

Kajian Pergerakan Mikroplastik dengan Parcels di Perairan Pulau Sintok, Kepulauan Karimunjawa

Dia Marganita*, Jarot Marwoto, dan Rikha Widiaratih

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. H. Soedarto, S.H, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, 50275, Indonesia
Email: *diamarganita@students.undip.ac.id

Abstrak

Mikroplastik adalah partikel kecil dari sampah plastik yang mengalami fragmentasi selama berada di alam. Ukurannya yang kecil dan ketahanannya yang lama menyebabkan mikroplastik berbahaya jika terakumulasi di dalam tubuh makhluk hidup. Sehingga kajian mengenai pergerakan mikroplastik perlu dilakukan untuk mengetahui persebaran mikroplastik yang sudah berada di lingkungan, terutama lingkungan laut. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui pergerakan (tujuan dan sumber) mikroplastik di Perairan Pulau Sintok. Pulau Sintok merupakan salah satu pulau di Kepulauan Karimunjawa yang menjadi destinasi singgah dan bertelur penyu. Pulau Sintok, sebagai pulau yang tidak berpenghuni, memiliki potensi untuk terkontaminasi partikel mikroplastik yang terbawa oleh pergerakan arus. Pergerakan mikroplastik dilakukan dengan pemodelan *particle tracking* dengan Parcels dan model GOF3.1 yang telah divalidasi dengan data pengukuran arus ADCP. Pemodelan *particle tracking* menggunakan dua skenario, yaitu *forward time* dan *backward time* dengan masing-masing *runtime* 7 hari, 30 hari, dan 60 hari pada Musim Peralihan I tahun 2020. Dari pemodelan *particle tracking*, partikel mikroplastik bergerak menuju arah timur laut Laut Jawa dan diduga berasal dari Pulau Kemujan dan utara Pulau Jawa, tepatnya yaitu Sungai Cisanggarung, Kota Cirebon, dan Sungai Citarum.

Kata kunci: Mikroplastik, *Particle Tracking*, *Parcels*, Karimunjawa

Abstract

Microplastics are small particles of plastic waste that undergo fragmentation while in nature. Their small size and long durability make microplastics dangerous if they accumulate inside living things. A study of microplastic movement needs to be carried out to determine the distribution of microplastics that are already in the environment, especially the marine environment. This research was conducted to understand the movement (destination and source) of microplastics in Sintok Island Waters. Sintok Island is one of the islands in the Karimunjawa Archipelago that is also a stopping-by and spawning destination for sea turtles. Sintok Island, as an uninhabited island, has the potential to be contaminated with microplastic particles carried by sea currents. The movement of microplastics is carried out using particle tracking modeling with Parcels and the GOF3.1 model which has been validated with ADCP current data. The particle tracking modeling uses two scenarios, namely forward time and backward time with runtime of 7 days, 30 days, and 60 days in the Transition season I of 2020 for each scenario. From the particle tracking modeling, microplastic particles move towards the northeast of the Java Sea and are estimated to have come from Kemujan Island and northern Java Island, namely Cisanggarung River, Cirebon City, and Citarum River.

Keywords: *Microplastic*, *Particle Tracking*, *Parcels*, Karimunjawa

PENDAHULUAN

Plastik memiliki karakteristik, yaitu ringan, kuat, dan mudah untuk dibentuk (Verma *et al.*, 2016). Karakteristik tersebut menjadikan plastik sebagai bahan yang sangat populer dan banyak dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, mulai dari skala rumah tangga hingga industri (Rios Mendoza dan Balcer, 2019; Sari *et al.*, 2021). Namun, tingginya penggunaan plastik ini tidak diimbangi dengan manajemen pengelolaan pasca penggunaan yang tepat, hingga akhirnya semakin melimpah dan mencemari lingkungan (Sari *et al.*, 2021). Lingkungan laut menjadi lingkungan yang sangat rentan karena potensi akumulasi yang tinggi yang bersumber langsung dari daratan dan transpor plastik yang terbawa oleh air dalam siklus hidrologi. Selama tertransportasi, plastik akan terurai menjadi fragmen yang lebih kecil yang umumnya disebut sebagai mikroplastik (Wang *et al.*, 2016). Sampah plastik awalnya disebut sebagai polutan yang timbul (*emerging pollutant*), tetapi kini

sampah plastik telah diakui sebagai ancaman (*emerging threat*) (Avio *et al.*, 2017).

Indonesia, sebagai salah satu negara yang menyumbang sampah plastik terbesar ke laut dengan 1,29 ton per tahun (Jambeck *et al.*, 2015), menjadikan perairan laut di Indonesia sangat rawan untuk tercemar mikroplastik. Mikroplastik memiliki potensi sebagai kontaminan yang dapat tertransfer melalui rantai makanan dan mengalami biomagnifikasi (Hollman *et al.*, 2013; Caruso, 2019; Sari *et al.*, 2021). Setälä *et al.* (2016) dalam Auta *et al.* (2017), menuliskan bahwa mikroplastik yang tertelan oleh biota dapat menyebabkan kerusakan kimia dan fisik. Mulai dari melekatnya polimer plastik ke permukaan tubuh bagian luar yang dapat menghambat mobilitas dan menyumbat saluran pencernaan, hingga efek kimia seperti peradangan, stres pada organ hati, dan memperlambat proses pertumbuhan.

Taman Nasional Karimunjawa adalah taman nasional laut yang berada di utara Pulau Jawa dan termasuk ke dalam wilayah administrasi Kabupaten Jepara. Pada tanggal 28 Oktober 2020 lalu, UNESCO dalam sidang ke-32 *International Coordinating Council (ICC) Man and the Biosphere (MAB)* menetapkan Karimunjawa sebagai cagar biosfer (DLH Jepara, 2020). Penetapan ini dilakukan dengan tujuan meningkatkan pelestarian keanekaragaman hayati di daerah tersebut. Penelitian mengenai mikroplastik di Taman Nasional Karimunjawa sudah dilakukan beberapa kali, yaitu oleh Lie *et al.* (2018), Kurniawan *et al.* (2021), Muchlissin *et al.* (2021), Ningrum dan Patria (2022), dan Seprandita *et al.* (2022). Namun dari kelima penelitian mikroplastik tersebut, belum ada penelitian yang membahas mengenai Pulau Sintok dan studi kasus mengenai pergerakan mikroplastik.

Pulau Sintok sebagai salah satu pulau di Taman Nasional Karimunjawa, yang termasuk ke dalam Zona Perlindungan Bahari (Sulisyati dan Prihatinningsih, 2018), menjadi destinasi singgah sekaligus bertelur penyu (UNEP-WCMC, 1999). Pulau Sintok berukuran kecil namun penemuan sarang penyu di pulau ini mencapai jumlah 40 buah. Penelitian mengenai mikroplastik di Perairan Pulau Sintok sangat menarik dan perlu untuk dilakukan karena kondisi pulau yang tidak berpenghuni sehingga memiliki potensi untuk tercemar dari pulau atau daerah lain. Selain itu, Purba *et al.* (2019) menemukan bahwa jumlah penelitian mikroplastik di Indonesia yang membahas mengenai sumber mikroplastik masih sedikit. Tujuan penelitian ini yaitu untuk memberikan informasi mengenai pergerakan mikroplastik yang ditemukan di Perairan Pulau Sintok. Hasil dari studi ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam usaha mitigasi pencemaran mikroplastik dan mendorong penelitian yang dapat melengkapi atau mendukung kekurangan dari penelitian ini.

MATERI DAN METODE

Pergerakan mikroplastik dilakukan dengan pendekatan pemodelan *particle tracking* menggunakan Parcels dengan data model arus permukaan GOFS 3.1 (hycom.org/data/glby0pt08/expt-93pt0) yang kemudian divalidasi dengan data arus pengukuran ADCP dari Indrayanti *et al.* (2021). Data yang divalidasi adalah data observasi arus permukaan (*Cell01*) di satu titik (-5,78238990°, 110,461619957°) dengan data model arus permukaan (kedalaman 0,0) GOFS 3.1 di satu titik terdekat (-5,76°, 110,48°). Kedua data yang dibandingkan merupakan data *time series* setiap tiga jam selama 3 x 24 jam (29 September – 2 Oktober 2020). RMSE atau *root mean squared error* dipilih sebagai matriks eror karena penggunaannya yang sangat umum dan dianggap sebagai *error metric* yang sangat baik untuk model numerik. Neill dan Hashemi (2018) menuliskan rumus RMSE sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}$$

di mana O_i adalah nilai observasi, S_i nilai model, dan n jumlah nilai yang tersedia untuk analisis. RMSE merupakan ukuran akurasi yang baik, namun hanya dapat membandingkan kesalahan prediksi dari model atau konfigurasi model yang berbeda untuk variabel tertentu dan bukan antar variabel, karena RMSE bergantung pada satuan (Neill dan Hashemi, 2018).

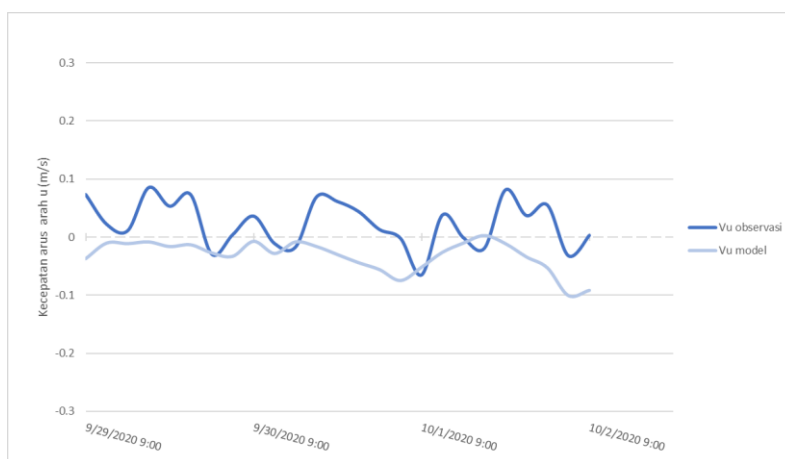
Pemodelan pergerakan partikel ini menggunakan Parcels (Lange dan Seville, 2017; Delandmeter dan Van Seville, 2019) dengan dua skenario, yaitu: (1) dilakukan secara *forward time* untuk melihat arah pergerakan partikel mikroplastik dari Pulau Sintok dan akan menuju ke mana; (2) dilakukan secara *backward time* untuk melihat perkiraan sumber partikel mikroplastik yang akhirnya bisa sampai di Pulau Sintok. Titik

yang dijadikan sebagai titik pelepasan partikel yaitu pada sisi tenggara Pulau Sintok (-5,785176°, 110,514991°) dengan waktu mulai pemodelan yaitu 11 April 2020. Gambar yang menjadi *output* akan memberikan gambaran pola *particle tracking* selama 7 hari, 30 hari, dan 60 hari untuk masing-masing skenario. Pemilihan *runtime* 7 hari untuk memberikan gambaran pola pergerakan partikel di Perairan Kepulauan Karimunjawa sedangkan *runtime* 30 dan 60 hari untuk melihat pergerakannya dalam cakupan Laut Jawa.

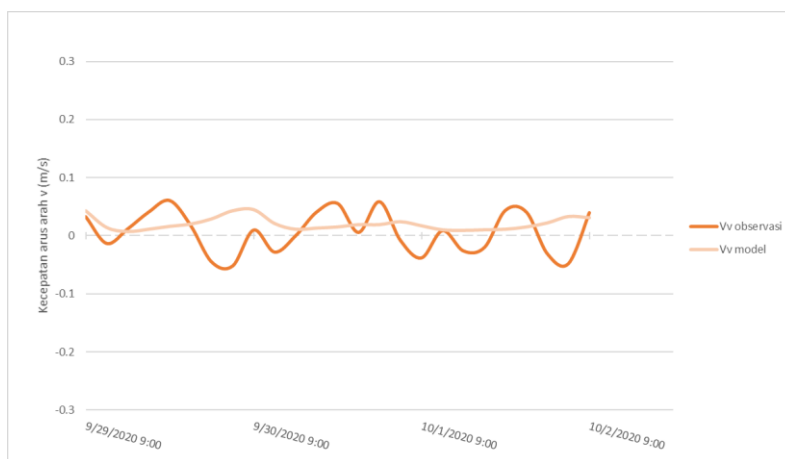
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai pulau yang tidak berpenghuni, partikel mikroplastik yang ditemukan di Perairan Pulau Sintok merupakan partikel yang tertransportasi. Hidalgo-Ruz *et al.* (2012) dan Auta *et al.* (2017) menyatakan bahwa mikroplastik dengan densitas yang rendah dan ukuran yang kecil memiliki kemungkinan menghabiskan waktu lama di permukaan laut (atau di kolom air), di mana partikel-partikel tersebut dapat diangkat oleh air laut sampai jarak yang jauh hingga mereka dapat ditemukan di tempat-tempat terpencil. Perairan Pulau Sintok merupakan salah satunya.

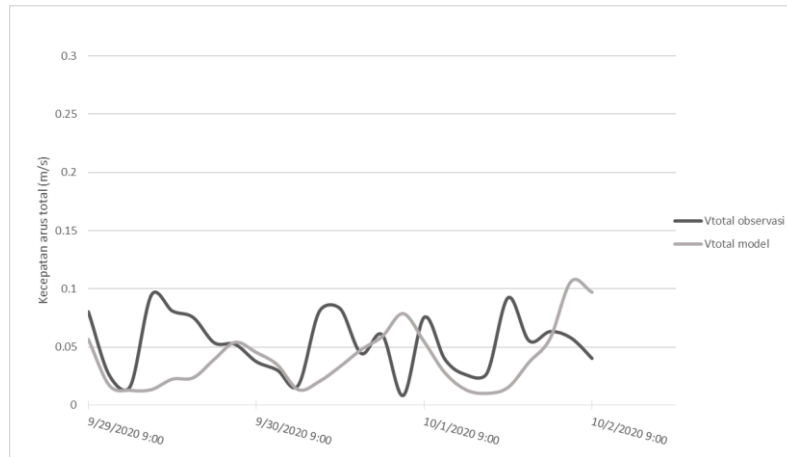
Sebelum melakukan pemodelan *particle tracking*, perlu dilakukan validasi untuk melihat apakah data model yang akan digunakan dapat dikatakan sesuai atau mewakili kondisi arus yang terjadi di lapangan. Adapun hasil dari perhitungan validasi data model dengan data observasi menghasilkan perhitungan RMSE berturut-turut 0,0678, 0,0655, dan 0,0666 untuk perbandingan V_u , V_v , dan V_{total} .



Gambar 1. Perbandingan Kecepatan Arus U ADCP (observasi) dengan GOFS 3.1 (model)



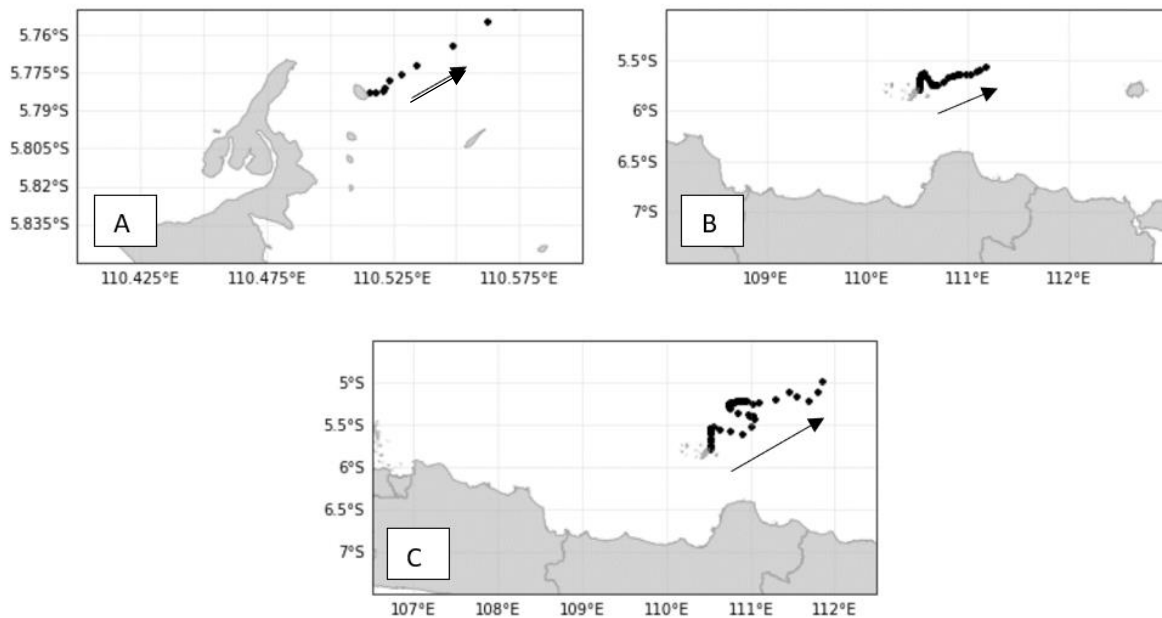
Gambar 2. Perbandingan Kecepatan Arus V ADCP (observasi) dengan GOFS 3.1 (model)



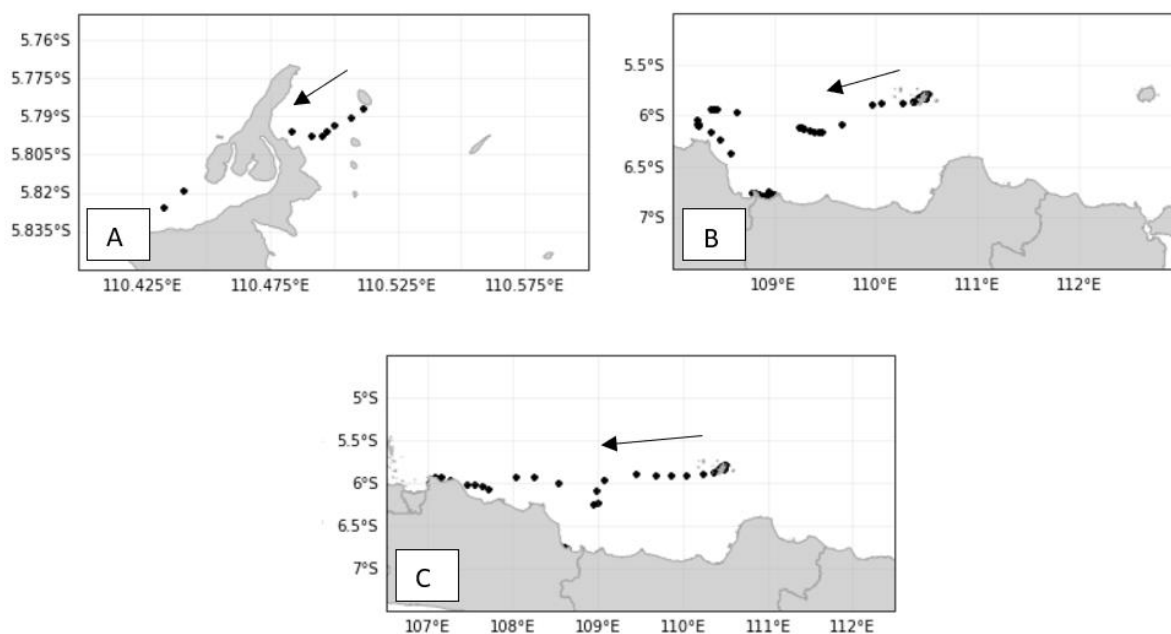
Gambar 3. Perbandingan Kecepatan Arus Total ADCP (observasi) dengan GOFS 3.1 (model)

Dari nilai RMSE yang tergolong rendah ($RMSE < 0,30$), dapat disimpulkan bahwa model arus GOFS 3.1 dapat digunakan untuk pemodelan *particle tracking* mikroplastik.

Distribusi dan akumulasi partikel di laut dipengaruhi oleh kondisi hidrografi, geomorfologi, angin, kegiatan antropogenik, aktivitas organisme, karakteristik dari material partikel tersebut, dan letak sumbernya (Auta *et al.*, 2017; Gago *et al.*, 2019). Dalam penelitian ini, pergerakan partikel mikroplastik dimodelkan dengan parameter tunggal, yaitu model arus permukaan laut (GOFS 3.1), dan asumsi setiap partikel mikroplastik yang dilepaskan memiliki karakteristik yang homogen.



Gambar 4. Model *forward particle tracking* selama a) 7 hari, b) 30 hari, dan c) 60 hari dari tanggal 11 April 2020



Gambar 5. Model *backward particle tracking* selama selama a) 7 hari, b) 30 hari, dan c) 60 hari sampai tanggal 11 April 2020

Dari hasil pemodelan *particle tracking* menggunakan Parcels, pergerakan partikel terlihat menuju ke arah timur laut untuk skenario *forward* dan juga skenario *backward*. Arah pergerakan partikel ini sesuai dengan pergerakan arus di Kepulauan Karimunjawa yang memiliki karakteristik salah satunya yaitu ke arah timur laut, baik pada Musim Peralihan I (Ismunarti *et al.*, 2017) dan Musim Peralihan II (Indrayanti *et al.*, 2021).

Pada skenario *forward*, dapat dilihat bahwa partikel bergerak ke arah timur laut dan keluar dari Perairan Karimunjawa mengikuti arah arus Laut Jawa. Arus di permukaan Laut Jawa memiliki kecenderungan mengikuti angin muson yang berubah sepanjang tahun (Siregar *et al.*, 2017). Tiga skenario *runtime* yang dilakukan terjadi saat Musim Peralihan I (April – Mei) dan awal Musim Timur (Juni). Musim Peralihan I ini merupakan masa transisi menuju periode angin muson timur. Pada periode muson timur, pusat tekanan udara rendah berkembang di Benua Asia dan pusat tekanan udara tinggi terjadi di Benua Australia sehingga angin berhembus dari tenggara menuju barat laut (Siregar *et al.*, 2017). Arah angin tersebut menyebabkan pergerakan arus permukaan membawa partikel *forward particle tracking* semakin condong ke arah timur laut pada *runtime* 30 hari dan 60 hari (Gambar 4).

Partikel pada skenario *backward* (Gambar 5) terlihat melewati bagian timur dan utara Pulau Kemujan (*runtime* 7 hari: 11 – 4 April 2020). Di Pulau Kemujan terdapat beberapa tempat penginapan dan Bandar Udara Dewandaru. Pada *runtime* 30 hari (11 April – 1 Maret 2020), terlihat bahwa partikel sampai ke bagian utara Jawa, tepatnya yaitu Muara Sungai Cisanggarung. Sungai Cisanggarung merupakan sungai yang menjadi pembatas bagian utara Provinsi Jawa Barat dengan Jawa Tengah. Kemudian pada *runtime* 60 hari (11 April – 10 Februari 2020), partikel sampai pada Kota Cirebon dan daerah pesisir utara Kabupaten Bandung, tepatnya yaitu di Muara Sungai Citarum. Sungai Citarum merupakan sungai terpanjang dan terbesar di Provinsi Jawa Barat. Sungai merupakan rute atau vektor utama transportasi mikroplastik dari lingkungan darat ke ekosistem laut melalui angin atau proses hidrologi (Campanale *et al.*, 2020). Sungai Citarum sendiri masuk ke dalam daftar sungai paling kotor di dunia. Kurangnya manajemen sampah dan komunitas menjadikan Sungai Citarum sebagai sungai yang terkontaminasi oleh sampah rumah tangga. Mikroplastik merupakan salah satunya (Afkarina *et al.*, 2020). Pemodelan *backward* ini mampu memberikan gambaran bahwa partikel mikroplastik yang ditemukan di Pulau Sintok berasal dari pulau lain, yaitu Pulau Kemujan dan Pulau Jawa.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan *particle tracking* dengan Parcels skenario *forward*, partikel mikroplastik cenderung ke arah timur laut di sekitar Kepulauan Karimunjawa dan Laut Jawa pada Musim Peralihan I menuju Musim Barat, sedangkan untuk skenario *backward*, sumber partikel mikroplastik yang berada di Perairan Pulau Sintok salah satunya berasal dari Pulau Kemujan dan utara Pulau Jawa, tepatnya yaitu Sungai Cisanggarung, Kota Cirebon, dan Sungai Citarum.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Balai Taman Nasional Karimunjawa (BTNKJ) yang sudah mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian di Taman Nasional Karimunjawa dengan Surat Ijin Masuk Kawasan Konservasi (SIMAKSI) Nomor: 1476/T.34/TU/SIMAKSI/04/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Afkarina, K.I.I., S.S. Moersidik, dan S.W. Utomo. 2020. Distribution and environmental risk of microplastics pollution in freshwater of Citarum Watershed. In: *The 1st JESSD Symposium 2020*, EDP Sciences, halaman 1–7.
- Auta, H.S., C.U. Emenike, dan S.H. Fauziah. 2017. Distribution and importance of microplastics in the marine environment A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*, 102: 165–176.
- Avio, C.G., S. Gorbi, dan F. Regoli. 2017. Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat. *Marine Environmental Research*, 128: 2–11.
- Campanale, C., I. Savino, I. Pojar, C. Massarelli, dan V.F. Uricchio. 2020. A practical overview of methodologies for sampling and analysis of microplastics in riverine environments. *Sustainability (Switzerland)*, 12(17).
- Caruso, G. 2019. Microplastics as vectors of contaminants. *Marine Pollution Bulletin*, 146(April): 921–924.
- Delandmeter, P., dan E. Van Sebille. 2019. The Parcels v2.0 Lagrangian framework: New field interpolation schemes. *Geoscientific Model Development*, 12(8): 3571–3584.
- Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Jepara. 2020. Karimunjawa Ditetapkan UNESCO sebagai Cagar Biosfer. Diakses pada 19 Mei 2022, dari <https://dlh.jepara.go.id>.
- Gago, J., A. Filgueiras, M.L. Pedrotti, M. Caetano, dan J. Firas. 2019. Standardised protocol for monitoring microplastics in seawater. *JPI-Oceans BASEMAN project*. (January): 96.
- Hidalgo-Ruz, V., L. Gutow, R.C. Thompson, dan M. Thiel. 2012. Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science and Technology*, 46(6): 3060–3075.
- Hollman, P.C.H., H. Bouwmeester, dan R.J.B. Peters. 2013. Microplastics In The Aquatic Food Chain: Sources, Measurement, Occurrence And Potential Health Risks. Wageningen.
- Indrayanti, E., D.N. Sugianto, P. Purwanto, dan H.S.R. Siagian. 2021. Identifikasi Arus Pasang Surut di Perairan Kemujan, Karimunjawa Berdasarkan Data Pengukuran Acoustic Doppler Current Profiler. *Jurnal Kelautan Tropis*, 24(2): 247–254.
- Ismunarti, D.H., D.N. Sugianto, dan A. Ismanto. 2017. Kajian Karakteristik Arus Laut di Kepulauan Karimunjawa, Jepara. *Prosiding Seminar Nasional Hasil-Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan ke-VI*, halaman 254–263.
- Jambeck, J.R., R. Geyer, C. Wilcox, T.R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan, dan K.L. Law. 2015. Entradas de residuos plásticos desde la tierra al océano. *Ciencia*, 347(6223): 768–771.
- Kurniawan, R.R., J. Suprijanto, dan A. Ridlo. 2021. Mikroplastik Pada Sedimen di Zona Pemukiman, Zona Perlindungan Bahari dan Zona Pemanfaatan Darat Kepulauan Karimunjawa, Jepara. *Buletin Oseanografi Marina*, 10(2): 189–199.
- Lange, M., dan E. Van Sebille. 2017. Parcels v0.9: Prototyping a Lagrangian ocean analysis framework for the petascale age. *Geoscientific Model Development*, 10(11): 4175–4186.

- Lie, S., A. Suyoko, A.R. Effendi, B. Ahmada, H.W. Aditya, I.R. Sallima, N.P.A.N. Arisudewi, N.I. Hadid, N. Rahmasari, dan A. Reza. 2018. Measurement of microplastic density in the Karimunjawa National Park, Central Java, Indonesia. *Ocean Life*, 2(2): 54–58.
- Muchlissin, S.I., P.A. Widyanto, A. Sabdono, dan O.K. Radjasa. 2021. Kelimpahan Mikroplastik Pada Sedimen Ekosistem Terumbu di Taman Nasional Laut Karimunjawa. *Jurnal Kelautan Tropis*, 24(1): 1–6.
- Neill, S.P., dan M.R. Hashemi. 2018. *Fundamentals of Ocean Renewable Energy*. Academic Press.
- Ningrum, E.W., dan M.P. Patria. 2022. Microplastic contamination in Indonesian anchovies from fourteen locations. *Biodiversitas*, 23(1): 125–134.
- Purba, N.P., D.I.W. Handyman, T.D. Pribadi, A.D. Syakti, W.S. Pranowo, A. Harvey, dan Y.N. Ihsan. 2019. Marine debris in Indonesia: A review of research and status. *Marine Pollution Bulletin*, 146(March): 134–144.
- Rios Mendoza, L.M., dan M. Balcer. 2019. Microplastics in freshwater environments: A review of quantification assessment. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 113: 402–408.
- Sari, G.L., A. Kasasiah, M.R. Utami, dan Y. Trihadiningrum. 2021. Microplastics Contamination in the Aquatic Environment of Indonesia: A Comprehensive Review. *Journal of Ecological Engineering*, 22(10): 127–140.
- Seprandita, C.W., J. Suprijanto, dan A. Ridlo. 2022. Kelimpahan Mikroplastik di Perairan Zona Pemukiman, Zona Pariwisata dan Zona Perlindungan Kepulauan Karimunjawa, Jepara. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(1): 111–122.
- Setälä, O., J. Norkko, dan M. Lehtiniemi. 2016. Feeding type affects microplastic ingestion in a coastal invertebrate community. *Marine Pollution Bulletin*, 102(1): 95–101.
- Siregar, S.N., L.P. Sari, N.P. Purba, W.S. Pranowo, dan M.L. Syamsuddin. 2017. Pertukaran massa air di Laut Jawa terhadap periodisitas monsun dan Arlindo pada tahun 2015. *Depik*, 6(1): 44–59.
- Sulisyati, R., dan P. Prihatinningsih. 2018. Revisi Zonasi Taman Nasional Karimunjawa (Zoning Review of Karimunjawa National Park). *Seminar Nasional Geomatika*, 713–724.
- UNEP-WCMC. 1999. Global distribution of sea turtle nesting sites. (May): 2014–2015.
- Verma, R., K.S. Vinoda, M. Papireddy, dan A.N.S. Gowda. 2016. Toxic Pollutants from Plastic Waste- A Review. *Procedia Environmental Sciences*, 35: 701–708.
- Wang, J., Z. Tan, J. Peng, Q. Qiu, dan M. Li. 2016. The behaviors of microplastics in the marine environment. *Marine Environmental Research*, 113: 7–17.