

Distribusi spasial sampah laut di ekosistem mangrove Pantai Indah Kapuk, Jakarta

Spatial distribution of marine debris in mangrove ecosystem of Pantai Indah Kapuk, Jakarta

AYU RAMADHINI HASTUTI, FREDINAN YULIANDA, YUSLI WARDIATNO

Departemen Manajemen Sumber Daya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680, Jawa Barat

Manuskrip diterima: 9 September 2014. Revisi disetujui: 28 November 2014.

Abstract. Hastuti AR, Yulianda F, Wardiatno Y. 2014. *Spatial distribution of marine debris in mangrove ecosystem of Pantai Indah Kapuk, Jakarta. Bonorowo Wetlands 4: 94-107.* Research of marine debris (macro debris and microplastics) was conducted in the mangrove ecosystem Pantai Indah Kapuk on March-June 2014. The aims of this research were to analyze the potentials and problems of marine debris and determine an appropriate management strategy. The macro debris was collected using a quadrat transect. Plastic items were the dominant type of macro debris; there recorded 77.7% of macro debris items were plastic, followed by styrofoam (18.1%). The abundance of macro debris was positively correlated with the density of the *Avicennia marina*, although it was not significantly different by the distance from the lower vegetation mark. Abundances of microplastic were assessed using sediment density separation. Mangrove sediment trapped microplastics up to a depth of least 30 cm without seeming to change. The film was the dominant type of microplastics collected (up to 74.1%), followed by fiber (up to 16.8%). Abundances of macroplastic were not correlated with abundances of microplastic. The management strategies that were suggested were ecosystem rehabilitation using *Rhizophora* sp. at the lower vegetation mark and widening the mangrove ecosystem.

Keywords: mangrove, marine debris, microplastics, Pantai Indah Kapuk

PENDAHULUAN

NOAA (2013) mendeskripsikan sampah laut (*marine debris*) sebagai benda padat *persistent*, diproduksi atau diproses oleh manusia, secara langsung atau tidak langsung, sengaja atau tidak sengaja, dibuang atau ditinggalkan di dalam lingkungan laut. Tipe sampah laut di antaranya plastik, kain, busa, styrofoam (untuk selanjutnya menerangkan gabus), kaca, keramik, logam, kertas, karet, dan kayu. Kategori ukuran digunakan untuk mengklasifikasikan *marine debris*, yaitu megadebris (> 100 mm), makrodebris (> 20-100 mm), mesodebris (> 5-20 mm), dan mikrodebris (0.3-5 mm).

Sampah merupakan masalah besar, bukan hanya di Indonesia, tetapi di seluruh dunia. Ryan et al. (2009) menemukan bahwa plastik dan jumlah sampah laut di pantai Afrika Selatan meningkat selama 21 tahun (1984-2005). Menurut Unepetty dan Evans (1997), survey terhadap beberapa pulau di Teluk Jakarta pada tahun 1985 dan 1995 menunjukkan peningkatan pencemaran sampah laut. Willoughby et al. (1997) juga menemukan bahwa rata-rata kepadatan sampah laut di Teluk Jakarta adalah sebesar 29.1 item m⁻¹.

Plastik merupakan tipe sampah laut dominan (CBD-STAP 2012). Plastik merupakan polimer organik sintesis dan memiliki karakteristik bahan yang cocok digunakan dalam kehidupan sehari-hari (Derraik 2002). Menurut Kemenperin (2013), sekitar 1.9 juta ton plastik diproduksi selama tahun 2013 di Indonesia dengan rata-rata produksi 1.65 juta ton/tahun. Thompson (2006) memperkirakan

bahwa 10% dari semua plastik yang baru diproduksi akan dibuang melalui sungai dan berakhir di laut. Hal ini berarti sekitar 165 ribu ton plastik/tahun akan bermuara di perairan laut Indonesia.

Kawasan mangrove Pantai Indah Kapuk Jakarta merupakan daerah yang dipenuhi berbagai aktivitas, terutama berasal dari areal pemukiman. Aktivitas tersebut memberikan kontribusi pencemaran sampah yang masuk ke pesisir melalui Sungai Angke, Sungai Cengkareng Drain, dan Sungai Kamal. Sampah laut dapat terdistribusi ke ekosistem mangrove sehingga terakumulasi di sedimen dan akar mangrove. Pencemaran sampah dapat mempengaruhi kualitas dan fungsi ekosistem mangrove Pantai Indah Kapuk.

Potensi efek sampah laut secara kimia cenderung meningkat seiring menurunnya ukuran partikel plastik (mikroplastik), sedangkan efek secara fisik meningkat seiring meningkatnya ukuran makrodebris (UNEP 2011). Makrodebris memberikan dampak secara fisika seperti menutup permukaan sedimen dan mencegah pertumbuhan benih mangrove (Smith 2012). Penelitian ini terfokus pada makrodebris dan mikroplastik (salah satu tipe mikrodebris).

Potensi sampah menjadi masalah utama pencemaran pesisir, namun sedikit informasi kuantitatif mengenai pencemaran sampah laut di ekosistem mangrove. Selain itu, permasalahan sampah laut belum menjadi perhatian dalam menentukan strategi pengelolaan ekosistem. Distribusi sampah laut di ekosistem mangrove merupakan informasi kuantitatif dalam menentukan strategi

pengelolaan ekosistem mangrove Pantai Indah Kapuk, Jakarta dari pencemaran sampah.

Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi dan permasalahan sampah laut di ekosistem mangrove Pantai Indah Kapuk, Jakarta serta menentukan strategi pengelolaan ekosistem mangrove dari pencemaran sampah.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan lokasi penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret-Juni 2014 di kawasan mangrove pesisir Pantai Indah Kapuk (PIK), Kota Jakarta Utara, Provinsi DKI Jakarta. Wilayah pengambilan sampel terdiri atas enam stasiun dengan batasan muara Sungai Kamal hingga muara Sungai Angke, Jakarta (Gambar 1). Masing-masing stasiun terdiri atas substasiun yang tersusun sistematis dari batas mangrove terluar (dekat laut) ke batas mangrove terdalam (dekat darat) dengan interval 10 m (Gambar 2). Analisis sampel dilakukan di Laboratorium Biologi Makro, Laboratorium Produktivitas dan Lingkungan Perairan Departemen Manajemen Sumber Daya Perairan, dan Laboratorium Lingkungan Departemen Budidaya Perairan Institut Pertanian Bogor.

Prosedur pengumpulan data

Data yang dikumpulkan merupakan data primer yang diperoleh dengan melakukan observasi langsung di

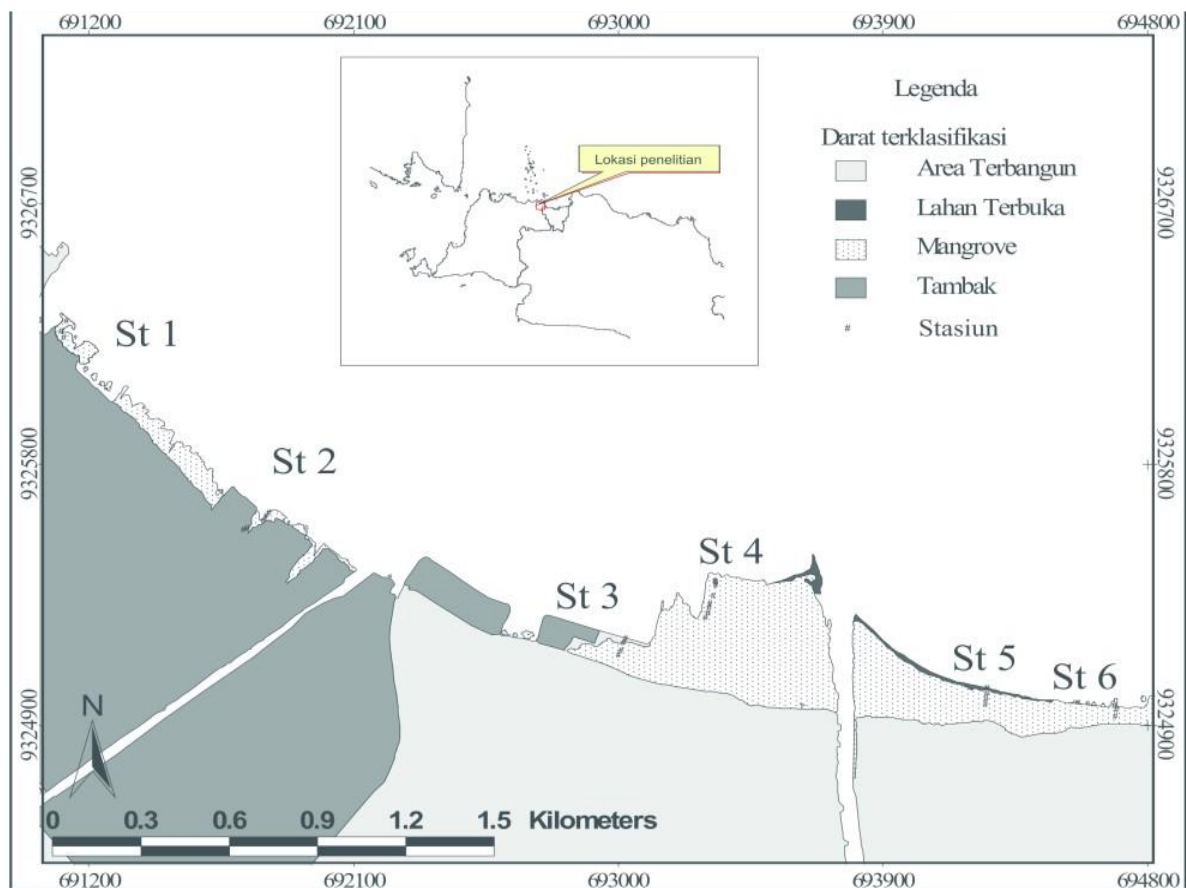
lapangan (*in situ*) dan analisis sampel di laboratorium (*ex situ*). Data primer meliputi kelimpahan dan bobot makrodebris dan mikroplastik, kerapatan jenis mangrove, kualitas air, dan kualitas sedimen.

Metode survei makrodebris

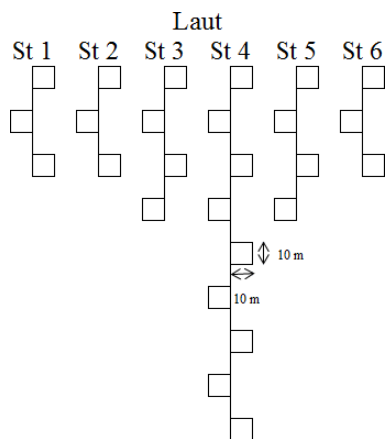
Sampel makrodebris (> 20mm) dikumpulkan dengan transek (1x1 m) dari setiap substasiun dengan tiga kali ulangan setiap dua minggu (Smith dan Markic 2013). Komposisi makrodebris dikelompokkan ke dalam plastik, kain, busa, styrofoam, kaca, logam, karet, dan kayu. Sampel dikumpulkan ke dalam karung dan diberi label. Item (untuk selanjutnya menerangkan serpihan) dalam setiap kelompok makrodebris dikeringkan, dihitung, dan ditimbang. Parameter yang diambil meliputi jumlah item (item m⁻²) dan bobot (g m⁻²) (Peters dan Flaherty 2011).

Metode survei mikroplastik

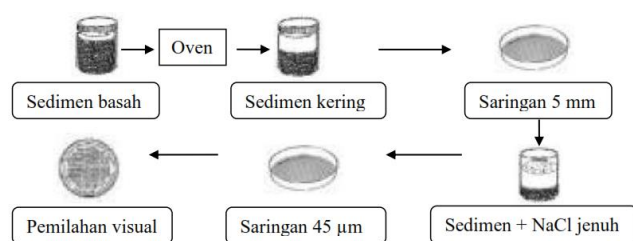
Pengambilan sampel sedimen (1L) dilakukan dengan *corer* berdasarkan tiga stratifikasi kedalaman (0-30 cm). Penempatan *corer* dilakukan secara acak pada substasiun di batas mangrove terluar dan batas mangrove terdalam. Pemisahan partikel mikroplastik (0.045-5 mm) dari sedimen mangrove dilakukan dengan beberapa tahap (Gambar 3), yaitu (a) pengeringan, (b) pengurangan volume, (c) pemisahan densitas, (d) penyaringan, dan (e) pemilahan secara visual.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di kawasan mangrove pesisir Pantai Indah Kapuk (PIK), Kota Jakarta Utara, Provinsi DKI Jakarta



Gambar 2. Skema posisi substasiun pengambilan sampel



Gambar 3. Tahapan analisis mikroplastik (Hidalgo-Ruz et al. 2012 dengan modifikasi)

Pengeringan dilakukan dengan oven 105°C selama 72 jam. Tahap pengurangan volume sedimen kering dilakukan dengan penyaringan (ukuran 5 mm) (Hidalgo-Ruz et al. 2012). Tahap pemisahan densitas dilakukan dengan mencampurkan sampel sedimen kering (1 kg) dan larutan NaCl jenuh (3L) kemudian campuran diaduk selama 2 menit (Claessens et al. 2011). Plastik yang mengapung merupakan *polystyrene*, *polyethylene*, dan *polypropylene*. Tahap penyaringan dilakukan dengan menyaring supernatan (ukuran 45 µm). Partikel mikroplastik dipilah secara visual menggunakan mikroskop monokuler dan dikelompokkan ke dalam empat jenis, yaitu film, fiber, fragmen, dan pelet. Parameter yang diambil adalah kelimpahan (partikel kg⁻¹ sedimen kering) (Hidalgo-Ruz et al. 2012).

Film merupakan polimer plastik sekunder yang berasal dari fragmentasi kantong plastik atau plastik kemasan dan memiliki densitas terendah. Fiber merupakan serat plastik memanjang dan berasal dari fragmentasi monofilamen jaring ikan, tali, dan kain sintetis. Fragmen merupakan hasil potongan produk plastik dengan polimer sintetis yang sangat kuat. Pelet merupakan mikroplastik primer yang langsung diproduksi oleh pabrik sebagai bahan baku pembuatan produk plastik (Kingfisher 2011).

Metode survei kerapatan jenis mangrove

Pengumpulan data kerapatan jenis mangrove dilakukan dalam setiap substasiun (10x10 m²) dengan interval 10 m dan fokus pada kerapatan pohon (diameter > 4 cm, tinggi >

1 m) (Bengen 2000). Parameter yang diambil meliputi jenis dan jumlah pohon mangrove.

Metode analisis kualitas air laut

Parameter kualitas air laut yang diamati merupakan parameter yang terkait dengan pencemaran limbah padat berdasarkan UNESCO-WHO-UNEP (1996). Parameter fisika meliputi suhu, kecerahan, kekeruhan, dan *total suspended solid* (TSS). Parameter kimia meliputi pH, *dissolved oxygen* (DO), salinitas, *biological oxygen demand* (BOD), *chemical oxygen demand* (COD), amonia (N-NH₃), klorida, fenol, logam kadmium (Cd), tembaga (Cu), dan timbal (Pb). Parameter biologi yang diamati adalah *fecal coliform*. Metode yang digunakan untuk analisis kualitas air mengacu pada APHA-AWWA-WEF (2012) (Tabel 1).

Metode analisis kualitas sedimen mangrove

Parameter kualitas sedimen mangrove yang diamati diduga terkait dengan distribusi mikroplastik di sedimen. Parameter fisika meliputi suhu, *oxydation reduction potential* (ORP), dan tekstur sedimen. Parameter kimia meliputi salinitas, pH air, dan pH sedimen. Metode analisis kualitas sedimen mengacu pada Eviati dan Sulaeman (2009) (Tabel 2).

Tabel 1. Metode analisis kualitas air laut (APHA-AWWA-WEF 2012)

Parameter	Satuan	Metode/alat
Fisika		
Suhu	°C	Thermometer
Kecerahan	cm	Secchi disc
Kekeruhan	NTU	Nephelometric Method
TSS	mg/L	Gravimetric Method
Kimia		
pH	-	Colorimetric
DO	mg/L	DO meter
Salinitas	ppt	Refraction
BOD ₅	mg/L	5-Day BOD Test
COD	mg/L	Closed Reflux, Colorimetric Method
N-NH ₃	mg/L	Phenate Method
Klorida	mg/L	Argentometric Method
Fenol	mg/L	Direct Photometric Method
Cd, Cu, Pb	mg/L	Direct Air-Acetylene Flame Method
Biologi		
<i>Fecal coliform</i>	MPN/100 mL	MPN

Tabel 2. Metode analisis kualitas sedimen (Eviati dan Sulaeman 2009)

Parameter	Satuan	Metode/alat
Fisika		
Suhu	°C	Termometer
ORP	mV	Elektrometri
Tekstur sedimen	%	Pipet
Kimia		
Salinitas	psu	Refraksi
pH air	-	Kolorimetri
pH sedimen	-	Elektrometri

Analisis data

Data kelimpahan makrodebris dan mikroplastik dianalisis secara statistik karena jumlah item yang dikumpulkan tidak dapat diwakili oleh bobot. Uji Kruskal-Wallis digunakan untuk memeriksa adanya beda nyata nonparametrik meliputi (i) kelimpahan dan komposisi makrodebris antarstasiun dan substasiun pengamatan, dan (ii) kelimpahan dan komposisi mikroplastik antarstasiun, substasiun, dan kedalaman. Jika hasil pengujian mengindikasikan berbeda nyata, maka uji Mann-Whitney digunakan untuk mengidentifikasi beda nyata antara dua kelompok (Claessens et al. 2011). Kerapatan jenis (D_i) mangrove dihitung dengan membagi jumlah total tegakan pohon ke- i (n_i) dengan luas area pengambilan sampel (A) (Bengen 2000). Analisis status mutu air dilakukan dengan metode Indeks Pencemaran (IP) berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 (KemenLH 2003) yang dibandingkan dengan baku mutu air laut untuk biota laut berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 (KemenLH 2004). *Spearman Rank Correlation* digunakan untuk memeriksa adanya hubungan nonparametrik meliputi (i) kelimpahan makrodebris dengan kerapatan jenis mangrove dan parameter kualitas sedimen, (ii) kelimpahan makroplastik dan mikroplastik, dan (iii) kelimpahan mikroplastik antarkedalaman (Goldstein et al. 2013). Kesamaan karakteristik antarstasiun ditentukan berdasarkan kelimpahan makrodebris dan kerapatan jenis mangrove dengan menggunakan *Euclidean Distance* (Costa et al. 2011). Peta distribusi makrodebris dibuat dengan menggunakan analisis spasial.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Makrodebris

Jumlah total makrodebris yang dikumpulkan di enam stasiun pengamatan sebesar 6079 item dengan bobot total sebesar 53.4 kg. Kelimpahan makrodebris setiap stasiun berdasarkan jarak dari batas mangrove terluar (dekat laut) mengalami fluktuasi. Kelimpahan makrodebris secara keseluruhan berkisar 20- 533 item m^{-2} (Gambar 4) dengan bobot 108.7-5449.7 $g m^{-2}$ (Gambar 5).

Kelimpahan makrodebris terbanyak ditemukan di Stasiun 6 dengan rata-rata 246.2 ± 248.4 item m^{-2} (kisaran 96.3-533.0 item m^{-2}) dan bobot 2283.3 ± 2742.2 $g m^{-2}$ (kisaran 679.7-5449.7 $g m^{-2}$). Stasiun 6 dicirikan dengan kondisi mangrove yang berada dekat Sungai Angke dan tidak dibatasi apa pun sehingga memiliki kelimpahan makrodebris yang tinggi. Kelimpahan makrodebris terendah ditemukan di Stasiun 2 dengan rata-rata 34.6 ± 24.1 item m^{-2} (kisaran 20.0-62.3 item m^{-2}) dan bobot 200.2 ± 115.0 $g m^{-2}$ (kisaran 108.7-329.3 $g m^{-2}$). Stasiun 2 dicirikan dengan kondisi mangrove yang didominasi komunitas mangrove tanaman berupa *Rhizophora* sp. Bobot makrodebris pada Stasiun 3 cenderung tinggi meskipun kelimpahan rendah. Stasiun 3 dicirikan dengan kerapatan *Avicennia marina* tertinggi dan sedimen berupa lumpung.

Hasil uji Kruskal-Wallis menunjukkan bahwa kelimpahan makrodebris antarstasiun berbeda nyata ($p = 0.029$). Hasil uji Mann-Whitney menunjukkan bahwa kelimpahan makrodebris Stasiun 3 berbeda nyata dari Stasiun 4 ($p = 0.045$) dan Stasiun 6 ($p = 0.034$). Hal ini diduga karena Stasiun 3 terletak jauh dari sungai, sedangkan Stasiun 4 berada dekat Sungai Cengkareng Drain dan Stasiun 6 berada dekat Sungai Angke. Kelimpahan makrodebris Stasiun 4 juga berbeda nyata dari Stasiun 6 ($p = 0.013$). Hal ini diduga karena sumber pencemaran makrodebris terbesar berasal dari aliran Sungai Angke. Hasil uji Kruskal-Wallis juga menunjukkan bahwa kelimpahan makrodebris tidak berbeda nyata antarsubstasiun ($p = 0.826$). Hal tersebut menunjukkan bahwa jarak substasiun dari batas mangrove terluar tidak mempengaruhi kelimpahan makrodebris. Beda nyata kelimpahan makrodebris dapat terlihat dari perbedaan warna bulatan pada Gambar 6.

Sampel makrodebris yang dikumpulkan terdiri atas 8 kategori makrodebris yang diurutkan berdasarkan peringkat kelimpahan terbanyak (Tabel 3). Plastik ditemukan dengan kelimpahan terbanyak rata-rata sebesar 77.7% (kisaran 49.0- 96.5%), diikuti oleh styrofoam (18.1%), dan karet (2.1%).

Persentase plastik tertinggi ditemukan di Stasiun 1 sebesar 96.5% dari total makrodebris yang dikumpulkan. Persentase plastik terendah terdapat di Stasiun 5 sebesar 49.0% dengan persentase styrofoam sebesar 43.6%. Stasiun 1 berada tepat di mulut Sungai Kamal, sementara itu Stasiun 5 berada dekat mulut Sungai Cengkareng Drain. Sungai Cengkareng Drain diduga memberikan kontribusi pencemaran styrofoam tertinggi.

Analisis kelimpahan masing-masing komposisi makrodebris dengan Kruskal-Wallis menunjukkan bahwa kelimpahan plastik, styrofoam, dan karet berbeda nyata antarstasiun. Hasil uji Mann-Whitney pada $\alpha = 0.05$ menunjukkan bahwa kelimpahan plastik Stasiun 3 berbeda nyata dari Stasiun 4 dan 6. Stasiun 4 dan 6 memiliki kelimpahan plastik yang tinggi. Secara keseluruhan kelimpahan styrofoam dan karet pada Stasiun 1 berbeda nyata dari stasiun 3, 4, 5, dan 6. Stasiun 1 memiliki persentase plastik tertinggi meskipun kelimpahannya sedang.

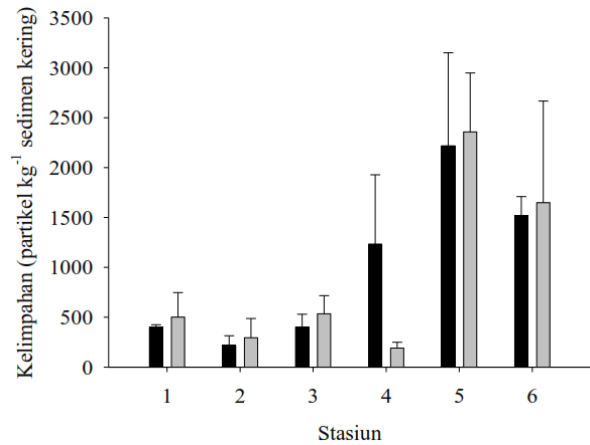
Analisis *Spearman Rank Correlation* antara kelimpahan makrodebris, kerapatan jenis mangrove, dan kualitas sedimen menunjukkan bahwa kelimpahan makrodebris tidak berkorelasi dengan kualitas sedimen, namun berkorelasi positif dengan kerapatan pohon *A. marina* ($r = 0.414$, $p = 0.035$). Kelimpahan makrodebris juga berkorelasi negatif dengan kerapatan pohon *R. mucronata* ($r = -0.492$, $p = 0.011$).

Mikroplastik

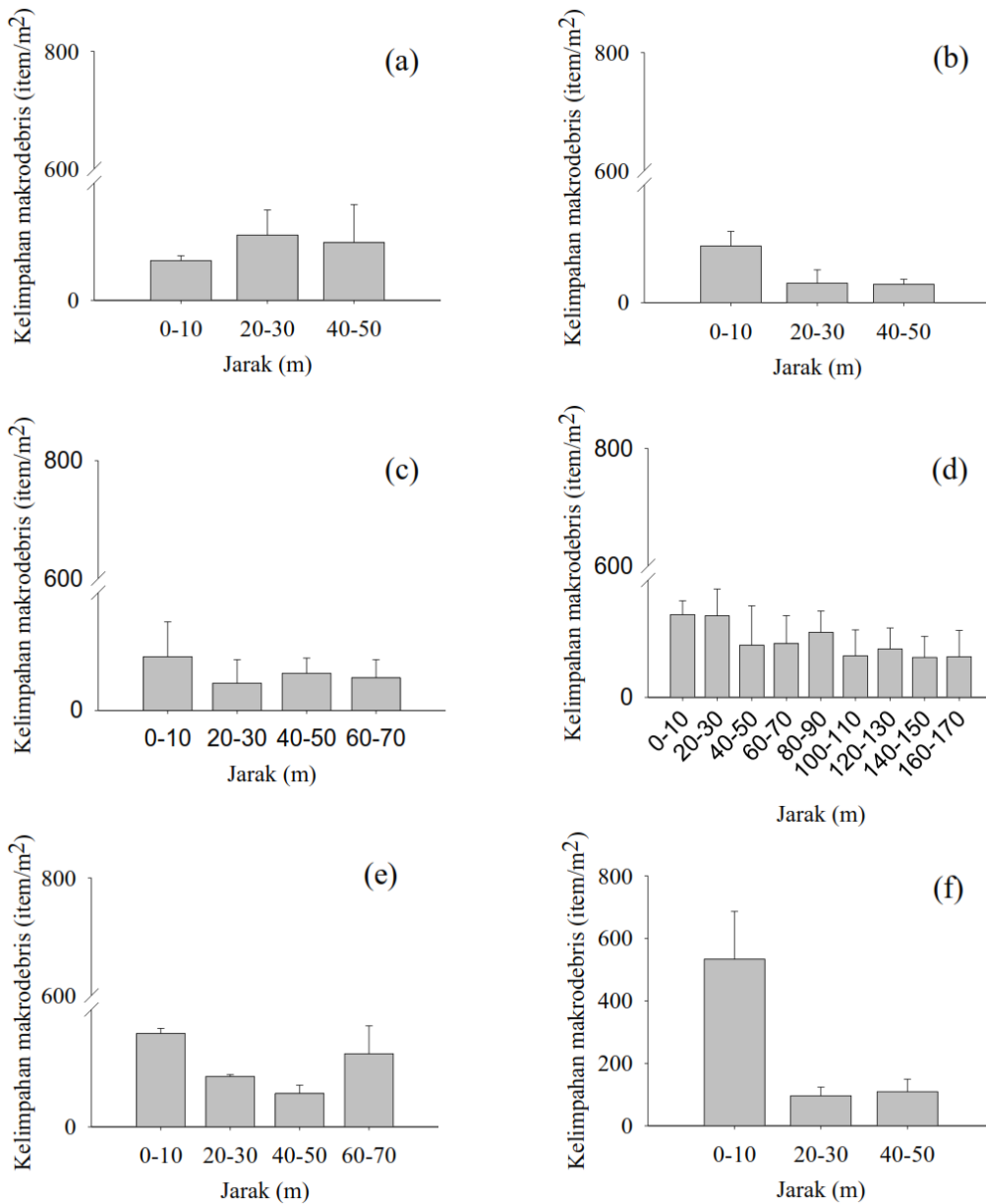
Kelimpahan rata-rata mikroplastik seluruh stasiun pada batas mangrove terluar berkisar 216.8-2218.4 partikel kg^{-1} sedimen kering. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan kelimpahan mikroplastik pada batas mangrove terdalam dengan kisaran 191.4-2357.6 partikel kg^{-1} sedimen kering (Gambar 7). Hal berbeda ditunjukkan pada Stasiun 4 yang memiliki kelimpahan mikroplastik lebih tinggi pada batas

mangrove terluar sebesar 1232.9 partikel kg^{-1} sedimen kering dibandingkan pada batas mangrove terdalam sebesar 191.4 partikel kg^{-1} sedimen kering. Stasiun 4 memiliki jarak terjauh antara batas mangrove terluar dengan batas mangrove terdalam, yaitu sebesar 180 m.

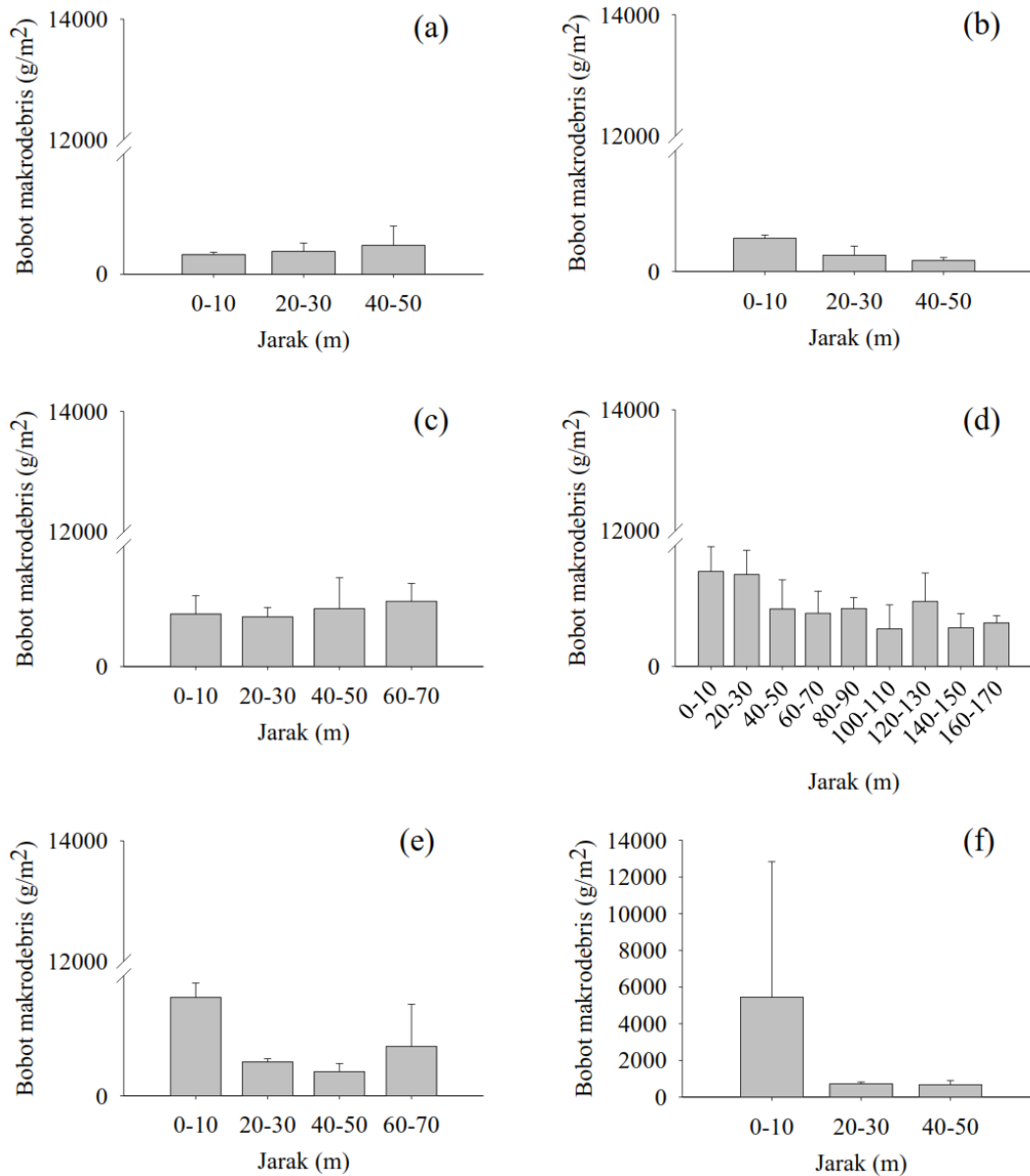
Kelimpahan film ditemukan tertinggi dibandingkan tipe lainnya dengan persentase 67.7%-74.1%. Persentase film lebih tinggi pada batas mangrove terdalam. Sementara itu persentase fiber, fragmen, dan pelet lebih tinggi pada batas mangrove terluar (Tabel 4). Film memiliki densitas lebih rendah dibandingkan tipe mikroplastik lainnya sehingga lebih mudah ditransportasikan hingga batas mangrove terdalam.



Gambar 7. Kelimpahan rata-rata mikroplastik di Pantai Indah Kapuk, Jakarta; pada (■) batas mangrove terluar dan (□) batas mangrove terdalam



Gambar 4. Kelimpahan makrodebris di Pantai Indah Kapuk, Jakarta berdasarkan jarak dari laut. (a) Stasiun 1, (b) Stasiun 2, (c) Stasiun 3, (d) Stasiun 4, (e) Stasiun 5, (f) Stasiun 6



Gambar 5. Bobot makrodebris di Pantai Indah Kapuk, Jakarta berdasarkan jarak dari laut. (a) Stasiun 1, (b) Stasiun 2, (c) Stasiun 3, (d) Stasiun 4, (e) Stasiun 5, (f) Stasiun 6

Tabel 3. Peringkat komposisi makrodebris di ekosistem mangrove Pantai Indah Kapuk, Jakarta

Peringkat	Tipe makrodebris	Kelimpahan (%)
1	Plastik	77.7
2	Styrofoam	18.1
3	Karet	2.1
4	Kaca	0.6
5	Kain	0.5
6	Logam	0.4
7	Busa	0.4
8	Kayu	0.2

Tabel 4. Peringkat komposisi mikroplastik di ekosistem mangrove Pantai Indah Kapuk, Jakarta

Peringkat	Tipe	Kelimpahan rata-rata (partikel kg ⁻¹ sedimen kering)	Kelimpahan (%)
Batas mangrove terluar			
1	Film	676.4±506.3	67.7
2	Fiber	168.0±139.8	16.8
3	Fragmen	140.0±168.8	14.0
4	Pelet	14.0±17.0	1.4
Batas mangrove terdalam			
1	Film	683.2±609.6	74.1
2	Fiber	119.8±132.1	13.0
3	Fragmen	117.3±152.6	12.7
4	Pelet	1.2±2.0	0.1

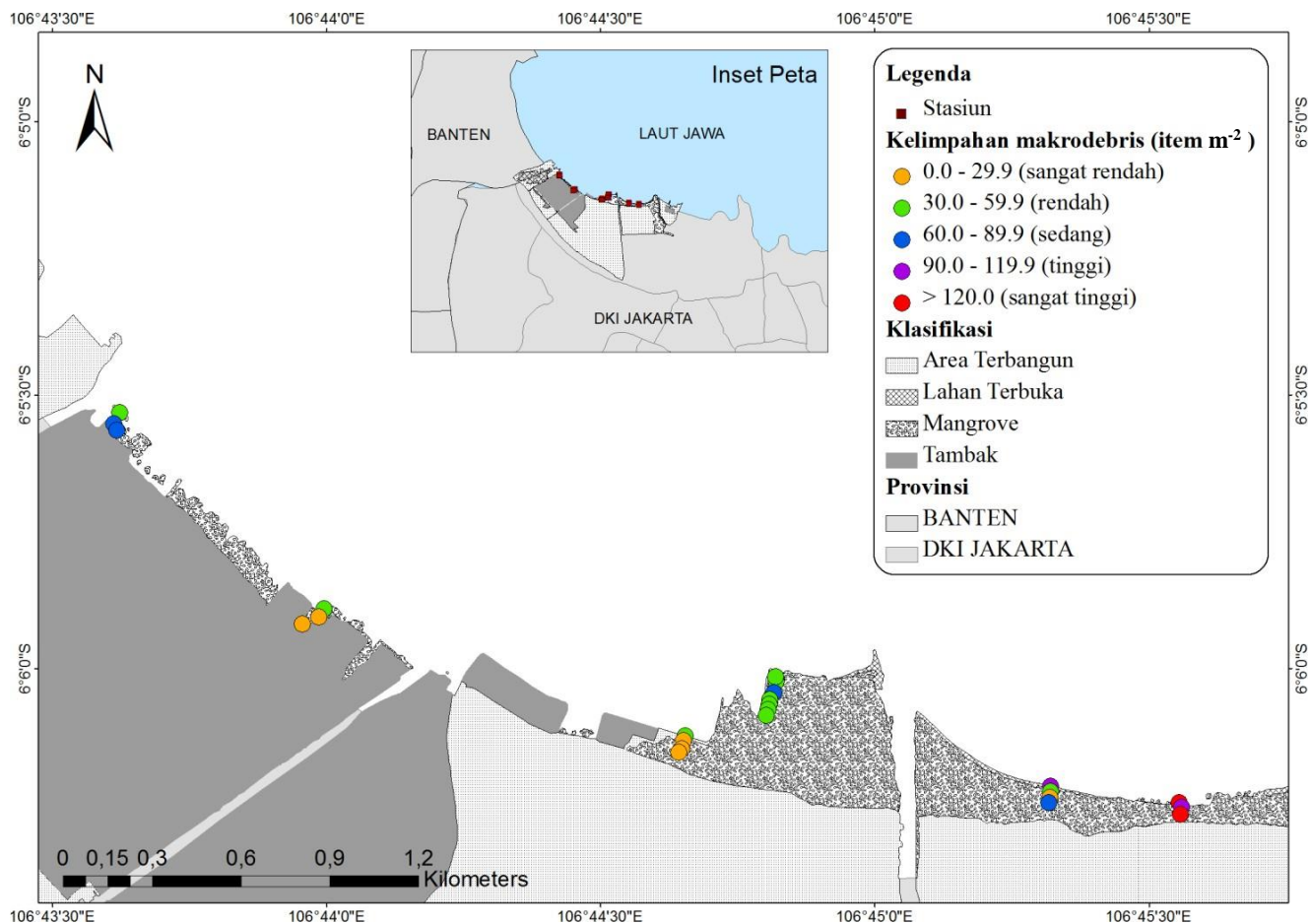
Pola distribusi kelimpahan mikroplastik antarkedalaman cenderung menunjukkan pola yang sama antara batas mangrove terluar (Gambar 8) dengan batas mangrove terdalam (Gambar 9). Kedalaman tidak berkorelasi dengan kelimpahan film, fiber, fragmen, pelet, dan kelimpahan total. Kedalaman 0-10 cm cenderung memiliki kelimpahan mikroplastik terendah. Hal tersebut disebabkan adanya deposisi lapisan teratas sedimen karena limpasan air. Kelimpahan mikroplastik pada kedalaman 10-20 cm dan 20-30 cm mengalami fluktuasi. Keberadaan mikroplastik pada kedalaman tersebut cenderung stagnan.

Kelimpahan mikroplastik antarkedalaman tertinggi terdapat di Stasiun 5 sebesar 2218.4 ± 932.1 partikel kg^{-1} sedimen kering (kisaran 1153.8-2887.9 partikel kg^{-1} sedimen kering) pada batas mangrove terluar dan 2357.6 ± 590.5 partikel kg^{-1} sedimen kering (kisaran 1694.7-2827.2 partikel kg^{-1} sedimen kering) pada batas mangrove terdalam. Sementara itu, kelimpahan mikroplastik antarkedalaman terendah terdapat di Stasiun 2 sebesar 216.8 ± 98.3 partikel kg^{-1} sedimen kering (kisaran 112.2-307.2 partikel kg^{-1} sedimen kering) pada batas mangrove terluar dan 294.9 ± 192.6 partikel kg^{-1} sedimen kering (kisaran 138.6-510.1 partikel kg^{-1} sedimen kering) pada batas mangrove terdalam.

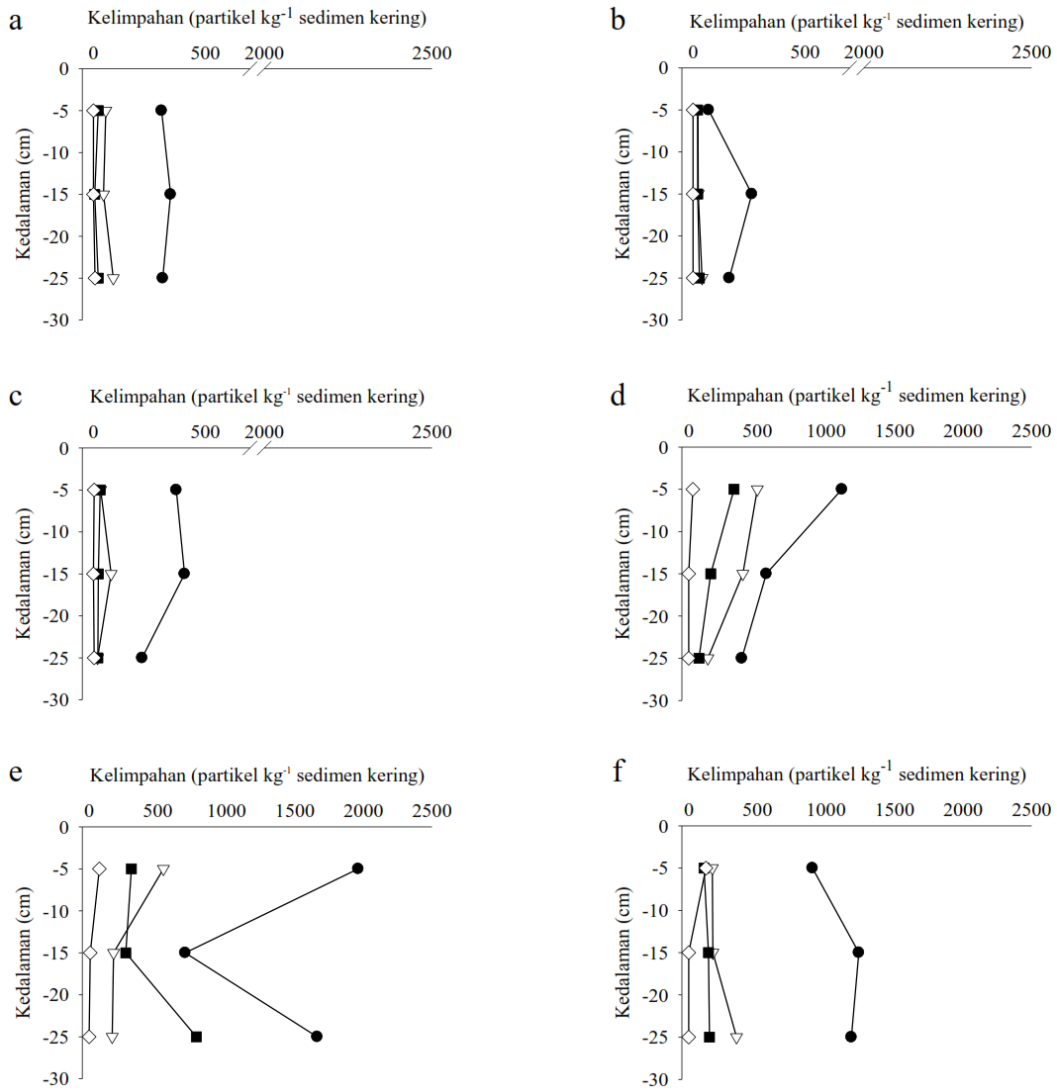
Hasil uji Mann-Whitney menunjukkan bahwa film, fiber, fragmen, pelet, dan kelimpahan total tidak berbeda nyata antara batas mangrove terluar dengan batas mangrove terdalam ($p > \alpha$). Hasil uji Kruskal-Wallis juga menunjukkan kelimpahan film, fiber, fragmen, pelet, maupun kelimpahan total tidak berbeda nyata antarkedalaman ($p > \alpha$). Hasil uji Kruskal-Wallis dan Mann-Whitney menunjukkan bahwa kelimpahan film, fiber, fragmen, dan kelimpahan total mikroplastik pada Stasiun 5 dan 6 berbeda nyata dari Stasiun 1, 2, 3, dan 4 ($p < \alpha$).

Kualitas air dan sedimen

Parameter kualitas air pesisir yang diamati secara keseluruhan tidak sesuai dengan baku mutu air laut untuk biota laut. Pencemaran sampah diduga berkontribusi terhadap kualitas air dan sedimen yang buruk. Nilai Indeks Pencemaran (IP) pada seluruh Stasiun berkisar 13.96-15.27. Nilai IP yang lebih besar dari 10 menunjukkan bahwa perairan tersebut tercemar berat (Tabel 5). Nilai IP tertinggi berada di Stasiun 1, sedangkan nilai IP terendah berada di Stasiun 5.



Gambar 6. Peta distribusi kelimpahan makrodebris di Pantai Indah Kapuk, Jakarta



Gambar 8. Kelimpahan film (◇), fiber (●), fragmen (■), dan pelet (▽) di Pantai Indah Kapuk, Jakarta pada batas mangrove terluar dengan kedalaman berbeda. (a) Stasiun 1, (b) Stasiun 2, (c) Stasiun 3, (d) Stasiun 4, (e) Stasiun 5, (f) Stasiun 6

Tabel 5. Nilai Indeks Pencemaran (IP) pesisir Pantai Indah Kapuk, Jakarta

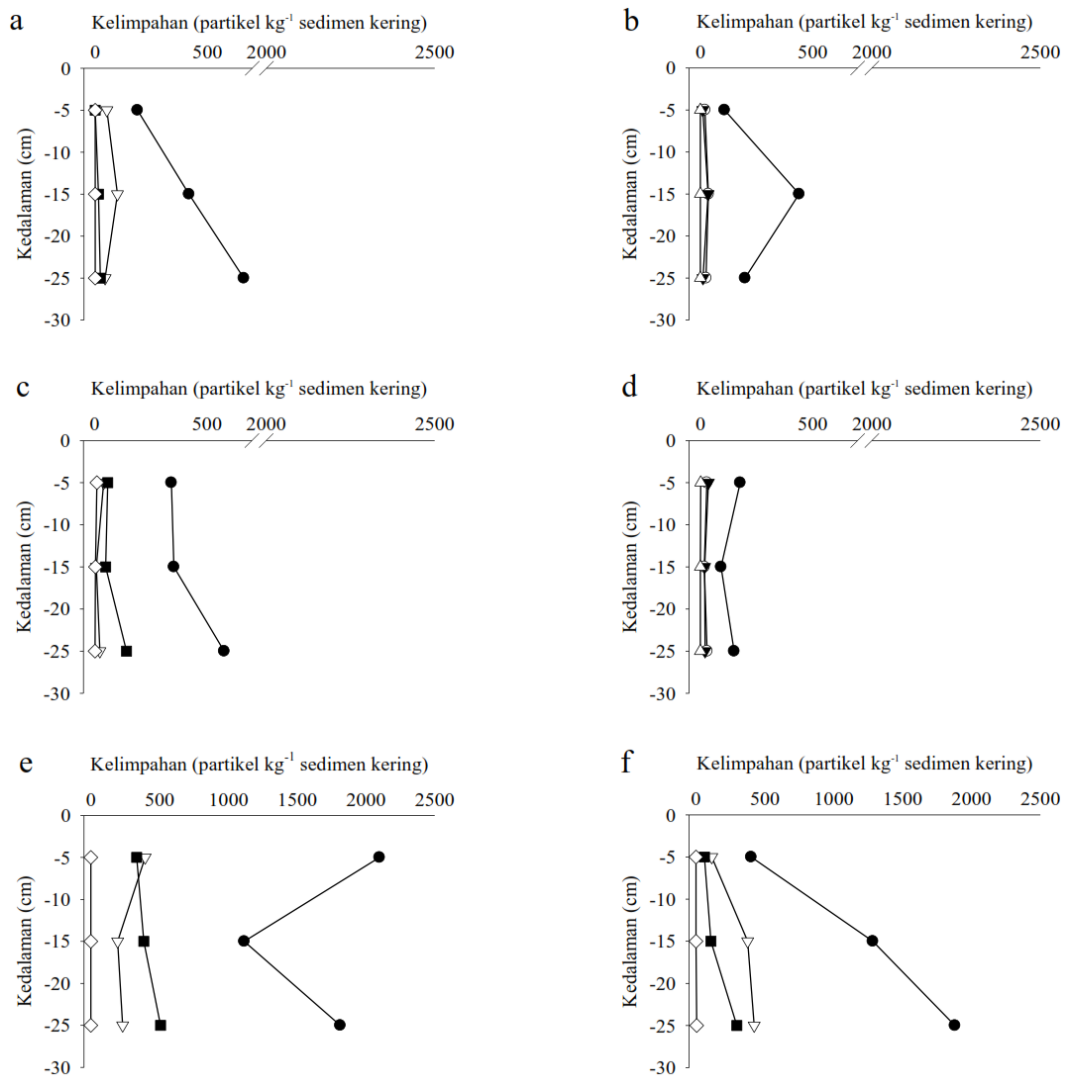
Stasiun	Nilai IP	Status Perairan
1	15.27	Tercemar berat
2	14.96	Tercemar berat
3	14.83	Tercemar berat
4	14.77	Tercemar berat
5	13.96	Tercemar berat
6	14.42	Tercemar berat

Kualitas sedimen ekosistem mangrove yang diamati disajikan dalam Tabel 6. Suhu air dalam ekosistem mangrove cenderung lebih rendah dibandingkan suhu air laut. Nilai ORP (*Oxydation Reduction Potential*) menunjukkan potensi reduksi tertinggi berada pada Stasiun 2, sedangkan potensi oksidasi tertinggi berada pada Stasiun 6. Tekstur sedimen setiap stasiun didominasi oleh tekstur lempung berpasir, kecuali tekstur sedimen Stasiun 3 didominasi oleh lempung. Ekosistem mangrove memiliki

pH air yang cenderung asam dan pH sedimen yang cenderung basa. Stasiun 3, 4, 5, dan 6 memiliki salinitas rendah, sedangkan Stasiun 1 dan 2 memiliki salinitas sedang.

Kesamaan karakteristik antarstasiun

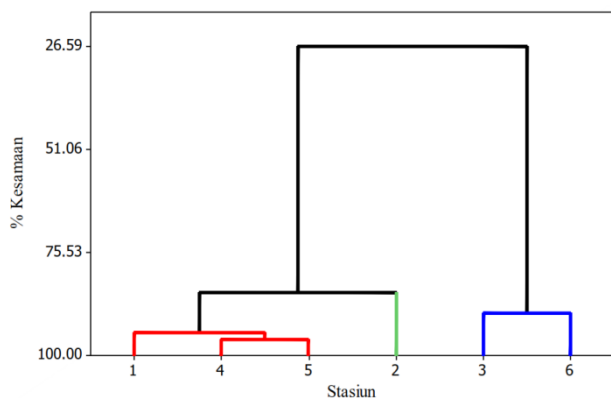
Pengelompokan dilakukan untuk menentukan kesamaan karakteristik antarstasiun berdasarkan kelimpahan makrodebris dan kerapatan jenis mangrove. Persentase kesamaan tertinggi menunjukkan bahwa stasiun tersebut memiliki karakteristik yang sama. Pengelompokan stasiun berdasarkan taraf kesamaan 90% menghasilkan tiga kelompok stasiun (Gambar 10). Kelompok pertama terdiri atas Stasiun 1, 4, dan 5 dengan kelimpahan makrodebris dan kerapatan pohon *A. marina* sedang. Kelompok kedua adalah Stasiun 3 dan 6 dengan kelimpahan makrodebris dan kerapatan pohon *A. marina* yang tinggi. Kelompok ketiga adalah Stasiun 2 dengan kelimpahan makrodebris terendah yang berkorelasi dengan kerapatan *Rhizophora* sp.



Gambar 9. Kelimpahan film (◇), fiber (●), fragmen (■), dan pelet (▽) di Pantai Indah Kapuk, Jakarta; pada batas mangrove terdalam dengan kedalaman berbeda. (a) Stasiun 1, (b) Stasiun 2, (c) Stasiun 3, (d) Stasiun 4, (e) Stasiun 5, (f) Stasiun 6

Tabel 6. Nilai parameter kualitas sedimen mangrove di Pantai Indah Kapuk, Jakarta

Parameter	Stasiun					
	1	2	3	4	5	6
Fisika						
Suhu (°C)	30-31	30-32	28	28-29	27	27-29
ORP (mV)	-91-- 72	-97-- 87	- 72-- 39	- 90-- 61	- 64-- 51	- 54-- 34
% Pasir	50.95-51.56	45.57-55.46	4.64-61.11	34.41-49.17	55.54-64.32	45.96-58.47
% Debu	27.27-28.62	28.93-37.64	23.21-90.17	27.86-37.14	15.31-28.13	23.70-32.48
% Liat	19.88-21.16	15.41-16.78	5.18-17.85	17.31-30.41	15.59-20.37	17.64-21.57
Kimia						
pH air	6-6.5	6.5	6-6.5	5.5-6.5	6-6.5	5-6
pH sedimen	8.2-8.5	8.5-8.7	7.68-8.19	8.1-8.53	7.64-8.12	7.8-8.05
Salinitas (psu)	10-13	14-15	1-2	1-2	1	2-5



Gambar 10. Indeks kesamaan antar stasiun di Pantai Indah Kapuk, Jakarta berdasarkan kelimpahan makrodebris dan kerapatan jenis mangrove menggunakan Euclidean Distance

Pembahasan

Makrodebris

Kategori makrodebris dengan kelimpahan terbanyak adalah plastik (77.7%) dan styrofoam (18.1%). Costa et al. (2011) juga menemukan kelimpahan plastik di sedimen mangrove Northeast Coast Brazil sebesar 70%. Santos et al. (2009) menemukan komposisi makrodebris terbesar kedua adalah styrofoam sebesar 14%. Proporsi sampah plastik dominan karena densitasnya lebih rendah dibandingkan densitas kaca, logam, dan air sehingga mudah ditransportasikan (Ryan et al. 2009).

Kelimpahan makrodebris terbanyak ditemukan di Stasiun 6 (dekat muara Sungai Angke). Hal ini diduga karena Sungai Angke memberikan kontribusi makrodebris terbanyak dibandingkan Sungai Kamal dan Sungai Cengkareng Drain. Angin Stasiun 6 diduga lebih cepat dibandingkan stasiun lainnya karena tidak terhalang oleh pulau buatan. Hal ini menjadi salah satu faktor makrodebris mudah ditransportasikan ke dalam ekosistem mangrove. Kaladharan et al. (2004) membuktikan bahwa jumlah debris di pantai berkorelasi signifikan dengan kecepatan angin, namun tidak berkorelasi dengan arah angin. Kelimpahan makrodebris terendah ditemukan di Stasiun 2 (kawasan Taman Wisata Alam). Stasiun 2 memiliki vegetasi yang didominasi oleh *R. mucronata* dan kerapatannya berkorelasi negatif dengan kelimpahan makrodebris ($p < 0.05$).

Hasil uji Mann-Whitney menunjukkan bahwa kelimpahan makrodebris Stasiun 3 berbeda nyata dari Stasiun 4 dan Stasiun 6. Hal ini terjadi karena perbedaan jarak stasiun dengan sungai. Stasiun 3 berada jauh dari aliran sungai dan terisolasi batu penghalang sehingga kelimpahan makrodebris lebih rendah. Makrodebris yang terperangkap di Stasiun 3 memiliki ukuran besar sehingga bobotnya tinggi meskipun kelimpahan rendah. Hal ini diduga karena kerapatan pohon *A. marina* di Stasiun 3 tertinggi dibandingkan stasiun lainnya dan ukuran tekstur sedimen Stasiun 3 terendah dibandingkan stasiun lainnya. Kelimpahan makrodebris Stasiun 4 juga berbeda nyata dari Stasiun 6. Hal ini disebabkan sumber pencemaran makrodebris terbesar berasal dari aliran Sungai Angke dan angin Stasiun 6 diduga memiliki kecepatan yang tinggi

dibandingkan stasiun lainnya. Sampah laut berasal dari kegiatan di darat dan di laut serta dapat terdistribusi jauh dari sumbernya oleh adanya angin dan arus (NOAA 2013).

Kelimpahan makrodebris tidak berbeda nyata antarsubstasiun. Hal tersebut menunjukkan bahwa jarak substasiun dari laut tidak mempengaruhi kelimpahan makrodebris. Hasil ini berbeda dengan pernyataan Lattin et al. (2004) bahwa jarak mempengaruhi kelimpahan makrodebris karena semakin jauh dari sumber pencemaran sampah maka kelimpahan makrodebris semakin rendah. Perbedaan hasil ini diduga karena faktor banjir saat musim hujan dapat mentransportasikan makrodebris hingga batas mangrove terdalam dan jarak substasiun terdalam yang diamati hanya berkisar 50-180 m dari batas mangrove terluar sehingga kelimpahan makrodebris menjadi tidak berbeda nyata. Costa et al. (2011) menemukan bahwa kelimpahan makrodebris di kawasan mangrove lebih tinggi saat musim hujan dibandingkan musim kemarau meskipun tidak berbeda nyata. Hal berbeda dilaporkan oleh Ivar do Sul dan Costa (2013) yang menemukan bahwa sampah laut di pantai lebih tinggi saat musim hujan. Vieira et al. (2013) juga melaporkan bahwa kelimpahan plastik berbeda nyata pada musim yang berbeda di lokasi subtropis. Makrodebris yang terperangkap di ekosistem mangrove juga diduga berasal dari darat karena berbatasan langsung dengan pemukiman Pantai Indah Kapuk. Sampah laut berasal dari dua sumber utama, yaitu (i) sampah yang dibuang dari aktivitas penangkapan, dan (ii) sampah dari darat melalui aliran sungai. Sampah yang berasal dari darat terdiri atas tiga sumber utama, yaitu industri, pengelolaan sampah masyarakat yang tidak teratur, dan kebiasaan masyarakat membuang sampah sembarangan (Stevenson 2011).

Kelimpahan masing-masing komposisi makrodebris menunjukkan bahwa kelimpahan plastik, styrofoam, dan karet berbeda nyata antarstasiun. Kelimpahan plastik Stasiun 3 berbeda nyata dari Stasiun 4 dan 6. Hal tersebut diduga karena perbedaan jarak stasiun dari sungai. Sumber pencemaran plastik terbesar berasal dari sungai, sehingga Stasiun 3 yang terletak jauh dari sungai memiliki kelimpahan plastik yang rendah. Santos et al. (2009) menyebutkan bahwa akumulasi sampah laut di pantai lebih tinggi pada daerah pesisir yang sudah terbangun dan daerah pesisir yang didominasi oleh sungai sehingga daerah tersebut memperoleh akumulasi bahan organik yang tinggi. Kelimpahan styrofoam dan karet pada Stasiun 1 berbeda nyata dari stasiun 3, 4, 5, dan 6. Stasiun 1 berada di mulut Sungai Kamal yang diduga berkontribusi tinggi terhadap persentase plastik meskipun kelimpahannya sedang.

Analisis Spearman Rank Correlation antara kelimpahan makrodebris dengan kerapatan mangrove dan karakteristik sedimen menunjukkan bahwa kelimpahan makrodebris berkorelasi positif dengan kerapatan pohon *A. marina* dan korelasinya sedang ($r = 0.414$, $p < 0.05$). Kelimpahan makrodebris berkorelasi negatif dengan kerapatan pohon *R. mucronata* dan korelasinya rendah ($r = -0.492$, $p < 0.05$) (Gambar 11). *A. marina* memiliki bentuk akar cakar ayam dengan banyak akar napas. Bentuk akar ini lebih dapat merangkap makrodebris dan sedimen yang masuk ke ekosistem. Semakin tinggi kerapatan pohon *A. marina*

maka kelimpahan makrodebris semakin tinggi. *R. mucronata* memiliki bentuk akar tongkat sehingga terbukti bahwa akar tongkat kurang dapat merangkap makrodebris.

Analisis korelasi juga menunjukkan bahwa kelimpahan makroplastik tidak berkorelasi dengan kelimpahan mikroplastik. Hal ini membuktikan bahwa makroplastik yang terperangkap dalam sedimen mangrove menjadi semakin sulit terfragmentasi karena rendahnya suhu dan radiasi ultraviolet (UV) (UNEP 2011). Suhu air dalam ekosistem mangrove PIK cenderung lebih rendah dibandingkan suhu air laut. Air laut mampu menyerap dan menyebarkan UV sehingga plastik yang mengapung lebih mudah terfragmentasi. Sedimen dan aktivitas mikroorganisme pengurai pada umumnya juga tidak membantu proses fragmentasi plastik karena jenis plastik yang ditemukan bersifat *nonbiodegradable* meskipun jenis bakteri *Bacillus mycoides* dan *Bacillus subtilis* dapat mendegradasi plastik *biodegradable* khususnya jenis LDPE (*low density polyetylen*) (Ibiene et al. 2013). Selain itu, nilai ORP (*Oxydation Reduction Potential*) sedimen mangrove yang semakin positif menunjukkan bahwa potensi oksidasi lebih tinggi dibandingkan potensi reduksi sehingga dapat membantu proses fragmentasi. Proses fragmentasi plastik dibantu faktor lingkungan seperti radiasi uv, suhu yang tinggi, oksidasi oleh udara, hidrolisis oleh air laut, dan abrasi fisik sehingga polimer plastik terpecah menjadi potongan kecil (Lattin et al. 2004). Teuten et al. (2009) juga menyebutkan bahwa tingkat plastik terfragmentasi dalam air laut bergantung pada densitas plastik (densitas yang rendah menyebabkan plastik mudah mengapung dan lebih terpapar sinar matahari dan udara) dan struktur kimia yang ditambahkan ke plastik (beberapa zat aditif meningkatkan stabilitas polimer plastik di lingkungan).

Mikroplastik

Kelimpahan rata-rata mikroplastik pada batas mangrove terluar cenderung lebih tinggi dibandingkan pada batas mangrove terdalam (jarak 0-80 m). Hasil ini berbeda pada Stasiun 4 yang memiliki jarak sebesar 0-180 m antara batas mangrove terluar dan batas mangrove terdalam. Hal ini mengindikasikan bahwa kelimpahan mikroplastik rendah pada batas mangrove terluar (dekat laut), kemudian mengalami peningkatan pada jarak 80 m dari batas mangrove terluar, lalu mengalami penurunan kembali pada batas mangrove terdalam (dekat darat). Kelimpahan film, fiber, fragmen, pelet, dan kelimpahan total antara batas mangrove terluar dengan batas mangrove terdalam tidak berbeda nyata.

Cauwenberghe et al. (2013) membuktikan hal yang sama bahwa kelimpahan mikroplastik di zona pasang surut pada batas pasang tertinggi lebih tinggi dibandingkan pada batas surut terendah dan terdapat beda nyata antarkeduanya. Zona pada batas surut terendah merupakan zona yang sangat dinamis, deposisi dapat terjadi secara konstan. Sedimen pada lapisan teratas di zona ini mudah

terkena limpasan dan menjadi tersuspensi kembali. Zona pada batas mangrove terluar juga mengalami hal yang sama namun limpasan air ke dalam ekosistem mangrove cenderung jarang terjadi sehingga perbedaan kelimpahan mikroplastik menjadi tidak signifikan dengan batas mangrove terdalam.

Persentase fiber, fragmen, dan pelet secara keseluruhan lebih tinggi pada batas mangrove terluar, sementara itu persentase film lebih tinggi pada batas mangrove terdalam. Film memiliki densitas lebih rendah dibandingkan tipe mikroplastik lainnya sehingga lebih mudah ditransportasikan hingga batas mangrove terdalam (Gambar 12). Fiber ditemukan dengan persentase tertinggi kedua. Fiber dapat berasal dari tingginya aktivitas penangkapan sekitar kawasan sehingga menyumbang debris ke dalam air laut (Katsanevakis dan Katsarou 2004). Fragmen ditemukan dengan peringkat ketiga, diikuti oleh pelet. Persentase tersebut berbeda dengan Claessens et al. (2011) yang membuktikan bahwa peringkat persentase mikroplastik di sedimen dasar laut tertinggi adalah fiber (59%) dan terendah adalah film (4%). Hal ini membuktikan bahwa mikroplastik tipe film yang berasal dari fragmentasi kantong plastik atau plastik kemasan merupakan limbah padat domestik utama di ekosistem mangrove.

Hasil uji Mann Whitney menunjukkan bahwa kelimpahan film, fiber, fragmen, dan kelimpahan total mikroplastik pada Stasiun 5 dan 6 berbeda nyata dari Stasiun 1, 2, 3, dan 4. Stasiun 5 memiliki kelimpahan mikroplastik tertinggi dibandingkan stasiun lainnya. Hal ini disebabkan sedimen Stasiun 5 masih berfungsi merangkap mikroplastik meskipun kelimpahan makrodebris cukup tinggi. Kelimpahan mikroplastik terendah ditunjukkan oleh Stasiun 2 yang dicirikan oleh kawasan mangrove yang selalu memperoleh limpasan air, sehingga lapisan sedimen mudah mengalami deposisi.

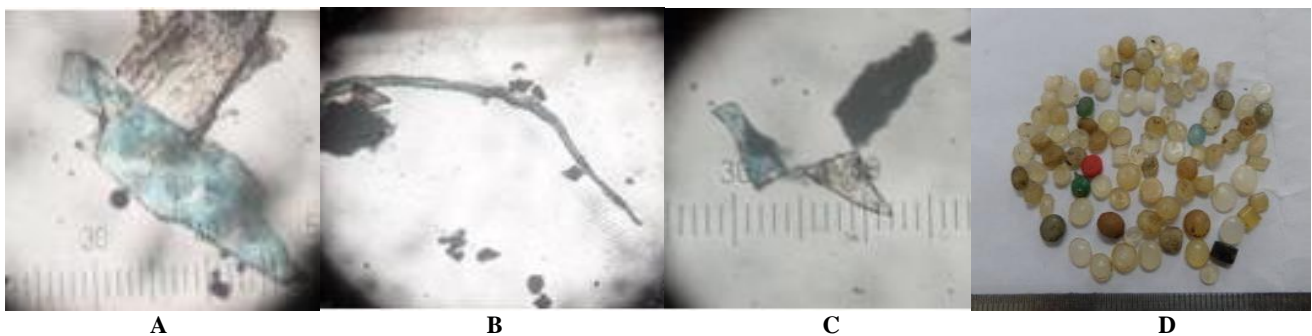
Hasil uji Kruskal-Wallis menunjukkan bahwa kelimpahan film, fiber, fragmen, pelet maupun kelimpahan total tidak berbeda nyata antarkedalaman. Hal tersebut mengindikasikan bahwa sedimen mangrove dapat merangkap mikroplastik hingga kedalaman lebih dari 30 cm tanpa adanya perubahan kelimpahan. Tekstur sedimen setiap stasiun didominasi oleh tekstur lempung berpasir, kecuali tekstur sedimen Stasiun 3 didominasi oleh lempung. Hal ini sesuai dengan pernyataan Watters et al. (2010) bahwa sedimen lunak lebih dapat merangkap debris dibandingkan habitat berbatu dan kerikil.

Dampak sampah laut

Sampah laut memberikan dampak terhadap kehidupan melalui lima mekanisme, yaitu (i) melalui sistem pencernaan dan terperangkapnya biota, (ii) terakumulasi dan menyebar ke wilayah lain, bersifat toksik, *bioavailability*, dan memberikan dampak melalui rantai makanan, (iii) sebagai vektor spesies invasif, (iv) berdampak terhadap habitat dan kehidupan dasar laut, dan (v) berdampak secara ekonomi (Stevenson 2011).



Gambar 11. Kelimpahan makrodebris di Pantai Indah Kapuk, Jakarta; pada komunitas *Avicennia marina* (A) dan *Rhizophora mucronata* (B)



Gambar 12. Tipe mikroplastik di Pantai Indah Kapuk, Jakarta. A. Film, B. Fiber, C. Fragmen, D. Pelet

Plastik merupakan vektor dalam penyebaran mikroalga penyebab *blooming* (Maso et al. 2003) dan logam berat (Holmes 2013). Plastik terbuat dari material hidrofobik sehingga bahan pencemar terkonsentrasi di permukaannya dan mikroplastik bertindak sebagai reservoir bahan kimia toksik di lingkungan (Ivar do Sul dan Costa 2014). Logam berat seperti Cd, Co, Cr, Cu, Ni, dan Pb dapat menempel pada plastik pelet dengan dipengaruhi oleh pH dan salinitas. Kemampuan Cd, Co, Ni, dan Pb menempel pada plastik pelet dapat meningkat seiring dengan meningkatnya pH dan menurunnya salinitas, namun sebaliknya, kemampuan Cr menempel pada plastik pelet dapat menurun. Selain itu, kemampuan Cu menempel pada plastik pelet tidak dapat dibuktikan dengan variabel pH dan salinitas (Holmes 2013). Plastik mengandung kontaminan organik, termasuk *polychlorinated biphenyl* (PCBs), *polycyclic aromatic hydrocarbon* (PAH), *petroleum hydrocarbon*, *organochlorine pesticides*, *polybrominated diphenylethers*, *alkylphenol*, dan *bisphenol* yang menyebabkan efek kronis seperti gangguan endokrin pada biota perairan (Teuten et al. 2009).

Ancaman terhadap spesies adalah terabsorbsinya PCB melalui sistem pencernaan (Derraik 2002). Kontaminan

yang mampu bertahan dan terakumulasi melalui rantai makanan dapat membahayakan kesehatan manusia. Mamalia laut, burung, ikan, dan penyu menerima dampak pencemaran sampah laut (STAP 2011). Kelompok hewan yang terkena dampak terbesar dari sampah laut adalah mamalia. Partikel debris juga berdampak terhadap sistem pencernaan sponge, cnidaria, cacing, laba-laba laut, krustase, moluska, bryozoa, echinodermata, ascidians, alga, lamun, dan plankton (CBD-STAP 2012).

Strategi pengelolaan

Makrodebris yang masuk ke dalam kawasan pesisir Pantai Indah Kapuk lebih banyak bersumber dari darat melalui aliran sungai. Upaya pencegahan dapat dilakukan dengan menerapkan secara tegas Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah (Kemensetneg 2008) untuk mengurangi potensi masukan sampah akibat kebiasaan masyarakat membuang sampah ke sungai. Pengetahuan mengenai pengolahan sampah harus disosialisasikan melalui pendidikan sekolah. Pengolahan sampah dapat dilakukan oleh setiap industri dan rumah tangga dengan memilah sampah menjadi 6 jenis dominan, yaitu kantong plastik, botol plastik, styrofoam, karet, kaca,

dan kaleng. Upaya penanggulangan dapat dilakukan dengan kegiatan rutin pembersihan sampah di sepanjang pesisir oleh masyarakat.

Plastik yang ditemukan tidak dapat terdegradasi oleh bantuan sedimen. Substitusi plastik *biodegradable* menjadi solusi utama dalam mengurangi jumlah plastik di lingkungan. Kelimpahan makrodebris dan mikroplastik menjadi tidak berbeda nyata antarsubstasiun karena ketebalan ekosistem mangrove yang sangat rendah. Selain itu, *Rhizophora* sp. juga terbukti berkorelasi negatif dengan kelimpahan makrodebris. Upaya rehabilitasi ekosistem mangrove PIK dapat dilakukan dengan memperluas ketebalan ekosistem melalui penataan ruang pesisir dan melakukan penanaman mangrove dengan jenis dominan *Rhizophora* sp. pada batas mangrove terluar.

KESIMPULAN

Ekosistem mangrove Pantai Indah Kapuk memperoleh tekanan lingkungan berupa makrodebris dan mikroplastik yang bersumber dari tiga sungai, terutama Sungai Angke. Vegetasi mangrove dapat merangkap makrodebris terutama jenis *A. marina* melalui bentuk akarnya. Ekosistem mangrove mampu merangkap makrodebris hingga ketebalan 180 m tanpa adanya perbedaan kelimpahan secara signifikan. Sedimen mangrove juga mampu merangkap mikroplastik hingga kedalaman 30 cm tanpa adanya perbedaan kelimpahan secara signifikan, meskipun sedimen mangrove tidak mempengaruhi proses fragmentasi makroplastik menjadi mikroplastik. Strategi pengelolaan yang disarankan adalah dengan memperluas ketebalan ekosistem mangrove Pantai Indah Kapuk dan melakukan penanaman mangrove dengan jenis dominan *Rhizophora* sp. pada batas mangrove terluar.

DAFTAR PUSTAKA

- [UNEP] United Nations Environment Programme. 2011. UNEP Year Book 2011: Emerging Issues in Our Global Environment. Nairobi (KE): UNEP. 79 p.
- APHA; AWWA; WEF [American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation]. 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd ed. APHA. Washington DC (US).
- Bengen DG. 2000. Pedoman Teknis: Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove. PKSPL-IPB. Bogor.
- Cauwenbergh LV, Claessens M, Vandegehuchte MB, Mees J, Janssen CR. 2013. Assessment of marine debris on the Belgian Continental Shelf. *Mar Pollut Bull* 73: 161-169.
- CBD; STAP [Convention on Biological Diversity; Scientific and Technical Advisory Panel]. 2012. Impacts of Marine Debris on Biodiversity: Current Status and Potential Solutions. CBD Technical Series No. 67. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Montreal (CA).
- Claessens M, De Meester S, Van Landuyt L, De Clerck K, Janssen CR. 2011. Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Mar Pollut Bull* 62: 2199-2204.
- Costa MF, Silva-Cavalcanti JS, Barbosa CC, Portugal JL, Barletta M. 2011. Plastics buried in the inter-tidal plain of a tropical estuarine ecosystem. *J Coast Res* (64): 339-343.
- Derraik JGB. 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*. 44: 842-852.
- Eviati, Sulaeman. 2009. Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. Ed ke-2. Balai Penelitian Tanah. Bogor.
- Goldstein MC, Titmus AJ, Ford M. 2013. Scales of spatial heterogeneity of plastic marine debris in the Northeast Pacific Ocean. *Plos One*. 8 (11): 1- 11. doi: 10.1371/journal.pone.0080020.
- Hidalgo-Ruz V, Gutow L, Thompson RC, Thiel M. 2012. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environ Sci Technol* 46: 3060-3075.
- Holmes LA. 2013. Interactions of trace metals with plastic production pellets in the marine environment [Thesis]. University of Plymouth. Plymouth (UK).
- Ibiene AA, Stanley HO, Immanuel OM. 2013. Biodegradation of polyethylene by *Bacillus* sp. indigenous to the Niger delta mangrove swamp. *Nigerian J Biotechnol* 26: 68-79.
- Ivar do Sul JA, Costa MF. 2013. Plastic pollution risks in an estuarine conservation unit. *J Coast Res* 65: 48-53. doi: 10.2112/SI65-009.1.
- Ivar do Sul JA, Costa MF. 2014. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. *Environ Pollut* 185: 352-364.
- Kaladharan P, Prema D, Nandakumar A, Valsala KK. 2004. Occurrence of tarball and waste materials on the beaches along Kerala coast in India. *J Mar Biol Assoc India*. 46 (1): 93-97.
- Katsanevakis S, Katsarou A. 2004. Influences on the distribution of marine debris on the seafloor of shallow coastal areas in Greece (Eastern Mediterranean). *Water, Air, and Soil Pollution*. 159: 325-337.
- KemenLH [Kementerian Lingkungan Hidup]. 2003. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Jakarta (ID): KemenLH.
- KemenLH [Kementerian Lingkungan Hidup]. 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut. Jakarta (ID): KemenLH.
- Kemenperin [Kementerian Perindustrian dan Perdagangan]. 2013. Konsumsi plastik 1,9 juta ton [Internet]. [diunduh 2013 Des 7]. Tersedia pada: <http://www.kemenperin.go.id/artikel/6262/Semester-I,-Konsumsi-Plastik-1,9-Juta-Ton>.
- Kemsetneg [Kementerian Sekretariat Negara]. 2008. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah. Jakarta (ID): Kemsetneg.
- Kingfisher J. 2011. Micro-Plastic Debris Accumulation on Puget Sound Beaches. Port Townsend Marine Science Center [Internet]. [diunduh 2014 Apr 6]. Tersedia pada: http://www.ptmsc.org/Science/plastic_project/Summit%20Final%20Draft.pdf.
- Lattin GL, Moore CJ, Zellers AF, Moore SL, Weisberg SB. 2004. A comparison of neustonic plastic and zooplankton at different depths near the southern California shore. *Mar Pollut Bull* 49: 291-294.
- Maso M, Garces E, Pages F, Camp J. 2003. Drifting plastic debris as a potential vector for dispersing Harmful Algal Bloom (HAB) species. *Scientia Marina*. 67 (1): 107-111.
- NOAA [National Oceanic and Atmospheric Administration]. 2013. Programmatic Environmental Assessment (PEA) for the NOAA Marine Debris Program (MDP). NOAA. Maryland (US).
- Peters K, Flaherty T. 2011. Marine Debris in Gulf Saint Vincent Bioregion. Government of South Australia. Adelaide, AU.
- Ryan PG, Moore CJ, Van Franeker JA, Moloney CL. 2009. Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Phil Trans Royal Soc B*. 364: 1999-2012. doi: 10.1098/rstb.2008.0207.
- Santos IR, Friedrich AC, Ivar do Sul JA. 2009. Marine debris contamination along undeveloped tropical beaches from northeast Brazil. *Environ Monit Assess* 148: 455-462.
- Smith SDA, Markic A. 2013. Estimates of marine debris accumulation on beaches are strongly affected by the temporal scale of sampling. *Plos One*. 8 (12): 1- 6. doi: 10.1371/journal.pone.0083694.
- Smith SDA. 2012. Marine debris: A proximate threat to marine sustainability in Bootless Bay, Papua New Guinea. *Mar Pollut Bull* 64: 1880-1883. doi: 10.1016/j.marpolbul.2012.06.013.
- STAP [Scientific and Technical Advisory Panel]. 2011. Marine Debris as a Global Environmental Problem: Introducing a Solutions Based Framework Focused on Plastic. A STAP Information Document. Global Environment Facility. Washington DC (US).
- Stevenson C. 2011. Plastic Debris in the California Marine Ecosystem: A Summary of Current Research, Solution Strategies and Data Gaps. University of Southern California Sea Grant, California Ocean Science Trust. Oakland (US).
- Teuten EL, Saquing JM, Knappe DRU, Barlaz MA, Jonsson S, Bjorn A, Rowland SJ, Thompson RC, Galloway TS, Yamashita R et al. 2009. Transport and release of chemicals from plastics to the environment

- and to wildlife. *Phil Trans Royal Soc B*. 364: 2027- 2045.doi: 10.1098/rstb.2008.0284.
- Thompson RC. 2006. Plastic debris in the marine environment: consequences and solutions. In: Krause JC, Nordheim H, Bräger S. (eds.), *Marine Nature Conservation in Europe*. Federal Agency for Nature Conservation, Stralsund, Germany.
- Uneputty PA, Evans SM. 1997. Accumulation of beach litter on islands of the Pulau Seribu Archipelago, Indonesia. *Mar Pollut Bull* 34: 652-655.
- UNESCO; WHO; UNEP [United Nations Educational Scientific and Cultural Organization; World Health Organization; United Nations Environment Programme]. 1996. *Water Quality Assessments. A Guide to the Use of Biota, Sediments, and Water in Environmental Monitoring*. 2nd ed. Cambridge University Press. Cambridge (GB).
- Vieira BP, Dias D, Nakamura EM, Arai TI, Hanazaki N. 2013. Is there temporal variation on solid waste stranding in mangroves? A case study in Ratones mangrove, Florianopolis, Brazil. *Biotemas*. 26 (1): 79-86.
- Watters DL, Yoklavich MM, Love MS, Schroeder DM. 2010. Assessing marine debris in deep seafloor habitats off California. *Mar Pollut Bull* 60: 131-138.
- Willoughby NG, Sangkoyo H, Lakaseru BO. 1997. Beach litter: an increasing and changing problem for Indonesia. *Mar Pollut Bull* 34: 469-478.