

## REVIEW PENGOLAHAN AIR TINGKAT LANJUT UNTUK PENYISIHAN PENCEMARAN NANOPLASTIK

Widia Putri<sup>1</sup>, Puti Sri Kumala<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Teknik Lingkungan, Universitas Andalas, 25175 Indonesia

Email: putisrikomala@eng.unand.ac.id

**Abstrak:** Air minum merupakan kebutuhan mendasar yang sangat penting bagi manusia. Salah satu pencemaran air minum yang terdeteksi sangat mempengaruhi kualitas adalah kandungan nanoplastik. Pada ekosistem perairan, nanoplastik merupakan bahan yang tidak dapat terurai. Melalui review singkat ini akan ditinjau efisiensi penyisihan nanoplastik dengan menggunakan berbagai metode pengolahan air. Beberapa metode pengolahan yang ditinjau adalah penyisihan nanoplastik menggunakan pengolahan filtrasi, adsorpsi, pembubuhan koagulan dan flokulan, dan CFS (Koagulasi/Flokulasi Sedimentasi). Metode penelitian yang digunakan adalah tinjauan literatur terkait pengolahan air minum untuk penyisihan pencemaran oleh nanoplastik. Kesimpulan dari tinjauan literatur yaitu proses pengolahan air minum dengan filtrasi dengan pembubuhan koagulan merupakan pengolahan yang paling efisien untuk menyisihkan pencemaran oleh nanoplastik yaitu mencapai 99,9 %.

**Kata Kunci :** Air Minum, Filtrasi, Adsorpsi, Koagulan, Nanoplastik.

**Abstract :** *Drinking water is a very important basic need for humans. One of the detected drinking water pollution that greatly affects the quality is the content of nanoplastics. In aquatic ecosystems, nanoplastics are materials that cannot be decomposed. Through this brief review, the efficiency of removing nanoplastics using various water treatment methods will be reviewed. Some of the treatment methods reviewed are nanoplastic removal using filtration, adsorption, coagulant and flocculant addition, and CFS (Coagulation/Flocculation Sedimentation). The research method used is a literature review related to drinking water treatment to eliminate pollution by nanoplastics. The conclusion from the literature review is that the process of treating drinking water by filtration with the addition of coagulants is the most efficient treatment for removing pollution by nanoplastics, reaching 99.9%.*

**Keyword :** *Drinking water, Filtration, adsorption, coagulant, Nanoplastic.*

### PENDAHULUAN

Nanoplastik dianggap mempunyai resiko bagi kesehatan manusia dan lingkungan (Cao et al., 2021). Hal ini dikarenakan ukurannya yang kecil, nanoplastik berukuran lebih kecil dari 0,001 mm (Huang et al., 2021). Keberadaan nanoplastik pada seluruh bagian rantai makanan yang ada di biosfer (Ramirez Arenas et al, 2022). Bahaya nanoplastik terhadap kehidupan baik pada hewan, tumbuhan dan manusia menjadi isu hangat di era modern (Zhou et al, 2022).

Dalam ekosistem perairan, nanoplastik disebutkan sebagai polusi putih, hal ini akibat residu film plastik yang tidak dapat terurai, penyebabnya adalah penggunaan plastic yang berlebihan dan tingkat daur ulang yang rendah (Vázquez & Rahman, 2021). Literatur menunjukkan bahwa nanoplastik memiliki banyak aspek dampak adsorpsi pada proses seperti pertumbuhan, mekanisme seluler generasi neonatus, dan perilaku material perhatian (Catarino et al., 2019). Sejumlah besar plastik yang terakumulasi di lingkungan perairan menghasilkan pembentukan nanoplastik setelah degradasi, sedangkan pengangkutannya

melalui rantai makanan berdampak signifikan terhadap lingkungan darat dengan menghasilkan toksisitas dan penyakit (Mofijur et al., 2021). Fungsi permukaan dan muatan nanoplastik memainkan peran penting pada efek ekotoksikologi dan ekologi (Ly et al, 2021; Vighi et al., 2021).

Teknologi pengolahan air untuk menghilangkan nanoplastik masih sangat sulit, terutama untuk mengukur, menganalisis, dan mengidentifikasi nanoplastik (Nath et al, 2020). Menghilangkan Nanoplastik dari air minum dapat melalui metode seperti filtrasi, sentrifugasi dan penggunaan membran, di mana efisiensi penyisihan menunjukkan tingkat penyisihan yang cukup tinggi (Ganie et al., 2021). Selain itu nanoplastik juga dapat disihkan melalui pembubuhan koagulan dan proses adsorpsi. Jenis nanoplastik, perubahan iklim, jumlah penggunaan air, metode diadopsi, komposisi air minum merupakan hal penting selama proses penyisihan.

Beberapa hasil studi telah melaporkan bahwa nanoplastik pada biofilm yang ditemukan di lingkungan perairan, juga memiliki bahan organik, bakteri dan organisme lainnya (Mortensen et al, 2021). Biofilm yang terbentuk mengubah karakteristik nanoplastik dan kemudian mempersulit kinerja pengolahan air minum (Siegel et al., 2021). Studi lainnya menjelaskan bahwa substrat nanoplastik sangat spesifik dan terdapat dalam pasokan air kota (Mortensen et al, 2021).

## METODE

Metode penelitian yang digunakan berupa tinjauan literatur dengan topik pengolahan air dengan berbagai teknologi untuk penyisihan pencemar nanoplastik. Jurnal dikumpulkan dari Google Scholar dengan prioritas terbitan 3 tahun terakhir (2020-2023).

Berdasarkan beberapa jurnal yang dikaji terkait dengan proses pengolahan air minum untuk penyisihan nanoplastik, kegiatan yang dilakukan terlebih dahulu adalah menguji kadar nanoplastik pada sampel sebelum dilakukan proses pengolahan. Kemudian langkah selanjutnya adalah dilakukan pembubuhan koagulan dan flokulan dengan jumlah dosis tertentu. Proses selanjutnya dilakukan proses pengolahan untuk penyisihan nanoplastik. Proses pengolahan yang dilakukan antara lain Adsorpsi, CFS (Koagulasi/Flokulasi Sedimentasi), Filtrasi.

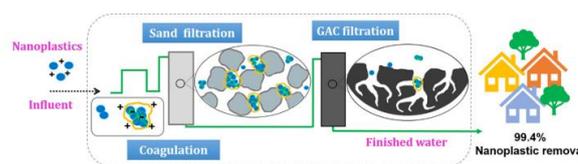
Output yang dihasilkan dari proses pengolahan air minum tersebut dilakukan pengujian laboratorium

untuk membandingkan kandungan yang ada dalam air minum sebelum dilakukan pengolahan dan sesudah dilakukan pengolahan. Hasil dari perbandingan tersebut akan menentukan tingkat efisiensi penyisihan pencemaran air oleh nanoplastik dengan metode-metode pengolahan yang berbeda.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Efisiensi Penyisihan Nanoplastik Polystyrene (PS) dengan pengolahan filtrasi menggunakan media pasir dan GAC

Penelitian dilakukan air permukaan alami dari Danau Jenewa, yang saat ini digunakan sebagai sumber air minum untuk 500.000 konsumen. Pilot-scale dilakukan dengan memompakan air dari Danau Jenewa dengan laju aliran 1 m<sup>3</sup>/jam. Kemudian koagulan diinjeksikan sebesar 0,36 mg/L Al menggunakan Polyaluminum Chloride (PACl). Filtrasi dengan media pasir menggunakan media ganda yaitu batu apung dan pasir kuarsa sedangkan Filter GAC menggunakan campuran batu bara bituminous sebesar 75 % dan 25 % karbon aktif dari tempurung kelapa. Kecepatan filtrasi sama yaitu 5,5 m/jam untuk filter pasir dan GAC (Ramirez Arenas et al., 2022).



Gambar 1. Efisiensi penyisihan Nanoplastik PS dengan Pengolahan Filtrasi (Pasir dan GAC)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan nanoplastik PS dengan menggunakan pengolahan filtrasi media pasir maupun GAC, jika tidak dibubuhi koagulan akan mencapai 88,1 %. Efisiensi penyisihan dengan pengolahan filtrasi terutama disebabkan karena adanya retensi fisik dan mekanisme adsorpsi. Karena porositas dan kapasitas adsorpsinya yang tinggi, efisiensi penyisihan dengan Filtrasi GAC lebih tinggi daripada Filtrasi pasir. Disamping itu pembubuhan koagulan terbukti dapat meningkatkan efisiensi penyisihan nanoplastik. Pembubuhan koagulan PACl terbukti mampu menyisihkan nanoplastik selama proses pengolahan air minum hingga mencapai 99,4 %. Efisiensi penyisihan yang efektif dengan Filtrasi media pasir meningkat dari 54,3 % menjadi 99,2 % apabila dibubuhi koagulan. Tingginya efisiensi penyisihan jika dilakukan penambahan koagulan disebabkan karena terbentuknya agregat nanoplastik yang besar

sehingga meningkat retensi pada media filter. Selain itu penambahan koagulan mampu mengurangi muatan permukaan nanoplastik PS bahkan hingga mencapai kondisi netralisasi. Hal tersebut dapat mengurangi gaya tolak menolak antara nanoplastik dengan media filter, sehingga dapat meningkatkan retensi dan penyisihan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanoplastik yang bermuatan positif hampir disisihkan secara keseluruhan selama proses pengolahan air minum termasuk pada proses koagulasi, Filtrasi media pasir dan filtrasi GAC (Ramirez Arenas et al., 2022).

### **Efisiensi Adsorpsi dan Penyisihan Nanoplastik oleh Karbon Aktif Granular (GAC) pada proses pengolahan Air Minum**

Penelitian dilakukan dengan air murni dan air permukaan alami dari Danau Jenewa, yang saat ini digunakan sebagai sumber air minum untuk setengah juta konsumen. Untuk mengukur proses adsorpsi, model adsorpsi yang berbeda diterapkan pada data eksperimen untuk mengevaluasi kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyisihan adsorben (Ramirez Arenas et al., 2021). Air di Danau Jenewa diambil di inlet pada instalasi pengolahan air minum di Jenewa. Air dari Danau Jenewa disaring menggunakan filter membran dengan ukuran pori sama dengan 0,2  $\mu\text{m}$  (Merck Millipore Ltd., Swiss). Kapasitas adsorpsi GAC dan efisiensi penyisihan nanoplastik dalam penelitian ini didasarkan pada pengukuran kekeruhan (nephelometric). pengukuran kekeruhan umumnya digunakan di instalasi pengolahan air minum sebagai parameter pengatur kontaminasi partikulat dalam air dan memainkan peran penting dalam pemantauan kualitas air (Gregory, 1998). Kekeruhan tersuspensi nanoplastik diukur dalam eksperimen menggunakan Hach Turbidimeter TU5200 dengan laser pemancar infra merah pada 850 nm (Hach Lange, Swiss).

### **Nanoplastik PS dan karakterisasi karbon aktif**

Nilai muatan permukaan dan stabilitas partikel nanoplastik PS dikarakterisasi dalam air murni dengan mengukur potensial  $\zeta$  dan variasi diameter hidrodinamik rata-rata sebagai fungsi pH. Dari penelitian dihasilkan bahwa GAC memiliki jumlah pori yang signifikan dengan ukuran dan bentuk yang berbeda. Pori-pori GAC relatif besar dengan ukuran bervariasi antara 15  $\mu\text{m}$  dan kira-kira 10  $\mu\text{m}$ , memberikan permukaan tambahan sehingga partikel nanoplastik PS bisa mengendap dan menembus. Pori-pori yang lebih kecil juga ditemukan dengan ukuran terdiri antara 100 nm dan 1  $\mu\text{m}$  (Ramirez Arenas et al., 2021).

### **Study Adsorpsi Batch pada Air Murni**

Pengaruh konsentrasi adsorben pada adsorpsi nanoplastik PS diteliti pada dosis GAC yang berbeda (dari 3 hingga 15 g/L) dan konsentrasi nanoplastik PS tetap (30 mg/L). Dari hasil penelitian, adsorpsi nanoplastik PS cepat pada tahap awal kemudian adsorpsi menjadi kurang efisien terutama pada konsentrasi adsorben yang tinggi. Ketika konsentrasi adsorben rendah, partikel dapat dengan mudah mengakses adsorpsi. Di sisi lain, efisiensi penyisihan nanoplastik PS meningkat dengan peningkatan konsentrasi adsorben karena peningkatan luas permukaan dan jumlah adsorpsi dengan dosis GAC (Bhattacharyya & Gupta, 2008). Efisiensi pemindahan nanoplastik PS meningkat dengan cepat hingga 38% hingga dosis 7 g/L kemudian meningkat perlahan menjadi 15 g/L GAC dengan 50% penyisihan. Semua suspensi nanoplastik PS stabil selama semua percobaan dan tidak ada agregasi dan modifikasi pH yang diamati dengan dosis GAC yang berbeda (Ramirez Arenas et al., 2021).

### **Study Adsorpsi Batch pada Air Permukaan**

Untuk melihat pengaruh konsentrasi awal nanoplastik PS dan waktu kontak, penelitian dilakukan di air Danau Jenewa pada pH  $8,4 \pm 0,1$  dan GAC tetap pada konsentrasi 5 g/L, serta peningkatan konsentrasi nanoplastik PS dari 5 sampai 40 mg/L. Hasil menunjukkan peningkatan kapasitas adsorpsi seiring dengan peningkatan konsentrasi PS dan waktu kontak. Efisiensi penyisihan nanoplastik meningkat dari 78 % hingga 90 % dengan meningkatnya konsentrasi dari 5 mg/L hingga 20 mg/L (Ramirez Arenas et al., 2021).

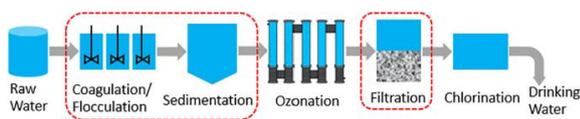
Dalam air murni adsorpsi dan efisiensi penyisihan nanoplastik didominasi oleh elektrostatik antara nanoplastik bermuatan positif dan GAC bermuatan negatif. Pada air permukaan Danau Jenewa proses adsorpsi dipengaruhi oleh agregasi. Kapasitas adsorpsi ditemukan meningkat secara signifikan dengan peningkatan konsentrasi nanoplastik PS. Efisiensi penyisihan yang lebih tinggi juga ditemukan pada air Danau Jenewa terutama pada konsentrasi nanoplastik yang lebih tinggi (10 hingga 40 mg/L), yaitu penyisihan mencapai 90 % pada konsentrasi 20 mg/L (Ramirez Arenas et al., 2021).

Dalam air Danau Jenewa kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyisihan nanoplastik PS ditemukan tiga kali lebih tinggi daripada air ultra murni dan meningkat secara signifikan seiring meningkatnya konsentrasi nanoplastik PS dengan kapasitas adsorpsi maksimum 6,33 mg/g. Peningkatan

kapasitas adsorpsi ini disebabkan oleh adanya Dissolved Organic Matter (DOM), yang mengakibatkan modifikasi muatan permukaan PS, adanya ion divalen memungkinkan adsorpsi kompleks PS-DOM, dan, agregasi nanoplastik PS. Untuk penyisihan nanoplastik pada instalasi pengolahan air minum konvensional, study ini menunjukkan bahwa GAC yang dihasilkan dari sumber terbarukan dapat dianggap sebagai adsorben moderat untuk penyisihan nanoplastik PS bermuatan positif (Ramirez Arenas et al., 2021).

### **Efisiensi penghilangan mikro dan nanoplastik (180 nm–125 $\mu$ m) pada pengolahan air minum dengan menggunakan CFS dan Filtrasi**

Studi ini menyelidiki efisiensi penyisihan mikro dan nanoplastik (180 nm–125  $\mu$ m) pada pengolahan air minum, yaitu dengan menggunakan pengolahan secara koagulasi/flokulasi yang dikombinasikan dengan sedimentasi (CFS) dan filtrasi granular dalam kondisi kerja biasa di instalasi pengolahan air (WTP) (Zhang et al., 2020). Penelitian dengan Pengolahan bench-scale untuk CFS dan filtrasi dilakukan untuk meniru kondisi kerja di WTP Detroit dioperasikan oleh Great Lakes Water Authority (GLWA).



Gambar 2. Proses pengolahan air minum diadopsi di Detroit WTP. Koagulasi/flokulasi dikombinasikan dengan sedimentasi (CFS) dan filtrasi dipilih untuk mempelajari efisiensi penyisihan mikro dan nanoplastik.

Dari hasil studi yang telah dilakukan oleh Yongli Zhang et al tahun 2020, pada umumnya proses penyisihan mikroplastik dan nanoplastik dengan menggunakan metode pengolahan CFS (Koagulasi/Flokulasi dan Sedimentasi) sangat rendah. Tanpa adanya koagulan laju penyisihan untuk partikel berukuran 45-53  $\mu$ m hanya berkisar kurang dari 2 %. Sedangkan jika dibubuhkan koagulan laju penyisihan yang dapat dilakukan adalah 16,5 %. Sedangkan jika penyisihan mikro dan nanoplastik menggunakan metode pengolahan Filtrasi, maka efisiensi penyisihan jauh lebih tinggi dibandingkan CFS. Efisiensi penyisihan menggunakan filtrasi bisa mencapai 86,5 % hingga 99,9 %. Partikel yang lebih besar dari 100  $\mu$ m bisa disisihkan hingga 99,9 % (Zhang et al., 2020).

### **Sedimentasi nanoplastik dengan menggunakan kombinasi flokulan Ca/Al**

Penelitian dilakukan pada air yang diambil di danau Universitas Pertanian di China Selatan. Penyisihan nanoplastik dengan menggunakan proses flokulasi merupakan pengolahan yang efektif untuk remediasi air yang terkontaminasi (Chen et al., 2020). Ion aluminium dan kalsium digunakan sebagai flokulan untuk proses pengolahan flokulasi dan sedimentasi.

Selama proses sedimentasi, kristal lebih mudah dibentuk oleh kalsium dan ion aluminium dengan adanya peningkatan pH, dan kristal terbentuk pada pH 10. Flokulan yang digunakan dapat secara efektif mengendapkan nanoplastik setelah adanya proses koagulasi dan pengadukan.

Dalam kondisi asam di mana pH di bawah 5, muatan permukaan negatif nanoplastik berkurang karena tingginya konsentrasi ion hidrogen dan muatan positif ion kalsium dan aluminium. Dalam kondisi yang cukup basa dengan pH di atas 5, ion kalsium dan aluminium secara bertahap membentuk kristal yang dapat menangkap nanoplastik. Secara keseluruhan, adsorpsi elektrostatis dan gaya molekul merupakan mekanisme utama untuk pengendapan nanoplastik (Chen et al., 2020).

Efisiensi pengendapan nanoplastik dengan menggunakan ion kalsium dan aluminium sebagai flokulan bisa mencapai 80%. Penangkapan nanoplastik dengan flokulan Ca/Al merupakan metode dan wawasan baru yang dapat digunakan pada proses pengolahan air minum (Chen et al., 2020).

### **Penyisihan Nanoplastik pada pengolahan air minum menggunakan filtrasi, ozonisasi, dan karbon aktif.**

Penelitian dilakukan pada air danau di Zurich (merupakan sumber air minum untuk kota Zurich, Swiss). Air danau diambil pada kedalaman 30 m dari pintu masuk DWTP Danau Zurich yang disaring menggunakan filter membran 0,45  $\mu$ m. Metode pengolahan yang digunakan pada penelitian ini adalah ozonisasi dan filtrasi dengan media pasir dan karbon aktif. Diameter rata-rata media pasir adalah 450  $\mu$ m. Koefisien keseragaman berkisar antara 1,71 dan 1,78 untuk semua media filtrasi (Pulido-Reyes et al., 2022).

Dari hasil penelitian secara pilot-scale maupun penelitian di laboratorium, proses ozonisasi dengan menggunakan kadar ozon yang sesuai untuk pengolahan air minum hampir tidak berpengaruh

pada penyisihan nanoplastik. Dari hasil penelitian di laboratorium (eksperimen kolom) diperlihatkan bahwa adanya pengaruh kondisi operasional, sifat kimia air, serta jenis media filter yang digunakan pada efisiensi penyisihan nanoplastik. Menambah panjang filter dan mengurangi laju aliran air terbukti mempengaruhi retensi nanoplastik (Pulido-Reyes et al., 2022).

Disamping itu penggunaan air danau sebagai bahan untuk penelitian menyebabkan berkurangnya transportasi nanoplastik. Hal ini terjadi kemungkinan disebabkan karena terjadinya kompresi lapisan ganda listrik dan media filtrasi akibat kekuatan ionik yang tinggi pada air danau. Selain itu pembentukan biofilm pada media filtrasi merupakan salah satu penyebab penting dalam meningkatkan efisiensi penyisihan nanoplastik. Pada penelitian yang dilakukan dengan menggunakan media filter pasir yang telah berumur, efisiensi penyisihan nanoplastik meningkat dari 43 % menjadi 77 %. Pada penelitian yang dilakukan terlihat bahwa penyisihan nanoplastik cukup efisien jika menggunakan media pasir sebagai filter, namun terjadi pengurangan retensi pada media karbon aktif (Pulido-Reyes et al., 2022).

Sistem pengolahan air minum (DWTP) full-scale dengan filtrasi cepat maupun lambat (media pasir dan karbon aktif) yang dimodelkan secara pilot-scale dan percobaan di laboratorium terbukti mampu menyisihkan nanoplastik yang cukup tinggi ( $> 3\text{-log } 10$ ) pada air danau. Namun secara keseluruhan Saringan pasir lambat lebih mampu dalam menahan nanoplastik yaitu dengan penyisihan sekitar  $3\text{-log } 10$ . Terjadinya pertumbuhan biofilm pada saringan pasir lambat mengakibatkan tingginya efisiensi penyisihan nanoplastik ( $> 99,9\%$ ) (Pulido-Reyes et al., 2022).

## KESIMPULAN

Nanoplastik merupakan pencemar air yang mampu bertahan di lingkungan lebih lama daripada polutan lainnya. Proses degradasi dan efisiensi penyisihan nanoplastik dapat ditingkatkan dengan berbagai langkah pengolahan air. Beberapa metoda pengolahan yang sangat efektif dan efisien untuk menyisihkan nanoplastik pada pengolahan air minum adalah proses Filtrasi, proses koagulasi, sedimentasi dengan bantuan flokulan Al/Ca, dan proses adsorpsi dengan pembubuhan GAC.

Penyisihan nanoplastik dengan proses filtrasi sangat efisien yaitu bisa mencapai 99,9 % penyisihan jika ditambahkan pembubuhan koagulan. Meningkatnya efisiensi penyisihan

dengan pembubuhan koagulan karena terbentuknya agregat nanoplastik yang lebih besar sehingga meningkatkan retensi pada media filter. Selain itu proses pengendapan (sedimentasi) juga sangat efisien jika ditambahkan flokulan aluminium dan kalsium. Penyisihan nanoplastik bisa mencapai 80 % apabila ditambahkan flokulan Al/Ca. Metode penyisihan nanoplastik menggunakan ion Al dan Ca, merupakan pengetahuan baru yang membutuhkan penelitian lebih lanjut. Untuk penyisihan dengan menggunakan proses adsorpsi yang ditambahkan dosis GAC juga sangat efisien. Efisiensi penyisihan nanoplastik pada air permukaan menggunakan proses adsorpsi bisa mencapai 90 % dengan penambahan dosis GAC sebesar 20 mg/L.

## REFERENSI

- Bhattacharyya, K. G., & Gupta, S. Sen. (2008). Kaolinite and montmorillonite as adsorbents for Fe (III), Co (II) and Ni (II) in aqueous medium. *Applied Clay Science*, 41(1–2). <https://doi.org/10.1016/j.clay.2007.09.005>
- Cao, Y., Zhao, M., Ma, X., Song, Y., Zuo, S., Li, H., & Deng, W. (2021). A critical review on the interactions of microplastics with heavy metals: Mechanism and their combined effect on organisms and humans. In *Science of the Total Environment* (Vol. 788). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147620>
- Catarino, A. I., Frutos, A., & Henry, T. B. (2019). Use of fluorescent-labelled nanoplastics (NPs) to demonstrate NP absorption is inconclusive without adequate controls. *Science of the Total Environment*, 670. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.194>
- Chen, Z., Liu, J., Chen, C., & Huang, Z. (2020). Sedimentation of nanoplastics from water with Ca/Al dual flocculants: Characterization, interface reaction, effects of pH and ion ratios. *Chemosphere*, 252. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126450>
- Ganie, Z. A., Khandelwal, N., Tiwari, E., Singh, N., & Darbha, G. K. (2021). Biochar-facilitated remediation of nanoplastic contaminated water: Effect of pyrolysis temperature induced surface modifications. *Journal of Hazardous Materials*, 417. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126096>
- Gregory, J. (1998). Turbidity and beyond. *Filtration and Separation*, 35(1). [https://doi.org/10.1016/S0015-1882\(97\)83117-5](https://doi.org/10.1016/S0015-1882(97)83117-5)

- Huang, D., Tao, J., Cheng, M., Deng, R., Chen, S., Yin, L., & Li, R. (2021). Microplastics and nanoplastics in the environment: Macroscopic transport and effects on creatures. In *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 407). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124399>
- Mofijur, M., Ahmed, S. F., Rahman, S. M. A., Arafat Siddiki, S. Y., Islam, A. B. M. S., Shahabuddin, M., Ong, H. C., Mahlia, T. M. I., Djavanroodi, F., & Show, P. L. (2021). Source, distribution and emerging threat of micro- and nanoplastics to marine organism and human health: Socio-economic impact and management strategies. *Environmental Research*, 195. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110857>
- Pulido-Reyes, G., Magherini, L., Bianco, C., Sethi, R., von Gunten, U., Kaegi, R., & Mitrano, D. M. (2022). Nanoplastics removal during drinking water treatment: Laboratory- and pilot-scale experiments and modeling. *Journal of Hazardous Materials*, 436. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129011>
- Ramirez Arenas, L., Ramseier Gentile, S., Zimmermann, S., & Stoll, S. (2021). Nanoplastics adsorption and removal efficiency by granular activated carbon used in drinking water treatment process. *Science of the Total Environment*, 791. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148175>
- Ramirez Arenas, L., Ramseier Gentile, S., Zimmermann, S., & Stoll, S. (2022). Fate and removal efficiency of polystyrene nanoplastics in a pilot drinking water treatment plant. *Science of the Total Environment*, 813. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152623>
- Siegel, H., Fischer, F., Lenz, R., Fischer, D., Jekel, M., & Labrenz, M. (2021). Identification and quantification of microplastic particles in drinking water treatment sludge as an integrative approach to determine microplastic abundance in a freshwater river. *Environmental Pollution*, 286. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117524>
- Vázquez, O. A., & Rahman, M. S. (2021). An ecotoxicological approach to microplastics on terrestrial and aquatic organisms: A systematic review in assessment, monitoring and biological impact. In *Environmental Toxicology and Pharmacology* (Vol. 84). <https://doi.org/10.1016/j.etap.2021.103615>
- Vighi, M., Bayo, J., Fernández-Piñas, F., Gago, J., Gómez, M., Hernández-Borges, J., Herrera, A., Landaburu, J., Muniategui-Lorenzo, S., Muñoz, A., Rico, A., Romera-Castillo, C., Viñas, L., & Rosal, R. (2021). Micro and Nano-Plastics in the Environment: Research Priorities for the Near Future. In *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* (Vol. 257). [https://doi.org/10.1007/398\\_2021\\_69](https://doi.org/10.1007/398_2021_69)
- Zhang, Y., Diehl, A., Lewandowski, A., Gopalakrishnan, K., & Baker, T. (2020). Removal efficiency of micro- and nanoplastics (180 nm–125 µm) during drinking water treatment. *Science of the Total Environment*, 720. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137383>