



Kontaminasi Senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) dalam Sedimen di Daerah Aliran Sungai (DAS) Gending, Probolinggo

Contamination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Compounds (PAHs) in Sediment in Gending watershed, Probolinggo

Edward Edward

Pusat Penelitian Oseanografi-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P2O-LIPI). Jln. Pasir Putih I, Ancol Timur, Jakarta. Tel/fax:021-64715038, 021-64711848. E-mail korespondensi: ekewe07@gmail.com

Abstract. *Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are very toxic and persistent environmental contaminants. This study was carried out in Gending watershed Probolinggo in March and September 2014. The propose of this research was to analyze the concentrations and possible sources of 16 PAHs classified by the United State Environmental Protection Agency as priority pollutants. Sediment samples were taken by using a sediment sampler at 6 research stations. The concentration of PAH was determined using Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) and the sources using individual ratio diagnose method. The results showed that the concentration of PAHs in sediment still low and fixed with the safe threshold values for waters organisms. The types of PAH in this waters dominated by low molecule weight PAHs. The results of the PAHs ratio individual analysis showed that the PAHs sources in sediment derived from a variety of sources such as; oil spill, oil combustion, and combustion of organic materials. To anticipate the pollution of PAHs in sediment in Gending watersheds and estuary areas need to make efficiency in using of fossil fuel, reduce oil spill and combustion of oil and organic materials and implementing of laws and sanctions against polluters.*

Keywords : Probolinggo, Gending watersheds, Sediment, PAHs, Contamination.

Abstrak. Senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) adalah kontaminan yang beracun dan persisten di lingkungan. Penelitian ini dilakukan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Gending Probolinggo pada bulan Maret dan September 2014. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kadar dan sumber dari 16 jenis PAH yang telah dinyatakan oleh United States of Environment Protection Agency (USEPA) sebagai polutan utama. Contoh sedimen diambil dengan menggunakan alat pengambil contoh sedimen (Grab sampler) pada 6 stasiun penelitian. Kadar senyawa PAH ditentukan dengan menggunakan Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) dan sumber asal PAH dengan metode diagnosa rasio individu PAH. Hasilnya menunjukkan kadar PAH dalam sedimen di DAS Gending relatif rendah dan masih sesuai dengan nilai ambang batas aman untuk kehidupan organisme perairan. Jenis PAH di perairan ini didominasi oleh PAH dengan berat molekul rendah. Hasil analisis diagnosa rasio individu PAH menunjukkan bahwa PAH dalam sedimen di DAS Gending berasal dari berbagai sumber yakni tumpahan minyak bumi, pembakaran bahan bakar minyak dan bahan organik. Untuk mengantisipasi pencemaran PAH di DAS Gending dan di daerah muara, perlu dilakukan efisiensi penggunaan bahan bakar minyak, mengurangi tumpahan dan pembakaran bahan bakar minyak, serta bahan organik dan menerapkan peraturan perundang-undangan dengan cara pemberian sanksi terhadap pelaku pencemaran.

Kata kunci: Probolinggo, DAS Gending, sedimen, PAH, kontaminasi.

Pendahuluan

Perairan pesisir Probolinggo secara geografis terletak di bagian selatan Selat Madura. Selat ini tersebut memiliki dua celah penghubung yang terletak di ujung timur dan barat. Celah yang besar menghadap ke timur dengan lebar sekitar 60 km dan menghubungkan selat tersebut dengan Laut Bali. Celah yang lebih kecil berada di ujung barat dengan lebar sekitar 3 km, membelok ke utara dan menghubungkannya dengan Laut Jawa. Berdasarkan konfigurasinya, selat ini dapat disebut sebagai laut setengah tertutup (*semi-enclosed sea*) (Maharani *et al.*, 2014). Daratan pesisir Probolinggo adalah daratan pesisir yang landai, merupakan kelanjutan dari kawasan gunung di sebelah selatannya, yaitu kompleks Gunung



Bromo, Lamongan, dan Argopuro. Terdapat beberapa sungai besar yang berhulu di kawasan gunung api dan bermuara di perairan pesisir Probolinggo.

Dengan kondisi perairan yang demikian, wilayah perairan pesisir Probolinggo menjadi salah satu perairan yang menarik untuk diteliti. Salah satu dari sungai tersebut adalah Sungai Gending. Sungai ini menampung berbagai macam limbah yang berasal dari aktivitas manusia seperti aktivitas permukiman, perkotaan, industri di Kota Probolinggo.

Limbah yang masuk ke Sungai Gending dan membawanya ke perairan laut dapat menimbulkan pencemaran terhadap perairan laut khususnya sedimen, yang pada gilirannya akan berpengaruh pula terhadap kehidupan organisme laut. Limbah mengandung banyak bahan kimia yang bersifat racun salah satunya adalah senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH). Senyawa ini merupakan senyawa organik yang keberadaannya tersebar luas di alam, dan merupakan kelompok penting dari polutan organik yang sifatnya persisten (Liu *et al.*, 2009), banyak dijumpai di udara, air, tanah, dan sedimen (Lee dan Dong, 2010; Fernandez *et al.*, 2011). Bila masuk ke lingkungan perairan, senyawa PAH dengan mudah terikat pada partikel-partikel dan mengendap pada sedimen karena sifat hidrofobiknya yang tinggi dan tingkat degradasinya yang rendah (Barakat *et al.*, 2011). Senyawa PAH mendapat perhatian yang serius karena bersifat mutagenik dan karsinogenik pada manusia (Wang *et al.*, 2011; Vu *et al.*, 2011). Karena sifatnya yang mudah menyebar dan berpotensi menjadi racun, banyak studi difokuskan pada sumber dari senyawa PAH ini sebelum melakukan pengukuran dan pengontrolan. Berbagai metode kualitatif dan kuantitatif yang berbeda telah dipakai untuk menganalisis sumber asal PAH (Tobiszewski dan Namiesnik, 2012; Lima *et al.*, 2005). Salah satunya adalah metode analisis *diagnostic ratio* yang banyak dipakai untuk menganalisis sumber asal PAH secara kualitatif dalam sedimen, air, dan tanah yang terkontaminasi (Barhoumi *et al.*, 2014; Lv *et al.*, 2014).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kadar dan sumber senyawa PAH dalam sedimen di DAS dan muara Sungai Gending, Probolinggo dalam kaitannya dengan kehidupan biota laut yang hidup di perairan muara atau laut sehingga dampak negatif yang mungkin muncul dapat diantisipasi sedini mungkin. Hasilnya diharapkan dapat memberikan informasi dan masukan kepada pihak yang berkepentingan dalam rangka pengelolaan perairan muara Sungai Gending secara berkesinambungan.

Bahan dan Metode

Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret dan September 2014 di DAS Gending Probolinggo (Gambar 1). Kedua bulan tersebut dianggap mewakili musim hujan dan musim panas. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah ada perbedaan kadar PAH diantara kedua musim tersebut. Penetapan posisi stasiun dilakukan dengan menggunakan GPS (*Geographic Position System*), secara purposif sesuai dengan tujuan penelitian.

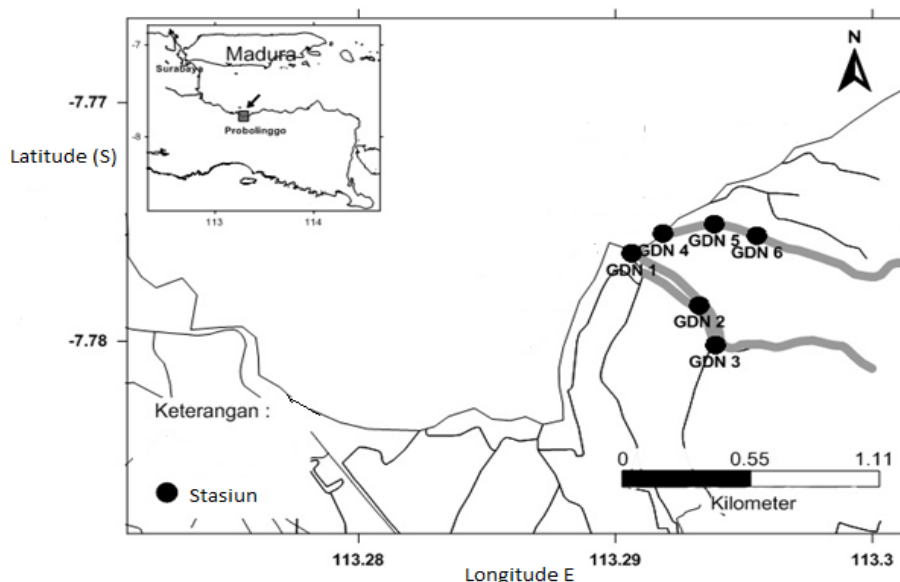
Pengambilan sampel

Contoh sedimen di ambil dengan menggunakan grab sedimen pada enam stasiun penelitian. Stasiun GDN 1 dan 4 berada di muara, sedang Stasiun 2, 3, 5, dan 6 berada di daerah aliran Sungai Gending yang merupakan lokasi permukiman, perkebunan/persawahan dan wisata. Contoh dimasukkan ke dalam botol berwarna gelap dan disimpan dalam *ice box*.

Analisis sampel

Analisis contoh mengacu kepada Standard Operation Procedures (SOP, 2015) Laboratorium Kimia Organik P2O-LIPI Jakarta. Contoh sedimen ditimbang sebanyak ± 40 gram dan dipanaskan dalam oven selama 24 jam pada suhu 50° C di laboratorium. Contoh sedimen yang sudah dipanaskan dalam oven tersebut kemudian dihaluskan dalam mortar setelah ditambahkan Na₂SO₄, dan diekstraksi dengan diklorometan (DCM) dalam soxhlet selama 4-8 jam. Hasil ekstraksi diuapkan/dipekatkan dengan rotarivapor sampai volume 1 ml.

Selanjutnya dilakukan *clean up* dengan cara menyiapkan kolom kromatografi yang telah diisi dengan glasswool dan bubuk alumina SIGMA WB 5 Basic (sebelumnya telah diekstraksi dengan DCM selama 8 jam). Kolom alumina dibersihkan lebih dahulu dengan DCM dan n-Heksan masing-masing sebanyak 10 ml. Hasil pemekatan sebanyak 1 ml *diclean up* dengan cara memasukkannya ke dalam kolom alumina dan dialirkan larutan 4% dietil eter dalam n-heksan sebanyak 14 ml, ditampung, dan dipekatkan kembali sampai volume 1 ml dengan rotarivapor. Sebanyak 1 ml hasil *clean up* difraksinasi dengan menggunakan kolom kromatografi yang telah diisi dengan bubuk Silika MERCK 7754. Fraksi non polar (F1) didapat dengan mengalirkan n-heksana sebanyak 15 ml, dan ditampung hasilnya sebanyak 9,5 ml. Selanjutnya alirkan lagi 15 ml larutan 4% dietil eter dalam n-heksana, di tampung hasilnya sebagai fraksi polar (F2). Pemekatan masing-masing fraksi dilakukan dengan cara menguapkannya di atas water bath pada suhu 60⁰ C sampai volume 0,5-1,0 ml. Masukkan masing-masing fraksi ke dalam vial. Fraksi polar (F2) digunakan untuk analisa PAH. Kadar PAH diukur dengan Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) Thermo Scientific. Standar PAH yang digunakan adalah QTM PAH MIX, standar ini mencakup semua jenis PAH (16 jenis) yang diproduksi oleh SUPELCO-USA. Hasil pengukuran untuk PAH dalam mg/kg (ppm).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di Muara Sungai Gending (GDN)

Analisis data

Data dianalisis secara deskriptif analitis yakni membandingkan data dengan hasil penelitian lain dan dengan kriteria baku mutu sedimen untuk PAH yang ditetapkan oleh *Canadian Council of Ministers Environment* (CCME, 2010), *National Oceanography and Atmospheric Administration* (NOAA) (Butchman, 1999), *Sediment quality criteria in use around the world* (Burton *et al.*, 2002), *Handbook for Sediment Quality Assessment* (Simpson *et al.*, 2005).

Sumber asal PAH ditelusuri dengan menggunakan metode diagnose rasio (Yunker *et al.* 2002) (Tabel 1). Metode diagnosa rasio dilakukan karena adanya perbedaan stabilitas termodinamika setiap senyawa PAH (Dominguez *et al.*, 2010). Ada beberapa rasio senyawa PAH yang digunakan yaitu: rasio Phenanthrene/Anthracene (D-1), Fluoranthene/Pyrene (D-2), Indeno(123-cd)Pyrene/(Indeno(123-cd)Pyrene+Benzo(ghi)Perylene)(D-3), Fluoranthene/(Fluoranthene+Pyrene)(D-4). Benzo(a)Pyrene/(Benzo(a)Pyrene+Chrysene)(D-5), Anthracene/(Anthracene + Phenanthrene)(D-6), Anthracene/178(D-7) dan Benzo(a) Anthracene/228 (D-8).

Tabel 1. Metode diagnosa rasio individu PAH (Yunker *et al.*, 2002)

Sumber Pencemar	Nilai Rasio							
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Minyak	>10	<1	<0,2	<0,4	0,6-0,9	<0,1	<0,1	<0,2
Pembakaran minyak	-	-	0,2-0,5	0,4-0,5	-	>0,1	-	-
Pembakaran bahan organik	<10	>1	>0,5	>0,5	<0,2	0,1	>0,1	>0,35
Campuran minyak dan pembakaran bahan organik					0,4-0,6	0,1	-	0,2-0,35

Hasil

Hasil pengukuran kadar senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) dalam sedimen pada bulan Maret dan September 2014 disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3 yang menunjukkan bahwa pada bulan Maret PAH dengan berat molekul rendah didominasi oleh Naphthalene dan 2-BrNaphthalene (Stasiun GDN 1 – GDN6), selanjutnya diikuti oleh Acenaphthene (Stasiun GDN 1, 2, 3, 5 dan 6) dan Phenanthrene (Stasiun GDN 2, 3 dan 5), sedang Acenaphthylene, Fluorene dan Anthracene tidak dijumpai di semua stasiun.

PAH dengan berat molekul tinggi didominasi oleh B(a)Anthracene (Stasiun GDN 1-GDN 6), selanjutnya diikuti oleh Fluoranthene dan Chrysene (Stasiun GDN 1- GDN 5), Pyrene (Stasiun GDN 2- GDN 6) dan Benzo (ghi) Pyrene (Stasiun GDN 1), sedang B(b) Fluoranthene, Benzo(a)Pyrene, Indeno (123-cd)Pyrene, Dibenzo(ah)Anthracene, dan Benzo(ghi)Pyrene tidak dijumpai di semua stasiun.

Tabel 2. Kadar total PAH (ppm) dalam sedimen di DAS Gending, Maret 2014

No	PAH	GDN1	GDN2	GDN3	GDN4	GDN5	GDN6
Berat Molekul Rendah (BMR)							
1.	Naphthalene	0,083	0,087	0,093	0,001	0,098	0,081
2.	Acenaphthylene	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
3.	2-BrNaphthalene	0,016	0,027	0,031	0,005	0,027	0,021
4.	Acenaphthene	0,001	0,003	0,002	ttd	0,002	0,002
5.	Fluorene	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
6.	Phenanthrene	ttd	0,006	0,002	ttd	0,003	ttd
7.	Anthracene	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
	Total Kadar BMR	0,100	0,123	0,128	0,006	0,130	0,104
	Jumlah Jenis	3	4	4	2	4	3
Berat Molekul Tinggi (BMT)							
8.	Fluoranthene	0,002	0,007	0,005	0,003	0,009	ttd
9.	Pyrene*	ttd	0,007	0,005	0,001	0,008	0,001
10.	B(a)Anthracene*	0,002	0,006	0,004	0,002	0,011	0,001
11.	Chrysene*	0,002	0,007	0,005	0,002	0,011	ttd
12.	B(b)Fluoranthene*	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
13.	Benzo(a)Pyrene*	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
14.	Indeno(123-cd)Pyrene*	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
15.	Dibenzo(ah)Anthracene*	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
16.	Benzo(ghi)Pyrene	0,002	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
	Total Kadar BMT	0,008	0,027	0,019	0,008	0,039	0,002
	Jumlah Jenis	4	4	4	4	4	2
	Total Kadar BMR+BMT	0,108	0,150	0,147	0,014	0,169	0,106
	Total Kadar PAH (GDN 1-6)	0,694					
	Total Jumlah Jenis	7	8	8	6	8	5
	Kadar BMR/BMT	12,500	4,555	6,736	0,750	3,333	52,000

* PAH Karsinogenik, GDN (Gending)



Hasil pengukuran kadar senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) pada bulan Maret dalam sedimen disajikan pada Tabel 2. Hasil penelitian menunjukkan kadar total PAH dengan Berat Molekul Rendah (BMR) berkisar 0,006-0,130 ppm. Pada bulan September PAH dengan berat molekul rendah didominasi oleh Naphthalene, 2- BrNaphthalene, Acenaphthene, Fluorene, dan Phenanthrene (Stasiun GDN 1, 2, 3, 4, dan 6), selanjutnya diikuti oleh Anthracene (Stasiun GDN 1 – GDN 3, dan GDN 6), dan Acynaphthylene (Stasiun GDN 1 – GDN 3). PAH dengan berat molekul tinggi didominasi oleh Fluoranthene, Pyrene, B(a)Anthracene, dan Chrysene (Stasiun GDN 1 – GDN 4 dan GDN 6), sedang B(b) Fluoranthene, Benzo(a)Pyrene, Indeno (123-cd)Pyrene, Dibenzo(ah)Anthracene, dan Benzo(ghi)Pyrene tidak dijumpai di semua stasiun. Hasil pengukuran kadar PAH dalam sedimen pada bulan September disajikan pada Tabel 3. Dari tabel tersebut dapat dilihat, kadar total PAH (BMR) berkisar dari tidak terdeteksi sampai dengan 0,412 ppm.

Tabel 3. Kadar total PAH (ppm) di DAS Gending, September 2014

No.	PAH	GDN 1	GDN 2	GDN 3	GDN 4	GDN 5	GDN 6
Berat Molekul Rendah (BMR)							
1.	Naphthalene	0,126	0,233	0,342	0,133	ttd	0,065
2.	Acenaphthylene	0,014	0,003	0,003	ttd	ttd	ttd
3.	2-BrNaphthalene	0,039	0,040	0,039	0,048	ttd	0,018
4.	Acenaphthene	0,019	0,004	0,003	0,004	ttd	0,001
5.	Fluorene	0,017	0,006	0,004	0,003	ttd	0,001
6.	Phenanthrene	0,020	0,009	0,016	0,007	ttd	0,007
7.	Anthracene	0,015	0,003	0,005	ttd	ttd	0,003
	Total Kadar BMR	0,384	0,298	0,412	0,195	ttd	0,095
	Jumlah Jenis	7	7	7	6	0	6
Berat Molekul Tinggi (BMT)							
8.	Fluoranthene	0,021	0,009	0,011	0,007	ttd	0,014
9.	Pyrene*	0,022	0,009	0,013	0,009	ttd	0,015
10.	B(a)Anthracene*	0,020	0,008	0,010	0,004	ttd	0,016
11.	Chrysene*	0,023	0,009	0,010	0,003	ttd	0,019
12.	B(b)Fluoranthene*	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
13.	Benzo(a)Pyrene*	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
14.	Indeno(123-cd)Pyrene*	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
15.	Dibenzo(ah)Anthracene*	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
16.	Benzo(ghi)Pyrene	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
	Total Kadar BMT	0,086	0,035	0,044	0,023	ttd	0,064
	Jmh Jenis	4	4	4	4	ttd	4
	Total Kadar BMR+BMT	0,470	0,333	0,456	0,218	ttd	0,159
	Total Kadar PAH (GDN 1-6)	1,636					
	Total Jumlah Jenis	11	11	11	10	ttd	10
	Total Kadar BMR/BMT	4,465	8,514	9,363	8,478	ttd	1,484

* (PAH Karsinogenik), GDN (Gending). ttd (tidak terdeteksi)

Pembahasan

Kadar tertinggi dijumpai di Stasiun GDN5 dan terendah pada GDN4. Data ini menunjukkan bahwa sedimen di Stasiun GDN5 lebih banyak mengakumulasi senyawa PAH (BMR) dibandingkan dengan stasiun lain. Tingginya kadar total PAH di Stasiun 5 ini, diduga ada kaitannya dengan tekstur sedimen. Hasil pengamatan sedimen secara visual di Stasiun 5 menunjukkan bahwa Stasiun 5 banyak mengandung lumpur dibandingkan dengan stasiun lain. Lumpur biasanya mengandung bahan organik yang tinggi. Sedimen yang berupa lumpur dengan kandungan bahan organik yang tinggi akan menyerap PAH lebih banyak dibandingkan dengan sedimen dengan tekstur pasir. Culotta *et al.*, (2006) dalam penelitiannya di Stagnone Coastal Lagon (Italy) melaporkan adanya korelasi positif antara akumulasi total PAH pada sedimen dengan konsentrasi bahan organik, dimana semakin tinggi kandungan bahan organik semakin tinggi pula kandungan PAH. With (1995) menyatakan sedimen dengan kandungan bahan organik yang tinggi, mempunyai kandungan PAH yang tinggi pula. Ahmad (2012) juga

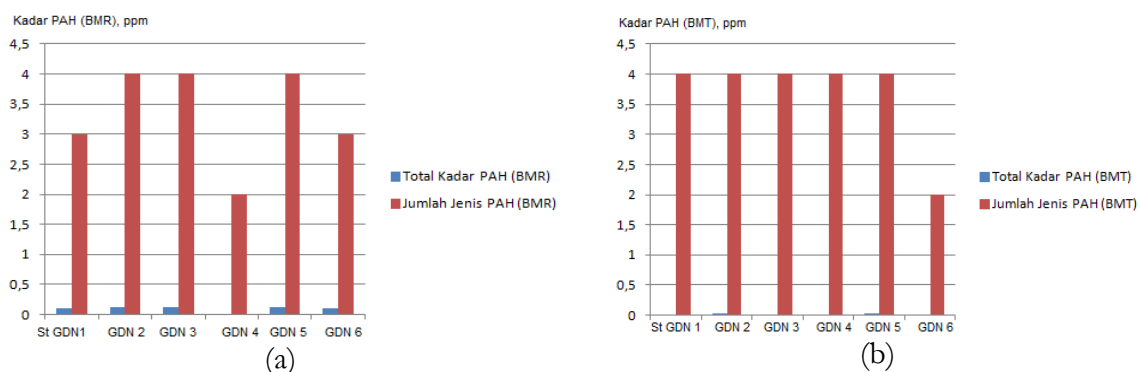


melaporkan tingginya kadar PAH dalam sedimen di Teluk Jakarta, ada kaitannya dengan tingginya kadar bahan organik. Jumlah jenis PAH terbanyak dijumpai di Stasiun GDN 2, 3, dan 5 yakni masing-masing 4 jenis, selanjutnya diikuti oleh Stasiun 1 dan 6 masing-masing 3 jenis dan Stasiun 4 sebanyak 2 jenis.

Dari Tabel 2 juga dapat dilihat kadar PAH dengan Berat Molekul Tinggi (BMT) berkisar 0,002-0,039 ppm. Kadar tertinggi dijumpai di Stasiun GDN5 dan terendah GDN6. Data ini menunjukkan bahwa sedimen di Stasiun GDN 5 lebih banyak mengakumulasi senyawa PAH (BMT) dibandingkan dengan stasiun lain. Sama halnya dengan PAH (BMR), seperti yang telah dijelaskan di atas tingginya kadar total PAH di Stasiun 5 ini diduga akibat perbedaan tekstur sedimen. Jumlah jenis PAH sama di semua stasiun yakni 4 jenis, kecuali Stasiun GDN 6 hanya 2 jenis. Selain itu, adanya perbedaan kadar PAH di setiap stasiun dapat pula disebabkan oleh arus. Arah dan kecepatan arus yang selalu berubah-ubah dapat menyebabkan pola penyebaran PAH tidak merata (Agustine, 2008). Kecepatan arus yang tinggi pada musim hujan (Maret) dapat menyebabkan sedimen yang ada di dasar sungai terbawa hanyut ke muara dan menyebar. Senyawa B(b) Fluoranthene, B(a)P, Indeno (123-cd) Pyrene, Dibenzo(ah) Anthracene tidak dijumpai di semua stasiun, sedang Benzo (g,h,i) Pyrene hanya dijumpai di Stasiun 1, dan di lima stasiun lainnya tidak ditemukan. Senyawa-senyawa tersebut merupakan senyawa PAH yang bersifat karsinogen (penyebab kanker).

Kadar total PAH (BMR+ BMT) berkisar 0,014-0,169 ppm. Kadar ini masih lebih rendah bila dibandingkan dengan Teluk Jakarta, kadar total PAH (BMR+ BMT) di Teluk Jakarta pada bulan Maret 2011 dan 2013 masing-masing berkisar 67,92-252,25 ppm dan 119,976-605,928 ppm (Edward, 2011, 2013) dan di Perairan Pakis Jaya Karawang berkisar 0,113-0,862 ppm (Edward, 2015). Data ini menunjukkan bahwa sedimen di DAS Gending relatif lebih bersih dari cemaran PAH dibandingkan dengan Teluk Jakarta dan Perairan Pakis Jaya Karawang. Kadar total PAH dalam sedimen di Sungai Gending dan muaranya masih lebih rendah bila dibandingkan dengan nilai ambang batas yang aman untuk biota laut yakni 45 ppm (Simpson *et al.*, 2005) dan 1,684 ppm (Burton *et al.*, 2002). Dengan demikian kadar PAH yang terdapat dalam sedimen di Sungai Gending dan muaranya belum berbahaya bagi kehidupan biota laut.

Rasio kadar PAH berat molekul rendah dengan PAH berat molekul tinggi di semua stasiun berturut-turut adalah 12,5, 4,555, 6,736, 0,750, 3,333 dan 52,000. Rasio ini >1 , yang berarti PAH dalam sedimen di Stasiun GDN1, 2, 3, 5 dan 6 berasal dari sumber petrogenik, kecuali Stasiun GDN 4, nilai rasionya <1 , yang berarti PAH dalam sedimen berasal dari sumber pyrogenik (Rocher *et al.*, 2004). Dengan demikian sumber PAH pada sedimen bulan Maret diprediksi berasal dari dua sumber yakni petrogenik dan pyrogenik. Data di atas juga menunjukkan kadar PAH yang tinggi dalam sedimen tidak selalu diikuti oleh jumlah jenis yang banyak pula (Gambar 4).



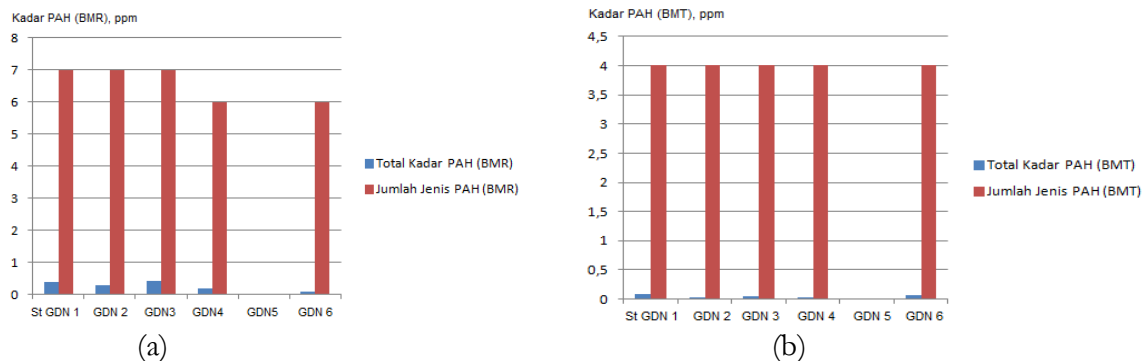
Gambar 4. Grafik kadar dan jumlah jenis PAH BMR (a) dan PAH BMT (b) pada bulan Maret 2014

Kadar PAH (BMR) tertinggi dijumpai di Stasiun GDN3 dan terendah di Stasiun GDN5. Jumlah jenis PAH tertinggi dijumpai di Stasiun GDN1, GDN2 dan GDN3 yakni masing-masing 7 jenis, selanjutnya diikuti oleh Stasiun GDN4 dan GDN6 masing-masing 6 jenis, sedang di Stasiun GDN5 tidak dijumpai satu jenis pun (Gambar 5).

Kadar PAH dengan Berat Molekul Tinggi (BMT) berkisar ttd-0,086 ppm. Kadar tertinggi dijumpai di Stasiun GDN1 dan terendah GDN5. Data ini menunjukkan Stasiun GDN1 lebih banyak mengakumulasi PAH (BMT) dibandingkan dengan stasiun lain. Jumlah jenis PAH sama di semua stasiun yakni 4 jenis, kecuali Stasiun GDN 5 tidak dijumpai satu jenis pun. Senyawa B(b)Fluoranthene, B(a)P, Indeno (123-cd) Pyrene, Dibenzo (ah) Anthracene dan Benzo (g,h,i) Pyrene tidak dijumpai di semua stasiun (Gambar 5).

Tingginya kadar total PAH baik PAH BMR maupun BMT, seperti halnya pada bulan Maret, ada kaitannya dengan tekstur sedimen. Hasil pengamatan tekstur sedimen secara visual pada bulan September menunjukkan Stasiun 3 mengandung lebih banyak lumpur dibandingkan stasiun lain.

Kadar total PAH (BMR+BMT) berkisar ttd-0,470 ppm. Kadar ini juga masih lebih rendah bila dibandingkan dengan Teluk Jakarta, kadar Total PAH (BMR+BMT) di Teluk Jakarta pada bulan Maret 2011 dan 2013 masing-masing berkisar 67,92-252,25 ppm dan 119,976-605,928 ppm (Edward, 2011, 2013) dan Perairan Pakis Jaya Karawang yang kadar total PAHnya berkisar 0,113-0,862 ppm (Edward, 2015). Data ini menunjukkan bahwa sedimen di sungai Gending dan di muaranya pada bulan September relatif lebih bersih dari cemaran PAH dibandingkan dengan Teluk Jakarta dan Perairan Pakis Jaya Karawang. Kadar total PAH dalam sedimen di sungai Gending dan muaranya masih lebih rendah bila dibandingkan dengan nilai ambang batas yang aman untuk biota laut yakni 45 ppm (Simpson *et al.*, 2005) dan 1,684 ppm (Burton *et al.*, 2002).



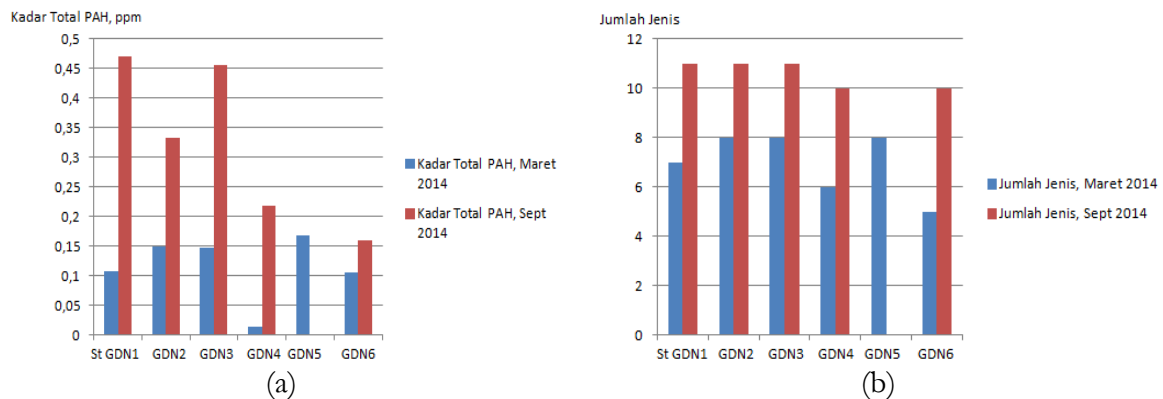
Gambar 5. Grafik kadar dan jumlah jenis PAH BMR (a) dan PAH BMT (b) pada bulan September 2014

Rasio kadar PAH berat molekul rendah dengan PAH berat molekul tinggi di Stasiun GDN1, GDN2, GDN3, GDN4 dan GDN5 berturut-turut adalah 4,465, 8,514, 9,363, 8,478 dan 1,484. Rasio ini >1, yang berarti PAH dalam sedimen berasal dari sumber petrogenik, sedang di Stasiun 5 <1 yang berarti PAH di Stasiun 5 berasal dari sumber pyrogenik (Rocher *et al.*, 2004). Data di atas juga menunjukkan kadar PAH yang tinggi dalam sedimen tidak selalu diikuti oleh jumlah jenis yang banyak pula.

Kadar total PAH dan jumlah jenis total PAH pada bulan Maret lebih rendah dibandingkan dengan bulan September (Gambar 6). Bulan Maret merupakan musim hujan, sehingga diperkirakan akan banyak membawa limbah yang mengandung PAH ke perairan Sungai Gending, namun hal ini tidak terjadi. Data ini menunjukkan bahwa musim hujan tidak selalu membawa banyak limbah yang mengandung PAH ke perairan Sungai Gending.



Nasher *et al.*, (2013) membagi tingkat pencemaran sedimen oleh senyawa PAH ke dalam tiga kategori (Tabel 4). Dari tabel tersebut dapat dilihat kadar senyawa PAH pada bulan Maret dan September 2014 masing-masing berkisar 0,014-0,169 ppm dan 0,000-0,470 ppm. Kadar senyawa PAH pada kedua bulan tersebut berada pada rentang 0,100-1,000 ppm, ini menunjukkan bahwa sedimen di DAS Gending ini termasuk kategori tercemar rendah dan sedang oleh senyawa PAH.



Gambar 6. Grafik perbandingan kadar total PAH (a) dan jumlah jenis PAH (b)

Tabel 4. Kriteria tingkat pencemaran senyawa PAH dalam Sedimen

No	Kadar, ppm	Kriteria	Penelitian ini
1	0-0,100	Rendah	0,014-0,169 (Maret 2014)
2	0,100-1,000	Sedang	0,000-0,470 (Sept 2014)
3	1,000-5,000	Tinggi	
4	>5,000	Sangat tinggi	

Asal usul senyawa PAH di suatu perairan dapat berasal dari berbagai sumber, antara lain sumber alami (perembesan minyak, asap kebakaran hutan, dan letusan gunung berapi) ataupun sumber antropogenik (industri, transportasi dan rumah tangga) (Zakaria dan Mahat, 2006). Senyawa PAH dengan bobot molekul besar (PAH>3 cincin benzene) umumnya berasal dari pembakaran tidak sempurna (pirogenik) dari bahan organik, sedang senyawa PAH dengan bobot molekul kecil (PAH dengan 2-3 cincin benzene) dominan dijumpai dalam produk petroleum (petrogenik) (Apeti *et al.*, 2010). Penelusuran sumber asal senyawa PAH dalam air laut dapat dilakukan dengan metode diagnosa rasio. Metode ini dilakukan karena adanya perbedaan stabilitas termodinamika setiap senyawa PAH (Dominguez *et al.*, 2010). Kadar dan jenis senyawa PAH sangat tergantung dari sumber asal senyawa PAH tersebut (Ahmad, 2005). Hasil diagnosis rasio kandungan individu senyawa PAH dalam sedimen di DAS Gending pada bulan Maret disajikan pada Tabel 5 yang memperlihatkan nilai D2 berkisar ttd-1,125 dengan rerata 1,020, nilai ini >1, yang berarti PAH juga berasal dari pembakaran senyawa organik. Nilai D4 berkisar ttd-0,5 dengan rerata 0,486, nilai ini berada pada rentangan 0,4-0,5, yang berarti PAH berasal dari pembakaran bahan bakar minyak. Nilai D6 berkisar ttd-0,384 dengan rerata 0,195, nilai ini > 0,1 yang berarti PAH berasal dari pembakaran bahan bakar minyak. Berdasarkan nilai-nilai di atas terlihat bahwa PAH pada bulan Maret 2014 berasal dari berbagai sumber.

Hasil diagnosis rasio kandungan individu senyawa PAH dalam sedimen di DAS Gending pada bulan September disajikan pada Tabel 6. Dari tabel tersebut dapat dilihat nilai D1 berkisar ttd-3,2 dengan rerata 1,644, nilai ini <10, yang berarti senyawa PAH berasal



dari pembakaran senyawa organik. Nilai D2 berkisar ttd-1,0 dengan rerata 0,750, nilai ini >0,1 yang berarti senyawa PAH berasal dari pembakaran senyawa organik. Nilai D4 berkisar ttd-0,50 dengan rerata 0,394, nilai ini <0,4 yang berarti PAH berasal dari minyak bumi. Nilai D6 berkisar ttd-0,428 dengan rerata 0,202, nilai ini >0,1, yang berarti senyawa PAH berasal dari pembakaran senyawa organik. Hasil analisis rasio konsentrasi individu PAH pada bulan September 2014 di atas menunjukkan bahwa PAH yang terdapat dalam sedimen di DAS Gending ini juga berasal dari berbagai sumber, keadaan yang serupa juga terlihat pada bulan Maret 2014.

Tabel 5. Diagnosis rasio kadar individu PAH dalam sedimen di Sungai Gending, Probolinggo (Maret 2014)

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
St	Phe/Ant	Fluo/Pyr	In(123-cd)P/In(123-cd)P+B(ghi)P	Fluo/Fluo+Pyr	B(a)P/(B(a)P+Chr)	Ant/(Ant+Phe)	Ant/178	B(a)A/228
1	ttd	ttd	ttd	1	ttd	0,383	ttd	ttd
2	ttd	1	ttd	0,5	ttd	0,250	ttd	ttd
3	ttd	1	ttd	0,5	ttd	0,238	ttd	ttd
4	ttd	3	ttd	0,437	ttd	ttd	ttd	ttd
5	ttd	1,125	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
6	ttd	ttd	ttd	0,482	ttd	0,3	ttd	ttd
Min	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
Mak	ttd	1,125	ttd	0,5	ttd	0,384	ttd	ttd
Rerata	ttd	1,020	ttd	0,486	ttd	0,195	ttd	ttd
SD	ttd	1,096	ttd	0,317	ttd	0,159	ttd	ttd
Kriteria	<10	>1	<0,2	0,4-0,5	<0,2	>0,1	<0,1	<0,2

ttd: tidak terdeteksi

Tabel 6. Diagnosis rasio kadar individu PAH dalam sedimen di Sungai Gending, Probolinggo (Sept 2014)

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
St	Phe/Ant	Fluo/Pyr	In(123-cd)P/In(123-cd)P+B(ghi)P	Fluo/Fluo+Pyr	B(a)P/(B(a)P+Chr)	Ant/(Ant+Phe)	Ant/178	B(a)A/228
1	1,333	0,945	ttd	0,488	ttd	0,428	ttd	ttd
2	3,000	1,000	ttd	0,500	ttd	0,250	ttd	ttd
3	3,20	0,846	ttd	0,458	ttd	0,238	ttd	ttd
4	ttd	0,777	ttd	0,437	ttd	ttd	ttd	ttd
5	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
6	2,333	0,933	ttd	0,482	ttd	0,300	ttd	ttd
Min	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
Mak	3,200	1	ttd	0,5	ttd	0,428	ttd	ttd
Rerata	1,644	0,750	ttd	0,394	ttd	0,202	ttd	ttd
SD	1,430	0,375	ttd	0,194	ttd	0,170	ttd	ttd
Kriteria	<10	<1	<0,2	<0,4	<0,2	>0,1	<0,1	<0,2

ttd: tidak terdeteksi

Efek terhadap organisme selalu menjadi bahan pertimbangan sebagai indikator peringatan dini dari dampak yang potensi terhadap kesehatan manusia. Namun sayangnya di Indonesia sampai saat ini belum ada baku mutu untuk PAH dalam sedimen. Oleh karena itu efek toksikologi dari polutan dalam penelitian ini secara kasar dievaluasi dengan menggunakan petunjuk yang dibuat oleh *National Oceanography and Atmospheric Administration* (NOAA) dan *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME) (Bhupander *et al.*, 2012). Dari Tabel 7 di atas dapat dilihat kadar senyawa PAH dengan berat molekul rendah dan berat molekul tinggi



lebih rendah dibandingkan dengan kriteria yang ditetapkan oleh NOAA dan CCME, dengan demikian diperkirakan belum menimbulkan efek yang berbahaya bagi kehidupan biota laut. Secara keseluruhan kadar total PAH dalam sedimen di DAS Gending ini relatif masih rendah, namun demikian pencegahan terhadap pencemaran PAH harus tetap dilakukan, antara lain dengan efisiensi penggunaan bahan bakar minyak, pembakaran minyak dan bahan-organik (tumbuhan, batubara dan sebagainya), pembuangan limbah yang mengandung minyak bumi, dan meningkatkan penggunaan instalasi pengolahan limbah.

Tabel 7. Kriteria individual senyawa PAH dalam sedimen/lumpur (ppm)

No	PAH	Kriteria			
		NOAA*	CCME*	Penelitian ini	
				Maret	September
1	Naphthalene (Npt)	5	0.6-22	0,001-098	ttd-0,342
2	Acenaphthylene (Any)	-	-	ttd-ttd	ttd-0,014
3	Acenaphthene (ANe)	-	-	0,005-0,003	ttd-0,048
4	Fluorene (Fle)	-	-	ttd-0,003	ttd-0,019
5	Phenanthrene (Phe)	5	5-50	ttd	ttd-0,017
6	Anthracene (Ant)	-	-	ttd-0,006	ttd-0,020
7	Fluoranthene (Flt)	-	-	ttd	ttd-0,021
8	Pyrene (Pyr)	10	10-100	ttd-0,009	ttd-0,022
9	B(a)Anthracene (BaA)**	1	-	ttd-0,008	ttd-0,020
10	Chrysene (Chr)**	-	1-10	ttd-0,011	ttd-0,023
11	B(b)Fluoranthene (BbF)**	1	1-10	ttd-0,011	ttd
12	Benzo(a)Pyrene (BaP)**	1	0.7	ttd	ttd
13	Indeno(123-cd)Pyrene (Ipy)**	1	1-10	ttd	ttd
14	Dibenzo(ah)Anthracene (DBA)**	1	1-10	ttd	ttd
15	Benzo(ghi)Pyrene (Bpe)	-	-	ttd	ttd

*Bhupander et al., 2012, ** PAH Karsinogenik, ttd: tidak terdeteksi

Kesimpulan

Berdasarkan data yang dikaji dapat disimpulkan bahwa sedimen di DAS Gending, Probolinggo belum tercemar oleh senyawa PAH. Jenis PAH dalam sedimen di DAS Gending ini didominasi oleh senyawa PAH dengan berat molekul rendah. PAH yang terdapat dalam sedimen di DAS Gending berasal dari berbagai sumber yakni tumpahan minyak bumi, pembakaran minyak bumi, dan pembakaran senyawa organik. Kadar PAH pada bulan Maret lebih rendah dibandingkan bulan September.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Koordinator Penelitian Ikan Medaka, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk ikut dalam penelitian ikan medaka di DAS Gending Probolinggo.

Daftar Pustaka

- Apeti, D.A., G.G. Lauenstein, J.D. Christensen, K. Kimbrough, W.E. Johnson, M. Kennedy, K.G. Grant. 2010. A historical assessment of coastal contamination in Birch Harbor. Maine based on the analysis of mussels collected in the 1940s and the Mussel Watch Program. *Marine Pollution Bulletin*, 60(5): 732–742.
- Agustine, D. 2008. Akumulasi hidrokarbon polisiklik (PAH) dalam kerang hijau (*Verna Viridis* L) di Perairan Kamal Muara, Teluk Jakarta. Skripsi, FPIK Institut Pertanian Bogor, Bogor.



- Burton, G.A. 2002. Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology*, (3): 65–75.
- Bhupander, K., G.Gargi, G. Richa, P. Dev, K. Sanjay, S.C. Shekhar. 2012. Distribution, composition profiles and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons in roadside soil of Delhi, India. *Journal of Environment and Earth Science*, 2(1); 10-22.
- Barhoumi, B., K. LeMenach, M.H. Devier, B.A. Walid, E. Henry, H. Budzinski, J. Cachot, R.D. Mohamed. 2014. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments from the Bizerte Lagoon, Tunisia: levels, sources, and toxicological significance. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186 (5): 2653–2669.
- Barakat, O.A., A. Mostafa, T.L. Wade, S.T. Sweet, N.B. El Sayed. 2011. Distribution and characteristics of PAHs in sediments from the Mediterranean coastal environment of Egypt. *Marine Pollution Bulletin*, 62(9): 1969–1978.
- Edward. 2011. Kaji mutu senyawa organik. laporan penelitian. Pusat Penelitian Oseanografi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta.
- Edward. 2013. Kajian kriteria kualitas air laut melalui monitoring tingkat pencemaran dan bioassay senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) di Teluk Jakarta. Laporan Akhir Penelitian Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, Jakarta.
- Edward. 2015. Kandungan dan sumber asal senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon (pah) dalam sedimen di Perairan Pakis Jaya, Kabupaten Karawang. *Jurnal Akuatika*, 6(2): 95-106.
- Fernández, F.L., C. Valenzuela-Encinas, R. Marsch, C. M. Suárez, E.V.Nunez L. Dendooven. 2011. Microbial communities to mitigate contamination of PAHs in soil possibilities and challenges: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 18(1): 12–30.
- Lima, A.C., J.W. Farrington, C.M. Reddy. 2005. Combustion derived polycyclic aromatic hydrocarbons in the environment- a review. *Environmental Forensics*, 6(2): 109-131.
- Liu, Ying, L. Chen, Q.Huang, W. Li, Y. Tang, J. Zhao. 2009. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of the Huangpu River, Shanghai, China. *Science of The Total Environment*, 407(8): 2931-2938.
- Lee, K.B., T.T.T. Dong. 2010. Effects of road characteristics on distribution and toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban road dust of Ulsan, Korea. *Journal of Hazardous Materials*, 175(1–3): 540–550.
- Lv, J., J. Xu, C. Guo, Y. Zhang, Y. Bai, W. Meng. 2014. Spatial and temporal distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface water from Liaohe River Basin, northeast China. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(11):7088-7096.
- Maharani, R.W., H. Setyono, W.B. Setiawan. 2014. Studi distribusi suhu, salinitas dan densitas secara vertikal dan horizontal di Perairan Pesisir Probolinggo, Jawa Timur. *Jurnal Oseanografi*, 3(2): 151-160.
- Rocher, V., S.R. Azimi, Moilleron, G. Chebbo. 2004. Hydrocarbons and heavy metals in the different sewer deposits in the “Le Marais” catchment (Paris, France): Stocks, distributions and origins. *Science of the Total Environment*, 323(1-3):107–122.
- Simpson, L.A., G.E. Batley, A.A. Chariton, J.L. Stauber, C.K. King, J.C. Chapman, R.V. Hyne, S.A. Gale, A.C. Roach, W.A. Maher. 2005. Handbook for sediment quality assessment. Publish by Centre Environment Contamination Research. CSIRO Bangor-New South Wales.
- Tobiszewski, M., J. Namiesnik. 2012. PAH diagnostic ratios for the identification of pollution emission sources. *Environmental Pollution*, 162: 110–119.
- Vu, T., B. Lee, J. Kim, C. Lee, I. Kim. 2011. Assessment of carcinogenic risk due to inhalation of polycyclic aromatic hydrocarbons in PM₁₀ from an industrial city: A Korean case-study. *Journal of Hazardous Materials*, 189(1–2): 349–356.



- Wang, W., M. Huang, Y. Kang, H. Wang, A.O.W. Leung, K.C. Cheung, M.H. Wong. 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban surface dust of Guangzhou, China: Status, sources and human health risk assessment. *Science of The Total Environment*, 409(21): 4519–4527.
- Yunker, M.B., R.W. Macdonald, R. Vingazan, R.H. Mitchell, D. Goyette, S. Sylvestre. 2002. PAHs in the fraser river basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH sources and composition. *Organic Geochemistry*, 33(4): 489-515.
- Zakaria, M.P., A.A. Mahat. 2006. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) in sediments in the Langet Estuary. *Coastal Marine Science* 30 (1): 387-395.

Received: 30 July 2018

Accepted: 18 August 2018

How to cite this paper:

Edward, E. 2018. Kontaminasi senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) dalam Sedimen di Daerah Aliran Sungai (DAS) Gending, Probolinggo. *Depik*, 7(2): 139-150.