

**PENGAMATAN AWAL KONSENTRASI SENYAWA POLISIKLIK AROMATIK
HIDROKARBON (PAH) DALAM SEDIMEN DI PERAIRAN DELTA MAHAKAM,
KALIMANTAN TIMUR**

***PRELIMINARY OBSERVATION ON THE CONCENTRATION OF POLYCYCLIC
AROMATIC HYDROCARBON COMPOUND (PAHs) IN SEDIMENT OF MAHAKAM
DELTA WATERS, EAST OF KALIMANTAN***

Edward

Pusat Penelitian Oseanografi-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Jln. Pasir Putih 1, Ancol Timur, Jakarta 14330. Tel/fax:021.64715038, 021.64711848
E-mail: ekewe07@mail.com

ABSTRACT

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are ubiquitous environment pollutants generated primarily during the incomplete combustion of organic materials. Many PAHs have toxic, mutagenic and/or carcinogenic properties to waters organisms. The purpose of this research is to know the concentration and species of PAH compound in its relation with aquatic organism protection. This research were carried out in April 2016 in Mahakam River Delta. Sediment samples were taken by using a sediment sampler in Purun River (St 1), Tunu Island (St 2) and Segara Island (St 3). The concentration and individual of PAH were determined by using Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). The results showed that the concentration of PAHs in sediment still low and still in lined with the safe threshold values for aquatic organisms protection. The sources of PAHs in sediment is came from ship activities and human settlement.

Keywords: concentration, Mahakam, pahs, observation, sediment

ABSTRAK

Polisiklik aromatik hidrokarbon adalah polutan lingkungan yang dijumpai dimana-mana yang dihasilkan terutama selama pembakaran yang tidak sempurna dari bahan-bahan organik. Beberapa PAH bersifat toksik, mutagenik dan atau karsinogenik. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kadar dan jenis senyawa PAH dalam kaitannya dengan perlindungan biota perairan. Penelitian ini dilakukan pada bulan April 2016 di delta Sungai Mahakam. Contoh sedimen diambil dengan menggunakan alat pengambil contoh sedimen (Grab sampler) pada 3 Stasiun penelitian yakni Sungai Purun (St 1), Pulau Tunu (St 2) dan Pulau Segara (St 3). Kadar dan jenis senyawa PAH ditentukan dengan menggunakan Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). Hasilnya menunjukkan kadar PAH dalam sedimen di ketiga stasiun tersebut relatif rendah dan masih sesuai dengan nilai ambang batas aman untuk kehidupan biota perairan. Jenis PAH di perairan ini didominasi oleh PAH dengan berat molekul rendah. Sumber kontaminan PAH dalam sedimen berasal dari aktivitas perkapalan dan permukiman.

Kata kunci: konsentrasi, Mahakam, PAH, pengamatan, sedimen

I. PENDAHULUAN

Delta Mahakam terletak di Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur dengan luas wilayah lebih kurang 1.500 km². Delta ini memiliki ekosistem pesisir yang unik dan produktif serta memiliki sumberdaya alam yang besar. Kawasan pesisir Delta Mahakam

ditutupi oleh nipah (*Nypa fruticans*) sebagai vegetasi yang dominan, selanjutnya diikuti oleh beberapa spesies endemik bakau seperti *Avicennia*, *Rhizophora*, dan *Nypa*. Kondisi yang demikian membuat Delta Mahakam relatif subur dan kaya akan sumberdaya baik sumberdaya hayati (ikan, udang, kepiting) maupun sumberdaya minyak dan gas bumi.

Adanya permukiman penduduk, perkapalan, persawahan dan usaha pertambangan di Delta Mahakam berpotensi menimbulkan kontaminasi terhadap ekosistem yang ada, khususnya oleh limbah bahan bakar minyak yang berasal dari aktivitas permukiman dan perkapalan. Limbah minyak berpotensi untuk menghasilkan senyawa PAH. Hal ini disebabkan minyak merupakan salah satu senyawa organik, yang apabila mengalami pembakaran tidak sempurna akan menghasilkan senyawa - senyawa PAH (Yang *et al.*, 2004) (Brandt *et al.*, 2016) (Boonyatumanond *et al.*, 2007). Minyak mentah mengandung 16 jenis PAH yang direkomendasikan oleh EPA bersifat toksik (Cao *et al.*, 2009). Pahjola *et al.* (2004) dalam penelitiannya mendapatkan 14 jenis PAH dalam partikel gasoline.

Keberadaan senyawa PAH di alam dapat berasal dari dua sumber, yakni petrogenik dan pyrogenik. PAH petrogenik berasal dari minyak bumi, contohnya minyak mentah, bahan bakar, pelumas, dan turunannya (Saber *et al.*, 2006). PAH pyrogenik berasal dari pembakaran pada suhu tinggi dari bahan bakar fosil dan biomasa (pembakaran yang tidak sempurna, pirolisis, perengkahan dan destilasi yang destruktif) (Saber *et al.*, 2006). PAH petrogenik masuk ke lingkungan perairan antara lain melalui tumpahan minyak, aktivitas perkapalan, permukiman dan perkotaan serta limpasan (runoff) (Zakaria *et al.*, 2002). PAH pyrogenik masuk ke lingkungan dalam bentuk partikel dan residu padat, dan sebagian besar banyak dijumpai di lingkungan perairan (De Luca *et al.*, 2004; Zakaria *et al.*, 2002).

Nasib PAH ini di lingkungan ditentukan oleh sifat fisikokimianya, serta faktor lingkungan biotik dan abiotik (Palm *et al.*, 2004). Dengan meningkatnya jumlah cincin aromatik, kelarutan senyawa ini dalam air berkurang dan afinitas untuk berikatan dengan partikel meningkat. Perilaku PAH di lingkungan juga bergantung pada sumber tertentu, PAH yang berasal dari minyak bumi menunjukkan bioavailabilitas yang lebih

besar dibandingkan dengan yang berasal dari proses pembakaran, untuk terikat dengan partikel-partikel padat (Benlahcenet *et al.*, 1997). Di lingkungan laut pencemaran PAH dapat berasal dari rembesan alam atau sumber dari darat, seperti masukan dari sungai, limpasan permukiman atau perkotaan, kilang minyak, dan limbah industri (Neff, 1979), dan sumber-sumber dari laut, seperti buangan dari kapal-kapal, kegiatan-kegiatan yang ada dilaut, endapan dari udara, dan pesawat (TRB and NRC, 2003). PAH dengan mudah diserap dan terakumulasi dalam biota laut atau terserap pada partikel padat tersuspensi, dan mengendap ke dasar perairan dan masuk ke rantai makanan (Nasher *et al.*, 2013)

Banyak hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa PAH yang berasal dari kegiatan manusia dapat menyebabkan kanker dan efek mutagenik pada organisme (Zakaria *et al.*, 2006) (Rengarajan *et al.*, 2015) (Shafy *et al.*, 2015) (Omodara *et al.*, 2014) (Yusuf *et al.*, 2015). Penelitian PAH dalam sedimen di Indonesia juga sudah banyak dilakukan dan hasilnya relatif bervariasi ada yang tinggi dan ada yang rendah. Misalnya di Teluk Jakarta pada tahun 2011 dan 2013 kadar PAH relatif tinggi, Edward (2011) mendapatkan kadar PAH dalam sedimen di Teluk Jakarta pada bulan Maret dan Juli 2011 masing-masing berkisar 1,920-77,100 ppb dan 15,971-124,693 ppb, pada bulan Maret 2013 berkisar 1,603-10,237 ppb, Falahudin *et al.* (2011) menjumpai kadar PAH dalam sedimen di Laut Timor pada bulan Mei 2010 berkisar 24,50-26,63 ppb, Munawir (2008) mendapatkan kadar PAH dalam sedimen di Teluk Klabat pada bulan Juli 2006 berkisar 1,002-4,792 ppb . Kadar di atas lebih tinggi dari nilai ambang batas buku mutu sedimen. Selanjutnya Edward (2015) mendapatkan kadar PAH di perairan Pakis Jaya Karawang Teluk Jakarta pada bulan Maret 2014 berkisar 0,113-0,862 ppb. Munawir (2008, 2010) mendapatkan kadar PAH dalam sedimen di Teluk Klabat, Bangka Belitung berkisar 0,029-0,209 ppb pada bulan Maret 2006, di perairan Aceh Pasca Tsunami

berkisar 0,00-0,613 ppb, dan di Muara Sungai Cimandiri Pelabuhan Ratu pada bulan Maret 2017 berkisar 0,00-0,003 ppb (Edward, 2017). Kadar ini lebih rendah dari nilai ambang batas yang ditetapkan baku mutu sedimen untuk PAH.

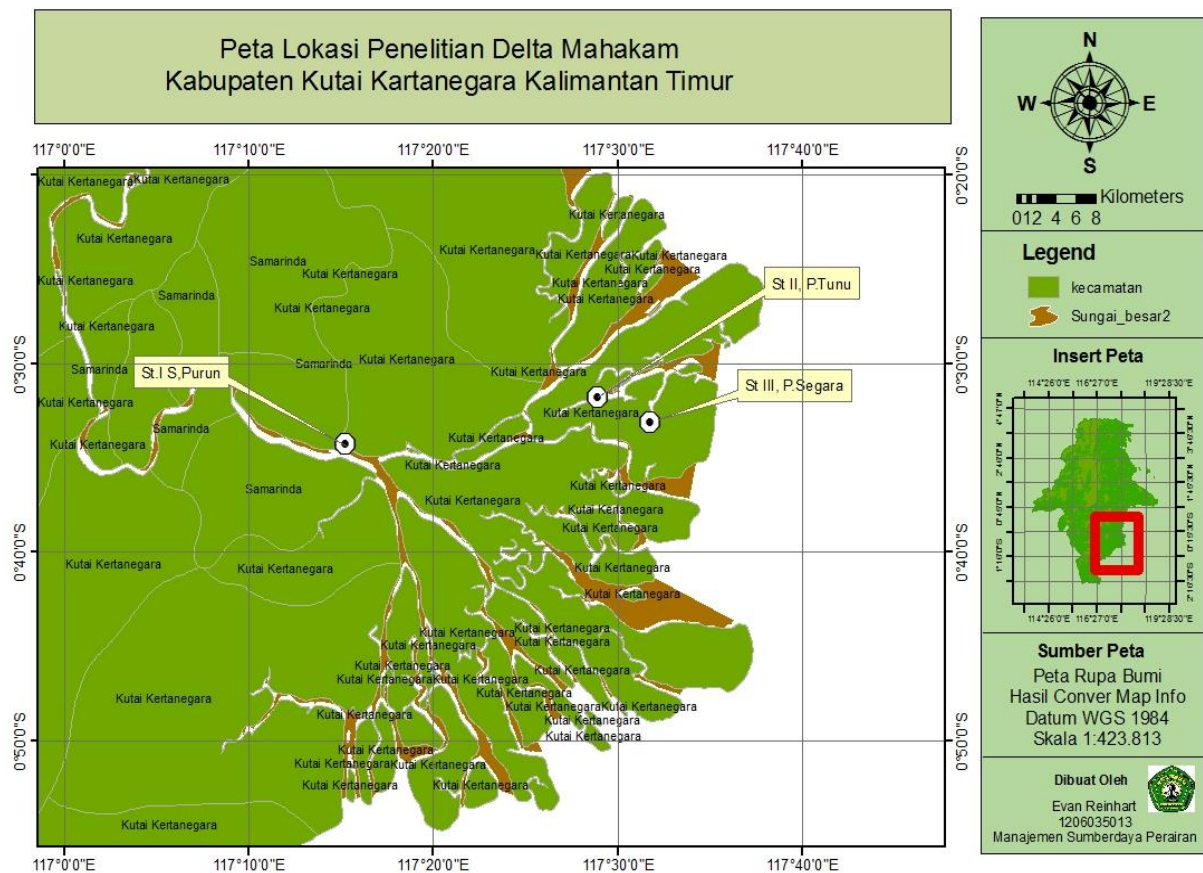
Penelitian tentang kadar PAH dalam sedimen di ketiga lokasi di atas baru pertama kali dilakukan, sehingga data yang diperoleh merupakan data awal, dan belum ada pembandingnya.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kadar dan jenis senyawa PAH dalam sedimen di perairan Sungai Purun, Pulau Tunu dan Pulau Segara Delta Mahakam, Kalimantan Timur dalam kaitannya dengan tingkat pencemaran serta kepentingan biota perairan. Hasilnya diharapkan dapat memberikan informasi dan masukan kepada pihak yang berkepentingan dalam rangka pengelolaan perairan Delta Mahakam secara berkesinambungan.

II. METODA

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan April 2016 di Delta Mahakam Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur. Pengambilan contoh sedimen dilakukan di tiga stasiun penelitian yakni Sungai Purun (St 1)(posisi $0^{\circ}34'15.5''$ LS, $117^{\circ}15'16.2''$ BT), Pulau Tunu (St 2) (posisi $0^{\circ}31'44.7''$ LS, $117^{\circ}28'54.7''$ BT) dan Pulau Segara (St 3) ($0^{\circ}33'07.7''$ LS, $117^{\circ}31'44.3''$ BT) (Gambar 1). Stasiun 1 Sungai Purun merupakan lokasi yang berdekatan dengan dermaga yang padat dengan aktivitas perkapalan, perusahaan udang, persawahan, dan permukiman, Pulau Tunu (St 2) dan Pulau Segara (St 3) berdekatan dengan kegiatan pertambakan (udang) dan wilayah laut. Kegiatan di ketiga lokasi tersebut berpotensi menimbulkan kontaminasi PAH pada sedimen akibat penggunaan bahan bakar minyak.



Gambar 1. Lokasi penelitian dan pengambilan contoh sedimen (Kalimantan Timur).
Sumber peta: Evan Reinhart (2016).

2.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: 1). Contoh sedimen, 2) Bahan kimia yakni; DCM (Dichloromethana) p.a (pro analisis) dan Sodium sulphate (Na_2SO_4) p.a (pro analisis), Diethylether p.a (pro analisis), n-hexana p.a (pro analisis), bubuk Alumina tipe WB 5 basic SIGMA p.a (pro analisis), bubuk silica tipe Merck 7754 p.a (pro analisis), dan air suling.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah; GC-MS, kolom kromatografi, oven, Soxhlet, rotary vapor/ kurdena danish, micro sneyder, pipet pasteur dan timbangan analitis sartorius.

2.3. Analisis Contoh

Preparasi dan analisis senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) dalam contoh sedimen dilakukan berdasarkan *Standard Operation Prosedure* (SOP, 2013) Laboratorium Kimia Organik Pusat Penelitian Oseanografi LIPI. Contoh sedimen di ambil secara komposit dimana pengambilan dilakukan sebanyak tiga kali dengan menggunakan grab sedimen pada tiga stasiun penelitian yakni Stasiun 1 Sungai Purun, Stasiun 2 Pulau Tunu dan Stasiun 3 Pulau Segara. Semua contoh dicampur menjadi satu contoh.

Contoh yang sudah dicampur dimasukkan ke dalam botol berwarna gelap dan disimpan dalam *ice box*. Di laboratorium contoh sedimen (komposit) ditimbang sebanyak ± 40 g dan dipanaskan dalam oven selama 12-14 jam pada suhu 50°C . Contoh sedimen yang sudah dipanaskan dalam oven tersebut di haluskan dalam mortar dengan menambahkan Na_2SO_4 , dan di ekstraksi dengan dichloro methana (DCM) 120 mL dalam Soxhlet selama 8 jam. Hasil ekstraksi dipekatkan dengan rotary vapor sampai volume 1 mL.

Lakukan *clean up* sebagai berikut: 1). Menyiapkan kolom kromatografi dengan ukuran diameter 8 mm, panjang kolom 15 cm yang telah diisi dengan bubuk Alumina tipe WB 5 basic SIGMA (1-2 g) atau 12 cm dari

panjang kolom kromatografi, 2). Membilas dengan mengalirkan 10 mL DCM, buang tampungannya dan lanjutkan dengan pembilasan dengan mengalirkan 10 mL n-hexana dan buang lagi tampungannya, 3). Memasukkan 1 mL contoh ke dalam kolom dengan menggunakan pipet Pasteur dan bilas bekas contoh dalam pipet dengan 1 mL n-hexana dan tambahkan ke dalam kolom, 4). Penambahan n-hexana sampai volume yang ditampung 14 mL 4% *diethylether* dalam n-hexana, 5). Menguapkan larutan sampel dalam *microsnyder* dalam waterbath sampai volume 1 mL, 6). Memasukkan contoh sebanyak 1 mL ke dalam kolom kromatografi yang berisi bubuk *silica* tipe Merck 7754, 7). Mengalirkan ke dalam kolom silika 15 ml n-heksan dan tampung hasilnya (9,5 mL) sebagai fraksi 1 (F1), 8). Mengalirkan lagi 15 mL 10% *diethylether* dalam n-hexana, tampung hasilnya sebagai fraksi 2 (F2), 9). Memekatkan F1 dan F2 dengan alat *microsneyder* atau *rotaryvapor* sampai volume 0,5-1 mL, masukkan masing F1 dan F2 ke dalam vial, cukupkan volumenya 1 mL dengan solvent, 10). Lakukan pengukuran kadar PAH (F2) dan F1 (senyawa lainnya) dengan GS-MS Thermo *Scientific*, model: Trace 1310 ISQ LT. *Detector: Single Quadrupole Mass Spectrometer* (320°C). *Inlet: Temp: 260^\circ\text{C}* (*splitless*). *Column: Thermo TR-5. Length: 30 m; ID: 0,25 mm; Film: 0,25 \mu\text{m}*. *Oven: 50^\circ\text{C}* (0,5 min) \rightarrow 160°C (15 min) \rightarrow 290°C (13 min) \rightarrow 300°C (4 min). *Gas system: Helium: 1,2 mL/min* (constant flow); *Split flow: 10 mL/min*; *Splitless time: 0,5 min*. Hasil pengukuran dinyatakan dalam $\mu\text{g/kg}$ (ppb).

2.4. Validasi Instrumen

Sebelum dilakukan analisis, terlebih dulu dibuat kurva standar secara series dengan 5 konsentrasi (3, 6, 12, 24, dan 48 ppb), setiap standar mengandung 16 jenis PAH. Dari kurva standar didapat nilai R^2 untuk masing-masing senyawa. R^2 dari 16 jenis PAH berturut-turut adalah 0,929 (naftalen), 0,956 (Acenaphthylene), 0,966

2BrNaftalene, 0,972 (Acenaphthene), 0,964 (fluorene), 0,963 (Anthracene), 0,963 (fenantrene), 0,955 (fluoranthene), 0,945 (pyrene), 0,949 (B[a]Anthracene), 0,945 (chrysene), 0,944 (B[k]fluoranthene), 0,952 (B[a]P), 0,927 (Ind [1,2,3-cd]P), 0,953 (Db[ah]Anth dan 0,832 B(ghi)Perylene. RSD dari masing-masing senyawa PAH adalah 0,0%. Nilai R^2 dan RSD di atas menunjukkan bahwa prosedur pengukuran sudah valid.

2.5. Analisis Data

Data dianalisis secara deskriptif analitis dengan membandingkannya dengan baku mutu sedimen yang ditetapkan oleh Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup dan baku mutu dari beberapa negara.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

Hasil pengukuran kadar senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) dalam sedimen disajikan pada Tabel 1. Dari tabel tersebut dapat dilihat di Stasiun 1 Sungai Purun hanya ditemukan 2 jenis senyawa PAH dengan berat molekul rendah yakni Naphthalene dan Fluorene, sedang senyawa PAH lainnya seperti Acenaphthylene, 2-BrNaphthalene, Acenaphthene, Phenanthrene dan Anthracene tidak ditemukan. Untuk senyawa PAH dengan berat molekul tinggi, di Stasiun 1 Sungai Purun hanya ditemukan dua senyawa yakni B(a)Anthracene dan

Benzo(g,h,i)Perylene, sedang senyawa PAH lainnya seperti Fluoranthene, Pyrene, Chrysene, B(b) Fluoranthene, Benzo(a)Pyrene, Indeno (123-cd)Pyrene, dan Dibenzo(ah) Anthracene tidak ditemukan.

Stasiun 2 Pulau Tunu ditemukan 3 jenis senyawa PAH dengan berat molekul rendah yakni Naphthalene, Acenaphthalene, dan Fluorene, sedang senyawa PAH dengan berat molekul tinggi hanya ditemukan 1 jenis yakni Chrysene.

Stasiun 3 Pulau Segara hanya ditemukan 2 jenis senyawa PAH dengan berat molekul rendah yakni Naphthalene dan Fluorene, sedang senyawa PAH dengan berat molekul tinggi tidak satu senyawa pun ditemukan.

Pada Tabel 1 dapat dilihat kadar PAH dengan berat molekul rendah (BMR) yakni Naphthalene di Stasiun 1 Sungai Purun, Stasiun 2 Pulau Tunu, dan Stasiun 3 Pulau Segara, berturut-turut adalah 0,2171 ppb, 0,2166 ppb dan 0,2171 ppb. Kadar ini relatif rendah dan tidak berbeda. Keadaan yang sama juga terlihat untuk Fluorene, kadar Fluorene di ketiga stasiun juga tidak berbeda yakni 0,1778 ppb. Kadar senyawa PAH yang lain seperti Acenaphthylene, 2-2-BrNaphthalene, Acenaphthene, Phenanthrene, dan Anthracene tidak terdeteksi. Data ini menunjukkan ketiga stasiun relatif lebih bersih dari cemaran senyawa Acenaphthylene, 2-BrNaphthalene, Acenaphthene, Phenanthrene, dan Anthracene.

Tabel 1. Kadar PAH dalam sedimen di Kalimantan Timur, ppb.

No	PAH	St 1 (S. Purun)	St 2 (P. Tunu)	St 3 (P. Segara)
	Berat Molekul Rendah (BMR)			
1	Naphthalene	0.2171	0.2166	0.2171
2	Acenaphthylene	-	-	-
3	2-BrNaphthalene	-	-	-
4	Acenaphthene	-	0.0875	-
5	Fluorene	0.1780	0.1778	0.1778
6	Phenanthrene	-	-	-
7	Anthracene	-	-	-
	Σ Kadar BMR	0,3951	0,4819	0,3949
	Jumlah Jenis	2	3	2

No	PAH	St 1 (S. Purun)	St 2 (P. Tunu)	St 3 (P. Segara)
	Berat Molekul Tinggi (BMT)			
8	Fluoranthene	-	-	-
9	Pyrene	-	-	-
10	B(a)Anthracene*	0.3137	-	-
11	Chrysene*	-	0.2653	-
12	B(b)Fluoranthene*	-	-	-
13	Benzo(a)Pyrene*	-	-	-
14	Indeno(123-cd)Pyrene*	-	-	-
15	Dibenzo(a,h)Anthracene*	-	-	-
16	Benzo(g,h,i)Perylene	0.1077	-	-
	Σ Kadar BMT	0,4214	0,2653	-
	Jmh Jenis	2	1	-
	Σ Total BMR+BMT	0,8165	0,7472	0,3949
	BMR/BMT	0,937	1,816	0

Keterangan: - (*Not Found*), * (PAH Karsinogenik).



a. Sampling contoh air



b. St 2 (P Tunu)



c. St1 (S Purun)



d. St 3 (P Segara)

PAH dengan berat molekul tinggi di Stasiun 1 Sungai Purun ditemukan dua senyawa PAH yakni Benzo(a)Anthracene dan Benzo(g,h,i)Perylene, yang kadarnya masing-masing adalah 0,3137 ppb dan 0,1077 ppb, sedang senyawa PAH lainnya seperti Fluoranthene, Pyrene, Chrysene, Benzo(b)Fluoranthene, Benzo(a)Pyrene, Indeno

(123-cd)Pyrene, dan Dibenzo(a,h) Anthracene tidak ditemukan (tidak terdeteksi).

Stasiun 2 Pulau Tunu untuk PAH dengan berat molekul rendah ditemukan 3 jenis yakni Naphtalene, Acenaphthene, dan Fluorene yang kadarnya berturut-turut adalah 0,2166 ppb, 0,0875 ppb dan 0,1778 ppb, sedang senyawa PAH lainnya seperti Acena-

ptylene, 2-BrNaphthalene, Phenantrene, dan Anthracene tidak ditemukan (tidak terdeteksi).

PAH dengan berat molekul tinggi di Stasiun Pulau Tunu hanya ditemukan 1 jenis yakni Chrysene dengan kadar 0,2653 ppb, sedang senyawa PAH lainnya seperti Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a) Anthracene, Benzo(b)Fluoranthene, Benzo(a)Pyrne, Benzo(a,h) Anthracene, Indeno (123-cd) Pyrene dan Benzo (g,h,i) Perylene tidak ditemukan (tidak terdeteksi).

Stasiun 3 Pulau Segara ditemukan dua jenis PAH dengan berat molekul rendah yakni Naphthalene dan Fluorene dengan kadar masing-masing 0,2171 ppb dan 0,1778 ppb, sedang senyawa PAH dengan berat molekul tinggi seperti Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a) Anthracene, Chrysene, Benzo(b) Fluoranthene, Benzo(a) Pyrene, Indeno (123-cd) Pyrene dan Di-benzo(a,h) Anthracene tidak ditemukan.

Tidak ditemukannya senyawa PAH dengan berat molekul tinggi menunjukkan bahwa kondisi Stasiun 1, 2 dan 3 relatif aman bagi biota akuatik mengingat senyawa-senyawa tersebut bersifat karsinogenik dan toksik terhadap biota perairan, sehingga kehadirannya tidak diinginkan di lingkungan perairan.

3.2. Pembahasan

3.2.1. Komposisi senyawa PAH

Tabel 2 dapat dilihat komposisi senyawa PAH di ketiga lokasi penelitian. Di Stasiun 1 Sungai Purun hanya dijumpai 2 jenis PAH (BMR) yakni Naftalen dan Fluorene yang kadarnya masing-masing adalah 0,2171 ppb dan 0,1780 ppb, PAH (BMT) juga dijumpai 2 jenis yakni B(a)Anth dan B(ghi)Perylene yang kadarnya masing-masing adalah 0,3137 ppb dan 0,1077 ppb. Kadar total PAH (BMT) lebih tinggi bila dibandingkan dengan total PAH BMR. Perbandingan total kadar PAH BMR/BMT adalah 0,937. Nilai ini <1, yang berarti secara umum PAH berasal dari sumber pyrogenik (Nasher *et al.*, 2013) (Rocher *et al.*, 2004) (Karlsson and Viklander, 2008). PAH

pyrogenik umumnya merupakan PAH (BMT) dengan 4-6 cincin benzen seperti Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)Anthracene, Chrysene, Benzo(b)Fluoranthene, Benzo(k) Fluoranthene, Benzo(a)Pyrene, Dibenzo(a,h) Anthracene, Benzo(g,h,i)Perylen dan Indeno [1,2,3, (c,d)Pyrene] (Liu *et al.*, 2009; Ricardi *et al.*, 2013). PAH pyrogenic terutama dijumpai pada pembakaran yang tidak sempurna dari senyawa-senyawa organik seperti bahan bakar fosil (*heating oil, cooking, coal burning, vehicle emissions, waste tire*), dan pembakaran biomassa (*fireplace, controlled burning*) (Khairy *et al.*, 2009; Zakaria *et al.*, 2002).

Tingginya kadar PAH (BMT) dibandingkan PAH (BMR) disebabkan PAH (BMT) mempunyai daya larut rendah dalam air, kurang mudah menguap, ukuran molekul yang tinggi dan lebih persisten di lingkungan perairan dibandingkan dengan PAH (BMR) (Zakaria *et al.*, 2006). PAH (BMT) dalam sistem akuatik cenderung mengendap bersama sedimen (Brooks, 1997). PAH (BMT) bersifat hidrofobik dan lipofilik, sifat hidrofobik ini cenderung membuatnya dengan cepat terserap oleh partikel-partikel bahan organik dalam sedimen (Bertillon and Widenfalk, 2002).

Stasiun 2 Pulau Tunu ditemukan 3 jenis PAH (BMR) yakni Naftalen, Acenaphthene dan Fluorene yang kadarnya berturut-turut adalah 0,2166 ppb, 0,0875 ppb, dan 0,1778 ppb, dan 1 jenis PAH (BMT) yakni Chrysene dengan kadar 0,2653 ppb. Kadar total PAH (BMR) lebih tinggi bila dibandingkan dengan total PAH (BMT). Perbandingan total kadar PAH BMR/BMT adalah 1,816. Nilai ini >1, yang berarti secara umum PAH berasal dari sumber petrogenik (Nasher *et al.*, 2013; Rocher *et al.*, 2004). PAH petrogenik terdiri dari Naftalene, Acenaphthylene, Acenaphthene dan Fluorene, dan merupakan alkil yang tersubstitusi pada PAH atau PAHs dengan berat molekul rendah (2–3 cincin benzen). PAH ini berasal dari tumpahan minyak dari bak mesin yang masih baru atau lama,

minyak mentah, bahan bakar minyak, kecelakaan pipa minyak di laut dan didarat, limbah perkotaan dan industri (Saha *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2009).

Stasiun 3 Pulau Segara hanya ditemukan 2 jenis PAH (BMR) yakni Naftalen dan Fluorene yang kadarnya masing-masing adalah 0,2171 ppb dan 0,1778 ppb, sedang PAH (BMT) tidak ditemukan sama sekali. Senyawa PAH (BMR) ini dihasilkan dari sumber-sumber petrogenik (Short *et al.*, 2007; Hegesi *et al.*, 2007), seperti minyak mentah dan produk-produknya (Stogiandinis *et al.*, 2015).

Keseluruhan kadar total PAH di Stasiun 2 Pulau Tunu > Stasiun 1 Sungai Purun > Stasiun 3 Pulau Segara. Data ini menunjukkan Stasiun 2 lebih banyak menerima masukan kontaminan PAH dibandingkan dengan dua lokasi lainnya, sumber PAH di Pulau Tunu ini berasal dari aktivitas perkapalan dan perahu-perahu yang melewati areal pertambakan.

Kadar total PAH hasil penelitian ini berkisar 0,3949-0,8165 ppb. Kadar ini lebih rendah bila dibandingkan dengan kadar total PAH di Selat Makasar, Kalimantan timur. Razak (2001) melaporkan kadar total PAH dalam sedimen di perairan pesisir Kalimantan Timur pada bulan Agustus-September 1999, di perairan Balikpapan (5 stasiun) berkisar 95-4318 ppb, Samarinda (4 stasiun) 198-2113 ppb, Sanggata (2 stasiun) 6284-8446 ppb dan Sangkulirang (2 stasiun) 785-985 ppb.

Rendahnya kadar total PAH hasil penelitian ini wajar mengingat stasiun-stasiun di ke empat lokasi tersebut berada di muara Delta Mahakam, yang menampung banyak limbah minyak yang berasal dari aktivitas manusia di sepanjang Sungai Mahakam dan masuk ke perairan muara melalui sungai Mahakam. Razak (2001) juga melaporkan PAH hasil penelitiannya ini didominasi oleh PAH (BMT).

Kadar total PAH hasil penelitian ini relatif rendah dan masih sesuai dengan nilai ambang batas sedimen yang aman untuk

biota laut yakni 4000 ppb (Simpson *et al.*, 2005) dan 1684 ppb (Burton *et al.*, 2002). Neff (1979 dalam Brooks, 1997) menyatakan sedimen yang masih bersih dan tidak terkontaminasi oleh PAH mempunyai kadar PAH < 50 ppb, sedimen yang terkontaminasi mengandung PAH 15000 ppb (15 ppm).

Kadar total senyawa PAH yang terdapat di ketiga lokasi penelitian ini belum berbahaya bagi kehidupan biota laut maupun air tawar.

3.2.2. Risiko Ekologis Senyawa PAH

Efek terhadap organisme dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk indikator peringatan dini dari dampak yang potensi terhadap kesehatan manusia.

Indonesia sampai saat ini belum ada standar baku mutu lingkungan untuk PAH dalam sedimen. Oleh karena itu efek toksikologi dari polutan dalam penelitian ini secara umum dievaluasi dengan menggunakan petunjuk yang dibuat oleh *National Oceanography and Atmospheric Administration* (NOAA) (Butchman, 1999) dan Canada (CCME, 2010).

Tabel 2 dapat dilihat kadar PAH dengan berat molekul rendah (BMR) dan berat molekul tinggi (BMT) lebih rendah dibandingkan dengan kriteria yang ditetapkan oleh NOAA dan CCME, dengan demikian diperkirakan belum menimbulkan efek yang berbahaya bagi kehidupan biota laut, bila sedimen ini terbawa oleh arus Sungai Mahakam ke perairan laut (Selat Makassar).

Hal ini disebabkan karena konsentrasi PAH relatif rendah dibandingkan dengan nilai ambang batas aman untuk kehidupan biota perairan.

Secara keseluruhan kadar total PAH dalam sedimen di Stasiun 1 S Purun, Stasiun 2 P Tunu, dan Stasiun 3 P Segara Kalimantan Timur ini relatif masih rendah, hal ini disebabkan karena sumber-sumber yang potensi untuk menghasilkan limbah minyak (tambang migas) berada di daratan dan relatif jauh dari lokasi penelitian.

Tabel 2. Kriteria individual PAH dalam sedimen/lumpur (ppb).

No	PAH	CCME (2010)				NOAA*	Hasil Penelitian
		ISQG	PEL	ISQG	PEL	TEL	
	BMR	Fresh water		Marine water			
1	Naphthalene	34,6	391	34,6	391	34,57	0,2166-0,2171
2	Acenaphthylene	5,78	128	5,78	128	5,87	0-0
3	Acenaphthene	6,71	88,9	6,71	88,9	6,71	0-0,875
4	Fluorene	21,2	144	21,2	144	21,17	0,1778-0,1780
5	Phenanthrene	41,9	515	86,7	544	86,68	0,0-0,0
6	Anthracene	46,9	245	46,9	245	-	0,0-0,0
	BMT						
7	Fluoranthene	111	2355	113	1494	112,82	0,0-0,0
8	Pyrene	53	875	153	1398	152,66	0,0-0,0
9	B(a)Anthracene**	31,7	385	74,8	693	74,83	0,0-0,3137
10	Chrysene **	57,1	862	108	846	107,77	0,0-0,2653
11	B(b)Fluoranthene **	-	-	-	-	-	0,0-0,0
12	Benzo(a)Pyrene **	31,9	782	88,8	763	88,81	0,0-0,0
13	Indeno(123-cd)Pyrene **	-	-	-	-	-	0,0-0,0
14	Dibenzo(ah)Anthracene	6,22	135	6,22	135	6,22	0,0-0,0
15	Benzo(ghi)Pyrene	-	-	-	-	-	0,0-0,1077

** Karsinogenik: ISQG: Interim Sediment Quality Guideline, PEL: Probably Effect Level, TEL: Threshold Effect Level. * Buchman (1999).

IV. KESIMPULAN

Sedimen di Stasiun 1 Sungai Purun, Stasiun 2 Pulau Tunu dan Stasiun 3 Pulau Segara, Delta Mahakam Kalimantan Timur ini belum tercemar oleh senyawa PAH. PAH yang terdapat dalam sedimen di ketiga lokasi didominasi oleh senyawa PAH dengan berat molekul rendah. Sumber PAH berasal dari aktivitas manusia seperti perkapalan, permukiman, persawahan dan pertambakan. Kadar total senyawa PAH di Stasiun 1 Sungai Purun > Stasiun 2 Pulau Tunu > Stasiun 3 Pulau Segara. Kadar kelima senyawa PAH ini relatif masih rendah dan berada di bawah nilai ambang batas yang aman untuk biota perairan, sehingga belum menimbulkan dampak negatif terhadap kehidupan biota akuatik baik di laut maupun sungai Mahakam.

Penelitian perlu dilanjutkan, mengingat penelitian ini masih bersifat pen-

dahuluan dengan jumlah stasiun pengamatan masih terbatas (3 lokasi), sehingga belum menggambarkan kadar PAH di Sungai Mahakam secara menyeluruh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis disampaikan kepada sdr: Evan Reinhart, mahasiswa Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Mulawarman, yang telah membantu mengambil sampel di ketiga lokasi di Kalimantan Timur dan sdr Deny Yogaswara yang telah membantu dalam analisis di laboratorium kimia organik P2O-LIPI Jakarta.

DAFTAR PUSTAKA

Burton, G.A. 2002. Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology*, 3: 65–75.

- Buchman, M.F. 1999. NOAA screening quick reference tables, NOAA HAZMAT Report 99-1, Seattle WA, coastal protection and restoration division, national oceanic and atmospheric administration. Published by National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Seattle. Washington. 12p.
- Brooks, M. and Kenneth. 1997. Literatur review, computer model and assessment of the potential environmental risks associated with creosote treated wood products used in aquatic environment. Aquatic environmental science 644 old eaglemount road Port Townsend. Washington. 138p.
- Bertillon, S. and Widenfalk. 2002. Photochemical degradation of PAHs in freshwaters in their impact on bacterial growth-influence of water chemistry. *Hydrobiologia*, 469:23-32
- Benlahcen, K.T., A. Chaoui, H. Budzinski, J. Bellocq, P.H. Garrig. 1997. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in some Mediterranean coastal sediments, *Mar. Pollut. Bull.*, 34(5):298-305.
- Brandt, M. and Doren Einhenkel-Arle. 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbons harmful to the environment toxic. Inevitable. German Environment Agency Section. German. 26p.
- CCME (CCME). 2010. Canadian soil quality guidelines for potentially carcinogenic and other PAHs: Scientific criteria document. CCME, Winnipeg. Quebec, Canada. 216p.
- Cao, B., K. Nagarajan, K.C. Loh. 2009. Biodegradation of aromatic compounds: current status and opportunities for biomolecular approaches. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 85:207-228.
- De Luca, G., A. Furesi, R. Leardi, G. Micera, A. Panzanelli, and P.C. Piu. 2004. Polycyclic aromatic hydrocarbons assessment in the sediments of the Porto Torres Harbor (Northern Sardinia, Italy). *Mar Chem*, 86:15-32.
- Edward. 2015. Kandungan dan asal Senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon dalam sedimen di perairan Pakis Jaya, Kabupaten Karawang. *J. Akuatika*, 6(2):96-106.
- Edward. 2015. Kandungan dan asal senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) dalam sedimen di perairan Gresik, Jawa Timur. *J. Teknologi dan Penelitian Terapan*, 2:28-37.
- Edward. 2011. Kaji mutu senyawa organik. Pusat Penelitian Oseanografi LIPI. Jakarta. 68hlm.
- Edward. 2017. Kandungan senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon di muara Sungai Cimandiri Pelabuhan Ratu. Jurusan Penyuluhan Perikanan, Sekolah Tinggi Perikanan. 12hlm.
- Falahuddin, D. dan M. Khosanah. 2011. Pengukuran dan identifikasi sumber asal senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) dalam kerang hijau *Perna viridis* sp dari pasar Cilincing, Jakarta Utara. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 37(2): 295-307.
- Hegazi, A.H. and J.T. Andersson. 2007. Characterization of polycyclic aromatic sulfur heterocycles for source identification. In: Wang Z, Stout SA (eds). Oil spill environmental forensics. Fingerprinting and source identification. Elsevier, Boston, MA: 147-168pp.
- Khairy, M.A., M. Kolb, A.R. Mostafa, A. EL-Fiky, and Bahadir. 2009. Risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in a Mediterranean semi-enclosed basin affected by human activities (Abu Qir Bay, Egypt). *J. hazard mater*, 170:389-397.
- Karlsson, K. and M. Viklander. 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in water and sediment from

- gully pots. *Water Air Soil Pollut*, 188: 271-282.
- Liu, Y., L. Chen, Q.H. Huang, W.Y. Li, and Y.J. Tang. 2009. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of the Huangpu River, Shanghai, China. *Sci Total Environ*, 407:2931-2938.
- Munawir, K. 2008. Kadar polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) dalam air, sedimen dan sampel biota di Perairan Teluk Klabat Bangka. *Oseanologi dan limnologi di Indonesia*, 33:441-453.
- Munawir, K. 2010. Pencemaran kadar poli aromatik hidrokarbon dalam air dan sedimen di perairan tsunami Aceh *Dalam: Probowo, et al. (eds.). Prosiding: Seminar Nasional Biologi "Biodiversity dan Bioteknologi Sumberdaya Akuatik Fakultas Biologi UNSOED, Purwokerto. Hlm.:705-722.*
- Neff, J.M. 1979. Polycyclic aromatic hydrocarbon in the aquatic environment. Sources, Fate and Biology Effects. Applied Science Publishers Ltd.. Essex. England. 262p.
- Nasher, E., L.Y. Heng, Z. Zakaria, and S. Surif. 2013 Concentrations and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the seawater around Langkawi island, Malaysia. *J. Chem.*, 81:1-14.
- Omodara, B.N., S. Justina, Amoko, Babatunde, and M. Ojo. 2014. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the environment, sources, effects and reduction risks. *Sky Journal of Soil Science and Environmental Management*, 3(9):096-101.
- Pohjola, K.S., K. Savela, L. Kuusimäki, T. Kanno, M. Kawanishi, and E. Weyand. 2004. Polycyclic aromatic hydrocarbons of diesel and gasoline exhaust and DNA adduct detection in calf thymus DNA and lymphocyte DNA of workers exposed to diesel exhaust. *J. Polycyclic Aromatic Compounds*, 24:451-465.
- Palm, A., L. Cousins, O. Gustafsson, J. Axelman, K. Grunder, D. Broman, and E. Brorström-Lundén, 2004, Evaluation of sequentially-coupled POP fluxes estimated from simultaneous measurements in multiple compartments of an air watersediment system, *Environ. Pollut.*, 128(2) : 85-97.
- Rocher, V., S. Azimi, R. Moilleron, and G. Chebbo. 2004. Hydrocarbons and heavy metals in the different sewer deposit in the "Le Marrais" catchment (Paris, France): Stocks, distributions and origins. *Sci. Total Environ*, 323: 107-122.
- Razak, H. 1997. Poliaromatik hidrokarbon (PAH) di Perairan Sungai Siak-Riau. *Dalam: Hendarto et al. (ed.) Prosiding: Seminar Nasional Wilayah Pantai. Aspek manajemen dan Dinamika Biogeo fisik. PIK, UNDIP, Semarang. Hlm.: 462-474.*
- Riccardi, C., P. Di Filippo, D. Pomata, M. Basilio, and S. Spicaglia. 2013. Identification of hydrocarbon sources in contaminated soils of three industrial areas. *Sci Total Environ*, 450:13-21.
- Rengarajan, T., P. Rajendran, N. Nandakumar, B. Lokeshkumar, P. Rajendran, Ikuo, and Nishigaki. 2015. Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons with special focus on cancer. *Asian Pacific J. of Tropical Biomedicine*, 5(3):182-189.
- Razak, H. 2001. Kandungan poliaromatik hidrokarbon dalam lumpur di perairan muara dan dan pantai Kalimantan Timur. Buku Pesisir dan Pantai Indonesia. P2O-LIPI Jakarta. 247hlm.
- Simpson, L.S., E.B. Graeme, A.C. Anthony, L.S. Jenny, K.K. Catherine, C.C. John, V.H. Ross, A.G. Sharyn, A.C. Roach, W.A. Maher. 2005. Handbook for sediment quality assessment.

- Centre Environment Contamination Research. Csiro Bangor-NSW. 126p.
- Shafy-Abdel, I.H and M.S.M. Mansour. 2015. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons:Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egypt J. of Petroleum*, 25:107-123.
- Saha, M., A. Togo, K. Mizukawa, M. Murakami, and H. Takada. 2009. Sources of sedimentary PAHs in tropical asian waters: differentiation between pyrogenic and petrogenic sources by alkyl homolog abundance. *Mar Pollut Bull*, 58:189–200.
- Standard Operation Procedure. 2013. Prosedur Instruksi Kerja. Laboratorium Kimia Organik Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI. Jakarta: 17hm.
- Saber, D., D. Mauro, and T. Sirivhedin. 2006. Environmental forensic investigation in sediments near a former manufacture gas plant site. *Environ Forens*, 7:65-75.
- Stogiandinis, E. and I. Remi. 2015. Source characterization of polycyclic aromatic hydrocarbon by using their molecular indice: An overview of possibilities. Springer International Publishing. Switzerland. 108p.
- Short, J.W., G.V. Irvine, D.H. Mann, J.M. Maselko, J.J. Pella, M.R. Lindeberg, J.R. Payne, W.B. Driskell, and S.D. Rice. 2007. Slightly weathered Exxon Valdez oil persists in Gulf of Alaska beach sediments after 16 years. *Environ Sci Technol*, 41:1245–1250.
- Transportation Research Board and National Research Council. 2003. Oil in the sea III: inputs, fates, and effects. The National Academies Press. Washington D.C. 280p.
- Yang, H.H. and C.M. Chen. 2004. Emission inventory and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere at a suburban area in Taiwan. *Chemosphere*. 56(10):879-887.
- Yusuf, A.K., N. Lucy. Ezechukwu, A. Kafayat. Fakoya, L. Shehu, Akintola, I. Julius, Agboola, O. Titus, and Omoleye. 2015. Influence of fish smoking methods on polycyclic aromatic hydrocarbons content and possible risks to human health. *African J. of Food Science*, 9(3):126-135.
- Zakaria, M.P. and A.A. Mahat. 2006. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) in sediments in the Langet Estuary. *Coastal Marine Science*, 30(1):387-395.
- Zakaria MP, Takada H, Tsutsumi S, Ohno K, Yamada J, et al. (2002) Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in rivers and estuaries in Malaysia: a widespread input of petrogenic PAHs. *Environ Sci Technol* 36: 1907–1918.
- Zakaria, M.P., A.A. Mahat. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) in sediments in the Langat Estuary. *Costal Mar. Sci.*, 30:387–395.
- Diterima* : 6 Maret 2017
Direview : 6 April 2017
Disetujui : 2 November 2017