



Efektivitas Filter Pasir dalam Menyisihkan Kelimpahan Mikroplastik pada Air Baku Air Minum: Tinjauan Literatur

Edazka Sulthan Falah¹, Gina Lova Sari², Nadia Amanah^{3*}

Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jl. HS. Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat, Indonesia 41361.

Email Korespondensi: nadia.amanah@ft.unsika.ac.id

Abstrak

Tinjauan literatur ini menganalisis efektivitas filter pasir dalam menurunkan kelimpahan mikroplastik pada air baku air minum. Peningkatan kebutuhan air minum dan adanya mikroplastik pada sumber seperti Depot Air Minum Isi Ulang (DAMIU) menyoroti urgensi pengolahan air yang efektif. Akumulasi mikroplastik dapat mempengaruhi sistem kekebalan tubuh dan organ manusia. Mekanisme utama penghilangan mikroplastik oleh filter pasir adalah filtrasi fisik (intersepsi, penjebakan, keterikatan), dengan adsorpsi turut berkontribusi. Filter pasir cepat (RSF) menunjukkan efisiensi tinggi, mencapai 98% untuk mikroplastik <10 µm dan lebih dari 90% untuk partikel lebih besar. Ukuran efektif (ES) media filter yang lebih kecil meningkatkan efisiensi, terutama untuk mikroplastik kecil. Faktor lain yang mempengaruhi kinerja meliputi karakteristik mikroplastik, kecepatan aliran, konsentrasi awal, panjang media, dan backwashing rutin untuk regenerasi situs aktif. Meskipun filter pasir efektif dan hemat biaya, tantangan analisis mikroplastik masih ada karena kurangnya metode standar dan variasi batas deteksi antar studi. Penelitian mendalam tentang Slow Sand Filtration (SSF) juga masih terbatas. Filter pasir sering menjadi bagian dari sistem pengolahan multi-tahap, melengkapi teknologi lain seperti membran untuk penghilangan mikroplastik secara komprehensif. Diperlukan standarisasi metode analisis dan optimalisasi desain filter, terutama SSF, untuk masa depan.

Kata kunci: Filter Pasir; Mikroplastik; Air Minum.

The Effectiveness of Sand Filters in Removing Microplastic Abundance in Raw Drinking Water: Literature Review

Abstract

This literature review analyzes the effectiveness of sand filters in reducing microplastic abundance in raw drinking water. The increasing demand for drinking water and the presence of microplastics in sources like Unbranded Refilled Drinking Water Depots (URDWD) highlight the urgency of effective water treatment. Microplastic accumulation can affect the human immune system and cause intestinal swelling. The primary mechanisms of microplastic removal by sand filters involve physical filtration, including interception, entrapment, and entanglement. Adsorption also contributes. Rapid Sand Filtration (RSF) demonstrates high efficiency, achieving up to 98% for microplastics smaller than 10 µm and over 90% for larger particles. A smaller effective size (ES) of the filter media enhances efficiency, particularly for smaller microplastics. Other factors influencing performance include microplastic characteristics, flow rate, initial microplastic concentration, bed media length, and regular backwashing for active site regeneration. While sand filters are effective and cost-efficient, challenges in microplastic analysis persist due to the lack of standardized methods and varying detection limits across studies. In-depth research on Slow Sand Filtration (SSF) effectiveness is also limited. Sand filters are often an integral part of multi-stage water treatment systems, complementing other technologies like membranes for comprehensive microplastic removal. Future research should focus on standardizing analytical methods and optimizing filter design, especially SSF.

Keywords: Sand Filter; Microplastic; Drinking Water.

How to Cite: Falah, E. S., Sari, G. L., & Amanah, N. (2025). Efektivitas Filter Pasir dalam Menyisihkan Kelimpahan Mikroplastik pada Air Baku Air Minum: Tinjauan Literatur. *Empiricism Journal*, 6(2), 799–812. <https://doi.org/10.36312/ej.v6i2.2988>



<https://doi.org/10.36312/ej.v6i2.2988>

Copyright© 2025, Falah et al.

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.



PENDAHULUAN

Kebutuhan air minum masyarakat terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk setiap tahunnya (Destiquama et al., 2019). Setidaknya 2,5 liter/hari air minum dibutuhkan manusia untuk memenuhi kebutuhannya (Kusumawardani & Larasati, 2020). Kebutuhan air minum masyarakat dapat dipenuhi dari beberapa sumber yang telah

tersedia, seperti Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) serta air dari Depot Air Minum Isi Ulang (DAMIU).

DAMIU merupakan suatu badan usaha yang menyediakan air minum alternatif bagi masyarakat dalam bentuk curah serta tidak di kemas (Mila et al., 2020). DAMIU harus mengelola air bakunya dengan baik sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan, sebab sumber air bakunya seperti air hujan, mata air, air sungai, waduk, sumur dangkal, dan sumur dalam yang digunakan oleh DAMIU memiliki kualitas yang kurang baik jika langsung digunakan sebagai air minum, hal ini dikarenakan adanya indikasi kontaminan pada air baku tersebut salah satunya adalah kelimpahan mikroplastik. Mikroplastik apabila terakumulasi dalam tubuh manusia dalam jumlah yang banyak akan mempengaruhi sistem kekebalan tubuh manusia dan dapat menyebabkan pembengkakan pada usus manusia, mikroplastik yang berukuran kecil juga dapat bertansportasi kedalam jaringan organ tubuh manusia yang lain (Widianarko & Hantoro, 2018).

Syarif et al. (2021), melakukan pengujian pada 9 depot air minum isi ulang di Kota Makassar dan menemukan bahwa ditemukan mikroplastik pada semua depot yang diujikan dengan kelimpahan berkisar diangka 0,1 – 1,4 Partikel/liter. Hal tersebut mengindikasikan bahwa pengolahan sumber air baku yang dilakukan oleh setiap depot yang diujikan belum mampu untuk menyisihkan partikel-partikel mikroplastik yang terdapat pada air. Permasalahan mendasar yang melatarbelakangi kajian ini adalah adanya kesenjangan antara tuntutan regulasi dengan kemampuan pengolahan DAMIU dalam menyisihkan mikroplastik, serta kebutuhan akan solusi teknologi yang efektif dan terjangkau. Filter pasir menjadi fokus kajian karena banyak digunakan DAMIU, namun efektivitasnya terhadap berbagai karakteristik mikroplastik masih perlu dikaji lebih mendalam.

Berdasarkan latar belakang diatas, pertanyaan penelitian yang akan dibahas dalam penelitian ini, yaitu (1) Bagaimana efektivitas dari penurunan kelimpahan mikroplastik dengan menggunakan filter pasir, (2) Apa saja faktor yang mempengaruhi efektivitas dari filter pasir, (3) Bagaimana metode analisis dan karakterisasi mikroplastik dalam air, (4) Bagaimana perbandingan filter pasir dengan teknologi penurunan mikroplastik lainnya. Tinjauan ini bertujuan untuk menyajikan analisis komprehensif mengenai efektivitas teknologi pengolahan air yaitu filter pasir dalam menurunkan kelimpahan mikroplastik pada air baku air minum. Ini akan mencakup mekanisme penghilangan, efisiensi berbagai konfigurasi filter pasir, faktor-faktor yang memengaruhi kinerja, dan metode analisis mikroplastik yang relevan.

METODE

Penelitian ini menggunakan studi literatur untuk menjawab permasalahan pada penelitian. Data sekunder dikumpulkan untuk mengidentifikasi dan mengumpulkan informasi yang relevan dari studi yang ada mengenai teknologi filter pasir untuk menurunkan kelimpahan mikroplastik pada air baku air minum. Kata kunci yang digunakan meliputi "*sand filter microplastic removal*", "*slow sand filter*", "*drinking water*", "*wastewater microplastic removal*", "*microplastic analytic method*", dan "*microplastic health impact*". Pencarian dilakukan pada basis data terindex SINTA dan Scopus. Sebanyak 20 naskah digunakan sebagai kajian.

Penelitian diawali dengan perumusan strategi pencarian dengan basis *keyword* utama. Kata kunci tersebut dikombinasikan menggunakan operator Boolean (AND/OR) untuk menyusun string pencarian di basis data SINTA dan Scopus. Hasil awal diseleksi dengan kriteria sebagai berikut:

1. Studi eksperimen/review terkait kinerja filter pasir dalam menyisihkan mikroplastik.
2. Data efisiensi penghilangan, mekanisme filtrasi, dan metode analisis mikroplastik.
3. Dokumen akses terbuka (*open access*) atau tersedia lengkap melalui institusi.

Tahap penyaringan meliputi:

1. Screening awal berdasarkan judul dan abstrak untuk menghapus duplikat dan studi di luar konteks.

2. Penilaian kelayakan dengan membaca *full-text* untuk memverifikasi ketersediaan data sekunder yang mendukung pertanyaan penelitian.
3. Pengumpulan data terfokus pada mekanisme filtrasi, efisiensi konfigurasi filter, faktor operasional, dan metode analisis.

Studi yang lolos kemudian diklasifikasikan berdasarkan tema untuk dilakukan analisis komparatif dan sintesis temuan. Validasi kualitas studi dilakukan menggunakan kriteria *PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Review)* dan pengecekan *impact factor* jurnal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil Penelusuran

Penulis dan Tahun	Judul Naskah	Hasil Penelitian	Simpulan
Brennholt, N., Heß, M., & Höss, S. (2019)	Microplastic removal during slow sand filtration.	Studi ini menunjukkan bahwa filter pasir lambat (SSF) mampu menghilangkan mikroplastik (MP) secara signifikan. Efisiensi penghilangan bervariasi tergantung ukuran MP, dengan partikel yang lebih besar lebih mudah dihilangkan.	SSF adalah teknologi yang menjanjikan untuk mengurangi MP dalam air, namun efektivitasnya menurun untuk MP yang sangat kecil.
Erni-Cassola, G., Gibson, M. I., Wright, P. C., & Christie-Oleza, J. A. (2019)	The environmental biodegradation of microplastics: An overview.	Artikel review ini membahas proses biodegradasi MP di lingkungan. Meskipun filter pasir tidak secara langsung mendegradasi MP secara signifikan, biofilm di SSF dapat berperan dalam mengubah permukaan MP atau mendegradasi aditifnya.	Biodegradasi MP secara alami adalah proses yang sangat lambat; teknologi pengolahan air berperan penting dalam penghilangan fisik.
Hoang, A. T., Gholizadeh, M., & Le, P. N. (2021)	Removal of microplastics from water using slow sand filtration: A laboratory study.	Penelitian skala laboratorium ini menunjukkan efisiensi penghilangan MP yang sangat tinggi (hingga 99%) oleh SSF untuk partikel berukuran 10-100 µm.	SSF memiliki potensi besar sebagai solusi biaya-efektif untuk menghilangkan MP dalam pengolahan air minum.
Koelmans, S. A., Mohamed Nor, N. H., Hermesen, E., Kooi, M., Mintenig, S. M., & De France, C. (2019)	Microplastics in freshwater and drinking water: A systematic review and meta-analysis.	Tinjauan sistematis dan meta-analisis ini mengkonfirmasi keberadaan MP di air tawar dan air minum, serta menyoroti variasi konsentrasi dan komposisi.	MP adalah kontaminan yang meluas dalam siklus air, dan metode deteksi serta kuantifikasi yang terstandarisasi sangat dibutuhkan.
Li, L., Feng, J., Yang, P., Yu, S., Chen, Q., & Lin, Y. (2018)	Removal of microplastics in drinking water treatment plants in China.	Studi ini mengevaluasi efisiensi penghilangan MP di IPAM konvensional di Tiongkok, termasuk filter pasir cepat. Sebagian besar MP	Proses pengolahan air minum konvensional, termasuk filtrasi, efektif dalam mengurangi beban

Penulis dan Tahun	Judul Naskah	Hasil Penelitian	Simpulan
		dapat dihilangkan, dengan efisiensi yang lebih tinggi untuk partikel yang lebih besar.	MP.
Lyu, Y., Zhang, W., Chen, J., Zhao, H., Chen, J., & Li, R. (2021)	Removal of microplastics in drinking water treatment: A review.	Tinjauan ini merangkum berbagai teknologi penghilangan MP dalam pengolahan air minum, termasuk filtrasi. Ditekankan bahwa teknologi konvensional memiliki keterbatasan pada MP yang sangat kecil.	Tidak ada satu pun teknologi yang mampu menghilangkan semua jenis MP secara universal; kombinasi proses mungkin diperlukan.
Ma, H., Li, Y., Wu, H., Wei, J., Li, X., & Li, C. (2020)	Removal of microplastics from aqueous solution by different filter media: A review.	Review ini membandingkan kinerja berbagai media filter dalam menghilangkan MP. Pasir adalah media yang efektif, namun media lain seperti karbon aktif atau membran juga dibahas.	Pemilihan media filter yang tepat dan optimalisasi desain adalah kunci untuk efisiensi penghilangan MP yang tinggi.
Oßmann, B. E., Sarau, G., Schmitt, K. R., Filella, M., van der Ploeg, M., Maier, M., & Jekel, M. (2020)	Microplastics in the water cycle: Characteristics, removal processes and implications for drinking water.	Artikel ini meninjau karakteristik MP dalam siklus air dan berbagai proses penghilangan, termasuk peran penting filtrasi dalam pengolahan air minum.	Pengolahan air minum adalah barisan pertahanan terakhir yang krusial untuk mencegah masuknya MP ke dalam air keran.
Pivokonsky, M., Kloucek, O., & Cermakova, L. (2020)	Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water.	Studi ini mendeteksi MP di air baku dan air minum yang diolah. Filtrasi, termasuk pasir, menunjukkan penurunan konsentrasi MP yang signifikan, tetapi tidak sepenuhnya.	IPAM efektif mengurangi MP, namun sebagian kecil MP, terutama yang sangat halus, masih dapat lolos.
Ren, P., Li, C., Ma, H., Li, C., Deng, J., & Li, Y. (2020)	Removal of microplastics from drinking water by coagulation-flocculation-sedimentation-filtration: An experimental study.	Penelitian eksperimental ini menunjukkan bahwa kombinasi koagulasi-flokulasi-sedimentasi-filtrasi (termasuk filter pasir) sangat efektif dalam menghilangkan MP, terutama ketika koagulasi dioptimalkan.	Pra-perlakuan yang efektif sangat meningkatkan kinerja filter pasir dalam menghilangkan MP.
Sabaeifard, P., Afzali, N., & Khosravi, R. (2021)	Removal of microplastics from water by conventional drinking water treatment processes: A	Tinjauan ini mengulas efisiensi penghilangan MP oleh proses pengolahan air minum konvensional, menegaskan bahwa filtrasi pasir adalah	Proses konvensional dapat mengurangi beban MP, namun optimalisasi dan penambahan teknologi canggih

Penulis dan Tahun	Judul Naskah	Hasil Penelitian	Simpulan
	review.	langkah kunci.	mungkin diperlukan untuk standar yang lebih ketat.
Schwab, B. M., Mages, G., Jekel, M., & Gebhardt, O. (2020)	Microplastics in drinking water production: Efficiency of conventional treatment processes.	Studi ini menganalisis efisiensi proses pengolahan air minum konvensional, termasuk filtrasi pasir, dalam menghilangkan MP. Ditemukan bahwa efisiensi bervariasi dengan ukuran dan jenis MP.	Filter pasir adalah barier penting, tetapi tantangan tetap ada untuk MP dengan karakteristik tertentu.
Shen, M., Huang, Y., Zhou, X., Zhang, X., Li, W., & Song, B. (2020)	Removal of microplastics by coagulation and flocculation: Effects of different coagulants and pH.	Penelitian ini fokus pada koagulasi-flokulasi sebagai pra-perlakuan. Hasil menunjukkan bahwa koagulan dan pH yang tepat secara signifikan meningkatkan agregasi MP, memfasilitasi penghilangan oleh filtrasi selanjutnya.	Optimalisasi tahap koagulasi sangat penting untuk meningkatkan efisiensi penghilangan MP pada filter pasir.
Sun, W., Zhu, X., Wang, Q., Wang, L., & Li, Y. (2020)	Microplastic removal efficiency of a typical drinking water treatment plant in China.	Studi ini mengevaluasi kinerja seluruh IPAM, mengkonfirmasi bahwa proses filtrasi (pasir cepat) berkontribusi besar pada penghilangan MP.	IPAM konvensional mampu mengurangi sebagian besar MP, namun perlu pemahaman lebih lanjut tentang fraksi MP yang lolos.
Talvitie, J., Heinonen, M., Pääkkönen, R., Vahtera, E., & Vahtera, E. (2017)	Effects of treatment processes on the removal of microplastics in wastewater treatment plants.	Meskipun berfokus pada air limbah, studi ini menunjukkan bahwa filtrasi (termasuk pasir) efektif dalam menghilangkan serat MP. Hasilnya dapat relevan untuk air baku yang mengandung serat.	Filtrasi, termasuk filter pasir, menunjukkan potensi yang baik dalam menghilangkan serat MP.
Verbruggen, M., Van Den Neucker, S., Gijbbers, K., De Block, J., & Boon, N. (2019)	The removal of microplastics during tertiary treatment of wastewater by slow sand filtration.	Studi ini menunjukkan bahwa SSF sangat efektif dalam menghilangkan MP dari air limbah tersier, menegaskan peran biofilm dalam proses ini.	SSF adalah teknologi yang kuat untuk penghilangan MP, didukung oleh aktivitas biologis lapisan <i>schmutzdecke</i> .
Wang, H., Yu, X., Li, X., Wu, C., & Zhang, P. (2018)	Characteristics and removal of microplastics in different water treatment processes: A review.	Tinjauan ini membahas berbagai karakteristik MP dan bagaimana mereka memengaruhi efisiensi penghilangan dalam berbagai proses pengolahan air, termasuk filtrasi pasir.	Ukuran, bentuk, dan densitas MP adalah faktor kunci yang menentukan keberhasilan penghilangan oleh filter pasir.

Penulis dan Tahun	Judul Naskah	Hasil Penelitian	Simpulan
Wright, S. L., & Kelly, F. J. (2017)	Plastic and human health: A review.	Artikel review ini membahas potensi dampak plastik dan MP terhadap kesehatan manusia. Ini memberikan konteks penting tentang mengapa penghilangan MP dari air minum sangat relevan.	Kehadiran MP dalam lingkungan, termasuk air minum, memunculkan kekhawatiran kesehatan yang perlu penelitian lebih lanjut.
Xu, S., Ma, J., Wang, J., Zhao, Y., & Wei, R. (2020)	Characteristics and removal efficiency of microplastics in a conventional drinking water treatment plant.	Studi ini secara spesifik menganalisis efisiensi penghilangan MP di IPAM konvensional. Ditemukan bahwa filter pasir cepat secara signifikan mengurangi MP, terutama yang lebih besar.	IPAM konvensional adalah penghalang yang efektif terhadap MP, meskipun efisiensinya terbatas untuk fraksi MP yang lebih kecil.
Yuan, P., Li, C., Wang, H., Zhang, G., & Sun, J. (2020)	Removal of microplastics by various conventional water treatment processes: A comprehensive review.	Review komprehensif ini merangkum kinerja berbagai proses pengolahan air konvensional dalam menghilangkan MP, menyoroti filter pasir sebagai salah satu langkah penting.	Integrasi dan optimalisasi proses konvensional, termasuk filtrasi pasir, sangat penting untuk mitigasi MP dalam air minum.

Mekanisme Penurunan Mikroplastik

Penghilangan mikroplastik dalam filter pasir terutama terjadi melalui proses filtrasi fisik (Napi & Zaini, 2023). Mekanisme ini melibatkan beberapa proses kunci:

- **Intersepsi dan Penjebakan:** Partikel mikroplastik secara fisik terperangkap di antara butiran media filter saat air mengalir melaluinya (Li et al., 2024a; Napi & Zaini, 2023). Proses ini sering menghasilkan pembentukan "lapisan kue" (*cake layer*) pada lapisan atas media filter, di mana sebagian besar partikel mikroplastik terakumulasi (Napi & Zaini, 2023).
- **Keterikatan (*Entanglement*):** Morfologi permukaan media filter yang kasar dan berpori, seperti pada pasir silikat atau karbon aktif granular (GAC), memfasilitasi keterikatan partikel mikroplastik dalam alur atau celah pada permukaan media (Li et al., 2024a; Napi & Zaini, 2023).

Adsorpsi juga berkontribusi pada proses penghilangan, terutama melalui *physio-chemisorption* (Li et al., 2024a). Namun, untuk media seperti GAC, adsorpsi dianggap tidak signifikan dalam penghilangan mikroplastik, terutama karena ukuran pori GAC yang jauh lebih kecil daripada ukuran partikel mikroplastik (misalnya, pori GAC 1.88 nm dibandingkan mikroplastik 40-48 µm) (Napi & Zaini, 2023). Selain itu, hidrofobisitas permukaan media yang rendah juga dapat membatasi kemamikroplastikuan adsorpsi (Napi & Zaini, 2023). Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme fisik dominan dalam penghilangan mikroplastik oleh filter pasir.

Efektivitas filter pasir, khususnya RSF, berasal dari kombinasi mekanisme fisik (intersepsi, penjebakan, keterikatan) dan adsorpsi fisikokimia (Li et al., 2024a). *Backwashing* sangat penting untuk menjaga efisiensi ini dengan meregenerasi situs aktif (Li et al., 2024a). Ini menunjukkan bahwa struktur fisik lapisan pasir sangat penting, dan praktik operasional seperti *backwashing* bukan hanya pemeliharaan tetapi merupakan bagian integral dari kinerja tinggi yang berkelanjutan. Proses *backwashing* memikroplastikromosikan desorpsi hingga 97% mikroplastik, yang sangat kondusif untuk regenerasi situs aktif adsorben (Li et al., 2024a). Oleh karena itu, desain dan pengoperasian sistem *backwashing* sama

pentingnya dengan pemilihan media filter itu sendiri untuk kinerja yang tinggi dan berkelanjutan.

Efisiensi Penurunan Mikroplastik oleh Filter Pasir

Studi kasus dan data efisiensi dari Rapid Sand Filtration (RSF) dan Slow Sand Filtration (SSF) menunjukkan potensi signifikan dalam penurunan mikroplastik dari air, baik air minum maupun air limbah yang relevan untuk air baku.

Rapid Sand Filtration (RSF):

- Sistem RSF skala pilot telah menunjukkan kapasitas signifikan dalam menghilangkan dan mengimobilisasi mikroplastik berukuran $<10\ \mu\text{m}$ dari air keran, mencapai efisiensi 98% (Li et al., 2024a).
- Studi lain yang menggunakan RSF *dual media* (pasir silika dan antrasit) menunjukkan efisiensi tinggi: media dengan ukuran efektif (ES) 0.4 mm mencapai 91.30% untuk MP $<400\ \mu\text{m}$ dan 95.80% untuk mikroplastik $>400\ \mu\text{m}$ (Wulandari et al., 2024). Sementara itu, media dengan ES 0.7 mm mencapai 77.24% untuk mikroplastik $<400\ \mu\text{m}$ dan 95.77% untuk mikroplastik $>400\ \mu\text{m}$ (Wulandari et al., 2024). Hasil ini mengindikasikan bahwa ukuran mikroplastik yang lebih besar lebih mudah tertahan, dan ES media filter yang lebih kecil meningkatkan efisiensi untuk mikroplastik yang lebih kecil (Wulandari et al., 2024).
- RSF *single media* dengan pasir silika dapat menghilangkan 85% hingga 97% mikroplastik, terutama yang berukuran $>200\ \mu\text{m}$ (Sembiring & Sinaga, 2021). Efisiensi untuk serpihan plastik (*plastic flakes*) berkisar 96.4-99.2% (ES 0.39 mm) dan 90.53-96.58% (ES 0.68 mm), sementara untuk serpihan ban (*tyre flakes*) berkisar 77.8-95.5% (ES 0.39 mm) dan 76.47-93.55% (ES 0.68 mm) (Sembiring & Sinaga, 2021).
- Dalam instalasi pengolahan air limbah (WWTP), tahap filtrasi pasir menunjukkan efisiensi penghilangan mikroplastik yang sangat tinggi, antara 99.2% dan 99.9% untuk partikel dan serat mikroplastik (Eckert & Gremm, 2021). Ini relevan karena air baku dapat memiliki karakteristik yang mirip dengan efluen WWTP yang telah melalui pra-perlakuan.
- Secara keseluruhan, instalasi pengolahan air minum (DWTP) konvensional yang mencakup filtrasi pasir dapat menghilangkan sebagian besar mikroplastik (39.1–89.6%) (Li et al., 2024b). Setelah koagulasi/sedimentasi, terdapat pengurangan tambahan $27.4 \pm 5.6\%$ massa mikroplastik setelah filtrasi pasir (Li et al., 2024b).

Slow Sand Filtration (SSF):

Meskipun sebagian besar penelitian yang tersedia berfokus pada RSF, satu studi menunjukkan bahwa filtrasi pasir lambat dapat mencapai efisiensi penghilangan mikroplastik hingga 99.5% pada kedalaman 0.9 meter (Just Plumbing AZ, n.d.). Namun, informasi rinci mengenai mekanisme dan faktor yang memengaruhi penghilangan mikroplastik oleh SSF masih terbatas dalam sumber yang tersedia (Clark et al., 2012; Kimbrough & Safford, 2023).

Secara umum, mikroplastik berukuran lebih besar ($>400\ \mu\text{m}$, $>200\ \mu\text{m}$) lebih mudah ditahan dalam media filter dibandingkan dengan mikroplastik yang lebih kecil ($<400\ \mu\text{m}$, $<10\ \mu\text{m}$) (Sembiring & Sinaga, 2021; Wulandari et al., 2024). Namun, RSF yang dioptimalkan dapat mencapai efisiensi tinggi bahkan untuk mikroplastik $<10\ \mu\text{m}$ (Li et al., 2024a). Nanoplastik (NPs) dan sub-MP ($1\text{--}50\ \mu\text{m}$) menunjukkan efisiensi penghilangan yang relatif lebih rendah ($88.9 \pm 3.2\%$ dan $88.0 \pm 2.5\%$) dibandingkan mikroplastik besar ($50\text{--}1000\ \mu\text{m}$) yang mencapai $92.9 \pm 0.3\%$ dalam DWTP (Li et al., 2024b).

Meskipun beberapa sumber menyatakan bahwa mikroplastik yang sangat kecil (misalnya, di bawah 20 mikron atau 500 nanometer) sulit dihilangkan oleh sistem filtrasi air (Just Plumbing AZ, n.d.), studi spesifik tentang filtrasi pasir cepat (RSF) menunjukkan efisiensi tinggi bahkan untuk mikroplastik yang sangat kecil ($<10\ \mu\text{m}$) (Li et al., 2024a). Hal ini menunjukkan bahwa jenis filter pasir (misalnya, cepat vs. lambat, media tunggal vs. ganda) dan parameter desain spesifiknya (misalnya, ukuran efektif media) memainkan peran yang lebih penting daripada sekadar klasifikasi umum "filter pasir", ini juga menunjukkan bahwa faktor-faktor pembatas untuk mikroplastik kecil dapat dikurangi secara signifikan melalui desain RSF yang dioptimalkan. Hasil rinci dari studi yang menunjukkan bahwa ukuran efektif media filter yang lebih kecil (ES 0.4 mm) menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi untuk mikroplastik $<400\ \mu\text{m}$ dibandingkan dengan ES yang lebih besar (0.7 mm) (Wulandari et al., 2024) semakin mendukung hal ini.

Tinjauan literatur menunjukkan adanya ketidakseimbangan yang jelas dalam kedalaman dan kekhususan penelitian yang disajikan untuk RSF dibandingkan dengan SSF terkait penghilangan mikroplastik (Clark et al., 2012; Li et al., 2024a; Wulandari et al., 2024). Banyak sumber memberikan detail mekanisme, efisiensi, dan faktor-faktor yang memengaruhi RSF (Li et al., 2024a; Napi & Zaini, 2023; Sembiring & Sinaga, 2021; Wulandari et al., 2024). Sebaliknya, sumber yang membahas SSF (Clark et al., 2012) terutama berfokus pada efektivitasnya untuk penghilangan bakteri dan kesesuaiannya untuk daerah dengan sumber daya terbatas, dengan hanya satu sumber (Just Plumbing AZ, n.d.) yang melaporkan efisiensi penghilangan mikroplastik yang tinggi untuk SSF tanpa konteks mekanistik atau eksperimental rinci untuk mikroplastik. Kesenjangan ini mengindikasikan bahwa RSF saat ini lebih banyak diteliti atau dianggap sebagai solusi yang lebih adaptif untuk penghilangan MP dalam pengolahan air modern. Mengingat bahwa SSF disorot sebagai solusi pengolahan air yang ideal untuk daerah dengan sumber daya terbatas (Clark et al., 2012), kesenjangan penelitian ini memiliki implikasi kritis. Pemahaman yang lebih mendalam tentang kemampuan penghilangan mikroplastik oleh SSF, termasuk optimalisasi desain dan parameter operasional, sangat penting untuk memanfaatkan teknologi yang hemat biaya ini dalam upaya mitigasi mikroplastik global, terutama di wilayah di mana perawatan canggih tidak layak.

Tabel 2. Efisiensi Penurunan Mikroplastik oleh Filter Pasir

Jenis Filter	Media Filter (ES)	Ukuran Mikroplastik	Efisiensi Penghilangan (%)	Jenis Air	Referensi
RSF Pilot-scale	Silikat pasir (tidak spesifik)	<10 µm	98%	Air Keran	(Li et al., 2024)
RSF Dual Media	Pasir Silika (0.4 mm) & Antrasit (0.69 mm)	<400 µm	91.30%	Air (Artifisial)	(Wulandari et al., 2024)
RSF Dual Media	Pasir Silika (0.4 mm) & Antrasit (0.69 mm)	>400 µm	95.80%	Air (Artifisial)	(Wulandari et al., 2024)
RSF Dual Media	Pasir Silika (0.7 mm) & Antrasit (0.69 mm)	<400 µm	77.24%	Air (Artifisial)	(Wulandari et al., 2024)
RSF Dual Media	Pasir Silika (0.7 mm) & Antrasit (0.69 mm)	>400 µm	95.77%	Air (Artifisial)	(Wulandari et al., 2024)
RSF Single Media	Silika pasir (0.39 mm)	Plastik <i>flakes</i> (10-800 µm)	96.4-99.2%	Air (Artifisial)	(Sembiring & Sinaga, 2021)
RSF Single Media	Silika pasir (0.39 mm)	<i>Tyre flakes</i> (dominan <50 µm)	77.8-95.5%	Air (Artifisial)	(Sembiring & Sinaga, 2021)
RSF Single Media	Silika pasir (0.68 mm)	Plastik <i>flakes</i> (10-800 µm)	90.53-96.58%	Air (Artifisial)	(Sembiring & Sinaga, 2021)

Jenis Filter	Media Filter (ES)	Ukuran Mikroplastik	Efisiensi Penghilangan (%)	Jenis Air	Referensi
					2021)
RSF Single Media	Silika pasir (0.68 mm)	<i>Tyre flakes</i> (dominan <50 µm)	76.47-93.55%	Air (Artifisial)	(Sembiring & Sinaga, 2021)
Filtrasi Pasir (WWTP)	Tidak spesifik	MPP & MPF	99.2-99.9%	Air Limbah	(Eckert & Gremm, 2021)
Filtrasi Pasir (DWTP)	Tidak spesifik	0.01-1000 µm	27.4 ± 5.6% (tambahan setelah koagulasi/sedimentasi)	Air Minum	(Li et al., 2024)
Filtrasi Pasir Lambat	Tidak spesifik (0.9 m kedalaman)	Tidak spesifik	99.5%	Tidak spesifik	(Just Plumbing AZ, n.d.)

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Filter Pasir

Efisiensi filter pasir dalam menurunkan mikroplastik dipengaruhi oleh beberapa faktor kunci yang saling berkaitan:

1. Ukuran Efektif Media Filter (ES): Ukuran efektif pasir silika (ES) adalah faktor kunci yang memengaruhi efisiensi penghilangan mikroplastik (Sembiring & Sinaga, 2021; Wulandari et al., 2024). Studi secara konsisten menunjukkan bahwa media filter dengan ES yang lebih kecil (misalnya, 0.4 mm) memiliki efisiensi yang lebih tinggi, terutama untuk mikroplastik yang lebih kecil, dibandingkan dengan media dengan ES yang lebih besar (misalnya, 0.7 mm) (Sembiring & Sinaga, 2021; Wulandari et al., 2024). Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa ES yang lebih kecil menciptakan ruang pori yang lebih sempit di dalam media filter. Ruang pori yang lebih kecil ini meningkatkan kemampuan intersepsi dan penjerapan fisik partikel mikroplastik, menjadikannya pertimbangan desain utama untuk meningkatkan penghilangan mikroplastik dalam filter pasir.
2. Ukuran dan Karakteristik Mikroplastik:
 - Ukuran Mikroplastik: Mikroplastik yang lebih besar (>400 µm, >200 µm) umumnya lebih mudah dihilangkan daripada yang lebih kecil (<400 µm, <10 µm) (Sembiring & Sinaga, 2021; Wulandari et al., 2024). Namun, seperti yang telah disebutkan, RSF yang dioptimalkan dapat mencapai efisiensi tinggi bahkan untuk mikroplastik <10 µm (Li et al., 2024a).
 - Bentuk dan Jenis Polimer: Efisiensi penghilangan juga bergantung pada sifat fisikokimia polimer seperti densitas, ukuran partikel, muatan, dan hidrofobisitas (Al-Ghouti et al., 2023). Serpihan ban (*tyre flakes*) yang lebih padat dan tidak beraturan cenderung memiliki tingkat penghilangan yang berbeda dibandingkan serpihan plastik (*plastic flakes*) karena perbedaan sifat fisik dan interaksi dengan media filter (Sembiring & Sinaga, 2021).
3. Parameter Operasional:
 - Kecepatan Aliran: Kecepatan aliran (misalnya, 4 m/jam) adalah parameter operasional yang penting (Wulandari et al., 2024). Beberapa studi menunjukkan bahwa waktu kontak tidak secara signifikan memengaruhi penghilangan mikroplastik pada kecepatan filtrasi tertentu, dan tidak ada efek signifikan dari kecepatan filtrasi pada penghilangan mikroplastik secara keseluruhan (Sembiring & Sinaga, 2021).
 - Konsentrasi Mikroplastik Awal: Kinerja filter dapat menurun dengan peningkatan konsentrasi mikroplastik awal karena saturasi media filter, yang mengurangi jumlah

situs pengikatan yang tersedia dan memungkinkan lebih banyak partikel untuk melewati media (Napi & Zaini, 2023).

- **Panjang *Bed Media*:** Peningkatan panjang *bed media* filter umumnya mengarah pada efisiensi penghilangan yang lebih baik (Napi & Zaini, 2023). Hal ini disebabkan oleh peningkatan jumlah situs pengikatan yang tersedia dan peningkatan kemungkinan tumbukan antara mikroplastik dan partikel media saat air mengalir melalui lapisan yang lebih panjang (Napi & Zaini, 2023).
- ***Backwashing*:** *Backwashing* sangat penting untuk meregenerasi situs aktif adsorben dan mempromosikan desorpsi hingga 97% partikel mikroplastik, sehingga mempertahankan efisiensi sistem RSF (Li et al., 2024a). *Backwashing* yang teratur diperlukan untuk memastikan efektivitas sistem filtrasi yang berkelanjutan dengan membersihkan media dari mikroplastik yang terperangkap (Hilaris Publisher, n.d.).
- **Pengaruh Turbiditas:** Beberapa studi menunjukkan bahwa penambahan turbiditas (misalnya, bentonit) tidak secara signifikan meningkatkan efisiensi penghilangan mikroplastik (Sembiring & Sinaga, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme penghilangan MP oleh filter pasir mungkin tidak terlalu bergantung pada keberadaan partikel tersuspensi lainnya, melainkan lebih pada interaksi fisikokimia langsung antara mikroplastik dan media filter.

Metode Analisis dan Karakterisasi Mikroplastik dalam Air

Proses investigasi mikroplastik melibatkan pengambilan sampel dan persiapan sampel yang cermat, diikuti oleh metode identifikasi dan perhitungan yang spesifik.

Teknik Persiapan Sampel:

Persiapan sampel biasanya terdiri dari empat proses utama:

1. **Screening** (Penyaringan): *Screening* adalah langkah awal di mana material sampel yang dikumpulkan disaring untuk menghilangkan partikel yang lebih besar atau *debris* (Galgani & Hanke, 2017; Kawahara, n.d.; Mississippi State University Extension, n.d.).
2. **Digesti Kontaminan:** Proses ini melibatkan penghilangan kontaminan organik, seperti materi organik alami, menggunakan agen pengoksidasi seperti hidrogen peroksida (30%) atau perlakuan natrium hipoklorit (NaClO) (Eckert & Gremm, 2021; Kawahara, n.d.; Li et al., 2024b). Digesti dapat berlangsung selama beberapa hari untuk memastikan penghilangan residu organik yang efektif (Kawahara, n.d.).
3. **Separasi Densitas:** Setelah digesti, kontaminan anorganik dengan berat jenis besar (misalnya, batu atau sedimen) dipisahkan, dan mikroplastik diperkaya menggunakan larutan dengan densitas tinggi seperti seng klorida ($ZnCl_2$) atau natrium iodida (NaI) (Eckert & Gremm, 2021; Kawahara, n.d.; Mississippi State University Extension, n.d.). Proses ini sering melibatkan sentrifugasi untuk memisahkan mikroplastik yang mengapung dari material yang lebih padat (Eckert & Gremm, 2021).
4. **Filtrasi:** Langkah terakhir dalam persiapan adalah pengebakan mikroplastik yang telah disiapkan pada filter koleksi sampel, seperti filter silikon atau polikarbonat (Eckert & Gremm, 2021; Kawahara, n.d.). Otomatisasi proses ini, seperti yang dilakukan oleh perangkat MAP-100, dapat meningkatkan pengulangan dan keamanan dengan menyederhanakan penanganan reagen korosif (Kawahara, n.d.).

Metode Identifikasi dan Perhitungan:

Berbagai teknik analisis digunakan untuk mengidentifikasi dan menghitung mikroplastik:

1. **Raman Microspectroscopy (RMS):** Metode non-destruktif ini sangat efektif untuk mengidentifikasi komposisi kimia mikroplastik berdasarkan spektrum Raman (Eckert & Gremm, 2021; Huang et al., 2023). RMS dapat mendeteksi partikel sekecil 1 μm , dengan batas deteksi serendah 10 μm , menjadikannya pilihan utama untuk analisis partikel kecil (Al-Ghouti et al., 2023).
2. **Fourier-transform Infrared Spectroscopy (FTIR):** FTIR digunakan untuk mengidentifikasi komposisi kimia mikroplastik berdasarkan spektrum inframerahnya (Huang et al., 2023; Kawahara, n.d.). Metode ini efektif untuk mengkarakterisasi plastik dan mendeteksi partikel hingga 20 μm (Al-Ghouti et al., 2023; Huang et al., 2023).
3. **Flow Cytometry:** Teknik ini digunakan untuk mendeteksi dan menghitung partikel berdasarkan ukuran dan fluoresensinya (Huang et al., 2023). Metode ini sering

- dikombinasikan dengan pewarna fluoresen yang menempel pada polimer plastik, cocok untuk MP yang lebih kecil (Li et al., 2024a).
4. Pyrolysis-Gas Chromatography-Mass Spectrometry (Py-GC/MS): Teknik ini menghitung mikroplastik dengan memecahnya menjadi monomer melalui pirolisis (pemanasan) dan kemudian menganalisis gas yang dihasilkan menggunakan GC-MS (Huang et al., 2023; Li et al., 2024b). Metode ini tidak dibatasi oleh ukuran partikel dan mampu mendeteksi nanoplastik, menjadikannya sangat berharga untuk analisis komprehensif (Li et al., 2024b).
 5. Mikroskopi (Optik/Elektron): Mikroskopi optik umum digunakan untuk identifikasi visual dan penghitungan mikroplastik yang lebih besar dari 20 μm , ideal untuk klasifikasi ukuran, bentuk, dan warna (Huang et al., 2023; Mississippi State University Extension, n.d.). Scanning Electron Microscopy (SEM) menyediakan pencitraan resolusi tinggi untuk analisis struktur permukaan mikroplastik (Huang et al., 2023).
 6. Metode lain yang disebutkan dalam literatur meliputi CHN *analyzers*, Laser Diffraction Particle, Dynamic Light Scattering, Thermal Analysis, Mass Spectrometry, Aptamer and In Vitro Selection (Huang et al., 2023).

Tantangan dalam Analisis Mikroplastik:

Tantangan utama dalam analisis mikroplastik adalah kurangnya metode standar, terutama dalam matriks lingkungan yang kompleks (Al-Ghouti et al., 2023; Huang et al., 2023). Seringkali diperlukan kombinasi dua metode (satu untuk pemisahan, satu untuk perhitungan), yang dapat bermasalah (Al-Ghouti et al., 2023; Huang et al., 2023). Variasi dalam batas deteksi antar teknik juga menyulitkan perbandingan hasil antar studi (Al-Ghouti et al., 2023; Li et al., 2024b).

Kurangnya metode analisis standar dan batas deteksi yang bervariasi di berbagai studi (Al-Ghouti et al., 2023; Huang et al., 2023; Li et al., 2024b; Popa & Popa, 2023) merupakan tantangan signifikan untuk membandingkan dan mensintesis efisiensi penghilangan mikroplastik di berbagai teknologi filtrasi dan konteks lingkungan. Ketidakkonsistenan metodologis ini berarti bahwa persentase penghilangan yang dilaporkan mungkin tidak selalu dapat dibandingkan secara langsung karena perbedaan dalam cara mikroplastik didefinisikan, disiapkan, dan dihitung. Hal ini menunjukkan perlunya harmonisasi metodologis yang mendesak di bidang ini untuk memungkinkan analisis komparatif yang kuat dan untuk menginformasikan pedoman regulasi secara efektif.

Perbandingan Filter Pasir dengan Teknologi Penurunan Mikroplastik Lainnya

Filter pasir merupakan salah satu teknologi yang paling efektif dalam menurunkan kelimpahan mikroplastik, namun penting untuk membandingkannya dengan teknologi lain untuk memahami posisi dan peran optimalnya dalam sistem pengolahan air.

1. Membran Filtrasi (Ultrafiltrasi (UF), Nanofiltrasi (NF), Reverse Osmosis (RO), Membrane Bioreactor (MBR)): Teknologi membran sangat efektif dalam menghilangkan mikroplastik dan nanoplastik (NP) karena ukuran porinya yang sangat kecil, mampu menjebak partikel plastik, termasuk NP (Al-Ghouti et al., 2025; Aydin & Yilmaz, 2023). Sistem RO, khususnya, dapat menyaring hingga 99.9% partikel mikroplastik dari air minum (Just Plumbing AZ, n.d.). Membrane Bioreactor (MBR) juga menunjukkan efisiensi eliminasi yang sangat tinggi, seringkali di atas 99% (Aydin & Yilmaz, 2023; Just Plumbing AZ, n.d.). Namun, salah satu kelemahan utama membran adalah potensi mereka menjadi sumber polusi plastik sekunder karena abrasi selama penggunaan dan pembuangan sebagai limbah (Al-Ghouti et al., 2025). Tantangan lain termasuk *fouling* membran, yang dapat mengurangi efisiensi dan meningkatkan biaya operasional, serta biaya investasi dan operasional yang umumnya lebih tinggi dibandingkan filter pasir (Al-Ghouti et al., 2025).
2. Karbon Aktif Granular (GAC): GAC dapat menghilangkan mikroplastik, terutama melalui filtrasi fisik (penjebakan dan keterikatan) daripada adsorpsi, karena ukuran pori GAC yang kecil dibandingkan mikroplastik (Napi & Zaini, 2023). Efisiensi penghilangan GAC dapat mencapai 95.5% pada konsentrasi mikroplastik rendah, tetapi cenderung menurun dengan peningkatan konsentrasi karena saturasi media (Napi & Zaini, 2023). GAC juga memiliki keuntungan karena situs aktifnya dapat diregenerasi melalui *backwashing* (Napi & Zaini, 2023). Namun, filter *Point-of-Use* (POU) yang hanya menggunakan GAC dan *ion*

- exchange* (IX) menunjukkan kinerja yang buruk dalam penghilangan fragmen mikroplastik, bahkan kadang-kadang menghasilkan lebih banyak partikel di efluen dibandingkan influen (Kimbrough & Safford, 2023).
3. Koagulasi/Flokulasi/Sedimentasi: Metode tradisional ini efektif untuk mikroplastik yang lebih besar (Al-Ghouti et al., 2025). Koagulasi yang dikombinasikan dengan sedimentasi menunjukkan efisiensi penghilangan 40.5–54.5%, terutama untuk serat (Li et al., 2024b). Efisiensi koagulasi dapat meningkat ketika permukaan plastik telah mengalami pelapukan, karena perubahan kimia permukaan dan kekasaran memengaruhi afinitas mikroplastik terhadap koagulan dan flokulan (Farner, 2020). Proses ini dapat menghilangkan 16.5–98.4% mikroplastik pada tahap primer dan 7.0–99.9% pada tahap sekunder pengolahan air limbah (Al-Ghouti et al., 2024).
 4. Proses Oksidasi Lanjut (AOPs): AOPs seperti fotokatalisis dan ozonasi dapat mendegradasi MP menjadi molekul yang lebih kecil melalui pembentukan spesies oksigen reaktif (Al-Ghouti et al., 2025). Namun, AOPs seringkali tidak layak untuk aplikasi skala penuh karena kondisi operasional yang intensif, seperti suhu tinggi, pH rendah, dan waktu reaksi yang lama. Selain itu, ozonasi bahkan dapat meningkatkan fragmentasi mikroplastik, berpotensi menciptakan mikroplastik baru yang lebih kecil dan lebih sulit untuk dihilangkan.

Implikasi Perbandingan:

Filter pasir menawarkan solusi yang efektif dan hemat biaya untuk penghilangan mikroplastik, terutama untuk partikel berukuran sedang hingga besar (Al-Ghouti et al., 2023; Hilaris Publisher, n.d.). Meskipun teknologi membran menawarkan efisiensi yang lebih tinggi untuk mikroplastik yang sangat kecil dan NP, mereka datang dengan biaya yang lebih tinggi, tantangan fouling, dan potensi pelepasan polusi sekunder (Al-Ghouti et al., 2025). Oleh karena itu, filter pasir sering digunakan sebagai tahap pengolahan tambahan atau dalam kombinasi dengan proses lain untuk mencapai penghilangan mikroplastik yang komprehensif dalam sistem pengolahan air minum (Al-Ghouti et al., 2023; Aydin & Yilmaz, 2023; Eckert & Gremm, 2021; Li et al., 2024b; Wasser 3.0, n.d.).

Filtrasi pasir, meskipun sangat efektif, seringkali merupakan bagian dari proses pengolahan air multi-tahap (Al-Ghouti et al., 2023; Aydin & Yilmaz, 2023; Eckert & Gremm, 2021; Li et al., 2024b; Wasser 3.0, n.d.). Ini menunjukkan bahwa penghilangan mikroplastik yang komprehensif memerlukan pendekatan terpadu. Filter pasir memainkan peran penting dalam sistem terintegrasi ini, tetapi mungkin bukan solusi tunggal untuk semua ukuran atau konsentrasi mikroplastik. Misalnya, filter pasir dapat secara efektif menghilangkan mikroplastik yang lebih besar, sementara teknologi lanjutan seperti membran atau GAC mungkin diperlukan untuk partikel yang lebih kecil atau nanoplastik. Dengan demikian, kombinasi teknologi yang tepat dapat mengoptimalkan efisiensi penghilangan mikroplastik secara keseluruhan dan mengatasi berbagai karakteristik mikroplastik yang ditemukan di air baku.

KESIMPULAN

Berdasarkan tinjauan literatur, dapat disimpulkan bahwa filter pasir, terutama Rapid Sand Filtration (RSF), memiliki efektivitas tinggi dalam menyisihkan mikroplastik dari air baku, dengan efisiensi mencapai 98% untuk partikel berukuran di bawah 10 µm dan lebih dari 90% untuk partikel yang lebih besar. Efisiensi ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti ukuran efektif media filter, karakteristik mikroplastik, kecepatan aliran, dan rutinitas backwashing. Slow Sand Filtration (SSF) juga menunjukkan potensi efisiensi hingga 99,5%, namun penelitian tentang mekanisme dan optimalisasinya masih terbatas. Tantangan utama dalam analisis mikroplastik adalah kurangnya metode standar, yang menyulitkan perbandingan hasil antar studi. Selain itu, filter pasir sering menjadi bagian dari sistem pengolahan multi-tahap, bekerja sama dengan teknologi lain seperti membran atau karbon aktif untuk mencapai hasil yang lebih komprehensif.

REKOMENDASI

Untuk meningkatkan efektivitas dan implementasi filter pasir, beberapa rekomendasi dapat diterapkan. Pertama, optimalisasi desain filter dengan menggunakan media berukuran

efektif kecil (0,4 mm) untuk meningkatkan efisiensi penghilangan mikroplastik berukuran kecil. Kedua, standarisasi metode analisis mikroplastik diperlukan untuk memastikan konsistensi dan keakuratan data. Ketiga, integrasi filter pasir dengan teknologi lain seperti koagulasi atau membran dapat meningkatkan kinerja secara keseluruhan. Selain itu, pemeliharaan rutin seperti backwashing harus dilakukan untuk menjaga efisiensi sistem. Bagi Depot Air Minum Isi Ulang (DAMIU), penggunaan RSF dual-media dengan backwashing rutin sangat disarankan untuk memenuhi standar kesehatan. Terakhir, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi kinerja SSF dan dampak nanoplastik, serta mengembangkan solusi yang lebih terjangkau dan efektif. Dengan langkah-langkah ini, filter pasir dapat menjadi solusi berkelanjutan dalam mengurangi kontaminasi mikroplastik di air minum.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Ghouti, M. A., Al-Saad, K. A., & Al-Saad, K. M. (2023). Removal of microplastic from industrial wastewater in plastic recycling using sand filtration. *Water*, 15(5), 896.
- Al-Ghouti, M. A., Al-Saad, K. A., & Al-Saad, K. M. (2024). Microplastic elimination by hydrolysis acidification in municipal wastewater treatment plants. *Water*, 17(4), 574.
- Al-Ghouti, M. A., Al-Saad, K. A., & Al-Saad, K. M. (2025). Current and Emerging Strategies for Microplastic and Nanoplastic Removal from Environmental Matrices: A Comprehensive Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(2), 17.
- Aydin, S., & Yilmaz, A. E. (2023). A review of microplastic removal from water and wastewater by membrane technologies. *Water Science and Technology*, 88(1), 199–216.
- Clark, P. A., Arango Pinedo, C., Fadus, M., & Capuzzi, S. (2012). Slow-sand water filter: Design, implementation, accessibility and. *Journal of Health Care for the Poor and Underserved*, 23(4), 1633–1643.
- Destiquama, D., Hasriyanti, H., & Arfan, A. (2019). Studi Kelayakan Air Tanah untuk Kebutuhan Air Minum di Kelurahan Romang Polong Kecamatan Somba Opu Kabupaten Gowa. *Jurnal Environmental Science*, 2(1).
- Eckert, J., & Gremm, T. (2021). Microplastic Elimination by Sand Filtration in Municipal and Industrial Wastewater Treatment Plants. *Water*, 13(1), 33.
- Farner, J. M. (2020). Understanding and Improving Microplastic Removal during Water Treatment: Impact of Coagulation and Flocculation. *Environmental Science & Technology*, 54(14), 8617–8626.
- Galgani, F., & Hanke, G. (2017). *Guidance on monitoring of marine litter in European seas*. Joint Research Centre. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5226407/>
- Hilaris Publisher. (n.d.). *Removal of Microplastics by Sand Filtration from Industrial Wastewater in Plastic Recycling*. Retrieved from <https://www.hilarispublisher.com/open-access/removal-of-microplastics-by-sand-filtration-from-industrial-wastewater-in-plastic-recycling-105027.html>
- Huang, Z., Hu, B., & Wang, H. (2023). Analytical methods for microplastics in the environment: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(1), 383–401.
- Just Plumbing AZ. (n.d.). *Does Reverse Osmosis Remove Microplastics? New Research Shows 99.9% Filtration Rate*. Retrieved from <https://justplumbingaz.com/blog/does-reverse-osmosis-remove-microplastics-new-research-shows-99-9-filtration-rate/>
- Kawahara, K. (n.d.). *Microplastic Automatic Preparation Device MAP-100*. Shimadzu Corporation. https://www.shimadzu.com/an/sites/shimadzu.com.an/files/pim/pim_document_file/applications/application_note/22119/an_01-00522-en.pdf
- Kimbrough, K. L., & Safford, H. R. (2023). Microplastic Removal from Drinking Water Using Point-of-Use Devices. *Water*, 15(6), 1100.
- Kusumawardani, S., & Larasati, A. (2020). Analisis konsumsi air putih terhadap konsentrasi. *Jurnal Holistika*, 4(2), 91–95.
- Li, H., Wang, Y., Zhang, Y., & Li, Y. (2024a). Rapid sand filtration for <10 µm-sized microplastic removal in tap water treatment: Efficiency and adsorption mechanisms. *Science of The Total Environment*, 912, 169074.

- Li, J., Zhang, Y., & Li, H. (2022). Removing microplastics from aquatic environments: A critical review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(1), 383–401.
- Li, Y., Zhang, Y., Wang, Y., & Li, H. (2024b). Mass concentration and removal characteristics of microplastics and nanoplastics in a drinking water treatment plant. *Environmental Science & Technology Water*. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsestwater.4c00222>
- Mila, W., Nabilah, S. L., & Puspikawati, S. I. (2020). Higiene dan Sanitasi Depot Air Minum Isi Ulang di Kecamatan Banyuwangi Kabupaten Banyuwangi Jawa Timur: Kajian Deskriptif. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, 16(1), 7–15.
- Mississippi State University Extension. (n.d.). *Microplastics Sampling and Processing Guidebook*. Retrieved from <http://extension.msstate.edu/publications/microplastics-sampling-and-processing-guidebook>
- Napi, N. N. A. M., & Zaini, M. A. A. (2023). Column-based removal of high concentration microplastics in synthetic wastewater using granular activated carbon. *Journal of Water Process Engineering*, 56, 104526.
- Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan (2023). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/245563/per>
- Popa, A. M., & Popa, M. (2023). Microplastics: A Global Threat to the Environment and Food Safety. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 24(1), 1–12.
- Sembiring, E., & Sinaga, S. (2021). Performance of rapid sand filter single media to remove microplastics. *Water Supply*, 21(5), 2273–2284.
- Syarif, M., Daud, A., & Natsir, M. F. (2021). Identifikasi Keberadaan dan Bentuk Mikroplastik pada Air Minum Isi Ulang di Kelurahan Tamangapa Kota Makassar: Identification of the Existence and Form of Microplastic in Refilled Drinking Water in Tamangapa Village, Makassar City. *Hasanuddin Journal of Public Health*, 2(3), 346–354.
- Wasser 3.0. (n.d.). *New data on microplastic removal from wastewater*. Retrieved from <https://wasserdreinull.de/en/blog/new-data-on-microplastic-removal-from-wastewater/>
- Widianarko, Y. B., & Hantoro, I. (2018). *Mikroplastik dalam Seafood dari Pantai Utara Jawa*. Penerbit Universitas Katolik Soegijapranata.
- Wulandari, M., Marpaung, K., Prasaningtyas, A., Yorika, R., Harfadli, M. M., & Zulfikar, A. (2024). Performance of Rapid Sand Filter Dual Media for Microplastic Removal in the Water: The Effect of Microplastic Size and Effective Size of Filter Media. *Journal of Community Based Environmental Engineering and Management*, 8(1), 103–110.