



Analisis Metabarcoding ITS Plastifer dari Tempat Pembuangan Akhir Bukit Meusara Jantho Aceh Besar: Upaya Mitigasi Orangutan Sumatra (*Pongo abelii*) dari Risiko Cemaran Mikroplastik

¹Pingkan Napisyah, ²Syafrina Sari Lubis

^{1,2}Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh, Aceh, Indonesia.

*Corresponding Author: syafrinasarilbs@ar-raniry.ac.id

Received: November 2025; Revised: November 2025; Accepted: December 2025; Published: December 2025

Abstrak: Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi keanekaragaman fungi pengkolonisasi plastik (plastifer) di TPA Bukit Meusara Jantho Aceh Besar, yang berjarak 5-8 KM dari pusat rehabilitasi Orangutan Sumatera (*Pongo abelii*) dengan pendekatan metabarcoding menggunakan platform Nanopore. Hasil analisis diperoleh 143 OTUs dari 81.414 sekuens dengan indeks Shannon 2,77 yang menunjukkan keanekaragaman fungi pada plastifer tinggi. Komunitas fungi didominasi oleh Ascomycota (83,2%), terutama kelas Sordariomycetes (51,7%). Spesies dominan meliputi *Mycothermus thermophilus* (9-10%), *M. thermophiloides* (6%), *Brocciosphaera bulbiformis* (5%), dan *Thermomyces lanuginosus* (4%). Fungi termofilik yang teridentifikasi diketahui menghasilkan enzim lakase, cutinase, lignin peroksidase, dan mangan peroksidase yang berpotensi mendegradasi plastik PET, PS, dan polimer biodegradable. Penelitian ini memberikan data baseline keanekaragaman plastifer indigenous yang dapat dikembangkan sebagai konsorsium bioremediasi untuk mitigasi pencemaran mikroplastik di kawasan konservasi orangutan Sumatera.

Kata kunci: Mikroplastik; plastifer; metabarcoding ITS; konservasi orangutan

Abstract: This study aims to identify the diversity of plastic-colonizing fungi (plastisphere) at the Bukit Meusara Landfill in Jantho, Aceh Besar, located 5-8 km from the Sumatran Orangutan (*Pongo abelii*) rehabilitation center, using a metabarcoding approach with the Nanopore platform. Analysis results revealed 143 OTUs from 81,414 sequences with a Shannon index of 2.77, indicating high fungal diversity in the plastisphere. The fungal community was dominated by Ascomycota (83.2%), particularly the class Sordariomycetes (51.7%). Dominant species included *Mycothermus thermophilus* (9-10%), *M. thermophiloides* (6%), *Brocciosphaera bulbiformis* (5%), and *Thermomyces lanuginosus* (4%). The identified thermophilic fungi are known to produce enzymes such as laccase, cutinase, lignin peroxidase, and manganese peroxidase, which have potential for degrading PET, PS plastics, and biodegradable polymers. This study provides baseline data on indigenous plastisphere diversity that can be developed as a bioremediation consortium for mitigating microplastic pollution in Sumatran orangutan conservation areas.

Keywords: Microplastic; plastifer; ITS metabarcoding; orangutan conservation

How to Cite: Napisyah, P., & Lubis, S. S. (2025). Analisis Metabarcoding ITS Plastifer dari Tempat Pembuangan Akhir Bukit Meusara Jantho Aceh Besar: Upaya Mitigasi Orangutan Sumatra (*Pongo abelii*) dari Risiko Cemaran Mikroplastik. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 13(4), 3040–3052.
<https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i4.18468>



<https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i4.18468>

Copyright© 2025, Napisyah et al

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) License.



PENDAHULUAN

Pencemaran plastik telah menjadi krisis lingkungan global dengan produksi tahunan mencapai 400 juta ton dan akumulasi limbah plastik di ekosistem terestrial maupun akuatik (Malankowska *et al.*, 2021). Fragmentasi plastik menjadi mikroplastik (partikel <5 mm) meningkatkan mobilitas dan bioavailabilitas polimer sintesis dalam rantai makanan. Mikroplastik telah terdeteksi dalam jaringan berbagai organisme mulai dari invertebrata hingga mamalia besar, termasuk primata (Thamsenanupap *et al.*, 2024). Kontaminasi mikroplastik menimbulkan ancaman serius melalui gangguan fisiologis seperti inflamasi saluran pencernaan, ketidakseimbangan mikrobioma dan paparan senyawa toksik dari aditif plastik seperti BPA dan phthalates (Obeng *et al.*,

2025). Tempat pembuangan akhir (TPA) menjadi hotspot utama pembentukan dan dispersi mikroplastik ke ekosistem sekitar melalui aliran leachate dan transfer trofik.

Menghadapi kompleksitas pencemaran mikroplastik, pendekatan bioremediasi melalui pemanfaatan mikroorganisme indigenous menawarkan alternatif pengelolaan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Plastifer (*Plastic – colonizing fungi*) merupakan konsorsium fungi yang mengkolonisasi dan mendegradasi material plastik, (Febrianti *et al.*, 2023). Fungi memiliki keunggulan struktural berupa hifa filamentosa yang mampu menembus permukaan plastik, serta sistem enzim ekstraseluler kompleks seperti lakase, peroksidase, cutinase, dan esterase yang dapat memecah ikatan polimer sintesis (Elisabetta *et al.*, 2022). Genus fungi seperti *Aspergillus*, *Penicillium*, *Thermomyces*, *Mycothermus* dan *Geotrichum* telah terdokumentasi mendegradasi berbagai jenis plastik dengan efisiensi bervariasi (Khatua *et al.*, 2024). Karakterisasi komunitas plastifer indigenous di TPA dapat mengungkap potensi bioremediasi alami yang mengurangi beban mikroplastik sebelum terdispersi ke ekosistem sekitar.

Meskipun potensi degradatif fungi telah dibuktikan dalam studi laboratorium, pemahaman tentang keanekaragaman plastifer di lingkungan alami, khususnya di TPA tropis, masih sangat terbatas. Lebih dari 99% mikroorganisme tidak dapat dikultur secara konvensional, sehingga pendekatan molekuler seperti metabarcoding menjadi esensial untuk mengungkap diversitas sebenarnya (Li & Zhang, 2025). Karakterisasi plastifer di TPA yang berlokasi dekat kawasan konservasi satwa terancam belum banyak dilakukan meskipun memiliki nilai strategis untuk mitigasi risiko ekologi jangka panjang. Pengaruh kondisi lingkungan tropis dengan suhu tinggi dan kelembaban fluktuatif terhadap struktur komunitas plastifer belum terkarakterisasi dengan baik.

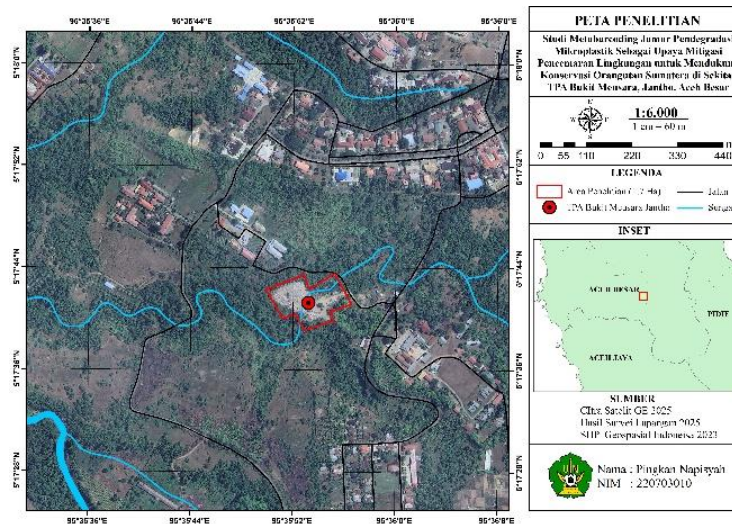
TPA Bukit Meusara di Jantho, Aceh Besar, mengelola volume sampah mencapai 100 ton per hari dengan sistem open dumping tanpa pengolahan memadai. TPA ini berlokasi di kawasan yang berbatasan dengan habitat Orangutan Sumatera (*Pongo abelii*), primata kritis endemik dengan populasi kurang dari 14.000 individu (Anca & Wallis, 2024). Lokasi TPA menciptakan risiko dispersi mikroplastik ke habitat satwa melalui aliran leachate yang bermuara ke sungai riparian dan transfer trofik dalam rantai makanan lokal. Kontaminasi mikroplastik di sungai-sungai regional mengindikasikan dispersi luas polimer sintesis dalam sistem akuatik (Arahman *et al.*, 2024). Mikroplastik dapat menempel pada buah dan vegetasi yang dikonsumsi Orangutan, atau terakumulasi dalam invertebrata yang menjadi pakan alternatif. TPA Bukit Meusara merepresentasikan ekosistem unik dengan kondisi tropis yang menciptakan niche ekologi spesifik untuk komunitas plastifer indigenous, namun belum pernah dikarakterisasi secara molekuler.

Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi keanekaragaman plastifer di TPA Bukit Meusara menggunakan *metabarcoding Internal Transcribed Spacer* (ITS) untuk mengidentifikasi komunitas fungi yang berpotensi mendegradasi mikroplastik. Karakterisasi taksonomi komprehensif dilakukan untuk mengungkap komposisi filum, kelas, genus, dan spesies dominan, serta menilai diversitas komunitas menggunakan indeks ekologi. Kebaruan penelitian ini terletak pada aplikasi metabarcoding ITS pertama kali untuk karakterisasi plastifer di TPA tropis Indonesia, identifikasi komunitas plastifer indigenous di kawasan yang berbatasan dengan habitat satwa endemik terancam, dan integrasi pendekatan bioremediasi dengan konservasi keanekaragaman hayati. Data baseline yang dihasilkan memberikan dasar ilmiah untuk pengembangan strategi bioremediasi in-situ yang dapat mengurangi beban mikroplastik di sumber pencemar dan mendukung upaya konservasi Orangutan Sumatera (*Pongo abelii*).

METODE

Pengambilan Sampel

Penelitian dilaksanakan di TPA Bukit Meusara, Gampong Bukit Meusara, Kecamatan Kota Jantho, Kabupaten Aceh Besar (5.294609-5.295203°LS dan 95.597888-95.598410°BT) pada Juni 2025. Analisis laboratorium dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry dan Laboratorium Integrated Genome Factory (IGF), Universitas Gadjah Mada.



Gambar 1. Peta lokasi TPA Bukit Meusara, Kota Jantho Kabupaten Aceh Besar

Pengambilan sampel dilakukan menggunakan metode purposive composite sampling (Campbell *et al.*, 2020). Empat titik sampling ditetapkan berdasarkan representasi kondisi degradasi plastik yang berbeda (tingkat dekomposisi tinggi, sedang, rendah, dan area tepi TPA) untuk menangkap variabilitas komunitas plastifer. Jarak antar titik pengambilan sekitar 6 meter ditentukan berdasarkan zona heterogenitas substrat plastik di area TPA yang terbatas ($\pm 50 \times 50$ meter zona aktif), memastikan independensi sampel namun tetap dalam satu ekosistem TPA. Sampel plastik terdegradasi beserta tanah melekat diambil pada kedalaman 5-15 cm sebanyak 250 gram menggunakan sekop steril. Kriteria sampel meliputi plastik dengan indikator degradasi fisik (perubahan warna, tekstur rapuh, penipisan ketebalan) dan kondisi kelembaban bervariasi akibat proses dekomposisi. Setiap sampel disimpan dalam wadah steril dan ditransportasikan dalam cool box ke laboratorium untuk analisis molekuler.

Pengukuran Parameter Lingkungan

Parameter lingkungan diukur in-situ pada setiap titik sampling mengikuti metode standar pengukuran tanah (Vogel *et al.*, 2024). Parameter yang diukur meliputi pH tanah (pH meter digital terkalibrasi), kelembaban tanah (moisture meter digital pada kedalaman 5-15 cm), dan suhu tanah (termometer batang digital hingga kedalaman 15 cm). Pengukuran dilakukan pada pagi hari (08:00-10:00 WIB) untuk konsistensi kondisi lingkungan. Semua parameter diukur dalam triplikat dan hasil rata-rata dicatat untuk karakterisasi kondisi mikrohabitat plastifer.

Analisis Molekuler dan Bioinformatika

Ekstraksi DNA

Ekstraksi DNA total dilakukan menggunakan ZymoBIOMICS™ DNA Miniprep Kit mengikuti protokol manufaktur (Zeghal *et al.*, 2024). Sampel plastik dengan tanah

melekat dilisis menggunakan metode bead beating, supernatan difilter, DNA diikat dan dicuci menggunakan buffer spesifik, kemudian dielusi dengan air bebas DNase/RNase. Kualitas DNA diperiksa menggunakan spektrofotometer dengan rasio A260/A280 ideal 1,8-2,0.

Amplifikasi PCR

Amplifikasi gen Internal Transcribed Spacer (ITS) dilakukan menggunakan primer universal ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') dan ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') untuk identifikasi fungi. Reaksi PCR menggunakan GoTaq Green Master Mix dengan program: denaturasi awal 95°C/2 menit, 35 siklus (denaturasi 95°C/30 detik, annealing 55°C/30 detik, ekstensi 72°C/45 detik), dan ekstensi akhir 72°C/5 menit. Keberhasilan amplifikasi diverifikasi menggunakan elektroforesis gel agarosa 1,5% untuk mengkonfirmasi ukuran target ± 500 -750 bp sesuai karakteristik gen ITS fungi.

Sekuensing dan Analisis Bioinformatika

Produk PCR terverifikasi disekuensing menggunakan platform Oxford Nanopore di Laboratorium IGF, Universitas Gadjah Mada. Data sekuensing (.fastq) dianalisis menggunakan pipeline EPI2ME untuk identifikasi taksonomi awal dengan membandingkan urutan ITS terhadap basis data UNITE (Kõljalg et al., 2013). Analisis lanjutan dilakukan menggunakan QIIME2 (Bolyen et al., 2019) untuk quality filtering, clustering sekuens menjadi Operational Taxonomic Units (OTUs) dengan threshold similarity 97%, dan klasifikasi taksonomi menggunakan UNITE database v9.0 sebagai referensi. Identifikasi spesies fungi berdasarkan persentase kesamaan $\geq 97\%$ dianggap sebagai identifikasi tingkat spesies, 95-97% untuk genus, dan $< 95\%$ untuk tingkat taksonomi lebih tinggi.

Analisis Data

Data hasil sekuensing dianalisis secara deskriptif untuk mengidentifikasi komposisi dan keanekaragaman plastifer. Indeks keanekaragaman dihitung menggunakan Shannon diversity index (H') untuk menilai diversitas, Simpson's diversity index (D) untuk probabilitas dominansi, dan Pielou's evenness (J') untuk pemerataan distribusi komunitas (Jacquin et al., 2021). Identifikasi kemampuan degradasi plastik masing-masing takson fungi dilakukan berdasarkan tinjauan literatur terkait aktivitas enzimatis (lakase, peroksidase, cutinase, esterase) dan studi degradasi plastik sebelumnya. Analisis difokuskan pada parameter meliputi keanekaragaman filum, keragaman genus, kelimpahan relatif 10 genus dominan. Hasil disajikan dalam bentuk tabel komposisi taksonomi dan grafik keanekaragaman untuk visualisasi struktur komunitas plastifer.

HASIL

Parameter Lingkungan Lokasi Sampling

Parameter lingkungan diukur pada empat titik sampling di TPA Bukit Meusara untuk karakterisasi kondisi mikrohabitat plastifer (Tabel 1).

Tabel 1. Parameter lingkungan di empat titik sampling TPA Bukit Meusara

Parameter	Rentang Nilai	Rata-Rata SD
pH Tanah	5,0 – 6,8	6,0 $\pm$ 0,8
Suhu Tanah (°C)	30 - 34	32,5 $\pm$ 1,8
Kelembaban (skala 1-10)	1 - 8	4,0 $\pm$ 3,1

Data kondisi lingkungan di Tabel 1 menunjukkan pH tanah berkisar 5,0-6,8 (rata-rata 6,0 $\pm$ 0,8), suhu tanah 30-34°C (rata-rata 32,5 $\pm$ 1,8°C), dan kelembaban tanah

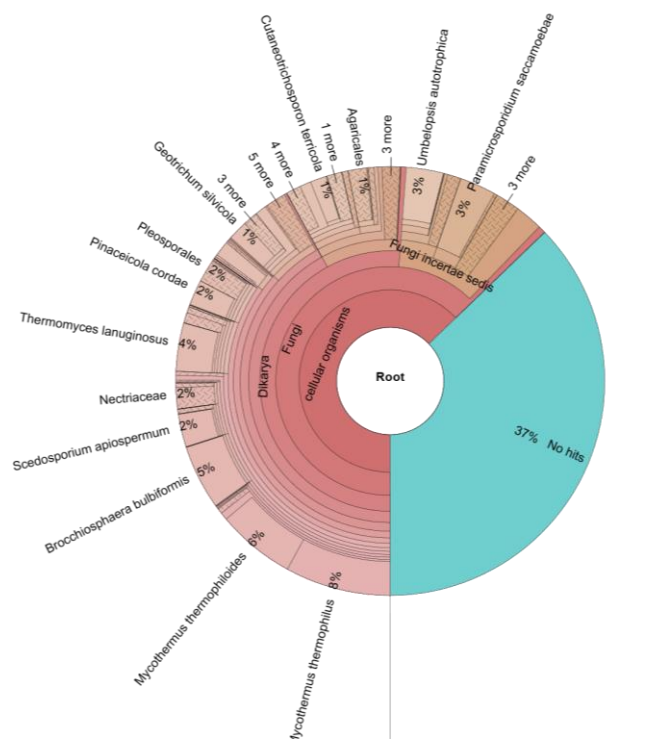
bervariasi antara skala 1-8 (rata-rata $4,0 \pm 3,1$). Variasi parameter ini mencerminkan heterogenitas mikrohabitat yang dipengaruhi oleh tumpukan sampah, sistem drainase alami, dan paparan lingkungan yang tidak merata di lokasi TPA.

Parameter fisik-kimia lingkungan memainkan peran penting dalam membentuk struktur komunitas dan aktivitas degradatif plastifer. Rentang pH 5,0-6,8 yang terukur berada dalam kondisi optimal untuk aktivitas enzim ekstraseluler seperti lakase (pH optimum 4,5-6,5) dan peroksidase (pH optimum 5,0-7,0) yang berperan dalam depolimerisasi polimer plastik (Alshammery *et al.*, 2025). Suhu tinggi (30-34°C) yang khas lingkungan tropis mempercepat laju metabolisme fungi dan meningkatkan efisiensi katalitik enzim degradatif (Rüthi *et al.*, 2023).

Variasi kelembaban tanah (skala 1-8) menciptakan niche ekologi yang beragam. Kondisi lembab memfasilitasi pertumbuhan vegetatif hifa dan aktivitas enzim hidrolitik, sementara kondisi kering memicu respons stres yang meningkatkan produksi enzim oksidatif dan pembentukan struktur resistensi (Bogati & Walczak, 2022). Heterogenitas parameter ini memungkinkan koeksistensi berbagai guild fungsional plastifer dengan toleransi fisiologis berbeda.

Komposisi Taksonomi Komunitas Plastifer

Analisis metabarcoding ITS menghasilkan 143 OTUs dari total 81.414 sekuens berkualitas tinggi. Komposisi dan kelimpahan relatif komunitas plastifer divisualisasikan dalam diagram sunburst hierarkis (Gambar 2). Dari total sekuens yang dianalisis, 37% tidak dapat diidentifikasi dalam database UNITE, sementara 63% sekuens berhasil diklasifikasikan dengan tingkat keberhasilan yang bervariasi.



Gambar 2. Sunburst diagram menampilkan hierarki taksonomi komunitas plastifer dari level kingdom hingga genus dan spesies

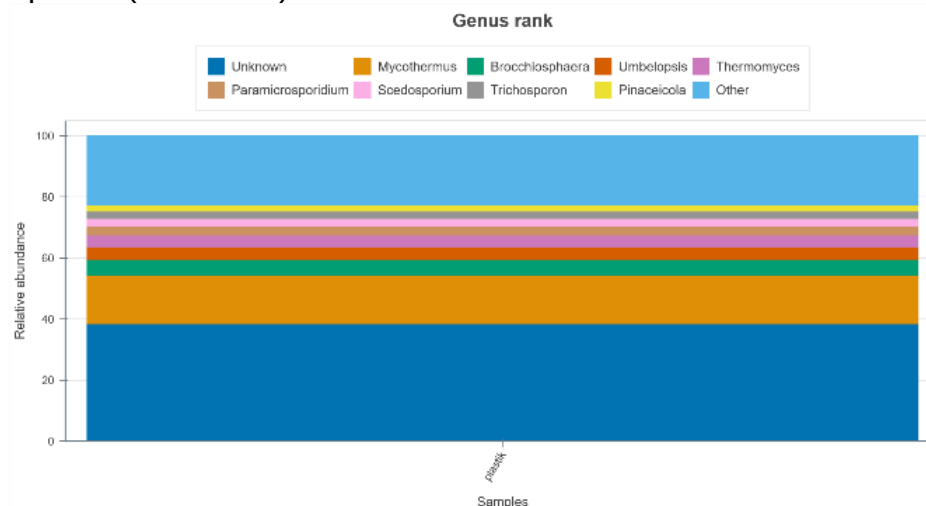
Pada level filum, Ascomycota mendominasi komunitas dengan proporsi 83,2% dari total sekuens teridentifikasi, diikuti *Basidiomycota* (11,0%) dan *Mucoromycota* (6,0%). Pada level kelas, *Sordariomycetes* merupakan kelas dominan dengan kelimpahan 51,7%, diikuti *Eurotiomycetes* (15,3%) dan *Dothideomycetes* (12,1%).

Dominasi *Ascomycota* (83,2%) pada habitat plastik terdegradasi konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa filum ini memiliki kemampuan adaptasi tinggi terhadap lingkungan tercemar dan toleransi terhadap kondisi stres (Khatua *et al.*, 2024). Kelas *Sordariomycetes* (51,7%) yang mendominasi dikenal memiliki kemampuan superior dalam bioremediasi polimer sintesis melalui produksi enzim ligninolitik dan cutinase (Srikanth *et al.*, 2022).

Proporsi besar kategori "*Unidentified*" (38,49% pada level genus, 38% pada level spesies) mencerminkan tingginya keanekaragaman fungi indigenous yang belum terkarakterisasi dalam database referensi global. Fenomena ini konsisten dengan observasi bahwa ekosistem tercemar sering mengandung strain lokal atau spesies kriptik yang divergen secara genetik dari isolat terkarakterisasi (Decewicz *et al.*, 2022). Keterbatasan identifikasi dapat disebabkan oleh divergensi urutan ITS yang tinggi akibat adaptasi lokal, keterbatasan cakupan database UNITE terutama untuk wilayah tropis dan kemungkinan adanya spesies baru yang belum dideskripsikan (Phukhamsakda *et al.*, 2022).

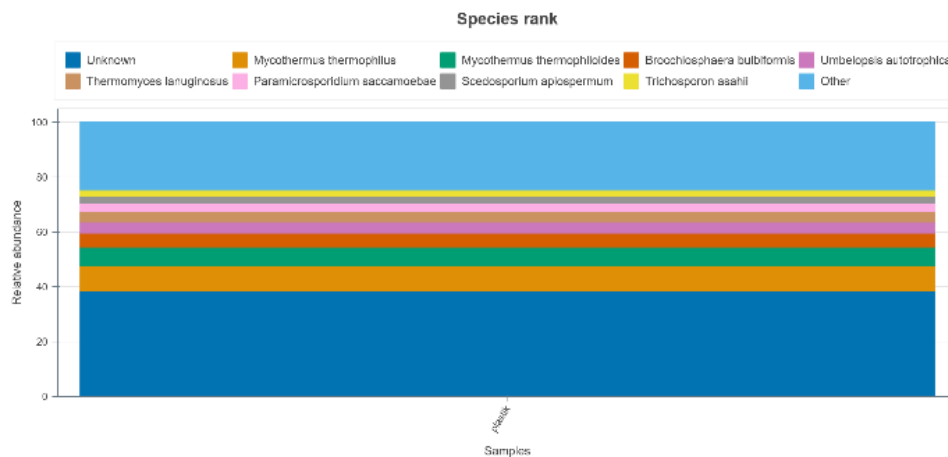
Kelimpahan Genus dan Spesies Dominan

Analisis kelimpahan relatif pada level genus menunjukkan bahwa *Mycothermus* merupakan genus paling dominan (15,990%), diikuti oleh *Brocciosphaera* (5,080%), *Umbelopsis* (4,100%), *Thermomyces* (3,870%), *Paramicrosporidium* (2,830%), *Scedosporium* (2,660%), *Trichosporon* (2,340%), dan *Pinaceicola* (2,010%). Proporsi terbesar komunitas (38,490%) tidak dapat diidentifikasi hingga level genus. Kategori "*Other*" mencakup 133 genus minor yang secara kolektif berkontribusi 22,640% dari total kelimpahan (Gambar 3).



Gambar 3. Kelimpahan relatif 10 genus dominan dalam komunitas plastifer

Pada level spesies, *Mycothermus thermophilus* merupakan spesies paling dominan (9-10%), diikuti oleh *Mycothermus thermophiloides* (6%), *Brocciosphaera bulbiformis* (5%), *Thermomyces lanuginosus* (4%), *Umbelopsis autotrophica* (3%), *Paramicrosporidium saccamoebae* (3%), *Scedosporium apiospermum* (2%), dan *Trichosporon asahii* (2%). Kategori "*Unknown*" mencakup 38% dari total kelimpahan, sementara kategori "*Other*" merepresentasikan 25% yang mencakup puluhan spesies dengan kelimpahan individual rendah (<1%) (Gambar 4).



Gambar 4. Komposisi kelimpahan relatif spesies plastifer

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa komunitas plastifer di TPA Bukit Meusara didominasi oleh fungi termofilik dengan kemampuan degradatif yang telah terdokumentasi. *Mycothermus thermophilus* dan *M. thermophiloides* (total 15-16% kelimpahan) menghasilkan lakase termostabil yang mampu mengoksidasi substrat aromatik dalam polimer seperti polystyrene dan PET (Amobonye *et al.*, 2021). *Thermomyces lanuginosus* (4%) menghasilkan cutinase termostabil yang efektif mendegradasi PET melalui hidrolisis ikatan ester (Moore *et al.*, 2021). Dominasi fungi termofilik ini mencerminkan adaptasi terhadap suhu lingkungan tinggi (32,5°C rata-rata).

Brochiosphaera bulbiformis (5%) dan *Scedosporium apiospermum* (2%) berperan sebagai penghasil enzim oksidatif. *B. bulbiformis* menghasilkan lignin peroksidase dan mangan peroksidase yang mengoksidasi cincin benzena dalam struktur PET dan polystyrene (Ibrahim *et al.*, 2024). *S. apiospermum* memiliki sistem enzim sitokrom P450 yang mampu mendegradasi senyawa xenobiotik kompleks (Jaiswal *et al.*, 2022). *Umbelopsis autotrophica* (3%) menghasilkan lipase yang menghidrolisis ikatan ester pada polyurethane dan polycaprolactone (Oyekanmi *et al.*, 2024).

Trichosporon asahii (2%) menghasilkan biosurfaktan yang menurunkan tegangan permukaan plastik hidrofobik dan memfasilitasi pembentukan biofilm (Zhang *et al.*, 2024). Kategori "Other" (133 genera, 22,64%; 25% pada level spesies) berpotensi memiliki kemampuan degradatif spesifik terhadap polimer tertentu atau berperan dalam degradasi produk intermediat, berkontribusi pada stabilitas ekosistem dan respons terhadap perubahan lingkungan (Ru *et al.*, 2023).

Indeks Keanekaragaman Komunitas

Analisis keanekaragaman menunjukkan Shannon diversity index (H') sebesar 2,77, Simpson's diversity index (D) 0,83, Pielou's evenness index (J') 0,56, dan Berger-Parker index (BP) 0,38 (Tabel 2). Kekayaan spesies (S) tercatat sebanyak 143 OTUs.

Tabel 2. Indeks keanekaragaman komunitas fungi

No	Parameter	Simbol	Nilai	Kategori
1	Kekayaan Spesies	S	143	-
2	Shannon diversity	H'	2,77	Tinggi
3	Simpson diversity	D	0,83	Tinggi
4	Pielou's evenness	J'	0,56	Sedang
5	Berger Parker	BP	0,38	Rendah

Nilai Shannon diversity index (2,77) dan Simpson's index (0,83) mengindikasikan keanekaragaman tinggi dalam komunitas plastifer. Pielou's evenness (0,56) menunjukkan distribusi kelimpahan yang relatif merata antar taksa. Berger-Parker index (0,38) mengindikasikan bahwa taksa paling dominan menyumbang 38% dari total kelimpahan, menunjukkan tidak adanya dominasi ekstrem oleh satu spesies.

Keanekaragaman tinggi dengan distribusi merata menunjukkan keseimbangan fungsional yang memungkinkan degradasi berbagai jenis plastik secara simultan. Keberadaan banyak taksa dengan kelimpahan rendah penting untuk stabilitas ekosistem dan respons adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan atau ketersediaan substrat (Ru *et al.*, 2023).

Berdasarkan profil enzimatis spesies teridentifikasi dan studi degradasi pada literatur, komunitas plastifer di TPA Bukit Meusara secara teoretis memiliki kapasitas mendegradasi 15-30% mikroplastik berbasis PET dan PS, serta 40-60% plastik biodegradable dalam periode 6-12 bulan (Gates & Crook, 2024; Yuan *et al.*, 2024). Perlu ditekankan bahwa angka-angka ini merupakan estimasi teoretis berdasarkan literatur dan bukan hasil pengukuran langsung dalam penelitian ini. Validasi kapasitas degradasi aktual memerlukan studi lanjutan melalui eksperimen *in vitro* dan *in situ* dengan analisis gravimetri, FTIR dan SEM.

Karakterisasi komunitas plastifer indigenous memberikan data baseline untuk pengembangan strategi bioremediasi. Pendekatan yang dapat dikembangkan meliputi bioaugmentasi dengan konsorsium fungi potensial (*Mycothermus*, *Thermomyces*, *Brocciosphaera*), biostimulasi melalui optimasi nutrisi, atau aplikasi mycofiltration pada jalur leachate (Álvarez-Barragán *et al.*, 2021). Fungi lokal memiliki keunggulan adaptasi terhadap iklim tropis dan kontaminan setempat, serta menurunkan risiko ekologis dibanding spesies eksotik.

Lokasi TPA Bukit Meusara yang berbatasan dengan kawasan konservasi Orangutan Sumatera (*Pongo abelii*) menciptakan potensi jalur kontaminasi mikroplastik melalui dispersi hidrologis dan transfer trofik. Arahman *et al.*, (2024) melaporkan kontaminasi mikroplastik di sungai regional dengan konsentrasi 12-45 partikel/L, mengindikasikan dispersi polimer sintesis dalam sistem akuatik. Keberadaan komunitas plastifer indigenous dapat berfungsi sebagai barrier biologis melalui degradasi *in-situ* di zona sumber TPA, mengurangi beban mikroplastik sebelum terdispersi ke habitat satwa. Penelitian lanjutan diperlukan untuk menilai potensi risiko paparan mikroplastik terhadap orangutan dan ekosistem sekitarnya melalui pendekatan One Health (Jacquin *et al.*, 2023).

KESIMPULAN

Penelitian ini mengidentifikasi 143 OTUs plastifer indigenous di TPA Bukit Meusara dengan keanekaragaman tinggi ($H' = 2,77$; $D = 0,83$), yang didominasi oleh Ascomycota (83,2%), khususnya fungi termofilik seperti *Mycothermus thermophilus*, *M. thermophiloides*, *Brocciosphaera bulbiformis*, dan *Thermomyces lanuginosus*. Komunitas fungi tersebut menunjukkan adaptasi yang kuat terhadap kondisi TPA tropis bersuhu tinggi (30–34°C) dan pH asam lemah (5,0–6,8), serta memiliki potensi enzimatis dalam degradasi polimer plastik berdasarkan profil taksonominya. Temuan ini menyediakan data baseline pertama bagi pengembangan strategi bioremediasi *in situ* untuk mengurangi beban mikroplastik pada sumber pencemar sebelum menyebar ke ekosistem sekitar, termasuk habitat Orangutan Sumatera, meskipun penelitian lanjutan tetap diperlukan untuk memvalidasi kapasitas degradasi aktual dan menilai risiko ekologis mikroplastik melalui pendekatan konservasi terintegrasi.

REKOMENDASI

Penelitian lanjutan dengan pendekatan metabarcoding fungsional dan isolasi kultivasi plastifer potensial diperlukan untuk mengoptimalkan aplikasi bioremediasi dan memvalidasi efektivitas degradasi in-situ dalam konteks konservasi jangka panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry, Pihak Yayasan Orangutan Sumatera lestari – Orangutan Information Center (YOSL – OIC) serta Laboratorium Integrated Genome Factory (IGF) Universitas Gadjah Mada atas dukungan teknis, fasilitas laboratorium, dan bantuan analisis metagenomik yang diberikan selama penelitian ini. Penghargaan juga disampaikan kepada pihak pengelola TPA Bukit Meusara, Kota Jantho, atas izin pengambilan sampel dan informasi lapangan yang sangat membantu. Penulis berterima kasih kepada rekan-rekan mahasiswa serta semua pihak yang telah memberikan bantuan, masukan dan dukungan selama proses penelitian dan penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alshammari, M. B., Alqhtani, F. K., Al-Mijalli, S. H., Alharbi, M., Alshehri, S. A., Alshahrani, A. M., Toghueo, R. M. K., & Shakeel, M. (2025). Fungi as a hidden treasure of polyethylene terephthalate (PET) plastic biodegradation enzymes: A review. *Journal of Fungi*, 11(1), 27. <https://doi.org/10.3390/jof11010027>
- Álvarez-Barragán, J., Domínguez-Malfavón, L., Vargas-Suárez, M., González-Hernández, R., Aguilar-Osorio, G., & Loza-Tavera, H. (2021). Biodegradative activities of selected environmental fungi on synthetic polymers: An overview. *Frontiers in Microbiology*, 12, 632059. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.632059>
- Amobonye, A., Bhagwat, P., Singh, S., & Pillai, S. (2021). Plastic biodegradation: Frontline microbes and their enzymes. *Science of the Total Environment*, 759, 143536. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143536>
- Anca, E. D., & Wallis, J. (2024). Plastic pollution and human–primate interactions: A growing conservation concern – CORRIGENDUM. *Cambridge Prisms: Plastics*, 2. <https://doi.org/10.1017/plc.2024.16>
- Arahman, N., Azwar, A., Rosnelly, C. M., Haikal, R. D., Marom, A. Z., Mulyati, S., & Maulidayanati, S. (2024). Assessment and Removal Strategy of Microplastic Pollution in River Water in the Krueng Aceh River, Indonesia. *International Journal of Environmental Impacts*, 7(3), 525–533. <https://doi.org/10.18280/ije.070314>
- Bogati, K., & Walczak, M. (2022). The impact of drought stress on soil microbial community, enzyme activities and plants. *Agronomy*, 12(1), 189. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010189>
- Bolyen, E., Rideout, J. R., Dillon, M. R., Bokulich, N. A., Abnet, C. C., Al-Ghalith, G. A., Alexander, H., Alm, E. J., Arumugam, M., Asnicar, F., Bai, Y., Bisanz, J. E., Bittinger, K., Brejnrod, A., Brislawn, C. J., Brown, C. T., Callahan, B. J., Caraballo-Rodríguez, A. M., Chase, J., ... & Caporaso, J. G. (2019). Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2. *Nature Biotechnology*, 37(8), 852–857. <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0209-9>
- Cai, Z., Li, M., Zhu, Z., Wang, X., Huang, Y., Li, T., Gong, H., & Yan, M. (2023). Biological degradation of plastics and microplastics: A recent perspective on

- associated mechanisms and influencing factors. *Microorganisms*, 11(7), 1661.
- Campbell, S., Greenwood, M., Prior, S., Walkem, K., Young, S., & Bywaters, D. (2020). *Purposive sampling: complex or simple? Research case examples*. <https://doi.org/10.1177/1744987120927206>
- Chung, H., Lee, Y. K., & Lim, S. (2022). Interactions between plastic-degrading microorganisms and their potential for application. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 106(23), 7597–7614. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-12254-X>
- Chung, J. H., Yeon, J., Seong, H. J., An, S. H., Kim, D. Y., Yoon, Y., Weon, H. Y., Kim, J. J., & Ahn, J. H. (2022). Distinct bacterial and fungal communities colonizing waste plastic films buried for more than 20 years in four landfill sites in Korea. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(12), 1561–1572. <https://doi.org/10.4014/jmb.2206.06021>
- Decewicz, P., Majchrowska, M., Dziewit, L., Muszewska, A., Dolatabadi, S., Kruszeński, Ł., & Zuzanna, B. (2022). Marginal lands and fungi – linking the type of soil contamination with fungal community composition. *Environmental Microbiology*, 24(9), 3809–3825. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.16007>
- Delgado-Baquerizo, M., Reich, P. B., Trivedi, C., Eldridge, D. J., Abades, S., Alfaro, F. D., et al. (2021). Multiple elements of soil biodiversity drive ecosystem functions across biomes. *Nature Ecology & Evolution*, 4(2), 210–220. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-1084-y>
- Elisabetta, M., Temporiti, E., Nicola, L., Nielsen, E., & Tosi, S. (2022). *Fungal Enzymes Involved in Plastics Biodegradation*. 1–27.
- Estensmo, E. L. F., Maurice, S., Morgado, L., Martin-Sanchez, P. M., Skrede, I., & Kauserud, H. (2021). The influence of intraspecific sequence variation during DNA metabarcoding: A case study of eleven fungal species. *Molecular Ecology Resources*, 21(4), 1141–1148. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.13329>
- Febrianti, N., Syarifah, S. M., Barat, P., Megarezky, U., Dahlan, U. A., & Yogyakarta, U. A. (2023). *Pengurai Sampah Plastik Ramah Lingkungan 1*. 2(02), 63–71. <https://doi.org/10.56741/bst.v2i02.339>
- Gates, E. G., & Crook, N. (2024). The biochemical mechanisms of plastic biodegradation. *FEMS Microbiology Reviews*, 48(6), fuae027. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuae027>
- Heeger, F., Wurzbacher, C., Bourne, E. C., Mazzoni, C. J., & Monaghan, M. T. (2019). Combining the 5.8S and ITS2 to improve classification of fungi. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(10), 1702–1711. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13266>
- Ibrahim, S., Zahid, M., Hasan, F., Khan, S., & Shah, A. A. (2024). Microbial degradation of polyethylene terephthalate: A comprehensive review. *Chemosphere*, 350, 141089. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141089>
- Ibrahim, S. S., Ionescu, D., & Grossart, H. P. (2024). Tapping into fungal potential: Biodegradation of plastic and rubber by potent fungi. *Science of The Total Environment*, 934, 173188. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173188>
- Jacquin, J., Callac, N., Cheng, J., Giraud, C., Gorand, Y., Denoual, C., Pujo-pay, M., Conan, P., Meistertzheim, A., Barbe, V., Bruzard, S., & Ghiglione, J. (2021). *Microbial Diversity and Activity During the Biodegradation in Seawater of Various Substitutes to Conventional Plastic Cotton Swab Sticks*. 12(July), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.604395>
- Jacquin, J., Callac, N., Cheng, J., Giraud, C., Gorand, Y., Denoual, C., Pujo-Pay, M., Conan, P., Sanchez, W., & Suzuki, M. T. (2023). Microbial diversity and activity

- during the biodegradation of plastics and potential link with the surrounding environment: A review. *Science of The Total Environment*, 901, 165865. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165865>
- Jaiswal, S., Sharma, B., & Shukla, P. (2022). Integrated approaches in microbial degradation of plastics. *Environmental Technology & Innovation*, 25, 102128. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102128>
- Jiang, X., Chen, H., Liao, Y., Ye, Z., Li, M., & Klobuchar, G. (2024). Ecotoxicity and genotoxicity of polystyrene microplastics on higher plant *Vicia faba*. *Environmental Pollution*, 340, 122836. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122836>
- Kauserud, H. (2023). ITS alchemy: On the use of ITS as a DNA marker in fungal ecology. *Fungal Ecology*, 65, 101274. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2023.101274>
- Kawai, F., Kawabata, T., & Oda, M. (2021). Current knowledge on enzymatic PET degradation and its possible application to waste stream management and other fields. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 4253–4268. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09717-y>
- Khatua, S., Simal-Gandara, J., & Acharya, K. (2024). Myco-remediation of plastic pollution: current knowledge and future prospects. In *Biodegradation* (Vol. 35, Issue 3). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10532-023-10053-2>
- Kõljalg, U., Nilsson, R. H., Abarenkov, K., Tedersoo, L., Taylor, A. F., Bahram, M., Bates, S. T., Bruns, T. D., Bengtsson-Palme, J., Callaghan, T. M., Douglas, B., Drenkhan, T., Eberhardt, U., Dueñas, M., Grebenc, T., Griffith, G. W., Hartmann, M., Kirk, P. M., Kohout, P., ... & Larsson, K. H. (2013). Towards a unified paradigm for sequence-based identification of fungi. *Molecular Ecology*, 22(21), 5271–5277. <https://doi.org/10.1111/mec.12481>
- Li, S., & Zhang, W. (2025). Computational identification of plastic-degrading enzymes in ocean microbiomes. *Marine Pollution Bulletin*, 210, 117045. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117045>
- Li, Y., Tao, L., Wang, Q., Wang, F., Li, G., & Song, M. (2023). Potential health impact of microplastics: A review of environmental distribution, human exposure, and toxic effects. *Environment and Health*, 1(4), 249–257. <https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00052>
- Liu, S., Huang, J., Zhang, W., Shi, L., Yi, K., Yu, H., Zhang, C., Li, S., & Li, J. (2022). Microplastics as a vehicle of heavy metals in aquatic environments: A review of adsorption factors, mechanisms, and biological effects. *Journal of Environmental Management*, 302, 113995. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113995>
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell Science Ltd.
- Malankowska, M., Echaide-Gorriz, C., & Coronas, J. (2021). Microplastics in marine environment: A review on sources, classification, and potential remediation by membrane technology. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 7(2), 243–258. <https://doi.org/10.1039/d0ew00802h>
- Mbareche, H., Veillette, M., Bilodeau, G., & Duchaine, C. (2020). Comparison of the performance of ITS1 and ITS2 as barcodes in amplicon-based sequencing of bioaerosols. *PeerJ*, 8, e8523. <https://doi.org/10.7717/peerj.8523>
- Moore, M. N., Viarengo, A., Somerfield, P. J., & Sforzini, S. (2021). Linking cellular responses to environmental change: Impact of oxyradical metabolism on protein synthesis. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 250, 109170. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2021.109170>
- Moore, W. M., Chan, C., Ishikawa, T., Rennie, E. A., Wipf, H. M. L., Benites, V., Kawai-

- Yamada, M., Mortimer, J. C., & Scheller, H. V. (2021). Reprogramming sphingolipid glycosylation is required for endosymbiont persistence in *Medicago truncatula*. *Current Biology*, 31(11), 2374-2385.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.03.067>
- Muniasamy, K., Shruti, G., Perez-Guevara, F., & Roy, P. D. (2023). Microplastic diagnostics in humans: "The 3Ps" progress, problems, and prospects. *Science of The Total Environment*, 856, 159164. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159164>
- Obeng, E. M., Hodge, C., & You, J. (2025). Microplastic pollution: a review of specific blood-tissue barrier breaches and health effects. *Environmental Pollution*, 376(February), 126416. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.126416>
- Oyekanmi, A. A., Egunsola, O. O., Adetunji, A. I., & Ogunkunle, O. A. (2024). Fungal biodegradation of plastics: A review of mechanisms, influencing factors, and future perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 8894–8915. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31518-1>
- Oyekanmi, B. A., Coker, J. O., & Akinsiku, A. A. (2024). Fungal lipases in plastic biodegradation: Current status and future perspectives. *Bioresource Technology Reports*, 25, 101714. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2024.101714>
- Phukhamsakda, C., Nilsson, R. H., Bhunjun, C. S., de Farias, A. R. G., Sun, Y. R., Wijesinghe, S. N., Raza, M., Calabon, M. S., Kemler, M., Suwannarach, N., Secondini, C., McTaggart, A. R., Begerow, D., Schoch, C. L., Prieto, M., Jayawardena, R. S., Yong, W., Thongbai, B., Lumyong, S., ... & Hyde, K. D. (2022). The numbers of fungi: Contributions from traditional taxonomic studies and challenges of metabarcoding. *Fungal Diversity*, 114(1), 327-386. <https://doi.org/10.1007/s13225-022-00502-3>
- Procopio, N., Ghignone, S., Voyron, S., Chiapello, M., Williams, A., Chamberlain, A., Mello, A., & Buckley, M. (2020). Soil fungal communities investigated by metabarcoding within simulated forensic burial contexts. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1686. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01686>
- Richter, A., Kcarpinski, M., & Kroll, S. (2024). Fungal biofilms on plastic substrates: Establishment and degradation potential. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 108(1), 186. <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13008-7>
- Richter, M., Segal, L. M., Rocha, R. O., Rokaya, N., De, A. R., Riekhof, W. R., Roston, R. L., & Id, R. A. W. (2024). Membrane fluidity control by the *Magnaporthe oryzae* acyl-CoA binding protein sets the thermal range for host rice cell colonization. *PLOS Pathogens*, 20(12), e1012738. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1012738>
- Rillig, M. C., Leifheit, E., & Lehmann, J. (2021). Microplastic effects on carbon cycling processes in soils. *PLOS Biology*, 19(3), e3001130. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001130>
- Ru, J., Huo, Y., & Yang, Y. (2023). Microbial degradation and valorization of plastic wastes. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1126524. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1126524>
- Rüthi, J., Bölsterli, D., Pardi-Comensoli, L., Brunner, I., & Frey, B. (2023). The "Plastisphere" of biodegradable plastics is characterized by specific pathogen taxa of concern in agricultural soils. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1178267. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1178267>
- Rüthi, J., Cerri, M., Sander, M., & Frey, B. (2023). Discovery of plastic-degrading microbial strains isolated from the alpine and Arctic terrestrial plastisphere. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1178474.

- <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1178474>
- Shen, M., Zhang, Y., Almatrafi, E., Hu, T., Zhou, C., Song, B., et al. (2022). Efficient removal of microplastics from wastewater by an electrocoagulation process. *Chemical Engineering Journal*, 428, 131161. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131161>
- Silambarasan, S., Logeswari, P., Cornejo, P., & Kannan, V. R. (2022). Amelioration of aluminum phytotoxicity in *Solanum lycopersicum* by co-inoculation of plant growth promoting *Kosakonia radicincitans* strain CABV2 and *Streptomyces corchorusii* strain CASL5. *Science of The Total Environment*, 832, 154935. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154935>
- Srikanth, M., Sandhya, T. V. S., Sucharitha, K., & Godi, S. (2022). Biodegradation of plastics by Ascomycetes fungi: A comprehensive review. *Bioresource Technology Reports*, 18, 101050. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101050>
- Srikanth, M., Sandeep, T. S. R. S., Sucharitha, K., & Godi, S. (2022). Biodegradation of plastic polymers by fungi: A brief review. *Bioresources and Bioprocessing*, 9(1), 42. <https://doi.org/10.1186/s40643-022-00532-4>
- Thamsenanupap, P., Pumipuntu, N., Tanee, T., Kyes, P., & Karaket, A. (2024). First report of microplastics in wild long-tailed macaque (*Macaca fascicularis*) feces at Kosumpee Forest Park, Maha Sarakham Province, Thailand. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 45678-45690. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33456-8>
- Vogel, S., Emmerich, K., Schröter, I., Bönecke, E., & Schwanghart, W. (2024). The effect of soil moisture content and soil texture on fast in situ pH measurements with two types of robust ion-selective electrodes. 321–333.
- Yuan, J., Ma, J., Sun, Y., Zhou, T., Zhao, Y., & Yu, F. (2024). Microbial degradation and other environmental aspects of microplastics/plastics. *Science of The Total Environment*, 907, 167965. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167965>
- Yuan, Y., Chen, C., Zheng, C., Wang, X., Yang, G., Wang, Q., & Zhang, Z. (2024). Microorganisms and enzymes involved in the biodegradation of plastics: A review. *Science of The Total Environment*, 917, 170214. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170214>
- Zeghal, E., Vaksmaa, A., Bleijswijk, J. Van, & Niemann, H. (2024). Environmental factors control microbial colonization of plastics in the North Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 208(September), 116964. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116964>
- Zhang, L., Liu, J., & Shi, Y. (2024). Biosurfactants produced by microorganisms facilitate plastic biodegradation. *Environmental Pollution*, 343, 123176. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.123176>
- Zhang, Z., Peng, H., Yang, D., Zhang, G., Zhang, J., & Ju, F. (2024). Biodegradation of low-density polyethylene by mixed fungi composed of *Alternaria* sp. and *Trametes* sp. isolated from landfill sites. *BMC Microbiology*, 24, 328. <https://doi.org/10.1186/s12866-024-03274-9>
- Zheng, X., Li, Y., Peng, H., & Wen, J. (2021). Solar-light induced photoreduction of CO₂ using nonthermal plasma sulfurized MoO₃@MoS₂-CuS composites. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105469. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105469>