

Analisis Jenis dan Kelimpahan Mikroplastik serta Pencemaran Logam Berat pada Hulu Sungai Bengawan Solo

✉ Muhammad Yusron dan Muhammad Asroul Jaza'

Departemen Biologi FMIPA UNS/ECOTON
(Lembaga Observasi Ekologis dan Konservasi Lahan Basah), Indonesia

ABSTRAK

Sungai Bengawan Solo merupakan sungai nasional yang menjadi sumber air baku bagi masyarakat dalam memenuhi berbagai kebutuhan diantaranya keperluan air pada beberapa sektor seperti perikanan, perkebunan, perairan, bahkan kehidupan organisme air. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui kondisi dan kualitas air sungai Bengawan Solo dan kelimpahan mikroplastik pada badan airnya. Metode penelitian mikroplastik terdiri dari sampling dan analisis laboratorium. Sampling dilakukan dengan metode kering, yaitu pencidukan air sebanyak 100 liter dengan plankton net kemudian disaring dengan kain kassa T165. Lokasi sampling dilakukan pada 5 titik yang memiliki aktivitas berbeda, yaitu Kali Samin Surakarta, Sungai Tempuran Jebres, Sungai Perbatasan Sukoharjo, dan dua titik berbeda di Waduk Wonoiri. Adapun analisis laboratorium dilakukan dengan metode shieving/pengayakan, digesti melalui destruksi sampel air dengan campuran larutan H₂SO₄ dan H₂O₂ dengan konsentrasi masing-masing 30% (perbandingan 3:1), separasi melalui sentrifugasi pada kecepatan 3000 rpm selama 15 menit, serta filtrasi dan pengamatan dengan mikroskop stereo yang dihubungkan dengan kamera DX230 dan skala 1:40. Hasil yang ditemukan adalah mikroplastik jenis fiber, fragmen, dan film dengan ditemukan kelimpahan mikroplastik 51 partikel per 100 liter airnya. Kelimpahan mikroplastik terbesar pada Sungai Perbatasan Sukoharjo yaitu 12 partikel/100 liter. Temuan lain menunjukkan Bengawan Solo di Sungai Samin tercemar logam berat khrom, kadmium, dan timbal, serta senyawa kimia berbahaya klorin dan nitrit. Tingkat pencemaran logam berat menunjukkan air sungai Bengawan Solo tidak memenuhi baku mutu air kelas 3.

Kata kunci: Bengawan Solo, Mikroplastik, Logam Berat

PENDAHULUAN

Plastik merupakan material yang mengandung polimer tinggi seperti polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), polivinil klorida (PVC) yang disertai zat aditif/tambahan seperti penstabil dan pigmen untuk meningkatkan kualitasnya (Andrady dan Neal, 2009). Adapun yang dimaksud dengan mikroplastik adalah partikel plastik yang terbagi menjadi: 1.) partikel primer yang sengaja diproduksi dalam ukuran kecil, misalnya: produk *personal care*, serta 2.) partikel sekunder yang berasal dari degradasi plastik yang ukurannya lebih besar, baik melalui

photodegradasi, oksidasi, degradasi hidrolitik, maupun biodegradasi menghasilkan bentuk dan ukuran yang berbeda (Rochman et al., 2019). Frias dan Nash (2019) juga menyebutkan bahwa mikroplastik adalah partikel padat sintetik atau matriks polimer, dengan bentuk teratur atau tidak beraturan dan dengan ukuran mulai dari 1 µm hingga 5 mm, baik asal manufaktur primer maupun sekunder, yang tidak dapat larut dalam air karena bersifat hidrofobik.

Berdasarkan ukurannya, Auta et al., (2017) membagi partikel plastik menjadi nanoplastik (berukuran kurang dari 0,1

✉ Corresponding author :
Address :-
Email : caer.official@gmail.com

mikron), mikroplastik (kurang dari 5 mm), mesoplastik (0,5-5 cm), makroplastik (5-50 cm), dan megaplastik (lebih dari 50 cm). Sedangkan menurut Kapo et al. (2020), partikel plastik dapat dibagi berdasarkan bentuknya, diantaranya: beads (produk kesehatan/personal care), nurdles (pre-produksi beads plastik), fiber (industri tekstil), foam (kemasan industri makanan), dan fragmen (degradasi produk plastik). Selain itu terdapat juga tipe pelet, film, filamen, dan lebih jauh lagi dikategorikan ke bentuk silindris, tak beraturan, disk, dll.

Widinarko dan Hantoro (2018) menyebutkan bahwa jenis mikroplastik yang umumnya ditemukan adalah fragmen, fiber, film, foam, dan pellet. Fragmen merupakan jenis mikroplastik yang berbentuk lembaran berukuran panjang rata rata 170 μm - 2000 μm dan luas area 9000 μm^2 - 170000 μm^2 . Adapun film merupakan jenis yang hampir mirip dengan fragmen namun jenis ini lebih tipis dan kecil dengan panjang rata rata antara 190 μm - 1390 μm dan luas areanya antara 950 μm^2 - 19000 μm^2 . Fiber merupakan jenis mikroplastik yang berbentuk serpihan serpihan kecil dengan panjang rata rata antara 250 μm - 550 μm , sedangkan *foam* merupakan jenis mikroplastik yang sering dikenal dengan polystyrene. Jenis ini merupakan mikroplastik dengan banyak serat menyerupai busa dan biasanya berbentuk lembaran tipis dengan ukuran 100 - 1000 μm . Jenis *pellet* merupakan jenis mikroplastik berbentuk bulat tipis dengan densitas yang sangat rendah sehingga biasanya jenis ini sering ditemukan pada permukaan perairan. Jenis ini mempunyai luas area berkisar antara 100 - 1000 μm^2 (Hiwari *etal*, 2019).

Xu et al. (2019) polusi mikroplastik telah tersebar di lingkungan terestrial/tanah dan daratan, termasuk lahan pertanian, perkebunan rumahtangga, green house, pesisir, industri, dan dataran rendah bantaran sungai (floodplain area). Pada tahun 2018, 25% dari 29,1 juta metrik ton plastik pasca konsumsi di Eropa berakhir di TPA. Polusi mikroplastik daratan/tanah biasanya disebabkan

karena buruknya pengelolaan sampah plastik, khususnya kemasan produk konsumsi. Pada lingkungan kelautan, serpihan plastik dapat ditemukan di dasar dan permukaan laut, serta garis pantai (Jambeck et al., 2015). Eriksen et al. (2014) memperkirakan kurang lebih 5,25 triliun partikel plastik termasuk 35.000 metrik ton mikroplastik mengapung di lautan. Sekitar 80 % polusi plastik di lautan diestimasikan berasal dari daratan, dimana jumlah perkiraan serpihan plastik di samudera dan lautan yaitu antara 4,8 dn 12,7 juta metrik ron per tahunnya. Mikroplastik juga ditemukan pada air tawar seperti danau, sungai, dan air tanah. Partikel ini terutama berasal dari polusi perkotaan, namun juga dapat berasal dari pelayaran, perikanan, pariwisata, sektor minyak dan gas, perawatan limbah cair tanaman, tekstil, buangan produk perawatan kesehatan pribadi, dan kemasan produk konsumsi (Schars er al., 2019).

Selain mikroplastik, polutan kimia berupa logam berat juga termasuk isu pencemaran yang terjadi di sungai dan lahan basah. Hal ini berbahaya karena mikroplastik mampu menyerap kontaminan, bahkan menurut Bellas dan Gil (2020) toksisitas logam berat yang telah di-absorpsi mikroplastik meningkat dan menjadi lebih berbahaya. Polutan logam berat yang umumnya ditemukan di sungai diantaranya arsenik, kadmium, kromium, tembaga, timah, nikel, dan seng, dimana semua polutan tersebut menimbulkan resiko bagi kesehatan manusia dan lingkungan (Lambert et al., 2000). Penyebab utama logam berat menjadi bahan pencemar berbahaya karena logam berat tidak dapat dihancurkan (*non degradable*) oleh organisme hidup di lingkungan dan terakumulasi ke lingkungan, terutama mengendap di dasar perairan membentuk senyawa kompleks bersama bahan organik dan anorganik secara absorpsi dan kombinasi. Biota air yang hidup dalam perairan yang tercemar logam berat, dapat mengakumulasi logam berat tersebut pada jaringan tubuhnya. Makin tinggi kandungan logam dalam

perairan akan semakin tinggi pula kandungan yang terakumulasi dalam tubuh biota tersebut (Kar,2008). Senyawa chromium (VI), seperti kalsium kromat, kromat seng, dan strontium sangat beracun serta bersifat karsinogenik, berbeda dengan kromium (III) yang termasuk suplemen gizi bagi hewan dan manusia karena memiliki peran penting dalam metabolisme glukosa. Penyerapan chromium heksavalen biasanya melalui saluran udara dan saluran pencernaan, dengan sumber pencemaran umumnya berasal dari pelapis logam pelindung, paduan logam, pita magnetic pigmen cat, karet, semen, kertas, pengawet kayu, penyamakan kulit logam plating (Martin & Griswold, 2009).

Bengawan Solo merupakan salah satu sungai terpanjang di Pulau Jawa yang mengalir sepanjang 600 km melintasi dua propinsi yaitu Jawa Tengah dan Jawa Timur dengan aktivitas manusia yang cukup tinggi pada bagian hulu, hilir, hingga muara. Aktivitas di bagian hulu Sungai Bengawan Solo adalah pertanian, bagian tengah merupakan daerah padat penduduk dan banyak ditemukan kegiatan industri dan daerah bagian hilir banyak ditemukan usaha tambak ikan. Aktivitas masyarakat yang paling menonjol di daerah Sungai Bengawan Solo di bagian tengah ini dapat berpengaruh langsung terhadap kehidupan organisme yang hidup di air. Sungai Bengawan Solo merupakan contoh tipe perairan umum daratan yang telah banyak mengalami modifikasi atau perubahan terutama untuk keperluan irigasi (Utomo *et al.*, 2004).

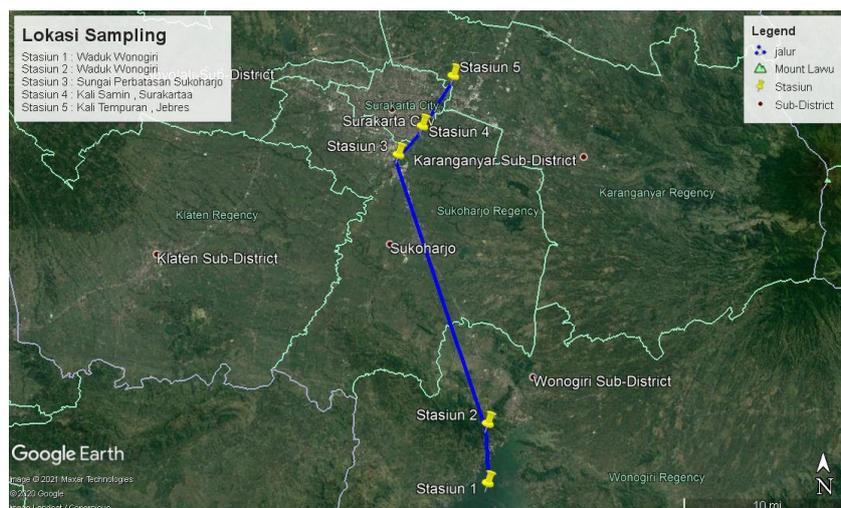
Sebagai sungai yang padat aktivitas penduduk, Sungai Bengawan Solo tentunya tidak lepas dari pencemaran, khususnya logam berat dan mikroplastik. Air sungai Bengawan Solo sebenarnya sudah tak layak menjadi sumber air baku, namun dikarenakan tidak ada alternatif lain, air sungai tersebut tetap digunakan. Data hidrologi Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo sepanjang 2018-2019

memperlihatkan kualitas air tercemar dengan skala ringan hingga berat di enam pos pemantauan. Rejekiningrum (2014) juga menyatakan bahwa analisis indeks kekritisan air (IKA) wilayah DAS Bengawan Solo mulai mendekati krisis air dengan nilai rerata 49,3%-69,8%.

Dua hal yang menjadi fokus penulis pada penelitian ini adalah tingkat pencemaran mikroplastik dan logam berat. Keduanya menjadi penting karena hingga saat ini, belum ada baku mutu mikroplastik pada perairan sungai. Padahal, mikroplastik perairan mampu menyerap kandungan logam berat dan rata-rata bersifat mobile, atau bergerak mengikuti arah arus (Hirt and Malapel, 2020). Sehingga secara tidak langsung, mikroplastik dapat menjadi agen yang menyebarkan logam berat tersebut dari sumber pencemaran hingga muara, bahkan badan sungai yang masih bersih dan potensial untuk dimanfaatkan.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada 30 Desember 2020 hingga 8 Januari 2021 dengan lokasi pengambilan sampel air di Sungai Bengawan Solo dan outlet Waduk Gajah Mungkur Wonogiri. Analisis mikroplastik dilakukan di Laboratorium Lembaga Observasi Ekologi dan Konservasi Lahan Basah ECOTON, Wringinanom, Kabupaten Gresik. Adapun pengukuran kadar polutan dan logam berat dilakukan di Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Gresik. Titik pengambilan sampel terdiri dari lima stasiun yaitu stasiun 1 dan 2 pada outlet Waduk Wonogiri, stasiun 3 yaitu aliran sungai area perbatasan Sukoharjo, stasiun 4 yaitu Kali Samin Surakarta, dan stasiun 5 yaitu Kali Tempuran. Metode pengambilan sampel dilakukan dengan metode kering, yaitu sampel air sebanyak 100 liter disaring menggunakan saringan kain T165, dimana dalam 2,5 cm terdapat 165 helai benang. Partikel mikroplastik memiliki ukuran yang lebih besar daripada pori filter, sehingga akan tertahan pada kain kassa.



Sumber: Data Diolah, 2020

Gambar 1
Lokasi Pengambilan Sampel

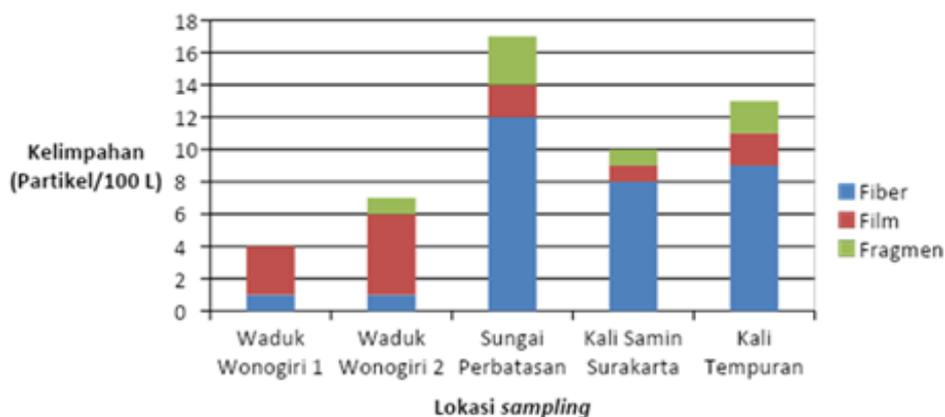
Sampel yang telah diperoleh kemudian dilanjutkan dengan analisis laboratorium. Prinsip utama analisis laboratorium terdiri dari *shieving* (pengayakan) dan pembilasan, digesti, separasi, kemudian filtrasi dan perhitungan. Adapun metodenya secara rinci sebagai berikut. Langkah pertama yang dilakukan adalah pembilasan substansi organik kasar dari kassa sampel, dilanjutkan dengan pengguntingan kassa dan penyaringan karena kertas kassa yang digunakan masih terlalu besar. Pembilasan dan penyaringan dilakukan dengan aquades. Partikel yang tertahan pada kain kassa masih terdapat substansi organik halus, sehingga harus didestruksi terlebih dahulu. Destruksi dilakukan menggunakan campuran larutan asam sulfat dan hidrogen peroksida masing-masing dengan konsentrasi 30% serta perbandingan 3:1. Setelah itu, hasil destruksi diinkubasi ruang selama 24 jam. Langkah selanjutnya adalah melakukan steam bath selama 2 jam untuk mempercepat terjadinya reaksi. Kassa sampel yang telah memasuki proses steam bath dibilas dengan aquades, lalu hasil bilasan disaring dengan kertas Whatman atau kain kassa. Jika masih terdapat substansi organik dengan jumlah banyak, sampel dibilas dengan larutan NaCl 0,9% sebanyak 6-7 ml, lalu disentrifugasi pada

kecepatan 3000 rpm selama 15 menit. Substansi organik memiliki berat jenis yang lebih besar daripada mikroplastik, sehingga akan berada dalam bentuk pellet, sedangkan mikroplastik yang memiliki berat jenis akan berada dalam supernatan. Supernatan disaring dengan kertas Whatman atau kain kassa, kemudian diamati di mikroskop stereo DX230 dengan skala 1:40.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan menunjukkan kelimpahan mikroplastik terbesar pada stasiun 3 (sungai perbatasan Wonorejo, Sukoharjo) sebesar 17 partikel per 100 liter dengan tipe mikroplastik dominan fiber, sedangkan kelimpahan mikroplastik terkecil pada stasiun 1 (outlet Waduk Wonorejo 1) sebesar 4 partikel per 100 liter dengan tipe mikroplastik dominan film. Kedua sampel Waduk Wonorejo memiliki indeks kelimpahan terendah karena sampling dilakukan pada outlet waduk, tepatnya bibir waduk sehingga belum mampu mewakili keseluruhan air waduk. Adapun sampel sungai perbatasan memiliki kelimpahan mikroplastik terbesar karena aliran sungainya dilalui berbagai industri garmen dan tekstil serta dekat dengan pemukiman.

Kelimpahan Mikroplastik berdasarkan jenis



Sumber: Data Diolah, 2020

Gambar 2
Kelimpahan Mikroplastik pada Bagian Hulu Sungai Bengawan Solo

Berdasarkan Gambar 2, terdapat tiga jenis mikroplastik yang ditemukan diantaranya: fiber, fragmen, dan film. Persentase mikroplastik paling tinggi adalah jenis fiber yaitu 61% sedangkan yang paling rendah adalah jenis fragmen yaitu 14%. Berdasarkan hasil pengamatan, total mikroplastik jenis fiber yang ditemukan di sungai Bengawan Solo dan outlet Waduk Wonogiri sebanyak 31 partikel dengan jumlah tertinggi pada stasiun 3 (Sungai Perbatasan Sukoharjo) sebesar 12 Partikel serta jumlah terendah pada stasiun 1 dan 2 outlet Waduk Wonogiri masing-masing 1 partikel. Adapun mikroplastik jenis film dengan jumlah tertinggi terdapat pada stasiun 2 (Waduk Wonogiri) sebanyak 5 partikel, sedangkan jumlah paling rendah yaitu stasiun 4 (Kali Samin) sebanyak 1 partikel. Adapun mikroplastik jenis fragmen paling tinggi ditemukan pada stasiun 3 sebanyak 3 partikel dan stasiun 1 dimana tidak ditemukan mikroplastik jenis fragmen.

Dari ketiga jenis mikroplastik yang ditemukan, presentase mikroplastik jenis fiber adalah yang paling tinggi. Penulis memperkirakan hal ini ada hubungannya dengan berkembangnya industri garmen dan tekstil yang terdapat di sekitar aliran sungai Bengawan Solo, dimana menurut Arif dan Utomo (2016), industri tekstil dan

pakaian jadi masing-masing berkontribusi sebesar 8,6% dan 21,8% terhadap nilai produksi industri Surakarta. Mikroplastik jenis film menempati urutan kedua tertinggi setelah fiber. Ayuningtyas (2019) menyatakan bahwa mikroplastik jenis film biasanya berasal dari serpihan mika atau plastik yang bertekstur kaku dan biasanya transparan. Penulis memperkirakan tingginya jumlah mikroplastik jenis film pada outlet waduk Wonogiri berhubungan dengan aktivitas sektor pariwisata di sekitar lokasi sampling sehingga menyebabkan banyaknya pedagang makanan dan minuman. Biasanya, hasil samping dari kegiatan tersebut berupa plastik sekali pakai, dimana jika terdegradasi menjadi mikroplastik sekunder akan terdapat dalam bentuk film. Adapun ukuran mikroplastik didominasi oleh jenis SMP (small microplastic particles) yang berukuran kurang dari 1 milimeter namun lebih besar dari 1000 mikron, khususnya pada jenis fiber, dengan ukuran terbesar yang ditemukan 1000 mikron.

Adapun data pengujian kualitas air yang dilakukan di UPT Laboratorium Uji Kualitas Lingkungan DLH GRESIK menunjukkan sungai Bengawan Solo, khususnya Sungai Samin yang terletak di tengah Kota Surakarta, positif tercemar logam berat khrom VI, kadmium ,

Tabel 1
Perbandingan Kadar Polutan Logam Berat dan Kimia Sungai Bengawan Solo
Segmen Kali Samin dengan Sungai Lainnya

No	Parameter (satuan)	Baku Mutu Air Kelas III*	Kali Samin
1.	BOD (mg/L)	6	-
2.	Nitrit (mg/L)	0,06	77
3.	Kadmium (mg/L)	0,01	0,032
4.	Timbal (mg/L)	0,03	<MDL
5.	Khlorin Bebas	0,03	2,1
6.	Tembaga	0,02	0,072
7.	Khrom VI	0,05	0,45

*: berdasarkan Perda Provinsi Jawa Timur Nomor 2 tahun 2008 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air di Provinsi Jawa Timur

Sumber: Data Diolah, 2020

tembaga, dan timbal. Adapun polutan kimia organik yang nilainya melebihi baku mutu adalah nitrit dan klorin bebas. Hasil uji juga menunjukkan air sungai ini tidak memenuhi baku mutu air kelas 3 yang dimanfaatkan untuk kegiatan perikanan dan irigasi perkebunan menurut Perda Nomor 2 tahun 2008 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air di Provinsi Jawa Timur.

Kadar polutan yang paling tinggi adalah nitrit sebesar 77 mg/L, meningkat 1000 kali lipat lebih tinggi dari baku mutunya yaitu 0,06 mg/L. Bahkan, logam berat seperti khrom VI, tembaga, dan kadmium meningkat 3 hingga 9 kali lipat dari baku mutunya. Berdasarkan hasil observasi, nitrit biasanya berasal dari limbah pertanian seperti produk samping pupuk atau limbah kamar mandi seperti urin dan feses, sedangkan klorin bebas dapat berasal dari limbah pabrik kertas, detergen, atau pemutih pakaian. Keduanya adalah polutan paling tinggi dengan peningkatan lebih dari 10 kali lipat dari baku mutunya. Hal ini mengindikasikan hampir seluruh saluran air limbah (selokan) langsung bermuara di Sungai Bengawan Solo tanpa dikelola terlebih dahulu. Adapun khrom VI, logam berat yang berasal dari buangan industri pabrik tekstil dan cat dari perahu nelayan meningkat 9 kali lipat dari baku mutu 0,05 mg/L ke 0,45 mg/L. Jika

senyawa ini diserap oleh mikroplastik lalu dikonsumsi oleh ikan, kemudian manusia mengonsumsi ikan yang sudah terpapar khrom tersebut, dapat terjadi akumulasi pada sistem pencernaan. Padahal, logam jenis ini dapat mengganggu pembentukan sel darah merah dan bersifat karsinogen (penyebab kanker). Polutan logam berat selanjutnya adalah kadmium dan tembaga. Kadmium dan tembaga meningkat sekitar tiga kali dari baku mutu 0,01 mg/dL (hasil uji: 0,032) dan 0,02 mg/dL (hasil uji: 0,072). Keduanya diduga berasal dari industri cat dan garmen khususnya pewarna sintesis dari industri garmen dan tekstil di sekitar sungai Bengawan Solo.

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan Sungai Bengawan Solo bagian hulu positif tercemar mikroplastik dan logam berat. Secara keseluruhan rata-rata kelimpahan mikroplastik pada perairan sebesar 31 partikel/100 liter. Jenis mikroplastik yang ditemukan pada tiap lokasi sama yaitu fragment, fiber dan film. Kelimpahan mikroplastik jenis fiber paling tinggi ditemukan pada sungai Samin Surakarta, Sungai Tempuran Jebres, dan Sungai Pebatasan Sukoharjo. Hal ini dikarenakan sumber pencemaran mikroplastik jenis fiber lebih besar, yaitu berasal dari limbah garmen atau tekstil serta kegiatan perikanan. Kelimpahan jenis mikroplastik pada perairan tertinggi

ditemukan pada lokasi sungai perbatasan Sukoharjo karena lokasi sampling dekat dengan tempat pembuangan sementara warga sekitar serta berada persis di bawah jembatan penghubung sehingga sampah terakumulasi lebih banyak. Selain itu, distribusi mikroplastik juga sangat dipengaruhi oleh kondisi hidrodinamikanya. Adapun berdasarkan data pengujian kualitas air yang dilakukan di UPT Laboratorium Uji Kualitas Lingkungan DLH GRESIK menunjukkan sungai Bengawan Solo, khususnya Sungai Samin yang terletak di tengah Kota Surakarta, positif tercemar logam berat khrom VI, kadmium, tembaga, dan timbal. Adapun polutan kimia organik yang nilainya melebihi baku mutu melebihi 10 kali lipat baku mutunya adalah nitrit sebesar 77 mg/L dan klorin bebas sebesar 2,5 mg/L. Hasil uji juga menunjukkan air sungai ini tidak memenuhi baku mutu air kelas 3 yang dimanfaatkan untuk kegiatan perikanan dan irigasi perkebunan menurut Perda Nomor 2 tahun 2008 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air di Provinsi Jawa Timur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung penuh oleh Departemen Biologi FMIPA UNS yang telah mengadakan program Kegiatan Magang Mahasiswa (KMM) dan ECOTON (Lembaga Observasi Ekologis dan Konservasi Lahan Basah) yang telah menyediakan fasilitas laboratorium untuk analisis mikroplastik.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, M. dan Utomo, Y. P. (2016). KONSENTRASI SPASIAL INDUSTRI-INDUSTRI UNGGULAN KOTA SURAKARTA. Retrived from <https://publikasiilmiah.ums.ac.id/bitstream/handle/11617/6710/4.%20Muhammad%20Arif%20dan%20Yuni%20Prihadi%20Utomo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Andrady AL and Neal MA. (2009). Applications and societal benefits of plastics. *Philos Trans R Soc Lond Ser B Biol Sci*, 364(1977), 80-84.
- Auta, H.S., Emenike, J.U. and Fauzyah, S.H. (2017). Distribution and Important of Microplastic in the Marine Environment : A Review of The Source, Fate Effect and Potential Solution . *Journal Environment International*, 102 : 165-176.
- Ayuningtyas, W.C, Yona, D., Julianda, S.H.S. dan Iranawati, F. (2018). Kelimpahan Mikroplastik di perairan Banyuwurip, Gresik, Jawa Timur . *Journal Fisheries and Marine Research*, 3(1), 41-8.
- Bellas J, Gil I. (2020). Polyethylene microplastics increase the toxicity of chlorpyrifos to the marine copepod *Acartia tonsa*. *Environ Pollut*, 2020, 260: 114059.
- Eriksen M, Lebreton LCM, Carson HS, Thiel M, Moore CJ, Borrorro JC, et al. (2014). Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLOS ONE. Public Libr Sci*, 2014;9: e111913.
- Frias, J.P.G.L., and Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138(2019), 145-147.
- Hirt, N. and Malapel, M. B. (2020). Immunotoxicity and intestinal effects of nano- and microplastics: a review of the literature. *Particle and Fiber Toxicology*, 17 (57), 1-22.

- Hiwari, H., Purba, N.P., Ihsan, Y.N., Yuliadi, L.P.S. dan Mulyani, P.G. (2019). Kondisi Sampah Mikroplastik di Permukaan Air Laut Sekitar Kupang dan Rote, Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Pros Sem Nas Masy Biodiversity Indonesia*, 5(2) : 165-171.
- Jambeck JR, Geyer R, Wilcox C, Siegler TR, Perryman M, Andrady A, et al. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Sci Am Assoc Advancement Sci*. 2015(347), 768-771.
- Kar. 2008. Assessment of Heavy Metal Pollution in Surface Water. *International Journal on Environment, Science and Technology*, 5 (1), 119-124.
- Kapo, F.A., Toruan, N.L.N. dan Paulus, C.A. (2020). Jenis dan Kelimpahan Mikroplastik pada Kolom Permukaan Air di Perairan Teluk Kupang. *Jurnal Bahari Papadak*, 1(1): 10-21.
- Lambert.M, Leven.B.A, and Green,R.M. (2000) . *New methods of cleaning up heavy metal in soils and water. Environmental science and technology briefs for citizens*. Kansas State University: Manhattan.
- Martin.S., and Griswold, W. (2009). Human health effects of heavy metals. *Environmental Science and Technology Briefs for Citizens*, 15 (2009): 1-6.
- Rejekiningrum, P. (2014). IDENTIFIKASI KEKRITISAN AIR UNTUK PERENCANAAN PENGGUNAAN AIR AGAR TERCAPAI KETAHANAN AIR DI DAS BENGAWAN SOLO. Retrived from http://repository.ut.ac.id/5026/1/fmipa2014_12.pdf.
- Rochman CM, Brookson C, Bikker J, Djuric N, Earn A, Bucci K, et al. (2019). Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite. *Environ Toxicol Chem*, 2019(38), 703-711.
- Schwarz AE, Lighthart TN, Boukris E, van Harmelen T. (2019). Sources, transport, and accumulation of different types of plastic litter in aquatic environments: a review study. *Mar Pollut Bull*, 2019(143), 92-100.
- Utomo, A. D., S. Adjie, N. Muflikhah, & A. Wibowo.(2004). Distribusi jenis ikan dan kualitas perairan di Bengawan Solo. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia Edisi Sumber Daya dan Penangkapan. Pusat Riset Perikanan Tangkap. Badan Riset Kelautan dan Perikanan. Jakarta*, 12 (2): 89-100
- Widinarko, B. dan Hantoro, I. (2018). *Mikroplastik daam seafood dari Pantai Utara Jawa*. Universitas Katolik Soegijapranata: Semarang.
- Xu B, Liu F, Cryder Z, Huang D, Lu Z, He Y, et al. Microplastics in the soil environment: occurrence, risks, interactions and fate - a review. *Crit Rev Environ Sci Technol Taylor & Francis*, 2019;0:1-48.