

Efektivitas dan Mekanisme Biokimia Batang Pisang sebagai Media Biofilter pada Pengolahan Efluen Septic Tank: Sebuah Tinjauan Sistematis

Darwis Baso

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia

Email: darwisbs@gmail.com

Abstract

Septic tank effluent treatment remains a challenge in decentralized sanitation systems, due to technological and cost constraints. Biomass-based natural biofilter media, such as banana stem, have increasingly been investigated as low-cost, environmentally friendly, and easily applicable alternatives. This study aims to systematically review the use of banana stem as a natural biofilter for septic tank wastewater treatment, focusing on study characteristics, treatment performance, process mechanisms, and factors determining efficiency and performance variability. The study was carried out using the literature review method approach following the PRISMA protocol, covering peer-reviewed articles published between 2021-2025. The results show that banana stem media can achieve removal efficiencies of 60-85% for Total Suspended Solids (TSS), 45-80% for Chemical Oxygen Demand (COD), and 50-77% for Biochemical Oxygen Demand (BOD), with optimal performance at a Hydraulic Retention Time (HRT) of 12-24 hours. The porous structure and lignocellulosic content promote rapid microbial biofilm formation, although performance variability is influenced by organic loading fluctuations and media degradation. Overall, banana stem has strong potential as an effective, economical, and sustainable natural biofilter for decentralized sanitation systems.

Keywords: *Septic Tank Effluent, Banana Stem, Natural Biofilter, Wastewater Treatment.*

Abstrak

Pengolahan efluen *septic tank* masih menjadi tantangan dalam sistem sanitasi terdesentralisasi, akibat keterbatasan teknologi dan biaya. Pemanfaatan media biofilter alami berbasis biomassa, seperti batang pisang, semakin banyak dikaji sebagai alternatif yang murah, ramah lingkungan, dan mudah diaplikasikan. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau secara sistematis pemanfaatan media batang pisang sebagai biofilter alami dalam pengolahan limbah *septic tank*, dengan fokus pada karakteristik studi, kinerja pengolahan, mekanisme proses, serta faktor penentu efisiensi dan variabilitas kinerja. Kajian dilakukan menggunakan metode *literature review* dengan protokol PRISMA terhadap artikel ilmiah yang diterbitkan tahun 2021-2025. Hasil kajian menunjukkan bahwa media batang pisang mampu menurunkan TSS sebesar 60-85%, COD sebesar 45-80%, dan BOD sebesar 50-77%, dengan kinerja optimal pada HRT 12-24 jam. Struktur berpori dan kandungan lignoselulosa mendukung pembentukan biofilm mikroba yang cepat, meskipun variabilitas kinerja dipengaruhi oleh fluktuasi beban organik dan degradasi media. Secara keseluruhan, batang pisang berpotensi sebagai biofilter alami yang efektif, ekonomis, dan berkelanjutan untuk sistem sanitasi terdesentralisasi.

Kata Kunci: *Efluen Septic Tank, Batang Pisang, Biofilter Alami, Pengolahan Air Limbah.*

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan limbah domestik masih menjadi tantangan utama dalam upaya perlindungan kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat, terutama di wilayah dengan keterbatasan infrastruktur sanitasi. Limbah domestik yang tidak dikelola secara

memadai berpotensi mencemari air tanah dan badan air permukaan melalui peningkatan beban organik, padatan tersuspensi, nutrisi, serta keberadaan mikroorganisme patogen (Zhang et al., 2022). Oleh karena itu, pengolahan limbah domestik merupakan isu strategis dalam mewujudkan sanitasi berkelanjutan dan mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan, khususnya SDG 6 tentang air bersih dan sanitasi (Kurnia et al., 2024). Untuk menjawab persoalan tersebut, dibutuhkan solusi pengolahan limbah skala kecil yang sederhana, berbiaya rendah, namun mampu menurunkan parameter pencemar secara efektif sebelum dibuang ke lingkungan.

Septic tank merupakan sistem sanitasi setempat (*on-site sanitation*) yang paling banyak digunakan untuk pengolahan limbah domestik karena kemudahan konstruksi dan biaya yang relatif rendah. Namun, unit ini umumnya hanya menyediakan proses pengolahan primer berbasis sedimentasi dan degradasi anaerob sederhana, sehingga efluen yang dihasilkan masih mengandung konsentrasi BOD, COD, dan TSS yang tinggi dan berpotensi menimbulkan pencemaran apabila dibuang tanpa pengolahan lanjutan (Li et al., 2023). Di wilayah terbatas teknologi dan sumber daya, pengolahan limbah terdesentralisasi berbasis teknologi tepat guna menjadi alternatif relevan, efisien, dan krusial untuk meningkatkan kualitas lingkungan.

Salah satu pendekatan yang berkembang adalah penggunaan biofilter sebagai unit pengolahan sekunder. Biofilter mampu mengombinasikan filtrasi fisik, biodegradasi biologis, dan adsorpsi dalam satu sistem sederhana berenergi rendah, sehingga sesuai untuk aplikasi sanitasi komunitas dan skala kecil (Hussein et al., 2025; Pratiwi et al., 2021). Pengembangan biofilter berbasis media berpori menunjukkan peningkatan efisiensi pengolahan limbah domestik sekaligus membuka peluang inovasi melalui pemanfaatan media alami.

Media alami berbasis biomassa lokal memiliki sejumlah keunggulan dibanding media sintetis seperti bioball atau plastik. Selain lebih ekonomis dan mudah diperoleh, media alami bersifat *biodegradable*, sehingga ramah lingkungan dan mudah dikelola, sementara tetap mampu mempertahankan kinerja pengolahan limbah yang kompetitif jika dirancang dan dioperasikan dengan tepat (Loh et al., 2021; Pramita et al., 2020). Sebaliknya, media sintetis meskipun stabil dan tahan lama, sering menghadapi kendala berupa biaya produksi tinggi, kesulitan pembuangan akhir, serta risiko akumulasi mikroplastik di lingkungan, yang menimbulkan potensi dampak ekologis jangka panjang (Bodzek & Pohl, 2024). Dengan demikian, pemanfaatan biomassa lokal sebagai biofilter merupakan alternatif berkelanjutan, efisien, ramah lingkungan, dan mendukung ekonomi sirkular dalam pengelolaan limbah.

Sejumlah studi telah mengevaluasi pemanfaatan biomassa organik sebagai media biofilter dalam pengolahan limbah. Biomassa lignoselulosa dilaporkan mampu mendukung pertumbuhan biofilm dan meningkatkan removal COD (Pramita et al., 2020). Sedangkan media alami lainnya juga terbukti dapat menurunkan TSS dan BOD hingga setara dengan media konvensional (Loh et al., 2021). Hal ini menunjukkan bahwa biomassa organik memiliki potensi kompetitif dalam sistem biofiltrasi.

Di sisi lain, efluen *septic tank* konvensional di Indonesia sering tidak memenuhi baku mutu lingkungan, karena sistem ini hanya mengandalkan proses primer berupa sedimentasi dan degradasi anaerob sederhana, sehingga banyak parameter pencemar seperti BOD, COD, TSS, dan nutrisi tetap tinggi (Li et al., 2023). Kondisi tersebut diperburuk oleh desain *septic tank* yang sederhana dan tidak seragam, minimnya pemeliharaan, serta keterbatasan kapasitas degradasi biologis, terutama pada kawasan padat atau sistem terdesentralisasi. Oleh karena itu, diperlukan unit tambahan seperti biofilter untuk menurunkan beban organik dan padatan tersuspensi agar efluen lebih aman sebelum dilepas ke lingkungan.

Sistem biofilter berenergi rendah dipandang memiliki potensi untuk sanitasi terdesentralisasi (Hussein et al., 2025). Penggunaan media biokomposit menunjukkan keberhasilan dalam menurunkan beban organik pada limbah domestik (Pratiwi et al., 2021). Biomassa berbahan lignoselulosa juga mampu berfungsi sebagai penyaring sekaligus substrat pertumbuhan biofilm mikroorganisme (Mohammed et al., 2024). Studi ini menunjukkan tren biofilter biomassa organik menuju efisiensi tinggi dengan pemanfaatan material lokal, khususnya di wilayah berteknologi dan sumber daya terbatas.

Salah satu biomassa lokal yang memiliki potensi adalah batang pisang, yang merupakan limbah pertanian melimpah di wilayah tropis namun belum dimanfaatkan secara optimal. Struktur batang pisang yang berserat, berpori tinggi, serta kaya kandungan lignoselulosa menjadikannya kandidat media biofilter alami yang menjanjikan (Zhang et al., 2022). Karakteristik tersebut memungkinkan batang pisang berfungsi sebagai media penyangga biofilm sekaligus sebagai penyaring dan adsorben senyawa organik terlarut, sehingga berkontribusi terhadap penurunan parameter pencemar utama seperti BOD, COD, dan TSS (Mohammed et al., 2024). Selain itu, sifat biodegradabilitas dan ketersediaannya yang luas di daerah pedesaan menjadikan material ini sejalan dengan prinsip teknologi tepat guna, ramah lingkungan, serta berpotensi mendukung sistem sanitasi terdesentralisasi berbiaya rendah.

Meski demikian, kajian yang memanfaatkan batang pisang secara spesifik untuk pengolahan efluen *septic tank* masih terbatas, belum terstandarisasi, serta menunjukkan variasi desain sistem, kondisi operasi, dan umur media yang menyebabkan perbedaan kinerja antar penelitian. Kondisi ini menimbulkan kesenjangan penelitian berupa kurangnya tinjauan sistematis yang mengidentifikasi mekanisme kerja, efektivitas, faktor penentu keberhasilan, serta keterbatasan penggunaan batang pisang sebagai media biofilter dalam konteks sanitasi terdesentralisasi berbasis *septic tank*, khususnya pada wilayah dengan sumber daya dan infrastruktur yang terbatas.

Berdasarkan uraian tersebut, tinjauan literatur ini bertujuan meninjau secara sistematis pemanfaatan batang pisang sebagai media biofilter alami dalam pengolahan limbah *septic tank*, dengan fokus pada karakteristik studi, kinerja pengolahan, mekanisme proses, serta faktor penentu efisiensi dan variabilitas kinerja. Melalui kajian ini diharapkan diperoleh dasar ilmiah yang kuat untuk pengembangan teknologi biofilter terdesentralisasi yang berkelanjutan, adaptif terhadap kondisi lokal, serta mampu mendukung peningkatan kualitas sanitasi lingkungan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Artikel ini disusun menggunakan metode *literature review* untuk mengkaji secara komprehensif pemanfaatan batang pisang sebagai media biofilter alami dalam pengolahan limbah *septic tank*. Penelitian ini merupakan studi tinjauan pustaka yang berfokus pada artikel ilmiah, prosiding, dan laporan penelitian yang membahas pengolahan limbah domestik, khususnya efluen *septic tank*, menggunakan media biofilter berbasis biomassa alami. Proses tinjauan dilakukan mengikuti prinsip PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) untuk menjamin ketelusuran dan konsistensi proses seleksi literatur.

2.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dalam tinjauan sistematis ini mencakup lima langkah utama, yaitu (1) perumusan fokus dan ruang lingkup penelitian, (2) pencarian literatur, (3) penyaringan dan seleksi artikel, (4) ekstraksi informasi dan sintesis data. Pertama,

ditetapkan ruang lingkup penelitian yang menitikberatkan pada pengolahan limbah domestik berbasis *septic tank* dengan media biofilter biomassa alami, khususnya batang pisang. Kedua, dilakukan pencarian literatur pada basis data ilmiah bereputasi. Ketiga, dilakukan seleksi artikel berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Keempat, data dari artikel terpilih diekstraksi dan dianalisis. Kemudian temuan penelitian disusun dalam bentuk sintesis naratif yang sistematis.

2.2 Strategi Pencarian Literatur

Pencarian literatur dilakukan melalui basis data ilmiah, yaitu *Scopus*, *sciencedirect*, *Google Scholar*, *sciencedirect*, dan jurnal nasional terakreditasi dalam bahasa Inggris dan Indonesia. Periode pencarian 9-22 Desember 2025. Kata kunci yang digunakan antara lain: “*septic tank effluent*”, “*natural biofilter*”, “*banana stem*”, “*banana trunk biofilter*”, “*domestic wastewater treatment*”, dan “*organic filter media*”. Kombinasi kata kunci juga disesuaikan menggunakan operator *Boolean* (*AND*, *OR*) untuk memperoleh cakupan pencarian yang relevan, selektif, dan spesifik terhadap konteks penelitian.

2.3 Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi dalam tinjauan ini meliputi: (1) artikel yang dipublikasikan dalam jurnal ilmiah atau prosiding konferensi, (2) penelitian yang membahas pengolahan limbah domestik atau limbah cair menggunakan media biofilter alami, (3) studi yang melaporkan parameter kinerja pengolahan seperti BOD, COD, TSS, atau nutrisi, serta (4) publikasi dalam rentang tahun 2021-2025. Sebaliknya, kriteria eksklusi meliputi artikel non-ilmiah, laporan tanpa data kuantitatif, dan publikasi yang tidak relevan dengan konteks pengolahan limbah domestik berbasis biofilter. Selain itu, peninjauan ini menerapkan kriteria inklusi yang lebih ketat terkait metodologi penelitian, dengan menilai validitas desain eksperimen, konsistensi pengukuran parameter, serta transparansi analisis data, untuk memastikan hanya studi dengan kualitas metodologis yang memadai yang dianalisis secara empiris.

2.4 Proses Seleksi Literatur

Pada Gambar 1, proses seleksi literatur dilakukan melalui empat tahapan sesuai protokol PRISMA, yaitu tahap identifikasi, penyaringan, penentuan kelayakan, dan inklusi (Page et al., 2021). Tahap awal berupa penyaringan judul dan abstrak untuk menilai kesesuaian topik, kemudian dilanjutkan dengan telaah teks penuh untuk memastikan kecocokan konten dengan kriteria inklusi. Artikel yang lolos seleksi kemudian diklasifikasikan berdasarkan fokus kajian, seperti jenis media biofilter, desain sistem, kondisi operasional, serta kinerja pengolahan parameter pencemar.

2.5 Teknik Analisis dan Sintesis Data

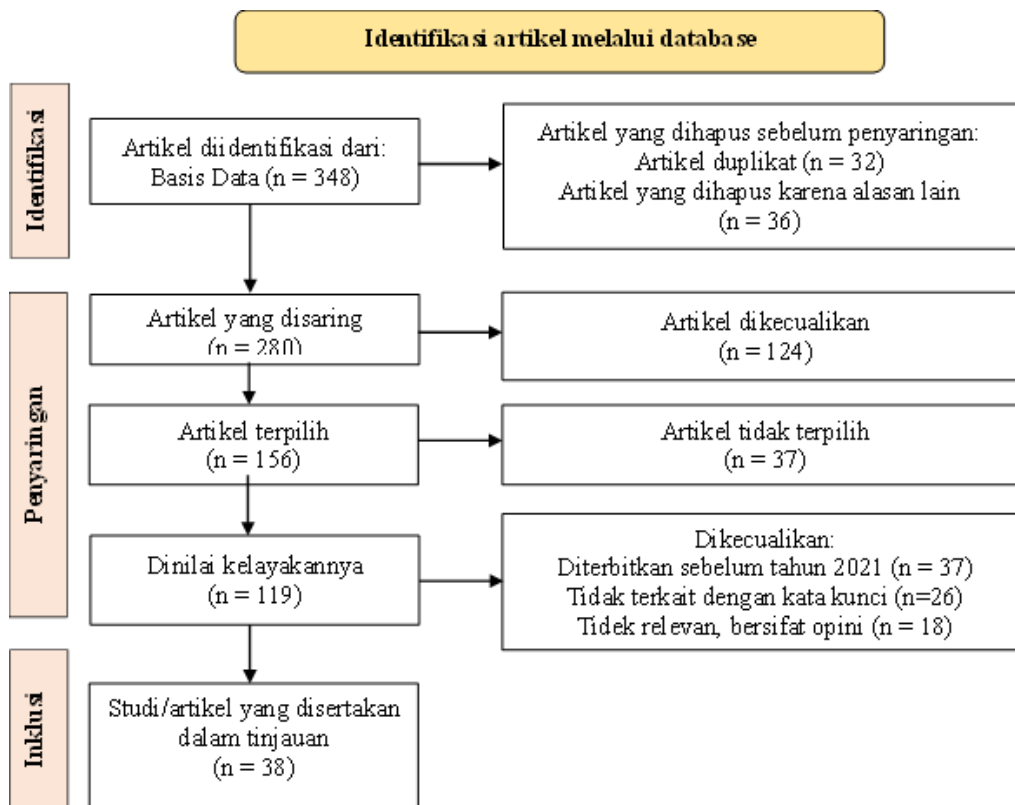
Analisis data dilakukan secara kualitatif menggunakan metode sintesis naratif, dengan membandingkan temuan antar studi. Fokus analisis meliputi mekanisme kerja biofilter batang pisang, efektivitas penurunan parameter pencemar, keunggulan dan keterbatasan media, serta faktor-faktor yang memengaruhi kinerja sistem. Dari proses penyaringan literatur, sebanyak 119 artikel dinyatakan layak, dan 38 artikel memenuhi kriteria inklusi untuk analisis empiris. Hasil analisis kemudian disajikan dalam bentuk uraian konseptual guna memperjelas pola, variasi kinerja, dan kecenderungan hasil penelitian.

2.6 Kerangka Analisis Konseptual

Untuk mendukung integrasi pembahasan, digunakan suatu kerangka analisis konseptual yang mengaitkan karakteristik fisik dan biologis batang pisang dengan proses pengolahan limbah dalam biofilter, meliputi proses filtrasi, pembentukan biofilm, biodegradasi bahan organik, serta penurunan beban pencemar. Kerangka ini menjadi acuan dalam interpretasi temuan dan penarikan kesimpulan.

2.7 Keterbatasan Metodologi

Metodologi penelitian ini memiliki keterbatasan berupa ketergantungan pada data sekunder dari literatur yang tersedia serta variasi desain, skala sistem, dan kondisi operasional antar studi. Oleh karena itu, hasil tinjauan yang disajikan bersifat komparatif dan konseptual, serta tidak dimaksudkan untuk menggantikan hasil uji eksperimental langsung pada skala lapangan.



Gambar 1. Diagram alur PRISMA untuk seleksi literatur

2.8 Keterbatasan Metodologi

Metodologi penelitian ini memiliki keterbatasan berupa ketergantungan pada data sekunder dari literatur yang tersedia serta variasi desain, skala sistem, dan kondisi operasional antar studi. Oleh karena itu, hasil tinjauan yang disajikan bersifat komparatif dan konseptual, serta tidak dimaksudkan untuk menggantikan hasil uji eksperimental langsung pada skala lapangan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Deskriptif Data Studi

Sebanyak 38 artikel ilmiah yang memenuhi kriteria inklusi telah disintesis secara kualitatif dalam kajian ini. Analisis deskriptif dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik umum studi yang membahas penggunaan media batang pisang sebagai

biofilter alami. Artikel-artikel yang dianalisis merupakan publikasi paling relevan dan produktif pada periode 2021-2025, dengan fokus pada pengolahan limbah *septic tank* dan limbah domestik menggunakan media biomassa alami, khususnya batang pisang, baik pada skala laboratorium, pilot, maupun aplikasi lapangan. Ringkasan karakteristik utama studi, meliputi penulis, tahun publikasi, jenis limbah, parameter yang dianalisis, serta hasil utama, disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Studi Penggunaan Media Batang Pisang sebagai Biofilter Alami

No	Media Biofilter / Kategori	Penulis & Tahun	Jenis Limbah	Parameter	Hasil Utama
1	<i>Banana stem / pseudo-stem / trunk fiber</i>	Khamis & Jalil (2021), Kusumawardani et al. (2021), Pratiwi et al. (2021), Naragundkar et al. (2022), Saragih et al. (2024), Zulkepli & Jalil (2023), Mohammed et al. (2024)	Limbah domestik, <i>laundry</i> , POME, <i>greywater</i> , industri	COD, BOD, TSS, NH ₃	COD turun 55-84 %, BOD 58-70 %, TSS 55-84 %; efektif sebagai adsorben alami & media biofilm
2	<i>Banana peel / fibre / waste</i>	Daffalla et al. (2024), Farias et al. (2023), Habimana et al. (2025), Liu et al. (2022)	Limbah organik berbahaya, larutan logam berat	COD, BOD, TSS, NH ₄ ⁺ , PO ₄ ³⁻ , logam (Cd, Pb)	Adsorpsi senyawa organik & logam berat 65-92 %; mendukung ekonomi sirkular & biofilter berkelanjutan
3	<i>Cellulose nanofiber (CNF)-based green filter</i>	Alam et al. (2025)	Limbah domestik	COD, BOD, TSS	Pengurangan COD & BOD ~85 %, TSS ~80 %; biofilter ramah lingkungan
4	<i>Biofilter / biofilm carriers / bioball</i>	Hussein et al. (2025), Kaiser et al. (2024), Pramita et al. (2020), Sha et al. (2024)	Limbah domestik, mikro-pencemar organik	COD, BOD, TSS, biodegradasi	Efisiensi COD & BOD 60-85 %; strategi hijau & biofilm meningkatkan degradasi
5	<i>Coconut husk / activated carbon & natural media</i>	Brown et al. (2025), Nasaruddin et al. (2021), Moka et al. (2023), Kristina et al. (2024)	Limbah domestik, dapur, pertanian	COD, BOD, TSS, pH, TDS	Penurunan COD & BOD 60-75 %, TSS 55-65 %; media campuran & multifilter meningkatkan stabilitas dan efisiensi
6	<i>Septic tank / instalasi pengolahan domestik</i>	Aprilia et al. (2025), Kurnia et al. (2024), Novembry & Yulistyorini (2022), Obeidat et al. (2024), Ventura et al. (2024)	Limbah domestik	COD, BOD, TSS	Efisiensi COD & BOD 60-80 %, TSS 60-65 %; desain desentralisasi & <i>upflow/downflow</i> memengaruhi performa

No	Media Biofilter / Kategori	Penulis & Tahun	Jenis Limbah	Parameter	Hasil Utama
7	<i>Biochar / lignocellulosic biochar / eco-framework</i>	Liu et al. (2022), Muoghalu et al. (2023), Zahoor et al. (2025), Li et al. (2023)	Limbah domestik, industri, larutan logam, lingkungan	COD, BOD, TSS, logam berat, prioritas pengelolaan	Biochar & framework efektif sebagai adsorben & alat manajemen limbah; mendukung pengolahan berkelanjutan
8	<i>Pretreatment hijau / lignocellulosic biomass</i>	Ardhiansyah et al. (2024)	Limbah biomassa pertanian	Delignifikasi, adsorpsi	Pretreatment hijau meningkatkan delignifikasi & kapasitas adsorpsi 30-40 %
9	Biogas / organik rumah tangga	Satriani et al. (2025)	Limbah organik	Metana, COD, BOD	Pemanfaatan sampah organik untuk biogas meningkatkan efisiensi energi & pengolahan limbah

Berdasarkan Tabel 1, studi yang dikaji mencakup berbagai konteks aplikasi, mulai dari efluen *septic tank*, limbah domestik rumah tangga, *greywater*, hingga limbah cair industri skala kecil, yang secara umum memiliki karakteristik serupa berupa kandungan bahan organik dan padatan tersuspensi yang relatif tinggi (Pratiwi et al., 2021; Rajendra & R, 2021; Saragih et al., 2024).

Pada jenis media, mayoritas studi memanfaatkan media biomassa alami berbasis lignoselulosa, seperti batang pisang, serat kelapa, residu pertanian, *woodchips*, serta material tanaman lainnya (Alam et al., 2025; Daffalla et al., 2024; Habimana et al., 2025). Pemilihan media tersebut didasarkan pada sifat fisik dan kimia yang mendukung proses biofiltrasi, terutama porositas yang tinggi, luas permukaan spesifik besar, serta kemampuan material untuk menopang pertumbuhan biofilm mikroorganisme (Farias et al., 2023). Selain itu, media berbasis biomassa dianggap lebih berkelanjutan, karena bersumber dari bahan terbarukan dan sering kali berasal dari limbah pertanian, sehingga mendukung prinsip *circular economy* (Dey et al., 2022). Teknik pra-pengolahan hijau pada biomassa lignoselulosa dapat meningkatkan delignifikasi, sehingga memperbaiki karakteristik fisik dan kimia media serta mendukung pertumbuhan biofilm mikroba pada sistem biofilter. Pretreatment hijau ini terbukti meningkatkan delignifikasi dan kapasitas adsorpsi media hingga 30-40 % (Ardhiansyah et al., 2024).

Ditinjau dari desain penelitian, sebagian besar studi yang dikaji merupakan penelitian eksperimental skala laboratorium dan pilot-scale, dengan variasi konfigurasi reaktor biofilter, seperti aliran vertikal, aliran horizontal, dan sistem multi-media (Brown et al., 2025; Mohammed et al., 2024). Parameter kualitas air yang paling sering dianalisis meliputi BOD, COD, dan TSS, sementara beberapa studi juga menambahkan parameter nutrisi seperti amonia dan nitrat untuk mengevaluasi potensi pengolahan lanjutan (Pramudia et al., 2025; Rahman et al., 2022). Hal ini menunjukkan bahwa fokus utama penelitian masih berada pada pengurangan beban organik dan padatan tersuspensi sebagai indikator utama kinerja biofilter alami.

Distribusi geografis studi menunjukkan bahwa pendekatan biofilter alami lebih banyak diterapkan dan dikaji di negara berkembang dan wilayah tropis (Sha et al., 2024; Ventura et al., 2024). Kondisi ini berkaitan erat dengan keterbatasan infrastruktur

pengolahan air limbah terpusat serta tingginya ketergantungan masyarakat terhadap sistem sanitasi terdesentralisasi. Dalam hal ini, biofilter alami dipandang sebagai solusi yang adaptif, karena dapat memanfaatkan material lokal dengan biaya investasi dan operasional yang relatif rendah (Khamis & Jalil, 2021; Kusumawardani et al., 2021).

Sebagian besar penelitian menempatkan biofilter alami sebagai unit pengolahan lanjutan (*post-treatment*) setelah *septic tank* atau unit pengolahan primer lainnya (Novembry & Yulistyorini, 2022; Obeidat et al., 2024). Jenis media filter alami berpengaruh nyata terhadap perubahan pH dan *Total Dissolved Solids* (TDS) pada alat penjernih air bio-multifilter (Kristina et al., 2024; Muguirrimaa et al., 2024). Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas efluen agar memenuhi baku mutu lingkungan sebelum dibuang ke badan air atau tanah. Temuan ini menegaskan bahwa biofilter alami, termasuk yang menggunakan media batang pisang, berperan penting dalam meningkatkan kinerja sistem sanitasi terdesentralisasi secara keseluruhan, khususnya pada skala permukiman dan komunitas kecil (Saragih et al., 2024; Setiawan, 2020).

Dengan demikian, karakteristik studi yang dikaji menunjukkan adanya kecenderungan kuat terhadap pemanfaatan material lokal dan pendekatan teknologi sederhana, namun masih terdapat variasi yang cukup besar dalam desain sistem dan parameter operasional. Variasi ini mencerminkan belum adanya standar baku dalam penerapan biofilter alami, sekaligus membuka peluang penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan desain dan kinerja media biomassa, seperti batang pisang, dalam pengolahan limbah *septic tank* (Daffalla et al., 2024; Pramudia et al., 2025).

3.2 Kinerja Media Batang Pisang dalam Pengolahan Limbah

Batang pisang mengandung lignoselulosa yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin, yang berperan ganda dalam proses adsorpsi dan aktivitas mikroba di biofilter (Khamis & Jalil, 2021; Zulkepli & Jalil, 2023). Selulosa dan hemiselulosa menyediakan serat fibrosa yang membentuk struktur matriks dengan luas permukaan tinggi, memungkinkan adsorpsi senyawa organik dan ion terlarut melalui interaksi dengan gugus hidroksil (-OH) dan karboksil (-COOH) yang terdapat pada lignoselulosa (Habimana et al., 2025; Setiawan, 2020). Struktur pori alami batang pisang berperan sebagai habitat mikroba, menciptakan mikro-lingkungan yang mendukung kolonisasi spesies nitrifikasi (misal *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*) dan denitrifikasi (misal *Pseudomonas* spp.), sehingga meningkatkan pengolahan nitrogen melalui konversi amonium menjadi nitrat dan selanjutnya menjadi nitrogen gas (Kusumawardani et al., 2021; Mohammed et al., 2024).

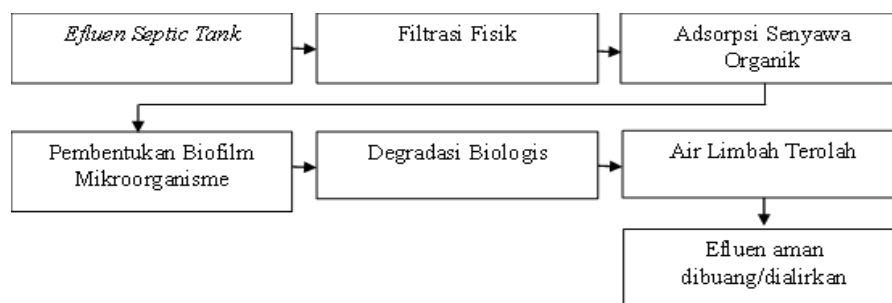
Secara biokimia, lignin yang relatif lebih resisten terhadap degradasi berfungsi mempertahankan integritas fisik media selama operasi, sementara selulosa mudah diakses oleh mikroba heterotrof untuk metabolisme senyawa organik, menghasilkan senyawa antara yang dapat dimanfaatkan oleh bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi (Zulkepli & Jalil, 2023). Kombinasi kemampuan adsorpsi kimia dan dukungan biologis ini menjadikan batang pisang efektif untuk menurunkan total nitrogen, amonium, fosfat, serta polutan organik, sekaligus mempertahankan stabilitas biofilm dan kinerja biofilter dalam jangka panjang (Pramudia et al., 2025; Saragih et al., 2024).

Hasil kajian menunjukkan bahwa batang pisang (*banana stem/pseudostem*) memiliki kinerja signifikan sebagai biofilter alami untuk limbah domestik dan efluen *septic tank*, dengan penurunan TSS 60-85 %, COD 45-80 %, dan BOD 50-77 %. Variasi kinerja dipengaruhi ketebalan media, Hydraulic Retention Time (HRT), tingkat pencemaran awal, dan karakteristik limbah (Hussein et al., 2025; Kusumawardhani et al., 2016; Saragih et al., 2024). Rentang efisiensi ini menunjukkan kesesuaian batang pisang sebagai *post-treatment* pada sistem terdesentralisasi.

Efektivitas media ditentukan oleh interaksi mekanisme filtrasi, adsorpsi, dan biodegradasi berbasis biofilm (Pramudia et al., 2025; Rahman et al., 2022). Struktur batang pisang yang berongga dan berserat dengan kandungan lignoselulosa tinggi menyediakan luas permukaan bagi kolonisasi mikroorganisme aerob dan fakultatif (Habimana et al., 2025; Moka et al., 2023). Biofilm berperan dalam degradasi COD dan BOD, sedangkan filtrasi mekanik menurunkan TSS, dan adsorpsi lignoselulosa membantu retensi organik (Alam et al., 2025; Rajendra & R, 2021).

Kinerja biofilter dipengaruhi oleh porositas dan kepadatan serat (Muguirrimaa et al., 2024). Di mana media terlalu permeabel menurunkan kontak mikroba, sedangkan media terlalu padat meningkatkan TSS removal tetapi berisiko clogging (Daffalla et al., 2024; Farias et al., 2023; Habimana et al., 2025). Peningkatan HRT dari 6-24 jam meningkatkan efisiensi COD dan BOD hingga 15-20 %, namun HRT terlalu panjang mendorong penumpukan biofilm (Kusumawardani et al., 2021; Novembry & Yulistyorini, 2022). Efisiensi juga dipengaruhi konsentrasi organik, TSS awal, pH, serta adaptasi mikroba (Pratiwi et al., 2021; Rajendra & R, 2021). Ekstrak batang pisang menunjukkan kemampuan adsorpsi tambahan terhadap pencemar organik dan logam berat (Liu et al., 2022; Naragundkar et al., 2022).

Secara keberlanjutan, batang pisang merupakan biomassa berbiaya rendah, tersedia luas di wilayah tropis, serta memiliki sifat adsorptif dan biokompatibel yang sebanding dengan biochar dan biomassa lainnya (Muoghalu et al., 2023; Nasaruddin et al., 2021; Zulkepli & Jalil, 2023). Pemanfaatannya mendukung circular economy dalam sanitasi terdesentralisasi di daerah berdaya dukung rendah (Pramudia et al., 2025; Saragih et al., 2024). Pada Gambar 2, mekanisme fisik-kimia-biologis yang terintegrasi, batang pisang memenuhi kriteria media biofilter yang efektif, ekonomis, dan berkelanjutan untuk pengolahan efluen *septic tank*.



Gambar 2. Diagram Mekanisme Kinerja Media Batang Pisang dalam Pengolahan Limbah

3.3 Variabilitas Kinerja dan Faktor yang Mempengaruhi

Media batang pisang menunjukkan kinerja yang relatif stabil dalam menurunkan TSS, COD, dan BOD, meskipun terdapat variasi efisiensi pengolahan antartstudi. Variabilitas ini dipengaruhi oleh kondisi operasional, karakteristik awal limbah, serta perubahan sifat fisik dan biologis media selama penggunaan (Alam et al., 2025). Fenomena serupa dilaporkan pada media biochar, di mana efektivitas penyisihan BOD, COD, TSS, dan nutrisi sangat ditentukan oleh jenis bahan baku, metode produksi, serta kondisi operasional sistem (Muoghalu et al., 2023). Variabilitas ini umum terjadi pada media biofilter berbasis biomassa alami yang mengandalkan pembentukan dan dinamika biofilm, sehingga perlu menjadi perhatian dalam perancangan sistem sanitasi terdesentralisasi (Daffalla et al., 2024; Novembry & Yulistyorini, 2022).

Karakteristik influen merupakan faktor kunci yang memengaruhi fluktuasi kinerja biofilter batang pisang. Limbah dengan konsentrasi awal bahan organik dan TSS tinggi cenderung menghasilkan efisiensi penurunan COD dan BOD yang lebih bervariasi, terutama pada tahap awal operasi ketika biofilm belum terbentuk secara stabil. Variasi

beban organik dan padatan antar lokasi dan jenis limbah turut berkontribusi terhadap rentang efisiensi pengolahan yang lebar, sebagaimana dalam studi eksperimental sistem biofilter berbasis biomassa alami (Pratiwi et al., 2021; Saragih et al., 2024).

Faktor operasional, terutama *Hydraulic Retention Time* (HRT), menjadi penentu utama stabilitas dan efisiensi biofilter batang pisang, dengan kisaran optimal 12-24 jam yang memungkinkan proses filtrasi, adsorpsi, dan biodegradasi berlangsung efektif. Pada rentang tersebut, biofilm terbentuk lebih stabil dan meningkatkan penurunan TSS serta senyawa organik terlarut. Sebaliknya, HRT terlalu singkat membatasi aktivitas mikroba dan meningkatkan risiko wash-out padatan, sehingga menurunkan efisiensi TSS dan BOD (Huamán et al., 2022; Kaiser et al., 2024). Hal ini sejalan dengan temuan mengenai pengaruh beban hidraulik pada sistem biofilter biomassa alami, yang menegaskan pentingnya pengaturan HRT sebagai parameter desain utama dalam sistem terdesentralisasi (Kusumawardani et al., 2021; Mohammed et al., 2024). Pemanfaatan limbah organik rumah tangga, seperti untuk biogas, terbukti menurunkan pencemaran secara signifikan (Satriani et al., 2025). Hal ini sejalan dengan penggunaan batang pisang sebagai media biofilter alami yang menyerap partikel tersuspensi dan senyawa organik untuk meningkatkan kualitas efluen domestik. Evaluasi instalasi biofilter domestik juga menunjukkan penurunan TSS, COD, dan BOD yang efektif melalui mekanisme filtrasi, adsorpsi, dan aktivitas mikroba, memperkuat potensi media alami ini sebagai alternatif pengolahan limbah terdesentralisasi (Aprilia et al., 2025).

Variabilitas kinerja juga berkaitan dengan dinamika pembentukan dan kestabilan biofilm pada permukaan batang pisang. Pada fase *start-up*, efisiensi pengolahan meningkat seiring kolonisasi mikroorganisme dan pembentukan *extracellular polymeric substances* (EPS). Namun perubahan debit atau lonjakan beban organik dapat mengganggu struktur biofilm dan menyebabkan fluktuasi efisiensi (Hussein et al., 2025). Selain faktor biologis, perubahan sifat fisik media selama operasi turut memengaruhi kinerja. Sebagai biomassa *biodegradable*, batang pisang mengalami pelapukan bertahap yang dapat mengubah porositas dan stabilitas struktural. Dalam jangka panjang, degradasi berlebih menyebabkan pemadatan media atau pelepasan partikel halus yang menurunkan penurunan TSS (Daffalla et al., 2024; Loh et al., 2021).

Faktor lingkungan, seperti suhu dan kondisi redoks, juga berperan dalam mengendalikan aktivitas mikroba pada biofilter. Penurunan suhu dapat memperlambat metabolisme mikroorganisme, sedangkan fluktuasi anaerob-fakultatif memengaruhi jalur degradasi senyawa organik (Huamán et al., 2022; Ventura et al., 2024). Di sisi lain, variabilitas kualitas bahan baku batang pisang, misalnya umur tanaman dan kondisi pascapanen mempengaruhi stabilitas media, proses pembentukan biofilm, dan pada akhirnya kinerja keseluruhan sistem (Loh et al., 2021; Mohammed et al., 2024).

Variabilitas kinerja batang pisang mencerminkan sifat adaptif biomassa, sehingga pengendalian HRT, debit aliran, kualitas bahan baku, dan penggantian media berkala penting untuk menjaga stabilitas dan efektivitas biofilter. Korelasi antara jenis pre-treatment media dan efisiensi penyisihan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Korelasi antara Jenis Pre-Treatment Media Batang Pisang dan Efisiensi Penyisihan

Jenis Pre-Treatment Media	Tujuan / Mekanisme	Parameter yang Terpengaruh	Efek terhadap Efisiensi Penyisihan	Referensi
Tanpa Pre-Treatment (Batang Pisang Segar / Potong Kasar)	Menyediakan permukaan fisik dan rongga berpori untuk filtrasi mekanik dan kolonisasi biofilm	TSS, COD, BOD	Efektif menurunkan TSS, COD, dan BOD melalui filtrasi dan biodegradasi mikroba, dengan efisiensi tergantung HRT	Pratiwi et al. (2021); Saragih et al. (2024); Novembry & Yulistyorini (2022)

Pencucian & Pengeringan (Dehydration) Tanpa Karbonisasi	Menghilangkan kotoran, menstabilkan struktur, mencegah pembusukan cepat.	TSS, warna, bau	Memperpanjang umur media dan konsistensi filtrasi; TSS meningkat, adsorpsi kimia terbatas.	Loh et al. (2021); Mohammed et al. (2024)
Karbonisasi / Pirolisis Biochar Batang Pisang	Meningkatkan luas permukaan, porositas, dan gugus fungsional untuk adsorpsi	COD, warna, pewarna tekstil, nutrisi	Efisiensi adsorpsi organik dan pewarna tinggi melalui mekanisme fisik-kimia; mendukung pembentukan biofilm.	Daffalla et al. (2024); Muoghalu et al. (2023); Mohammed et al. (2024)
Aktivasi Biochar (Kimia/Fisik)	Menambah gugus karboksil, hidroksil dan meningkatkan sifat hidrofilik	Nutrien (N, P), pewarna, mikro polutan	Penyisihan lebih tinggi dari biochar biasa terutama untuk fosfat, amonia, dan warna; potensi adsorpsi meningkat	Mengacu ke mekanisme adsorpsi aktif pada: Daffalla et al. (2024); Muoghalu et al. (2023)
Produksi Serat / Selulosa (Fibril / Pseudostem CNF-like)	Menurunkan struktur jadi fibril, memperluas permukaan & gugus -OH.	COD, TSS, bakteri, warna	Penyisihan meningkat melalui filtrasi, adsorpsi, dan ikatan hidrogen; mekanisme mirip CNF-based filter.	Alam et al. (2025)
Biokarrier / Biofilm Carrier Berbasis Serat	Meningkatkan area kolonisasi bakteri untuk penguraian organik	BOD, COD, mikro polutan	Efisiensi biodegradasi meningkat terutama pada OLR tinggi, cocok untuk biofilter aerob	Kaiser et al. (2024); Hussein et al. (2025); Mohammed et al. (2024)
Kombinasi Biochar dan Biofilm (Hybrid Biofilter)	Sinergi adsorpsi organik + biodegradasi mikroba	BOD, COD, OC, warna	Efisiensi tinggi pada pollutant organik dan warna; memperpanjang umur media	Huamán et al. (2022); Kaiser et al. (2024); Mohammed et al. (2024)
Pre-Treatment Kompos / Digestasi Organik	Menyamakan karakteristik lignoselulosa & meningkatkan porositas mikro	COD, bau, nutrisi	Mendukung mikroba, menstabilkan pH, dan meningkatkan penyisihan pada sistem anaerob/low-energy	Satriani et al. (2025); Ventura et al. (2024)
Integrasi dalam Sistem Septik / Upflow–Downflow Filter	Menambahkan media batang pisang sebagai penyangga filtrasi + biocarrier	TSS, BOD, COD, nutrisi	Efisiensi penyisihan meningkat melalui multiple-stage removal; sensitivitas terhadap HRT	Novembry & Yulistyorini (2022); Pratiwi et al. (2021); Aprilia et al. (2025)

Berdasarkan tabel 2, korelasi antara jenis pre-treatment batang pisang dan efisiensi penyisihan tercermin dari peningkatan mekanisme pengolahan yang mengikuti intensitas perlakuan. Media tanpa pra-perlakuan terutama bekerja melalui filtrasi dan memberikan efek terbesar pada TSS dan sebagian beban organik. Pada *pre-treatment* yang lebih tinggi seperti pengeringan, karbonisasi dan aktivasi, peningkatan porositas dan gugus fungsional memperkuat adsorpsi terhadap polutan terlarut, warna, dan nutrisi. Pemrosesan lebih lanjut menjadi serat atau biocarrier mendukung kolonisasi mikroba dan meningkatkan biodegradasi. Dengan demikian, semakin intensif *pre-treatment*, semakin tinggi kapasitas penyisihan dan semakin beragam parameter polutan yang dapat ditangani.

3.4 Implikasi Pengolahan Limbah *Septic Tank* Menggunakan Media Batang Pisang

Penggunaan media batang pisang (*banana stem/pseudo-stem/trunk fiber*) dalam biofilter septic tank memberikan dampak positif terhadap lingkungan. Media ini efektif menurunkan COD, BOD, dan TSS, sehingga mengurangi beban pencemar organik dan partikel tersuspensi yang masuk ke perairan atau tanah, serta mencegah eutrofikasi dan pencemaran air permukaan (Pramudia et al., 2025; Pratiwi et al., 2021). Kandungan selulosa yang tinggi juga memungkinkan adsorpsi logam berat dan senyawa organik, menjadikan efluen yang dibuang lebih aman (Habimana et al., 2025; Mohammed et al., 2024). Pemanfaatan batang pisang sebagai media biofilter mendukung prinsip *circular economy* dengan memanfaatkan limbah pertanian yang melimpah sekaligus mengurangi potensi emisi gas rumah kaca akibat pembakaran atau pembuangan limbah organik (Pramudia et al., 2025; Saragih et al., 2024).

Tantangan utama media organik adalah sifat *biodegradable* yang menyebabkan pelapukan dan penurunan kinerja biofilter (Loh et al., 2021). Strategi teknis dengan pengeringan, karbonisasi, dan aktivasi meningkatkan stabilitas fisik-kimia, porositas, dan ketahanan mikroba, sehingga memperpanjang umur media dan kapasitas adsorpsi (Wang et al., 2024). Pengendalian beban organik, pH, dan aerasi juga membantu menekan pelapukan biologis dan menjaga performa sistem jangka panjang.

Kesenjangan penelitian meliputi variasi efisiensi terhadap karakteristik limbah, umur dan regenerasi media, kombinasi media, serta penerapan skala komunitas versus industri. Studi jangka panjang terkait dampak ekologi dan polutan residual masih terbatas. Penelitian masa depan diperlukan dalam menitikberatkan pada modifikasi kimia serat batang pisang untuk meningkatkan degradasi organik, kapasitas adsorpsi, dan umur media.

Dengan demikian, penggunaan media batang pisang tidak hanya memberikan manfaat lingkungan langsung melalui pengolahan limbah, tetapi juga membuka peluang inovasi untuk pengembangan biofilter yang lebih efisien, aman, dan berkelanjutan di masa depan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan tinjauan literatur, batang pisang terbukti sebagai media biofilter alami yang efektif untuk pengolahan limbah *septic tank* dan domestik. Media ini mampu menurunkan TSS hingga 55-84 %, COD 55-84 %, dan BOD 58-70 % melalui kombinasi filtrasi fisik, adsorpsi senyawa organik, dan degradasi biologis oleh biofilm mikroorganisme. Kinerja biofilter dipengaruhi oleh waktu tinggal hidraulik, ketebalan media, dan karakteristik limbah; HRT 12-24 jam dan ketebalan media 10-20 cm dianggap optimal untuk mencapai efisiensi tersebut. Batang pisang memiliki keunggulan biaya rendah, ketersediaan lokal tinggi, dan pembentukan biofilm lebih cepat, sehingga sistem biofilter menjadi praktis dan adaptif.

Selain itu, penggunaan batang pisang sebagai media biofilter memberikan manfaat lingkungan, antara lain mengurangi beban pencemar organik, mencegah eutrofikasi, menurunkan risiko akumulasi logam berat, serta mendukung prinsip *circular economy* melalui pemanfaatan limbah pertanian. Variasi kinerja antar-limbah menekankan perlunya desain modular, pemantauan berkala, dan penyesuaian operasional agar sistem tetap efektif. Kesenjangan penelitian masih pada optimasi desain biofilter, evaluasi umur pakai dan regenerasi media, studi jangka panjang dampak ekologi, serta integrasi dengan sistem energi terbarukan atau pemanfaatan limbah untuk biogas.

Penelitian masa depan disarankan menitikberatkan pada modifikasi kimia serat batang pisang untuk meningkatkan degradasi organik, kapasitas adsorpsi, dan umur media. Didukung *hybrid media*, integrasi energi terbarukan, serta studi pilot jangka panjang untuk optimasi *Organic Loading Rate* (OLR), HRT, dan regenerasi. Pendekatan ini akan membuat biofilter batang pisang lebih efisien, tahan lama, adaptif, dan selaras dengan prinsip sanitasi berkelanjutan dan *circular economy*.

REFERENCES

- Alam, M. M., Islam, J., Naher, S., Grattan, K. T. V., Narjim, S., & Heffernan, C. (2025). Wastewater treatment using cellulose nanofiber (CNF) -based green filters : A sustainable approach to water purification. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 10, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2025.100824>
- Aprilia, B. A., Utama, T. T., Lingkungan, T., Islam, U., & Sunan, N. (2025). Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik PT . B. *INSOLOGI (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 4(5), 1196–1210. <https://doi.org/10.55123/insologi.v4i5.6482>
- Ardhiansyah, H., Kusumaningrum, M., & Shiddieqy, Z. A. (2024). Green Pretreatment Techniques for Enhanced Delignification of Lignocellulosic Biomass : A Case Study of Biomass Waste in Indonesia Green Pretreatment Techniques for Enhanced Delignification of Lignocellulosic Biomass : A Case Study of Biomass Waste in Ind. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1381, 1–16. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1381/1/012034>
- Bodzek, M., & Pohl, A. (2024). Microplastics in Wastewater Treatment Plants : Characteristics , Occurrence and Removal Technologies. *Water*, 16, 1–31. <https://doi.org/10.3390/w16243574>
- Brown, N., Edwards, J., Yarita, S., & Chia, S. (2025). Brown Coconut Husks as Media Within an Anaerobic Filter for Improving On-Site Wastewater Treatment. *Applied Science*, 15, 1–13. <https://doi.org/doi.org/10.3390/app15041944>
- Daffalla, S., Taha, A., Da'na, E., & El-Aassar, M. R. (2024). Sustainable Banana-Waste-Derived Biosorbent for Congo Red Removal from Aqueous Solutions : Kinetics , Equilibrium , and. *Water*, 16, 1–20. <https://doi.org/doi.org/10.3390/w16101449>
- Dey, S., Uppala, P., Sambangi, A., & Haripavan, N. (2022). Cleaner and Circular Bioeconomy Recycling of solid waste biosorbents for removal of nitrates from contaminated water. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 2, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2022.100014>
- Farias, K. C. S., Guimar, R. C. A., Oliveira, K. R. W., Naz, C. E. D., Ferencz, J. A. P., & Wender, H. (2023). Banana Peel Powder Biosorbent for Removal of Hazardous Organic Pollutants from Wastewater. *Toxics*, 11, 1–16. <https://doi.org/10.3390/toxics11080664>
- Habimana, V., Pou, P., Rodríguez, I., Ufitinema, J. C., Ifeyinwa, A., Hakkarainen, M., & Nsabimana, A. (2025). Banana fibres as adsorbents for ammonium and phosphate in slaughterhouse wastewater. *Water Research X*, 29(July), 100451. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2025.100451>
- Huamán, M. M., Rosas, Y. W., & Depaz, K. F. (2022). Effect of Hydraulic and Organic Load , in the Removal of Biochemical Oxygen Demand in Wastewater using Biofilter with Vegetable Carbon , in High Andean Climate Effect of Hydraulic and Organic Load , in the Removal of Biochemical Oxygen Demand in Wastewater. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 973, 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/973/1/012002>
- Hussein, H. M., Abdelmomen, M. M., Taha, A. M., & Nagy, A. M. (2025). Treatment of wastewater using innovative and novel biofilm carriers. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 12(3), 7853–7860. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2025.123.7853>
- Kaiser, T., Fundneider, T., & Lackner, S. (2024). Biodegradation kinetics of organic micropollutants in biofilters for advanced wastewater treatment – Impact of operational conditions and biomass origin on removal. *Water Research X*, 24, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2024.100235>

- Khamis, M. N. H., & Jalil, M. R. (2021). Potential of Banana Stem as Bio-adsorbent for Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment : A Systematic Literature Review. *Progress in Engineering Application and Technology*, 2(1), 62–73.
- Kristina, M. Y., Jaya, A. R., Studi, P., Sipil, T., Teknik, F., Raya, U. P., Jalan, N., Sudarso, Y., Raya, P., Nanas, S. D., Kelapa, S., Purun, D., & Jagung, K. (2024). Pengaruh Jenis Media Filter Alami Alat Penjernih Air Bio- Multifilter Terhadap Perubahan ph dan TDS. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 10(2), 72–85.
- Kurnia, G. G., Qinthara, D., Ramadhan, M. F., Asifah, N., Ramadhan, T. R., & Dirgawati, M. (2024). Analisis permasalahan penerapan teknologi tangki septik komunal di RW 07 Tamansari , Kelurahan Lebak Siliwangi , Kota Bandung Analysis of problems in the application of communal septic tank technology in Target ke-6 dari Tujuan Pembangunan Berkelanjutan a. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan*, 8(1), 26–37.
- Kusumawardani, Y., Subekti, S., Astuti, W., & Soehartono, S. (2021). Portable wastewater treatment plant using banana stem filter media in small scale motor vehicle washing services Portable wastewater treatment plant using banana stem filter media in small scale motor vehicle washing services. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 746, 1–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/746/1/012039>
- Kusumawardhani, V., Sutjahjo, S. H., Dewi, I. K., & Panjaitan, N. F. (2016). Penyediaan Infrastruktur Pengelolaan Persampahan di Lingkungan Permukiman Kumuh Kota Bandung. *Jurnal Permukiman*, 11(2), 100. <https://doi.org/10.31815/jp.2016.11.100-109>
- Li, H., Zhang, S., Zhang, J., Zhang, W., Song, Z., Yu, P., & Xie, C. (2023). A framework for identifying priority areas through integrated eco-environmental risk assessment for a holistic watershed management approach. *Ecological Indicators*, 146, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109919>
- Liu, X., Li, G., Chen, C., Zhang, X., Zhou, K., & Long, X. (2022). Banana stem and leaf biochar as an effective adsorbent for cadmium and lead in aqueous solution. *Scientific Reports*, 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05652-7>
- Loh, Z. Z., Zaidi, N. S., Syafiuddin, A., Yong, E. L., & Boopathy, R. (2021). Applied sciences Shifting from Conventional to Organic Filter Media in Wastewater Biofiltration Treatment : A Review. *Applied Sciences*, 11, 1–17. <https://doi.org/doi.org/10.3390/app11188650>
- Mohammed, A. R., Attiogbe, F., & Emahi, I. (2024). Improved greywater quality after biofiltration with a fibre-biofilter derived from plantain pseudo stem. *Scientific African*, 25, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02293>
- Mokan, T. T. A. C., Adman, M. A. K. K. H., Lee, L. F., & Jalil, N. A. A. (2023). Agricultural Wastewater Treatment Using Coal , Coconut Fibre , Citronella And Clay As A Biofiltration. *Conference on Management, Business, Innovation, Education and Social Science*, 3(1), 347–355.
- Muguirrimaa, P. V. M., Chirinza, N. P., Zerpa, F. L., & Pino, C. A. M. (2024). Treatment of domestic effluents using sustainable biofilter methods. *Desalination and Water Treatment*, 317, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100266>
- Muoghalu, C. C., Owusu, P. A., Lebu, S., Nakagiri, A., Semiyaga, S., Iorhemen, O. T., & Manga, M. (2023). Biochar as a novel technology for treatment of onsite domestic wastewater : A critical review. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1–22. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1095920>
- Naragundkar, N. S., Kavya, B., Kumar, M. K., Ganga, M., & Manoj, S. (2022). Industrial Waste Water Tretment using Banana Stem Extract. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 10(11), 412–415.
- Nasaruddin, N. S., Maya, R., & Radin, S. (2021). An Overview of Activated Carbon Coconut Shell and Banana Trunk Fiber as Bio-Filter for Kitchen Wastewater Treatment. *Journal of Advancement In Environmental Solution and Resource Recovery*, 1, 29–35.
- Novembry, N. D., & Yulistyorini, A. (2022). Efektivitas Septic Tank Upflow dan Downflow Filter untuk Pengolahan Air Limbah Domestik. *Jurnal Permukiman*, 17(2), 69–76.

- Obeidat, N., Shatanawi, K., Kassab, G., & Halalshah, M. (2024). Case Studies in Chemical and Environmental Engineering Performance of decentralized wastewater treatment system employing Upflow anaerobic sludge blanket and Vertical Flow Constructed Wetland. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9(January), 100695. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100695>
- Page, M. J., mckenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., mcdonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic Reviews*, 10(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4>
- Pramita, A., Prasetyanti, D. N., & Cilacap, P. N. (2020). Penggunaan Media Bioball Dan Tanaman Kayu Apu (Pistia Stratiotes) Sebagai Biofilter Aerobik Pada Pengolahan Limbah Cair Rumah. *Journal of Research and Technology*, 6(1), 131–136.
- Pramudia, Z., Kurniawan, A., Anjasmara, A. S., & Anugerah, P. (2025). Natural-Based Sustainable Filter Media for Ammonia and TSS Removal in Small-Scale Aquaculture. *Indonesian Green Technology Journal*, 14(2), 65–73. <https://doi.org/10.21776/ub.igtj.2025.014.02.04>
- Pratiwi, E. J. D., Sulistiono, E., & Nasihah, M. (2021). Efektifitas Filter Batang Pisang terhadap Penurunan Kadar Total Suspended Solid , Chemical Oxygen Demand dan Biological Oxygen Demand pada Limbah Domestik. *Environment Science*, 1, 70–75.
- Rahman, M. W., Nipa, S. T., Rima, S. Z., Hasan, M., Saha, R., Halim, A., Ali, Y., & Deb, A. (2022). Scholarworks @ UTRGV Pseudo-stem banana fiber as a potential low-cost adsorbent to remove methylene blue from synthetic wastewater. *Applied Water Science*, 12, 1–18.
- Rajendra, U., & R, A. R. N. (2021). Wastewater Treatment Using Banana Pith Powder. *IJISSET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 8(5), 622–630.
- Saragih, G. M., Kalsum, S. U., & Sari, T. W. (2024). Potensi Batang Pisang sebagai Media Filter pada Pengolahan Air Limbah Laundry. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jamb*, 24(3), 2483–2486. <https://doi.org/10.33087/jjubj.v24i3.5536>
- Satriani, E., Putra, R. I., Herizon, M., & Utama, S. P. (2025). Studi Literatur : Pencemaran TPA Air Sebakul dan Pemanfaatan Sampah Organik Rumah Tangga dengan Biogas. *INSOLOGI (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 4(3), 354–366. <https://doi.org/10.55123/insologi.v4i3.5336>
- Setiawan, R. P. (2020). Factors determining the public receptivity regarding waste sorting: A case study in Surabaya city, Indonesia. *Sustainable Environment Research*, 30(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0042-3>
- Sha, C., Shen, S., Zhang, J., Zhou, C., Lu, X., & Zhang, H. (2024). A Review of Strategies and Technologies for Sustainable. *Water*, 16, 1–16. <https://doi.org/10.3390/w16203003>
- Ventura, J. S., Tulipan, J. U., Banawa, A., Umali, K. D. C., Allen, J., & Villanueva, L. (2024). Advancements and challenges in decentralized wastewater treatment : A comprehensive review. *Desalination and Water Treatment*, 320, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100830>
- Wang, Y., Chen, L., Zhu, Y., Fang, W., Tan, Y., He, Z., & Liao, H. (2024). Of biochar adsorption for wastewater treatment : a scientometric review. *Environmental Sciences Europe*, 36(25), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00859-z>
- Zhang, C., Hu, M., Di Maio, F., Sprecher, B., Yang, X., & Tukker, A. (2022). An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe. *Science of the Total Environment*, 803, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149892>
- Zulkepli, F. N., & Jalil, M. R. (2023). Study of Banana Stem , Sugarcane Bagasse and Orange Peel as Adsorbent for Treatment of Palm Oil Mill Effluent (POME) Wastewater. *Progress in Engineering Application and Technology*, 4(1), 13–25.