ribosomal DNA (nrLSU), dan small subunit mitochondrial DNA (mtSSU) sebagai dasar untuk merekonstruksi hubungan evolusi antar spesies (Das et al., 2023; Pooja et al., 2024). Kombinasi data multigene ini memberikan resolusi yang lebih baik dibandingkan penggunaan satu marker tunggal saja. Dalam penelitian terbaru, analisis multigene ini tidak hanya memperkuat kesatuan monofiletik dari genus *Termitomyces* di bawah keluarga Lyophyllaceae, tetapi juga mengidentifikasi adanya klad yang jelas yang dapat direkomendasikan sebagai dasar untuk pembagian infragenerik dalam genus tersebut. Hasil kajian tersebut menunjukkan adanya dua klad besar yang berbeda secara filogenetik, yang diperkirakan telah terpisah sejak sekitar 18 juta tahun lalu, sebagai bagian dari sejarah evolusi genus *Termitomyces* (Hussain et al., 2024).

Selain itu, perkembangan taksonomi juga telah melahirkan deskripsi spesies-spesies baru yang sebelumnya tidak dikenal. Misalnya, penelitian dari Asia Tenggara mengungkap enam spesies baru *Termitomyces* yang diidentifikasi melalui gabungan karakter morfologi dan analisis filogenetik multigene (ITS, nrLSU, mtSSU), termasuk *T. griseobulbus*, *T. griseobrunneus*, dan *T. salmonicolor* yang berdiri sebagai taksa baru berdasarkan bukti molekuler jelas. Pendekatan ini membuktikan bahwa analisis filogenetik lebih sensitif dalam mengungkap keragaman taksonomik yang tersembunyi dibandingkan hanya observasi morfologi biasa (Paloi et al., 2023). Lebih lanjut, hasil-hasil penelitian filogenetik tidak hanya membantu dalam pengenalan spesies baru tetapi juga dalam merevisi status taksonomi spesies yang telah ada. Contohnya, adanya bukti yang mendukung bahwa beberapa entitas morfologis yang awalnya diklasifikasikan sebagai spesies berbeda ternyata tergabung dalam satu kelompok filogenetik yang sama, dan sebaliknya, beberapa spesies yang tampak serupa dapat dipisahkan menjadi unit filogenetik terpisah berdasarkan urutan DNA. Temuan semacam ini menunjukkan bahwa delimitasi taksonomi *Termitomyces* harus didukung oleh analisis genetik untuk mencapai akurasi yang tinggi, terutama dalam kelompok yang memiliki variasi morfologi yang tinggi. **Tabel 2** menunjukkan marker genetik yang digunakan untuk mengkaji specimen genus *Termitomyces*.

Tabel 2. Marker genetik yang digunakan dalam studi filogenetik *Termitomyces*

Studi / Tahun	Spesies yang Dikaji	Marker Genetik yang Digunakan	Metode Analisis
Ye et al., (2019)	<i>Termitomyces</i> spp. dari China	ITS (Internal Transcribed Spacer)	Filogenetik multigene (ITS) untuk klarifikasi taksonomi di Xishuangbanna
Sathiya Seelan et al., (2020)	<i>Termitomyces gilvus</i> (Malaysia)	nrLSU (nuclear large subunit), mtSSU (mitochondrial small subunit)	Filogenetik concatenated nrLSU + mtSSU; analisis Maximum Likelihood & Bayesian
Tang et al., (2023)	<i>T. tigrinus</i> , <i>T. yunnanensis</i> (China)	ITS, nrLSU, mrSSU	Filogenetik multigene kombinasi (ITS + nrLSU + mrSSU)
Das et al., (2023)	<i>Termitomyces assamicus</i> (India)	ITS	Filogenetik ITS untuk penentuan status spesies baru
Paloi et al., (2023)	<i>T. griseobulbus</i> , <i>T. griseobrunneus</i> , <i>T. planiperforatorius</i> , etc. (Thailand)	nrITS (nuclear ITS), nrLSU (28S), mtSSU	Analisis filogenetik multigene (nrITS + nrLSU + mtSSU)

Secara keseluruhan, tren dalam taksonomi dan filogenetik *Termitomyces* saat ini cenderung menggabungkan data morfologi klasik dengan data molekuler untuk mencapai sistematika yang lebih stabil dan dapat direproduksi. Pendekatan ini juga membuka peluang bagi penemuan spesies baru di berbagai wilayah tropis

serta memperluas pemahaman kita tentang sejarah evolusi genus ini dalam konteks biogeografi global (Hussain et al., 2024; Paloi et al., 2023).

### 3. Metabolit Sekunder pada Jamur Genus *Termitomyces*

Metabolit sekunder merupakan senyawa organik yang dihasilkan oleh organisme, termasuk jamur, yang tidak terlibat langsung dalam proses pertumbuhan atau reproduksi namun berperan penting dalam adaptasi ekologis, pertahanan terhadap stres lingkungan, dan interaksi dengan organisme lain (Dwivedi et al., 2019). Genus *Termitomyces* telah menarik perhatian karena tidak hanya dikenal sebagai jamur pangan, tetapi juga sebagai sumber senyawa bioaktif yang memiliki aktivitas antioksidan maupun potensi aplikasi farmasi dan nutrasetikal. Studi-studi terbaru telah mulai mengidentifikasi berbagai kelas metabolit sekunder pada tubuh buah dan ekstrak *Termitomyces*, termasuk fenolik, flavonoid, saponin, steroid, asam lemak, dan polisakarida aktif yang menunjukkan efek biologis penting (Cahyanti et al., 2024; Gede Narendra Pramana Putra M & Pande Made Nova Armita Sari, 2023; Khumlianlal et al., 2024; Kreuzenbeck et al., 2022, 2023; Sitati et al., 2021; Sulistiany et al., 2023; Sulistiany & Sari, 2022; Tingkat et al., 2024).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa ekstrak dari spesies *Termitomyces* seperti *T. albuminosus*, *T. eurhizus*, dan *T. robustus* mengandung beragam metabolit sekunder bioaktif, di antaranya alkaloid, sterol, flavonoid, saponin, tannin, dan asam lemak. Senyawa-senyawa ini diduga memberikan aktivitas antioksidan yang cukup tinggi, yang ditunjukkan melalui uji DPPH dan penentuan kandungan fenolik total (total phenolic content) serta flavonoid total. Ekstrak 50 % etanol dari ketiga spesies ini menunjukkan kadar fenolik dan flavonoid yang tinggi, yang berkorelasi dengan aktivitas antioksidan yang signifikan (Tharu et al., 2022).

Selain itu, kajian lain pada mikroekstrak jamur *Termitomyces* dari berbagai wilayah tropis menunjukkan bahwa senyawa fenolik dan flavonoid merupakan kelas metabolit sekunder dominan yang sering terdeteksi. Senyawa-senyawa ini tidak hanya berperan sebagai antioksidan, tetapi juga berpotensi sebagai agen antimikroba maupun imunomodulator yang relevan dalam aplikasi nutrasetikal. Hal ini sejalan dengan laporan bahwa *Termitomyces* memiliki peran etnobotani di komunitas tradisional sebagai sumber obat herbal yang digunakan untuk meningkatkan kesehatan dan menangkal penyakit metabolik (Paloi et al., 2023).

Penelitian dari Indonesia yang mengkaji kandungan kimia *Termitomyces* lokal juga menunjukkan komponen fenolik sebagai bagian metabolit sekunder utama yang berkontribusi pada aktivitas antioksidan jamur ini. Studi tentang *Termitomyces sp.* dari Kabupaten Kapuas Hulu menemukan adanya beberapa senyawa fenolik yang teridentifikasi melalui GC-MS, dengan dominasi etanol 2-(9,12-octadecadienyloxy) dan sejumlah komponen fenolik lainnya, yang

menunjukkan potensi jamur ini sebagai sumber antioksidan alami (Sulistiany et al., 2023; Sulistiany & Sari, 2022).

Secara umum, metabolit sekunder yang ditemukan dan dilaporkan pada genus *Termitomyces* dalam beberapa penelitian mencakup beberapa kelas berikut:

1. Senyawa Fenolik dan Flavonoid: Metabolit yang dikenal memiliki aktivitas antioksidan kuat, mampu mensekuestrasi radikal bebas dan mendukung mekanisme pertahanan sel terhadap stres oksidatif (Ara, 2020; Gebreyohannes et al., 2019; Sitati et al., 2021; Sulistiany et al., 2023; Sulistiany & Sari, 2022; Tharu et al., 2022).
2. Alkaloid, Saponin, Steroid, dan Asam Lemak: Senyawa-senyawa ini terdeteksi sebagai bagian dari profil kimia jamur yang berbeda, dimana kelompok steroid dan saponin memiliki potensi sebagai agen antimikroba atau modulasi fungsi sel (Ara, 2020; Gede Narendra Pramana Putra M & Pande Made Nova Armita Sari, 2023; Kreuzenbeck et al., 2022; Sitati et al., 2021; Sulistiany & Sari, 2022; Tharu et al., 2022) .
3. Polisakarida Bioaktif: Termasuk  $\beta$ -glukan yang memiliki potensi imunomodulator dan aktivitas kesehatan lainnya (walaupun studi primer spesifiknya masih perlu diperkuat melalui penelitian lanjutan) (Ara, 2020; Gebreyohannes et al., 2019; Khumlianlal et al., 2024; Kreuzenbeck et al., 2023; Sitati et al., 2021; Tharu et al., 2022).

Temuan-temuan di atas memperlihatkan bahwa metabolit sekunder genus *Termitomyces* tidak hanya penting dalam konteks ekologis tetapi juga memiliki potensi yang signifikan dalam konteks nutrasetikal dan farmasi. Namun, studi metabolit sekunder khususnya yang melakukan isolasi dan identifikasi struktur secara menyeluruh masih relatif terbatas, sehingga diperlukan studi lanjutan yang memfokuskan pada isolasi senyawa murni, penentuan struktur, dan uji aktivitas biologisnya. Berikut ini **Tabel 3**. Ringkasan Metabolit Sekunder pada Spesies *Termitomyces*.

Tabel 3. Ringkasan Metabolit Sekunder Pada Spesies *Termitomyces*

Spesies/ Studi	Metode Ekstraksi	Jenis Metabolit Sekunder yang Teridentifikasi	Aktivitas Biologis	Referensi
<i>Termitomyces sp.</i> (Kapuas Hulu, Indonesia)	Ekstraksi metanol, oven drying lalu maserasi	Senyawa fenolik (phenolic compounds), etanol 2-(9,12-octadecadienyloxy)	Antioksidan (DPPH radical scavenging)	(Sulistiany et al., 2023)
<i>Termitomyces sp.</i> (Kapuas Hulu, Indonesia)	Ekstraksi dengan metanol, etil asetat, n-heksan	Kandungan fenolik total tertinggi pada ekstrak metanol	Aktivitas antioksidan (IC <sub>50</sub> rendah)	(Sulistiany & Sari, 2022)
<i>Termitomyces striatus</i> (Kenya)	Ekstraksi dengan air, metanol, diklorometana	Alkaloid, flavonoid, steroid, sterol, saponin, phenol	Antibakteri terhadap <i>E. coli</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>S. aureus</i> ; Antijamur terhadap <i>C. albicans</i>	(Sitati et al., 2021)
<i>Termitomyces albuminosus</i>	Fermentasi + isolasi metabolit	Seskuiterpenoid (teucdiol C-F, epi-	Anti-acetylcholinesterase	(Liu et al., 2022)

(fermentasi)		guaidiol A)	(farmakologis)	
<i>Termitomyces</i> spp. (Beragam)	Fermentasi dikombinasikan dengan optimasi medium	Polisakarida bioaktif ( $\beta$ -glukan & heteropolisakarida)	Aktivitas antioksidan, imunomodulator, hipolipidemik, hepatoprotektif (larutan review)	(Activity, 2019)
<i>Termitomyces clypeatus</i>	Ekstraksi Beragam metode	Sphinganine, Burseran, Melleolida	Antiviral, anti Toksin	(Khumlianlal et al., 2024)
<i>Termitomyces</i> spp. (review global)	ekstraksi terlaporkan (metanol, etanol, air)	Fenolik, flavonoid, polisakarida, alkaloid, steroid	Antioksidan dan berbagai aktivitas bioaktif lainnya	(Paloi et al., 2023)

#### 4. Keterkaitan Taksonomi Dengan Profil Metabolit Sekunder

Keterkaitan antara taksonomi dan profil metabolit sekunder pada genus *Termitomyces* menjadi aspek penting dalam memahami variasi bioaktif dan adaptasi ekologis jamur ini. Dalam sistematika jamur, taksonomi tidak hanya mencakup identifikasi dan klasifikasi spesies berdasarkan karakter morfologi dan molekuler, tetapi juga dapat dikaitkan dengan potensi produksi metabolit sekunder tertentu yang bersifat spesies-spesifik atau kelompok klad tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa penyusunan taksonomi yang akurat dapat memberikan dasar bagi eksplorasi metabolit sekunder yang terprediksi pada spesies tertentu (*predictive metabolite profiling*), serta membantu dalam strategi bioprospeksi yang lebih efisien.

Penelitian filogenetik menggunakan pendekatan genomik telah menemukan bahwa profil biosynthetic gene clusters (BGCs) yang terkait dengan produksi metabolit sekunder pada *Termitomyces* bersifat konservatif pada beberapa garis keturunan taksonomi, namun juga mempunyai variasi tingkat gen individu di dalam genus. Melalui *comparative genomic and metabolomic analysis*, dapat dilihat bahwa beberapa gen yang mengkode enzim biosintesis terpenoid (seperti *mono/ sesquiterpene cyclases*) hadir di klad-klad tertentu yang berkaitan dengan produksi senyawa volatil seperti camphene dan d-limonene. Hal ini menunjukkan bahwa variasi taksonomi pada tingkat spesies juga dapat mencerminkan variabilitas dalam potensi biosintesis metabolit sekunder tertentu, yang memiliki peran ekologis maupun sinyal biokimiawi di lingkungan simbiotik antara jamur dan rayap (B. et al., 2022).

Selain itu, hasil kajian genomik yang mengintegrasikan data filogenetik dan metabolomik menunjukkan bahwa profil biosintetik metabolit khusus (*specialised metabolites*) mencakup sejumlah besar kelompok metabolit (terpenes, polyketides, nonribosomal peptides, dan lainnya) yang berbeda antar spesies *Termitomyces*. Studi komparatif tersebut memperlihatkan adanya konsistensi biosintesis pada kelompok metabolit tertentu yang berkorelasi dengan garis keturunan taksonomi jamur, serta menunjukkan bagaimana sejarah evolusi gen biosintesis telah dipengaruhi oleh ribuan tahun koevolusi dengan inang rayap dalam konteks ekologis mutualistic (Schmidt et al., 2024).

Dalam studi-studi kimia dan bioaktivitas yang dilakukan pada *Termitomyces* secara langsung, perbedaan dalam profil metabolit sekunder antar spesies sering dikaitkan dengan identifikasi genetik yang jelas dari masing-masing spesies. Misalnya, spesies yang berbeda memperlihatkan variasi kandungan fenolik, flavonoid, serta senyawa volatil tertentu, yang dapat dikaitkan dengan perbedaan sifat genetik dan jalur

biosintesis spesifik. Hal ini selaras dengan konsep bahwa karakter taksonomi molekuler (contoh: ITS, nrLSU) dan profil biosintetik metabolit merupakan dua dimensi yang saling melengkapi dalam menyusun gambaran biologis keseluruhan tentang suatu spesies jamur (B. et al., 2022).

Kajian taksonomi tradisional yang hanya mengandalkan morfologi sering kali gagal menangkap variasi genetik halus yang mampu memengaruhi jalur biosintesis metabolit sekunder. Oleh karena itu, penggunaan data molekuler dalam taksonomi tidak hanya memperbaiki identifikasi spesies tetapi juga membuka peluang untuk mengaitkan hasil klasifikasi taksonomi dengan potensi biosintesis metabolit sekunder tertentu yang bernilai bioaktif. Pendekatan ini penting untuk diarahkan pada penelitian lanjutan di Indonesia, mengingat potensi *Termitomyces* lokal yang belum banyak dipetakan secara genomik, sementara kajian kimia awal menunjukkan keberagaman metabolit fenolik dan aktivitas antioksidan yang signifikan pada ekstrak yang diisolasi dari spesies lokal (Sulistiany et al., 2023).

Dengan demikian, keterkaitan antara taksonomi dan profil metabolit sekunder pada *Termitomyces* menegaskan bahwa identifikasi taksonomik yang akurat merupakan dasar bagi pemahaman pola produksi metabolit yang spesies-spesifik dan berpotensi bermanfaat, baik dari sisi ekologis maupun aplikatif dalam bidang farmasi dan nutraseutikal.

## **SIMPULAN**

Tinjauan literatur ini menunjukkan bahwa genus *Termitomyces* memiliki keragaman taksonomi yang tinggi dan kompleksitas filogenetik yang erat kaitannya dengan simbiosis obligat bersama rayap, sehingga menuntut pendekatan identifikasi yang mengombinasikan karakter morfologi dan marker molekuler. Perkembangan studi filogenetik dalam satu dekade terakhir telah meningkatkan kejelasan delimitasi spesies dan hubungan kekerabatan antar taksa dalam genus ini. Di sisi lain, berbagai spesies *Termitomyces* terbukti menghasilkan metabolit sekunder dengan potensi aktivitas biologis yang beragam, seperti antioksidan, antimikroba, dan sitotoksik, yang menjadikannya sumber hayati penting bagi pengembangan farmasi dan bioteknologi. Keterkaitan antara keakuratan taksonomi dan variasi profil metabolit sekunder menegaskan bahwa identifikasi spesies yang tepat merupakan dasar penting dalam eksplorasi senyawa bioaktif. Oleh karena itu, integrasi pendekatan taksonomi modern dan kajian metabolit sekunder diperlukan untuk mendukung pemanfaatan *Termitomyces* secara berkelanjutan serta membuka peluang penelitian lanjutan di bidang biodiversitas, bioprospeksi, dan konservasi.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Activity, A. (2019). *New Sesquiterpenoids from the Fermented Broth of*. 2–10.
- Anggin, R. D. (2021). *PENGETAHUAN*. 6.
- Ara, I. (2020). Comparative Antioxidative and Antidiabetic Activities of Ficus Carica Pulp, Peel and Leaf and their Correlation with Phytochemical Contents. *Open Access Journal of Pharmaceutical Research*, 4(2).

<https://doi.org/10.23880/oajpr-16000197>

- Aryal, H. P. (2024). Termite mushrooms (Termitomyces) in Nepal: Exploring its distribution and diversity across ecological gradients. *Nepal Journal of Botany*, 1–15. <https://doi.org/10.3126/njob.v1i1.66510>
- Augustinus, F., & Putra, I. P. (2021). Termitomyces di kawasan urban kecamatan Gunungpati, Kota Semarang, Jawa Tengah. *Bul. Plasma Nutfah*, 27(2), 101–112. [https://www.researchgate.net/profile/Ivan-Putra/publication/355954199\\_Termitomyces\\_di\\_Kawasan\\_Urban\\_Kecamatan\\_Gunungpati\\_Kota\\_Semarang\\_Jawa\\_Tengah/links/6185e91f07be5f31b74c0f12/Termitomyces-di-Kawasan-Urban-Kecamatan-Gunungpati-Kota-Semarang-Jawa-Tengah](https://www.researchgate.net/profile/Ivan-Putra/publication/355954199_Termitomyces_di_Kawasan_Urban_Kecamatan_Gunungpati_Kota_Semarang_Jawa_Tengah/links/6185e91f07be5f31b74c0f12/Termitomyces-di-Kawasan-Urban-Kecamatan-Gunungpati-Kota-Semarang-Jawa-Tengah).
- Azeem, U., Hakeem, K. R., & Ali, M. (2020). *Taxonomy BT - Fungi for Human Health: Current Knowledge and Future Perspectives* (U. Azeem, K. R. Hakeem, & M. Ali (eds.); pp. 5–11). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58756-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58756-7_2)
- B., K. N., Elena, S., W., S. J., Janis, F., H., C. B., Suzanne, S., Almuth, H., G., K. T., Michael, P., Dirk, H., & Christine, B. (2022). Comparative Genomic and Metabolomic Analysis of Termitomyces Species Provides Insights into the Terpenome of the Fungal Cultivar and the Characteristic Odor of the Fungus Garden of Macrotermes natalensis Termites. *MSystems*, 7(1), e01214-21. <https://doi.org/10.1128/msystems.01214-21>
- Cahyanti, F. A., Eskundari, R. D., & Purwanto, A. (2024). Wild Edible Plants as an Alternative Food Source for The Community of Pakis Baru Village, Nawangan, Pacitan. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(2), 352–367. <https://doi.org/10.29303/jbt.v24i2.6779>
- Das, L. R., Chattopadhyay, P., Dutta, A. K., Narzary, D., & Rana, T. S. (2023). Termitomyces assamicus (Lyophyllaceae)—A new species of Termitomyces from India. *Phytotaxa*, 599(2 SE-Article), 126–136. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.599.2.4>
- Dwivedi, G. R., Sisodia, B. S., & Shikha. (2019). Secondary metabolites: Metabolomics for secondary metabolites. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Microbial Secondary Metabolites Biochemistry and Applications*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63504-4.00022-0>
- Ediriweera, A., Pietro, V., Karunarathna, S., & Dilshan, C. (2023). *Termitomyces srilankensis* sp. nov. (Lyophyllaceae, Agaricales), a new species from Sri Lanka. *MycolObs - Mycological Observations*, 6(February), 47–56.
- Faturrahman, M. A., Asyrofi, H., Sandra, K. M., Wahyuni, D., Ningsih, K., & Afandi, A. (2024). Basidiomycota Mushroom Diversity in West Kalimantan, Indonesia: A Literature Review and Their Potential as a Senior High School Biology Learning Resource. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(1b), 390–404. <https://doi.org/10.29303/jbt.v24i1b.8048>

- Gebreyohannes, G., Nyerere, A., Bii, C., & Sbhatu, D. B. (2019). Investigation of Antioxidant and Antimicrobial Activities of Different Extracts of Auricularia and Termitomyces Species of Mushrooms. *Scientific World Journal*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/7357048>
- Gebreyohannes, G., & Sbhatu, D. B. (2023). Wild Mushrooms: A Hidden Treasure of Novel Bioactive Compounds. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/6694961>
- Gede Narendra Pramana Putra M, & Pande Made Nova Armita Sari. (2023). Potensi Nutraceutical Sebagai Solusi Pencegahan Stunting. *Prosiding Workshop Dan Seminar Nasional Farmasi*, 2, 604–619. <https://doi.org/10.24843/wsnf.2022.v02.p48>
- Hussain, S., Al-Kharousi, M., Al-Owaisi, A. A., Al-Maqbali, D., Al-Muharabi, M. A., Al-Shabibi, Z., Al-Balushi, A. H., Saady, N. Al, Velazhahan, R., Rashan, L., Al-Sadi, A. M., & Al-Yahya'ei, M. N. (2024). The genus Termitomyces: outline, phylogeny, and divergence times estimation with description of a new edible species from Arabian Peninsula. *Sydowia*, 76(May), 187–200. <https://doi.org/10.12905/0380.sydowia76-2024-0187>
- Jawab, P. (n.d.). *BioS-*.
- Khosi'in. (2021). Buku Ajar Mata Kuliah Keanekaragaman Makhluk Hidup (Kingdom Fungi) Berbasis Kearifan Lokal di Taman Nasional Bukit Barisan Selatan Bengkulu. In *Elsi Pro*.
- Khumlianlal, J., Rajkumari, J., Keshry, S. S., Jena, S., Chattopadhyay, S., Mukherjee, P. K., & Sarangthem, I. (2024). Analysis of nutritional value, antiviral potential and in vivo toxicological evaluation of Termitomyces clypeatus R. Hiem mycelial extract, a wild edible mushroom. *Food Bioscience*, 61, 104817. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104817>
- Kreuzenbeck, N. B., Dhiman, S., Roman, D., Burkhardt, I., Conlon, B. H., Fricke, J., Guo, H., Blume, J., Görls, H., Poulsen, M., Dickschat, J. S., Köllner, T. G., Arndt, H. D., & Beemelmans, C. (2023). Isolation, (bio)synthetic studies and evaluation of antimicrobial properties of drimenol-type sesquiterpenes of Termitomyces fungi. *Communications Chemistry*, 6(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s42004-023-00871-z>
- Kreuzenbeck, N. B., Seibel, E., Schwitalla, J. W., Fricke, J., Conlon, B. H., Schmidt, S., Hammerbacher, A., Köllner, T. G., Poulsen, M., Hoffmeister, D., & Beemelmans, C. (2022). Comparative Genomic and Metabolomic Analysis of Termitomyces Species Provides Insights into the Terpenome of the Fungal Cultivar and the Characteristic Odor of the Fungus Garden of Macrotermes natalensis Termites. *MSystems*, 7(1). <https://doi.org/10.1128/mSystems.01214-21>
- Liu, J., Wang, Y., Wu, J., Georgiev, M. I., Xu, B., Wong, K.-H., Bai, W., & Tian, L. (2022). Isolation, Structural Properties, and Bioactivities of Polysaccharides from Mushrooms Termitomyces: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(1), 21–33. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c06443>

- Manalu, K., Tambunan, E. P. S., & Ilmi, Z. (2018). Habitat Jamur Makroskopis Di Taman Hutan Raya Bukit Barisan Kabupaten Karo. *SITek: Jurnal Sains, Informatika, Dan Teknologi*, 1(1), 1–6.
- Ndifon, E. M. (2021). *Species Diversity and Distribution of Useful Mushrooms (Basidiomycotina, Ascomycotina) in Africa: an Effort To Advance Conservation Awareness*. 24(2), 125–134.
- Norfajrina, Istiamah, & Indriyani, S. (2021). Jenis-Jenis Jamur (Fungi) Di Desa Bandar Kecamatan Tamban Catur. *Al Kawnu: Science and Local Wisdom Journal*, 1(1), 17–33. <https://doi.org/10.18592/alkawnu.v1i1.5156>
- Nurhakiki, N., & Putra, I. P. (2024). MORPHOLOGICAL IDENTIFICATION OF WILD EDIBLE MUSHROOM (*Termitomyces striatus*) AT IPB UNIVERSITY CAMPUS FOREST. *BIOTIK: Jurnal Ilmiah Biologi Teknologi Dan Kependidikan*, 12(1), 1. <https://doi.org/10.22373/biotik.v12i1.18170>
- Paloi, S., Kumla, J., Paloi, B. P., Srinuanpan, S., Hoijang, S., Karunarathna, S. C., Acharya, K., Suwannarach, N., & Lumyong, S. (2023). Termite Mushrooms (*Termitomyces*), a Potential Source of Nutrients and Bioactive Compounds Exhibiting Human Health Benefits: A Review. *Journal of Fungi*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/jof9010112>
- Pooja, A. S., C. F, G. M., C. R, R., Vijayaraghavan, R., & K., S. J. (2024). Diversity and Distribution of *Termitomyces* spp. in Central and Northern Kerala, India. *International Journal of Plant & Soil Science*, 36(12), 507–518. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i125225>
- Rava, M., Ali, R., & Das, S. (2019). Taxonomic and Phylogenetic study of *Termitomyces entolomoides* in western Assam. *International Journal of Scientific Research in Biological Sciences*, 6(1), 84–88. <https://doi.org/10.26438/ijrbs/v6i1.8488>
- Sathiya Seelan, J. S., Shu Yee, C., She Fui, F., Dawood, M., Tan, Y. S., Kim, M. J., Park, M. S., & Lim, Y. W. (2020). New Species of *Termitomyces* (Lyophyllaceae, Basidiomycota) from Sabah (Northern Borneo), Malaysia. *Mycobiology*, 48(2), 95–103. <https://doi.org/10.1080/12298093.2020.1738743>
- Schmidt, S., Murphy, R., Vizueta, J., Schierbeck, S. K., Conlon, B. H., Kreuzenbeck, N. B., Vreeburg, S. M. E., van de Peppel, L. J. J., Aanen, D. K., Silué, K. S., Kone, N. A., Beemelmans, C., Weber, T., & Poulsen, M. (2024). Comparative genomics unravels a rich set of biosynthetic gene clusters with distinct evolutionary trajectories across fungal species (*Termitomyces*) farmed by termites. *Communications Biology*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s42003-024-06887-y>
- Shaleh, I., Jannual, N., Hasin, S., Kaewgrajang, T., Raffiudin, R., & Nipitwattanaphon, M. (2021). Identification of fungus-growing termites and mutualistic *Termitomyces* from two provinces in Thailand. *International Journal of Tropical Insect Science*, 41(2), 1555–1566. <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00355-w>

- Sitati, C. N. W., Ogila, K. O., Waihenya, R. W., & Ochola, L. A. (2021). Phytochemical Profile and Antimicrobial Activities of Edible Mushroom *Termitomyces striatus*. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/3025848>
- Sulistiany, H., Trisianawati, E., & Suhartati, S. (2023). Kandungan Mineral dan Senyawa Fenolik pada Kulat Basi (*Termitomyces* sp.) Asal Kabupaten Kapuas Hulu. *JURNAL Al-AZHAR INDONESIA SERI SAINS DAN TEKNOLOGI*, 8(1), 9. <https://doi.org/10.36722/sst.v8i1.1352>
- Sulistiany, H., & Sari, M. (2022). Kandungan Nutrisi, Aktivitas Antioksidan, dan Kadar Fenolik Total Tubuh Buah Kulat Basi (*Termitomyces* sp.) Asal Kabupaten Kapuas Hulu. *Al-Kauniah: Jurnal Biologi*, 15(2), 199–208. <https://doi.org/10.15408/kauniah.v15i2.18230>
- Tang, S. M., Vadthananat, S., He, J., Raghoonundon, B., Yu, F. M., Karunarathna, S. C., Li, S. H., & Raspe, O. (2023). Morphological and molecular analyses reveal two new species of *Termitomyces* (Agaricales, Lyophyllaceae) and morphological variability of *T. intermedius*. *MycKeys*, 95, 61–82. <https://doi.org/10.3897/mycokeys.95.97156>
- Tharu, A. K., Paudel, M. R., Joshi, A. P., Bhandari, L., & Aryal, H. P. (2022). Screening of Secondary Metabolites and Antioxidant Activity of Wild Edible Termite Mushroom. *Pharmacognosy Journal*, 14(2), 301–307. <https://doi.org/10.5530/pj.2022.14.38>
- Tingkat, P., Di, P., Kairatu, K., Barat, S. B., Komul, Y. D., Sahupala, A., & Siahaya, T. E. (2024). *Dominansi Kekayaan Dan Kemerataan Jenis Vegetasi H. 12*, 12–21.
- Usman, M., & Khalid, A. N. (2020). *Termitomyces acriumbonatus* sp. nov. (Lyophyllaceae, Agaricales) from Pakistan. *Phytotaxa*, 477(2), 217–228. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.477.2.6>
- van de Peppel, L. J. J., & Aanen, D. K. (2020). High diversity and low host-specificity of *Termitomyces* symbionts cultivated by *Microtermes* spp. indicate frequent symbiont exchange. *Fungal Ecology*, 45, 100917. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2020.100917>
- Ye, L., Karunarathna, S. C., Li, H., Xu, J., Hyde, K. D., & Mortimer, P. E. (2019). A Survey of *Termitomyces* (Lyophyllaceae, Agaricales), Including a New Species, from a Subtropical Forest in Xishuangbanna, China. *Mycobiology*, 47(4), 391–400. <https://doi.org/10.1080/12298093.2019.1682449>