

PIDATO PENGUKUHAN GURU BESAR

**POTENSI DAN PERANAN MAKROFUNGI
DALAM PROSES DAN PENYEDIA BERBAGAI
JASA EKOSISTEM HUTAN**



Disampaikan Dalam Sidang Senat Terbuka
Universitas Tadulako

O L E H

Prof. Dr. Sc. Agr. Ir. Y U S R A N., SP.,MP

UNIVERSITAS TADULAKO
KAMIS, 16 NOVEMBER 2023



UNIVERSITAS TADULAKO



Prof. Dr.Sc.Agr. Ir. Yusran, S.P.,M.P

**Guru Besar Bidang Ilmu Mikrobiologi Dan Penyakit Hutan
Pada Fakultas Kehutanan Universitas Tadulako**

Bismillahirrahmanirrahim,
Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh, Selamat Pagi.
Salam Sejahtera Bagi Kita Semua, Om Swastyastu, Namobuddhaya, Salam Kebajikan

Yang terhormat,

Bapak Gubernur Provinsi Sulawesi Tengah/ Selaku Ketua Dewan Penyantun Universitas
Tadulako
Bapak Rektor Universitas Tadulako
Para Wakil Rektor di Lingkungan Universitas Tadulako
Ketua dan Anggota Dewan Pertimbangan Universitas Tadulako
Ketua Senat, Sekretaris Senat, dan Para Anggota Senat Universitas Tadulako.
Ketua dan Anggota Dewan Guru Besar Universitas Tadulako
Para Dekan, Direktur Pascasarjana dan Wakil Dekan di Lingkungan Universitas Tadulako,
Ketua Satuan Pengawas Internal Universitas Tadulako
Ketua-Ketua Lembaga di Lingkungan Universitas Tadulako
Para Kepala Biro di Lingkungan Universitas Tadulako
Segenap Unsur Pimpinan Daerah di Propinsi Sulawesi Tengah
Para Dosen, Mahasiswa dan Seluruh Keluarga Besar Universitas Tadulako
Segenap Tamu Undangan, Wartawan, Sanak Keluarga, Handai Taulan dan Hadirin yang
berbahagia.

Pada momentum yang sangat berharga ini, perkenankanlah saya dengan hati yang penuh ikhlas memanjatkan puji syukur kepada Allah Yang Maha Agung, karena kemurahan, kasih dan bimbingan-Nya, sehingga saya diperkenankan untuk sampai pada tingkat pencapaian ini, dan berdiri di mimbar ini dalam Sidang Senat Terbuka Universitas Tadulako saat ini, di hadapan hadirin yang mulia, untuk menyampaikan pidato pengukuhan saya sebagai Guru Besar di bidang Mikrobiologi dan Penyakit Hutan pada Fakultas Kehutanan Universitas Tadulako. Selanjutnya dengan hati yang tulus, perkenankanlah saya untuk menyampaikan rasa hormat dan penghargaan setinggi-tingginya dan terima kasih sedalam-dalamnya kepada segenap hadirin yang telah berkenan untuk hadir dan mengikuti acara pengukuhan ini. Pidato pengukuhan saya dengan judul **“Potensi Dan Peranan Makrofungi Dalam Proses Dan Penyedia Berbagai Jasa Ekosistem Hutan”**.

Hadirin Yang Saya Hormati,

Pendahuluan

Kingdom fungi merupakan salah satu kelompok organisme yang memiliki tingkat keanekaragaman hayati yang tinggi di dunia, yang jumlahnya diperkirakan mencapai 1.5 juta jenis (Hawksworth., 2001). Prediksi konservatif ini didasarkan pada rasio inang–fungi (1:6), yang artinya satu tumbuhan vaskular berasosiasi dengan 6 jenis fungi yang spesifik pada tumbuhan inangnya. Fungi dikategorikan sebagai komunitas biotik terbesar kedua setelah serangga, dengan perkiraan jumlah jenis antara 2,8 - 3,8 juta (Chander., 2016;Hawksworth et al., 2017). Namun Blackwell (2011) memperkirakan jumlah total fungi yang jauh lebih besar yaitu antara 3,5 dan 5,1 juta jenis. Selanjutnya diperkirakan bahwa sekitar 200.000 jenis fungi terdapat di Indonesia, dan hingga sekarang belum ada data pasti mengenai jumlah jenis fungi yang telah

berhasil diidentifikasi (Roosheroe dkk., (2006). Dari jumlah tersebut masih banyak jenis-jenis fungi yang belum diketahui manfaatnya hingga saat ini, terutama pemanfaatannya sebagai sumber bahan pangan dan obat-obatan secara maksimal.

Salah satu contoh fungi yang berkembang baik dan kerap ditemui di dalam hutan adalah makrofungi. Makrofungi merupakan kelompok fungi dengan ukuran tubuh buah yang besar, dapat dilihat dengan mata dan mudah diamati strukturnya. Makrofungi adalah organisme heterotrofik yang termasuk dalam divisi Basidiomycota dan Ascomycota (Govorushko et al., 2019; Kinge et al., 2020). Saat ini, sekitar 14.000 jenis makrofungi yang telah teridentifikasi, dan lebih dari 2000 jenis merupakan jenis yang dapat dikonsumsi (Dupont et al., 2017; Li et al., 2021; Lu et al., 2020), beberapa memiliki nilai gastronomi yang tinggi (Kalac, 2013; Meenu dan Xu, 2019; Mortimer et al., 2021), dan yang lain berfungsi sebagai sumber makanan bagi manusia (Ache et al., 2021; Mortimer et al., 2021; Yusran et al., 2021; 2022b; Yusran et al., 2023) dan juga hewan di dalam hutan (Katarzyt'e dan Kutorga, 2011; Nuske et al., 2019; Ori et al., 2021). Makrofungi merupakan bagian integral dari hutan yang menyediakan beragam jasa ekosistem, termasuk manfaat aplikatif dan inovatif dalam bioteknologi, pangan, obat-obatan, dan ekologi (Hyde et al., 2019; Kinge et al., 2020; Niego et al., 2021; Yusran et al., 2022a,b,c).

Jasa ekosistem mengacu pada manfaat yang diperoleh manusia proses yang timbul dari proses ekosistem yang sehat (Fu et al., 2013). Melalui perannya dalam berbagai proses ekosistem, makrofungi berkontribusi mengatur dan meningkatkan fungsi ekosistem. Kontribusi makrofungi dalam proses ekosistem hutan dapat diklasifikasikan sebagai kontribusi langsung dan kontribusi tidak langsung. Kontribusi langsung makrofungi dalam proses ekosistem meliputi penyediaan sumber makanan, peningkatan penghidupan dan rekreasi yang memberikan kontribusi langsung terhadap kesejahteraan manusia, sedangkan kontribusi makrofungi dalam proses ekosistem yang memiliki efek tidak langsung terhadap manusia adalah berperan dalam siklus nutrisi hutan. Tanpa makrofungi, jasa yang diberikan oleh hutan akan berkurang, dimana produksi kayu atau penyimpanan karbon, pasti akan berkurang. Oleh karena itu, kontribusi tidak langsung tersebut seharusnya tidak boleh diabaikan dalam pembuatan kebijakan yang berhubungan dengan pengelolaan ekosistem hutan.

Hadirin Yang Saya Muliakan!

Ekologi dan Penyebaran makrofungi

Makrofungi memiliki peran penting dalam ekosistem baik sebagai dekomposer (saprofit), parasite pada tanaman, ectomycorrhiza yang bersimbiosis dengan akar tanaman tertentu, maupun sebagai makanan bagi organisme lain. Makrofungi memiliki peran yang sangat spesifik di dalam ekosistem hutan. Keanekaragaman, morfologi, komposisi serta proses pembentukan tubuh buah makrofungi (fruiting) di alam sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan. Menurut Lodge et al. (2004), beberapa faktor yang mempengaruhi kekayaan dan keanekaragaman jenis makrofungi di suatu ekosistem, adalah vegetasi, altitude, geografi, topografi, iklim serta substrat tempat tumbuhnya.

a. Vegetasi dan Altitude

Hutan merupakan habitat yang sangat penting bagi pertumbuhan makrofungi. Transformasi habitat dapat mengubah struktur dan keanekaragaman komunitas makrofungi secara drastis, yang berdampak pada penurunan fungsi ekosistem hutan (Gomez-Hernandez et al., 2021). Distribusi dan keanekaragaman makrofungi sangat dipengaruhi oleh vegetasi dan altitude. Studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa keterbukaan tajuk, struktur vegetasi, dan

kekayaan jenis pohon sangat mempengaruhi terjadinya kelompok fungsional makrofungi (Gómez-Hernández et al., 2012). Ukuran tanaman, kerapatan pohon, kekayaan tumbuhan bawah, dan kemerataannya juga dapat mempengaruhi komposisi makrofungi (Yu et al., 2023). Menurut Schmit et al. (2005) dan Lodge et al. (2004) bahwa keanekaragaman dan kerapatan tumbuhan yang tinggi di suatu lokasi akan menghasilkan keanekaragaman substrat yang lebih tinggi pula untuk makrofungi, yang pada gilirannya dapat menyebabkan keanekaragaman makrofungi yang lebih tinggi karena tumbuhan berperan sebagai habitat dan sumber energi untuk kebanyakan makrofungi. Fungi pembusuk kayu sangat kuat dipengaruhi oleh jenis pohon dan tingkat pembusukan kayu (Pouska et al., 2010). Selain itu, kekayaan jenis makrofungi juga secara signifikan terkait dengan pengelolaan hutan (Pouska et al., 2010; Blaser et al., 2013; Hofmeister et al., 2014; Müller et al., 2007). Selanjutnya Aqilah et al., (2020) menjelaskan bahwa perubahan komposisi jenis vegetasi seiring dengan meningkatnya level ketinggian tempat dari permukaan laut menyebabkan perubahan yang signifikan pada komposisi komunitas makrofungi, karena hal ini terkait erat dengan sifat vegetasi melalui inang yang spesifik dan produksi substrat organik yang berbeda. Hasil penelitian tentang pengaruh level ketinggian tempat (altitude) terhadap keanekaragaman jenis makrofungi telah dilakukan oleh Yusran et al., (2021), yang menemukan bahwa terjadi peningkatan jumlah jenis makrofungi seiring dengan meningkatnya ketinggian tempat dari permukaan laut di Taman Nasional Lore Lindu, Sulawesi Tengah, Indonesia.

b. Topografi dan Iklim

Topografi merupakan faktor abiotik yang juga mempengaruhi struktur komunitas makrofungi, misalnya kemiringan lereng yang sangat terkait dengan kemunculan makrofungi (Chen et al., 2018). Topografi berpengaruh dalam pembentukan iklim mikro, sehingga menciptakan perbedaan pada faktor kunci seperti suhu, kelembaban udara, dan cahaya, yang sangat mempengaruhi kemunculan makrofungi. Perubahan iklim berdampak besar pada produksi makrofungi di dalam hutan. Kelembaban rata-rata, curah hujan rata-rata, dan kecepatan angin rata-rata adalah faktor lingkungan yang paling signifikan mempengaruhi kemunculan dan distribusi makrofungi di alam. Penurunan frekuensi dan intensitas curah hujan mungkin memiliki efek buruk pada hutan serta makrofungi (Hu et al., 2022; Procházka et al., 2023).

Selanjutnya efek kecepatan angin pada makrofungi terintegrasi dan sangat beragam, dampak yang paling besar adalah perluasan dan jarak penyebaran spora, penyebaran jenis, struktur komunitas makrofungi serta kekayaan jenis makrofungi (Rieux et al., 2014). Kecepatan angin juga akan mempengaruhi kandungan oksigen di atmosfer. Kandungan oksigen yang tinggi akan mempengaruhi kandungan oksigen tanah (Neira et al., 2015), yang pada akhirnya meningkatkan respirasi hifa fungi, sehingga semakin banyak energi yang dilepaskan, yang gilirannya terjadi peningkatan pertumbuhan miselium (San Antonio et al., 1972). Kandungan oksigen juga akan mempengaruhi morfogenesis tubuh buah makrofungi. Selain itu, kandungan karbondioksida yang meningkat akan menghasilkan pembentukan makrofungi yang cacat, sehingga mempengaruhi pertumbuhan makrofungi misalnya, tinggi tubuh buah lebih rendah serta ukuran tubuha buah yang lebih kecil dari rata-rata. (Brown et al., 1992; Niederpruem., 1963).

Kecepatan angin juga akan mempengaruhi kelembaban tanah dan kelembaban udara (Davarzani et al., 2014). Dari perspektif positif, evaporasi dan transpirasi air akan meningkatkan kelembaban udara dan menurunkan suhu tanah dan udara, yang sangat bermanfaat bagi pembentukan tubuh buah makrofungi. Namun, jika air tanah menguap secara berlebihan, kelembaban tanah akan menurun sehingga akan menghambat perkecambahan spora fungi dan meningkatkan dormansinya di dalam tanah (Ayerst., 1969; Mikula et al., 2015).

Beberapa fungi pembusuk kayu bersifat mesofilik dan mampu tumbuh pada kisaran suhu antara 20-30°C (Schmidt 2006). Beberapa fungi kayu juga memiliki kemampuan mengkoloni kayu pada tingkat suhu sekitar 50°C (Eaton dan Hale 1993). Makrofungi membutuhkan tingkat kelembapan yang berbeda-beda, namun hampir semua jenis makrofungi dapat hidup pada substrat yang belum jenuh air. Ketersediaan air di lingkungan sekitar fungi sangat penting untuk menjaga kadar air dalam sel dan berperan dalam transportasi nutrisi. Ketersediaan air menyebabkan hifa fungi menyebar di permukaan substrat. Kelembapan yang baik untuk pertumbuhan fungi berkisar antara 70-90%.

c. Tanaman Inang

Kemunculan dan pertumbuhan makrofungi sangat erat kaitannya dengan faktor-faktor lingkungan. Salah satu contohnya adalah makrofungi ektomikoriza (EcMF) yang terkait erat dengan tanaman inangnya. Tuo et al. (2022) melaporkan jumlah fungi EcMF di Wunvfeng National Forest Park, China berkorelasi positif dengan kemunculan *Quercus mongolica*. Faktor penting lainnya adalah kelembapan udara. Trudell et al. (2004) mengkaraktisasi komunitas makrofungi epigeous di dua hutan konifer tua dengan tingkat kesamaan spesies pohon dominan yang tinggi dan perbedaan antara komunitas makrofungi terutama terkait dengan perbedaan kelembapan dalam ekosistem yang dipengaruhi oleh keanekaragaman jensi tanaman inang.

Hubungan inang-ektomikoriza telah dibuktikan pada pohon di hutan tanaman muda subtropis Tiongkok yang ditanami 16 jenis pohon. Weißbecker et al., (2019) melaporkan bahwa plot dengan keanekaragaman pohon yang lebih tinggi mendukung keanekaragaman spesies fungi yang lebih tinggi. Hasil penelitian Mardji, dkk (1999), melaporkan sekitar 60 jenis fungi ektomikoriza di temukan di hutan sekunder yang di dominasi oleh jenis pohon dari family Dipterocarpaceae di Bukit Soeharto, Kalimantan Timur. Lebih lanjut Noor (2010), melaporkan bahwa di daerah Labanan Berau dan Kecamatan Muara Wahau, Kalimantan Timur juga ditemukan 27 jenis fungi ektomikoriza yang bersimbiosis dengan beberapa jenis pohon terutama dari famili Dipterocarpaceae, Leguminosae, Annonaceae, Sapotaceae, Fagaceae, dan Myristicaceae.

d. Substrate tempat tumbuh

Karakteristik tanah seperti pH tanah (Kujawska et al., 2021), suhu tanah (Popovych et al., 2019), dan kandungan bahan organik (Wang et al., 2021; Mukhtar et al., 2021) juga dapat mempengaruhi kemunculan dari makrofungi. pH tanah bisa secara langsung mempengaruhi komposisi komunitas fungi tanah (Zhang et al., 2016) dan secara tidak langsung mempengaruhi komposisi komunitas fungi dengan mempengaruhi sifat-sifat tanah lainnya misalnya, ketersediaan unsur hara tanah (Yao et al., 2017; Canini et al., 2019). Selanjutnya strategi akuisisi nutrisi yang berbeda dari makrofungi serta perbedaan ketersediaan nutrisi utama didalam tanah menyebabkan komposisi komunitas makrofungi juga bervariasi (Schappe et al., 2020). Hasil penelitian oleh Jarvis et al. (2015) mengkonfirmasi bahwa komposisi komunitas fungi tanah sepanjang gradien ketinggian dipengaruhi oleh kelembapan tanah. Fungi tanah membentuk simbiosis dengan tanaman inang, dimana Tanaman akan menyediakan C untuk fungi simbiotik melalui fotosintat (misalnya sukrosa) dan, sebagai gantinya mendapat keuntungan dari nutrisi mineral yang disediakan oleh fungi tanah simbiotik (Plett et al., 2011).

Khusus makrofungi yang bersifat sebagai saprofit, level pH substrat sangat mempengaruhi pertumbuhan makrofungi secara tidak langsung, melalui ketersediaan nutrisi yang dibutuhkannya. pH substrat juga mempengaruhi produksi enzim pendegradasi makanan oleh

makrofungi sehingga dapat mempengaruhi pertumbuhannya. Umumnya makrofungi dapat tumbuh dan berkembang pada lingkungan bersifat masam. Makrofungi yang tumbuh pada serasah dilantai-lantai hutan biasanya hidup pada kisaran pH 4,9, dengan pH optimal 5,6. Meskipun ada beberapa jenis makrofungi yang tumbuh pada substrate dengan pH yang cukup rendah, yaitu 4,5 hingga 5,5 (Barnes., 1998).

Hadirin yang Berbahagia!

Tipe-tipe Makrofungi Dalam Ekosistem hutan

Terdapat beberapa tipe makrofungi dalam ekosistem hutan yaitu :

1.Fungi Ektomikoriza (Ectomycorrhizal fungi)

Fungi ectomycorrhizal (EcMF) merupakan satu-satunya fungi pembentuk mikoriza yang dianggap sebagai makrofungi (Policelli et al., 2020). EcMF terdiri >5000 spp, kebanyakan berasal dari kelompok Basidiomycota dan sedikit dari Ascomycota, dan membentuk hubungan mutualistik terutama dengan akar halus berbagai spesies tumbuhan berkayu baik dari gymnospermae maupun angiospermae (Geml,2017;Sharma,2017; Turjaman et al., 2019). Selanjutnya dilaporkan bahwa dari 1928 genera makrofungi Basidiomycota (He et al., 2019), sekitar 100 genera dianggap membentuk hubungan ektomikoriza dengan sekitar 2% tumbuhan berpembuluh (terutama famili Dipterocarpaceae, Fagaceae, Myrtaceae, dan Pinaceae) (Brundrett dan Tedersoo, 2018; Corrales et al., 2018; Li et al., 2021; Turjaman et al., 2019).

EcMF memiliki kapasitas untuk mengeksplorasi tanah lebih efektif dibandingkan akar pohon, mengangkut nutrisi ke tanaman inang dan tanaman inang menyediakan gula sebagai gantinya (Nehls et al., 2010). Dan terdapat hubungan antara miselia halus fungi dan akar tanaman yang merupakan tempat pertukaran nutrisi, dan fungsi ekosistem hutan diperkuat melalui peningkatan pertumbuhan tumbuhan inang (Bonfante dan Genre, 2010).

2. Makrofungi saprofit

Makrofungi saprotrofik adalah pengurai utama di dalam hutan, tumbuh pada berbagai substrat seperti serasah daun, batang-batang pohon yang mati, kulit kayu dan pohon yang berdiri, serta kotoran hewan (Suryanarayanan et al., 2004; Yusran et al., 2021; 2022a). Makrofungi saprotrofik mengeluarkan enzim untuk memecah bahan organik, kemudian melepaskan nutrisi mineral ke dalam tanah disekitarnya sehingga meningkatkan kesuburan tanah (Kubicek dan Druzhinina, 2007). Makrofungi pengurai kayu dan serasah berperan penting dalam mendegradasi lignoselulosa, bahan organik terestrial yang paling melimpah, dan sangat penting dalam memfasilitasi siklus C di alam (Vos et al., 2021). Kelompok-kelompok makrofungi ini mampu menghasilkan enzim lignoselulolitik untuk mengakses nutrisi organik yang tersimpan di dalam kayu mati serta bahan tanaman lainnya (Crowther et al., 2012b), terutama lignoselulosa. Lignoselulosa yang merupakan substrat kompleks, terutama terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin dan juga mengandung sedikit pektin, senyawa N, dan residu mineral (Andlar et al., 2018).

3.Makrofungi Patogen

Makrofungi patogen merupakan komponen penting dari ekosistem hutan yang sehat. Patogen memusnahkan tumbuhan yang tidak sehat (Burgess dan Wingfield, 2006) sehingga mempengaruhi keberadaan dan distribusi spesies tumbuhan di dalam hutan (Castello et al., 1995). Basidiomycetes yang bersifat patogen sangat invasif di areal perkebunan dan hutan tanaman sehingga mengakibatkan hilangnya banyak pohon. Sekitar 10% fungi pembusuk kayu kebanyakan menyerang kayu lunak dan dikenal sebagai fungi pembusuk coklat (Sigoillot et al.,

2012), yang merupakan kelompok fungi yang termasuk dalam kelompok Basidiomycota dan Ascomycota. Fungi ini mampu dengan cepat mendegradasi selulosa dan hemiselulosa (Arantes dan Goodell, 2014); namun, kelompok fungi ini melakukannya dengan tidak menghasilkan enzim pendegradasi lignin (Langer et al., 2021). Fungi ini melakukan dekomposisi dengan mendegradasi karbohidrat dan lignin secara ekstensif yang menghasilkan warna kecoklatan pada sisa kayu (Langer et al., 2021). Jamur pelapuk coklat lebih suka menyerang kayu jenis konifera dan merupakan organisme yang paling merusak dalam pembusukan produk kayu (Goodell et al., 2003). Sebaliknya, fungi pembusuk putih merupakan pengurai yang paling efektif di dalam hutan (Rodríguez-Couto, 2017). Fungi pembusuk putih melakukan mineralisasi lignoselulosa biomassa, termasuk selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Suryadi et al., 2022). Kelompok fungi ini mendegradasi lignin secara ekstensif menggunakan enzim hemeperoksidase dan lakase, yang mengakibatkan pemutihan pada warna kayu yang membusuk (Xie et al., 2021). Kelas fungi ini terbatas pada Agaricomycetes dalam Basidiomycota, dan sebagian besar didominasi oleh ordo Polyporales (Go et al., 2021; Riley et al., 2014; Yusran et al., 2021; 2022a).

4. Makrofungi predator/Parasit.

Beberapa makrofungi dapat menjebak sumber makanan seperti amuba, nematoda, dan rotifera, melalui serangkaian alat perangkap untuk menangkap, membunuh, dan mencerna mangsanya (Barron, 2003; Bava et al., 2022). *Hohenbuehelia* sp., contoh makrofungi pembusuk kayu pertama yang terdokumentasi tumbuh di nematoda yang diparasit (Barron dan Dierkes, 1977). Beberapa spesies *Pleurotus* menjadi karnivora untuk menambah asupan Nitrogennya (N) dalam kondisi media tumbuh yang terbatas nutrisinya (Lee et al., 2020). *Pleurotus ostreatus* dapat menyebabkan kelumpuhan yang cepat pada nematoda dengan mengeluarkan zat perekat di sekitar hifanya untuk menjebak dan menangkap nematoda (Lee et al., 2020). *Pleurotus eryngii* telah terbukti menjadi predator pada *Ancylostoma caninum* (Braga, 2015) dan *Panagrellus* sp. (Sufiate et al., 2017). *Coprinus comatus* memangsa *Panagrellus redivivus* dan *Meloidogyne arenaria*, nematoda yang menyerang tanaman (Luo et al., 2004).

Hadirin yang saya Hormati!

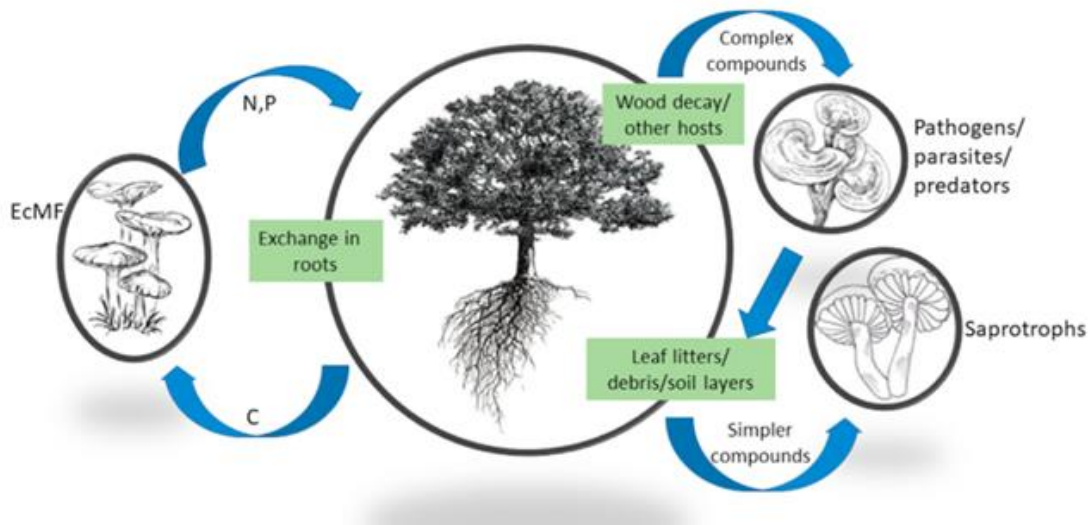
Peranan Makrofungi Dalam Proses Ekosistem hutan

Beberapa peranan makro fungi adalah :

1. Berperan Dalam Siklus Nutrisi di Dalam Hutan

Semua kehidupan bergantung pada kehadiran fungi untuk mendaur ulang bahan dasar yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan kelangsungan hidup (de Mattos-Shipley et al., 2016). Fungi, bersama dengan mikroba lainnya, memainkan peran penting dalam pengangkutan, penyimpanan, pelepasan, dan siklus C serta nutrisi penting seperti N dan P. (Rashid et al., 2016). Makrofungi baik yang berperan sebagai ektomikoriza, pengurai, patogen, dan predator semuanya berkontribusi terhadap siklus nutrisi di dalam ekosistem hutan (Gbr. 2). Ektomikoriza membantu dalam proses asimilasi dan pengangkutan nutrisi dari tanah ke tanaman inangnya, serta pergerakan C yang diasimilasi melalui proses fotosintesis dari tanaman inang ke dalam tanah (Lakhanpal, 2000). Selanjutnya fungi saprotrofik mendegradasi tanaman inang yang telah mati dan melepaskan nutrisi yang telah diasimilasikan kembali ke lingkungan, yang selanjutnya mendorong siklus nutrisi (Crowther et al., 2012a). Patogen dan predator pada akhirnya

berkontribusi terhadap kematian tumbuhan dan hewan dan pelepasan bahan organik kembali ke ekosistem, menyediakan substrat untuk menopang fungi saprotrofik (Boddy, 2016)



Gambar 2. Peranan makrofungi dalam siklus nutrisi di dalam hutan (Niego et al., 2023)

Fungi Ektomikoriza (EcMF) berkontribusi terhadap siklus nutrisi melalui dua cara: 1) melalui peningkatan laju fotosintesis pada tanaman inangnya, pergerakan dan penyimpanan C di bawah tanah; dan 2) melalui asimilasi dan pengangkutan unsur hara dari dalam tanah (Heinonsalo et al., 2015; Liu et al., 2020; Read dan Perez Moreno, 2003). Proses-proses ini sangat penting untuk mencapai tujuan fungsi ekosistem di dalam hutan mana pun. Hal ini paling menonjol terdapat di daerah garis lintang utara, seperti di hutan boreal, dimana pohon-pohon yang bersimbiosis dengan ektomikoriza merupakan jenis tanaman yang paling dominan (Qu et al., 2010). Peran EcMF dalam memperoleh N dan P organik dari bahan organik dan mentransfernya ke tanaman sangat penting dalam memahami tentang interaksi tanaman-fungi serta siklus dan penyerapan C dan N di ekosistem hutan (Zak et al., 2019)

Makrofungi saprotrofik adalah organisme heterotrofik yang berperan sebagai pengurai dan pendorong utama fungsi ekosistem. Makrofungi adalah agen utama pengurai serasah tumbuhan melalui jaringan hifa yang tumbuh sepanjang antar permukaan tanah-serasah yang dilalui unsur hara (Crowther et al., 2012). Meskipun sebagian besar spesies fungi saprotrofik diklasifikasikan sebagai mikrofungi, sejumlah spesies makrofungi terdapat di hutan bersifat sebagai saprofit, yang dapat ditemukan tumbuh pada batang kayu yang tumbang, bagian pohon yang mati atau pohon yang masih berdiri, dan sisa-sisa organisme lain yang mati (Ferraro et al., 2022; Ye et al., 2019). Makrofungi saprotrofik itu umumnya masuk kedalam Basidiomycota (He et al., 2019) dan Ascomycota (Salo et al., 2019). Krah et al.(2018) menyatakan bahwa spesies pohon inang juga merupakan faktor penting yang mempengaruhi keanekaragaman fungi pengurai kayu. Selama proses penguraian, terjadi suksesi komunitas fungi pengurai dalam substrat kayu (Hyde dan Jones, 2002), yang dikelompokkan menjadi tiga kategori: pengurai primer, sekunder, dan tersier, tergantung pada tahap dekomposisi kayu dimana mereka aktif (Hiscox et al., 2015).

Dan mengenai habitat fungi secara implisit terdapat dalam firman Allah SWT dalam surah Al Imran ayat 27. Pada ayat yang diterjemahkan Shihab (2007) tersebut menerangkan bahwa setelah kematian adanya kehidupan. Hal tersebut merupakan salah satu tanda-tanda kebesaran Allah SWT bagi orang-orang yang berakal. Sebagaimana fungi tumbuh pada pohon lapuk, jasad makhluk hidup yang telah mati dan juga pada kotoran hewan. Hal tersebut disebabkan karena fungi memiliki kemampuan untuk mengubah dan menyerap nutrisi yang terkandung dalam pohon tersebut.

Makrofungi yang berperan sebagai patogen dapat mempengaruhi pola kematian pohon di ekosistem hutan, sehingga mempengaruhi pertumbuhan pohon dan siklus nutrisi (Castello et al., 1995). Hilangnya jenis tumbuhan dalam ekosistem akan menyebabkan kesenjangan pada kanopi hutan, sehingga menciptakan peluang bagi jenis lain untuk berkembang, yang pada gilirannya dapat meningkatkan keanekaragaman jenis tumbuhan (Hennon, 1995), dan memberikan peluang bagi fungi pengurai untuk berkontribusi lebih lanjut terhadap pergantian nutrisi dalam ekosistem hutan. Makrofungi patogen umumnya berwarna sehingga ada yang dikenal sebagai fungi pembusuk coklat atau fungi pembusuk putih (Arantes dan Selamat, 2014; Nagy et al., 2012).

2. Berperan Dalam Penyimpanan Carbon (Carbon Stocking)

Makrofungi berperan sebagai organisme kunci dalam penyerapan Carbon dengan membantu tumbuhan inang mengasimilasi CO₂ atmosfer dan menyimpannya di dalam hutan, dalam bentuk material kayu atau seresah di lantai hutan dan di dalam tanah (Treseder dan Allen, 2000; Wang et al., 2016). Selanjutnya Clemmensen et al. (2013) menjelaskan bahwa EcMF berperan dalam mengangkut dan menyimpan Carbon di lapisan tanah yang lebih dalam, sehingga secara efektif menyimpan Carbon ke dalam sistem tanah. Fungi yang berasosiasi dengan akar tumbuhan merupakan pengatur penting dinamika Carbon dalam ekosistem. Fungi tidak hanya bersaing dengan mikroorganisme lain untuk mendapatkan nutrisi dan Carbon, tetapi juga menguraikan bahan organik, mengangkut Carbon ke lapisan tanah yang lebih dalam, dan mendorong pertumbuhan tanaman, sehingga meningkatkan laju rata-rata fotosintesis (Macia-Vicente dan Popa, 2022; Schneider-Maunoury et al., 2020).

3. Berperan Dalam Proses Pembentukan tanah

Pelapukan adalah proses dekomposisi kimia dan disintegrasi fisik bebatuan, dan memberikan kontribusi yang besar terhadap kesuburan tanah dan produktivitas ekosistem (Hack, 2020). Hasil dari proses ini merupakan sumber utama dari semua mineral yang diperlukan untuk pertumbuhan organisme didalam tanah (Banfield et al., 1999). Makrofungi terlibat dalam dinamika struktur tanah di hutan dengan memediasi pembentukan struktur tanah melalui mekanisme yang berbeda seperti sebagai muatan, perekat, dan keterikatan (Ritz dan Young, 2004). Fungi menghasilkan anion dan kation organik yang membantu memecah titik lemah pada substrat batuan padat (Gadd, 1999). Fungi juga menghasilkan senyawa hidrofobik yang mempengaruhi sifat infiltrasi air tanah (Ritz dan Young, 2004).

4. Teknologi Mycoremediasi

Mikoremediasi adalah bagian dari Bioremediasi yang memanfaatkan fungi dalam proses remediasi lingkungan yang tercemar. Bioremediasi merupakan suatu proses bioteknologi ramah lingkungan yang melibatkan pemanfaatan organisme hidup seperti bakteri, jamur, tumbuhan, atau kombinasi keduanya. Fungi telah berhasil digunakan dalam dekontaminasi dan

detoksifikasi lingkungan yang terkontaminasi, karena secara genetik, karakteristik metabolik dan struktural, fungi memungkinkan tumbuh dan berkembang di bawah kondisi lingkungan yang berbeda bahkan di lingkungan yang ekstrim (Chot & Reddy., 2022; García-Ortega et al., 2022).

Makrofungi mampu meremediasi berbagai jenis polutan lingkungan, melalui berbagai proses yang secara kolektif disebut sebagai mikoremediasi (Uddin et al., 2020; Yadav et al., 2021). Makrofungi memiliki kemampuan ekologi dan biokimia untuk mendegradasi kontaminan lingkungan yang rekalsistran (Arora, 2019) dan mengubahnya menjadi bentuk yang berguna (Uddin et al., 2020). Mikoremediasi bergantung pada enzim efisien yang dihasilkan oleh makrofungi untuk mendegradasi berbagai xenobiotik dan jenis polutan lainnya (Kulshreshtha et al., 2014). Enzim yang terlibat dalam degradasi kontaminan antara lain lignin peroksidase (LiP), versatile peroksidase, Mn-peroksidase, dan lakase (Pozdnyakova, 2012). Penemuan peroksidase lain seperti pewarna peroksidase juga membuka peluang untuk aplikasi industri lainnya (Sigoillot et al., 2012).

Proses dimana makrofungi meremediasi tanah yang terkontaminasi dapat diklasifikasikan dalam tiga kategori: bioakumulasi, biosorpsi, dan biokonversi (Yadav et al., 2021). Tingkat toksisitas kontaminan seperti logam berat pada makrofungi meningkat akibat biosorpsi dan biodegradasi, terutama jika tumbuh di substrat yang sangat beracun atau tercemar. Namun, pengurangan toksisitas bergantung pada kemampuannya menghasilkan berbagai enzim untuk mendegradasi polutan (Uddin et al., 2020). Makrofungi dapat mendegradasi polutan dan mengubahnya menjadi unsur mineral yang lebih sederhana (Cejpková et al., 2016; Yadav et al., 2021). Makrofungi dapat mendegradasi dan mengubah kontaminan hidrokarbon yang ada di lingkungan menjadi sumber energi, sehingga meningkatkan populasi fungi pemetabolisme dan pendegradasi hidrokarbon (Hyde et al., 2019). Contohnya *Pleurotus ostreatus* yang dapat mendegradasi hidrokarbon yang ada di dalam tanah (Steffen et al., 2007).

Logam berat yang ditemukan dalam tanah dapat menjadi racun, bahkan pada konsentrasi rendah, baik bagi tanaman maupun organisme tanah, dan dapat terakumulasi dalam rantai makanan (Singh et al., 2008). Namun, makrofungi telah terbukti membantu mengurangi dampak negatif logam berat pada tanah, dan sebagai hasilnya meningkatkan pertumbuhan tanaman. Makrofungi dapat menyerap logam berat dari substrat atau tanah, yang dapat menjadi metode bioremediasi yang efektif, dan mekanisme untuk memulihkan lahan yang tercemar (Cejpková et al., 2016; Uddin et al., 2020). Penyerapan logam berat oleh makrofungi dapat mengakibatkan akumulasi logam berat ini di jaringan hifanya, tempat logam terikat dan sering disimpan. Sebagai akibatnya, tubuh buah yang dihasilkan oleh makrofungi ini sering kali mengandung logam berat dalam jumlah tinggi sehingga disarankan untuk berhati-hati saat mengonsumsi makrofungi yang dikumpulkan dari daerah yang diketahui memiliki kandungan logam berat yang tinggi. mengalami kontaminasi logam berat pada tanah (Ab Rhaman et al., 2021; Elekes et al., 2010). Jenis-jenis makrofungi seperti *A. bisporus*, *Amanita spissa*, *Fomes fomentarius*, *Lactifluus piperatus* (seperti *Lactarius piperatus*), *Phellinus badius*, *Suillus grevillei* dan *Tricholoma terreum* telah terbukti efektif mengekstraksi logam seperti Cadmium (Cd), Chromium (Cr), tembaga (Cu), timbal (Pb), merkuri (Hg), besi (Fe), dan seng (Zn) (Ali et al., 2017)

5. Berperan dalam Proses Pembentukan Hujan

Fungi melepaskan jutaan ton spora ke atmosfer setiap tahunnya, yang membentuk komponen-komponen penting biogenik aerosol, khususnya spora hidrofilik yang dikeluarkan oleh Ascomycota dan Basidiomycota (Hassett et al 2015., Elbert et al., 2007). Makrofungi dapat melepaskan sekitar 30.000 basidiospora per detik, dan diperkirakan miliaran aerosol dapat

dilepaskan oleh satu basidiome setiap hari (Dressaire et al., 2016; Hassett et al., 2015). Dalam upaya lebih lanjut untuk mengukur jumlah spora dilepaskan, dan dampaknya terhadap proses di atmosfer, Elbert et al. (2007) memperkirakan sekitar 50 juta ton spora fungi tersebar setiap tahun. Spora-spora ini dapat dikeluarkan pada waktu-waktu tertentu di siang hari atau dengan interval waktu yang tidak teratur (Lagomarsino-Oneto et al., 2020). Spora telah terbukti bersifat higroskopis dan berfungsi sebagai inti kondensasi awan, yang merupakan proses penting untuk memulai presipitasi/pembentukan hujan (Pöschl et al., 2010; Rosenfeld et al., 2008).

6. Sumber makanan, obat-obatan dan pendapatan bagi manusia

Makrofungi liar merupakan hasil hutan non-kayu (Non-Timber Forest Products) yang sangat penting baik sebagai sumber makanan, obat-obatan maupun sumber pendapatan bagi masyarakat lokal di berbagai belahan dunia (Cai et al., 2011; Milenge Kamalebo et al., 2018). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa masyarakat menggunakan makrofungi liar baik untuk makanan, obat-obatan, rekreasi, atau kegiatan dalam kaitannya dengan keyakinan atau mitos tertentu (Boa, 2008; Milenge Kamalebo et al., 2018; Mortimer et al., 2021; Osarenkhoe et al., 2014; Yusran et al., 2021, Yusran et al., 2022a, 2022b; Zhao., 2023) serta beberapa jenis makrofungi memiliki efek halusinasi (Fatur., 2020). Dari sekitar 2.200 jenis makrofungi liar yang dapat dimanfaatkan, terdapat sekitar 1000 jenis yang digunakan sebagai sumber makanan (Lie tal.,2021). Aktivitas berburu makrofungi telah menjadi aktivitas rekreasi yang semakin populer di banyak negara (Marini Govigli et al.,2019; Schulp et al.,2014). Koleksi dan penjualan makrofungi pangan liar (*wild edible macrofungi*) menyumbang 8% dari produksi makrofungi global, yang setara dengan sekitar USD 5 miliar pada tahun 2013 (Royse et al., 2017).

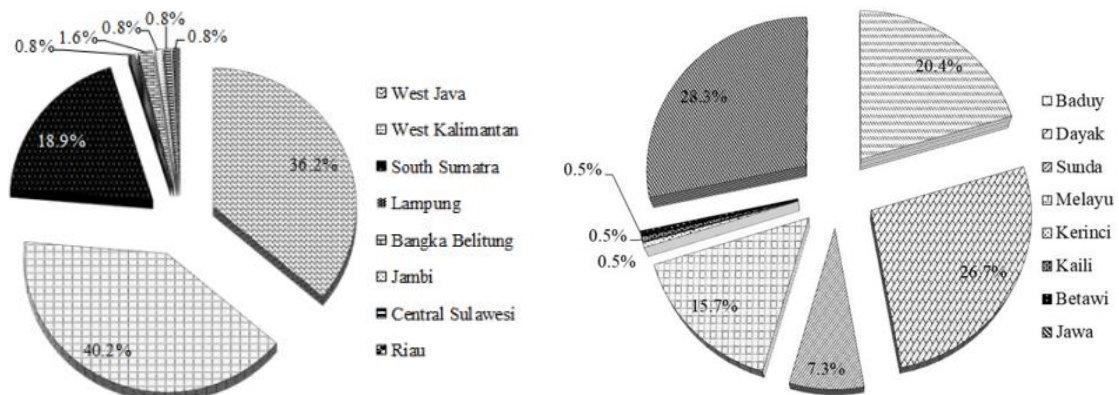
Pada tahun 2022, produksi makrofungi dunia meningkat sebanyak 42.590 ton yang berasal dari 20 negara produsen, sebagian besar diproduksi oleh negara Tiongkok (93,93%), kemudian disusul oleh Amerika Serikat (0.9%) dan Belanda (0.6%), sedangkan Indonesia berada diperingkat ke-19 dengan produksi 0.1% (Tabel 1). Produksi makrofungi hasil panen di Asia masing-masing sekitar 7 juta ton dan 3,2 juta kg/ha pada tahun 2018. Tiongkok adalah negara penghasil terbesar dengan produksi 6,7 juta ton. Nilai total fungi pada tahun 2022 adalah USD 45,42 miliar. Nilai makrofungi yang diperdagangkan untuk makanan hasil dari budidaya dan makrofungi liar mencapai 62% dari seluruh produksi makrofungi atau USD 28,16 miliar pada tahun 2022 (FAOSTAT 2022).

Di Indonesia, terdapat beberapa jenis makrofungi liar yang telah dijadikan sebagai bahan pangan dan obat-obatan. Dari hasil penelitian yang kami lakukan menunjukkan bahwa salah satu jenis makrofungi yang sangat populer dan bernilai ekonomi tinggi, yang tumbuh di kawasan perkebunan dan hutan di sepanjang “**Jalur Patahan Palu-Koro**”, Sulawesi Tengah adalah *Schizophyllum commune* Fr. 1815, yang dalam bahasa “Kaili” disebut dengan “Tanggidi”. Jenis ini dapat tumbuh mulai dari dataran rendah sampai ketinggian lebih dari 1000 m dpl, yang ditemukan tumbuh pada 92 jenis kayu lapuk. Jenis makrofungi ini juga kaya akan nutrisi, protein serta mengandung beberapa antioksidan yang berkhasiat sebagai obat (Yusran et al., 2023b). Selanjutnya, sebagian masyarakat etnis Pamona yang mendiami wilayah sekitar Danau Poso, Sulawesi Tengah, mengenal satu jenis makrofungi yaitu *Dictyophora indusiata* (Vent.) Desy, 1822, yang mereka sebut dengan nama lokal “*Keje Angga*” (in English; *Ghost Penis*; *Ghost*=Hantu/*Angga*, *Penis*=Alat kelamin Laki-laki/*Keje*) karena tubuh buahnya menyerupai alat kelamin laki-laki, yang mereka percaya bisa menyembuhkan penyakit gondok/*goiter* (Yusran et al., 2024).

Selanjutnya dari aspek etnomikologinya, distribusi pengetahuan lokal tentang pemanfaatan makrofungi sebagai bahan pangan dan obat-obatan di Indonesia masih terpusat di propinsi Jawa Barat dan diikuti oleh Kalimantan Barat, Sumatera Utara, Lampung, Bangka Belitung, Riau dan Propinsi Sulawesi Tengah yang termasuk peringkat 8 besar. Sedangkan delapan besar kelompok etnis yang memiliki pengetahuan lokal dalam pemanfaatan makrofungi tersebut adalah Jawa, Dayak, Sunda, Baduy, Melayu, Kerinci, Betawi dan Kaili (Putra et al., 2022). Persentase distribusi pengetahuan lokal tentang pemanfaatan makrofungi oleh kelompok etnis di Indonesia disajikan pada Gambar 3.

Tabel 1. Negara-negara dengan produksi makrofungi terbesar pada tahun 2022 (FAOSTAT (2022))

Rank	Country	Tons (thousand)	% of Top 20	Total value (million USD)
1	China	40,005	93.9	39,510
2	Japan	472	1.1	1,041
3	United States of America	370	0.9	1,107
4	Netherlands	260	0.6	441
5	India	201	0.5	443
6	Poland	183	0.4	229
7	Spain	166	0.4	321
8	Canada	133	0.3	463
9	United Kingdom	106	0.2	315
10	Iran	100	0.2	220
11	Russia	86	0.2	191
12	France	80	0.2	110
13	Germany	79	0.2	247
14	Ireland	69	0.2	138
15	Italy	69	0.2	170
16	Turkey	55	0.1	55
17	Australia	51	0.1	244
18	Hungary	39	0.1	34
19	Indonesia	34	0.1	74
20	Belarus	32	0.1	70
	Total	42,590		45,423



Gambar 3. Persentase distribusi pengetahuan lokal tentang pemanfaatan makrofungi oleh beberapa kelompok etnis di Indonesia (Putra et al., 2022)

7. Sumber makanan bagi satwaliar

Banyak jenis fungi Ektomikoriza (EcMF) bergantung pada satwa, terutama mamalia dan serangga, untuk penyebaran spora (Blaschke dan Bäumler, 1989; Nuske et al., 2019). Perubahan pada komunitas mamalia secara langsung mempengaruhi keanekaragaman jenis EcMF (Nuske et al., 2019). Penyebaran spora fungi yang diperantarai mamalia adalah mekanisme utama penyebaran spora EcMF (Policelli et al., 2022). Ketergantungan ini menghubungkan satwa mikofagi terhadap keanekaragaman EcMF dan kesehatan ekosistem hutan. Makrofungi merupakan sumber nutrisi penting bagi banyak satwa liar di hutan seperti tupai, hewan pengerat, rusa, babi hutan, siput, dan serangga (Ori et al., 2021; Wayking, 2021). Total sebanyak 1154 artikel ilmiah selama 146 tahun melaporkan bahwa sebanyak 508 jenis mamalia yang termasuk ke dalam 15 ordo, merupakan pemakan makrofungi (*mycophagus*) (Elliott et al., 2022).

Hadirin yang saya muliakan!

Perspektif Masa Depan

Indonesia menempati ranking kedua setelah Brazil sebagai negara yang memiliki tingkat keanekaragaman hayati yang tertinggi (*mega biodiversity*), namun informasi mengenai kekayaan jenis makrofungi dan pemanfaatannya oleh masyarakat masih sangat minim. Penelitian makrofungi di Indonesia belum mendapat perhatian yang berarti. Banyak jenis makrofungi di daerah tropis yang belum teridentifikasi, dideskripsikan dan didokumentasikan dengan baik. Hal ini disebabkan karena masih kurangnya kegiatan penelitian makrofungi dan terbatasnya ahli taksonomi fungi di Indonesia, sehingga akses dunia luar terhadap kekayaan jenis makrofungi Indonesia masih sangat rendah, terutama makrofungi sebagai sumber pangan dan obat-obatan.

Pulau Sulawesi, salah satu pulau besar dan berada dalam zona *Wallacea* yang terkenal dengan biodiversitas dan nilai endemisme yang tinggi, penelitian tentang makrofungi pangan dan obat masih sangat kurang, terutama di Propinsi Sulawesi Tengah, padahal Propinsi ini memiliki areal hutan terluas dibandingkan dengan lima propinsi lainnya di Pulau Sulawesi. Selain itu, budidaya makrofungi pangan dan obat belum dikembangkan dan belum menjadikannya sebagai salah satu unggulan sektor pendapatan. Ditambah lagi belum adanya informasi ilmiah mengenai kandungan gizi maupun komponen bioaktif yang berfungsi sebagai obat dari makrofungi tersebut. Oleh karena itu, penelitian tentang makrofungi secara berkelanjutan di masa depan perlu dilakukan guna menyediakan data/informasi maupun isolat jenis-jenis makrofungi yang berpotensi sebagai obat dan pangan, aspek ekologi, kemungkinan ditemukannya jenis-jenis makrofungi endemic pulau Sulawesi, data tentang kandungan nutrisi dan senyawa bioaktif masing-masing makrofungi pangan dan obat, serta teknik budidaya dan medium tumbuh yang terbaik dalam mendukung pertumbuhan dan produksinya sehingga dapat meningkatkan daya saing makrofungi pangan dan obat tersebut dalam skala regional, nasional maupun global guna mendukung perkembangan dan kemajuan teknologi pangan dan kesehatan di Indonesia.

Selanjutnya sangatlah penting untuk memahami dan melakukan penelitian tentang ciri-ciri fungsional komunitas makrofungi yang terintegrasi dengan perspektif ekologi dan evolusi untuk menentukan dampaknya pada ekosistem dan toleransinya terhadap perubahan lingkungan. Metodologi standar untuk pengumpulan data mengenai ciri-ciri seluruh kelompok taksonomi dan distribusi spasial juga diperlukan untuk pemahaman yang tepat tentang komunitas fungi di ekosistem hutan. Identifikasi, karakterisasi dan konservasi keanekaragaman makrofungi yang

tepat diperlukan untuk pemahaman dan peramalan siklus ekosistem serta pelestarian sumber daya hayati fungi.

Penelitian tentang “*Etnomikologi*” yang berfokus pada interaksi antar masyarakat lokal dan fungi juga harus terus dilakukan. Namun topik ini kurang populer Indonesia, padahal Indonesia memiliki potensi kekayaan kearifan lokal etnomikologi yang sangat beragam dan luar biasa. Dan saya menganggap bahwa disiplin ini sangat berguna untuk mengumpulkan data plasma nutfah fungi di Indonesia khususnya yang berasal dari pengetahuan lokal (*Indigenous knowledge*). Oleh karena itu, penelitian tentang kajian etnomikologi perlu mendapatkan perhatian khusus terutama mengenai catatan keanekaragaman hayatinya di Indonesia. Penelitian pengembangan bekerjasama dengan Apoteker, Dokter, Chemist, Nutritionist, Ecologist dan ahli lainnya sangat diperlukan dalam pengujian-pengujian makrofungi pangan dan obat di masa depan.

Terkait keinginan dan harapan-harapan tersebut, beberapa topik rencana riset dasar dan pengembangan makrofungi yang akan dilakukan beberapa tahun kedepan adalah:

1. **Diversitas, kandungan nutrisi dan senyawa bioaktif serta etnomikologi makrofungi pangan dan obat liar di kawasan hutan oleh masyarakat adat Bunggu Sulawesi Barat** (Di biayai oleh Badan Riset & Inovasi Nasional melalui Skim Riset Inovasi untuk Indonesia Maju/RIIM 331498409 tahun 2024-2025).
2. **Genotoxicity and cytotoxicity of heavy metals in edible wild mushroom samples from Palu Valley, Central Sulawesi, Indonesia** (Genotoksisitas dan Cytotoksisitas logam berat pada sampel-sampel makrofungi pangan yang berasal dari Lembah Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia), Research collaboration with Prof. Dr. Henning Hintzsche, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Germany (Funded by DAAD tahun 2024).
3. **MycoForestry: A Natural Climate Solution for Carbon Sequestration, Food Security, and Sustainable Livelihoods** (MycoForestry: Solusi penanganan perubahan iklim secara alami untuk penyimpanan karbon, ketahanan pangan dan kehidupan yang berkelanjutan), Research project under e-ASIA Joint Research Program (e-ASIA JRP), collaboration with Prof. Akiyoshi Yamada (Shinshu University, Japan), Prof. Cherdchai Phosri (Nakhon Phanom University, Thailand), Ms. Orlavahn Xayyavong (Champasack University-Laos), Assoc. Prof. Dr. Anne Nurbaity (Padjajaran University, Indonesia) and Assoc. Profesor. Supeni., MSc (Cendrawasih University, Indonesia), dengan lokasi pilot proyek di Zona penyangga dan dalam kawasan Taman Nasional Lore Lindu Sulawesi Tengah (2024-2026).

Issue-issue strategi yang mendasari dilaksanakannya riset-riset diatas adalah perlunya dilakukan diversifikasi pangan yang berasal dari hasil hutan bukan kayu yang masih banyak belum dieksplorasi terutama makrofungi yang banyak tumbuh di dalam kawasan-kawasan hutan konservasi yang berpotensi selain sebagai bahan baku pangan juga obat-obatan, sehingga masyarakat luas dapat mengetahui, memanfaatkan serta membudidayakannya, yang pada akhirnya dapat memperkuat ketahanan pangan serta mengurangi tekanan-tekanan terhadap keberadaan kawasan-kawasan konservasi di Sulawesi Tengah dan juga di Indonesia. Hasil penelitian-penelitian tersebut nantinya dapat menggambarkan potensi etnomikologi makrofungi pangan dan obat liar oleh masyarakat-masyarakat adat maupun potensi bioteknologinya sehingga berperan sebagai gudang genetik (*Biobanking*) makrofungi di kawasan-kawasan konservasi di Pulau Sulawesi, dan juga di Indonesia pada umumnya.

Selain program-program penelitian, juga perlu dilakukan program-program pemberdayaan masyarakat sekitar hutan melalui kegiatan pengabdian kepada masyarakat tentang jenis-jenis dan teknik budidaya makrofungi pangan dan obat bagi masyarakat sekitar hutan terutama yang tinggal di zona-zona penyangga (*Buffer zones*) kawasan konservasi, sehingga dapat mengurangi aktivitas-aktivitas masyarakat masuk kedalam hutan yang pada akhirnya akan mengurangi tekanan-tekanan dan gangguan-gangguan dalam ekosistem hutan.

Makrofungi merupakan hasil hutan bukan kayu (*Non-Timber Forest Products*) dengan sumber daya genetik yang beragam serta memiliki nilai yang sangat besar dari aspek ekologi, ekonomi, pengobatan, bioteknologi serta peran sosial dan budayanya. Peranan makrofungi dalam ekosistem hutan seringkali diremehkan karena dianggap sebagai layanan “gratis”, sehingga sangat sedikit kebijakan yang ada dan mengakui peranannya terhadap ekosistem hutan.

Dalam konsep pembangunan berkelanjutan, perlu dicapai keseimbangan antara pembangunan sosial-ekonomi, eksplorasi sumber daya alam, dan konservasi ekosistem hutan. Dan sangatlah penting untuk memahami peranan makrofungi dalam pemeliharaan kesehatan hutan serta manfaatnya bagi umat manusia. Dengan mengenali jasa ekosistem hutan terutama peranan makrofungi ini, saya berharap dapat meningkatkan kesadaran akan pentingnya makrofungi dalam ekosistem hutan dan perlu mempertimbangkannya dalam pembuatan kebijakan lingkungan, yang mengarah pada usaha-usaha konservasi sumberdaya hutan. Selain itu, peranan makrofungi dalam proses penyerapan karbon dan potensinya dalam mitigasi dampak perubahan iklim juga perlu dieksplorasi dan didiskusikan lebih lanjut pada level yang lebih tinggi, serta perlu dipertimbangkan dalam konteks kebijakan lingkungan di masa depan.

Hadirin Yang Berbahagia!

Saya menyadari bahwa pencapaian jabatan fungsional Guru Besar hingga sampai pada upacara pengukuhan hari ini tidaklah lepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam rangkaian pidato pengukuhan ini, perkenankanlah saya menyampaikan terima kasih yang setulus tulusnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi, Republik Indonesia dan Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset & Teknologi atas kepercayaan yang diberikan kepada saya untuk memangku jabatan sebagai Guru Besar dalam bidang Ilmu Mikrobiologi Dan Penyakit Hutan (Silvikultur).
2. Rektor Universitas Tadulako, Bapak Prof. Dr. Ir. Amar, S.T., M.T.,
3. Ketua Senat Universitas Tadulako, Bapak Prof. Dr. H. Djayani Nurdin, S.E.,MS dan seluruh anggota Senat Universitas Tadulako.
4. Ketua Dewan Guru Besar Universitas Tadulako, Bapak Prof. Dr. Ir. H. Fahurrahman, M.P. dan seluruh anggota Dewan Guru Besar.
5. Ketua Dewan Pertimbangan dan seluruh anggota Dewan Pertimbangan Universitas Tadulako.
6. Para Wakil Rektor di Lingkungan Universitas Tadulako
7. Para Dekan dan Direktur Pascasarjana di Lingkungan Universitas Tadulako

8. Dekan Fakultas Kehutanan serta Ketua Senat Fakultas Kehutanan Universitas Tadulako, yang telah menyetujui kenaikan jabatan saya untuk ke jenjang Guru Besar.

9. Para Wakil Dekan, Ketua Jurusan, seluruh dosen dan tenaga kependidikan serta segenap civitas akademika di lingkungan Fakultas Kehutanan Universitas Tadulako.

10. Kepada guru-guru saya di SD Negeri 1 Binangga, SMP Negeri Binangga, Marawola Kabupaten Sigi dan SPP-SPMA Al-khairaat Poso yang telah membekali saya ilmu dan pengetahuan dasar.

11. Bapak Ir. Pudji Sulaksono.,MSc.,M.Phill (Pembimbing Skripsi) dan Bapak Prof. Dr. Ir. Moh Yunus.,MS selaku Dosen Penasehat Akademik saya pada program sarjana. Mereka berdualah yang mengarahkan topik penelitian skripsi saya ke bidang Mikrobiologi dan Penyakit Tumbuhan, yang selanjutnya bidang ilmu ini memberikan ruangan bagi saya untuk dapat mengabdikan kembali sebagai dosen di Universitas Tadulako, serta seluruh Dosen saya saat menempuh pendidikan pada program Sarjana di Fakultas Pertanian, Universitas Tadulako.

12. Bapak Dr. Ir. Djumali Mardji.,M.Agr serta Bapak Prof. Dr. Ir. Agus Sulistyono Budi, selaku dosen dan pembimbing thesis saya saat menempuh pendidikan di Program Magister Ilmu Kehutanan, Universitas Mulawarman, Samarinda, yang mengarahkan dan menguatkan saya untuk menekuni bidang ilmu Mikrobiologi hutan dan Penyakit Hutan.

13. Herr Prof. Dr. Volker Römheld, Herr Prof. Dr. Torsten Müller serta Frau Prof. Dr. Ellen Kandler, selaku promotor saya sewaktu menempuh pendidikan pada Program Doktor di Institute of Plant Nutrition, Universität Hohenheim, Stuttgart, Germany.

14. Prof. Dr. Thomas E. Loynachan sebagai host yang sangat humanist, saat menjalani Program Postdoctoral di Iowa State University of Science & Technology, Ames, IOWA State, USA, serta Prof. Dr. Dennis Edmund Desjardin, atas kesempatan untuk memberikan kuliah tamu pada Department of Biology, serta training tentang Makrofungi pada Herbarium Harry D.Thiers, San Francisco State University, San Francisco, California, USA.

15. Lembaga penyedia Beasiswa-beasiswa; Beasiswa Bimantara, Beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (PPA), Beasiswa Pasca Sarjana (BPPS), Beasiswa Pemda Propinsi Kalimantan Timur, Beasiswa Pemda Kabupaten Kutai Kertanegara, Beasiswa Pemda Kotamadya Samarinda, Beasiswa Program Asia Link EU, Beasiswa Fulbright serta DAAD atas dukungan dana melalui beasiswa pendidikan dan riset, mulai dari Program Sarjana sampai Program Postdoctoral.

16. Keluarga besar saya dan segenap sanak saudara yang selalu memberikan dukungan doa dan dorongan semangat. Sungkem terima kasih saya haturkan kepada kedua orang tua saya, Bapak Hamzala Yalibisa Bumbu (Alm.) yang In shaa Allah Husnul Khotimah dan tenang disisinya, yang tidak sempat lagi menyaksikan kesuksesan ini. Ibunda Andi Riama Ladado yang sangat saya cintai dan saya muliakan, saya mohon untuk berdiri, Ibu yang telah melahirkan, mengasuh, membesarkan dan senantiasa mendukung saya hingga pencapaian ini dengan segala perjuangan, cinta kasih dan doa restu yang tiada henti. Alhamdulillah hari ini bisa menyaksikan saya berdiri di mimbar ini. Semua itu tidak bisa ananda balas, kecuali hanya doa yang akan selalu selalu ananda panjatkan”Allahummagh firlii wa liwaa lidhayya warkham humaa kamaa rabbayaa nii shoghiroon”.

Terima kasih kepada kedua mertua saya, Bapak Ir. Kisman Tumpugi dan Ibu Sri Tumeini.,S.Sos yang senantiasa memberikan doa dan semangat. Rasa terima kasih yang tidak terhingga saya sampaikan kepada istri tercinta, Dr. Ratna Setyawati.,Sp.PA.,M.Kes (saya mohon untuk berdiri) atas segala do'a, pengorbanan, kesabaran, pengertian, dan dorongan semangat, termasuk rasa amarah dan merajuk, rasa bosan dan rasa cemburu karena cinta, serta anak-anakku tersayang, penyemangat hidup saya: Raffa Rezky Aprilio Yusran, Nadya Rizky Violeta Ames Yusran dan Kenzie Attaya Zeshan Yusran, terutama ketika harus ditinggal disaat melaksanakan tugas tridharma serta tugas-tugas lainnya sehingga saya dapat mencapai jenjang jabatan akademik tertinggi sebagai Guru Besar ini. Kepada kakak, adik dan penakan-penakan saya: Ismawati (Almarhumah), Megawati, Jois Anggraini, Yuspan., S.Pd, Indrawati., S.Pd (Pahlawan untuk Indonesia dari MNC TV), Iwan Setiawan., S.Hut., Aipda. Ahmadan., S.H, Rima Hasiani Melati., S.Hut.,MP, Putri Nurcahyani., S.Pd., Siti Hardiyanti.,S.Pd, Nurkumala., S.Km., Ranny., S.H, Octaviana Prima Sari., S.A.B., Febriana Ramadhani., S.A.P., Ais Ananta Pratama, dll.

Paman kami tercinta, Bapak Syarif Yalibisa Bumbu sekeluarga, Bapak Husen Yalibisa Bumbu (Almarhum) Sekeluarga, Bapak Ihwan Yalibisa Bumbu Sekeluarga, Bapak Ladai Hi.Saleng sekeluarga, Bapak Ambo Tuo Harun sekeluarga, Bapak Aiptu. Aksan Sunuddin Bumbu Sekeluarga, Bapak Syamsuddin Dg Pattapa., SH sekeluarga, Bapak Drs. Pamudin Lasatiro sekeluarga, serta Bapak Drs. Ta'ruf Matu., MSi (Almarhum) sekeluarga, yang senantiasa memberikan doa, cinta kasih, dan dukungan semangat dalam menempuh pendidikan.

17. Kepada rekan sejawat, di Jurusan Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Tadulako maupun rekan professional di Organisasi Profesi keilmuan, Asosiasi Mikoriza Indonesia (AMI), Masyarakat Silvikultur Indonesia (MasSi), Masyarakat Biodiversitas Indonesia (MBI) dan organisasi profesi lainnya, saya ucapkan terima kasih atas diskusi, tukar menukar informasi dan pencerahan yang telah kita lakukan.

18. Segenap Staf administrasi di Jurusan Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Tadulako, terutama Ibu Hj. Saadiah, SE, MM, Ibu Sitti Munifah.,S.Kom.,MSi, Bapak Viktor Eddyzon Pasuang., S.Kom, Ibu Andi Marwah.,S.Ip, terima kasih banyak atas dukungan dalam penyiapan berkas adminitrasi pengusulan ke jabatan Guru Besar yang telah Bapak/Ibu berikan.

19. Segenap Staf administrasi, di Biro Keuangan dan Umum, Universitas Tadulako, terutama Bapak Ir. Nouval Trezandy Lapatta.,S.Kom.,M.Kom, Ibu Wahyuni Angraini.,S.Pd.,M.Pd, Bapak Moh Ihsan., S.Km, Bapak Muarif, terima kasih banyak atas dukungan dan layanan adminitrasi yang telah Bapak/Ibu lakukan selama proses pengajuan usulan kenaikan jabatan ke Guru Besar.

20. Para wartawan media cetak dan elektronik yang sempat hadir dan meliput acara ini, segenap Panitia Pengukuhan Guru Besar ini, adik-adik mahasiswa paduan suara Untad serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang telah menyiapkan dan mengisi acara pengukuhan hari ini hingga dapat terlaksana dengan baik.

Hadirin Yang Saya Muliakan!

Pengangkatan Guru Besar ini saya terima sebagai amanah yang menuntut tanggung jawab yang sangat besar. Oleh karena itu, saya mohon doa restu dari para hadirin sekalian yang berbahagia, agar saya dapat menjalankan amanah ini dengan sebaik-baiknya, secara profesional dengan landasan pengabdian untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan kemajuan dunia

pendidikan, sesuai dengan sabda Nabi Muhammad SAW, bahwa : **“Sebaik-baik manusia adalah mereka yang dapat memberikan manfaat optimal kepada lingkungannya,”** Insha Allah. Sekali lagi penghargaan dan terima kasih saya haturkankan atas kesabaran untuk mengikuti pidato ini, mohon maaf jika ada kata-kata yang kurang berkenan dihati. Teriring doa yang terbaik untuk kita semua. Hanya Allah S.W.T yang layak membalasnya.

Wabilahitaufiq walhidayah. Assalamu’alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Daftar Pustaka

- Ab Rhaman, S.M.S., Naher, L., Siddiquee, S., 2021. Mushroom quality related with various substrates’ bioaccumulation and translocation of heavy metals. *J. Fungi* 8, 42
- Ache, N.T., Manju, E.B., Lawrence, M.N., Tonjock, R.K., 2021. Nutrient and mineral components of wild edible mushrooms from the Kilum-Ijim forest, Cameroon. *Afr. J. Food Sci.* 15.
- Ali, A., Guo, D., Mahar, A., Wang, P., Shen, F., Li, R., Zhang, Z., 2017. Mycoremediation of potentially toxic trace elements,abiological tool for soil cleanup: a review. *Pedosphere* 27, 205e222.
- Andlar, M., Rezic, T., MarCetko, N., Kracher, D., Ludwig, R., Santek, B., 2018. Lignocellulose degradation: an overview of fungi and fungal enzymes involved in lignocellulose degradation. *Eng. Life Sci.* 18, 768e778.
- Aqilah M.B.N., Nurjannah S., Salleh S., Thi B.K., Fitri Z.A., Faizi M.M.K., Maideen K.M.H., Nizam M.S., 2020. Elevation influence the macrofungi diversity and composition ofGunung Korbu, Perak,Malaysia. *Biodiversitas.* 21(4): 1707-1713.
- Arantes, V., Goodell, B., 2014. Current understanding of brown-rot fungal biodegradation mechanisms: a review. *ACS (Am. Chem. Soc.) Symp. Ser.* 3e21.
- Arora, P.K., 2019. *Microbial Metabolism of Xenobiotic Compounds.* Springer Netherlands.
- Ayerst G. 1969. The effects of moisture and temperature on growth and spore germination in some fungi. *J. Stored Prod. Res.* 5, 127–141.
- Banfield, J.F., Barker, W.W., Welch, S.A., Taunton, A., 1999. Biological impact on mineral dissolution: application of the lichen model to understanding mineral weathering in the rhizosphere. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96, 3404e3411
- Barnes BV, Zak DR, Denton SR, Spurr SH. 1998– *Forest Ecology.* John Wiley & Sons. New York.
- Barron, G.L., 2003. Predatory fungi, wood decay, and the carbon cycle. *Biodiversity* 4, 3e9.
- Barron, G.L., Dierkes, Y., 1977. Nematophagous fungi: hohlenbeu helia, the perfect state of Nematoctonus. *Can. J. Bot.* 3054e3062
- Bava, R., Castagna, F., Piras, C., Musolino, V., Lupia, C., Palma, E., Britti, D., Musella, V., 2022. Entomopathogenic fungi for pests and predators control in beekeeping. *Vet. Sci.* 9, 95.
- Blaschke, H., Bœumler, W., 1989. Mycophagy and spore dispersal by small mammals in bavarian forests. *For. Ecol. Manage.* 26, 237e245.
- Blackwell M., 2011. The Fungi: 1, 2, 3 . . . 5.1 million species? *Am. J. Bot.* 98 (3): 426–438.
- Blaser S, Prati D, Senn-Irlet B, Fischer M., 2013. Effects of forest management on the diversity of deadwood-inhabiting fungi in Central European forests. *For. Ecol. Manag.* 304, 42–48
- Boa, E., 2008. Wild edible fungi a global overview of their use and importance to people. In: *Biology.* FAO, Rome, pp. 1e149.
- Boddy, L., 2016. Chapter 11- Fungi, Ecosystems, and Global Change. In: *Watkinson, S.C., Boddy, L., Money, N. (Eds.), The Fungi.* Elsevier, Boston, pp. 361e400.
- Bonfante, P., Genre, A., 2010. Mechanisms underlying beneficial plantefungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nat. Commun.* 1, 48.
- Braga, F.R., 2015. Predatory activity of the fungus *Pleurotus eryngii* on *Ancylostoma caninum* infective larvae. *SOJ Vet. Sci.* 1, 1e6.
- Brown W., 1922. On the germination and growth of fungi at various temperatures and in various concentrations of oxygen and of carbon dioxide. *Ann. Bot.* 36, 257–283.
- Brundrett, M.C., Tedersoo, L., 2018. Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytol.* 220, 1108e1115.
- Burgess, T., Wingfield, M.J., 2006. Impact of fungal pathogens in natural forest ecosystems: a focus on Eucalypts. In: *Microorganisms in Plant Conservation and Biodiversity.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 285e306.

- Cai, Z., Li, W., Wang, H., Yan, W., Zhou, Y., Wang, G., Cui, J., Wang, F., 2012. Antitumor effects of a purified polysaccharide from *Rhodiola rosea* and its action mechanism. *Carbohydr. Polym.* 90, 296e300.
- Canini F, Zucconi L, Pacelli C, Selbmann L, Onofri S, Geml J., 2019. Vegetation, pH and water content as main factors for shaping fungal richness, community composition and functional guilds distribution in soils of western Greenland. *Front. Microbiol.* 10, 2348.
- Cejpková J., Hřelová H., Kotrba P., Řanda Z., Synková I., Borovička J., 2016. Bioaccumulation of heavy metals, metalloids, and chlorine in ectomycorrhizae from smelter-polluted area. *Environmental Pollution.* 218:176-185.
- Chander H., 2016. Diversity and Distribution of Macrofungi and Lichens in the Nanda Devi Biosphere Reserve. *Biological Diversity and Ecology*, Discovery Publishing House, New Delhi, pp. 184–207.
- Chen Y, Svenning J.C, Wang X.Y, Cao R.F, Yuan Z.L, Ye Y.Z., 2018. Drivers of macrofungi community structure differ between soil and rotten-wood substrates in a temperate mountain forest in China. *Front. Microbiol.* 9, 37.
- Chot E., Reddy M.S., 2022. Role of Ectomycorrhizal Symbiosis Behind the Host Plants Ameliorated Tolerance Against Heavy Metal Stress. *Front Microbiol.* 2022; 13: 855473.
- Clemmensen, K.E., Bahr, A., Ovaskainen, O., Dahlberg, A., Ekblad, A., Wallander, H., Stenlid, J., Finlay, R.D., Wardle, D.A., Lindahl, B.D., 2013. Roots and associated fungi drive long-term carbon sequestration in boreal forest. *Science* 339, 1615e1618.
- Corrales, A., Henkel, T.W., Smith, M.E., 2018. Ectomycorrhizal associations in the tropics e biogeography, diversity patterns and ecosystem roles. *New Phytol.* 220, 1076e1091
- Crowther, T.W., Boddy, L., Hefin Jones, T., 2012a. Functional and ecological consequences of saprotrophic fungusegrazer in teractions. *ISME J.* 6, 1992e2001.
- Crowther, T.W., Jones, T.H., Boddy, L., 2012b. Interactions between saprotrophic basidiomycete mycelia and mycophagous soil fauna. *Mycology* 3, 1e10.
- de Mattos-Shipley, K.M.J., Ford, K.L., Alberti, F., Banks, A.M., Bailey, A.M., Foster, G.D., 2016. The good, the bad and the tasty: the many roles of mushrooms. *Stud. Mycol.* 85, 125e157.
- Davarzani H, Smits K, Tolene R.M, Illangasekare T. 2014. Study of the effect of wind speed on evaporation from soil through integrated modeling of the atmospheric boundary layer and shallow subsurface. *Water Resour. Res.* 50, 661–680.
- Dressaire, E., Yamada, L., Song, B., Roper, M., 2016. Mushrooms use convectively created airflows to disperse their spores. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 113, 2833e2838.
- Douanla-Meli C, Ryvarde L, Langer E., 2007. Studies of tropical African pore fungi (Basidiomycota, Aphyllophorales): Three new species from Cameroon. *Nova Hedwigia* 84(3-4): 409-420. DOI: 10.1127/0029-5035/2007/0084-0409.
- Dupont, J., Dequin, S., Giraud, T., Le Tacon, F., Marsit, S., Ropars, J., Richard, F., Selsosse, M.-A., 2017. Fungi as a source of food. *Microbiol. Spectr.* 5, 1e22.
- Eaton, R.A, Hale M.D.C. 1993. *Wood: decay, pests and protection*. Chapman and Hall Ltd.: London
- Elbert, W., Taylor, P.E., Andreae, M.O., Pöschl, U., 2007. Contribution of fungi to primary biogenic aerosols in the atmosphere: wet and dry discharged spores, carbohydrates, and inorganic ions. *Atmos. Chem. Phys.* 7, 4569e4588.
- Elekes, C.C., Busuioac, G., Ionita, G., 2010. The bioaccumulation of some heavy metals in the fruiting body of wild growing mushrooms. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca* 38, 147e151.
- Elliott TF, Truong C, Jackson SM, Zúñiga CL, Trappe JM, Vernes K. Mammalian mycophagy: A global review of ecosystem interactions between mammals and fungi. *Fungal Syst Evol.* 2022 Jun;9:99-159.
- FAOSTAT., 2022. Mushroom and trufes. [https://www.fao.org/faostat/en/#search/Mushrooms and trufes](https://www.fao.org/faostat/en/#search/Mushrooms%20and%20trufes). accessed 13 May 2022.
- Fatur K., 2021. Peculiar plants and fantastic fungi: An ethnobotanical study of the use of hallucinogenic plants and mushrooms in Slovenia. *PLoS ONE* 16(1): e0245022
- Ferraro, V., Venturella, G., Cirilincione, F., Mirabile, G., Gargano, M.L., Colasuonno, P., 2022. The checklist of Sicilian macrofungi: second edition. *J. Fungi* 8, 566
- Fu, B., Wang, S., Su, C., Forsius, M., 2013. Linking ecosystem processes and ecosystem services. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 5, 4e10.
- Gadd, G.M., 1999. Fungal production of citric and oxalic acid: importance in metal speciation, physiology and biogeochemical processes. In: *Advances in Microbial Physiology*, pp. 47e92

- García-Ortega L.F., León-Ramírez.C.G., Ángeles-López Y.I., Cervantes-Montelongo J.A., Velez-Haro J.M., Razo-Belman R., Ortiz-Castellanos L., Carranza-Álvarez C., Martínez-Soto., 2022. Microbial Consortium and Biotransformation for Pollution Decontamination. Chapter 12 - Fungi, eukaryotic microorganisms involved in bioremediation of contaminated environments. *Advances in Environmental Pollution Research*. Pages 259-297
- Geml, J., 2017. *Altitudinal Gradients in Mycorrhizal Symbioses*. Springer, Cham, pp. 107e123.
- Goodell, B., Nicholas, D.D., Schults, T.P., 2003. Wood deterioration and preservation advance in our changing world. In: *Wood Deterioration and Preservation*. American Chemical Society, Washington, DC, pp. 1e197.
- Go, W.Z., Chin, K.L., H'ng, P.S., Wong, M.Y., Luqman, C.A., Surendran, A., Tan, G.H., Lee, C.L., Khoo, P.S., Kong, W.J., 2021. Virulence of *Rigidoporus microporus* isolates causing white root rot disease on rubber trees (*Hevea brasiliensis*) in Malaysia. *Plants* 10, 2123.
- Gómez-Hernández M, Williams-Linera G, Guevara R, Lodge D.J., 2012. Patterns of macromycete community assemblage along an elevation gradient: Options for fungal gradient and metacommunity analyse. *Biodivers. Conserv.* 21, 2247–2268.
- Govorushko S., Rezaee R., Dumanov J., Tsatsakis A., 2019. Poisoning associated with the use of mushrooms: A review of the global pattern and main characteristics. *Food and Chemical Toxicology*. 128: 267-279.
- Hack, H.R.G.K., 2020. Weathering, erosion, and susceptibility to weathering. In: *Soft Rock Mechanics and Engineering*. Springer International Publishing, Cham, pp. 291e333
- Hassett, M.O., Fischer, M.W.F., Money, N.P., 2015. Mushrooms as rainmakers: how spores act as nuclei for raindrops. *PLoS One* 10e0140407.
- Hawksworth D.L., 2001. The magnitude of Fungal Diversity: The 1.5 million species estimate revisited. *Mycological Research*, 105: 1422-1432. <https://doi.org/10.1017/S0953756201004725>.
- Hawksworth DL., R. Lucking R., 2017. Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species, *Microbiol. Spectr.* 5 (4): 1–14.
- Heinonsalo, J., Juurola, E., Linden, A., Pumpanen, J., 2015. Ecto mycorrhizal fungi affect Scots pine photosynthesis through nitrogen and water economy, not only through increased carbon demand. *Environ. Exp. Bot.* 109, 103e112.
- He, M.Q., Zhao, R.L., Hyde, K.D., Begerow, D., Kemler, M., Yurkov, A., et al 2019. Notes, outline and divergence times of Basidiomycota. *Fungal Divers.* 99, 105e367.
- Hennon, P.E., 1995. Are heart rot fungi major factors of disturbance in gap-dynamic forests? *Northwest Sci.* 69, 284e293.
- Hiscox, J., Savoury, M., McFuller, C.T., Lindahl, B.D., Rogers, H.J., Boddy, L., 2015. Priority effects during fungal community establishment in beech wood. *ISME J.* 9, 2246e2260.
- Hofmeister J, Hošek J, Brabec M, Dvořák D, Beran M, Deckerová H, Burel J, Kříž M, Borovička J, Běťák J., 2014. Richness of ancient forest plant species indicates suitable habitats for macrofungi. *Biodivers. Conserv.* 23, 2015–2031
- Hu, J.-J.; Zhao, G.-P.; Tuo, Y.-L.; Qi, Z.-X.; Yue, L.; Zhang, B.; Li, Y., 2022. Ecological Factors Influencing the Occurrence of Macrofungi from Eastern Mountainous Areas to the Central Plains of Jilin Province, China. *J. Fungi* 2022, 8, 871
- Hyde, K.D., Xu, J., Rapior, S., Jeewon, R., Lumyong, S., Niego, A.G.T., Abeywickrama, P.D., et al 2019. The amazing potential of fungi: 50 ways we can exploit fungi industrially. *Fungal Divers.* 97, 1e136.
- Hyde, K.D., Jones, E.B.G., 2002. Introduction to fungal succession. *Fungal Divers.* 10, 1e5.
- Hu J.J, Zhao G.P, Tuo Y.L, Qi Z.X, Yue L, Zhang B, Li Y., 2020. Ecological Factors Influencing the Occurrence of Macrofungi from Eastern Mountainous Areas to the Central Plains of Jilin Province, China. *J. Fungi* 2022, 8, 871. <https://doi.org/10.3390/jof8080871>
- Jarvis S.G, Woodward S, Taylor A.F.S., 2015. Strong altitudinal partitioning in the distributions of ectomycorrhizal fungi along a short (300 m) elevation gradient. *New Phytol.* 206, 1145–1155.
- Kalac, P., 2013. A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. *J. Sci. Food Agric.* 93, 209e218.
- Katarzyte, M., Kutorga, E., 2011. Small mammal mycophagy in hemiboreal forest communities of Lithuania. *Open Life Sci.* 6, 446e456
- Kinge, T.R., Goldman, G., Jacobs, A., Ndiritu, G.G., Gryzenhout, M., 2020. A first checklist of macrofungi for South Africa. *Mycology Keys* 63, 1e48.
- Krah, F.-S., Seibold, S., Brandl, R., Baldrian, P., Müller, J., € Bassler, C., 2018. Independent effects of host and environment € on the diversity of wood-inhabiting fungi. *J. Ecol.* 106, 1428e1442

- Kubicek, C.P., Druzhinina, I.S., 2007. Nutrient cycling by sapro trophic fungi in terrestrial habitats. In: Environmental and Microbial Relationships. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 287e300
- Kujawska M.B, Rudawska M, Wilgan R, Leski T., 2021. Similarities and differences among soil fungal assemblages in managed forests and formerly managed forest reserves. *Forests*. 12, 353. [CrossRef] Luo, X.; Karunarathna, S.; Luo, Y.; Xu, K.; Xu, J.; Chamyuang, S.; Mortimer, P. Drivers of macrofungal composition and distribution in Yulong Snow Mountain, southwest China. *Mycosphere* 2016, 7, 727–740.
- Kulshreshtha, S., Mathur, N., Bhatnagar, P., 2014. Mushroom as a product and their role in mycoremediation. *Amb. Express* 4, 29.
- Lakhanpal, T.N., 2000. Ectomycorrhiza d an overview. In: *Mycorrhizal Biology*. Springer US, Boston, MA, pp. 101e118.
- Lagomarsino-Oneto, D., Golan, J., Mazzino, A., Pringle, A., Seminara, A., 2020. Timing of fungal spore release dictates survival during atmospheric transport. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 117, 5134e5143.
- Langer, G.J., Bußkamp, J., Terhonen, E., Blumenstein, K., 2021. Fungi inhabiting woody tree tissues. In: *Forest Microbiology*. Elsevier, pp. 175e205.
- Lee, C.-H., Chang, H.-W., Yang, C.-T., Wali, N., Shie, J.-J., Hsueh, Y.-P., 2020. Sensory cilia as the Achilles heel of nematodes when attacked by carnivorous mushrooms. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 117, 6014e6022.
- Li, H., Tian, Y., Menolli, N., Ye, L., Karunarathna, S.C., Perez Moreno, J., et al 2021. Reviewing the world's edible mushroom species: a new evidence-based classification system. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 20, 1982e2014.
- Liu, Y., Li, X., Kou, Y., 2020. Ectomycorrhizal fungi: participation in nutrient turnover and community assembly pattern in forest ecosystems. *Forests* 11, 453.
- Li, T., Wu, S., Yang, W., Selosse, M.-A., Gao, J., 2021. How mycorrhizal associations influence orchid distribution and population dynamics. *Front. Plant Sci.* 12, 833.
- Lodge D.J, Ammirati J.F, O'Dell T.E, Mueller G.M., 2004. *Collecting and Describing Macrofungi. Biodiversity of Fungi: Inventory and Monitoring Methods*. Elsevier Academic Press, Amsterdam.
- Luo, H., Mo, M., Huang, X., Li, X., Zhang, K., 2004. *Coprinus comatus* : a basidiomycete fungus forms novel spiny structures and infects nematode. *Mycologia* 96, 1218e1224.
- Macia-Vicente, J.G., Popa, F., 2022. Local endemism and ecological generalism in the assembly of root-colonizing fungi. *Ecol. Monogr.* 92e01489.
- Mardji, D. dan Ch. Soeyamto. 1999. *Jenis-jenis Jamur dari Labanan Kabupaten Berau Kalimantan Timur*. Berau Forest Management Project, Samarinda. 53 h
- Marini Govigli, V., Gorriz-Mifsud, E., Varela, E., 2019. Zonal travel cost approaches to assess recreational wild mushroom picking value: trade-offs between online and onsite data collection strategies. *For. Policy Econ.* 102, 51e65.
- Meenu, M., Xu, B., 2019. Application of vibrational spectroscopy for classification, authentication and quality analysis of mushroom: a concise review. *Food Chem.* 289, 545e557.
- Mikuła A, Tomiczak K, Makowski D, Niedzielski M, Rybczyński, J.J., 2015. The effect of moisture content and temperature on spore aging in *Osmunda regalis*. *Acta Physiol. Plant.* 37, 1–11.
- Milenge Kamalebo, H., Nshimba Seya WaMalale, H., Masumbuko Ndabaga, C., Degreef, J., De Kesel, A., 2018. Uses and importance of wild fungi: traditional knowledge from the Tshopo province in the Democratic Republic of the Congo. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 14, 13
- Mortimer, P.E., Boa, E., Hyde, K.D., Li, H., 2021. Macrofungi as food. In: *Encyclopedia of Mycology*. Elsevier, pp. 405e417.
- Mueller G.M, Schimt J.P, Leacock P.R, Buyk B, Cifuentes J, Desjardin D.E, Halling RE, Hjortstam K, Iturruga 1, Larsson K-H, Lodge D.J, May TW, Minter D, Rajchenberg M, Redhead S.A, Ryarden L, Trapper J.M, Watling R, and Wu Q., 2007. Global diversity and distribution of macrofungi. *Biodivers Conserv* 16:37-48
- Mukhtar H, Lin C.M, Wunderlich R.F, Cheng L.C, Ko M.C, Lin Y.P., 2021. Climate and land cover shape the fungal community structure in topsoil. *Sci. Total Environ.* 751, 141721.
- Nagy, N.E., Kvaalen, H., Fongen, M., Fossdal, C.G., Clarke, N., Solheim, H., Hietala, A.M., 2012. The pathogenic white-rot fungus *Heterobasidion parviporum* responds to spruce xylem defense by enhanced production of oxalic acid. *Mol. Plant Microbe Interact.* 25, 1450e1458.
- Nehls, U., G€ohringer, F., Wittulsky, S., Dietz, S., 2010. Fungal carbohydrate support in the ectomycorrhizal symbiosis: a review. *Plant Biol.* 12, 292e301.
- Neira J, Ortiz M, Morales L, Acevedo E., 2015. Oxygen diffusion in soils: Understanding the factors and processes needed for modeling. *Chil. J. Agric. Res.* 75, 35–44.

- Niego A.G.T., Rapior S., Thongklang N., Raspe O., Hyde K.D., Mortimer P., 2023. Reviewing the contributions of macrofungi to forest ecosystem processes and services. *Fungal Biology Reviews*. 44: 100294.
- Niego, A.G., Rapior, S., Thongklang, N., Raspe, O., Jaidee, W., Lumyong, S., Hyde, K.D., 2021. Macrofungi as a nutraceutical source: promising bioactive compounds and market value. *J. Fungi* 7, 397.
- Niederpruem D.J., 1963. Role of carbon dioxide in the control of fruiting of *Schizophyllum commune*. *J. Bacteriol.* 1963, 85, 1300–1308.
- Noor. 2010. Geomorfology. <https://www.scribd.com>. document.
- Nuske, S.J., Anslan, S., Tedersoo, L., Congdon, B.C., Abell, S.E., 2019. Ectomycorrhizal fungal communities are dominated by mammalian dispersed truffle-like taxa in north-east Australian woodlands. *Mycorrhiza*.
- Ori, F., Menotta, M., Leonardi, M., Amicucci, A., Zambonelli, A., Coves, H., Selosse, M.-A., Schneider-Maunoury, L., Pacioni, G., Iotti, M., 2021. Effect of slug mycophagy on *Tuber aestivum* spores. *Fungal Biol* 125, 796e805
- Osarenkhoe O, John O and Theophilus D. 2014. Ethnomycological Conspectus of West African Mushrooms: An Awareness Document. *Advances in Microbiology*. 4(1):39-54. doi: 10.4236/aim.2014.41008.
- Plett J.M, Martin F., 2011. Blurred boundaries: Lifestyle lessons from ectomycorrhizal fungal genomes. *Trends Genet.* 27, 14–22.
- Pozdnyakova, N.N., 2012. Involvement of the ligninolytic system of white-rot and litter-decomposing fungi in the degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Biotechnol. Res. Int.* 2012, 1e20.
- Pollicelli, N., Horton, T.R., Hudon, A.T., Patterson, T.R., Bhatnagar, J.M., 2020. Back to roots: the role of ectomycorrhizal fungi in boreal and temperate forest restoration. *Front. For. Glob. Chang.* 3, 1e15.
- Pollicelli, N., Horton, T.R., Kitzberger, T., Nuñez, M.A., 2022. Invasive ectomycorrhizal fungi can disperse in the absence of their known vectors. *Fungal Ecol* 55101124.
- Pöschl U, Martin ST, Sinha B, Chen Q, Gunthe SS, Huffman JA, et al. 2010. Rainforest aerosols as biogenic nuclei of clouds and precipitation in the Amazon. *Science*. 329: 1513–1516. pmid:20847268
- Pouska V, Svoboda M, Lepšová A., 2010. The diversity of wood-decaying fungi in relation to changing site conditions in an old-growth mountain spruce forest, Central Europe. *Eur. J. For. Res.* 2010, 129, 219–231.
- Procházka P, Soukupová J, Tomšík K, Jr, Mullen K.J, Cábellová, I., 2023. Climatic Factors Affecting Wild Mushroom Foraging in Central Europe. *Forests*. 14, 382. <https://doi.org/10.3390/f14020382>
- Putra I.P., Nurdebyandaru N., Amelya M.P., Hermawan R., 2022. Review: Current Checklist of Local Names and Utilization Information of Indonesian Wild Mushrooms. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*. 7(3): jtbb71407
- Qu, L., Makoto, K., Choi, D.S., Quoreshi, A.M., Koike, T., 2010. The Role of Ectomycorrhiza in Boreal Forest Ecosystem, pp. 413e425.
- Rashid, M.I., Mujawar, L.H., Shahzad, T., Almeelbi, T., Ismail, I.M.I., Oves, M., 2016. Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. *Microbiol. Res.* 183, 26e41.
- Read, D.J., Perez-Moreno, J., 2003. Mycorrhizas and nutrient cycling in ecosystems – a journey towards relevance? *New Phytol.* 157, 475e492.
- Riley, R., Salamov, A.A., Brown, D.W., Nagy, L.G., Floudas, D., Held, B.W., Levasseur, A., Lombard, V., Morin, E., Otillar, R., Lindquist, E.A., Sun, H., LaButti, K.M., Schmutz, J., Jabbour, D., Luo, H., Baker, S.E., Pisabarro, A.G., Walton, J.D., Blanchette, R.A., Henrissat, B., Martin, F., Cullen, D., Hibbett, D.S., Grigoriev, I.V., 2014. Extensive sampling of basidiomycete genomes demonstrates inadequacy of the white-rot/brown-rot paradigm for wood decay fungi. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 111, 9923e9928.
- Rieux A, Soubeyrand S, Bonnot F, Klein E.K, Ngando J.E, Mehl A, Ravigne V, Carlier J, Luc de Lapeyre B., 2014. Longdistance wind-dispersal of spores in a fungal plant pathogen: Estimation of anisotropic dispersal kernels from an extensive field experiment. *PLoS ONE*. 9, e103225.
- Ritz, K., Young, I.M., 2004. Interactions between soil structure and fungi. *Mycologist* 18, 52e59.
- Rodríguez-Couto, S., 2017. Industrial and environmental applications of white-rot fungi. *Mycosphere* 8, 456e466.
- Roosheroe I.G, Sjamsuridzal W, Oetrai, A. 2006. Mikologi Dasar dan Terapan. Yayasan Pustaka Obor Jakarta, Indonesia.
- Rosenfeld, D., Lohmann, U., Raga, G.B., O’Dowd, C.D., Kulmala, M., Fuzzi, S., Reissell, A., Andreae, M.O., 2008. Flood or drought: how do aerosols affect precipitation? *Science* 321, 1309e1313.
- Royse, D.J., Baars, J., Tan, Q., 2017. Current overview of mushroom production in the world. In: *Edible and Medicinal Mushrooms*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, pp. 5e13.
- Salo, K., Domisch, T., Kouki, J., 2019. Forest wildfire and 12 years of post-disturbance succession of saprotrophic macrofungi (Basidiomycota, Ascomycota). *For. Ecol. Manage.* 451.

- San Antonio J, Thomas, R. 1972. Carbon dioxide stimulation of hyphal growth of the cultivated mushroom, *Agaricus bisporus* (Lange) Sing. *Mushroom Sci.* 8, 623–629.
- Schappe T, Albornoz F.E, Turner B.L, Jones, F.A., 2020. Co-occurring fungal functional groups respond differently to tree neighborhoods and soil properties across three tropical rainforests in Panama. *Microb. Ecol.* 79, 675–685.
- Schmit J.P, Mueller G.M, Leacock P.R, Mata J.L, Wu Q, Huang Y. 2005. Assessment of tree species richness as a surrogate for macrofungal species richness. *Biol Conserv* 121: 99-110.
- Schneider-Maunoury, L., Deveau, A., Moreno, M., Todesco, F., Belmonto, S., Murat, C., Courty, P., Jakalski, M., Selosse, M., 2020. Two ectomycorrhizal truffles, *Tuber melanosporum* and *T. aestivum*, endophytically colonise roots of non-ectomycorrhizal plants in natural environments. *New Phytol.* 225, 2542e2556.
- Schulp, C.J.E., Thuiller, W., Verburg, P.H., 2014. Wild food in Europe: a synthesis of knowledge and data of terrestrial wild food as an ecosystem service. *Ecol. Econ.* 105, 292e305
- Sharma, R., 2017. Ectomycorrhizal mushrooms: their diversity, ecology and practical applications. In: *Mycorrhiza-Function, Diversity, State of the Art*, fourth ed
- Shihab, Q., 2007. *Tafsir almishbah* volume 2. Jakarta: Lentera Hati.
- Sigoillot, J.C., Berrin, J.G., Bey, M., Lesage-Meessen, L., Levasseur, A., Lomascolo, A., Record, E., Uzan-Boukhris, E., 2012. Fungal strategies for lignin degradation. In: *Advances in Botanical Research*. Academic Press Inc., pp. 263e308.
- Singh, J., Kant, K., Sharma, H.B., Rana, K.S., 2008. Bioaccumulation of cadmium in tissues of *Cirrhina mrigala* and *Catla catla*. *Asian J. Exp. Sci.* 22, 411e414.
- Steffen, K.T., Schubert, S., Tuomela, M., Hatakka, A., Hofrichter, M., 2007. Enhancement of bioconversion of high molecular mass polycyclic aromatic hydrocarbons in contaminated non-sterile soil by litter-decomposing fungi. *Biodegradation* 18, 359e369.
- Sufiate, B.L., Soares, F.E. de F., Moreira, S.S., Gouveia, A. de S., Monteiro, T.S.A., Freitas, L.G. de, Queiroz, J.H. de, 2017. Nematicidal action of *Pleurotus eryngii* metabolites. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 12, 216e219.
- Suryadi, H., Judono, J.J., Putri, M.R., Eclessia, A.D., Ulhaq, J.M., Agustina, D.N., Sumiati, T., 2022. Biodelignification of lignocellulose using ligninolytic enzymes from white-rot fungi. *Heliyon* 8e08865.
- Suryanarayanan T.S, Ravishankar J.P, Venkatesan G, Murali T.S. 2004. Characterization of the melanin pigment of a cosmopolitan fungal endophyte. *Mycological research.* 108:974-978.
- Treseder, K.K., Allen, M.F., 2000. Mycorrhizal fungi have a potential role in soil carbon storage under elevated CO₂ and nitrogen deposition. *New Phytol.* 147, 189e200.
- Trudell S.A, Edmonds R.L. 2004. Macrofungus communities correlate with moisture and nitrogen abundance in two old-growth conifer forests, Olympic National Park, Washington, USA. *Can. J. Bot.* 82, 781–800
- Tuo Y.L, Rong N, Hu J.J, Zhao G.P, Wang Y, Zhang Z.H, Qi Z.X, Li Y, Zhang B. 2022. Exploring the Relationships between Macrofungi Diversity and Major Environmental Factors in Wunvfeng National Forest Park in Northeast China. *J. Fungi.* 8, 98.
- Turjaman M., Faulina S.A., Aryanto, Najmulah, Yani A., Hidayat A., 2019. Isolasi, Identifikasi dan Pemnafaatan Fungi yang berasosiasi dengan *Tristaniopsis obovata* (Isolation, identification and utilization of fungi associated with *Tristaniopsis obovata*). *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam.* 16(1): 73-90.
- Uddin, M., Zhang, D., Proshad, R., Haque, M.K., 2020. Role of mushrooms in soil mycoremediation: a review. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.* 26, 460e468
- Vos, A.M., Bleichrodt, R., Herman, K.C., Ohm, R.A., Scholtmeijer, K., Schmitt, H., Lugones, L.G., Wösten, H.A.B., 2021. Cycling in degradation of organic polymers and uptake of nutrients by a litter-degrading fungus. *Environ. Microbiol.* 23, 224e238
- Wang, Z.-G., Bi, Y.-L., Jiang, B., Zhakypbek, Y., Peng, S.-P., Liu, W. W., Liu, H., 2016. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance soil carbon sequestration in the coalfields, northwest China. *Sci. Rep.* 634336.
- Wang J.Q, Shi X.Z, Zheng C.Y, Suter H, Huang Z.Q. 2021. Different responses of soil bacterial and fungal communities to nitrogen deposition in a subtropical forest. *Sci. Total Environ.* 755, 142449.
- Wayking, S., 2021. What deciduous forest animals eat mushrooms? [WWW Document]. *Wild Sky Media*. URL <https://ani.mals.mom.com/deciduous-forest-animals-eat-mushrooms-11375.html>. . accessed 5.31.21.
- Weiβbecker, C., Heintz-Buschart, A., Bruelheide, H., Buscot, F., & Wubet, T., 2019. Menghubungkan sifat umum jamur tanah dengan kekayaan pohon di hutan muda subtropis Tiongkok. *Mikroorganisme*, 7 (11), 547
- Xie, C., Gong, W., Zhu, Z., Zhou, Y., Xu, C., Yan, L., Hu, Z., Ai, L., Peng, Y., 2021. Comparative secretome of white-rot fungi reveals co-regulated carbohydrate-active enzymes associated with selective ligninolysis of ramie stalks. *Microb. Biotechnol.* 14, 911e922.

- Yao F, Yang S, Wang Z, Wang X, Ye J, Wang X, Debruyne J.M, Feng X, Jiang Y, Li H., 2017. Microbial Taxa distribution is associated with ecological trophic Cascades along an elevation gradient. *Front. Microbiol.* 8, 2071
- Yadav, P., Rai, S.N., Mishra, V., Singh, M.P., 2021. Mycoremediation of environmental pollutants: a review with special emphasis on mushrooms. *Environ. Sustain.* 4, 605e618
- Ye, L., Li, H., Mortimer, P., Xu, J., Gui, H., Karunarathna, S.C., Kumar, A., Hyde, K.D., Shi, L., 2019. Substrate preference determines macrofungal biogeography in the Greater Mekong sub-region. *Forests* 10, 824.
- Yu H, Wang T, Skidmore A, Heurich M & Bässler C. 2023. How future climate and tree distribution changes shape the biodiversity of macrofungi across Europe. *Diversity and Distributions*, 00, 1–17. <https://doi.org/10.1111/ddi.13688>
- Yusran Y**, Erniwati E, Wahyuni D, Ramadhanil R, Khumaidi A. 2021. Diversity of macro fungus across three altitudinal ranges in Lore Lindu National Park, Central Sulawesi, Indonesia and their utilization by local residents. *Biodiversity*. 22. 199-210, 10.13057/biodiv/d220126
- Yusran Y**, Erniwati E, Khumaidi A, Pitopang R, Rahmawati R, Korja I.N, Labiro E, Rukmi R, Muthmainnah M, Maksum H, Setyawati R., 2022a. Diversity of Macro Fungus Species in Several Types of Land Use Around Lore Lindu National Park, Central Sulawesi, Indonesia. *Int. J. Des. Nat. Ecodyn.* 17. 341-351, 10.18280/ijdne.170303
- Yusran Y**, Erniwati E, Khumaidi A, Setiarto R.H.B., 2022b. Effect of Cooking on the Proximate Composition and Minerals Content of Wild Edible Macro Fungi from Lore Lindu National Park, Central Sulawesi, Indonesia. *African. J. Food Agric. Nutr. Dev.* 22. 20523-20541, 10.18697/ajfand.110.21660
- Yusran Y**, Erniwati E, Khumaidi A, Pitopang R, Jati I.R.A.P., 2023. Diversity of substrate type, ethnomycology, mineral composition, proximate, and phytochemical compounds of the *Schizopyllum commune* Fr. in the area along Palu-Koro Fault, Central Sulawesi, Indonesia. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 30(4): 103593.
- Yusran Yusran.**, Erniwati Erniwati., Akhmad Khumaidi., Rukmi Rukmi, Sustru Sustru. 2024. Ethnomycological Study of Macrofungi Utilized by Pamona Communities Around Lake Poso, Central Sulawesi Province, Indonesia. *Jordan Journal of Biological Sciences*. (*Accepted and Published in March 2024*).
- Zak, D.R., Pellitier, P.T., Argiroff, W., Castillo, B., James, T.Y., Nave, L.E., Averill, C., Beidler, K.V., Bhatnagar, J., Blesh, J., Classen, A.T., Craig, M., Fernandez, C.W., Gundersen, P., Johansen, R., Koide, R.T., Lilleskov, E.A., Lindahl, B.D., Nadelhoffer, K.J., Phillips, R.P., Tunlid, A., 2019. Exploring the role of ectomycorrhizal fungi in soil carbon dynamics. *New Phytol.* 223, 33e39
- Zhang T, Wang N, Liu H, Zhang Y, Yu L., 2016. Soil pH is a key determinant of soil fungal community composition in the Ny-Ålesund Region, Svalbard (High Arctic). *Front. Microbiol.* 7, 227
- Zhao R., 2023. Edible and Medicinal Macrofungi. *J. Fungi*. 9(9), 908

Personal Data



Name : Prof. Dr.sc.agr. Ir. Yusran.,SP.,MP
Place and Date of Birth : Binangga, 1 Januari 1974
Address (office) : Forestry Faculty, Tadulako University
Jl. Soekarno-Hatta Km.9, Tondo, Palu, Sulawesi Tengah,
Indonesia 94118
Address (Home) : Jl. Ki Hajar Dewantara No.10-B, Kelurahan Besusu Timur,
Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia 94111
Email address : yyusranyusran610@gmail.com; yusran@untad.ac.id
Marrital Status : Married
Wife : Dr. Ratna Setyawati.,Sp.PA.,M.Kes
Childrens : 1. Raffa Rezky Aprilio Yusran
2. Nadya Rizky Violeta Ames Yusran
3. Kenzie Attaya Zeshan Yusran

Education

Elementary School : SD Negeri 1 Binangga, Marawola, Kabupaten Sigi (1987)
Secondary School : SMP Negeri Binangga., Marawola, Kabupaten Sigi (1990)
High School : SPP SPMA Al-Khairaat Poso, Kabupaten Poso (1993)
Undergraduate : Tadulako University, Palu-Central Sulawesi, Indonesia (1999)
Graduate (Master) : Mulawarman University, Samarinda-East Kalimantan, Indonesia (2002)
Graduate (Doctor) : Hohenheim University, Stuttgart-Germany (2009)
Post Doctoral : Iowa State University of Science and Technology, Iowa, USA (2011)
Hohenheim University, Stuttgart-Germany (2012)

Career Background

1. Lecturer/Researcher; Tadulako University, Indonesia (1 December 2002 up to now)
2. Secretary of Study Program : D2 Pembinaan Hutan
3. Secretary of Study Program : S1 Budidaya Hutan (Silvikultur) (2004-2006)
4. Secretary of Centre for Tropical Forest Margin (CTFM), Tadulako University (2011)
5. Secretary of UPT. Herbarium Celebence (2010-2011)
6. Vice of Dean for Academics : Forestry Faculty, Tadulako University, Indonesia (2014-2018)
7. Member of the University Senat (2019-2023)
8. Current Position : Member of the University Senat (2023-2027)

Postdoctoral & Trainings

1. Postdocotoral : Iowa State University of Science & Technology, USA (2011)
2. Short Research: Hohenheim University, Stuttgart, Germany (2012)
3. Training on Macrofungi Identification, Herbarium of Harry D. Thiers, Biology Department, San Fransisco State University, California-USA (2011)

4. Environmental case studies in Europe ``Ecological management in Disaster areas'', Faculty of Forestry and Environment, Czech University of Life Sciences, Prague (CULS)-Czech Republic (2008).
5. Rhizotechnology for enhancing resource efficiency in low-input farming/IP Socrates course, BOKU University, Vienna-Austria (2007).
6. Pathogens, parasites, and their hosts: Ecology, Molecular Interactions and evolution. Phytomedicine Institute, Hohenheim University, Stuttgart Germany (2007).
7. Soil chemistry and common methods of plant nutrition research. Institute for Plant Nutrition, Universität Hohenheim, Stuttgart – Germany (2007).
8. Program, Pemodelan dan simulasi faktor-faktor lingkungan dan pertanian, IPB, Bogor (2004).
9. Pengujian Toksisitas Extract Tanaman Asli Indonesia, Universitas Hasanuddin, Makassar (2004).
10. Deteksi Kontaminasi Wilayah Perairan Secara Biologis, Universitas Hasanuddin, Makassar (2003).

Rank & Fungsional Position History in University

Golongan	Pangkat	Nomor SK	Tanggal SK	TMT
III/b	Penata Tingkat I	853/J28/KP/2003	13-03-2003	01-12-2002
III/c	Penata	428/J28/KP/2007	19-01-2007	01-10-2006
III/d	Penata Tingkat I	1531/H28/KP/2009	12-03-2009	01-10-2008
IV/a	Pembina	114452/A4.3/KP/2012	30-10-2012	01-10-2012

Jabatan	Nomor SK	Tanggal SK	TMT	Angka Kredit
Asisten Ahli	2141/J28/KP/2004	01-05-2004	01-05-2004	142.5
Lektor	1183/J28/KP/2006	01-04-2006	01-04-2006	301
Lektor Kepala	37731/A4.3/KP/2012	30-05-2012	01-06-2012	451.13
Profesor	47273/M/07/2023	31-08-2023	01-08-2023	860.7

Professional Memberships

1. The American Phytopathological Society (APS)
2. International Mycorrhiza Society (IMS)
3. Asosiasi Mikoriza Indonesia (AMI)
4. Masyarakat Silvikultur Indonesia (MasSI)
5. International Society of Organic Agriculture Research (ISO FAR)
6. Indonesian Wood Researcher Society (IWoRS)
7. Masyarakat Biodiversitas Indonesia (MBI)
8. Masyarakat Bioinformatika dan Biodiversitas Indonesia (MABBI)

Research Interest

1. Microbiology
2. Ethnomycology
3. Ethnobotany

4. Organic Foods
5. Biofertilizer/Biopesticide
6. Plant Pathology
7. Plant-soil-microbes interactions
8. Agroforestry
9. Biomassa

Research Grants and Community Services (8 years)

1. Fundamental Research (Penelitian Fundamental) 2015-2016 project.
2. Higher Education Excellence Applied Research (Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi) 2017-2019 Project.
3. National Strategy Excellence Research (Penelitian Unggulan Strategi Nasional) 2016-2018 Project.
4. Excellence Research (Penelitian Unggulan) (2022).
5. Excellence Research (Penelitian Unggulan) (2023).
6. Innovation Research for Advanced Indonesia (Riset Inovasi untuk Indonesia Maju/RIIM-BRIN) 2024-2025 project.
7. Development Program of Patner Village (Program Pengembangan Desa Mitra) 2016-2018 Project.
8. Wira Desa Program 2021 (Student supervisor for community services project).

Academic Profil

1. Academia
2. Orcid (0000-0003-1385-0410)
3. Google Scholar
4. Research Gate
5. Scopus (57215930311)
6. Sinta (6008609)

H-Index

1. Google Scholar (10)
2. Scopus (5)
3. Sinta

Invited Reviewer in Scientific Internasional & National Journals

1. Jordan Journal of Biological Sciences
2. Aceh International Journal of Science and Technology
3. Jurnal Hutan Tropis
4. Jurnal Penelitian Kehutanan Bonita

Seminar/Conference/Symposium/Invite lecturer

1. **Yusran Yusran.**, Ramadhanil Ramadhanil, Akhmad Khumaidi. 2015. Diversity of Mushroom at Some Land Use Type Around Lore Lindu National Park Central Sulawesi, Indonesia. XVII Congress of European Mycologists. 21- 25 September 2015 di Funchal, Portugal.
2. **Yusran Yusran.**, Erniwati Erniwati, Ramadhanil Ramadhanil, Akhmad Khumaidi. 2016. Nutritional composition of some wild mushrooms consumed by indigenous people around the Lore Lindu National Park, Central Sulawesi, Indonesia. International Conference on Biodiversity. August 20, 2016. Gorontalo.
3. **Yusran Yusran.**, Ramadhanil., Akhmad Khumaidi. 2016. Jenis-Jenis Jamur Yang Berpotensi Sebagai Bahan Pangan dan Obat-obatan Di Sekitar Taman Nasional Lore Lindu (Studi Kasus Desa Toro Kecamatan Kulawi Kabupaten Sigi Sulawesi Tengah). Seminar Nasional Silvikultur IV. Balikpapan, 19-20 Juli 2016.
4. Rizky Purnama, **Yusran Yusran**, Muslimin. 2016. Daya hambat *Trichoderma harzianum* terhadap *Fusarium sp.* Patogen penyebab rebah semai (Damping off) dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan semai Nyatoh (*Palaquium sp.*)
5. **Yusran Yusran.**, Erniwati Erniwati, Ramadhanil Ramadhanil, Akhmad Khumaidi. 2017. Diversity of Macrofungi in Moist Temperate Forest of Lore Lindu National Park Central Sulawesi, Indonesia. 4th International Conference on Agriculture and Forestry (ICOAF). 24 – 25 August 2017, Colombo, Sri Lanka.
6. **Yusran Yusran.**, Erniwati Erniwati, Ramadhanil Ramadhanil, Akhmad Khumaidi. International Conference on Tropical Agrifood, Feed and Fuel (ICTAFF). 2018. Diversity of Macro Fungi at Some Land Use Types Around Pangi Binangga Nature Reserve Central Sulawesi and Its Food and Medicinal Uses. 13 November 2018, Samarinda, East Kalimantan.
7. **Yusran Yusran.**, Erniwati Erniwati., Akhmad Khumaidi., 2019. Jenis-Jenis Kayu Tempat Tumbuh Jamur Pangan Liar *Schizophyllum commune* Pada Kawasan Hutan Di Sepanjang Patahan Palu-Koro Sulawesi Tengah. Seminar Nasional Silvikultur VII. Medan, 2-3 Agustus 2019
8. **Yusran Yusran.**, Erniwati Erniwati, Ramadhanil Ramadhanil, Akhmad Khumaidi. 2019. Nutritional and Pharmaceutical value of edible wild mushrooms collected from Lore Lindu National Park and Pangi Binangga Nature Reserve, Central Sulawesi, Indonesia. 16th ASEAN Food Conference 2019. 15-18 October 2019, Denpasar-Bali.

International Journal Publications (3 Years)

1. **Yusran Yusran**, Erniwati E., D Wahyuni., Ramadhanil R., A Khumaidi., 2021. Diversity of Macro Fungus across three altitudinal ranges in Lore Lindu National Park, Central Sulawesi, Indonesia and their utilization by local residents. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 22(1):199-210. (Indexed by Scopus, SJR 0.33).
2. Ramadhanil Pitopang, Agung Tri Atmoko, **Yusran Yusran**, Wardah Wardah, Sudarkam Mertosono, Panji Anom Ramawangsa., 2021. Plant diversity in agroforestry system and its traditional use by three different ethnics in Central Sulawesi Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 886.(Indexed by Scopus).

3. **Yusran Yusran**, Erniwati Erniwati1, Akhmad Khumaidi, Ramadanil Pitopang, Rahmawati Rahmawati1, I Nengah Korja1, Elhayat Labiro, Rukmi Rukmi, Muthmainnah Muthmainnah, Haerani Maksum, Ratna Setyawati., 2022. Diversity of Macro Fungus Species in Several Types of Land Use Around Lore Lindu National Park, Central Sulawesi, Indonesia. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*. 17(3):341-351. (Indexed by Scopus, SJR 0.22).
4. **Yusran Y.**, Erniwati E., A Khumaidi., Haerani Maksum., R Haryo Bimo Setiarto., 2022. The effect of cooking on the composition of proximate and mineral contents of wild edible macro fungi origin from Lore lindu National Park, Central Sulawesi Indonesia. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*. 22(5): 20523-20541. (Indexed by Scopus, SJR 0.18).
5. **Yusran Y**, Wardah Wardah, Annadira Annadira, Husain Umar, and Rukmi Rukmi. Mycorrhizal status of *Diospyros celebica* Bakh. (Ebenaceae), an endangered endemic species from Sulawesi Island, Indonesia. *Forestry Ideas*. 28(2):352-369. (Indexed by Scopus, SJR 0.17).
6. Retno Wulandari, **Yusran Y**. 2022. Dewi Wahyuni. Mycorrhizal Status of Several Plants and Soil Characteristics around the Poboya Gold Mining Area, Palu City, Central Sulawesi, Indonesia. *International Journal of Agriculture and Biological Sciences*. 6: December. (Indexed by Copernicus). (Corresponding author).
7. I Nengah Korja, Rahmawati Rahmawati, Kartika Megawati, Rahmawati Rahmawati, Sustri Sustri, **Yusran Yusran**. 2022. The Diversity of *Nepenthes* Species and Their Rhizosphere Soil Properties around the Lore Lindu National Park Area, Central Sulawesi, Indonesia. *International Journal of Agriculture and Biological Sciences*. 6: December. (Indexed by Copernicus). (Corresponding author).
8. **Yusran Yusran**, Erniwati Erniwati, Akhmad Khumaidi, Ramadanil Pitopang, Ignatius Radix A.P Jati. 2023. Diversity of Substrate Type, Ethnomycology, Mineral Composition, Proximate, and Phytochemical Compounds of the *Schizopyllum commune* Fr. in the area along Palu-Koro Fault, Central Sulawesi, Indonesia. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 30(2003). 103593. (Indexed by Scopus/Elsevier, SJR 0.70).
9. **Yusran Y** , 2023. Isolation and screening of *Pseudomonas fluorescens* isolates against *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* and their effects on seedling growth of *Paraserianthes falcataria*. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 24(4):2294-2301. (Indexed by Scopus, SJR 0.33).
10. Rahmawati R., **Yusran Y.**, Megawati K., 2023. Arbuscular mycorrhizal fungi status of *Nepenthes* spp. around Lore Lindu National Park, Central Sulawesi, Indonesia. *Forestry Ideas*. 29(1):94-108. (Indexed by Scopus, SJR 0.17). (Corresponding author).
11. Rukmi R., Labiro E., Rosyid A., **Yusran Y.**, Mowidu I., 2023. Potential, Distribution Pattern and Autecology of *Diospyros celebica* Bakh. in the Maleali Seed Stand Area, Central Sulawesi, Indonesia. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*. 17(3):341-351. (Indexed by Scopus, SJR 0.22).
12. Ramadanil Pitopang, **Yusran Yusran**. 2023. An Etnomedicinal research of medicinal plants used against gastrointestinal complaints by Kaili Ledo Ethnic in Central Sulawesi. *Proceeding of The 13th International Conference on global resource conservation (ICGRC)* indexed by Scopus. *In press*
13. I Nengah Korja, Sri Ningsih Malombasang., Naharuddin., **Yusran Y.**, Rukmi Rukmi., Helsiyanti Yusrin., 2023. Invasive Plant Species Diversity in Nanggala III Nature Tourism

Park, South Sulawesi, Indonesia. International Journal of Design & Nature and Ecodynamics. *Accepted (Published in October 2023)*. (Indexed by Scopus, SJR 0.22).

14. **Yusran Yusran.**, Erniwati Erniwati., Akhmad Khumaidi., Rukmi Rukmi, Sustru Sustru. 2024. Ethnomycological Study of Macrofungi Utilized by Pamona Communities Around Lake Poso, Central Sulawesi Province, Indonesia. Jordan Journal of Biological Sciences. *(Accepted and Published in March 2024)*. (Indexed by Scopus, SJR 0.26).
15. Ariyanti Ariyanti., **Yusran Yusran.**, Aji Yusril., Erniwati Erniwati., Abdul Hapid, Hamzari Hamzari., Muthmainnah Muthmainnah., Rahmawati Rahmawati., 2023. Resistance of teak wood (*Tectona grandis* Linn.f) against attacks of some wood-decay fungus based on the vertical of the wood part in the logs. International Journal of Design & Nature and Ecodynamics. *(Under reviewed)*. (Indexed by Scopus, SJR 0.22). (Corresponding author).

Books

No.	Judul Buku	Tahun	Jumlah Halaman	Penerbit
1.	Makrofungi Wallacea : Biodiversitas, Etnomikologi dan Bioteknologi (Wallacea Macrofungi: Biodiversity, Ethnomycology and Biotechnology)	2023	112	Media Sains Indonesia. ISBN.978-623-195-198-4

Awards & HAKI

1. Fulbright Scholarship Program 2011
2. DAAD scholarship Program 2012
3. The Best Poster (Seminar Hasil Program Riset Dasar (Penelitian Fundamental), Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, Tahun 2017)
4. Tanda Jasa Satya Lencana 10 Tahun (2015)
5. No. P/ID : 000245274 (Pertumbuhan Dan Serapan Hara Tajuk Beberapa Jenis Legum Dengan Aplikasi *Rhizobium* Pada Media Tanah Ultisol).

Palu, October 16, 2023

Signature,



Prof. Dr.Sc.Agr.Ir.Yusran.,SP.,MP



Keluarga Prof. Dr.Sc.Agr. Ir. Yusran.,SP.,MP