

## Pemodelan Emisi Udara Indikator Perubahan Iklim dari Sampah Laut di Kawasan Taman Nasional Laut: Pantai Sombu, Wakatobi

Modeling of Air Emission Indicators of Climate Change From Marine Debris in The Marine National Park Area: Sombu Beach, Wakatobi

Muhammad Irpan Sejati Tassakka<sup>\*1</sup>, Indah Alsita<sup>2</sup>, Sariamin Sahari<sup>1</sup>, Kezia Gloria Apriliana Runtu<sup>1</sup>, Alfi Kusuma Admaja<sup>1</sup>, Muhammad Musrianton<sup>1</sup>, Nasrun<sup>2</sup>, & Muhajirin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Konservasi, Akademi Komunitas Kelautan dan Perikanan Wakatobi, Jalan Soekarno Hatta, Desa Matahora, Kecamatan Wangiwangi Selatan, Kabupaten Wakatobi, Provinsi Sulawesi Tenggara, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Ekowisata Bahari, Akademi Komunitas Kelautan dan Perikanan Wakatobi, Jalan Soekarno Hatta, Desa Matahora, Kecamatan Wangiwangi Selatan, Kabupaten Wakatobi, Provinsi Sulawesi Tenggara, Indonesia

<sup>3</sup>Taman Nasional Wakatobi, Jalan Poros Waha-Usuku, Desa Teemoane, Kecamatan Tomia Kabupaten Wakatobi, Provinsi Sulawesi Tenggara, Indonesia

✉Corresponding author: [sejatiirpan@gmail.com](mailto:sejatiirpan@gmail.com)

### ABSTRAK

Sampah laut meningkat secara drastis yang sejalan dengan peningkatan populasi, kunjungan wisatawan, dan eksplorasi sumber daya pesisir dan laut. Wilayah taman nasional laut merupakan studi kasus yang sempurna untuk sampah laut karena memiliki ekosistem yang paling rentan. Pantai Sombu merupakan salah satu kawasan perlindungan laut di Taman Nasional Wakatobi (TNW). Metode pengambilan sampel yang digunakan adalah metode garis pantai NOAA dan pemodelan emisi udara menggunakan aplikasi IWM2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi rata-rata sampah laut diperkirakan 0,67 unit dan 0,036 kg per m<sup>2</sup> dengan komposisi didominasi oleh jenis plastik yaitu 57,71% berdasarkan jumlah dan 48,74% berdasarkan berat. Jumlah dan komposisi sampah laut diperkirakan menghasilkan emisi udara yang berimplikasi pada perubahan iklim sebanyak 52 kgCO<sub>2</sub>/tahun; 23 kgCH<sub>4</sub>/tahun; dan 541 kgGWP/tahun.

**Kata kunci:** Emisi udara, metode NOAA, perubahan iklim, sampah laut, kawasan lindung laut

### Pendahuluan

Sampah laut saat ini telah memberikan dampak negatif terhadap ekosistem pesisir dan laut secara global. Sekitar 60 hingga 80% dari sampah termasuk sampah plastik berakhir di lautan (Galgani, et.al., 2019). Produksi plastik global mencapai 367 metrik ton pada tahun 2020 dengan peningkatan rata-rata 2,32% selama 5 tahun terakhir (Europe Plastic, 2021). Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa sampah plastik di laut mencapai lebih dari 250.000 ton. Sebagian besar sampah laut menyebabkan kerusakan pada lingkungan dan masyarakat melalui kecelakaan laut, degradasi habitat, hilangnya produk ikan, dan hilangnya pariwisata (A.Barboza, et al., 2019).

Kuantitas sampah laut terus meningkat dalam beberapa tahun terakhir dan diperkirakan akan terus bertambah dengan bertambahnya populasi, kunjungan wisatawan, dan eksplorasi sumber daya pesisir dan laut. Banyak sampah laut, seperti alat tangkap yang terlantar, plastik, botol, dan kayu, mengapung di permukaan dan bermigrasi dari sumber aslinya. Puing-puing yang mengambang menempuh jarak jauh di atas lautan dan mengendap jauh dari sumbernya sehingga dapat menyebabkan masalah di area yang luas (Cho, 2007). Kondisi ini juga memungkinkan kawasan perlindungan laut yang terpencil dan relatif masih alami

mengalami masalah sampah laut dalam jumlah besar. Seperti yang terjadi di pantai Alaska, arus membawa puing-puing dari daerah lain (Coe & Rogers, 2011). Salah satu kawasan lindung laut yang terencil dan relatif masih asli di kawasan Taman Nasional Wakatobi yaitu Pantai Sombu yang dijadikan lokasi penelitian juga memiliki peluang yang sama untuk masalah sampah laut.

Pantai sombu merupakan pantai yang terletak di Pulau Wangiwangi, TNW. Pantai Sombu merupakan salah satu lokasi wisata *diving* yang paling populer di TNW karena memiliki keindahan bawah laut dan kemudahan aksesibilitas. Selain keindahan bawah laut, Pantai Sombu juga memiliki garis pantai berpasir yang masih sangat alami dan berpotensi untuk dijadikan destinasi wisata. Namun, tidak menutup kemungkinan adanya sampah laut yang berdampak pada keanekaragaman hayati dan menurunkan potensi tersebut. Pantai Sombu sangat rentan terhadap kerusakan lingkungan akibat pencemaran limbah, salah satunya sampah laut.

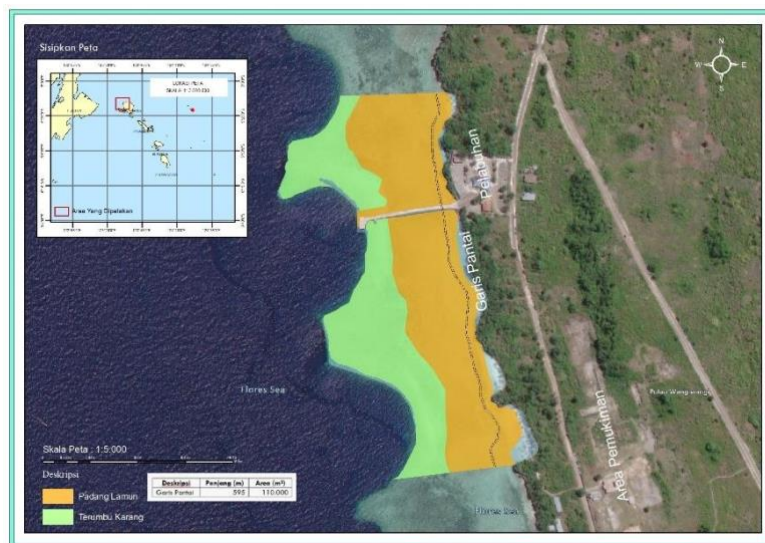
Pengelolaan sampah laut eksisting di TNW khususnya Pulau Wangiwangi yaitusampah dikumupulkan pada satu titik dan diangkut dengan truk ke tempat pemrosesan akhir (TPA). Namun, tingkat pelayanan sampah laut masih sangat rendah dan bersifat periodik. Sampah yang menumpuk di TPA dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca yang merupakan salah satu penyebab emisi karbon (Tassakka, et al., 2020) seperti metana (CH<sub>4</sub>), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), dan *Global Warming Potential* (GWP). Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca pasti akan berdampak pada perubahan iklim. Perubahan iklim dapat memberikan dampak besar pada pulau-pulau kecil dan kawasan taman nasional yang sangat sensitif terhadap perubahan suhu global. Hal ini akan mempengaruhi kondisi keanekaragaman hayati, siklus hidup organisme, produktivitas, dan akan berimplikasi pada manusia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui konsentrasi, komposisi, dan dampak sampah laut di kawasan TNW.

## **Metode**

### *Lokasi Penelitian*

Pengambilan sampel sampah laut dilakukan di Pantai Sombu yang merupakan salah satu kawasan di Taman Nasional Wakatobi. Pantai Sombu dijadikan lokasi penelitian karena potensi yang dimiliki dan ketertarikan yang sangat tinggi dari wisatawan. Faktor lain yang dipertimbangkan yaitu kelayakan akses kapal, biaya, dan kemampuan untuk memindahkan sampah laut dengan aman keluar pantai. Pada penelitian ini, hanya sebagian dari jumlah sampah laut yang diukur di pantai berpasir. Area tebing berbatu tidak diukur untuk sampah laut karena kesulitan dalam pengumpulan data. Terdapat 2 (dua) garis pantai yang dilakukan pengukuran sampah laut di Pantai Sombu dengan panjang garis pantai

sebesar 595 m dengantotal luasan pantai adalah 11.000 m<sup>2</sup>, dan rata-rata lebar pantai adalah 20 m. Secara spesifik, wilayah studi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

### Metode Survei

Pengambilan sampel sampah laut menggunakan metode survei garis pantai NOAA (Lippiatt et.al., 2013). Sampah laut yang dijadikan sampel hanya yang berukuran minimal 2,5 cm. Pengambilan sampel dilakukan pada area seluas 2.000 m<sup>2</sup> dari pasang hingga surut, sepanjangempat transek masing-masing dengan lebar 5 m dan panjang 20 m (Gambar 2). Setiap jenis sampah dipisahkan, disortir, dihitung dan ditempatkan dalam wadah terpisah. Selanjutnya diukur dengan timbangan pegas kapasitas 100 kg dengan skala 1 kg dan dengan timbangan spesifik kapasitas 10 kg ketelitian 0,1 kg. Tripod terbuat dari kayu untuk menimbang sampahlaut berukuran sangat besar (> 1m). Jika terdapat sampah laut yang terlalu berat untuk ditimbang maka akan dibagi menjadi beberapa bagian untuk ditimbang.

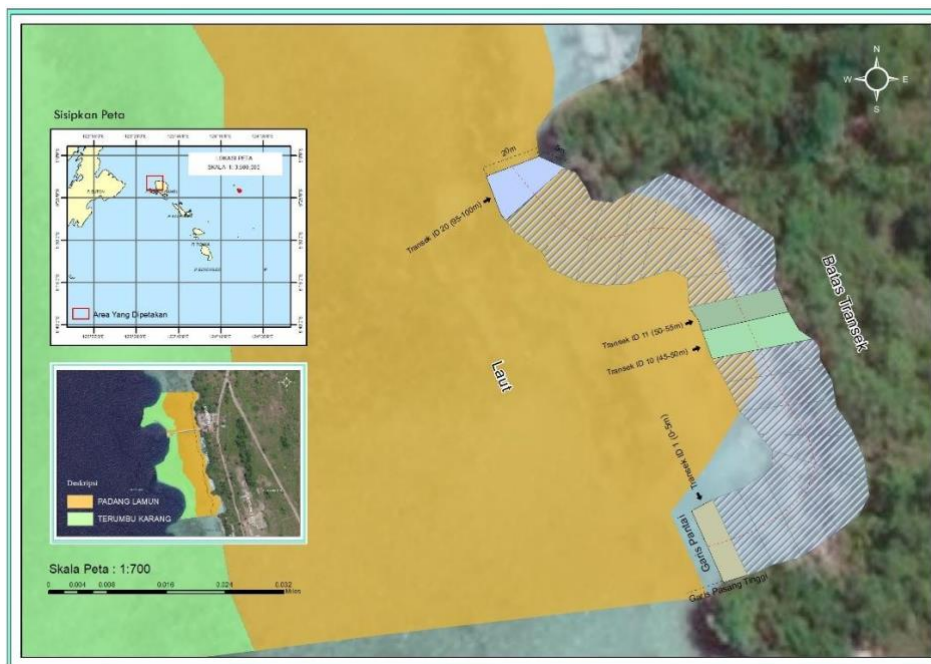
### Analisis Data

Lembar data mengklasifikasikan sampah laut secara spesifik ke dalam 46 kategori, dengan 7 kategori umum berdasarkan jenis bahannya seperti plastik, logam, kaca, karet, kayu olahan (bukan kayu alami), kain/kain, lainnya/tidak dapat diklasifikasikan. Sampah laut yang terlalu kecil dikategorikan sebagai jenis lainnya. Konsentrasi sampah laut dihitung sebagai berikut.

$$C = \frac{n}{w \times l}$$

dimana C adalah konsentrasi (item/m<sup>2</sup>); n adalah jumlah item yang diamati; w adalah lebar (m) garis pantai; dan l adalah panjang (m) garis pantai. Penentuan komposisi sampah laut berdasarkan berat masing-masing kategori digunakan sebagai data dasar pemodelan pada aplikasi *Integrated Waste Management 2*

(IWM2). Aplikasi IWM2 dapat memodelkan estimasi emisi udara yang dihasilkan dari timbulan sampah berdasarkan karakteristik, komposisi, dan jumlahnya.



Gambar 2. Detail lokasi pengambilan sampel sampah laut metode garis pantai (100 m x 20 m) di Pantai Sombu

## Hasil

### Konsentrasi Sampah Laut

Konsentrasi sampah laut pada penelitian ini dibandingkan dengan studi terdahulu secara lengkap ditampilkan pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Perbandingan konsentrasi sampah laut dengan penelitian terdahulu

Lokasi	Tahun	Konsentrasi		Sumber
		Jumlah	Berat	
<b>Pantai Sombu, Indonesia</b>	<b>2023</b>	<b>0.67/m<sup>2</sup></b>	<b>0.036 kg/m<sup>2</sup></b>	<b>Penelitian ini</b>
Ambon Bay, Indonesia	2019	0.22/m <sup>2</sup>	0,722 kg/m <sup>2</sup>	Manullang
Laut Merah, Arab Saudi	2021	0,12 ± 0,02 item/m <sup>2</sup>	-	Martin, et al.
Nha Trang, Viet Nam	2023	19,8 ± 19,5 item/m <sup>2</sup>	0,116 ± 0,226 g/m <sup>2</sup>	Fruergaard, et al.
Bali, Indonesia	2021	15.3/m <sup>2</sup>	-	Suteja, et al.
Mumbai, India	2022	1,60 ± 0,13 item/m <sup>2</sup>	-	Den et al.
Torre Guaceto MPA, Italy	2021	0,5 item/m <sup>2</sup>	-	Rizzo, et al.
Bengal, Bangladesh	2022	0,14–0,58 item/m <sup>2</sup>	-	Islam, et al.
Ningaloo Marine Park, Australia	2022	0,004–0,02 item/m <sup>2</sup>	-	Westlake, et al.
Menorca Channel MPA, Spanyol	2019	0,138-0,458/m <sup>2</sup>	-	Ruiz-Orejón, et al.
Terrestrial Kepulauan Cabrera MPA	2022	1,9 ± 2,4 item/m <sup>2</sup>	-	Compa et al..
Antartic MPA	2021	35 item/m <sup>2</sup>	-	Finger, et al.
Pantai Indian	2023	0,475±0,51 item/m <sup>2</sup>	-	Mishra, et al.

### *Komposisi Sampah Laut*

Komposisi sampah laut berdasarkan jumlah dan berat di Pantai Sombu secara lengkap ditampilkan pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Jumlah dan komposisi sampah pantai dalam kelimpahan dan berat per 100 m.

No	Jenis Sampah laut	Kuantitas	Komposisi Jumlah (%)	Berat	Komposisi Berat (%)
1	Plastik	773	57.71	34.60	48.74
2	Logam	13	1.00	0.25	0.35
3	Kaca	140	10.45	0.19	0.27
4	Karet	187	13.93	1.36	1.92
5	Kayu	153	11.44	2.40	3.38
6	Tekstil	20	1.49	4.00	5.63
7	Lainnya/tidak terklasifikasi	53	3.98	28.20	39.72
<b>Total/100 m</b>		<b>1.340</b>		<b>71</b>	

Secara lengkap, klasifikasi jenis sampah plastik di Pantai Sombu ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Persentase komposisi sampah plastik di Pantai Sombu

No.	Jenis Sampah Plastik	Jumlah/100m	Jumlah	Persentase (%)
1	Pecahan plastik	200	1.454	25,9
2	Pembungkus makanan	127	921	16,4
3	Botol minuman	140	1.018	18,1
4	Kendi atau wadah lainnya	0	0	0,0
5	Tutup botol atau kontainer	93	679	12,1
6	Cerutu	0	0	0,0
7	Rokok	0	0	0,0
8	Puntung rokok	0	0	0,0
9	Cincin	0	0	0,0
10	Tas	0	0	0,0
11	Tali plastik/ potongan jaring kecil	40	291	5,2
12	Pelampung	0	0	0,0
13	Pancing dan benang pancing	0	0	0,0
14	Gelas (plastik polystyrene)	80	582	10,3
15	Peralatan plastik	53	388	6,9
16	Sedotan	0	0	0,0
17	Balon	0	0	0,0
18	Produk perawatan pribadi	7	48	0,9
19	Lainnya	33	242	4,3
<b>Total</b>		<b>773</b>	<b>5.622</b>	

## **Pembahasan**

### *Konsentrasi Sampah Laut*

Jumlah total sampah laut di Pantai Sombu yang dikategorikan menjadi 46 kategori diprediksi mencapai 10.421 unit. Berat total sampah laut pada Pantai Sombu diperkirakan 516,14 kg. Konsentrasi sampah laut di Pantai Sombu

berdasarkan jumlah unit dan berat masing-masing sebesar 0,67 unit dan 0,036 kg per m<sup>2</sup>.

### *Komposisi Sampah Laut*

Komposisi sampah laut berdasarkan jumlah dan berat di Pantai Sombu didominasi oleh jenis plastik yaitu 57,71% berdasarkan jumlah dan 48,74% berdasarkan berat diikuti oleh jenis karet sebesar 13,93% berdasarkan jumlah dan jenis lainnya/tidak dapat diklasifikasikan sebesar 39,74% berdasarkan berat. Jenis sampah yang paling banyak terdapat di Pantai Sombu yaitu sampah plastik menunjukkan bahwa permasalahan sampah plastik di lautan merupakan masalah yang sangat besar bahkan dapat mencapai 60-80% berdasarkan hasil tinjauan global (Pasquini et.al., 2016).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampah plastik harus menjadi fokus utama pengelolaan sampah laut yang berasal dari Pantai Sombu. Secara spesifik, berdasarkan jenis sampah plastik, jenis pecahan plastik (25,9% dari seluruh plastik) merupakan sampah plastik yang umum ditemukan di Pantai Sombu diikuti oleh jenis botol minuman (18,1%) dan pembungkus makanan (16,4%). Namun, terdapat beberapa jenis sampah plastik yang tidak ditemukan di Pantai Sombu seperti cerutu, puntung rokok, tas, pelampung, peralatan pancing, sedotan, balon, dan wadah tergolong lainnya. Secara lengkap, klasifikasi jenis sampah plastik di Pantai Sombu ditampilkan pada Tabel 3. Timbulan sampah yang terjadi di Pantai Sombu biasanya dihasilkan oleh masyarakat atau wisatawan ketika berada di pantai dan sampah yang terbawa oleh arus menuju pantai (Maharani et.al., 2018).

### *Pemodelan emisi udara*

Pemodelan emisi udara yang dihasilkan dari sampah laut di Pantai Sombu diperkirakan sekitar 52 kgCO<sub>2</sub>/tahun; 23 kgCH<sub>4</sub>/tahun; dan 541 kgGWP/tahun. Studi ini menunjukkan pengelolaan sampah laut di Pantai Sombu juga perlu dikelola dengan baik sehingga dapat mengurangi dampak perubahan iklim. Meskipun demikian, emisi udara yang dihasilkan masih tergolong kecil karena ruang lingkup penelitian juga yang tergolong kecil.

### **Kesimpulan**

Pantai Sombu sebagai salah satu kawasan di TNW yang sangat populer bagi wisatawan memiliki konsentrasi sampah laut sebesar 0,67 unit dan 0,036 kg per m<sup>2</sup> dengan komposisi didominasi oleh jenis plastik yaitu 57,71% berdasarkan jumlah dan 48,74% berdasarkan berat diikuti oleh jenis karet sebesar 13,93% berdasarkan jumlah dan jenis lainnya sebesar 39,74% berdasarkan berat. Berdasarkan konsentrasi dan komposisi tersebut, emisi udara yang dihasilkan dari sampah laut di Pantai Sombu diestimasi sekitar 52 kgCO<sub>2</sub>/tahun; 23 kgCH<sub>4</sub>/tahun; dan 541 kgGWP/tahun. Angka ini relatif rendah dibandingkan dengan daerah lain. Namun emisi udara dari sampah laut di Pantai Sombu tetap menjadi perhatian karena dapat memberikan dampak yang cukup besar terhadap perubahan iklim jika tidak dikendalikan. Jenis sampah plastik dapat menjadi prioritas utama dalam

pengelolaan sampah laut di Pantai Sombu. Pencemaran sampah laut di Pantai Sombu menunjukkan perlunya pengelolaan sampah yang lebih baik. Pengelolaan sampah laut di wilayah TNW seperti Pantai Sombu juga perlu disesuaikan dengan kondisi komposisi sampah dan ketersediaan peralatan.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada direktur AKKP Wakatobi atas dorongan dan motivasinya. Kami berterima kasih kepada banyak sukarelawan atas komitmen mereka dalam mengumpulkan dan mengidentifikasi sampah laut terutama taruna-taruni Angkatan V AKKP Wakatobi.

### Daftar Pustaka

- Barboza, L. G., AndrésCózar, C.G.Gimenez, B., LimaBarros, T., J.Kershaw, P., & LúciaGuilhermino. (2019). Macroplastics Pollution in the Marine Environment. *World Seas: An Environmental Evaluation*, 305-328.
- BPS. (2019). *Indonesia Central Agency on Statistics*. (2018). *Tomia District in Numbers*.
- Wakatobi: BPS.
- Cho, D. O. (2007). Challenges to Marine Debris Management in Korea. *Coastal Management*, 389-409.
- Coe, J. M., & Rogers, D. B. (2011). *Marine Debris: Sources, Impacts, and Solutions*. New York: Springer.
- Compa, M., Alomar, C., Mercè Morató, E. Á., & Deudero, S. (2022). Spatial distribution of macro- and micro-litter items along rocky and sandy beaches of a Marine Protected Area in the western Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*.
- Den, K., Sautya, S., Gaikwad, S., Mitra, A., & Nanajkar, M. (2021). Characterization of anthropogenic marine macro-debris affecting coral habitat in the highly urbanized seascape of Mumbai megacity. *Environmental Pollution*.
- Europe, P. (2021). *Plastics-The Facts 2021 an Analysis of European Plastics Production, Demand, and Waste Data*. Brussel: PlasticsEurope AISBL.
- Finger, ". V., Corá, D. H., Convey, P., Cruz, F. S., Petry, M. V., & Krüger, L. (2021). Anthropogenic debris in an Antarctic Specially Protected Area in the maritime Antarctic. *Marine Pollution Bulletin*.
- Fruergaard, M., Laursen, S. N., Larsen, M. N., Posth, N. R., Niebe, K. B., Bentzon-Tarp, A.,
- Andersen, T. J. (2023). Abundance and sources of plastic debris on beaches in a plastic hotspot, Nha Trang, Viet Nam. *Marine Pollution Bulletin*, 114-124.
- Galgani, L., Beiras, R., Galgani, F., Panti, C., & Borja, A. (2019). Editorial: Impacts of MarineLitter. *Frontiers in Marine Science*, 6-9.
- Islam, M. S., Phoungthong, K., Islam, A. R., Ali, M. M., Ismail, Z., Shahid, S., . . . Idris, A.
- M. (2022). Sources and management of marine litter pollution along the Bay of Bengal coast of Bangladesh. *Marine Pollution Bulletin*, 114-125.
- Lippiatt, S., Opfer, S., & Arthur, C. (2013). *Marine Debris Monitoring and Assessment Recommendations for Monitoring Debris Trends in the Marine Environment*. Washington: NOAA Marine Debris Division.
- Maharani, A., Purba, N. P., & Faizal, I. (2018). Occurrence of beach debris in Tunda Island, Banten, Indonesia. *E3S Web of Conferences SCiFiMaS*, 1-12.

Manullang, C. Y. (2019). The abundance of Plastic Marine Debris on Beaches in Ambon Bay.

*IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.*

Martin, C., Zhang, Q., Zhai, D., Zhang, X., & Duarte, C. M. (2021). Enabling a large-scale assessment of litter along Saudi Arabian red sea shores by combining drones and machine learning. *Environmental Pollution*, 116-125.

Mishra, P., Kaviarasan, T., Sambandam, M., Dhineka, K., Murthy, M. R., Iyengar, G., . . . Ravichandran, M. (2023). Assessment of national beach litter composition, sources, and management along the Indian coast - a citizen science approach. *Marine Pollution Bulletin*, 1144-1152.

P. Strafella, G. Fabi, A. Spagnolo, F. Grati, P. Polidori, E. Punzo, . . . G. Scarcellaa. (2015). Spatial pattern and weight of seabed marine litter in the northern and central Adriatic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 120-127.

Pasquini, G., Ronchi, F., Strafella, P., Scarcella, G., & Fortibuoni, T. (2016). Seabed litter composition, distribution and sources in the Northern and Central Adriatic Sea (Mediterranean). *Waste Management*, 48-58.

Rizzo, A., Rangel-Buitrago, N., Impedovo, A., Mastronuzzi, G., Scardino, G., & Scicchitano,

G. (2021). A rapid assessment of litter magnitudes and impacts along the Torre Guaceto marine protected area (Brindisi, Italy). *Marine Pollution Bulletin*, 198-208.

Ruiz-Orejón, L. F., Mourre, B., Sardá, R., Tintoré, J., & Ramis-Pujol, J. (2019). Quarterly variability of floating plastic debris in the marine protected area of the Menorca Channel (Spain). *Environmental Pollution*, 1742-1754.

Suteja, Y., Atmadipoera, A. S., Riani, E., & I Wayan Nurjaya, D. N. (2021). Stranded marinedebris on the touristic beaches in the south of Bali Island, Indonesia: The spatiotemporal abundance and characteristic. *Marine Pollution Bulletin*, 146-157.

Tassakka, M. I., Musrianton, M., Alsita, I., Runtu, K. G., Normayasari, & Ndahawali, H. (2020). Modeling the impact of the COVID-19 pandemic on air emissions indicators of climate change originating from solid waste management in coastal settlements. *Earth and Environmental Science*, 584-594.

Westlake, E. L., Lawrence, E., Travaglione, N., Barnes, P., & Thomson, D. P. (2022). Low quantities of marine debris at the northern Ningaloo Marine Park, Western Australia, influenced by visitation and accessibility. *Marine Pollution Bulletin*, 113-122.