

Karakteristik Mikroplastik pada Daerah *Feeding Ground* Pari Manta, Big Manta Bay, Nusa Penida

Janis K. P. Argeswara ^{a*}, I Gede Hendrawan ^a, IGB Sila Dharma ^a, Elitza Germanov ^b

^a Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Badung, Bali

^b Marine Megafauna Foundation – SE Asia, Dresia Jungutbatu, Nusa Lembongan

* Penulis koresponden. Tel.: +62-812-8087-6197

Alamat e-mail: janis.argeswara@gmail.com

Diterima (received) 23 Juli 2019; disetujui (accepted) 3 November 2021; tersedia secara online (available online) 4 November 2021

Abstract

Microplastic, the pieces of plastic sized < 5 mm, are dangerous materials for marine organisms where if is ingested can anatomically and physiologically change the marine organism. Manta rays (*Mobula alfredi*) are filter feeders where they eat planktons and small fishes by filtering seawater. Mantas can filter up to hundreds cubic meter everyday, indicating the chances of it ingesting microplastics. This research was conducted to find out the microplastic characteristics at Big Manta Bay, Nusa Penida. Samples were obtained at two sites, North and South Big Manta Bay, by trawling 6 times on each site that represents Big Manta Bay using a plankton net. Samples were processed by separating plastics and organic matters using density separation method, and afterwards identified based on its type, quantity and size using a dissecting microscope. Results from the research came back stating the microplastic abundance reached 123,767 pieces/km², with a total number of microplastics up to 174 pcs. The types of plastics most frequently found are fragments (44,69%), films (38,55%), fiber (14,53%) and foam (2,23%). Samples were also analysed using FTI-R Spectrometry, where plastics are identified as Polypropylene (PP) and Low-density Polyethylene (LDPE). Both polymers are the top two polymers that are produced globally.

Keywords: *microplastic; ftir; manta rays; Nusa Penida*

Abstrak

Mikroplastik, pecahan plastik dengan ukuran < 5 mm, merupakan zat berbahaya bagi organisme laut. Tertelannya mikroplastik oleh biota laut dapat menimbulkan perubahan pada organisme tersebut secara anatomis maupun fisiologis. Pari manta (*Mobula alfredi*) merupakan binatang *filter feeder* atau binatang yang memiliki cara makan dengan menyaring air laut. Pari manta dapat menyaring hingga ratusan kubik meter air setiap harinya, mengindikasikan kemungkinan tertelannya mikroplastik oleh binatang tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik mikroplastik yang terdapat di kawasan *feeding ground* pari manta di Big Manta Bay, Nusa Penida. Sampel diperoleh menggunakan metode *net trawling* dengan plankton net, yang dilakukan sebanyak 6 kali pada 2 lokasi, merepresentasikan Big Manta Bay Utara dan Big Manta Bay Selatan. Pengolahan sampel dilakukan menggunakan metode *density separator*, dan identifikasi dilakukan menggunakan *dissecting microscope* dan kemudian diidentifikasi berdasarkan jenis, jumlah dan ukuran mikroplastik. Hasil yang diperoleh dari seluruh *net trawling* tersebut didapatkan kelimpahan mikroplastik yang ditemukan sebesar 123,767 pcs/km², dengan jumlah mikroplastik yang ditemukan berjumlah 174 pcs. Mikroplastik terbanyak ditemukan berupa plastik fragmen (44,69%), diikuti dengan film (38,55%), fiber (14,53%) dan foam (2,23%). Analisis uji FTI-R juga dilakukan, dimana plastik yang ditemukan berbahan Polypropylene (PP) dan *Low-density* Polyethylene (LDPE). Bahan polymer PP dan LDPE merupakan kedua bahan polymer plastik tertinggi yang diproduksi secara global.

Kata Kunci: *mikroplastik; ftir; pari manta; Nusa Penida*

1. Pendahuluan

Pencemaran laut bukanlah hal yang baru terdapat di lingkungan laut dan pesisir. Salah satu jenis

pencemaran laut yang akhir-akhir ini sedang menjadi perhatian masyarakat global merupakan pencemaran plastik. Menurut *United Nations Environment Program* (UNEP) (2005), terdapat

13,000 pcs plastik yang mengapung di laut setiap kilometer persegi. Sejak tahun 1950, terdapat peningkatan produksi bahan-bahan plastik secara global (Worm et al., 2017).

Plastik yang terbuat dari bahan dasar dari hidrokarbon memiliki sifat yang sulit untuk terurai, dan justru terakumulasi dan terpecah-pecah sehingga masuk ke tempat pembuangan akhir (TPA) atau lingkungan (Barnes et al., 2009). Fragmen-fragmen dari hasil pemecahan plastik tersebut disebut mikroplastik, dimana pecahan-pecahan tersebut memiliki ukuran kurang dari 5 mm (Bakir et al., 2012). Di laut, mikroplastik dapat ditemukan akibat terpecahnya sampah plastik besar oleh sinar UV (fotodegradasi), energi gelombang, energi arus, dan biodegradasi (Andrady, 2011; Kershaw et al., 2015).

Salah satu permasalahan akibat mikroplastik di laut adalah tertelannya mikroplastik oleh organisme laut (Wright et al., 2013) yang dapat menimbulkan perubahan pada organisme, baik secara fisiologis ataupun secara anatomis (Tanaka K et al., 2013). Ketika mikroplastik tertelan oleh organisme laut, secara fisik, hal tersebut dapat menghambat pencernaan organisme yang memakannya (Wright et al., 2013).

Salah satu binatang yang rawan terhadap pencemaran mikroplastik di laut adalah pari manta. Pari manta merupakan binatang *filter feeder*, dimana binatang tersebut dapat menyaring hingga ratusan kubik meter air setiap harinya (Germanov et al., 2018). Proses penyaringan makanan di permukaan mengindikasikan kemungkinan tercemarnya pari manta oleh mikroplastik (Germanov et al., 2018)

Pari manta (*Mobula alfredi*), yang telah ditetapkan oleh International Union for Conservation of Nature (IUCN) dengan status vulnerable (VU) atau rentan, merupakan salah satu *flagship species*, selain ikan mola, yang merupakan spesies ikonik di Nusa Penida. *Flagship species* merupakan spesies yang mempromosikan konservasi laut, serta memiliki peran yang besar sehingga perubahan pada spesies tersebut dapat mempengaruhi spesies lainnya sehingga pari manta penting untuk dikonservasi (Germanov et al., 2018). Nusa Penida telah termasuk dalam Kawasan Konservasi Perairan Daerah – Taman Wisata Perairan (KKPD TWP) melalui Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan no. 24 tahun 2014 (KKP, 2014), sehingga kawasan perairan Nusa

Penida serta biota laut yang terdapat di kawasan tersebut penting untuk dijaga secara berkelanjutan.

Di Nusa Penida sendiri juga terdapat kawasan *feeding ground* pari manta, khususnya bagi pari manta juvenil. Menurut Germanov et al. (2019) dari 1,211 pertemuan pari manta di Manta Bay pada tahun 2012 - 2018, 79% pari manta pada pertemuan tersebut sedang melakukan kegiatan mencari makan. Manta Bay cenderung digunakan oleh pari manta juvenil, sehingga Manta Bay telah dibuktikan sebagai *nursery ground* bagi populasi pari manta setempat (Germanov et al., 2019).

Menurut *Marine Megafauna Foundation* (MMF) (2016) pari manta yang terdapat di Big Manta Bay, Nusa Penida dapat mengonsumsi 40 hingga 90 partikel mikroplastik setiap jamnya. Identifikasi mikroplastik pada penelitian tersebut dilakukan menggunakan metode oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) *Marine Debris Program* (Masura et al., 2015), yang hanya diidentifikasi secara visual sehingga dapat terjadinya kesalahan identifikasi (Frère et al., 2016). Salah satu cara untuk mengurangi tingkat kesalahan pada proses identifikasi adalah menggunakan uji *Fourier Transform Infrared* (FTI-R) *Spectroscopy*. Analisis komposisi bahan penyusun mikroplastik yang menggunakan FTI-R Spektrometer mampu menganalisis jenis polymer pada mikroplastik tersebut, sehingga dapat dikonfirmasi jenis mikroplastik yang ada.

Analisis mengenai komposisi bahan penyusun mikroplastik yang ditemukan di Nusa Penida belum pernah dilakukan, sehingga menimbulkan adanya *research gap* mengenai kelengkapan karakteristik mikroplastik yang terdapat di *feeding ground* pari manta. Hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui karakteristik mikroplastik yang terdapat di perairan tersebut.

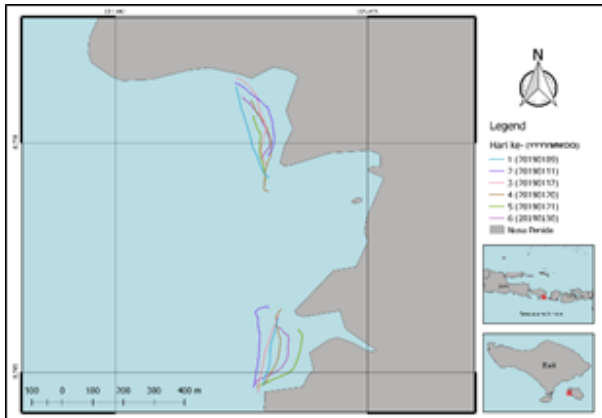
2. Metode Penelitian

2.1 Pengambilan Sampel

Metode penelitian yang digunakan merupakan metode modifikasi dari Eriksen et al. (2014); Masura et al. (2015); dan Viršek et al. (2016).

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari – Februari (musim hujan) 2019. Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Januari 2019 di Big Manta Bay, Nusa Penida, dimana pengambilan sampel dilakukan antara pukul 07.00 – 13.00 WITA, pada saat waktu pasang. Penentuan titik sampel, yang

dapat dilihat pada Gambar 1, dilakukan dengan metode *purposive sampling*, dengan ketentuan titik mewakili bagian utara dan selatan Big Manta Bay.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Pengambilan sampel dilakukan pada 2 titik (Big Manta Bay Utara dan Selatan) dengan pengambilan sebanyak 6 kali di setiap titik. Satu sampel yang diperoleh merupakan hasil satu kali *trawling* air laut. Setiap pengambilan sampel dilakukan pengulangan sebanyak 2 kali, sehingga jumlah sampel yang diperoleh sebanyak 24 sampel.

Pengambilan sampel dilakukan menggunakan plankton net, dengan diameter mulut 50 cm, panjang plankton net 1,5 m, dan *mesh size* 200 μm (Viršek et al., 2016). Plankton net ditarik menggunakan kapal dalam satu arah lurus (horizontal) dengan waktu 5 menit dengan kecepatan kapal di bawah 5 km/jam, sambil dilakukannya penitikan koordinat GPS awal. Setelah kapal dihentikan, dilakukan penitikan koordinat GPS akhir (Eriksen et al., 2014). Plankton net diangkat dan kemudian dibilas secara menyeluruh dengan air laut yang telah disaring (Eriksen et al., 2014). Sampel yang telah diperoleh disimpan pada tabung sampel.

2.2 Pengolahan Sampel

Pengolahan dan identifikasi jenis mikroplastik dilakukan di laboratorium. Identifikasi jenis mikroplastik berdasarkan jenis, jumlah dan ukurannya dilakukan dengan membersihkan sampel mikroplastik terlebih dahulu, kemudian didiamkan pada gelas ukur berisi air laut yang tersaring untuk dipisahkan berdasarkan perbedaan densitas. Setelah mikroplastik didiamkan selama *overnight* (Masura et al., 2015), partikel mikroplastik yang mengapung diambil,

dan kemudian diletakan pada kertas Whattman hingga kering.

2.3 Identifikasi Sampel

Sampel yang kering kemudian dianalisis menggunakan *dissecting microscope*, dengan perbesaran 8x, dan diidentifikasi setiap jenis dan ukurannya (Viršek et al., 2016). Proses identifikasi dilakukan dengan melihat bentuk/jenis and warna per-plastik, dan pengukuran dilakukan menggunakan penggaris. Panduan identifikasi yang digunakan berasal dari publikasi Viršek et al. (2016) dan Lusher et al. (2013).

2.4 Analisis Data

2.4.1. Kelimpahan Mikroplastik

Kelimpahan mikroplastik dapat dihitung berdasarkan jumlah partikel yang ditemukan dibagi volume air yang tersaring (Kunz et al., 2016).

$$N = \frac{\hat{a}P}{V} \quad (1)$$

dimana N adalah kelimpahan (partikel/ m^3); P adalah partikel; dan V adalah volume air tersaring (m^3).

2.4.2. Konversi satuan m^3 menjadi km^2

Satuan mikroplastik dikonversi menjadi km^2 agar dapat dibandingkan dengan hasil penelitian-penelitian lainnya. Persamaan diambil dari hasil penelitian Van Sebille et al. (2015).

$$\frac{P}{\text{km}^2} = \left(\frac{P}{\text{m}^3} h \right) 10^6 \quad (2)$$

dimana P/km^2 adalah kelimpahan mikroplastik dengan satuan km^2 ; P/m^3 adalah kelimpahan mikroplastik dengan satuan m^3 , h merupakan tinggi net yang terendam dalam air pada saat pengambilan sampel; dan 10^6 adalah pengukuran konversi m^2 menjadi km^2 .

2.4.3. Estimasi mikroplastik tertelan

Untuk mengetahui estimasi jumlah mikroplastik yang ditelan pari manta, perhitungan dilakukan menggunakan hasil dari penelitian Paig-Tran et al. (2013).

$$Est. \frac{Mp}{j} = PvMFil \quad (3)$$

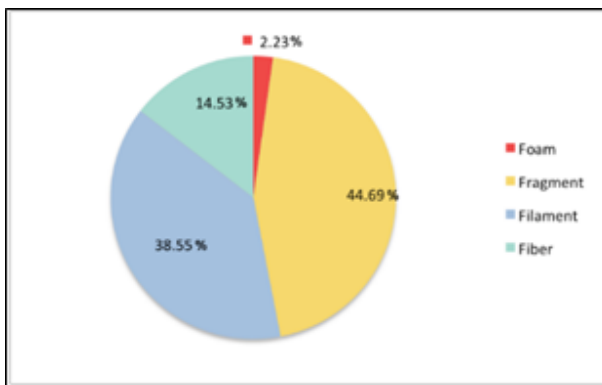
dimana $Est.Mp/j$ adalah estimasi jumlah mikroplastik yang ditelan pari manta per jam; Pv adalah rata-rata pcs mikroplastik (pcs/m^3) dan $MFil$ adalah kecepatan proses menyaring *M. alfredi* per jam ($86.4 m^3/j$).

3. Hasil

3.1 Jenis, ukuran, dan kelimpahan mikroplastik

Hasil trawling menunjukkan jumlah mikroplastik sebanyak 174 pcs, dengan 100 pcs ditemukan di Big Manta Bay Selatan (BMBS), dan 74 pcs ditemukan di Big Manta Bay Utara (BMBN).

Dari keseluruhan sampel mikroplastik, jenis plastik fragmen (contoh: tutup botol, pelampung alat tangkap, dan alat makan plastik) merupakan jenis terbanyak yang ditemukan dengan persentase 44,69%, diikuti oleh filament (contoh: bungkus makanan, *packaging*, dan tas plastik) dengan persentase 38,55%, fiber (contoh: tali pancing dan alat tangkap) sebesar 14,53%, dan foam sebesar 2,23%. Hasil dapat dilihat pada Gambar 2.

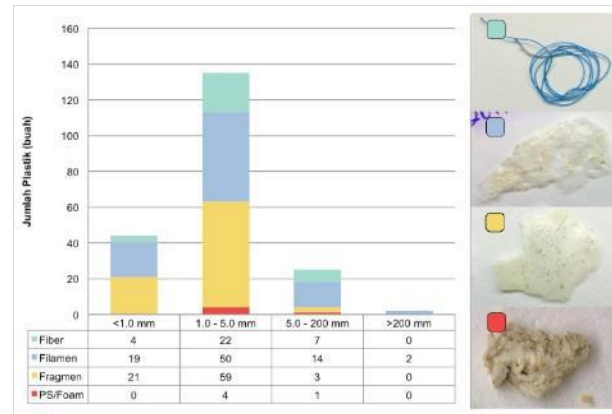


Gambar 2. Persentase mikroplastik yang ditemukan di Big Manta Bay (Januari 2019)

Ukuran seluruh plastik yang ditemukan bervariasi yaitu antara 0.1mm hingga 465mm. Plastik berjumlah 204 pcs, dimana 84.80% merupakan mikroplastik ($< 5mm$), 14.22% merupakan mesoplastik ($5 - 200mm$), dan 0.98% merupakan makroplastik ($> 200mm$). Hasil dapat dilihat pada Gambar 3.

Rata-rata kelimpahan dari seluruh *trawling* yang dilakukan menunjukkan bahwa kelimpahan mikroplastik di Big Manta Bay pada bulan Januari

2019 mencapai 123,767 pcs/ km^2 . Menurut Van Seville et al. (2015), estimasi jumlah plastik mengapung hasil studi menggunakan model memiliki rentang antara 10,000 – 100,000 pcs plastik/ km^2 . Sedangkan menurut Eriksen et al. (2014) dan Van Seville et al. (2015), rata-rata kelimpahan mikroplastik berdasarkan model memiliki rentang antara 20,000 – 449,000 pcs/ km^2 . Perbandingan rata-rata konsentrasi kelimpahan pada kawasan lainnya dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 3. Grafik karakteristik plastik yang ditemukan di Big Manta Bay (Januari 2019)

3.2 Analisis Uji Fourier Transform Infrared (FTI-R)

Sampel yang diambil untuk uji FTI-R merupakan sampel dengan hasil terbanyak pada saat *trawling*. Jumlah mikroplastik yang diidentifikasi sejumlah 24 pcs, dan diidentifikasi menjadi tiga bagian (film, fragmen dan fiber). Dari seluruh mikroplastik tersebut, jenis mikroplastik terbanyak merupakan bahan polypropylene (PP) (71%) dari mikroplastik jenis fragmen, diikuti dengan *low-density polyethylene* (LDPE) (29%) dari mikroplastik jenis film dan fiber.

4. Pembahasan

4.1 Jenis, ukuran, dan kelimpahan mikroplastik

Jumlah mikroplastik yang didapatkan di Big Manta Bay melebihi jumlah mesoplastik dan makroplastik. Mikroplastik merupakan jenis plastik yang terbanyak ditemukan karena mikroplastik merupakan pecahan hasil fragmentasi plastik dengan ukuran yang lebih besar; sehingga mikroplastik hasilnya lebih banyak dibandingkan plastik berukuran besar (Eriksen et al., 2014).

Jenis mikroplastik yang terbanyak ditemukan merupakan fragmen, diikuti dengan film, fiber dan kemudian foam. Menurut Moore (2001), fragmen merupakan jenis mikroplastik terbanyak yaitu sebanyak 65,689 pcs/km², dan yang paling sedikit yaitu pellet sebanyak 483 pcs/km². Mikroplastik jenis fragmen merupakan plastik yang berdensitas rendah, seperti pelampung alat tangkap, perabotan rumah tangga, dan kemasan makanan. Sedangkan mikroplastik jenis film lebih banyak digunakan untuk peralatan seperti pembungkus makanan dan bahan pembersih (*packaging*), dan tas plastik. Menurut Teuten et al. (2009), jenis mikroplastik yang terdapat di permukaan laut juga dipengaruhi oleh densitas plastik dan zat kimia yang ditambahkan pada plastik (zat aditif).

Kelimpahan mikroplastik yang ditemukan mencapai 123,767 pcs/km², dimana angka kelimpahan tersebut masih termasuk dalam rentang kelimpahan mikroplastik di wilayah-wilayah lainnya. Menurut Eriksen et al. (2014) dan Van Sebille et al. (2015), rata-rata kelimpahan mikroplastik berdasarkan hasil studi model antara 20,000 – 449,000 pcs/km².

Estimasi rata-rata tingkat konsumsi mikroplastik yang dapat ditelan oleh pari manta (*ingestion rate*) berdasarkan hasil yang didapatkan sebanyak 23.33 pcs/jam. Jumlah kelimpahan mikroplastik dan estimasi *ingestion rate* dipengaruhi oleh beberapa hal, termasuk tren musiman (musim kering dan musim hujan), dan perbedaan kondisi lokasi penelitian, seperti populasi, letak geografis, dan kondisi oseanografi perairan tersebut (Moore et al., 2001).

4.2 Jenis polymer mikroplastik

Jenis polymer yang ditemukan di Big Manta Bay merupakan polypropylene (PP) dan *low-density polyethylene* (LDPE) (Tabel 2), sesuai dengan kecenderungan hasil jenis mikroplastik yang ditemukan di wilayah laut lainnya (Morét-Ferguson et al., 2010; Hidalgo-Ruz et al., 2012). Hal tersebut dikarenakan PP dan LDPE merupakan jenis plastik yang tingkat produksinya secara global berada di posisi pertama dan kedua, senilai 45 juta ton produksi global per tahun dan 39 juta ton produksi global per tahun (Lithner, 2011). Selain itu, PP dan LDPE memiliki densitas yang lebih kecil dibandingkan air laut sehingga bahan-bahan tersebut mudah terapung dibandingkan bahan lainnya (Andrady, 2011).

Hasil sampel plastik yang ditemukan (PP dan LDPE) rata-rata digunakan sebagai bahan *packaging* (Andrady, 2011). Fiber yang ditemukan berbahan dasar LDPE, dimana LDPE juga termasuk salah satu bahan yang digunakan untuk membuat alat tangkap (Timmers et al., 2005 in Andrady, 2011). Setiap jenis polymer memiliki tingkat berbahaya yang berbeda-beda. PP dan LDPE terdapat pada *hazard rank* ke-37 dan 36 (Lithner, 2011).

5. Simpulan

Ditemukan plastik sejumlah 204 pcs, dimana 174 pcs merupakan mikroplastik. Dari keseluruhan sampel mikroplastik, jenis plastik fragmen merupakan jenis terbanyak yang ditemukan dengan persentase 44,69%, diikuti oleh film dengan persentase 38,55%, fiber sebesar 14,53%, dan foam (2,23%). Secara keseluruhan, rata-rata

Tabel 1
Perbandingan rata-rata konsentrasi kelimpahan mikroplastik

No.	Lokasi	Rata-rata Kelimpahan (pcs/km ²)	Tahun	Sumber	Metode
1	Big Manta Bay, Bali	123,767	2019	Penelitian ini	Modifikasi Eriksen et al. (2014); Masura et al. (2015); Viršek et al. (2016)
2	Cilacap, Jawa Tengah	94,500 – 189,000	2017	Syakti et al.	
3	Perairan Mediterania	116,000	2012	Collignon et al.	Modifikasi Ryan et al. (2009)
4	Arus Kuroshio (barat laut Pasifik)	174,000	2007	Yamashita et al.	Modifikasi Ogi and Fukomoto (2000)
5	North Pacific Central Gyre (Great Pacific Garbage Patch)	334,271	2001	Moore CJ	Moore CJ (2001)

Tabel 2

Hasil Uji FTI-R beserta *hazard rank* dan densitas jenis polymer menurut Lithner (2011), Andrady (2011), dan Kershaw, et al. (2015)

Jenis Sampel	Hasil Uji FTI-R	Tingkat Kecocokan Polymer berdasarkan HR <i>Comprehensive Forensic FTI-R Collection</i>	Produksi global (juta ton/thn)	Hazard rank (1 – 36)	Densitas (g/cm ³)
Film (LDPE)		88.54% Polyethylene, Aged cordage, plus some Propylene 87.68% Low-density Polyethylene 87.10% Low-density Polyethylene 86.82% Poly (Ethylene – Acrylic Acid)	39	36	0.31 – 0.93
Fiber (LDPE)		93.76% Low-density Polyethylene 93.26% Low Molecular Weight Polyethylene, Oxidized 92.79% Polyethylene, Aged cordage, plus some propylene 92.79% Poly (Ethylene – Acrylic Acid)	39	36	0.31 – 0.93
Fragment (PP)		79.02% Polypropylene 77.70% Poly (Propylene Ethylene) 68.43% Polypropylene + Poly (Ethylene : Propylene) 66.85% Solar Active Polypropylene	45	37	0.85 – 0.83
Foam (Polystyrene / PS)			13	35	1.05
Polyvinyl Chloride (PVC)			37	5, 6, 11	1.38
Poly(ethylene) terephthalate (PET)			33	36	1.37

konsentrasi kelimpahan mikroplastik yang terdapat di Big Manta Bay sejumlah 123,767 pcs/km².

Dari seluruh mikroplastik yang diuji, jenis mikroplastik terbanyak merupakan bahan polypropylene (PP) (71%), diikuti dengan *low-density* polyethylene (LDPE) (29%). PP dan LDPE terletak pada *hazard rank* ke-37 dan 36, serta merupakan jenis plastik yang tingkat produksinya secara global berada di posisi pertama dan kedua.

Ucapan terima kasih

Penulis berterima kasih kepada reviewer atas saran dan pendapat dalam tulisan ini, dan kepada

Marine Megafauna Foundation – SE Asia Nusa Lembongan yang telah membantu berjalannya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, **62**(8), 1596-1605.
- Bakir, A., Rowland, S. J., & Thompson, R. C. (2012). Competitive sorption of persistent organic pollutants onto microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, **64**(12), 2782-2789
- Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical*

- Transactions of the Royal Society B*, **364**(1526), 1985–1998.
- Collignon, A., Hecq, J. H., Glagani, F., Voisin, P., Collard, F., & Goffart, A. (2012). Neustonic microplastic and zooplankton in the North Western Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, **64**(4), 861-864.
- Eriksen, M., Lebreton, L. C., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., Galgani, F., Ryan, P. G., & Reisser, J. (2014). Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PLoS one*, **9**(12), 1-15.
- Frère, L., Paul-Pont, I., Moreau, J., Soudant, P., Lambert, C., Huvet, A., & Rinnert, E. (2016). A semi-automated Raman micro-spectroscopy method for morphological and chemical characterizations of microplastic litter. *Marine Pollution Bulletin*, **113**(1-2), 461-468.
- Germanov, E. S., Marshall, A. D., Bejder, L., Fossi, M. C., & Loneragan, N. R. (2018). Microplastics: no small problem for filter-feeding megafauna. *Trends in Ecology & Evolution*, **33**(4), 227-232.
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology*, **46**(6), 3060-3075.
- KKP. (2014). *Keputusan Menetri Kelautan and Perikanan Nomor 24 Tahun 2014 tentang Kawasan Konservasi Perairan Nusa Penida Kabupaten Klungkung di Provinsi Bali*. Jakarta-Indonesia: Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Kershaw, P. J., & Rochman, C. M. (2015). *Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part 2 of a global assessment*. Reports and studies. London, United Kingdom: Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP).
- Kunz, A., Walther, B. A., Löwemark, L., & Lee, Y. C. (2016). Distribution and quantity of microplastic on sandy beaches along the northern coast of Taiwan. *Marine Pollution Bulletin*, **111**(1-2), 126-135.
- Lithner, D., Larsson, Å., & Dave, G. (2011). Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Science of the Total Environment*, **409**(18), 3309-3324.
- Lusher, A. L., Mchugh, M., & Thompson, R. C. (2013). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine Pollution Bulletin*, **67**(1-2), 94-99.
- Marine Megafauna Foundation. (2016). *Microplastics and Megafauna*. [online] Tersedia di: <https://marinemegafaunafoundation.org/blog/microplastics-megafauna/>, [diakses: 8 Oktober 2018]
- Masura, J., Baker, J. E., Foster, G. D., Arthur, C., & Herring, C. (2015). *Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments*. Technical Memorandum NOS-OR & R-48. Maryland, USA: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).
- Moore, C. J., Moore, S. L., Leecaster, M. K., & Weisberg, S. B. (2001). A comparison of plastic and plankton in the North Pacific central gyre. *Marine Pollution Bulletin*, **42**(12), 1297-1300.
- Morét-Ferguson, S., Law, K. L., Proskurowski, G., Murphy, E. K., Peacock, E. E., & Reddy, C. M. (2010). The size, mass, and composition of plastic debris in the western North Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, **60**(10), 1873-1878.
- Paig - Tran, E. M., Kleinteich, T., & Summers, A. P. (2013). The filter pads and filtration mechanisms of the devil rays: variation at macro and microscopic scales. *Journal of Morphology*, **274**(9), 1026-1043.
- Ryan, P. G., Moore, C. J., van Franeker, J. A., & Moloney, C. L. (2009). Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **364**(1526), 1999-2012.
- Syakti, A. D., Bouhroum, R., Hidayati, N. V., Koenawan, C. J., Boulkamh, A., Sulisty, I., Lebarillier, S., Akhlus, S., Doumenq, P., & Wong-Wah-Chung, P. (2017). Beach macro-litter monitoring and floating microplastic in a coastal area of Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, **122**(1-2), 217-225.
- Tanaka, K., Takada, H., Yamashita, R., Mizukawa, K., Fukuwaka, M. A., & Watanuki, Y. (2013). Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics. *Marine Pollution Bulletin*, **69**(1-2), 219-222.
- Teuten, E. L., Saquing, J. M., Knappe, D. R., Barlaz, M. A., Jonsson, S., Björn, A., Rowland, S. J., Thompson, R. S., Galloway, T. S., Yamashita, R., Ochi, D., Watanuki, Y., Moore, C. Viet, P. H., Tana, T. S., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Zakaria, M.P., Akkhavong, K., Ogata, Y., Hirai, H., Iwasa, S., Mizukawa, K., Hagino, Y., Imamura, A., Saha, M., Takada, H. & Ochi, D. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **364**(1526), 2027-2045.
- United Nations Environment Program. (2005). *Marine Litter, an analytical overview*. [online] Tersedia di: http://www.unep.org/regionalseas/marinelitter/publications/docs/anl_oview.pdf, [diakses: 5 November 2018].
- Van Sebille, E., Wilcox, C., Lebreton, L., Maximenko, N., Hardesty, B. D., Van Franeker, J. A., Eriksen, M., Siegel, D., Galgania, F., & Law, K. L. (2015). A global inventory of small floating plastic debris. *Environmental Research Letters*, **10**(12), 1-11.

- Viršek, M. K., Palatinus, A., Koren, Š., Peterlin, M., Horvat, P., & Kržan, A. (2016). Protocol for microplastics sampling on the sea surface and sample analysis. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, (118), 1-9.
- Worm, B., Lotze, H. K., Jubinville, I., Wilcox, C., & Jambeck, J. (2017). Plastic as a persistent marine pollutant. *Annual Review of Environment and Resources*, **42**, 1-26.
- Wright, S. L., Rowe, D., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013). Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worms. *Current Biology*, **23**(23), 1031-1033.
- Yamashita, R., & Tanimura, A. (2007). Floating plastic in the Kuroshio current area, western North Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, **4**(54), 485-488.

© 2021 by the authors; licensee Udayana University, Indonesia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>).