EFISIENSI PENYISIHAN MIKROPLASTIK MENGGUNAKAN *FILTER BIOCHAR* SEKAM PADI PADA AIR BAKU DEPOT AIR MINUM X DI ACEH BESAR

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh:

AHMAD FAIQ ATHAYA

NIM. 220702040

Mahasiswa Fakultas Sains Dan Teknologi

Program Studi Teknik Lingkungan

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY

BANDA ACEH

2026 M/1448 H

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

EFISIENSI PENYISIHAN MIKROPLASTIK MENGGUNAKAN *FILTER BIOCHAR* SEKAM PADI PADA AIR BAKU DEPOT AIR MINUM X DI ACEH BESAR

TUGAS AKHIR

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Diajukan oleh:
AHMAD FAIQ ATHAYA
NIM. 220702040
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan

Banda Aceh, 7 Agustus 2026
Telah Diperiksa dan Disetujui oleh:

Pembimbing I	Pembimbing II
Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.	**Aulia Rohendi, S.T., M.Sc.**
NIP. 198311092014032002	NIP. 198204102023211014

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh

Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.
NIP. 198311092014032002

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

EFISIENSI PENYISIHAN MIKROPLASTIK MENGGUNAKAN *FILTER BIOCHAR* SEKAM PADI PADA AIR BAKU DEPOT AIR MINUM X DI ACEH BESAR

TUGAS AKHIR

Telah Diuji Oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir/Skripsi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh dan Dinyatakan Lulus Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1) Dalam Prodi Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal : Jum'at, 7 Agustus 2026
23 Safar 1448 H
di Darussalam, Banda Aceh

Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir

Ketua,	Sekretaris,
Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.	**Aulia Rohendi, S.T., M.Sc.**
NIP. 198311092014032002	NIP. 198204102023211014
Penguji I,	Penguji II,
Rizna Rahmi, S.Si., M.Sc., Ph.D.	**Teuku Muhammad Ashari, S.T., M.Sc.**
NIP. 198410242014032002	NIP. 198302022015031002

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh

Prof. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU
NIP. 196210021988111001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Ahmad Faiq Athaya
NIM	: 220702040
Program Studi	: Teknik Lingkungan
Fakultas	: Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul Tugas Akhir	: Efisiensi Penyisihan Mikroplastik Menggunakan *Filter Biochar* Sekam Padi Pada Air Baku Depot Air Minum X di Aceh Besar

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya serta telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh, 07 Agustus 2026

Ahmad Faiq Athaya

ABSTRAK

Nama	: Ahmad Faiq Athaya
NIM	: 220702040
Program Studi	: Teknik Lingkungan
Judul	: Efisiensi Penyisihan Mikroplastik Menggunakan *Filter Biochar* Sekam Padi Pada Air Baku Depot Air Minum X Di Aceh Besar
Tanggal Sidang	: 7 Agustus 2026
Jumlah Halaman	: 95 Halaman
Pembimbing I	: Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.
Pembimbing II	: Aulia Rohendi, S.T., M.Sc.
Kata Kunci	: Air Baku, Biochar Sekam Padi, Efisiensi Penyisihan, FTIR, Mikroplastik

Mikroplastik merupakan polutan pencemar baru (*emerging pollutant*) yang mengancam kualitas air baku, termasuk pada Depot Air Minum X di Aceh Besar, karena pengolahan konvensional belum mampu menyisihkan partikel tersebut secara optimal. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efisiensi filter biochar sekam padi dalam menyisihkan mikroplastik pada air baku tersebut. Metode eksperimental dilakukan menggunakan kolom filtrasi dengan lima variasi ketebalan media, yaitu kontrol (0 cm), sekam mentah (5 cm), serta biochar 5 cm, 10 cm, dan 15 cm; kelimpahan mikroplastik dianalisis menggunakan mikroskop binokuler, sedangkan jenis polimer diidentifikasi melalui FTIR. Kelimpahan awal 120 partikel/L menurun menjadi 82 partikel/L pada kontrol (31,67%), 46 partikel/L pada sekam mentah (61,67%), 3 partikel/L pada biochar 5 cm (97,50%), hingga 0 partikel/L pada biochar 10 cm dan 15 cm dengan efisiensi 100%. Ketebalan biochar 10 cm merupakan titik optimal aplikasi filter karena efisiensi maksimum telah tercapai tanpa memerlukan tambahan media. Analisis FTIR menunjukkan spektrum didominasi gugus hidroksil (O–H) serta ikatan C–O dan C–O–C yang mengindikasikan pelapukan oksidatif, dengan polimer terdeteksi didominasi *High-Density Polyethylene* (HDPE) atau *Polypropylene* (PP) teroksidasi, disertai indikasi *Polystyrene* (PS). Oleh karena itu, pengaplikasian biochar sekam padi terbukti efektif sebagai media filtrasi tambahan guna meningkatkan mutu dan keamanan air baku depot air minum dari cemaran mikroplastik.

ABSTRACT

Name	*: Ahmad Faiq Athaya*
Student ID Number	*: 220702040*
Study Program	*: Environmental Engineering*
Title	*: Removal Efficiency of Microplastics Using a Rice Husk Biochar Filter in Raw Water at Drinking Water Depot X, Aceh Besar*
Examination Date	*: 7 August 2026*
Number of Pages	*: 95 Pages*
Supervisor I	*: Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.*
Supervisor II	*: Aulia Rohendi, S.T., M.Sc.*
Keywords	*: Raw Water, Rice Husk Biochar, Removal Efficiency, FTIR, Microplastics*

Microplastics are recognized as an emerging pollutant that threatens raw water quality, including at Drinking Water Depot X in Aceh Besar, as conventional treatment has not yet optimally removed these particles. This study evaluated the removal efficiency of a rice husk biochar filter for microplastics in the raw water source. An experimental method was employed using a filtration column with five media thickness variations, namely control (0 cm), raw rice husk (5 cm), and biochar at 5 cm, 10 cm, and 15 cm; microplastic abundance was analyzed using a binocular microscope, while polymer types were identified through FTIR. The initial abundance of 120 particles/L decreased to 82 particles/L in the control (31.67%), 46 particles/L with raw husk (61.67%), 3 particles/L with 5 cm biochar (97.50%), down to 0 particles/L with 10 cm and 15 cm biochar, achieving 100% efficiency. A biochar thickness of 10 cm represents the optimal point for filter application, as maximum efficiency is already attained without additional media. FTIR analysis showed a spectrum dominated by hydroxyl (O–H) groups along with C–O and C–O–C bonds, indicating oxidative weathering, with the detected polymers dominated by oxidized High-Density Polyethylene (HDPE) or Polypropylene (PP), accompanied by an indication of Polystyrene (PS). Therefore, the application of rice husk biochar is proven effective as a supplementary filtration medium to improve the quality and safety of drinking water depot raw water from microplastic contamination.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Swt. yang telah melimpahkan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Efisiensi Penyisihan Mikroplastik Menggunakan *Filter Biochar* Sekam Padi Pada Air Baku Depot Air Minum X Di Aceh Besar" ini dengan baik. *Shalawat* beriring salam senantiasa tercurahkan kepada Baginda Rasulullah Muhammad saw., beserta keluarga dan sahabat beliau, serta seluruh umat yang istiqamah mengikuti jejak langkah beliau hingga akhir zaman.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Tugas Akhir ini telah penulis susun dengan maksimal yang melibatkan bantuan dari berbagai pihak sehingga dapat memperlancar pembuatan Tugas Akhir dari awal sampai dengan selesai. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, rasa terima kasih yang tak terhingga penulis sampaikan kepada Ayah dan Mamak. Penulis menyadari, kalian mungkin tidak memiliki gelar akademik setinggi apa yang penulis kejar hari ini, namun bagi penulis, kalian adalah orang tua yang hebat, keren, dan sungguh luar biasa karena telah berhasil mendidik, membesarkan, dan mengantarkan anaknya hingga mampu menyelesaikan pendidikan dan meraih gelar Sarjana. Penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya atas segala kesalahan, kekhilafan, dan atas setiap kali penulis mungkin pernah membuat Ayah dan Mamak kecewa. Namun di atas semua itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tidak akan pernah cukup terucap, atas segala doa, kerja keras, pengorbanan, dan kasih sayang yang tiada henti diberikan sejak dulu hingga detik ini. Semoga Allah Swt. senantiasa melimpahkan kesehatan, keberkahan, dan kebahagiaan kepada Ayah dan Mamak, sebagai balasan atas segala jerih payah yang telah kalian berikan.

Selain itu, dengan segala kerendahan hati, penulis juga ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU, Selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
2. Ibu Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc., selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh sekaligus Dosen Pembimbing 1, yang dengan penuh kesabaran telah membimbing, mengarahkan, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Aulia Rohendi, S.T., M.Sc., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh sekaligus Dosen Pembimbing 2 penulis. Terima kasih atas segala arahan, masukan, dan bimbingan yang telah Bapak berikan selama penyusunan Tugas Akhir ini. Lebih dari itu, penulis juga ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang tulus karena Bapak tidak hanya menjadi pembimbing dalam hal akademik, tetapi juga telah seperti sosok abang bagi penulis yang senantiasa meluangkan waktu untuk membantu, menemani, dan menjadi teman diskusi yang luar biasa selama masa perkuliahan.
4. Bapak Ir. Muhammad Haikal, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan serta bimbingan dalam hal akademik selama perkuliahan.
5. Seluruh Dosen dan Staf di Fakultas Sains dan Teknologi yang telah memberikan Bantuan serta arahan selama penulis melaksanakan proses perancangan penelitian ini.
6. Ibu Firda Elvisa, S.E, Ak selaku staf administrasi program studi Teknik lingkungan yang telah membantu dalam hal administrasi.
7. Ibu Nurul Huda, S.Pd selaku laboran program studi Teknik lingkungan yang membantu dalam hal pelaksanaan di laboratorium.
8. Bapak Risky Kurniawan, S.Si selaku laboran Fakultas Sains dan Teknologi yang membantu dalam hal analisis Tugas akhir penulis.

9. Teman-teman mahasiswa Angkatan 2022 dan kepada semua pihak yang memberikan dukungan baik berupa kritik dan saran yang bersifat membangun dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan tentu masih terdapat banyak kekurangan di dalamnya. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan penulisan ini ke depannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya bagi penulis, dan umumnya bagi seluruh pihak yang terlibat.

Banda Aceh, 4 Agustus 2026

Penulis

Ahmad Faiq Athaya

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR ..... **i**
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR ..... **ii**
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR ..... **vi**
ABSTRAK ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
KATA PENGANTAR ..... **vi**
DAFTAR ISI ..... **ix**
DAFTAR TABEL ..... **xii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiiii**

BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 5
1.4 Manfaat Penelitian 5
1.5 Batasan Penelitian 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **6**
2.1 Mikroplastik 6
2.2 Jenis dan Bentuk Mikroplastik 7
2.3 Standarisasi Analisis dan Klasifikasi Ukuran Mikroplastik 8
2.4 *Biochar* 9
2.5 Sekam Padi 11
2.6 *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) 12
2.7 Penelitian Terdahulu 14

BAB III METODOLOGI PENELITIAN **19**
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian 19
3.1.1 Lokasi Penelitian 19
3.1.2 Waktu Penelitian 20
3.2 Alat dan Bahan 21

3.2.1 Alat 21
3.2.2 Bahan 22
3.3 Metode Penelitian 22
3.4 Objek Dan Variabel Penelitian 22
3.5 Tahapan Penelitian 23
3.5.1 Pembuatan *Biochar* Sekam Padi 23
3.5.2 Perancangan Kolom Filtrasi 24
3.5.3 Prosedur Filtrasi dan Pengambilan Sampel 27
3.5.4 Identifikasi dan Perhitungan Mikroplastik 28
3.6 Analisis FT-IR 29
3.7 Diagram Alir Penelitian 31

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 32
4.1 Karakteristik Awal Air Baku 32
4.2 Pengaruh Variasi Ketebalan Lapisan *Biochar* Sekam Padi terhadap Jumlah Mikroplastik 34
4.2.1 Debit Air per kolom 34
4.2.2 Jumlah mikroplastik per kolom 38
4.3 Efisiensi Penyisihan Mikroplastik Menggunakan Biochar Sekam Padi. 45
4.4 Karakteristik Mikroplastik Berdasarkan Jenis Polimer Menggunakan FTIR 49

BAB V PENUTUP 59
5.1 Kesimpulan 59
5.2 Saran 60
DAFTAR PUSTAKA 61
LAMPIRAN A PROSES ANALISIS SAMPEL 71
LAMPIRAN B PEMBUATAN BIOCHAR, PERAKITAN KOLOM FILTRASI, DAN PELAKSANAAN FILTRASI 73
LAMPIRAN C HASIL ANALISIS MIKROPLASTIK 80

AR-RANIRY

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Ukuran Partikel Mikroplastik..... 9
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu..... 14
Tabel 3.1 Jadwal Rencana Penelitian..... 20
Tabel 3.2 Daftar Alat 21
Tabel 3.3 Daftar Bahan 22
Tabel 4.1 Kelimpahan dan Karakteristik Awal Mikroplastik pada Air Baku (C0) 32
Tabel 4.2 Kondisi Operasional pada Setiap Variasi Ketebalan Media 35
Tabel 4.3 Kelimpahan Mikroplastik Sebelum dan Sesudah Filtrasi pada Setiap Variasi.....38
Tabel 4.4 Efisiensi Penyisihan Mikroplastik pada Setiap Variasi Ketebalan Media 47
Tabel 4.5 Perbandingan Efisiensi Penyisihan Mikroplastik dengan Penggunaan Biochar 48
Tabel 4.6 Ringkasan Interpretasi Gugus Fungsi Mikroplastik Air Baku.....55
Tabel 4.7 Perbandingan Bilangan Gelombang Karakteristik Spektroskopi Hasil Penelitian terhadap Referensi Ilmiah 56

جامعة الرانري
AR-RANIRY

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis dan Bentuk Mikroplastik 8
Gambar 2.2 Jenis-jenis biochar 10
Gambar 2.3 Gambar sekam padi dan biochar sekam padi 11
Gambar 2.4 Alat FT-IR 13
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian 19
Gambar 3.2 Oven biochar yang digunakan untuk proses karbonisasi sekam padi 23
Gambar 3.3 Variasi Ketebalan Biochar 0 cm 25
Gambar 3.4 Variasi Ketebalan Biochar 5 cm 25
Gambar 3.5 Variasi Ketebalan Biochar 10 cm 26
Gambar 3.6 Variasi Ketebalan Biochar 15 cm 26
Gambar 3.7 Variasi Ketebalan Sekam Padi 5 cm 27
Gambar 3.8 Kolom filtrasi yang digunakan dalam penelitian 27
Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian 31
Gambar 4.1 Mikroplastik yang Teridentifikasi pada Sampel Air Baku Awal 33
Gambar 4.2 Air hasil filtrasi pada masing-masing variasi ketebalan media 35
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Kelimpahan Mikroplastik pada Setiap Variasi Ketebalan Media 38
Gambar 4.4 Gambar (a) SEM dari Sekam Padi (b) SEM dari biochar sekam padi 41
Gambar 4.5 Grafik Efisiensi Penyisihan Mikroplastik Berdasarkan Variasi Media 47
Gambar 4.6 Grafik FTIR Sebelum Filtrasi 49
Gambar 4.7 Grafik FTIR Variasi Sekam 5 cm 50
Gambar 4.8 Grafik FTIR Variasi Biochar 5 cm 51
Gambar 4.9 Grafik FTIR Variasi Biochar 10 cm 52
Gambar 4.10 Grafik FTIR Variasi Biochar 15 cm 52
Gambar 4.11 Grafik FTIR Variasi 0 cm/kontrol 53
Gambar 4.12 Grafik FTIR Gabungan 54

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air minum merupakan kebutuhan dasar yang sangat penting bagi keberlangsungan hidup manusia. Air minum didefinisikan sebagai air yang telah melalui atau tanpa melalui proses pengolahan yang memenuhi persyaratan kesehatan sehingga layak untuk langsung dikonsumsi (Supriyo & Noviana, 2023). Hal ini sejalan dengan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan yang menyatakan bahwa air minum adalah air yang memenuhi standar kesehatan dan dapat diminum secara langsung. Dalam kehidupan sehari-hari, masyarakat sangat bergantung pada ketersediaan air minum yang aman, sehat, dan terjangkau. Ketersediaan air minum yang memenuhi standar mutu menjadi faktor penting dalam menjaga derajat kesehatan masyarakat. Oleh karena itu, penyediaan air minum yang layak konsumsi harus menjadi prioritas dalam pembangunan sektor kesehatan dan lingkungan. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat terhadap air minum, air minum dalam kemasan dan air minum isi ulang menjadi pilihan utama dalam memenuhi kebutuhan konsumsi harian. Namun, harga air minum dalam kemasan relatif mahal sehingga tidak dapat dijangkau oleh seluruh lapisan masyarakat. Kondisi ini mendorong masyarakat untuk memilih air minum isi ulang yang diproduksi oleh depot air minum sebagai alternatif yang lebih ekonomis (Siregar & Santi, 2025).

Pertumbuhan kebutuhan tersebut berbanding lurus dengan meningkatnya jumlah depot air minum isi ulang di berbagai wilayah Indonesia. Perkembangan usaha depot air minum isi ulang terjadi secara pesat di sejumlah kota di Indonesia. Salah satu contohnya adalah Kota Bandung yang tercatat memiliki sekitar 600 depot air minum yang beroperasi (Faujiah, 2022). Namun demikian, tidak seluruh depot air minum dikelola sesuai dengan standar yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023, baik dari aspek fisika, kimia, maupun biologi air. Padahal, peraturan tersebut menegaskan bahwa setiap penyelenggara air

minum wajib menjamin produk air minum yang dihasilkan aman untuk dikonsumsi oleh masyarakat. Keamanan air minum didefinisikan melalui pemenuhan persyaratan kualitas yang mencakup parameter fisik, mikrobiologis, kimiawi, dan radioaktif. Persyaratan ini dituangkan dalam sejumlah parameter wajib yang harus dipenuhi oleh seluruh penyelenggara air minum, serta parameter tambahan yang dapat ditetapkan oleh pemerintah daerah sesuai dengan kondisi lingkungan setempat.

Di sisi lain, mikroplastik dikategorikan sebagai *emerging pollutant* atau polutan baru yang memiliki dampak jangka panjang terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Mikroplastik merupakan partikel plastik berukuran kurang dari 5 mm yang bersifat persisten (kemampuan untuk bertahan dalam jangka waktu yang sangat lama di lingkungan tanpa mengalami kerusakan atau degradasi melalui proses fisik, kimia, maupun biologi) dan sangat sulit terurai secara alami di lingkungan perairan. Bahaya mikroplastik tidak hanya terletak pada ukuran fisiknya, tetapi juga pada kemampuannya mengadsorpsi berbagai senyawa kimia berbahaya, logam berat, serta mikroorganisme patogen. Dengan karakteristik tersebut, mikroplastik berpotensi menjadi media pembawa racun yang masuk ke dalam rantai makanan manusia melalui organisme akuatik (Alam & Rachmawati, 2020).

Keberadaan mikroplastik dalam ekosistem perairan menjadi semakin mengkhawatirkan mengingat perairan merupakan sumber utama air baku untuk kebutuhan air minum masyarakat. Kontaminasi mikroplastik pada sumber air baku berpotensi mencemari air minum yang dikonsumsi sehari-hari. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pengolahan air minum konvensional belum sepenuhnya mampu menghilangkan partikel mikroplastik secara optimal (Sari dkk., 2021). Apabila tidak ditangani dengan baik, mikroplastik dapat menjadi ancaman laten bagi kesehatan masyarakat dalam jangka panjang. Oleh sebab itu, diperlukan teknologi pengolahan air yang mampu menurunkan konsentrasi mikroplastik secara efektif.

Peningkatan kinerja filtrasi dalam mereduksi partikel mikroplastik dapat dicapai dengan mengintegrasikan berbagai jenis media *filter* ke dalam satu sistem pengolahan. Secara konvensional, media seperti pasir silika, karbon aktif, dan zeolit

telah diaplikasikan secara luas untuk meningkatkan kualitas air agar layak konsumsi. Pasir silika bertindak sebagai media fisik yang efektif dalam menurunkan kekeruhan dan padatan tersuspensi; karbon aktif mengoptimalkan proses adsorpsi melalui luas permukaan dan porositasnya yang tinggi; sedangkan zeolit berfungsi sebagai penukar ion dan adsorben untuk memperbaiki kejernihan air (Suliastuti dkk., 2017). Meskipun demikian, efektivitas media konvensional tersebut secara spesifik terhadap penyisihan mikroplastik masih membutuhkan pengembangan lanjutan. Sebagai solusi atas keterbatasan tersebut, salah satu material alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan efisiensi penyisihan mikroplastik adalah *biochar*.

Biochar adalah material karbon berpori yang disintesis melalui proses pirolisis biomassa, yang menghasilkan karakteristik berupa luas permukaan dan porositas tingkat tinggi. Sifat fisikokimia ini memberikan *biochar* kapasitas adsorpsi yang lebih superior terhadap partikel mikroplastik apabila dikomparasikan dengan media filtrasi pasir konvensional. Selain itu, *biochar* merupakan material yang dapat diregenerasi dan berasal dari sumber daya biomassa terbarukan, sehingga menjadikannya sebagai media filtrasi yang bernilai ekonomis dan ramah lingkungan (Hsieh dkk., 2022). Oleh karena itu, melalui pemilihan bahan baku dan optimasi parameter pirolisis yang presisi, *biochar* memiliki potensi besar untuk dioptimalkan sebagai komponen media filtrasi dalam sistem pengolahan air minum.

Sekam padi merupakan limbah pertanian yang melimpah di Indonesia dan selama ini belum dimanfaatkan secara optimal. Sekam padi mengandung komponen utama berupa selulosa, lignin, dan silika yang menjadikannya bahan potensial untuk dikonversi menjadi *biochar* melalui proses pirolisis. Setelah melalui proses pirolisis, fraksi abu dari *biochar* sekam padi didominasi oleh kandungan silika (SiO_2) dengan konsentrasi mencapai 85,35% hingga 89,47%, di samping elemen karbon yang tersisa sekitar 31,77% hingga 38,11% (Hidayat dkk., 2023). Kandungan silika yang tinggi ini memberikan situs aktif berupa gugus fungsional silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) pada permukaan material (Safitri dkk., 2020). *Biochar* sekam padi dengan struktur karbon berpori yang stabil ini terbukti efektif berfungsi sebagai adsorben berbagai polutan, termasuk partikel mikroplastik. Secara spesifik, silika dan struktur pori yang menyerupai sarang lebah

(*honeycomb*) pada *biochar* mampu menghentikan pergerakan partikel mikroplastik secara fisik melalui mekanisme *stuck* (tersangkut), *trapped* (terjebak), dan *entangled* (terlilit) di dalam rongga pori. Selain itu, secara fisikokimia, mekanisme pengikatan partikel mikroplastik pada permukaan *biochar* didukung secara kuat oleh interaksi gaya *Van der Waals*, interaksi elektrostatis, ikatan hidrogen, serta adsorpsi hidrofobik (Li dkk., 2024a; Wang dkk., 2020a). Pemanfaatan *biochar* sekam padi sebagai media filtrasi tidak hanya berkontribusi dalam peningkatan kualitas air minum, tetapi juga mendukung pengelolaan limbah pertanian yang lebih berkelanjutan (Garfansa dkk., 2025). Dengan ketersediaan bahan baku yang melimpah dan biaya produksi yang relatif rendah, *biochar* sekam padi menjadi solusi potensial dalam pengendalian mikroplastik pada air baku depot air minum.

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian mengenai "Efisiensi Penyisihan Mikroplastik Menggunakan *Filter Biochar* Sekam Padi Pada Air Baku Depot Air Minum X di Aceh Besar" perlu dilakukan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai kinerja *biochar* sekam padi sebagai media filtrasi tambahan dalam menurunkan konsentrasi mikroplastik. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar pengembangan teknologi pengolahan air minum yang lebih efektif, ekonomis, dan ramah lingkungan. Upaya ini menjadi penting dalam rangka menjamin keamanan air minum yang dikonsumsi oleh masyarakat.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana efisiensi penyisihan mikroplastik dengan menggunakan *biochar* sekam padi?
2. Bagaimana pengaruh variasi ketebalan lapisan *biochar* sekam padi pada ketebalan : 5 cm, 10 cm, 15 cm dan sekam padi 5 cm terhadap jumlah mikroplastik pada air baku Depot Air Minum X di Kabupaten Aceh Besar?
3. Bagaimana karakteristik mikroplastik dalam air baku Depot Air Minum X berdasarkan hasil analisis menggunakan metode FTIR?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis efisiensi *filter biochar* sekam padi dalam menyisihkan mikroplastik.
2. Menentukan pengaruh variasi ketebalan lapisan *biochar* sekam padi 5 cm, 10 cm, 15 cm dan sekam padi 5 cm terhadap kinerja sistem filtrasi dalam menurunkan jumlah mikroplastik.
3. Mengidentifikasi karakteristik mikroplastik pada air baku Depot Air Minum X berdasarkan analisis menggunakan metode FTIR.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. **Manfaat Teoretis**

   Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik lingkungan, khususnya terkait teknologi filtrasi air dan mekanisme penyisihan mikroplastik menggunakan media *filter* berpori berbasis *biochar* sekam padi.

2. **Manfaat Praktis**

   Menyediakan data berbasis bukti (*evidence-based*) bagi pengelola depot air minum dan masyarakat mengenai penerapan teknologi filtrasi tambahan yang efektif, ekonomis, dan berbasis bahan baku lokal untuk meningkatkan keamanan air minum.

1.5 Batasan Penelitian

Untuk menjaga fokus dan kedalaman pembahasan, penelitian ini dibatasi pada ruang lingkup sebagai berikut:

1. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini hanya meliputi jumlah dan karakteristik mikroplastik, tanpa membahas parameter kualitas air lainnya seperti kimia dan biologi.
2. Penelitian ini difokuskan pada penggunaan *biochar* sekam padi sebagai media filtrasi.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mikroplastik

Mikroplastik merupakan fraksi halus limbah plastik terdegradasi berukuran kurang dari 5 mm yang telah terdistribusi luas di berbagai kompartemen lingkungan seperti air, tanah, dan udara. Dalam ekosistem perairan, partikel yang dibedakan menjadi tipe primer dan sekunder ini berkontribusi signifikan terhadap peningkatan beban pencemar di pesisir serta cenderung terakumulasi pada sedimen (Satiyarti dkk., 2022). Secara karakteristik, partikel-partikel ini menunjukkan keragaman luas dari segi ukuran, morfologi, warna, komposisi kimia, hingga sifat fisik lainnya yang berimplikasi langsung pada perilaku transport, pola deposisi, serta potensi interaksinya dengan komponen biotik dan abiotik (Azizah dkk., 2020).

Interaksi dengan komponen biotik ini membawa dampak negatif pada organisme akuatik, di mana mikroplastik dapat terakumulasi dalam saluran pencernaan ikan dan kerang. Akumulasi tersebut menimbulkan efek "kenyang semu" yang menghambat asupan nutrisi, merusak organ dalam, serta mengganggu keseimbangan mikrobiota usus sebagai bagian penting dari sistem pertahanan tubuh organisme (Saleh dkk., 2023). Selain ancaman ekologis, mikroplastik juga dipandang serius bagi kesehatan manusia karena berfungsi sebagai pembawa kontaminan dan bahan kimia toksik. Paparan ini mampu memicu kerusakan biologis seperti stres oksidatif, inflamasi, gangguan metabolisme, neurotoksisitas, hingga peningkatan risiko kanker dan disfungsi reproduksi (Aulia dkk., 2023). Lebih lanjut, keberadaan mikroplastik dalam tubuh manusia cenderung mengganggu fungsi sistem pencernaan akibat interaksi adsorpsi dengan protein yang dapat menurunkan kinerja sistem imun serta memperburuk risiko kesehatan akibat senyawa toksik yang terikat pada permukaannya (Rachmi dkk., 2024).

2.2 Jenis dan Bentuk Mikroplastik

Dalam lingkungan perairan, mikroplastik umumnya diklasifikasikan menjadi tipe fragmen, fiber, dan film; fragmen didefinisikan sebagai pecahan kecil dari material besar, fiber sebagai serat memanjang dari jaring atau kain sintetis, sedangkan film merupakan lembaran tipis berdensitas rendah yang berasal dari penguraian kantong plastik (Layn & Emiyarti, 2020). Klasifikasi ini diperinci lebih lanjut dalam konteks sedimen sungai yang membagi mikroplastik menjadi empat jenis utama dengan karakteristik fisik khas, yakni fiber yang menyerupai benang lunak, fragmen yang datar dan kaku, film berupa lembaran lentur, serta granula atau pellet sebagai butiran padat mikroplastik primer untuk keperluan industri (Faustina dkk., 2024). Melengkapi perspektif tersebut, literatur lain mencatat variasi morfologi yang lebih luas termasuk filamen dan foam yang merefleksikan asal-usul degradasi, di mana tipe sekunder seperti fiber dan fragmen terbentuk akibat paparan lingkungan, sedangkan pelet dikategorikan sebagai tipe primer, sehingga pemahaman klasifikasi ini menjadi krusial untuk menelusuri sumber kontaminasi dan merumuskan strategi pengelolaan yang tepat sasaran (Safitri, 2023). Adapun jenis-jenis mikroplastik yang tersebar di lingkungan adalah:

1. Film:

   Lembaran plastik tipis yang umumnya berasal dari degradasi kantong plastik, kemasan sekali pakai, atau plastik pembungkus (Anggiani, 2020).

2. Fiber:

   Serat halus yang berasal dari tekstil sintetis, tali, atau jaring ikan yang terlepas ke lingkungan perairan (Anggiani, 2020).

3. Fragmen:

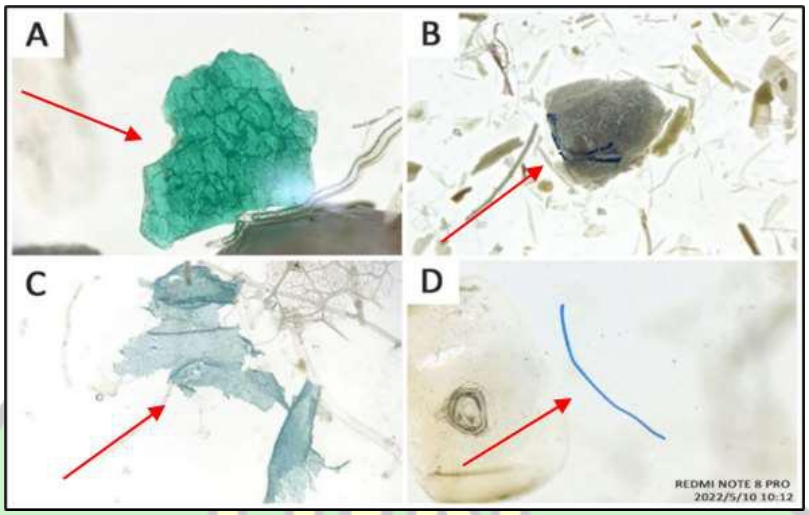
   Pecahan plastik berukuran kecil dengan bentuk tidak beraturan, merupakan hasil pemecahan atau pelapukan benda plastik yang lebih besar (Anggiani, 2020).

4. Foam:

   Partikel berbentuk berongga yang berasal dari bahan seperti polistirena (styrofoam) yang banyak digunakan sebagai bahan pengemas atau pelindung barang (Anggiani, 2020).

5. Pellet:

   Butiran plastik berukuran kecil yang berfungsi sebagai bahan baku utama dalam proses produksi berbagai produk plastik (Anggiani, 2020).



Gambar 2.1 Jenis dan Bentuk Mikroplastik
Sumber: (Imanuel dkk., 2022)

Gambar 2.1 menyajikan klasifikasi bentuk mikroplastik yang terdiri atas: (A) fragmen, yang dicirikan sebagai pecahan plastik tebal berdiameter besar; (B) *pelet*, yang memiliki bentuk bulat menyerupai busa; (C) *film*, yakni pecahan plastik dengan struktur sangat tipis; serta (D) *fiber*, yang berupa serat sintetis panjang dengan diameter tipis (Imanuel dkk., 2022).

2.3 Standarisasi Analisis dan Klasifikasi Ukuran Mikroplastik

Dalam penelitian mengenai pencemaran mikroplastik, validitas data sangat bergantung pada metode analisis yang digunakan. Hingga saat ini, tantangan utama dalam riset mikroplastik global adalah ketidak seragaman metode sampling dan identifikasi. Oleh karena itu, penelitian ini mengacu pada standar internasional ISO 24187:2023 tentang *Principles for the analysis of microplastics present in the environment.*

Penting untuk dicatat bahwa standar ini tidak menetapkan ambang batas regulasi (*monitoring action requirements*) atau baku mutu konsentrasi aman, melainkan menetapkan prinsip-prinsip harmonisasi untuk pengambilan sampel,

preparasi, dan deteksi. Standar ini menekankan bahwa setiap tahapan analisis harus dilakukan dalam kondisi minim plastik (*plastics-free working conditions*) untuk mencegah kontaminasi silang, serta mewajibkan penggunaan alat berbahan gelas atau logam.

Selain prosedur teknis, ISO 24187 (2023) juga memberikan kerangka kerja yang jelas mengenai definisi dan klasifikasi ukuran partikel. Mikroplastik didefinisikan sebagai partikel plastik padat yang tidak larut dalam air dengan dimensi antara 1 µm hingga 1.000 µm (1 mm), sedangkan partikel dengan dimensi 1 mm hingga 5 mm dikategorikan sebagai *large microplastic*. Pengelompokan ukuran ini sangat krusial dalam penelitian filtrasi untuk menentukan efisiensi media *filter* terhadap fraksi ukuran tertentu. Klasifikasi ukuran partikel mikroplastik berdasarkan standar ISO 24187:2023 dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Klasifikasi Ukuran Partikel Mikroplastik

Klasifikasi		**Mikroplastik**						**Mikroplastik besar**
Kelas ukuran partikel	µm	1 s.d. < 5	5 s.d. < 10	10 s.d. < 50	50 s.d. < 100	100 s.d. < 500	500 s.d. < 1.000	1.000 s.d. 5.000
Ukuran partikel rata-rata	µm	3	7,5	30	75	300	750	3.000
Massa (a)	mg	$1{,}4 \times 10^{-8}$	$2{,}2\times10^{-7}$	$1{,}4\times10^{-5}$	$2{,}2\times10^{-4}$	0,014	0,22	14
Jumlah partikel dalam 14,13 mg	jumlah	$1{,}0 \times 10^{9}$	$6{,}4\times 10^{7}$	$1{,}0\times10^{6}$	$6{,}4\times10^{4}$	1.000	64	1
(a) Massa diestimasi dari ukuran partikel rata-rata (3.000 µm) dengan asumsi partikel berbentuk bola dengan densitas 1.								

Sumber: *ISO 24187:2023*

2.4 *Biochar*

Biochar merupakan bahan padat berpori kaya karbon hasil dekomposisi termal atau pirolisis biomassa mulai dari kayu, pupuk kandang, limbah pertanian (seperti tempurung kelapa dan sekam padi), hingga sampah kota yang diproses pada suhu relatif rendah (umumnya di bawah 700°C) dalam kondisi minim oksigen. Meskipun proses pembentukannya menyerupai arang tradisional, *biochar* secara khusus diproduksi untuk fungsi pembenah tanah, penyimpanan karbon, serta

sebagai media filtrasi bagi perkolasi air tanah (Goenadi & Santi, 2017). Dalam konteks pengolahan limbah cair, potensi *biochar* sebagai media adsorben didukung oleh sifat fisikokimia utamanya, meliputi luas permukaan spesifik yang besar, total porositas, kapasitas tukar kation, pH, serta komposisi mineral. Struktur berpori hasil pirolisis tidak sempurna ini menyediakan area aktif yang luas untuk penjerapan berbagai polutan dan zat kimia berbahaya (Rizqi, 2025).

Lebih jauh, kombinasi karakteristik fisik dan kimia tersebut memungkinkan *biochar* menghilangkan beragam polutan organik, anorganik, hingga mikroorganisme patogen melalui mekanisme yang kompleks, antara lain gaya elektrostatik, penjerapan hidrofobik, pembentukan ikatan hidrogen, interaksi π-π, pengisian pori, serta pembentukan kompleks dengan mineral oksida. Dengan kemampuan tersebut, *biochar* dipandang sebagai alternatif potensial untuk menggantikan pasir dan sebagian fungsi karbon aktif dalam unit pengolahan greywater berbasis filtrasi kolom (Quispe dkk., 2022). Selain itu, keberadaan gugus fungsi aktif pada permukaannya juga mendukung mekanisme pertukaran ion yang efektif dalam menyisihkan kontaminan spesifik seperti fosfat. Guna mengoptimalkan kinerja penyisihan ini, *biochar* sering diaplikasikan menggunakan konfigurasi kolom *filter* tersusun seri yang mampu memperpanjang waktu retensi hidrolik, sehingga interaksi antara air limbah dan media menjadi lebih intensif dan kapasitas kesetimbangan meningkat signifikan dibandingkan konfigurasi kolom tunggal (Edwin dkk., 2025) Adapun jenis-jenis *biochar* dapat dilihat pada gambar 2.2 sebagai berikut.

Gambar 2.2 Jenis-jenis *biochar*

2.5 Sekam Padi

Sekam padi merupakan lapisan pelindung keras yang menyelubungi kariopsis (lemma dan palea), tersusun dari jaringan serat selulosa dengan kandungan silika yang tinggi, yakni mencapai 16-20% dari total beratnya (Sembiring, 2017), yang membentuk karakteristik material sangat kaku. Sebagai biomassa lignoselulosa dengan komponen utama selulosa, hemiselulosa, dan lignin, sekam diklasifikasikan sebagai limbah agroindustri yang terpisah selama proses penggilingan (Jamaludin, 2024). Ketersediaan pasokan limbah sekam padi yang kontinu ini menjadikannya material strategis yang potensial untuk dikonversi melalui pirolisis menjadi bio-oil, gas, dan char guna mendukung diversifikasi energi (Wijayanti, 2020).

Produk turunan seperti char atau karbon aktif dari sekam padi ini memiliki struktur mikropori yang efektif sebagai media filtrasi air. Dalam sistem filtrasi berlapis yang dikombinasikan dengan media granular, material ini terbukti mampu menurunkan kekeruhan, mengurangi populasi mikroorganisme patogen, serta mengadsorpsi kontaminan mikro termasuk senyawa organik dan logam berat agar mencapai kisaran yang aman bagi kesehatan (Waliyyurrahmaan dkk., 2024a). Efektivitas ini diperkuat oleh temuan bahwa karbon aktif sekam padi lebih unggul dibandingkan karbon aktif batok kelapa dalam mengadsorpsi logam seperti besi dan mangan, penggunaannya mampu menghasilkan air dengan mutu Kelas I, sedangkan karbon aktif batok kelapa hanya mencapai mutu Kelas II (Van Gunawan dkk., 2025a) Adapun sekam padi dan *biochar* sekam padi dapat dilihat pada gambar 2.3 sebagai berikut .

Gambar 2.3 Gambar sekam padi dan *biochar* sekam padi

2.6 *Fourier Transform Infrared* (FT-IR)

Spektroskopi fourier transform infrared (FTIR) merupakan teknik yang umum dimanfaatkan untuk mengidentifikasi gugus fungsi senyawa dalam analisis laboratorium. Metode ini mampu mengkarakterisasi senyawa baik organik maupun anorganik dalam rentang bilangan gelombang sekitar 4000–400 cm^{-1}. Pengukuran dengan FTIR memiliki keunggulan karena bersifat cepat, tidak merusak sampel, serta prosedur operasionalnya relatif sederhana. Di samping itu, teknik spektroskopi ini diketahui memiliki tingkat ketelitian dan keakuratan yang tinggi dalam analisis spektrum senyawa (Sulistyani dkk., 2021).

Fourier Transform Infrared (FTIR) adalah instrumen berbasis spektroskopi inframerah yang memanfaatkan transformasi Fourier untuk mendeteksi dan menganalisis spektrum yang dihasilkan suatu sampel. Teknik ini berpusat pada interferometer Michelson yang berfungsi memisahkan dan menganalisis komponen frekuensi dalam sinyal cahaya gabungan. Spektrum inframerah diperoleh dari transmisi cahaya melalui sampel, kemudian intensitas yang terukur oleh detektor dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Data tersebut selanjutnya disajikan dalam bentuk spektrum, yaitu plot intensitas terhadap energi, panjang gelombang, atau bilangan gelombang untuk tujuan identifikasi dan analisis struktur kimia (Hartawan & Istiqomah, 2021).

Fourier Transform Infrared (FTIR) merupakan teknik spektroskopi yang digunakan untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi yang muncul akibat interaksi antara bahan aktif farmasi dan koformer dalam kokristal. Prinsip kerja FTIR didasarkan pada pemaparan sampel terhadap radiasi inframerah sehingga menghasilkan pola interferensi yang direkam sebagai interferogram, yang kemudian diinterpretasikan untuk mengungkap kemungkinan pembentukan ikatan hidrogen maupun modifikasi struktur molekul. Metode ini memiliki keunggulan berupa kemampuan analisis terhadap sampel padat maupun cair dengan tingkat akurasi dan presisi yang tinggi serta tanpa memerlukan preparasi sampel yang kompleks, meskipun interpretasi spektrum tetap membutuhkan keahlian khusus agar data yang diperoleh dapat dimaknai secara tepat (Pahlevi dkk., 2025).

Gambar 2.4 Alat FT-IR

جامعة الرانري
AR-RANIRY

2.7 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian sebelumnya dijadikan sebagai rujukan dan dasar dalam penyusunan pr`oposal ini. Penelitian-penelitian tersebut membahas berbagai aspek yang relevan serta memberikan topik yang diteliti. Ringkasan dari penelitian-penelitian terdahulu tersebut disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

No.	Penulis dan Tahun	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil
1	(Garfansa dkk., 2025)	Addition of *biochar* based-activated carbon into sand filtration columns to improved removal efficiency microplastic from water	Mengevaluasi efikasi material karbon aktif dalam menyisihkan mikroplastik dari air.	Eksperimental: Menggunakan kolom filtrasi pasir yang dikombinasikan dengan lapisan Activated Carbon Material (ACM) setebal 15 cm, dengan variabel jenis biochar (Kayu keras, Sekam Padi, Batok Kelapa) dan jenis mikroplastik.	• Karbon aktif Hardwood (kayu keras) memberikan efisiensi penyisihan tertinggi (96,82%) . • Karbon aktif Sekam Padi (RHAC) mencapai efisiensi penyisihan 96,26% untuk mikroplastik jenis PS10-15.
2	(Van Gunawan dkk., 2025)	Analisis Perbandingan Kemampuan Karbon Aktif Sekam Padi Dan Karbon Aktif Batok Kelapa Dalam Alat Filtrasi Air	Membandingkan kemampuan karbon aktif dari limbah sekam padi dan batok kelapa dalam meningkatkan kinerja alat filtrasi air untuk menyaring zat pencemar.	Eksperimental: Menggunakan tabung filtrasi FRP 1054 dengan komposisi media: Zeolit (30%), Pasir Silika (30%), dan Karbon Aktif (40%) yang diaktivasi secara fisika dan kimia.	• Karbon aktif Sekam Padi menghasilkan kualitas air Kelas I (lebih baik) dibanding Batok Kelapa yang menghasilkan Kelas II . • Sekam padi terbukti lebih efektif menyaring zat pencemar.
3	(Edwin dkk., 2025)	Kemampuan Filter Biochar Susunan Seri dalam Menyisihkan Detergen dan Fosfat dari Air Limbah	Mengevaluasi potensi filter biochar dengan susunan seri dalam menyisihkan detergen dan fosfat dari air limbah artifisial.	Eksperimental (Kolom Seri): Menggunakan media biochar tempurung kelapa dan busa poliuretan (rasio 2:1) dalam 2 kolom seri setebal 40 cm	• Konfigurasi dua kolom seri lebih efektif dibanding satu kolom . • Efisiensi penyisihan detergen mencapai 53-72% dan fosfat mencapai

No.	Penulis dan Tahun	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil
				dengan sistem aliran upflow.	49-89% pada kolom seri kedua .
4	(Bermuli dkk., 2023)	Metode Filtrasi Dengan Media Sekam Padi, Arang, Batu Zeolit Dan Pasir Kuarsa Untuk Menurunkan Kadar BOD, COD Dan TSS Pada Air Limbah Domestik	Mengetahui efektivitas media kombinasi (sekam padi, arang, zeolit, pasir kuarsa) dan pengaruh variasi ketebalan media terhadap penurunan parameter pencemar.	Eksperimental: Filtrasi vertikal menggunakan tiga unit filtrasi dengan variasi ketebalan lapisan media yang berbeda.	• Media kombinasi efektif menurunkan parameter pencemar. • Variasi 2 (ketebalan proporsional) memberikan hasil terbaik: Penurunan BOD 66,67%, COD 55%, dan TSS 80%.
5	(Waliyyurrahmaan dkk., 2024)	Rancang Bangun Filter Air Alamiah Berbahan Dasar Sekam Padi Dengan Tingkat Polusi Anorganik	Merancang sistem filtrasi multilapis untuk mengurangi kekeruhan, kontaminan, dan meningkatkan keamanan air tanah bagi masyarakat.	Rancang Bangun (Prototyping): Menggunakan sistem filtrasi 4 lapis yang terdiri dari kerikil, sekam padi/sabut kelapa, pasir halus, dan kapas.	• Sistem ini mampu mengurangi kekeruhan air secara efektif . • Media filter menjadi solusi efektif dan ekonomis untuk memperbaiki kualitas fisik air tanah di daerah sulit air bersih.
6	(Hanif dkk., 2025)	Control of Microplastics and Nanoplastics Discharge via Biochar-Based Filtration: Optimization Using Central Composite Design (CCD) and Identification of Column Fouling Mechanism	Mengoptimalkan parameter operasi filtrasi dan mengidentifikasi mekanisme fouling pada kolom biochar termodifikasi.	Sistem kolom aliran kontinu. Variabel utama: pH, konsentrasi mikroplastik, laju alir, dan kedalaman kolom biochar cangkang sawit. Desain eksperimen menggunakan Response Surface Methodology (RSM).	• Efisiensi penyisihan optimal (93,75%) dicapai pada pH 7, laju alir 7 mL/menit, dan kedalaman bed 10 cm. • pH dan kedalaman kolom adalah parameter paling memengaruhi retensi partikel. • Mekanisme penyumbatan utama meliputi standard blocking dan formasi cake filtration.
7	(Hanif dkk., 2023)	Microplastics in facial cleanser: extraction, identification, potential toxicity, and continuous-flow removal using agricultural	Mengekstrak mikroplastik dari pembersih wajah, menguji toksisitas, dan mengeliminasi partikel tersebut menggunakan	Kolom filtrasi aliran kontinu. Variabel material: biochar cangkang kelapa sawit dan cangkang kelapa (pirolisis 600°C), dengan	• Penghapusan mikroplastik tertinggi mencapai 96,65% menggunakan biochar sawit (0,6–1,18 mm).

No.	Penulis dan Tahun	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil
		waste-based biochar	filter biochar residu pertanian.	komparasi ukuran partikel biochar serta diameter kolom.	• Variabel kekasaran permukaan dan sifat hidrofobisitas biochar secara langsung menentukan kekuatan interaksi antar partikel.
8	(Hsieh dkk., 2022)	Addition of biochar as thin preamble layer into sand filtration columns could improve the microplastics removal from water	Meningkatkan performa retensi mikroplastik dalam sistem saringan pasir standar melalui adisi lapisan tipis biochar.	Injeksi kolom saringan pasir dengan sisipan biochar tipis (0,5%–1,0% berat) dari lignin, selulosa, dan kayu. Pengujian dilakukan pada rezim aliran hidrolik lambat (4 m/hari) dan cepat (160 m/hari).	• Lapisan tipis biochar meningkatkan efisiensi retensi partikel berukuran kecil (1 µm) secara masif. • Biochar kayu dengan suhu pirolisis 700 °C memberikan kinerja penahanan tertinggi akibat kompleksitas morfologi pori.
9	(Changlor dkk., 2025a)	Effects of relative microplastic-biochar sizes and biofilm formation on fragmental microplastic retention in biochar filters	Menilai korelasi ukuran relatif mikroplastik dan biochar, laju aliran, serta dampak pembentukan biofilm terhadap efisiensi filtrasi.	Uji kolom fixed-bed aliran ke atas. Variabel uji: ukuran fragmen polietilena (50-300 µm), ukuran biochar kulit kacang macadamia, laju alir, dan induksi lapisan biofilm Bacillus subtilis.	• Biochar ukuran kecil mampu menahan >78% mikroplastik pada fluktuasi laju alir. • Penurunan laju alir menaikkan efisiensi hingga 96%. • Pembentukan biofilm awal mengubah topografi pori dan secara aktif meningkatkan rasio penahanan.
10	(Zhang dkk., 2023)	Preparation and application of metal-modified biochar in the purification of micro-polystyrene polluted aqueous environment	Mengevaluasi performa penyisihan polistirena menggunakan biochar termodifikasi logam dan menganalisis mekanisme via kuantifikasi fluoresensi.	Uji adsorpsi batch konvensional. Material: biochar serbuk gergaji pinus berimpregnasi Fe (FeBC) dan bimetal Fe/Zn (Fe/ZnBC) pada 550 °C. Uji lapangan dilakukan pada air keran dan air danau.	• Efisiensi tinggi dicapai oleh FeBC (96,24%) pada dosis 3 g/L. • Mekanisme dominan adalah interaksi elektrostatik dan efek jebakan topografis ("stuck", "trapped"). • Filter ini berfungsi sangat optimal di air bersalinitas rendah dan COD rendah.

No.	Penulis dan Tahun	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil
11	(Ahmad dkk., 2023)	Scavenging microplastics and heavy metals from water using jujube waste-derived biochar in fixed-bed column trials	Menguji kemampuan biochar limbah daun bidara dalam menyisihkan kontaminan ganda (mikroplastik polietilena/nilon dan logam berat).	Kolom fixed-bed. Parameter utama: biochar dengan diferensiasi suhu pirolisis (300°C dan 700°C), variasi pH (4, 7, 9). Evaluasi menggunakan laju alir konstan 2 mL/menit.	• Biochar mampu menyingkirkan >99% mikroplastik (optimal di pH 7), melampaui saringan pasir murni (78%). • Biochar 700°C mencatat retensi 33 kali lipat lebih kuat dibandingkan pasir. • Mekanisme penyisihan didorong oleh entrapment ke dalam pori berstruktur serpihan.
12	(Olubusoye dkk., 2024)	Removal of microplastics from agricultural runoff using biochar: a column feasibility study	Mengkuantifikasi tingkat polusi mikroplastik pada limpasan agrikultur dan menetapkan kelayakan kolom biochar sebagai solusi mitigasi.	Studi kelayakan filtrasi pada tabung polipropilena. Material: biochar kayu pinus dan ampas tebu. Mikroplastik dilabeli Nile red dye untuk observasi penetrasi partikel secara vertikal.	• Kolom secara efektif menurunkan mikroplastik di air limpasan hingga 92,6%. • ≥90% dari keseluruhan partikel (lintas ukuran dan bentuk) secara permanen terjebak pada kolom sedalam 20 cm berkat fiksasi hidrofobik.
13	(Subair dkk., 2024)	Removal of polystyrene microplastics using biochar-based continuous flow fixed-bed column	Menyelidiki kapabilitas termodinamika dan operasional dari kolom biochar aliran kontinu yang disintesis dari limbah kulit pisang.	Eksperimen aliran kontinu fixed-bed. Variabel bebas: tinggi bed, laju aliran hidrolik, rentang ukuran partikel polistirena, dan konsentrasi kontaminan inlet.	• Efisiensi puncak 92,16% tercapai dengan tinggi matriks 6 cm dan laju alir lambat (3 mL/menit). • Kapasitas berbanding lurus dengan tinggi struktur bed dan berbanding terbalik dengan laju aliran aliran fluida.
14	(Rullander dkk., 2024)	Bark and biochar in horizontal flow filters effectively remove microplastics from stormwater	Menganalisis trajektori perpindahan dan limitasi retensi campuran mikroplastik dalam sistem filter aliran horizontal.	Filter aliran horizontal memanjang (25, 50, dan 100 cm). Material saring: kulit kayu pinus dan biochar. Dievaluasi dengan aliran	• Tingkat eliminasi agregat melebihi 97% di seluruh struktur filter. • Partikel mayoritas (di atas 80%) terakumulasi pada

No.	Penulis dan Tahun	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil
				konstan selama 7 hari, dilanjutkan dengan ekstraksi spasial di setiap segmen 10 cm.	segmen awal 0–10 cm. • Menunjukkan risiko perpindahan transversal partikel bulat mikroskopis (25 µm) jika struktur pengepakan filter tidak seragam.
15	(Wang dkk., 2020)	Filtration of microplastic spheres by biochar: removal efficiency and immobilisation mechanisms	Mendeduksi mekanisme imobilisasi fisik dari partikel bola mikroskopis di dalam jejaring matriks filter biochar.	Kolom leaching. Komparasi struktur biochar jerami jagung (pirolisis suhu bertingkat 300°C, 400°C, 500°C) melawan biochar kayu keras. Partikel polistirena bulat seragam berukuran 10 µm.	• Biochar menahan mikroplastik >95%, efisiensi yang gagal ditiru oleh saringan silika standar. • Pembuktian tiga mode imobilisasi topografis: terjebak, terperangkap, dan terjerat. • Struktur honeycomb berpori makro yang diekspos oleh suhu pirolisis 500°C merupakan kunci stabilitas retensi.

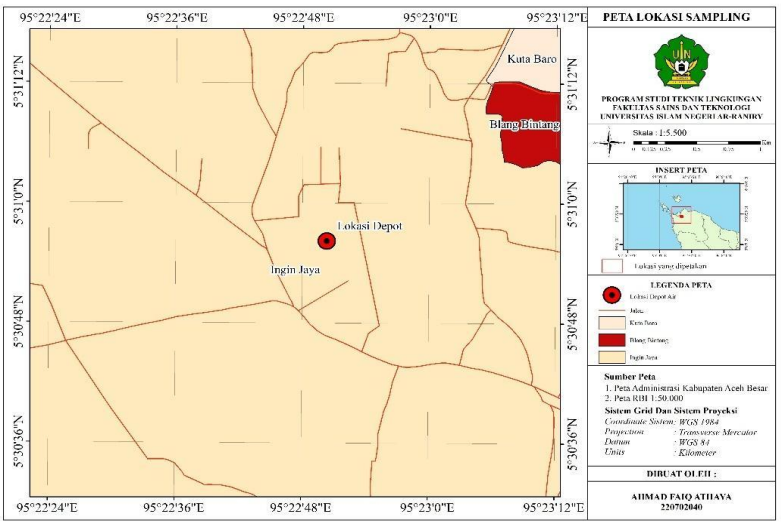
جامعة الرانري
AR-RANIRY

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.1.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Kecamatan Ingin Jaya, Kabupaten Aceh Besar. Depot Air Minum X dipilih sebagai lokasi utama pengambilan sampel karena depot tersebut memanfaatkan air olahan PDAM sebagai sumber air baku yang selanjutnya mengalami proses pengolahan untuk menghasilkan air minum. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada pertimbangan bahwa air baku merupakan tahapan penting dalam rantai penyediaan air minum, sehingga keberadaan mikroplastik pada air baku perlu diketahui sebelum proses pengolahan lebih lanjut. Selain itu, penggunaan air olahan PDAM sebagai sumber air baku memungkinkan penelitian untuk mengevaluasi keberadaan mikroplastik pada air yang telah melalui proses pengolahan awal serta menguji kemampuan biochar sekam padi sebagai media filtrasi tambahan dalam menyisihkan mikroplastik. Dengan demikian, Depot Air Minum X dinilai sesuai dengan tujuan penelitian karena dapat menjadi lokasi pengujian penerapan media filtrasi biochar sekam padi terhadap cemaran mikroplastik pada air baku depot air minum. Lokasi spesifik depot dan titik pengambilan sampel disajikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan selama lima bulan, dimulai dari April hingga Juli 2026. Jadwal yang terperinci telah disusun untuk memastikan pelaksanaan yang sistematis pada setiap tahapan penelitian, sebagaimana disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jadwal Rencana Penelitian

Kegiatan	Jadwal Rencana Penelitian															
	April				Mei				Juni				Juli			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Penelitian																
Analisis Data																
Penyusunan Tugas Akhir																
Bimbingan & Perbaikan																

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut :

Tabel 3.2 Daftar Alat

No	Kategori	Nama Alat	Fungsi
1	Unit Filtrasi	Pipa Akrilik	Berfungsi sebagai kolom *filter* dengan panjang 25 cm dan diameter 5 cm
		Keran outlet	Mengatur laju aliran air keluar dari kolom filtrasi
		Penyangga	Menopang dan menjaga posisi kolom filtrasi agar stabil
2	Pembuatan *Biochar*	Oven *biochar*	Digunakan untuk proses pembuatan *biochar*
		Oven pengering	Mengeringkan sampel
		Desikator	Mendinginkan dan menyimpan sampel
		Ayakan (*sieve*) standar	Menyeragamkan ukuran partikel *biochar*
3	Sampling & Preparasi	Botol kaca sampel	Menyimpan sampel air selama proses pengambilan dan pengujian
		Vacuum pump	Membantu proses filtrasi dengan sistem vakum
		Gelas ukur	Mengukur volume larutan atau sampel
		Beaker glass	Wadah larutan selama proses preparasi
		Magnet Stirrer	Menghomogenkan larutan
4	Analisis	Kertas Saring	Wadah sampel saat proses pengamatan
		FT-IR	Menganalisis gugus fungsi pada mikroplastik

3.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.3 berikut :

Tabel 3.3 Daftar Bahan

No	Nama Bahan	Fungsi
1	Sekam padi	Bahan baku pembuatan *biochar* yang berasal dari limbah pertanian
2	Pasir silika	Media penyangga pada kolom filtrasi
3	Krikil	Media penyangga dan penopang lapisan *filter*
4	Aquades	Digunakan untuk pencucian dan netralisasi
5	Sampel air baku	Air baku yang berasal dari Depot Air Minum X sebagai objek penelitian

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental deskriptif dengan pendekatan kuantitatif, yang bertujuan untuk mengetahui efisiensi penyisihan mikroplastik pada air baku depot air minum menggunakan media filtrasi *biochar* sekam padi. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengukur kelimpahan mikroplastik sebelum dan sesudah proses filtrasi, sedangkan sifat deskriptif digunakan untuk menggambarkan hasil penyisihan mikroplastik berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengamatan dan perhitungan.

3.4 Objek Dan Variabel Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah air baku depot air minum sebelum dan sesudah proses filtrasi menggunakan *biochar* sekam padi.

Variabel dalam penelitian ini terdiri atas:

1. Variabel Independen (Bebas)

Variasi ketebalan media *filter biochar* sekam padi, yaitu: 0 cm (kontrol),

5 cm, 10 cm, 15 cm dan sekam padi 5 cm.

2. Variabel Dependen (Terikat)

a. Kelimpahan mikroplastik (partikel/L).

b. Efisiensi penyisihan mikroplastik (%).

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Pembuatan *Biochar* Sekam Padi

Proses pembuatan *biochar* skala laboratorium dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu:

1. **Tahapan Persiapan dan Pengeringan Bahan Baku:**
   Sekam padi dibersihkan dari kotoran, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam untuk mengurangi kadar air awal.

2. **Tahapan Karbonisasi**
   Sekam padi dikarbonisasi pada suhu 400 °C selama ±2 jam di dalam oven *biochar*.

Gambar 3.2 Oven biochar yang digunakan untuk proses karbonisasi sekam padi

3. **Tahapan Penghancuran dan Pengayakan**
   Sekam padi dihancurkan, kemudian diayak menggunakan ayakan 60 mesh untuk memperoleh ukuran partikel seragam.

3.5.2 Perancangan Kolom Filtrasi

Kolom filtrasi dirancang dalam bentuk kolom untuk menjaga kestabilan media dan distribusi aliran.

1. **Spesifikasi Kolom**

   Kolom filtrasi menggunakan pipa Akrilik dengan panjang 25 cm dan diameter 5 cm dengan berjumlah 4 kolom.

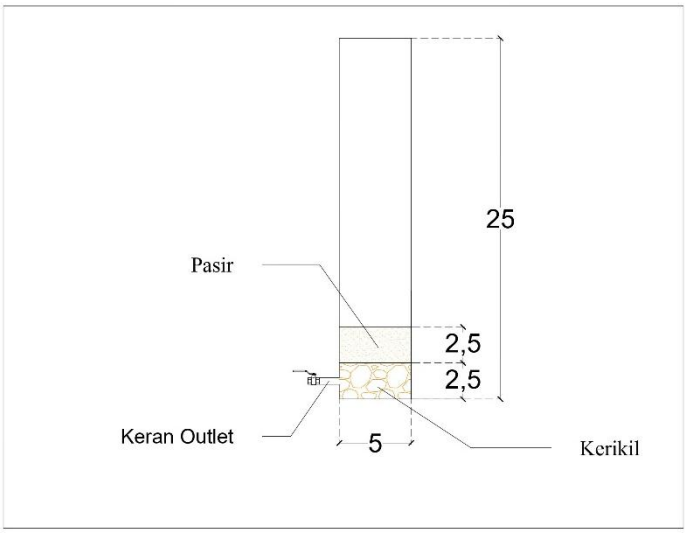
2. **Tabung *Reservoir***

   Sebuah tabung reservoir (tabung penetes) ditempatkan di bagian atas kolom filtrasi. Tabung ini berfungsi sebagai sumber air yang dialirkan secara kontinu ke permukaan media filtrasi. Untuk mengendalikan laju tetesan, tabung dilengkapi dengan keran yang memungkinkan penyesuaian debit sesuai kebutuhan percobaan. Pengukuran debit aliran dilakukan untuk mengkondisikan aliran pada keadaan tunak (*steady state*) melalui pengaturan bukaan katup. Volume air sebesar 1 liter diukur menggunakan gelas ukur, sementara waktu alirannya dicatat secara presisi menggunakan *stopwatch*. Prosedur ini bertujuan untuk menentukan debit sesaat pada fase awal aliran serta debit rata-rata yang keluar dari tabung reservoir. Pengambilan data diulang secara sistematis guna memverifikasi kestabilan debit aktual. Persamaan matematis yang digunakan untuk perhitungan debit adalah:

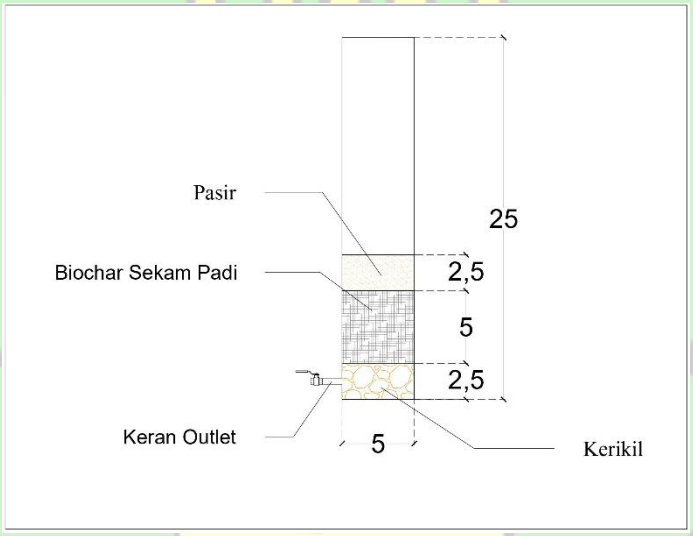
   $$Q = \frac{V}{t}$$

3. **Susunan Media**

   a. Pasir silika (30 mesh) setebal 2,5 cm sebagai lapisan
   b. *Biochar* sekam padi dengan variasi ketebalan 0, 5, 10, 15 cm, dan hanya sekam padi 5 cm.
   c. Kerikil setebal 2,5 cm sebagai penyangga media

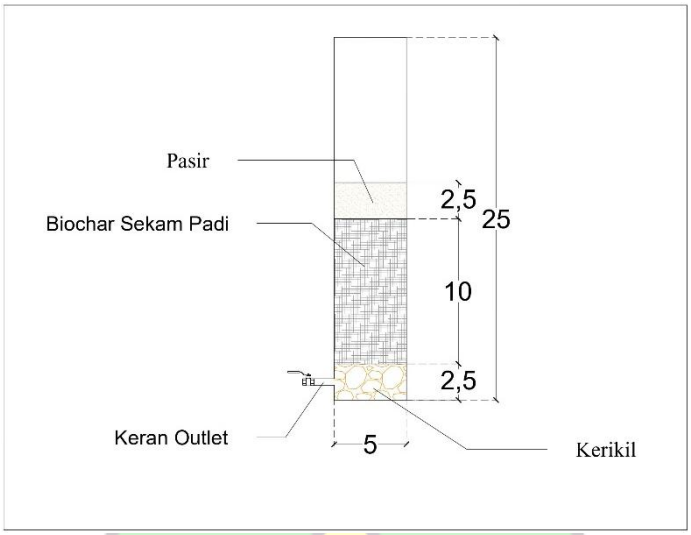


Gambar 3.3 Variasi Ketebalan *Biochar* 0 cm

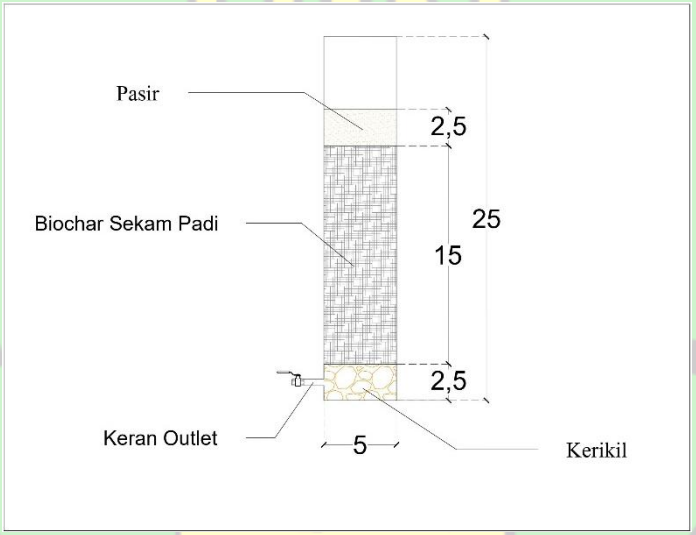


Gambar 3.4 Variasi Ketebalan *Biochar* 5 cm

AR-RANIRY

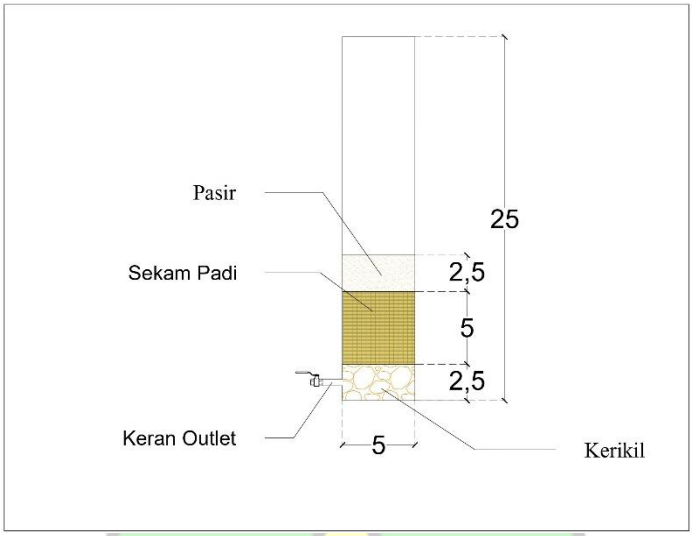


Gambar 3.5 Variasi Ketebalan *Biochar* 10 cm



Gambar 3.6 Variasi Ketebalan *Biochar* 15 cm

AR-RANIRY



Gambar 3.7 Variasi Ketebalan Sekam Padi 5 cm

Gambar 3.8 Kolom filtrasi yang digunakan dalam penelitian

3.5.3 Prosedur Filtrasi dan Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dan proses filtrasi dilakukan untuk memperoleh sampel air yang selanjutnya digunakan dalam identifikasi dan analisis mikroplastik, dengan mengacu pada tahapan penelitian mikroplastik pada perairan tawar sebagaimana dilakukan dalam penelitian sebelumnya (Tri dkk., 2024).

1. Tahapan penelitian diawali dengan persiapan seluruh alat dan bahan yang digunakan dalam proses pengambilan sampel dan filtrasi air.
2. Sampel air baku depot air minum disiapkan dan dihomogenkan sebelum dilakukan pengujian guna memperoleh kondisi sampel yang seragam.
3. Proses filtrasi dilakukan dengan mengalirkan air sampel sebanyak 1 Liter dari *reservoir* dengan debit secara konstan ke kolom filtrasi.
4. Air hasil filtrasi ditampung pada wadah penampung yang telah disterilisasi dan diberi label sesuai dengan variasi perlakuan.
5. Proses filtrasi menggunakan variasi ketebalan media *biochar* sekam padi sebesar 0 cm (kontrol), 5 cm, 10 cm, 15 cm, dan sekam padi 5 cm untuk mengevaluasi pengaruh ketebalan media terhadap efisiensi penyisihan mikroplastik.
6. Sampel air hasil filtrasi kemudian dikumpulkan dan dianalisis di laboratorium untuk tahap identifikasi dan karakterisasi mikroplastik lebih lanjut.

3.5.4 Identifikasi dan Perhitungan Mikroplastik

1. Identifikasi dan Kelimpahan Mikroplastik

Proses identifikasi mikroplastik dilakukan setelah melalui tahapan preparasi sampel. Mikroplastik yang telah dikeringkan pada kertas saring kemudian diidentifikasi dan dihitung secara manual sebanyak satu kali pada tiap sampel menggunakan *Scanning Electron Microscope*. Kelimpahan mikroplastik dihitung menggunakan perhitungan rumus yang merujuk pada (Putri Sekti Cahyaningrum & Sari, 2024). Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Kelimpahan Mikroplastik (Partikel/Liter)} = \frac{\text{Banyaknya Mikroplastik (Partikel)}}{\text{Volume Air Tersaring (L)}}$$

2. Efisiensi Penyisihan Mikroplastik

$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{\text{Konsentrasi Awal (C0) - Konsentrasi Akhir (C1)}}{\text{Konsentrasi Awal (C0)}} \times 100\%$$

Efisiensi filtrasi mikroplastik ditentukan berdasarkan konsentrasi mikroplastik sebelum dan sesudah melewati media filtrasi, di mana C0 dan C1 masing-masing merepresentasikan konsentrasi mikroplastik sebelum dan setelah proses filtrasi. Konsentrasi tersebut mencakup konsentrasi jumlah partikel maupun konsentrasi massa. Efisiensi filtrasi mikroplastik merupakan salah satu parameter utama dalam evaluasi kinerja *filter*, yang berkaitan dengan karakteristik material *filter*, termasuk struktur material, ketebalan media, porositas, serta kondisi aliran selama proses filtrasi (Ji dkk., 2023).

3.6 Analisis FT-IR

Analisis *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) digunakan untuk mengidentifikasi jenis polimer penyusun mikroplastik pada sampel air baku depot air minum. Partikel mikroplastik yang telah teridentifikasi secara visual selanjutnya dianalisis menggunakan instrumen FT-IR pada rentang bilangan gelombang 4000–400 cm^{-1}. Prosedur analisis FT-IR dalam penelitian ini mengacu pada tahapan analisis yang dilakukan oleh Tri dkk. (2024), yang meliputi persiapan sampel, pengukuran menggunakan instrumen FT-IR, perekaman dan pengolahan spektrum, identifikasi gugus fungsi, pencocokan spektrum dengan spektrum referensi, serta interpretasi hasil untuk menentukan jenis polimer mikroplastik.

Tahapan analisis FT-IR dilakukan sebagai berikut:

1. Persiapan sampel

Partikel mikroplastik yang telah teridentifikasi melalui pengamatan menggunakan mikroskop dipilih untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan FT-IR. Sampel dipersiapkan agar dapat ditempatkan pada bagian pengujian instrumen sesuai dengan prosedur penggunaan alat.

2. Pengukuran sampel dengan FT-IR

Sampel yang telah dipersiapkan kemudian dianalisis menggunakan instrumen FT-IR pada rentang bilangan gelombang 4000–400 cm^{-1}. Pengukuran dilakukan untuk memperoleh spektrum inframerah yang menunjukkan karakteristik serapan dari material penyusun sampel.

3. Perekaman dan pengolahan spektrum

Spektrum hasil pengukuran direkam dalam bentuk grafik hubungan antara bilangan gelombang dan intensitas serapan. Spektrum yang diperoleh kemudian diperiksa dan diolah untuk memperjelas posisi puncak serapan yang menunjukkan karakteristik gugus fungsi dari material yang dianalisis.

4. Identifikasi gugus fungsi

Puncak-puncak serapan yang diperoleh dari hasil pengukuran diinterpretasikan berdasarkan rentang bilangan gelombang dan karakteristik gugus fungsi yang sesuai. Identifikasi ini digunakan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada partikel hasil analisis.

5. Pencocokan spektrum

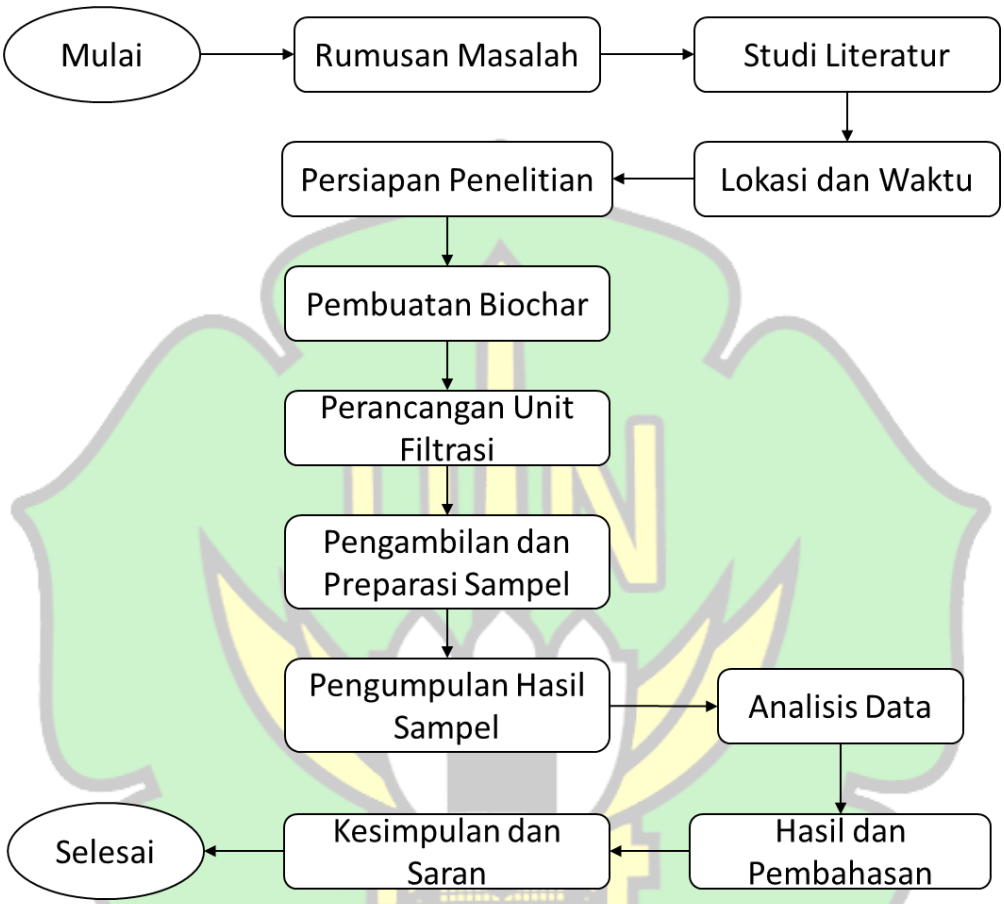
Spektrum hasil pengukuran dibandingkan dengan spektrum referensi atau basis data polimer untuk menentukan kesesuaian karakteristik spektrum. Jenis polimer ditentukan berdasarkan kesamaan pola spektrum serta kesesuaian pita serapan karakteristik antara sampel dan referensi.

6. Interpretasi hasil

Hasil pencocokan dan identifikasi gugus fungsi selanjutnya digunakan untuk menentukan karakteristik jenis polimer mikroplastik pada sampel air baku. Hasil analisis FT-IR kemudian disajikan dalam bentuk grafik spektrum dan tabel interpretasi gugus fungsi sebagai dasar pembahasan karakteristik mikroplastik.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir berikut ini menggambarkan urutan logis dari seluruh kegiatan penelitian yang akan dilakukan, mulai dari tahap persiapan hingga penyelesaian laporan akhir yang dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut :



Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

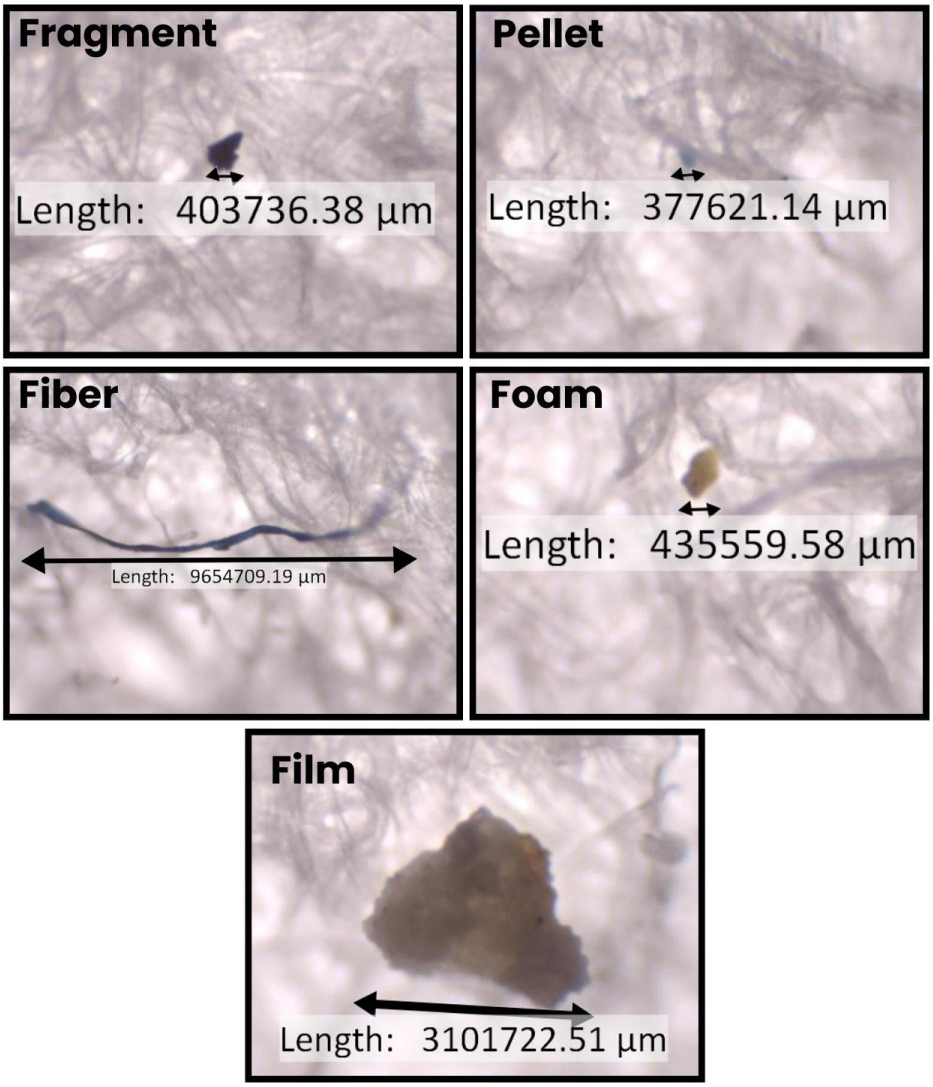
4.1 Karakteristik Awal Air Baku

Sampel air baku yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari depot air minum yang menggunakan sumber air olahan PDAM. Sampel tersebut kemudian dianalisis dan difiltrasi menggunakan kolom berskala laboratorium. Sebelum diberi perlakuan, kelimpahan dan karakteristik awal mikroplastik (C_0) dianalisis terlebih dahulu untuk mengetahui kondisi mikroplastik pada air baku. Hasil analisis ini selanjutnya digunakan sebagai pembanding terhadap kondisi efluen pada setiap variasi ketebalan media filter.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kelimpahan mikroplastik awal pada sampel air baku adalah 120 partikel/L. Nilai tersebut diperoleh melalui penyaringan 1 L sampel air menggunakan kertas saring *Whatman* 42 yang kemudian diamati di bawah mikroskop binokuler. Karakterisasi mikroplastik pada sampel air baku menunjukkan lima bentuk partikel, yaitu fragment (44 partikel), pellet (38 partikel), foam (24 partikel), fiber (9 partikel), dan film (5 partikel), dengan fragment dan pellet sebagai bentuk yang paling dominan. Warna partikel yang paling banyak ditemukan adalah biru, hitam, dan transparan, dengan ukuran mikroplastik yang teridentifikasi berkisar antara 377,62 µm hingga 2.639,93 µm. Contoh hasil pengamatan mikroplastik disajikan pada Gambar 4.1, sedangkan ringkasan karakteristik awalnya disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kelimpahan dan Karakteristik Awal Mikroplastik pada Air Baku (C_0)

Parameter	Hasil Pengamatan	Satuan
Volume sampel yang dianalisis	1	L
Jumlah partikel mikroplastik awal	120	Partikel
Kelimpahan mikroplastik awal (C_0)	120	Partikel/L
Bentuk dominan	Fragmen dan Pellet	-
Warna dominan	Biru, Hitam, dan Transparan	-
Rentang ukuran partikel	377,62 – 2.639,93	µm



Gambar 4.1 Mikroplastik yang Teridentifikasi pada Sampel Air Baku Awal

Keberadaan mikroplastik pada air baku depot air minum ini diduga terjadi akibat panjangnya pipa distribusi air serta proses penampungan air dalam tandon (Rigi dkk., 2026). Mikroplastik tersebut dapat bersumber dari pelapukan material plastik di lingkungan perairan awal, pengikisan pipa atau selang distribusi berbahan polimer, gesekan dari wadah penyimpanan tangki maupun tutup galon, hingga kontaminasi dari aktivitas domestik di sekitar sumber air. Sistem pengolahan air konvensional pada umumnya belum dirancang secara khusus untuk menyisihkan polutan berukuran mikro sehingga partikel mikroplastik masih berpotensi lolos dan terbawa ke dalam air baku depot.

Analisis bentuk mikroplastik dapat membantu menelusuri sumber pencemarannya (Avinash dkk., 2023). Mikroplastik berbentuk fiber umumnya berasal dari serat tekstil sintetis atau bahan rajutan, sedangkan bentuk film sering berasal dari kantong plastik atau kemasan tipis yang terurai. Bentuk foam berkaitan dengan pelapukan polistirena (*styrofoam*), sementara dominasi fragmen mengindikasikan sumber kontaminasi sekunder dari degradasi plastik keras, seperti serpihan tangki penampungan, botol, atau abrasi pipa paralon (PVC) pada sistem distribusi air. Adapun temuan pellet menunjukkan adanya kontaminasi mikroplastik primer, misalnya sisa *microbeads* dari produk perawatan tubuh (kosmetik atau sabun) yang lolos dari instalasi pengolahan air atau terbawa ke sumber air.

Pengamatan warna mikroplastik dapat membantu memperkirakan sumber polutan, meskipun tidak cukup untuk mengidentifikasi jenis polimernya secara pasti. Dominasi warna biru, hitam, dan transparan mengindikasikan kemungkinan sumber berupa plastik berwarna seperti pipa dan tandon, atau plastik tanpa pewarna yang bersifat transparan. Interpretasi warna ini bersifat terbatas karena warna dapat berubah akibat oksidasi, pelapukan, atau menempelnya materi organik dan anorganik pada permukaan partikel (Burrows dkk., 2024).

Secara keseluruhan, temuan sebesar 120 partikel mikroplastik per liter pada air baku menimbulkan perhatian terhadap keamanan air minum. Kehadiran mikroplastik pada unit pengolahan air menunjukkan perlunya proses yang lebih optimal, misalnya melalui penggunaan *biochar* sebagai media filtrasi tambahan, mengingat mikroplastik tidak hanya berperan sebagai pencemar fisik tetapi juga berpotensi membawa senyawa kimia berbahaya atau mikroorganisme patogen di perairan (G. Zhou dkk., 2025).

4.2 Pengaruh Variasi Ketebalan Lapisan *Biochar* Sekam Padi terhadap Jumlah Mikroplastik

4.2.1 Debit Air per kolom

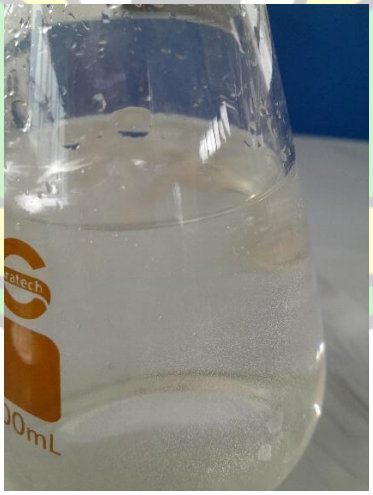
Ketebalan lapisan *biochar* sekam padi berperan penting terhadap pengurangan jumlah mikroplastik. Variasi yang diuji dalam penelitian ini meliputi lima konfigurasi unit kolom, yaitu kolom kontrol 0 cm (tanpa *biochar* dan sekam padi), kolom sekam padi tanpa karbonisasi dengan ketebalan 5 cm, serta kolom *biochar*

dengan variasi ketebalan 5 cm, 10 cm, dan 15 cm.

Sebelum proses filtrasi dilakukan, sampel air baku terlebih dahulu dihomogenkan agar partikel mikroplastik tersebar secara merata, mengingat perbedaan bentuk, ukuran, dan densitas partikel menyebabkan sebagian mikroplastik dapat mengapung, tersuspensi, atau mengendap. Selain itu, karena kelima kolom filter dioperasikan secara berurutan, sampel air dihomogenkan kembali sebelum setiap pengambilan 1 L air influen guna mengurangi kemungkinan perbedaan konsentrasi mikroplastik antarkolom. Kondisi operasional masing-masing kolom disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kondisi Operasional pada Setiap Variasi Ketebalan Media

No.	Variasi Ketebalan	Volume Influen	Debit Aliran	Waktu Filtrasi
1	0 cm (Kontrol)	1 L	25,6 mL/menit	39 menit
2	Sekam padi mentah 5 cm	1 L	25,0 mL/menit	40 menit
3	*Biochar* 5 cm	1 L	23,8 mL/menit	42 menit
4	*Biochar* 10 cm	1 L	18,8 mL/menit	53 menit 11 detik
5	*Biochar* 15 cm	1 L	17,7 mL/menit	56 menit 18 detik



Gambar 4.2 Air hasil filtrasi pada masing-masing variasi ketebalan media

Hasil pengujian hidrolika awal pada kolom tanpa media filtrasi menunjukkan bahwa pengaliran 1 L air dari *reservoir* membutuhkan waktu sekitar 37 menit dengan debit awal sebesar ±27 mL/menit. Setelah media filtrasi dimasukkan ke

dalam kolom, debit aliran menurun seiring dengan bertambahnya ketebalan dan kerapatan media yang digunakan, yaitu dari 25,6 mL/menit pada kolom kontrol menjadi 17,7 mL/menit pada kolom dengan media *biochar* setebal 15 cm.

Penurunan debit tersebut tampak jelas apabila kelima kolom dibandingkan mulai dari yang memiliki hambatan aliran paling kecil hingga yang paling besar. Pada kolom kontrol (0 cm), yang hanya menggunakan lapisan media dasar berupa pasir silika dan kerikil, hambatan aliran menjadi yang paling kecil di antara seluruh variasi sehingga debit alirannya menjadi yang tertinggi, yaitu 25,6 mL/menit dengan waktu operasi 39 menit. Debit aliran yang tinggi ini menyebabkan air mengalir lebih cepat melewati media filtrasi sehingga waktu tinggal air di dalam kolom menjadi lebih singkat. Akibatnya, waktu kontak antara partikel mikroplastik dan media filtrasi berkurang sehingga peluang partikel untuk tertahan di dalam media juga semakin kecil.

Pada kolom sekam padi tanpa karbonisasi dengan ketebalan 5 cm, debit aliran yang diperoleh sedikit lebih besar (25,0 mL/menit) dibandingkan kolom *biochar* 5 cm (23,8 mL/menit). Perbedaan ini terjadi karena sekam padi tanpa karbonisasi memiliki rongga antarpartikel yang lebih besar dibandingkan *biochar* yang telah dihaluskan dan diayak hingga ukuran 60 mesh, sehingga air lebih mudah mengalir melalui media sekam padi. Sebaliknya, semakin kecil debit aliran, semakin lama pula waktu kontak antara partikel mikroplastik dan permukaan media filtrasi, yang berpotensi meningkatkan efisiensi penyisihan pada masing-masing variasi media (Kang dkk., 2024).

Sejalan dengan hal tersebut, debit aliran pada kolom *biochar* ketebalan 5 cm tercatat sebesar 23,8 mL/menit dengan waktu filtrasi 42 menit, sedikit lebih lama dibandingkan kolom kontrol maupun kolom sekam padi. Kondisi ini terjadi karena susunan butiran *biochar* berukuran 60 mesh jauh lebih rapat dibandingkan sekam padi tanpa karbonisasi sehingga memberikan hambatan aliran yang lebih besar. Debit aliran yang lebih rendah ini membuat air berada lebih lama di dalam media filtrasi, sehingga memberikan kesempatan lebih besar bagi partikel mikroplastik untuk tertahan di dalam pori-pori *biochar* atau menempel pada permukaan media melalui interaksi permukaan (Changlor dkk., 2025).

Debit aliran pada kolom *biochar* dengan ketebalan 10 cm selanjutnya menurun

menjadi 18,8 mL/menit dengan waktu filtrasi 53 menit 11 detik, lebih rendah dibandingkan kolom *biochar* 5 cm. Penurunan debit ini terjadi karena ketebalan media yang lebih besar meningkatkan hambatan aliran di dalam kolom sehingga air mengalir lebih lambat saat melewati susunan butiran *biochar* berukuran 60 mesh (Edeh & Mašek, 2022). Secara teoretis, debit aliran yang lebih rendah dapat meningkatkan kemampuan media dalam menyisihkan mikroplastik karena air berada lebih lama di dalam kolom filtrasi, sehingga memberikan kesempatan lebih besar bagi partikel mikroplastik untuk tertahan di dalam pori-pori *biochar*, sela-sela media, atau menempel pada permukaannya (Torboli dkk., 2025).

Kolom *biochar* dengan ketebalan 15 cm menunjukkan debit aliran paling rendah di antara seluruh variasi, yaitu 17,7 mL/menit dengan waktu filtrasi 56 menit 18 detik, sehingga memberikan waktu tinggal air paling lama. Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin besar ketebalan media, semakin panjang jalur aliran yang harus dilalui air sehingga semakin besar pula peluang kontak antara air dan permukaan *biochar*. Hal ini sejalan dengan temuan Garfansa dkk. (2025) bahwa penambahan lapisan *biochar* pada kolom filtrasi pasir dapat meningkatkan kemampuan retensi mikroplastik melalui mekanisme penyaringan fisik, adsorpsi pada permukaan media, dan terperangkap di dalam struktur berpori *biochar*. Penelitian tersebut juga menegaskan bahwa *activated carbon* berbasis *biochar* memiliki luas permukaan dan porositas yang lebih tinggi sehingga mampu memperkuat interaksi dengan partikel mikroplastik selama proses filtrasi. Dengan demikian, ketebalan media yang lebih besar tidak hanya menurunkan debit aliran, tetapi juga berpotensi meningkatkan efisiensi penyisihan akibat waktu kontak yang lebih lama antara air dan media filtrasi.

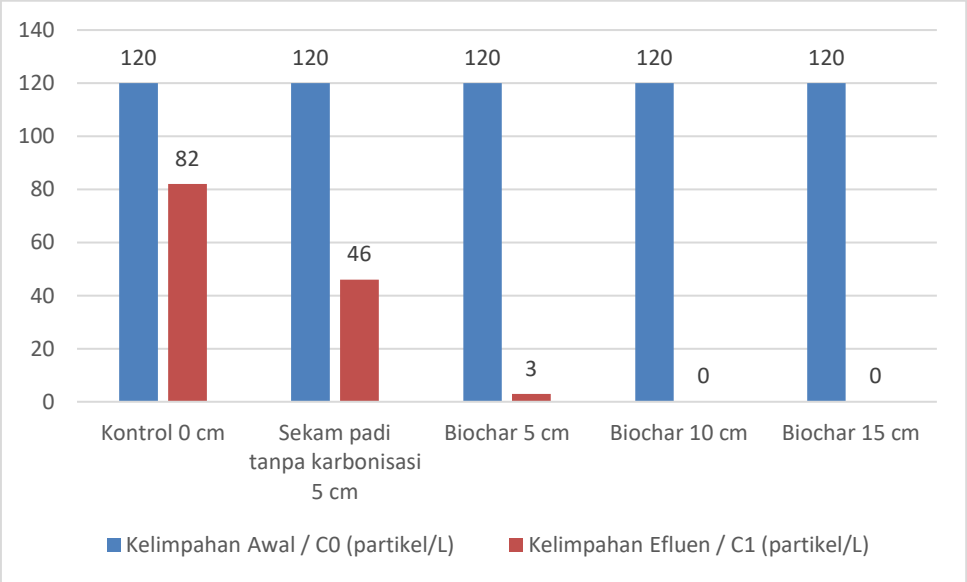
Secara umum, hubungan antara ketebalan *biochar* sekam padi dan jumlah mikroplastik yang tersisa pada kelima kolom filtrasi dapat dijelaskan melalui panjang lintasan aliran air dan peluang kontak antara partikel mikroplastik dengan media. Semakin tebal lapisan *biochar* di dalam kolom, semakin panjang lintasan yang harus dilalui air selama proses filtrasi (Kiattisaksiri dkk., 2026), sehingga perbedaan kondisi hidrolika pada kelima kolom tersebut pada akhirnya berkaitan erat dengan kemampuan masing-masing media dalam menyisihkan mikroplastik.

4.2.2 Jumlah mikroplastik per kolom

Setiap kolom filtrasi hanya dioperasikan satu kali sehingga penelitian ini tidak menggunakan ulangan statistik. Oleh karena itu, hasil penelitian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan data pada setiap variasi media terhadap pengurangan jumlah mikroplastik. Nilai kelimpahan mikroplastik pada air hasil filtrasi serta kecenderungan data antarvariasi digunakan untuk melihat pengaruh ketebalan media terhadap penurunan jumlah mikroplastik, bukan untuk menguji signifikansi statistik antarperlakuan. Hasil analisis kelimpahan mikroplastik sebelum dan sesudah proses filtrasi disajikan pada Tabel 4.3 dan divisualisasikan pada Gambar 4.2.

Tabel 4.3 Kelimpahan Mikroplastik Sebelum dan Sesudah Filtrasi pada Setiap Variasi

Variasi Media	Kelimpahan Awal / C0 (partikel/L)	Kelimpahan Efluen / C1 (partikel/L)
Kontrol 0 cm	120	82
Sekam padi tanpa karbonisasi 5 cm	120	46
Biochar 5 cm	120	3
Biochar 10 cm	120	0
Biochar 15 cm	120	0



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Kelimpahan Mikroplastik pada Setiap Variasi Ketebalan Media

Data pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa jumlah mikroplastik pada efluen hasil filtrasi menurun seiring dengan bertambahnya ketebalan media *biochar*. Dari jumlah awal sebesar 120 partikel/L, variasi *biochar* dengan ketebalan 10 cm dan 15 cm tidak lagi menunjukkan adanya mikroplastik yang teramati pada air hasil filtrasi (0 partikel/L). Hasil ini sejalan dengan penelitian Hanif dkk. (2025) yang melaporkan bahwa penggunaan media *biochar* dapat meningkatkan efisiensi penyisihan mikroplastik sehingga jumlah partikel pada efluen menjadi lebih rendah dibandingkan influen. Penurunan tersebut selanjutnya ditelusuri secara lebih rinci pada setiap variasi media, mulai dari kolom dengan efisiensi penyisihan paling rendah hingga yang paling tinggi.

Kolom kontrol (0 cm) dioperasikan tanpa lapisan *biochar* maupun sekam padi sehingga hanya terdiri atas pasir silika 30 mesh dan kerikil sebagai media penyangga yang juga digunakan pada seluruh unit kolom filtrasi. Susunan ini dipilih sebagai pembanding untuk menilai sejauh mana media dasar mampu menyisihkan mikroplastik tanpa kontribusi media tambahan, mengingat filtrasi pasir pada sistem irigasi mampu menurunkan mikroplastik melalui mekanisme penyaringan mekanik, sedimentasi, dan adsorpsi. Zhou dkk. (2026) melaporkan bahwa efektivitas penyisihan meningkat ketika ukuran media lebih halus, sedangkan media yang lebih kasar menunjukkan efisiensi yang lebih rendah, sehingga penggunaan pasir silika dan kerikil pada kolom kontrol merepresentasikan kondisi dasar yang relevan untuk mengevaluasi kinerja filtrasi mikroplastik. Dengan demikian, kolom kontrol berfungsi penting untuk membedakan kontribusi nyata *biochar* sekam padi terhadap peningkatan efisiensi penyisihan mikroplastik dibandingkan kemampuan alami media penyangga dasar.

Berdasarkan hasil pengamatan, jumlah mikroplastik pada efluen kolom kontrol (C_1) adalah 82 partikel/L. Jika dibandingkan dengan jumlah awal pada air baku (C_0 = 120 partikel/L), terjadi penurunan sebesar 31,67%. Hasil ini menunjukkan bahwa pasir silika dan kerikil sebagai media dasar mampu menyisihkan sebagian mikroplastik melalui proses penyaringan secara mekanis, yaitu partikel yang ukurannya lebih besar dari celah antarbutir pasir silika akan tertahan di dalam media filtrasi. Namun, sebanyak 68,33% mikroplastik masih lolos ke air hasil filtrasi karena media dasar tidak memiliki pori-pori halus maupun luas permukaan yang

tinggi seperti *biochar*, sehingga partikel mikroplastik yang berukuran kecil, tipis, atau lentur masih dapat melewati celah antarbutir pasir silika 30 mesh (Luo dkk., 2025).

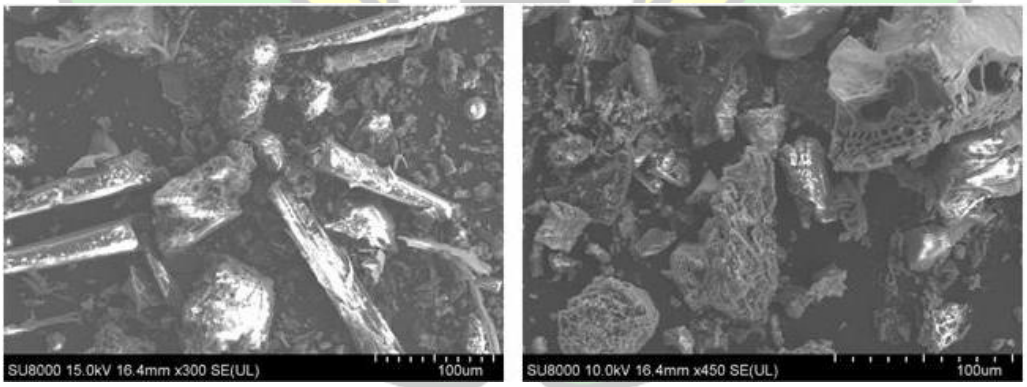
Kolom sekam padi setebal 5 cm tanpa proses karbonisasi disusun sebagai pembanding untuk menilai pengaruh pirolisis terhadap kemampuan media dalam menyisihkan mikroplastik. Hal ini didukung oleh Edwin dkk. (2023) yang menunjukkan bahwa *biochar* sekam padi berukuran kasar tetap memiliki kemampuan sorpsi yang baik karena struktur berpori dan gugus fungsionalnya berperan dalam pemisahan kontaminan, sehingga media berbasis sekam padi tetap relevan untuk diuji dalam sistem kolom. Dengan demikian, kolom sekam padi non-karbonisasi dibandingkan dengan kolom *biochar* sekam padi setebal 5 cm yang memiliki ketebalan dan jumlah media yang sama, agar perbedaan efisiensi penyisihan dapat dikaitkan lebih jelas dengan pengaruh proses pirolisis terhadap karakteristik filtrasi media.

Hasil pengamatan menggunakan mikroskop *binokuler* menunjukkan bahwa jumlah mikroplastik pada efluen kolom sekam padi setebal 5 cm adalah 46 partikel/L, dengan efisiensi penyisihan sebesar 61,67%, lebih baik dibandingkan kolom kontrol yang masih menyisakan 82 partikel/L. Temuan ini menunjukkan bahwa sekam padi tanpa karbonisasi tetap mampu membantu penyisihan mikroplastik melalui penyaringan fisik, karena bentuk alaminya yang melengkung membentuk rongga-rongga tidak beraturan di dalam kolom sehingga dapat menghambat pergerakan partikel mikroplastik selama proses filtrasi (Chin dkk., 2025).

Dari total 46 partikel/L yang tersisa pada efluen kolom sekam padi, terdiri atas 7 partikel fiber, 10 partikel fragment, 1 partikel film, 13 partikel pellet, dan 15 partikel foam. Dibandingkan dengan kondisi awal air baku, bentuk fragment mengalami penurunan paling besar, yaitu dari 44 menjadi 10 partikel, diikuti oleh bentuk film yang turun dari 5 menjadi 1 partikel. Kondisi ini diduga karena fragment memiliki bentuk tidak beraturan dengan sudut-sudut tajam, sedangkan film berbentuk tipis, sehingga keduanya lebih mudah tertahan pada celah-celah di antara tumpukan sekam padi (Na dkk., 2024). Sebaliknya, jumlah partikel foam hanya berkurang dari 24 menjadi 15 partikel dan pellet dari 38 menjadi 13 partikel.

Hal ini diduga karena sekam padi memiliki celah antarpartikel yang cukup besar sehingga partikel foam yang berdensitas rendah lebih mudah mengapung dan terbawa aliran air melewati celah-celah media tanpa banyak hambatan (Wang Li dkk., 2024).

Meskipun debit aliran pada kolom sekam padi setebal 5 cm relatif lebih besar, jumlah mikroplastik pada efluennya (46 partikel/L) masih jauh lebih tinggi dibandingkan kolom *biochar* setebal 5 cm yang hanya menyisakan 3 partikel/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 97,50%. Pada kolom *biochar* 5 cm, mikroplastik yang masih ditemukan hanya berbentuk pellet sebanyak 3 partikel, sedangkan bentuk fiber, fragment, film, dan foam berhasil disisihkan seluruhnya. Perbedaan kemampuan penyisihan yang sangat jelas pada media dengan ketebalan yang sama ini menunjukkan bahwa proses karbonisasi pada suhu 400°C berperan penting dalam meningkatkan kinerja media filtrasi. Proses pirolisis selama 2 jam menghilangkan sebagian besar senyawa volatil pada sekam padi sehingga menghasilkan *biochar* dengan struktur pori yang lebih berkembang dan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan sekam padi tanpa karbonisasi (Kuo dkk., 2023).



Gambar 4.4 Gambar (a) SEM dari Sekam Padi (b) SEM dari biochar sekam padi
Sumber : (Mohadi dkk., 2021)

Berdasarkan Gambar 4.3, hasil pengujian morfologi menggunakan SEM yang dilakukan oleh Mohadi dkk. (2021) memperlihatkan bahwa sekam padi sebelum karbonisasi masih memiliki struktur alami yang cenderung kompak, berbentuk globular, dengan permukaan yang dipenuhi tonjolan seperti papila serta lapisan

epidermis yang kasar. Setelah mengalami proses pirolisis menjadi *biochar* sekam padi, morfologi permukaannya berubah signifikan menjadi lebih berongga, bertekstur tidak beraturan, dan menunjukkan banyak lubang dengan ukuran partikel yang bervariasi. Perubahan ini menandakan bahwa senyawa organik pada sekam padi terdegradasi selama pemanasan sehingga terbentuk struktur berpori dengan luas permukaan yang lebih besar, kondisi yang sangat menguntungkan bagi proses penjerapan mikroplastik karena menyediakan lebih banyak situs aktif dan ruang kontak bagi partikel untuk tertahan pada permukaan adsorben.

Selain membentuk lebih banyak pori, proses karbonisasi juga meningkatkan keterpaparan kandungan silika alami pada permukaan *biochar* sekam padi. Silika tersebut memiliki gugus aktif, seperti silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si), yang dapat membantu meningkatkan interaksi antara permukaan *biochar* dan partikel mikroplastik (Zhang dkk., 2026). Dengan adanya struktur pori yang lebih berkembang serta gugus aktif tersebut, *biochar* mampu menahan hampir seluruh bentuk mikroplastik, baik karena partikel terjebak di dalam pori-pori maupun tertahan pada permukaan media yang kasar, kemampuan yang tidak dimiliki oleh sekam padi tanpa karbonisasi (Li dkk., 2024).

Pada kolom *biochar* dengan ketebalan 5 cm, hasil pengamatan menggunakan mikroskop *binokuler* menunjukkan bahwa jumlah mikroplastik pada efluen menurun drastis menjadi 3 partikel/L, jauh lebih rendah dibandingkan kolom kontrol (82 partikel/L) maupun kolom sekam padi setebal 5 cm (46 partikel/L), meskipun ketiganya menggunakan ketebalan media yang sama. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun ketebalannya hanya 5 cm, media *biochar* sudah mampu menahan hampir seluruh partikel mikroplastik yang melewati kolom filtrasi.

Dari jumlah awal 120 partikel/L, kolom *biochar* setebal 5 cm berhasil menyisihkan seluruh partikel berbentuk fiber (9 menjadi 0 partikel), fragment (44 menjadi 0 partikel), film (5 menjadi 0 partikel), dan foam (24 menjadi 0 partikel); hanya partikel berbentuk pellet yang masih ditemukan, yaitu sebanyak 3 partikel (Ahmad dkk., 2023). Keberhasilan penyisihan seluruh bentuk fiber, fragment, film, dan foam menunjukkan bahwa *biochar* mampu menahan berbagai bentuk mikroplastik dengan sangat baik. Meskipun penelitian ini tidak melakukan

pengamatan morfologi media menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), temuan ini sejalan dengan Wang & Sedighi (2023) yang menyatakan bahwa mekanisme penyisihan mikroplastik pada *biochar* terjadi melalui proses terjebak, terperangkap, dan terjerat pada struktur pori yang tidak beraturan. Kondisi ini diperkuat oleh Cruz & Li (2026), yang menyatakan bahwa partikel fiber yang lentur lebih mudah diikat oleh biochar, sedangkan partikel fragment yang kaku dan film yang tipis cenderung tertahan karena ukuran fisiknya melebihi celah pori media.

Di sisi lain, masih ditemukannya 3 partikel pellet diduga berkaitan dengan bentuknya yang bulat dan permukaannya yang licin, sehingga partikel ini lebih mudah terbawa aliran air dan melewati pori-pori *biochar*. Selain itu, pada ketebalan media 5 cm, jumlah pori yang berperan dalam menahan partikel kemungkinan belum cukup untuk menangkap seluruh mikroplastik, sehingga sebagian partikel pellet berukuran kecil masih dapat melewati media melalui jalur aliran tertentu sebelum sempat tertahan di dalam pori *biochar* (Rullander dkk., 2024). Secara keseluruhan, hasil pengujian pada kolom *biochar* setebal 5 cm menunjukkan bahwa lapisan *biochar* yang relatif tipis sudah mampu menyisihkan mikroplastik dengan efisiensi yang sangat tinggi, yaitu 97,50%, sehingga ketebalan ini sudah efektif digunakan sebagai media filtrasi mikroplastik pada air baku depot air minum (Kiattisaksiri dkk., 2026).

Kolom *biochar* dengan ketebalan 10 cm menggunakan media dua kali lebih tebal dibandingkan kolom *biochar* 5 cm. Hasil pengamatan menggunakan mikroskop *binokuler* menunjukkan tidak ditemukannya mikroplastik pada efluen (0 partikel/L), yang berarti tidak ada partikel yang terdeteksi melewati kolom filtrasi pada sampel air sebanyak 1 L yang diuji. Berdasarkan analisis bentuk partikel, kolom ini berhasil menyisihkan seluruh jenis mikroplastik yang ditemukan pada air baku, yaitu fiber (9 menjadi 0 partikel), fragment (44 menjadi 0 partikel), film (5 menjadi 0 partikel), pellet (38 menjadi 0 partikel), dan foam (24 menjadi 0 partikel).

Keberhasilan kolom *biochar* setebal 10 cm dalam menyisihkan seluruh mikroplastik menjadi temuan yang menarik, terutama jika dibandingkan dengan kolom *biochar* 5 cm yang masih meloloskan 3 partikel berbentuk pellet. Peningkatan ketebalan media dari 5 cm menjadi 10 cm menyebabkan air melewati lintasan filtrasi yang lebih panjang sehingga meningkatkan peluang partikel

mikroplastik untuk berinteraksi dengan pori-pori dan permukaan *biochar*. Kondisi ini memperbesar jumlah pori-pori dan luas permukaan efektif yang berperan dalam mekanisme penahanan partikel, sehingga partikel pellet yang masih ditemukan pada kolom *biochar* 5 cm berhasil disisihkan secara sempurna pada kolom *biochar* 10 cm (Kiattisaksiri dkk., 2026). Selain itu, interaksi antara permukaan *biochar* dan partikel mikroplastik, seperti gaya *Van der Waals*, ikatan hidrogen, dan adsorpsi hidrofobik, juga diduga turut berperan dalam proses penyisihan tersebut. Hasil ini menjadikan ketebalan 10 cm sebagai variasi dengan hasil penyisihan terbaik dalam penelitian ini, sekaligus menjadi dasar penentuan ketebalan media yang paling optimal pada filter *biochar* sekam padi (Changlor dkk., 2025).

Kolom *biochar* dengan ketebalan 15 cm merupakan variasi dengan ketebalan media terbesar dalam penelitian ini. Hasil pengamatan menunjukkan tidak ditemukannya mikroplastik pada efluen (0 partikel/L), yang berarti seluruh jenis mikroplastik pada sampel air 1 L berhasil disisihkan, yaitu fiber (9 menjadi 0 partikel), fragment (44 menjadi 0 partikel), film (5 menjadi 0 partikel), pellet (38 menjadi 0 partikel), dan foam (24 menjadi 0 partikel). Meskipun ketebalan media bertambah 5 cm dibandingkan kolom *biochar* 10 cm sehingga waktu kontak air dengan media menjadi lebih lama, hasil penyisihan tidak menunjukkan perbedaan karena kedua kolom sama-sama mencapai 0 partikel/L.

Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Garfansa dkk. (2025) yang menggunakan *rice husk activated carbon* (RHAC) dengan kedalaman media 15 cm pada kolom filtrasi pasir dan memperoleh efisiensi penyisihan mikroplastik sebesar 96,26% untuk mikroplastik jenis PS10–15. Garfansa dkk. (2025) menjelaskan bahwa penyisihan mikroplastik dipengaruhi oleh mekanisme *size exclusion*, adhesi pada permukaan media melalui interaksi hidrofobik, serta keterjebakan partikel di dalam struktur pori media. Temuan tersebut mendukung hasil penelitian ini bahwa penggunaan media berbasis biochar sekam padi dengan kedalaman 15 cm mampu menghasilkan efisiensi penyisihan mikroplastik yang tinggi.

Hasil ini menunjukkan bahwa pada ketebalan media yang diuji, *biochar* sekam padi telah memiliki kemampuan yang cukup untuk menahan seluruh mikroplastik pada sampel air sebanyak 1 L yang mengandung 120 partikel, sehingga penambahan ketebalan dari 10 cm menjadi 15 cm tidak lagi meningkatkan hasil

penyisihan yang dapat diamati (Kiattisaksiri dkk., 2026). Peningkatan ketebalan media filter tetap memberikan lebih banyak luas permukaan dan pori-pori yang berkontribusi dalam penyisihan mikroplastik melalui mekanisme penyaringan fisik, yaitu tersangkut di sela-sela media, terjebak di dalam pori-pori, atau melekat pada permukaan *biochar*. Selain itu, penyisihan juga diduga dipengaruhi oleh interaksi fisikokimia antara *biochar* dan mikroplastik, seperti gaya *Van der Waals*, ikatan hidrogen, adsorpsi hidrofobik, serta interaksi elektrostatik (Junaid dkk., 2026). Temuan ini sejalan dengan Kiattisaksiri dkk. (2026), yang melaporkan bahwa peningkatan ketebalan *biochar* pada kolom filtrasi mampu meningkatkan efisiensi penyisihan mikroplastik, serta konsisten dengan Poncio dkk. (2025), yang menyatakan bahwa ketebalan media filter merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi efisiensi penyisihan mikroplastik sekaligus akumulasi partikel di dalam kolom filtrasi dengan aliran kontinu.

Secara keseluruhan, variasi ketebalan media *biochar* sekam padi memengaruhi jumlah mikroplastik yang tersisa pada air hasil filtrasi. Jumlah mikroplastik menurun secara bertahap pada setiap variasi media, yaitu dari 82 partikel/L pada kolom kontrol (0 cm), menjadi 46 partikel/L pada kolom sekam padi ketebalan 5 cm, kemudian 3 partikel/L pada kolom *biochar* ketebalan 5 cm, hingga tidak ditemukan lagi mikroplastik (0 partikel/L) pada kolom *biochar* ketebalan 10 cm dan 15 cm.

4.3 Efisiensi Penyisihan Mikroplastik Menggunakan Biochar Sekam Padi

Evaluasi efisiensi penyisihan mikroplastik dilakukan untuk mengetahui kemampuan setiap variasi kolom filter dalam mengurangi jumlah mikroplastik pada air baku Depot Air Minum X. Kinerja penyisihan dinyatakan dalam bentuk persentase efisiensi penyisihan (%) pada masing-masing kolom. Nilai tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan ketebalan media filter yang paling optimal serta melihat hubungan antara debit aliran dan efisiensi penyisihan yang diperoleh. Parameter efisiensi ini menjadi salah satu indikator untuk menilai potensi penggunaan *biochar* sekam padi tanpa aktivasi kimia sebagai media filtrasi tambahan yang ekonomis dan ramah lingkungan pada depot air minum.

Persentase efisiensi penyisihan mikroplastik dihitung untuk mengetahui sejauh

mana kemampuan spesifik dari masing-masing variasi ketebalan media dalam menurunkan kelimpahan partikel polimer yang tersuspensi di dalam air baku. Perhitungan efisiensi penyisihan dilakukan dengan mengacu pada persamaan matematika standar yang dirumuskan sebagai berikut (AlShamaileh & Alzoubi, 2025):

$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{\text{Konsentrasi Awal } (C_0) \text{ - Konsentrasi Akhir } (C_1)}{\text{Konsentrasi Awal } (C_0)} \times 100\%$$

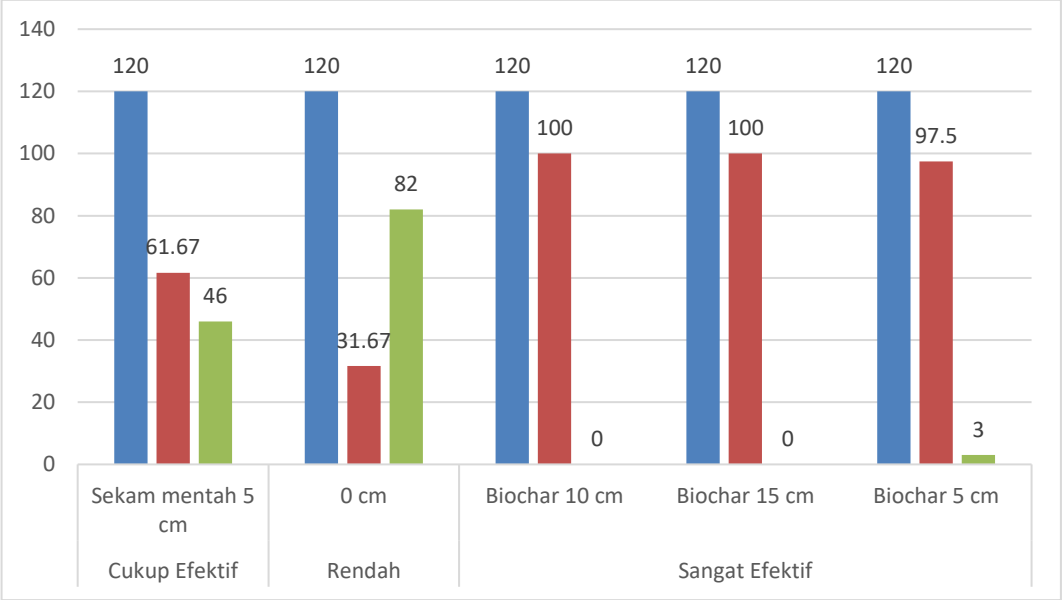
Pada persamaan tersebut, C_0 menunjukkan jumlah mikroplastik sebelum proses filtrasi, sedangkan C_1 menunjukkan jumlah mikroplastik pada air hasil filtrasi (efluen). Nilai C_0 yang digunakan dalam seluruh perhitungan adalah 120 partikel/L. Berdasarkan hasil perhitungan, kolom kontrol tanpa *biochar* (0 cm) memiliki efisiensi penyisihan sebesar 31,67%. Setelah ditambahkan media sekam padi tanpa karbonisasi setebal 5 cm, efisiensi penyisihan meningkat menjadi 61,67%. Peningkatan yang lebih besar terjadi pada kolom *biochar*, dengan ketebalan 5 cm mencapai efisiensi penyisihan sebesar 97,50%, sementara *biochar* dengan ketebalan 10 cm dan 15 cm sama-sama mencapai efisiensi penyisihan sebesar 100%.

Klasifikasi efisiensi penyisihan pada Tabel 4.4 disusun dengan mengacu pada rentang efisiensi yang dilaporkan dalam literatur, di mana efisiensi sekitar 30% menunjukkan kinerja rendah, kisaran 50-70% menunjukkan efektivitas sedang, sedangkan efisiensi di atas 90% menunjukkan kinerja sangat tinggi atau sangat efektif (Tang & Hadibarata, 2021).

Tabel 4.4 Efisiensi Penyisihan Mikroplastik pada Setiap Variasi Ketebalan Media

Variasi Kolom	C0 (partikel/L)	C1 (partikel/L)	Efisiensi Penyisihan (%)	Kategori Efektivitas
0 cm	120	82	31.67	Rendah
Sekam mentah 5 cm	120	46	61.67	Cukup Efektif
Biochar 5 cm	120	3	97.5	Sangat Efektif
Biochar 10 cm	120	0	100	Sangat Efektif
Biochar 15 cm	120	0	100	Sangat Efektif

Sumber: **(Tang & Hadibarata, 2021)**



Gambar 4.5 Grafik Efisiensi Penyisihan Mikroplastik Berdasarkan Variasi Media

Efisiensi penyisihan tertinggi diperoleh pada kolom *biochar* dengan ketebalan 10 cm dan 15 cm, yaitu sebesar 100%, yang menunjukkan bahwa media *biochar* sekam padi mampu menyisihkan seluruh mikroplastik yang teramati pada sampel air sebanyak 1 L. Peningkatan efisiensi dari kolom kontrol (31,67%) menjadi 97,50% pada kolom *biochar* ketebalan 5 cm juga menunjukkan bahwa kemampuan penyisihan mikroplastik tidak hanya dipengaruhi oleh proses penyaringan menggunakan pasir silika atau sekam padi tanpa karbonisasi, tetapi juga oleh struktur pori *biochar* yang lebih berkembang serta karakteristik permukaannya setelah proses pirolisis.

Hasil penyisihan mikroplastik pada penelitian ini menunjukkan kinerja yang sangat baik dibandingkan dengan beberapa penelitian terdahulu yang menggunakan media filter berbasis karbon, sebagaimana disajikan pada Tabel 4.5.

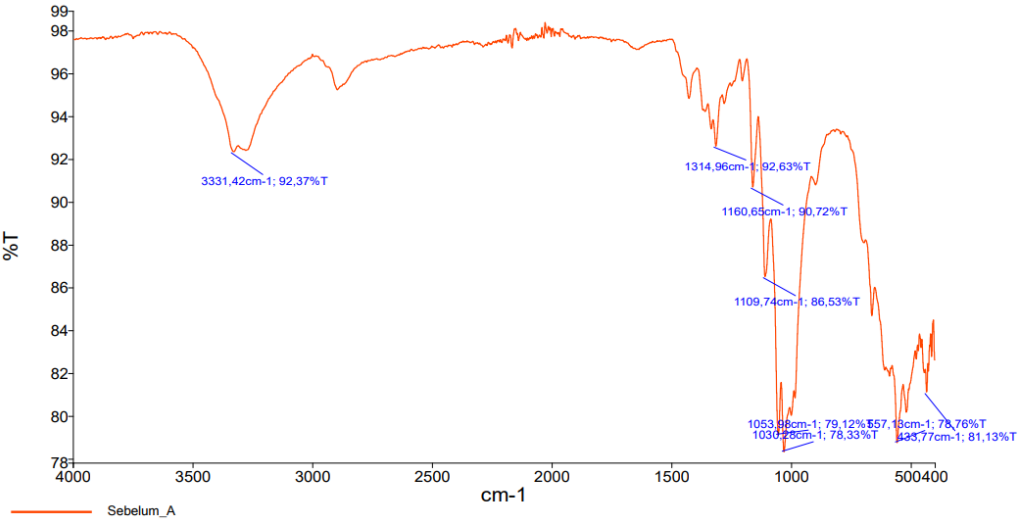
Tabel 4.5 Perbandingan Efisiensi Penyisihan Mikroplastik dengan Penggunaan Biochar

Peneliti (Tahun)	Spesifikasi Media Filter	Kondisi Operasi Hidrolika / Desain	Hasil Efisiensi Literatur	Hasil Riset Ini (Biochar Sekam Padi)
Garfansa dkk. (2025)	Komposit Material Karbon Aktif (ACM)	Bed depth 15 cm, matriks air limbah	0.9626	100% (Pada Biochar 15 cm)
Hanif dkk. (2025)	Biochar Termodifikasi	Bed depth 10 cm, debit 7 mL/menit	0.9375	100% (Pada Biochar 10 cm)
Subair dkk. (2024)	Biochar Kulit Pisang	Bed depth 6 cm, debit 3 mL/menit	0.9216	97,50% (Pada Biochar 5 cm)
Wang dkk. (2020)	Biochar Campuran (Hardwood/Rice Husk)	Uji leaching, mikrosfer PS 10 µm	> 95,00%	97,50% - 100%

Efisiensi penyisihan yang tinggi, yaitu 97,50% hingga 100%, merupakan hasil yang menarik karena *biochar* sekam padi yang digunakan pada penelitian ini dibuat hanya melalui proses pirolisis tanpa aktivasi kimia. Hasil tersebut diduga dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya kandungan silika alami pada *biochar* sekam padi yang membantu proses penyisihan mikroplastik setelah karbonisasi, serta perbedaan karakteristik mikroplastik yang diuji. Beberapa penelitian sebelumnya menggunakan mikroplastik buatan berbentuk mikrosfer dengan permukaan licin, sedangkan penelitian ini menggunakan mikroplastik yang berasal dari air baku depot air minum dan didominasi oleh bentuk fragment dan pellet, sehingga diduga lebih mudah tertahan di dalam pori-pori *biochar* selama proses filtrasi. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *biochar* sekam padi tanpa aktivasi kimia memiliki potensi untuk digunakan sebagai media filtrasi tambahan dalam penyisihan mikroplastik pada air baku depot air minum.

4.4 Karakteristik Mikroplastik Berdasarkan Jenis Polimer Menggunakan FTIR

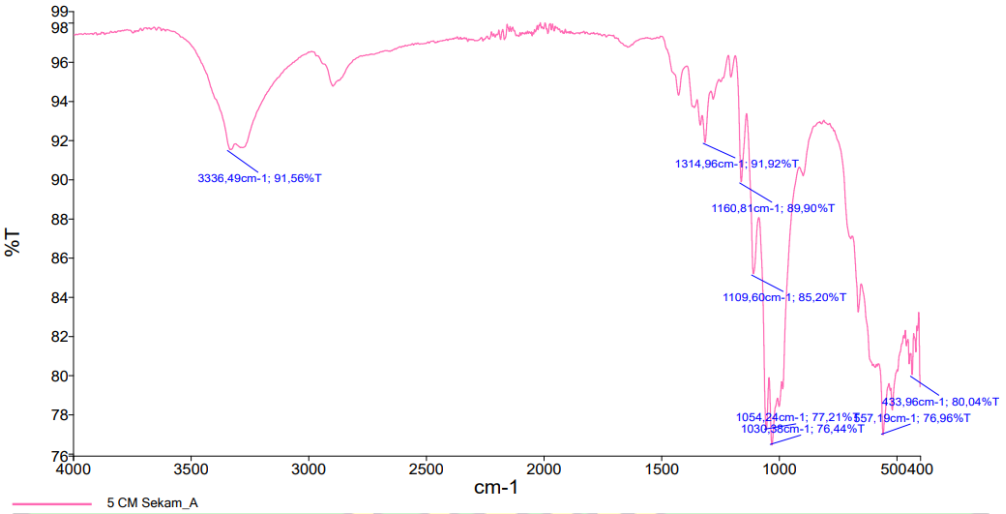
Identifikasi jenis polimer penyusun mikroplastik dilakukan menggunakan instrumen *Fourier Transform Infrared* (FTIR) *Spectroscopy*. Prinsip kerja FTIR didasarkan pada penyerapan radiasi inframerah oleh molekul sampel pada frekuensi tertentu, yang menghasilkan spektrum puncak serapan (lembah transmitansi) yang merepresentasikan ikatan kimia atau gugus fungsi spesifik penyusun material tersebut. Identifikasi polimer menjadi tahap krusial untuk mengetahui karakteristik material secara molekuler sehingga dapat ditelusuri potensi sumber pencemarnya di lingkungan (Khoiriyah dkk., 2026).



Gambar 4.6 Grafik FTIR Sebelum Filtrasi

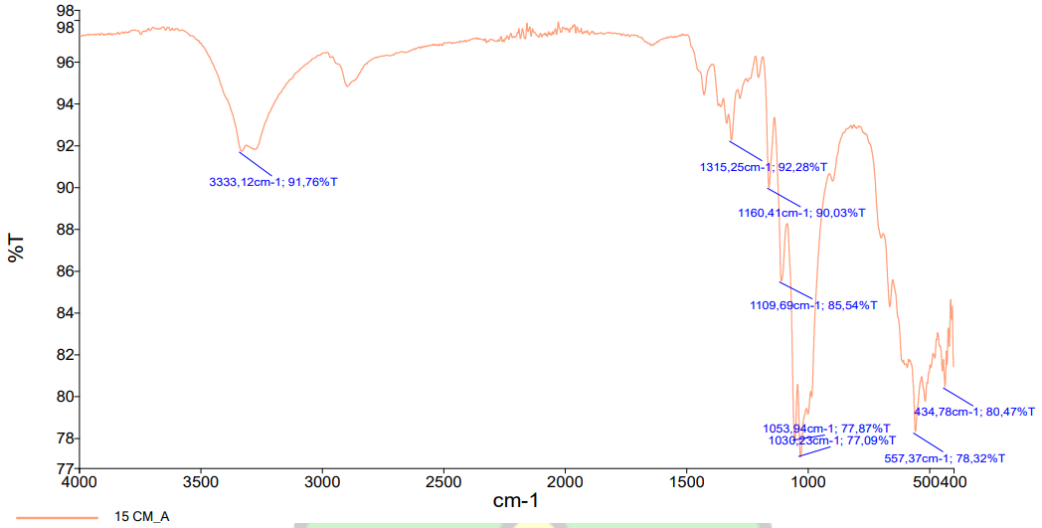
Berdasarkan hasil pengujian pada sampel "Sebelum" (tanpa perlakuan filtrasi), spektrum inframerah menunjukkan beberapa puncak serapan yang dominan. Puncak terdalam berada pada bilangan gelombang 3331,42 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya regangan gugus hidroksil (O-H *stretching*). Puncak serapan lain ditemukan pada rentang 1314,96 cm^{-1} yang merepresentasikan vibrasi tekuk C-H (C-H *bending*). Selain itu, terdapat pola serapan beruntun pada 1160,65 cm^{-1}, 1109,74 cm^{-1}, 1053,98 cm^{-1}, dan 1030,28 cm^{-1} yang mengindikasikan regangan ikatan C-O atau C-O-C (*eter/ester*). Puncak pada pita sidik jari

(*fingerprint region*) terdeteksi di 557,13 cm^{-1} dan 433,77 cm^{-1}, yang umumnya dikaitkan dengan vibrasi tekuk *out-of-plane* dari C-H aromatik atau vibrasi rantai karbon-halogen (Campanale dkk., 2023).



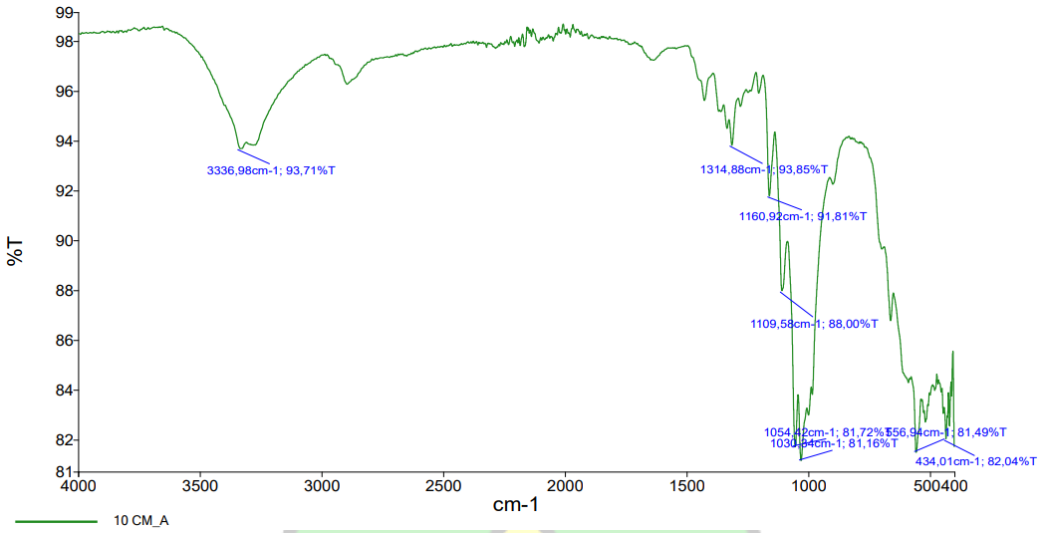
Gambar 4.7 Grafik FTIR Variasi Sekam 5 cm

Pengujian pada sampel variasi "5 CM Sekam" menunjukkan puncak serapan gugus hidroksil (O-H *stretching*) pada bilangan gelombang 3336,49 cm^{-1}, dengan indikasi vibrasi tekuk C-H alifatik terdeteksi konsisten pada 1314,96 cm^{-1}. Rentang serapan untuk regangan ikatan C-O dan C-O-C (*eter/ester*) terpantau jelas dan berurutan pada 1160,81 cm^{-1}, 1109,60 cm^{-1}, 1054,24 cm^{-1}, serta 1030,38 cm^{-1}. Pada area pita sidik jari, terdapat lembah transmitansi di angka 557,19 cm^{-1} dan 433,96 cm^{-1} yang mengindikasikan vibrasi tekuk *out-of-plane* dari cincin aromatik. Kehadiran puncak-puncak dengan posisi bilangan gelombang yang hampir tidak bergeser ini menegaskan bahwa partikel mikroplastik yang difiltrasi menggunakan media sekam murni memiliki karakteristik degradasi oksidatif yang serupa dengan sampel perlakuan *biochar* lainnya (Kortazar dkk., 2026).



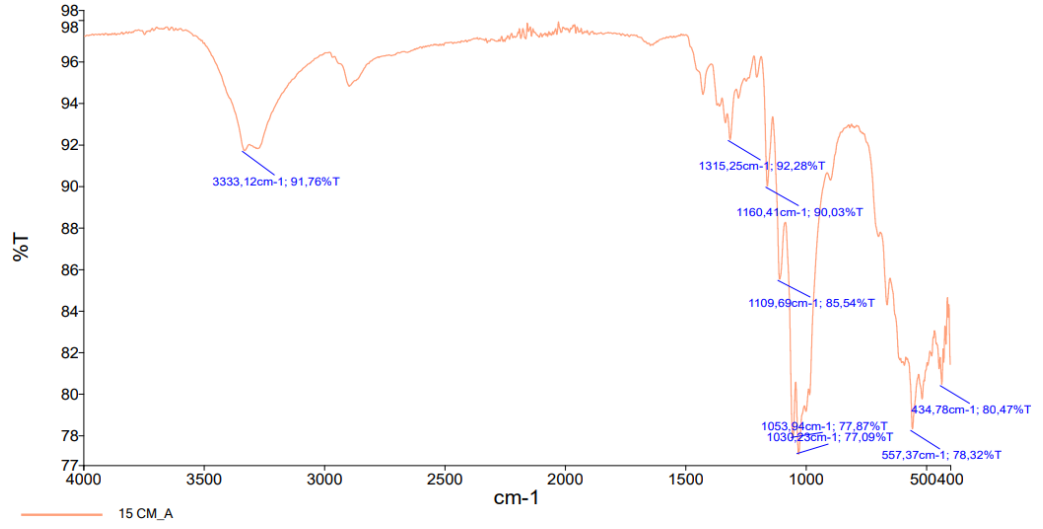
Gambar 4.8 Grafik FTIR Variasi Biochar 5 cm

Pada sampel hasil perlakuan filter ketebalan "5 CM", puncak serapan gugus hidroksil (O-H) mengalami sedikit pergeseran pada angka 3331,28 cm^{-1}, sedangkan indikasi vibrasi tekuk C-H tetap konsisten muncul pada 1315,24 cm^{-1}. Pola regangan C-O-C dan C-O terdeteksi secara berurutan pada 1160,46 cm^{-1}, 1109,65 cm^{-1}, 1054,10 cm^{-1}, dan 1030,31 cm^{-1}, sementara pada rentang pita sidik jari, serapan muncul pada 556,68 cm^{-1} dan 434,05 cm^{-1}. Pergeseran minor pada angka desimal bilangan gelombang ini menunjukkan bahwa secara matriks polimer, partikel yang lolos pada filter 5 CM memiliki identitas molekuler yang identik dengan sampel sebelum difiltrasi (Camacho dkk., 2024).



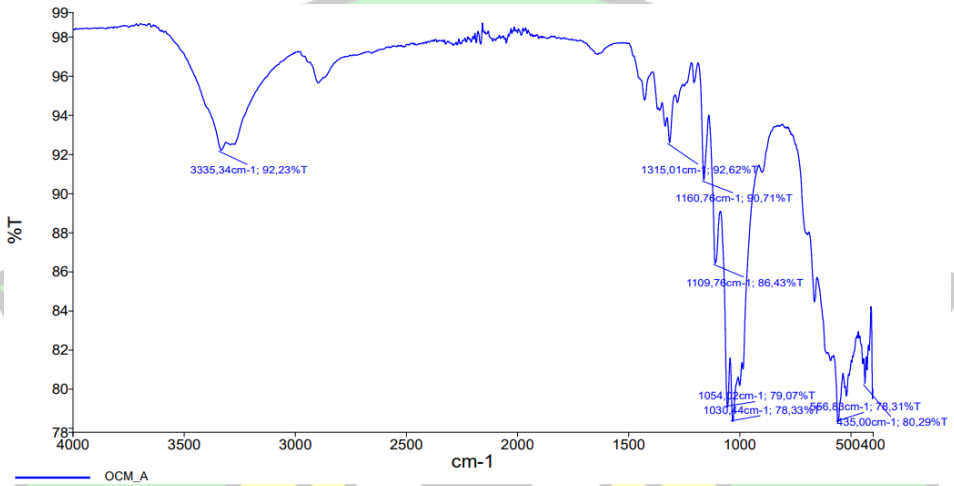
Gambar 4.9 Grafik FTIR Variasi Biochar 10 cm

Pengujian pada sampel "10 CM" menunjukkan puncak serapan gugus hidroksil pada bilangan gelombang 3336,98 cm^{-1}, dengan puncak serapan untuk vibrasi C-H terpantau pada 1314,88 cm^{-1}. Rentang serapan gugus oksigen pada rantai karbon (C-O-C dan C-O) secara berurutan ditemukan di angka 1160,92 cm^{-1}, 1109,58 cm^{-1}, 1054,42 cm^{-1}, dan 1030,84 cm^{-1}, sedangkan serapan pada area bawah terpantau pada 556,94 cm^{-1} dan 434,01 cm^{-1}. Pergeseran bilangan gelombang gugus O-H yang sedikit lebih tinggi (dari sekitar 3331 menjadi 3336 cm^{-1}) dapat diakibatkan oleh interaksi fisik matriks partikel dengan media filter atau indikasi perbedaan tingkat pelapukan oksidatif partikel yang lolos (Kidd dkk., 2026).



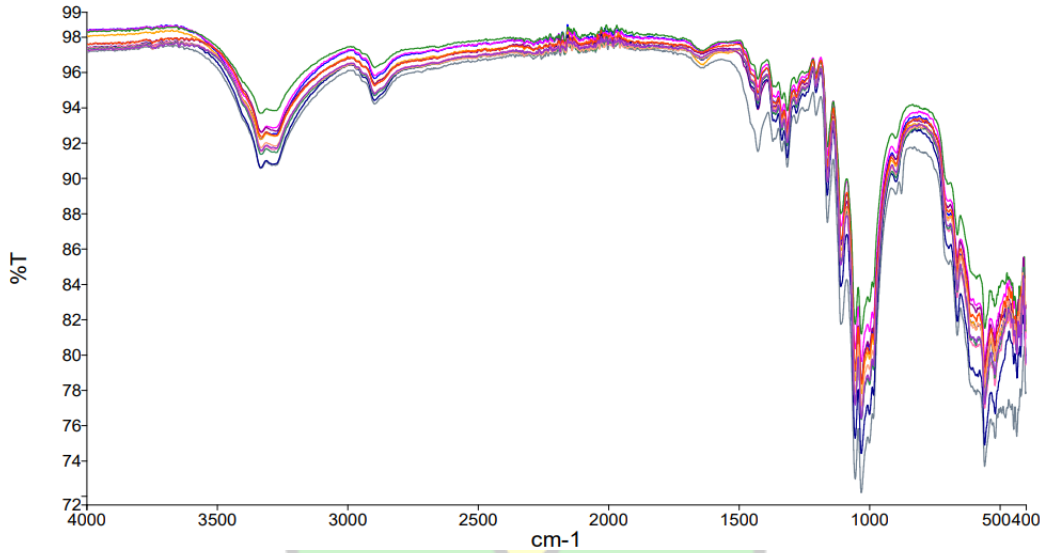
Gambar 4.10 Grafik FTIR Variasi Biochar 15 cm

Pada variasi ketebalan filter "15 CM", spektrum FTIR mendeteksi lembah transmitansi terdalam untuk gugus O-H pada 3333,12 cm^{-1}. Puncak-puncak serapan penunjang lainnya tetap memperlihatkan konsistensi yang presisi, yaitu pada 1315,25 cm^{-1} (vibrasi C-H), serta rentang 1160,41 cm^{-1}, 1109,69 cm^{-1}, 1053,94 cm^{-1}, dan 1030,23 cm^{-1} yang menegaskan regangan C-O-C asimetris. Untuk vibrasi tekuk spesifik pada area *fingerprint*, angka yang diekstrak berada pada 557,37 cm^{-1} dan 434,78 cm^{-1} (Rosales-Martínez dkk., 2025).



Gambar 4.11 Grafik FTIR Variasi 0 cm/kontrol

Sampel kontrol atau "0 CM" menghasilkan kurva spektrum dengan puncak O-H pada 3335,34 cm^{-1}. Regangan ikatan C-H dan C-O terdeteksi kuat pada serangkaian lembah berurutan, yaitu 1315,01 cm^{-1}, 1160,76 cm^{-1}, 1109,76 cm^{-1}, 1054,02 cm^{-1}, dan 1030,14 cm^{-1}, sedangkan puncak serapan pada ujung spektrum terbaca pada 556,88 cm^{-1} dan 435,00 cm^{-1} (De Frond dkk., 2023).



Gambar 4.12 Grafik FTIR Gabungan

Visualisasi grafik spektrum FTIR gabungan (*overlay*) mengonfirmasi bahwa seluruh variasi sampel (Sebelum, 5 CM, 10 CM, 15 CM, dan 0 CM) memiliki pola puncak serapan yang seragam secara kualitatif. Posisi bilangan gelombang penanda (*marker wavenumbers*) tidak mengalami perubahan signifikan; perbedaan hanya terlihat pada nilai transmitansi (%T) atau kedalaman lembah, yang dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi partikel mikroplastik yang terakumulasi pada masing-masing hasil penyaringan serta ketebalan material yang tertembak oleh radiasi inframerah (Chang dkk., 2026).

Berdasarkan ekstraksi nilai dari keseluruhan grafik spektrum FTIR, rentang bilangan gelombang dapat dipetakan terhadap jenis ikatan kimia untuk membantu menginterpretasikan gugus fungsi yang terdapat pada material sampel. Rangkuman hasil interpretasi pita serapan FTIR disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Ringkasan Interpretasi Gugus Fungsi Mikroplastik Air Baku

Rentang Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Jenis Ikatan / Vibrasi Spektroskopi	Indikasi Gugus Fungsi
3331,28 – 3336,98	Regangan O-H (O-H stretching)	Gugus Hidroksil (Indikasi polimer teroksidasi atau interaksi air/selulosa)
1314,88 – 1315,25	Vibrasi tekuk C-H (C-H bending) / Regangan C-O	Gugus Alifatik atau Turunan Ester
1160,41 – 1160,92	Regangan C-O-C asimetris	Ikatan Eter / Ester
1030,14 – 1109,76	Regangan C-O (C-O stretching)	Alkohol sekunder / Gugus Karbonil pada polimer terdegradasi
433,77 – 557,37	Vibrasi tekuk out-of-plane aromatik C-H / C-Cl	Cincin Aromatik / Halogen

Untuk memperkuat interpretasi hasil spektrum FTIR, hasil pengukuran pada penelitian ini dibandingkan dengan karakteristik bilangan gelombang polimer lingkungan terdegradasi yang dilaporkan pada penelitian terdahulu. Karakterisasi mikroplastik yang telah mengalami pelapukan di ekosistem perairan alami memiliki profil spektroskopi yang khas akibat terbentuknya gugus-gugus fungsi beroksigen baru (Campanale dkk., 2023; Veerasingam dkk., 2021). Nilai bilangan gelombang hasil pengukuran sampel kemudian dibandingkan dengan nilai standar karakteristik pelapukan mikroplastik dari literatur tepercaya serta database gugus fungsi polimer oleh Nandiyanto dkk. (2023). Ringkasan data pembanding spektroskopi FTIR tersebut disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Perbandingan Bilangan Gelombang Karakteristik Spektroskopi Hasil Penelitian terhadap Referensi Ilmiah

No.	Gugus Fungsi Terdeteksi pada Sampel	Bilangan Gelombang Sampel (cm^{-1})	Rentang Referensi Gugus Fungsi (cm^{-1})	Korelasi Ilmiah & Mekanisme Kimia Pelapukan Lingkungan	Referensi Literatur Rujukan
1	Regangan O–H (*O-H stretching*)	3331,28 – 3336,98	3200 – 3570 *(Broad)*	Menunjukkan terbentuknya gugus hidroksil berikatan hidrogen akibat reaksi foto-oksidasi dan hidrolisis lanjut dari polimer poliolefin (PE/PP) di badan air.	Campanale dkk. (2023); Nandiyanto dkk. (2023)
2	Vibrasi tekuk C–H / Regangan C–O	1314,88 – 1315,25	1260 – 1350	Merepresentasikan deformasi alifatik rantai hidrokarbon polimer murni, sekaligus tumpang tindih (*overlapping*) dengan tekukan bidang dalam gugus hidroksil (O–H).	Nandiyanto dkk. (2023); Veerasingam dkk. (2021)
3	Regangan C–O–C asimetris	1160,41 – 1160,92	1050 – 1150 *(Ether)* 1165 *(Ester)*	Mengonfirmasi keberadaan ikatan eter atau ester turunan alkil akibat pemutusan rantai utama (*chain scission*) hidrokarbon akibat degradasi lingkungan.	Campanale dkk. (2023); Nandiyanto dkk. (2023)
4	Regangan C–O (*C-O stretching*)	1030,14 – 1109,76	1024 – 1100 *(Alcohol)*	Menunjukkan pembentukan gugus alkohol sekunder secara ekstensif pada permukaan mikroplastik yang mengalami pelapukan hidrolis alami.	Nandiyanto dkk. (2023); Veerasingam dkk. (2021)

5	Vibrasi tekuk *out-of-plane* aromatik	433,77 – 557,37	< 600 *(Fingerprint)*	Mendeteksi deformasi cincin benzena luar bidang yang mengindikasikan keberadaan polimer Polystyrene (PS) yang telah mengalami pelapukan mekanis.	Nandiyanto dkk. (2023); Veerasingam dkk. (2021)

Berdasarkan perbandingan dengan data referensi pada Tabel 4.7, spektrum hasil penelitian ini menunjukkan tingkat kecocokan yang sangat tinggi dengan pola spektroskopi mikroplastik yang telah mengalami pelapukan lingkungan (*environmentally weathered microplastics*). Menurut Veerasingam dkk. (2021), polimer murni kelompok poliolefin seperti *Polyethylene* (PE) dan *Polypropylene* (PP) pada kondisi awal hanya tersusun atas ikatan non-polar C–H dan C–C alifatik tanpa memiliki gugus oksigen fungsional. Namun, ketika terlepas ke lingkungan perairan, paparan radiasi ultraviolet (UV) matahari memicu reaksi foto-oksidasi yang menghasilkan radikal bebas pada rantai karbon polimer. Radikal bebas ini secara aktif menangkap molekul oksigen dan air dari lingkungan perairan, memutus rantai utama hidrokarbon (*chain scission*), serta membentuk gugus hidroksil (O–H) baru yang melebar pada rentang 3200–3570 cm^{-1} serta gugus karbon-oksigen (C–O / C–O–C) pada rentang 1000–1200 cm^{-1} (Campanale dkk., 2023; Nandiyanto dkk., 2023).

Fenomena degradasi alami ini secara konkret terkonfirmasi pada spektrum sampel penelitian yang menunjukkan dominasi mutlak dari gugus hidroksil (O–H) pada 3331,28–3336,98 cm^{-1}, ikatan eter/ester (C–O–C) asimetris pada 1160,41–1160,92 cm^{-1}, dan alkohol sekunder (C–O) pada 1030,14–1109,76 cm^{-1}. Di samping itu, kemunculan puncak sidik jari di area bawah pada 433,77–557,37 cm^{-1} mendeteksi vibrasi tekuk luar bidang dari cincin aromatik, yang menurut database Nandiyanto dkk. (2023) dan komparasi spektrum polimer lingkungan oleh Veerasingam dkk. (2021) mengindikasikan adanya fraksi polimer *Polystyrene* (PS) yang juga telah mengalami pelapukan fisik ekstensif akibat gesekan mekanis di ekosistem perairan.

Dengan demikian, integrasi komparasi literatur pelapukan ini memberikan

dasar pembuktian ilmiah yang valid bahwa air baku Depot Air Minum X di Aceh Besar telah tercemar oleh mikroplastik terdegradasi berjenis High-Density Polyethylene (HDPE) atau Polypropylene (PP) yang mengalami oksidasi lanjut, dengan kontribusi minor dari polimer Polystyrene (PS). Validasi menggunakan literatur pelapukan alami ini mempertegas bahwa hasil analisis spektrum FTIR dalam penelitian ini secara akurat merepresentasikan kondisi riil mikroplastik lingkungan yang berhasil disisihkan secara optimal melalui mekanisme penahanan fisik di dalam struktur pori mikro (*honeycomb*) media filter biochar sekam padi.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian mengenai efektivitas penyisihan mikroplastik menggunakan filter biochar sekam padi pada air baku depot air minum X di Aceh Besar adalah sebagai berikut :

1. Penggunaan biochar sekam padi secara meningkatkan efisiensi penyisihan mikroplastik. Efisiensi pada kontrol hanya 31,67% dan sekam mentah sebesar 61,67%. Sementara itu, biochar 5 cm mencapai efisiensi 97,50%, dan ketebalan 10 cm serta 15 cm terbukti sangat efektif dengan mencapai efisiensi penyisihan sempurna (100%).
2. Jumlah mikroplastik pada kolom kontrol (0 cm) sebanyak 82 partikel/L, sekam padi tanpa karbonisasi 5 cm sebanyak 46 partikel/L, dan biochar sekam padi 5 cm sebanyak 3 partikel/L. Sementara itu, biochar sekam padi dengan ketebalan 10 cm dan 15 cm menghasilkan 0 partikel/L. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ketebalan biochar 10 cm merupakan titik optimal karena telah mencapai penyisihan seluruh mikroplastik, sedangkan penambahan ketebalan hingga 15 cm tidak meningkatkan hasil penyisihan.
3. Analisis FTIR menunjukkan spektrum yang didominasi oleh regangan gugus hidroksil (O-H) pada 3331-3336 cm^{-1}, serta ikatan C-O dan C-O-C, yang mengindikasikan polimer telah mengalami pelapukan oksidatif (*weathering*). Jenis polimer penyusun mikroplastik pada air baku tersebut dideduksikan didominasi oleh *High-Density Polyethylene* (HDPE) atau *Polypropylene* (PP) yang teroksidasi, serta indikasi *Polystyrene* (PS) yang berkorelasi dengan temuan bentuk *pellet*.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan dan keterbatasan penelitian yang telah diuraikan pada bagian pembahasan, berikut adalah beberapa saran yang dapat dijadikan sebagai bahan evaluasi dan pengembangan untuk penelitian selanjutnya:

1. Menambahkan analisis parameter kualitas air lainnya, seperti parameter fisik (TSS dan kekeruhan/turbiditas), serta parameter kimia dan biologi (seperti pH dan bakteri patogen), untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kualitas air hasil filtrasi, mengingat penelitian ini sebelumnya membatasi ruang lingkup analisis pada parameter fisik, khususnya penyisihan mikroplastik.
2. Melakukan pengujian morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada media biochar sebelum dan sesudah filtrasi. Hal ini disarankan untuk melihat secara visual perubahan struktur permukaan media dan mengonfirmasi secara langsung mekanisme penjebakan partikel mikroplastik pada pori-pori biochar.
3. Melakukan optimasi laju alir atau debit filtrasi dengan meningkatkan laju aliran air melalui kolom filter secara bertahap sehingga waktu yang diperlukan untuk proses filtrasi dapat dipersingkat. Optimasi tersebut perlu dilakukan dengan tetap mempertahankan efisiensi penyisihan mikroplastik agar diperoleh kondisi filtrasi yang lebih cepat tanpa mengurangi kinerja media biochar sekam padi.

جامعة الرانري
AR-RANIRY

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, M., Lubis, N. M. A., Usama, M., Ahmad, J., Al-Wabel, M. I., Al-Swadi, H. A., Rafique, M. I., & Al-Farraj, A. S. F. (2023a). Scavenging microplastics and heavy metals from water using jujube waste-derived biochar in fixed-bed column trials. *Environmental Pollution*, *335*, 122319.

Ahmad, M., Lubis, N. M. A., Usama, M., Ahmad, J., Al-Wabel, M. I., Al-Swadi, H. A., Rafique, M. I., & Al-Farraj, A. S. F. (2023b). Scavenging microplastics and heavy metals from water using jujube waste-derived biochar in fixed-bed column trials. *Environmental Pollution*, *335*, 122319. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122319

Alam, F. C., & Rachmawati, M. (2020). Perkembangan Penelitian Mikroplastik di Indonesia Development of Microplastic Research in Indonesia. *Jurnal Presipitasi*, *17*(3), 344–352.

AlShamaileh, E., & Alzoubi, M. (2025). Microplastics removal efficiency in wastewater treatment plants in Jordan. *Science Progress*, *108*(3). https://doi.org/10.1177/00368504251376048

Anggiani, M. (2020). Potensi mikroorganisme sebagai agen bioremediasi mikroplastik di laut. *Oseana*, *45*(2), 40–49.

Aulia, A., Azizah, R., Sulistyorini, L., & Rizaldi, M. A. (2023). Literature Review: Dampak Mikroplastik Terhadap Lingkungan Pesisir, Biota Laut dan Potensi Risiko Kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, *22*(3), 328–341. https://doi.org/10.14710/jkli.22.3.328-341

Avinash, G. P., Namasivayam, S. K. R., & Bharani, R. S. A. (2023). A critical review on occurrence, distribution, environmental impacts and biodegradation of microplastics. Dalam *Journal of Environmental Biology* (Vol. 44, Nomor 5, hlm. 655–664). Triveni Enterprises. https://doi.org/10.22438/jeb/44/5/MRN-5099

Azizah, P., Ridlo, A., & Suryono, C. A. (2020). Mikroplastik pada Sedimen di Pantai Kartini Kabupaten Jepara Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, *9*(3), 326–332. https://doi.org/10.14710/jmr.v9i3.28197

Bermuli, F. Z. A., Manganka, I. R., & Dundu, A. K. T. (2023). Metode Filtrasi

Dengan Media Sekam Padi, Arang, Batu Zeolit Dan Pasir Kuarsa Untuk Menurunkan Kadar BOD, COD Dan TSS Pada Air Limbah Domestik. *TEKNO*, *21*(86), 1867–1873.

Burrows, S., Colwell, J., Costanzo, S., Kaserzon, S., Okoffo, E., Ribeiro, F., O'Brien, S., Toapanta, T., Rauert, C., Thomas, K. V., & Galloway, T. (2024). UV sources and plastic composition influence microplastic surface degradation: Implications for plastic weathering studies. *Journal of Hazardous Materials Advances*, *14*, 100428. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2024.100428

Campanale, C., Savino, I., Massarelli, C., & Uricchio, V. F. (2023). Fourier Transform Infrared Spectroscopy to Assess the Degree of Alteration of Artificially Aged and Environmentally Weathered Microplastics. *Polymers*, *15*(4). https://doi.org/10.3390/polym15040911

Chang, T. Y., Liu, Z. S., Su, T. H., & Chen, P. W. (2026). Quantitative Reliability of μ-FTIR-Based Microplastic Analysis: Effects of Filtration, Rinsing, and Software Calibration. *Applied Sciences*, *16*(11), 5362. https://doi.org/10.3390/app16115362

Changlor, N., Inchana, C., Sabar, M. A., Suyamud, B., & Lohwacharin, J. (2025a). Effects of relative microplastic–biochar sizes and biofilm formation on fragmental microplastic retention in biochar filters. *Environmental Research*, *268*, 120834.

Changlor, N., Inchana, C., Sabar, M. A., Suyamud, B., & Lohwacharin, J. (2025b). Effects of relative microplastic–biochar sizes and biofilm formation on fragmental microplastic retention in biochar filters. *Environmental Research*, *268*. https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.120834

Chin, S., Choi, W., & Jung, S. (2025). Natural Fibrous Materials as Eco-Friendly Air Filters. *Journal of Natural Fibers*, *22*(1), 2468490. https://doi.org/10.1080/15440478.2025.2468490

Cruz, K., & Li, S. (2026). Engineered Biochar for the Sequestration of Textile Fibrous Microplastics: From Mechanistic Insights to Rational Functional Design. Dalam *C-Journal of Carbon Research* (Vol. 12, Nomor 2, hlm. 31). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).

https://doi.org/10.3390/c12020031

De Frond, H., Cowger, W., Renick, V., Brander, S., Primpke, S., Sukumaran, S., Elkhatib, D., Barnett, S., Navas-Moreno, M., Rickabaugh, K., Vollnhals, F., O'Donnell, B., Lusher, A., Lee, E., Lao, W., Amarpuri, G., Sarau, G., & Christiansen, S. (2023). What determines accuracy of chemical identification when using microspectroscopy for the analysis of microplastics? *Chemosphere*, *313*, 137300. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137300

Edeh, I. G., & Mašek, O. (2022). The role of biochar particle size and hydrophobicity in improving soil hydraulic properties. *European Journal of Soil Science*, *73*(1). https://doi.org/10.1111/ejss.13138

Edwin, T., Komala, P. S., Primasari, B., Zulkarnaini, Z., Nasution, F. H., & Arionanda, F. (2025). Kemampuan Filter Biochar Susunan Seri dalam Menyisihkan Detergen dan Fosfat dari Air Limbah. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *23*(5), 1237–1242. https://doi.org/10.14710/jil.23.5.1237-1242

Edwin, T., Mera, M., Komala, P. S., & Zulkarnaini. (2023). Impact of Pyrolysis Temperature on the Removal of Nutrients Using Coarse Rice-Husk Biochar. *Journal of Ecological Engineering*, *24*(12), 247–257. https://doi.org/10.12911/22998993/173379

Faujiah, I. N. (2022). *Analisis kelimpahan dan karakteristik Mikroplastik pada air olahan Depot Air Minum Isi Ulang (DAMIU) di Kota Bandung*. UIN Sunan Gunung Djati Bandung.

Faustina, M. A., Toruan, L. N. L., Tallo, I., & Saraswati, S. A. (2024). Jenis-Jenis Mikroplastik Pada Sedimen Sungai Di Kota Kupang. *Jurnal Bahari Papadak*, *5*(2), 62–73.

Garfansa, M. P., Zalizar, L., Husen, S., Triwanto, J., Iswahyudi, I., Bakhtiar, A., Lasaksi, P., & Ekalaturrahmah, Y. A. C. (2025). Addition of biochar based-activated carbon into sand filtration columns to improved removal efficiency microplastic from water. *Bioresource Technology Reports*, *30*, 102099.

Goenadi, D. H., & Santi, L. (2017). Kontroversi aplikasi dan standar mutu biochar. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, *11*(1), 23–32.

Hanif, M. A., Ibrahim, N., Dahalan, F. A., Ali, U. F. M., Azhari, A. W., Hasan, M.,

Lutpi, N. A., & Isa, M. H. (2025). Control of Microplastics and Nanoplastics Discharge via Biochar-Based Filtration: Optimization Using Central Composite Design (CCD) and Identification of Column Fouling Mechanism. *Environmental Quality Management*, *34*(4), e70098.

Hanif, M. A., Ibrahim, N., Dahalan, F. A., Md. Ali, U. F., Hasan, M., Azhari, A. W., & Jalil, A. A. (2023). Microplastics in facial cleanser: extraction, identification, potential toxicity, and continuous-flow removal using agricultural waste–based biochar. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(21), 60106–60120.

Hartawan, H., & Istiqomah, I. (2021). Penggunaan FTIR pada praktikum farmasi fisika untuk interaksi fisika mengunakan basis sedian semi solid dengan bahan alam lokal. *Jurnal Penelitian Sains*, *23*(1), 8–18.

Hidayat, Rahmat, A., Nissa, R. C., Sukamto, Nuraini, L., Nurtanto, M., & Ramadhani, W. S. (2023). Analysis of rice husk biochar characteristics under different pyrolysis temperature. *IOP conference series: earth and environmental science*, *1201*(1), 012095.

Hsieh, L., He, L., Zhang, M., Lv, W., Yang, K., & Tong, M. (2022). Addition of biochar as thin preamble layer into sand filtration columns could improve the microplastics removal from water. *Water Research*, *221*, 118783.

Imanuel, T., Pelle, W. E., Schaduw, J. N. W., Paulus, J. J. H., Rumampuk, N. D. C., & Sangari, J. R. R. (2022). Bentuk Dan Sebaran Mikroplastik Di Sedimen Dan Kolom Air Perairan Teluk Manado Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah PLATAX*, *10*(2), 336–343.

Jamaludin, R. J. (2024). Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Dalam pembuatan Arang Sekam di Hujungan Desa Situgede. *COMSEP: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, *5*(2), 146–152.

Ji, X., Huang, J., Teng, L., Li, S., Li, X., Cai, W., Chen, Z., & Lai, Y. (2023). Advances in particulate matter filtration: Materials, performance, and application. Dalam *Green Energy and Environment* (Vol. 8, Nomor 3, hlm. 673–697). KeAi Publishing Communications Ltd. https://doi.org/10.1016/j.gee.2022.03.012

Junaid, M., Cairns, S., Robertson, I., & Holliman, P. J. (2026). Pristine and modified

biochar comparison for environmental micro(nano)plastic removal: adsorption dynamics, influencing factors,mechanisms, and regeneration potential. *Water Research X*, *31*, 100527. https://doi.org/10.1016/j.wroa.2026.100527

Kang, Y. G., Park, D. G., Lee, J. Y., Choi, J., Kim, J. H., Kim, J. H., Yun, Y. U., & Oh, T. K. (2024). Ammonium capture Kinetic, Capacity, and Prospect of Rice Husk Biochar produced by different pyrolysis conditions. *Scientific Reports*, *14*(1), 29910. https://doi.org/10.1038/s41598-024-80873-6

Khoiriyah, S., Handoko, C. T., Syaputra, M. D., Mazlan, Arisandi, P., & Aprilianti, R. (2026). FTIR-Based Identification of Microplastics in Commercial Bottled Drinking Water. *BIO Web of Conferences*, *227*. https://doi.org/10.1051/bioconf/202622702006

Kiattisaksiri, P., Eaktasang, N., Pasukphun, N., & Suma, Y. (2026). Corncob-derived biochar as a cleaner technology for microplastic removal and energy recovery in a continuous-flow filtration system. *Cleaner Engineering and Technology*, *32*, 101228. https://doi.org/10.1016/j.clet.2026.101228

Kidd, J., Hatinoglu, D., Mensah, K., Ochoa, L., Nguyen, K., Yan, B., Fahrenfeld, N., Apul, O., & Stapleton, P. (2026). Differential morphological and physicochemical responses of polyvinyl chloride and Polyamide-12 micro- and nanoplastics to Fenton oxidation. *Science of the Total Environment*, *1012*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.181214

Kortazar, L., Gredilla, A., & Fernández, L. A. (2026). Insights into the photodegradation mechanisms of PET and PA-6 via ATR-FTIR and two-dimensional correlation spectroscopy. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, *358*. https://doi.org/10.1016/j.saa.2026.127854

Kuo, L. A., Tsai, W. T., Yang, R. Y., & Tsai, J. H. (2023). Production of High-Porosity Biochar from Rice Husk by the Microwave Pyrolysis Process. *Processes*, *11*(11). https://doi.org/10.3390/pr11113119

Layn, A. A., & Emiyarti, I. (2020). Distribusi mikroplastik pada sedimen di perairan Teluk Kendari. *Jurnal Sapa Laut (Jurnal Ilmu Kelautan)*, *5*(2), 115–122.

Li, W., Xing, Y., Guo, Y., Zhang, D., Tang, Y., Chen, J., Zhang, H., & Jiang, B. (2024). The removal and mitigation effects of biochar on microplastics in

water and soils: application and mechanism analysis. *Sustainability*, *16*(22), 9749.

Luo, C., Yu, Y., Tang, Y., Dong, Z., & Qiu, Y. (2025). Enhanced retention of small-sized microplastics by iron-containing sand filtration system: Effectiveness and mechanisms. *Journal of Hazardous Materials*, *489*. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.137678

Mohadi, R., Palapa, N. R., Taher, T., Siregar, P. M. S. B. N., Normah, Juleanti, N., Wijaya, A., & Lesbani, A. (2021). Removal of Cr(VI) from aqueous solution by biochar derived from rice husk. *Communications in Science and Technology*, *6*(1), 11–17. https://doi.org/10.21924/CST.6.1.2021.293

Muhammad Adli Hanif, Naimah Ibrahim, Nur Adlyna Hayazi, Farrah Aini Dahalan, Umi Fazara Md. Ali, Aishah Abdul Jalil, & Achmad Syafiuddin. (2025). Enhancement of microplastics and nanoplastics removal via filtration method using surface-engineered palm kernel shell biochar. *Separation and Purification Technology*, *360*, 130596. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.130596

Na, S. H., Kim, M. J., Kim, J., Batool, R., Cho, K., Chung, J., Lee, S., & Kim, E. J. (2024). Fate and potential risks of microplastic fibers and fragments in water and wastewater treatment processes. *Journal of Hazardous Materials*, *463*, 132938. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132938

Nandiyanto, A. B. D., Ragadhita, R., & Fiandini, M. (2023). Interpretation of Fourier Transform Infrared Spectra (FTIR): A Practical Approach in the Polymer/Plastic Thermal Decomposition. *Indonesian Journal of Science and Technology*, *8*(1), 113–126. https://doi.org/10.17509/ijost.v8i1.53297

Olubusoye, B. S., Cizdziel, J. V, Wontor, K., Heinen, E., Grandberry, T., Bennett, E. R., & Moore, M. T. (2024). Removal of microplastics from agricultural runoff using biochar: a column feasibility study. *Frontiers in Environmental Science*, *12*, 1388606.

Pahlevi, M. R., Aprilyanti, R. F., Nisa, A. H., Agustiani, A. K., Rahmalia, N., Jafar, G., & Sagita, N. D. (2025). Karakterisasi Modifikasi Bahan Aktif Farmasi Menjadi Kokristal Menggunakan Instrument Ftir, Sem, Xrd, Dan Dsc. *Jurnal Sains Farmasi Dan Kesehatan*, *2*(3), 142–150.

Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan (2023). www.peraturan.go.id

Poncio, T., Lunardi, S., Decezaro, S. T., Romero-Esquivel, L. G., Medeiros, R. C., Aguiar, L. de, & Soares, M. (2025). Effect of granulometric characteristics of the filtration medium in pre-filtration systems for domestic use purposes in isolated rural communities. *Revista Brasileira de Ciencias Ambientais*, *60*. https://doi.org/10.5327/Z2176-94782180

Putri Sekti Cahyaningrum, & Sari, G. L. (2024). Identifikasi Kelimpahan Mikroplastik pada Air Tanah di Kabupaten Karawang, Indonesia. *Infomatek*, *26*(2), 175–182. https://doi.org/10.23969/infomatek.v26i2.18999

Quispe, J. I. B., Campos, L. C., Mašek, O., & Bogush, A. (2022). Use of biochar-based column filtration systems for greywater treatment: A systematic literature review. *Journal of Water Process Engineering*, *48*, 102908.

Rachmi, N., Abd. Gafur, & Hidayat. (2024). Identifikasi Keberadaan Dan Bentuk Mikroplastik Depot Air Minum Isi Ulang Di Kelurahan Pampang Kota Makassar. *Window of Public Health Journal*, *5*(5), 594–601. https://doi.org/10.33096/woph.v5i5.1864

Rigi, A. A., Ghayebzadeh, M., Taghipour, H., Khatibi, A. D., Keikhaee, R., Azizi, N., Kamani, H., & Mohamadi, L. (2026). Microplastics in small semi-industrial desalination stations and bottled waters: Human exposure and emerging health concerns. *Science of the Total Environment*, *1016*, 181378. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2026.181378

Rizqi, M. F. (2025). Efektivitas Biochar dari Kulit Buah Nipah (Nypa Fruticans) dan Tempurung Kelapa (Cocos nucifera L) sebagai Media Filtrasi Kandungan Logam Berat Besi (Fe), COD, BOD, TSS dan pH Pada Limbah Cair Lindi TPA Gampong Jawa Kota Banda Aceh. *Manifesto*, *3*(1).

Rosales-Martínez, O., Granda-Gutiérrez, E. E., García-Hernández, R. A., Alejo-Eleuterio, R., & Flores-Fuentes, A. A. (2025). Spectral Derivatives Improve FTIR-Based Machine Learning Classification of Plastic Polymers. *Modelling*, *6*(4), 115. https://doi.org/10.3390/modelling6040115

Rullander, G., Lorenz, C., Strömvall, A. M., Vollertsen, J., & Dalahmeh, S. S.

(2024). Bark and biochar in horizontal flow filters effectively remove microplastics from stormwater. *Environmental Pollution*, *356*, 124335. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124335

Safitri, O., Alrasyid, H., & Udyani, K. (2020). Pembuatan silika termodifikasi dari sekam padi sebagai adsorben logam berat pada limbah cair. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, *12*(2), 19–24.

Safitri, T. A. N. (2023). Identifikasi jenis dan kelimpahan mikroplastik pada perairan di Sulawesi Tengah. *Environmental Pollution Journal*, *3*(1), 553–559.

Saleh, R., Daud, A., Ishak, H., Amqam, H., Wahyu, A., & Agus, B. (2023). *Spatial Distribution of Microplastic Contamination in Blood Clams (Anadara granosa) on the Jeneponto Coast , South Sulawesi*. *15*(4), 680–690.

Sari, G., Kasasiah, A., Utami, M., & Trihadiningrum, Y. (2021). Microplastics Contamination in the Aquatic Environment of Indonesia: A Comprehensive Review. *Journal of Ecological Engineering*, *22*, 127–140. https://doi.org/10.12911/22998993/142118

Satiyarti, R. B., Wulan Pawhestri, S., & Adila, I. S. (2022). Identifikasi Mikroplastik pada Sedimen Pantai Sukaraja, Lampung. *Jurnal Kelautan Tropis*, *25*(3), 329–336. https://doi.org/10.14710/jkt.v25i3.12786

Sembiring, S. (2017). *Potensi Silika Sekam sebagai bahan keramik refraktori tahan pada suhu tinggi*. Teknosain.

Siregar, T. A. P., & Santi, D. N. (2025). Analisis kualitas fisik dan keberadaan mikroplastik pada air minum isi ulang di Kecamatan Medan Selayang tahun 2023. *TROPHICO*, *5*(1), 1–10.

Subair, A., Krishnamoorthy Lakshmi, P., Chellappan, S., & Chinghakham, C. (2024). Removal of polystyrene microplastics using biochar-based continuous flow fixed-bed column. *Environmental Science and Pollution Research*, *31*(9), 13753–13765.

Suliastuti, I., Anggraini, A., & Iskandar, T. (t.t.). *PENGARUH PERBANDINGAN JUMLAH MEDIA FILTER (Pasir Silika, Karbon Aktif, Zeolit) DALAM KOLOM FILTRASI TERHADAP KUALITAS AIR MINERAL*.

Sulistyani, M., Kusumastuti, E., Huda, N., & Mukhayani, F. (2021). Method

Validation on Functional Groups Analysis of Geopolymer with Polyvinyl Chloride (PVC) as Additive Using Fourier Transform Infrared (FT-IR). *Indonesian Journal of Chemical Science*, *10*(3), 198–205.

Supriyo, E., & Noviana, S. N. (2023). Kandungan Mikroplastik Pada Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) yang Beredar di Semarang, Jawa Tengah. *METANA*, *19*(2), 69–78.

Tang, K. H. D., & Hadibarata, T. (2021). Microplastics removal through water treatment plants: Its feasibility, efficiency, future prospects and enhancement by proper waste management. *Environmental Challenges*, *5*, 100264. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100264

Torboli, A., Foladori, P., & Bruni, L. (2025). Enhanced removal of small microplastics (1–5 µm) from secondary-treated wastewater using Spent Coffee Grounds biochar: Application of flow cytometry. *Journal of Water Process Engineering*, *71*. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107270

Tri, M., Basalama, R., Rewini Kunusa, W., & Suleman, D. N. (2024). Analisis Keberadaan Mikroplastik Pada Air dan Sedimen di Danau Limboto. *Jamb.J.Chem*, *6*(2), 19–33.

Van Gunawan, L., Farhan, A., Rohmat, A., Leksonowati, N. F. P., & Purba, A. S. (2025). Analisa Perbandingan Kemampuan Karbon Aktif Sekam Padi Dan Karbon Aktif Batok Kelapa Dalam Alat Filtrasi Air. *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan (JATRA)*, *7*(1), 52–56.

Veerasingam, S., Ranjani, M., Venkatachalapathy, R., Bagaev, A., Mukhanov, V., Litvinyuk, D., Mugilarasan, M., Gurumoorthi, K., Guganathan, L., Aboobacker, V. M., & Vethamony, P. (2021). Contributions of Fourier transform infrared spectroscopy in microplastic pollution research: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *51*(22), 2681–2743. https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1807450

Villegas-Camacho, O., Alejo-Eleuterio, R., Francisco-Valencia, I., Granda-Gutiérrez, E., Martínez-Gallegos, S., & Illescas, J. (2024). FTIR-Plastics: A Fourier Transform Infrared Spectroscopy dataset for the six most prevalent industrial plastic polymers. *Data in Brief*, *55*, 110612. https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110612

Waliyyurrahmaan, H., Febrianti, T., & Prasinta, W. R. (2024). Rancang Bangun Filter Air Alamiah Berbahan Dasar Sekam Padi. *Seminar Nasional Penelitian (SEMNAS CORISINDO 2024)*, 520–523.

Wang Li, Giuseppe Brunetti, Anastasiia Bolshakova, & Christine Stumpp. (2024). Effect of particle density on microplastics transport in artificial and natural porous media. *Science of the Total Environment*, *935*, 173429. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173429

Wang, Z., & Sedighi, M. (2023). Transport and retardation of microplastic in biochar. *Proceedings of the International Congress on Environmental Geotechnics*, 159–166. https://doi.org/10.53243/ICEG2023-250

Wang, Z., Sedighi, M., & Lea-Langton, A. (2020). Filtration of microplastic spheres by biochar: removal efficiency and immobilisation mechanisms. *Water Research*, *184*, 116165.

Wijayanti, H. (2020). Studi kinetika pirolisis sekam padi untuk menghasilkan bio-oil sebagai energi alternatif. *Buletin Profesi Insinyur*.

Zhang, L., Zhang, Q., Wang, Y., Cui, X., Liu, Y., Ruan, R., Wu, X., Cao, L., Zhao, L., & Zheng, H. (2023). Preparation and application of metal-modified biochar in the purification of micro-polystyrene polluted aqueous environment. *Journal of Environmental Management*, *347*, 119158.

Zhang, W., Wang, Y., Li, X., Lin, Q., Huang, Y., & Liu, Z. (2026). Decoupling silicon release capacity and rate in rice husk biochar: The opposing roles of bulk crystallization and surface activation. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *198*, 107933. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2026.107933

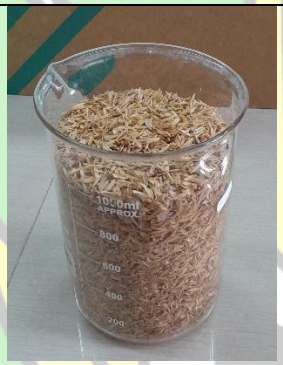
Zhou, G., Li, X., Wu, Q., Ren, X., Shu, J., Tang, P., Hu, J., Ma, J., & Liu, B. (2025). Transport, Behavior, and Human Exposure of Microplastics in Rural Drinking Water Supply Chains. *Environment and Health*, *3*(12), 1554–1565. https://doi.org/10.1021/envhealth.5c00185

Zhou, Z., Zhang, K., Ren, Y., Xiao, Y., Hou, P., & Li, Y. (2026). Sustainable sand filtration strategies for microplastic removal in irrigation water. *Environmental Research*, *292*. https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.123635

LAMPIRAN A
PROSES ANALISIS SAMPEL

No	Gambar	Keterangan
1		Proses pengambilan sampel air baku secara langsung dari sumber Depot Air Minum "X" sebagai pengujian mikroplastik.
2		Sampel air baku hasil pengambilan yang disimpan dalam botol kaca guna menjaga kondisi sampel sebelum dilakukan homogenisasi dan proses filtrasi.

AR-RANIRY

3		Proses pengambilan sekam padi sebagai bahan baku pembuatan *biochar*, yang diperoleh dari limbah pertanian.
4		Sampel sekam padi sebelum melalui tahap pengeringan, dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran dan material pengotor lain.
5		Proses pengeringan sekam padi menggunakan oven pada suhu 105°C selama 1 jam untuk mengurangi kadar air awal sebelum tahap karbonisasi.

LAMPIRAN B
PEMBUATAN BIOCHAR, PERAKITAN KOLOM FILTRASI, DAN PELAKSANAAN FILTRASI

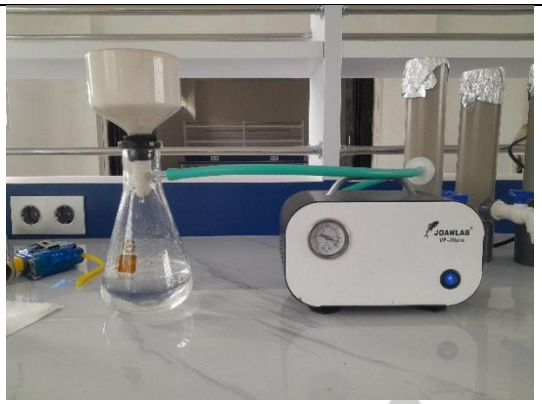
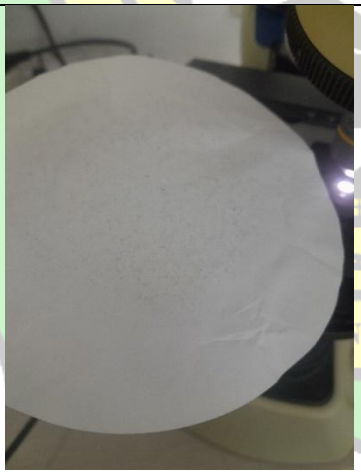
No	Gambar	Keterangan
1		Proses pengisian sekam padi kering ke dalam oven *biochar* sebagai tahap awal karbonisasi.
2		Proses pengadukan sekam padi selama karbonisasi berlangsung untuk memastikan proses pembakaran merata pada seluruh bagian bahan.
3		Pengecekan suhu oven *biochar* untuk memastikan proses karbonisasi berlangsung pada suhu ±400°C selama sekitar 2 jam.

4		Proses pembakaran (karbonisasi) sekam padi di dalam oven *biochar* hingga berubah warna menjadi hitam pekat, menandakan proses pirolisis berlangsung sempurna.
5		Sekam padi yang telah menjadi *biochar* setelah proses karbonisasi selesai, sebelum melalui tahap penghancuran dan pengayakan.
6		Proses penghancuran/penghalusan *biochar* sekam padi untuk memperoleh ukuran partikel yang lebih seragam sebelum diayak.
7		Proses pengayakan *biochar* menggunakan ayakan 60 mesh untuk memperoleh ukuran partikel media filter yang seragam.

8		Dokumentasi kolom filtrasi dengan ketebalan media *biochar* sekam padi 15 cm.
9		Dokumentasi kolom filtrasi dengan ketebalan media *biochar* sekam padi 10 cm.
10		Dokumentasi kolom filtrasi dengan ketebalan media *biochar* sekam padi 5 cm.

11		Dokumentasi kolom filtrasi berisi sekam padi tanpa karbonisasi setebal 5 cm
12		Dokumentasi kolom kontrol (0 cm) yang hanya berisi lapisan pasir silika dan kerikil sebagai media dasar tanpa penambahan *biochar* maupun sekam padi.
13		Proses pengisian air sampel ke dalam tabung *reservoir* sebagai sumber aliran air yang akan dialirkan secara kontinu ke permukaan media filtrasi.

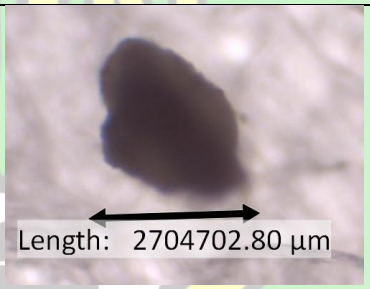
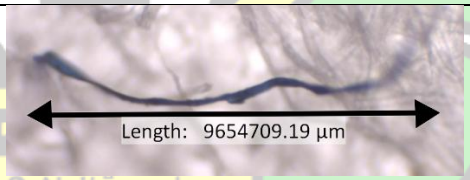
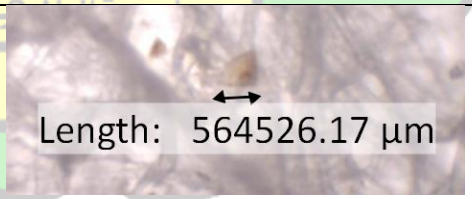
14		Proses pengaturan bukaan keran pada tabung *reservoir* agar debit aliran air stabil.
15		Dokumentasi rangkaian aliran air secara menyeluruh, mulai dari *reservoir*, masuk ke dalam kolom filtrasi, hingga tertampung kembali pada penampung efluen.
16		Proses penuangan sampel air (baku maupun efluen) pada kertas saring *Whatman* 42 yang akan disaring menggunakan sistem vakum untuk keperluan identifikasi mikroplastik.

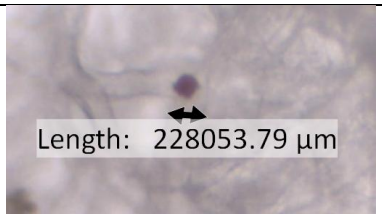
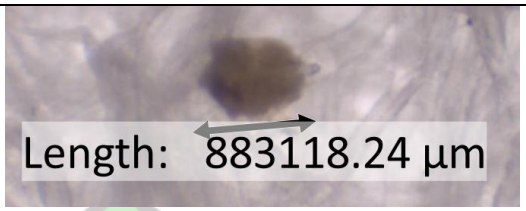
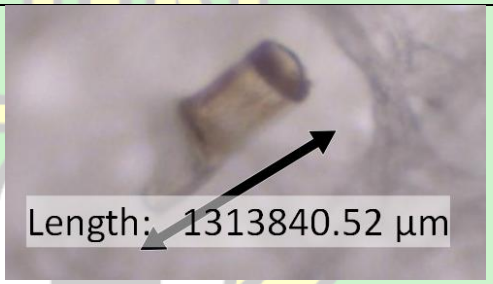
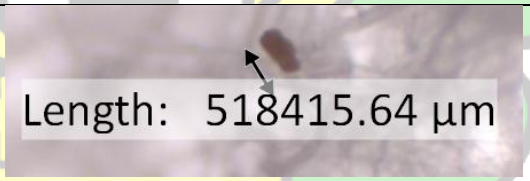
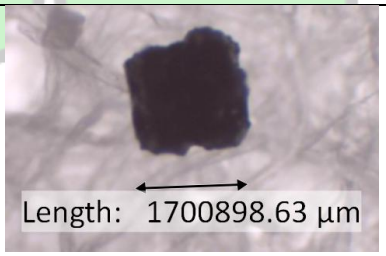
17		Dokumentasi proses vakum filtrasi menggunakan *vacuum pump* untuk memisahkan partikel mikroplastik dari fase cair sampel air.
18		Proses penyimpanan kertas saring hasil filtrasi pada desikator untuk mencegah kontaminasi sebelum tahap identifikasi mikroplastik.
19		Dokumentasi kertas saring yang telah berisi partikel tertahan, diposisikan di bawah mikroskop binokuler untuk proses identifikasi dan penghitungan mikroplastik.

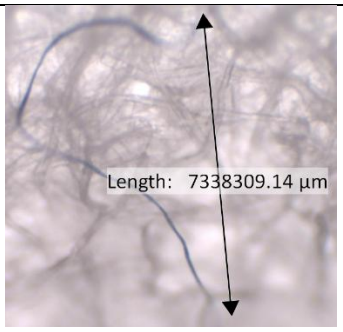
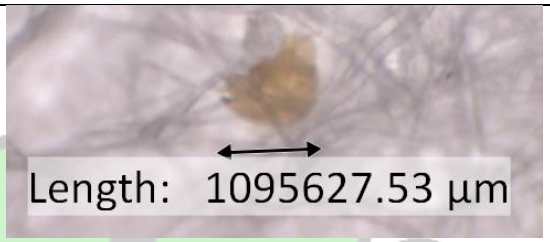
20		Proses identifikasi dan penghitungan manual jumlah, bentuk, serta warna partikel mikroplastik menggunakan mikroskop binokuler.
21		Proses pengujian menggunakan instrumen *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan jenis polimer penyusun partikel mikroplastik.

جامعة الرانري
AR-RANIRY

LAMPIRAN C
HASIL ANALISIS MIKROPLASTIK

No	Variasi Kolom	Keterangan	Gambar	Ukuran
1	Sebelum Filtrasi (C_0)	fragment		358832.43 µm
		pellet		377621.14 µm
		foam		2704702.80 µm
		fiber		9654709.19 µm
		film		564526.17 µm
2	Kontrol 0 cm	fragment		280215.46 µm

		pellet		228053.79 µm
		foam		883118.24 µm
		fiber		17752202.39 µm
		film		1313840.52 µm
3	Sekam Padi 5 cm (tanpa karbonisasi)	fragment		518415.64 µm
		pellet		436902.54 µm
		foam		1700898.63 µm

		fiber		7338309.14 µm
		film		1095627.53 µm
4	Biochar 5 cm	pellet		271442.59 µm

جامعة الرانري
AR-RANIRY