

PENGAMATAN AWAL KADAR SENYAWA POLISIKLIK AROMATIK HIDROKARBON (PAH) DALAM SEDIMEN DI DAERAH ALIRAN SUNGAI BAYEMAN, PROBOLINGGO

Edward Edward^{1*}, Dede Falahuddin², Khosanah Munawir³, Deny Yogaswara⁴, Ita Wulandari⁵, Rosmini R Pasilette⁶

^{1,2,3,4,5,6}Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI Jakarta

*Corresponding author: ekewe07@gmail.com

Abstract

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are organic compound that are very toxic and persistent environmental contaminants. The purpose of this research is to know the contamination level, concentration, and sources of PAHs compounds in watershed of Bayeman. This research were carried out in September 2014. Sediment samples were taken by using sediment sampler at 6 research stations. The concentration of PAH were determined by using Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) and the sources using individual ratio diagnose method. The results show that the concentration of PAHs in sediment still low and fixed with the safe threshold values for aquatic organisms. Individual PAH dominated by high molecule weight PAHs. The results of 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.

Keywords: Probolinggo, Bayeman Watershed, Water, Sediment, PAHs, Concentration

PENDAHULUAN

Bayeman adalah sebuah desa yang berada di Kecamatan Tongas, Kabupaten Probolinggo, Provinsi Jawa Timur, Indonesia. Bayeman merupakan salah satu desa di Kecamatan Tongas yang ada di pantai Selat Madura. Di desa ini mengalir Sungai Bayeman dan bermuara ke selat Madura. Sungai Bayeman menampung banyak limbah yang berasal dari berbagai aktivitas manusia baik yang berasal dari kegiatan masyarakat yang tinggal di sepanjang Sungai Bayeman, seperti limbah pertanian, perkebunan, dan pedesaan, juga limbah yang berasal dari kota Probolinggo dan sekitarnya.

Limbah mengandung banyak zat yang bersifat racun salah satunya

adalah senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH). PAH mewakili sekelompok hidrokarbon aromatik dengan dua atau lebih cincin benzena yang menyatu, dan merupakan salah satu kelas paling penting dari kontaminan organik hidrofobik. Senyawa ini didistribusikan secara luas di lingkungan, terutama di endapan muara dan pantai di seluruh dunia (Qin *et al.*, 2010).

Oleh karena kelarutan dan volatilitas yang rendah dan daya tahan yang tinggi, PAH dalam sistem air cenderung terakumulasi dalam sedimen, dan memiliki dampak jangka panjang terhadap organisme bentik (Liu *et al.*, 2012). PAH sangat mudah terakumulasi dalam organisme akuatik, dan kemudian

ditransfer ke manusia melalui rantai makanan, sehingga menimbulkan ancaman bagi kesehatan manusia (Qiu *et al.*, 2009; Gu *et al.*, 2013).

PAH di lingkungan berasal terutama dari dua sumber yakni: sumber petrogenik, yaitu senyawa PAH berasal dari tumpahan minyak mentah dan olahannya, dan sumber pirogenik, yang mencakup senyawa PAH yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, pembakaran limbah, pembakaran biomassa dan produksi aspal. PAH petrogenik terutama terdiri dari dua atau tiga cincin, sedangkan PAH pirogenik sering ditandai oleh empat hingga enam cincin aromatik (Hong *et al.*, 2016). Banyak hasil penelitian menunjukkan bahwa PAH yang berasal dari kegiatan manusia dapat menyebabkan kanker dan efek mutagenik pada organisme (Zakaria dan Mahat, 2006). Senyawa PAH dapat terakumulasi dalam tubuh hewan tingkat rendah hingga mencapai kadar yang tinggi karena sukar dicerna dalam tubuhnya. Falahuddin *et al.*, (2011) dan Agustine (2008) melaporkan adanya akumulasi senyawa PAH dalam kerang hijau yang hidup di Teluk Jakarta. namun kadarnya masih rendah sehingga belum berbahaya untuk dikonsumsi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kontaminasi, kadar dan sumber asal senyawa PAH dalam sedimen di DAS Bayeman

Probolinggo dalam kaitannya dengan kualitas perairan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada bulan September 2014 di Daerah Aliran Sungai (DAS) Bayeman Probolinggo (**Gambar 1**). Penetapan posisi stasiun dilakukan dengan menggunakan *Geographyc Position System* (GPS). Stasiun 1 berada dekat muara Sungai Bayemen, sedang Stasiun 2, 3, 4, 5, dan 6 berada di DAS Bayeman. Penetapan posisi stasiun ini dilakukan secara purposive sampling sesuai dengan tujuan penelitian.

Analisis contoh dilakukan sesuai dengan SOP Laboratorium Kimia Organik P2O-LIPI (2013). Contoh sedimen sebanyak 10 gram ditambahkan 30 ml DCM, 30 ml n-heksan, 30 ml campuran n-hexan dan dichloromethana (DCM) (1:1), 30 ml campuran metanol dan DCM (2:1) masukan ke dalam alat ultrasonic dan centrifuse selama 5 menit (3000 rpm), kemudian disaring dengan dengan corong yang telah berisi glass woll dan Na₂SO₄, filtratnya diuapkan dengan alat rotary vapor (suhu water bath 30-40 °C) sampai volume 1 ml, kemudian dipindahkan ke dalam tabung reaksi, ditambah bubuk tembaga (untuk menghilangkan sulfur), selanjutnya dilakukan fraksinasi dengan kolom kromatografi yang telah diisi

Tabel 1. Metode Diagnosa Rasio Individu PAH (Yunker *et al.*, 2002).

Rasio PAH	Kriteria	Sumber
Ph/Anth	>10	Minyak bumi
	<10	Pembakaran bahan organik
Flu/Py	<1	Minyak bumi
	>1	Pembakaran bahan organik
InPy/(InPy+B(ghi)P)	<0,2	Minyak bumi
	0,2-0,5	Pembakaran minyak bumi
	>0,5	Pembakaran bahan organik
Flu/(Flu+Py)	<0,4	Minyak bumi
	0,4-0,5	Pembakaran minyak bumi
	>0,5	Pembakaran bahan organik
BaP/BaP+Chy	0,6-0,9	Minyak bumi
	<0,2	Pembakaran bahan organik
	0,4-0,6	Campuran minyak dan pembakaran bahan organik
Ant/(Ant+Ph)	<0,1	Minyak bumi
	>0,1	Pembakaran minyak bumi
	1	Campuran minyak dan pembakaran bahan organik
Anth/178	<0,1	Minyak bumi
	>0,1	Pembakaran bahan organik
BaAnth/228	<0,2	Minyak bumi
	>0,35	Pembakaran bahan organik
	0,2-0,35	Campuran minyak bumi dan pembakaran bahan organik

dengan bubuk silika, bilas kolom dengan DCM dan hexan masing-masing 10 ml. Lakukan fraksinasi dengan menambahkan campuran DCM dan pentana (60:40) sebanyak 15 ml kedalam kolom.

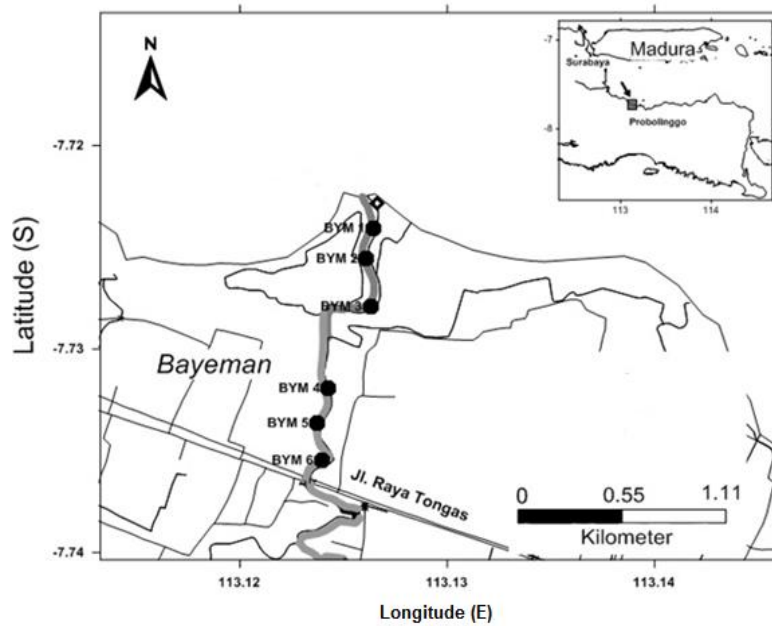
Hasilnya ditampung dan diuapkan sampai volume 1 ml, kemudian dimasukkan ke dalam vial. Kadar PAH dalam sedimen diukur dengan kromatografi gas-spektrometer massa *Trace 1310 Thermo Scientific*. Hasilnya dinyatakan dalam $\mu\text{g/g}$ (ppm). Standar PAH yang digunakan adalah QTM PAH MIX, standar ini mencakup semua jenis PAH (16 jenis) yang diproduksi oleh SUPELCO-USA.

Sumber asal PAH di telusuri dengan menggunakan metode diagnose rasio (Yunker *et al.* 2002). Metode diagnosa

dilakukan karena adanya perbedaan stabilitas termodinamika setiap senyawa PAH (Dominguez *et al.*, 2010).

Terdapat beberapa rasio senyawa PAH yang digunakan, meliputi: rasio Phenanthrene/ Anthrasene, Fluoranthene/ Pyrene, Indeno (123-cd) Pyrene/(Indeno (123-cd) Pyrene+Benzo(ghi)Perylene), Fluoranthene/ (Fluoranthene+Pyrene), Benzo (a)Pyrene/ (Benzo(a) Pyrene+Chrysene), Anthrasene/ (Anthrasene+Phenantrene) (D-6), Anthrasene/178 dan Benzo(a) Anthrasene /228.

Data dianalisis secara diskriptif analitis dengan membandingkan dengan hasil penelitian yang lain dan baku mutu sedimen untuk biota perairan.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian di DAS Bayeman (BYM)

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

Hasil pengukuran kadar PAH dalam sedimen disajikan pada **Tabel 2**. Dari tabel tersebut dapat dilihat kadar senyawa PAH dengan berat molekul rendah (LMW), yakni *Naphthalene*, *Acenaphthylene*, *2-Br Naphthalene*, *Acenaphthene*, *Fluorene*, *Phenanthrene* dijumpai di Stasiun BMY1, BMY2, BMY3, BMY4, BMY5, dan BMY6, sedang Anthracene, Fluorene dan Acenaphthylene tidak dijumpai di Stasiun BMY6.

Untuk PAH dengan berat molekul tinggi (HMW), yakni Fluoranthene dan Pyrene dijumpai di Stasiun BMY1, BMY2, BMY3, BMY, dan BMY5, sedang di Stasiun BMY6 tidak ditemukan. B(a)Anthracene hanya dijumpai di Stasiun BMY5, sedang di Stasiun BMY1, BMY2,

BMY3, BMY4 dan BMY6 tidak ditemukan. Chrysene hanya ditemukan di Stasiun BMY4 dan BMY5, sedang di Stasiun BMY1, BMY2, BMY3 dan BMY6 tidak ditemukan, selanjutnya B(b)Fluoranthene, Benzo(a)Pyrene, Indeno (123-cd)Pyrene, Dibenzo(ah)Anthracene, Benzo(ghi)Pyrelene tidak dijumpai disemua stasiun.

PEMBAHASAN

Dari **Tabel 2** di atas dapat dilihat kadar total PAH (LMW+HMW) berkisar 0,123-1,388 $\mu\text{g/g}$ dengan rerata 0,552 $\mu\text{g/g}$. Kadar tertinggi dijumpai di Stasiun BMY4 dan terendah di Stasiun BMY6. Data ini menunjukkan Stasiun BMY4 lebih banyak menerima masukan limbah yang mengandung PAH dibandingkan dengan stasiun yang lain. Kadar total PAH di Stasiun BMY1 (dekat muara) adalah 0,273

$\mu\text{g/g}$, kadar ini masih lebih rendah bila dibandingkan dengan nilai ambang batas (NAB) yang aman untuk kehidupan biota laut, yakni $4,5 \mu\text{g/g}$ (Simpson *et al.*, 2005) dan $1,684 \mu\text{g/g}$ (Burton *et al.*, 2002).

Di Stasiun BMY2, 3, 4, 5 dan 6 kadar total PAH berturut-turut adalah $0,464, 0,535, 1,388, 0,532$ dan $0,123 \mu\text{g/g}$, kadar ini juga masih lebih rendah dari nilai ambang batas aman untuk biota air tawar, nilai ambang batas PAH dengan berat molekul rendah yang aman untuk biota air tawar berkisar $0,004-45 \mu\text{g/g}$ dan untuk

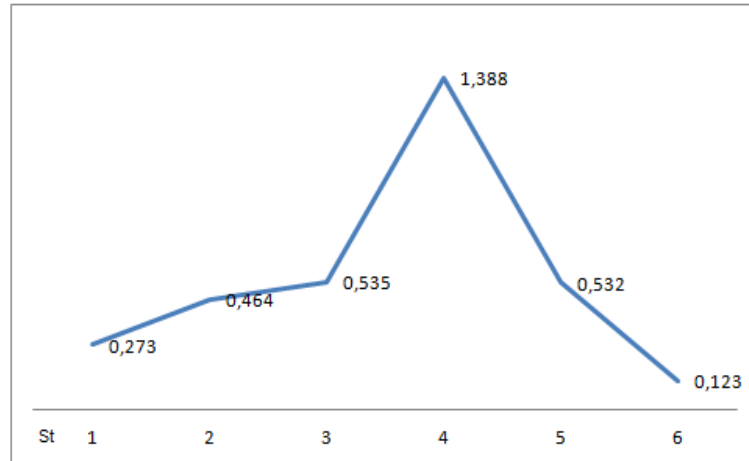
PAH dengan berat molekul tinggi berkisar $1,7-9,6 \mu\text{g/g}$ (CCME, 2010).

Dengan demikian secara rerata, kadar PAH dalam sedimen di DAS Bayeman ini belum berbahaya bagi kehidupan biota perairan. Baumard *et al.*, (1998 dalam Nasher *et al.*, 2013) mengelompokkan tingkat pencemaran PAH dalam sedimen atas empat kelompok yakni: tercemar ringan: kadar PAH $0-0,1 \mu\text{g/g}$, sedang $0,1-1 \mu\text{g/g}$, tinggi $1-5 \mu\text{g/g}$ dan sangat tinggi $>5 \mu\text{g/g}$.

Tabel 2. Jenis dan Kadar Total PAH ($\mu\text{g/g}$) dalam Sedimen di DAS Bayeman, Probolinggo

PAH	BMY1	BMY2	BMY3	BMY4	BMY5	BMY6
LMW (Low Molecule Weight)						
Naphthalene	0,218	0,386	0,454	1,292	0,462	0,097
Acenaphthylene	0,001	0,002	0,003	0,008	0,004	0,000(NF)
2-BrNaphthalene	0,030	0,043	0,042	0,037	0,038	0,022
Acenaphthene	0,003	0,005	0,003	0,004	0,004	0,002
Fluorene	0,003	0,003	0,006	0,009	0,005	0,000 (NF)
Phenanthrene	0,009	0,012	0,019	0,023	0,009	0,002
Anthracene	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)
Total kadar LMW	0,264	0,451	0,527	1,373	0,522	0,123
Jumlah Jenis	6	6	6	6	6	4
HMW (High Molecule Weight)						
Fluoranthene	0,004	0,005	0,004	0,006	0,003	0,000(NF)
Pyrene	0,005	0,008	0,004	0,007	0,004	0,000(NF)
B(a)Anthracene	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,001	0,000(NF)
Chrysene	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,002	0,002	0,000(NF)
B(b)Fluoranthene	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)
Benzo(a)Pyrene	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)
Indeno(123-cd) Pyrene	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)
Dibenzo(ah)Anthracene	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)
Benzo(ghi)Pyrene	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)	0,000(NF)
Total kadar HMW	0,009	0,013	0,008	0,015	0,010	0,000(NF)
Jmh Jenis	2	2	2	3	4	0
Total Jumlah Jenis	8	8	8	9	10	4
LMW+HMW	0,273	0,464	0,535	1,388	0,532	0,123
Rerata LMW+HMW	0,552					
LMW/HMW	29,333	34,692	65,875	0,091	52,2	0

Keterangan NF (*Not found*)



Gambar 3. Grafik Total PAH dalam Sedimen, µg/g.

Bila mengacu pada kriteria ini, maka sedimen di Stasiun BMY1, 2, 3, 5, dan 6 termasuk kategori tercemar sedang, sedang Stasiun 4 termasuk kategori tinggi. Edward *et al.*, (2020) mendapatkan kadar total PAH dalam sedimen di DAS Pakisjaya Karawang pada bulan Maret 2014 berkisar 0,113-0,862 µg/g dengan rerata 0,370 µg/g. Selanjutnya, Edward (2018) mendapatkan kadar total PAH dalam sedimen di DAS Gending Probolinggo pada bulan Maret dan September 2014 berkisar dari ttd-0,470 µg/g dengan rerata 0,272 µg/g. Falahudin *et al.*, (2017) mendapatkan kadar total PAH dalam sedimen di DAS dan muara Sungai Kramat Kebo, Tangerang Banten berkisar 0,0067-0,1386 µg/g. Kadar ini lebih rendah bila dibandingkan dengan hasil penelitian ini. Perbedaan ini dapat disebabkan perbedaan lokasi. Nieto *et al.*, (2013) menyatakan variasi kadar PAH dalam sedimen laut dan estuarin tergantung pada lokasi geografis.

Lokasi yang berbeda memiliki sifat fisik dan kimia yang berbeda pula. Selain itu variasi kadar PAH dalam sedimen dapat pula disebabkan oleh perbedaan kadar bahan organik dan mineral lempung (Wang *et al.*, 2014). Menurut Agustin (2008 dalam Edward, 2018), 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. Adanya perbedaan kadar PAH dalam sedimen di setiap stasiun penelitian dapat pula disebabkan oleh bakteri, dimana stasiun-stasiun tertentu memiliki kepadatan bakteri yang mampu mendegradasi PAH menjadi karbon dioksida dan air atau diubah menjadi tidak beracun atau tingkat racun rendah (Parelo, 2010). Guo *et al.*, (2010) menyatakan bakteri pengrdasi PAH tersebut, antara lain dari *Genus Pseudomonas* dan *Sphingomonas*, *Alcaligenes*, *Mycobacterium*, *Rhodococcus*,

atau genera *Bacillus*, dan juga jamur.

Chen & White (2004) melaporkan adanya korelasi positif antara mutagenisitas dan pencemaran PAH pada biota laut. Sedimen yang mengandung PAH dengan kadar yang tinggi (>10 µg/g) bersifat mutagenik (Vondracek *et al.*, 2001) dengan aktivitas mutagenik utama berhubungan dengan benzo(a)pyrene (Marvin *et al.*, 2000). Dengan demikian bila mengacu pada pernyataan di atas, kadar PAH dalam sedimen di DAS Bayeman ini belum menimbulkan efek mutagenetik terhadap biota perairan.

Dari **Tabel 2** di atas dapat dilihat rasio kadar PAH berat molekul rendah dengan PAH berat molekul tinggi di semua berturut-turut adalah 29,333, 34,692, 65,875, 0,091 dan 0,000. Rasio di Stasiun 1, 2, 3, 4 dan 5 >1, yang berarti bahwa secara umum PAH dalam sedimen bukan berasal dari sumber petrogenik, sedang di Stasiun 6 < 1, yang berarti PAH berasal dari sumber pirogenik. Rendahnya kadar senyawa PAH dengan berat molekul tinggi dibandingkan dengan PAH berat molekul

rendah merupakan hal yang menguntungkan bagi biota perairan mengingat senyawa PAH dengan berat molekul tinggi bersifat karsinogenik dan toksik terhadap biota perairan, sehingga kehadirannya tidak diinginkan di lingkungan perairan.

Sumber asal PAH

Hasil diagnosis rasio kandungan individu PAH dalam sedimen di DAS Bayeman disajikan pada **Tabel 3**. Dari tabel tersebut dapat dilihat nilai Ph/Anth di semua stasiun adalah 0, nilai ini < 10, yang berarti PAH berasal dari pembakaran bahan organik. Nilai Flu/Py dijumpai di lima stasiun yakni Stasiun 1, 2, 3, 4, dan 5 yang nilainya berturut-turut adalah 0,800, 0,625, 1,0, 0,750, 0,857, sedang di Stasiun 6 nilainya 0,000, nilai-nilai ini <1, yang menunjukkan PAH berasal dari tumpahan/rembesan minyak bumi. Nilai InPy/(InPy+B(ghi)P di semua stasiun adalah 0 (*not found*), nilai ini tidak dapat digunakan untuk memprediksi sumber asal PAH mengingat kadar InP dan B(ghi)P adalah 0 (*no found*). Nilai Flu/(Flu+ Py) di

Tabel 3. Diagnosis Rasio Kadar Individu PAH dalam Sedimen

Diagnostik Rasio	Stasiun					
	BM1	BM2	BM3	BM4	BM5	BM6
Ph/Anth	0	0	0	0	0	0
Flu/Py	0,800	0,625	1,000	0,857	0,750	0
InPy/(InPy+B(ghi)P	0	0	0	0	0	0
Flu/(Flu+Py)	0,444	0,384	0,500	0,461	0,328	0
BaP/(BaP+Chy)	0	0	0	0	0	0
Ant/(Ant+Ph)	0	0	0	0	0	0
Anth/178	0	0	0	0	0	0
BaAnth/228	0	0	0	0	0	0

Stasiun 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 yakni 0,444, 0,384, 0,5, 0,461, 0,328 dan 0,000. Nilai Flu/(Flu+Py) di Stasiun 1, 3 dan 4 berada pada rentangan 0,4-0,5 yang berarti PAH berasal dari pembakaran minyak, sedang di Stasiun 2, 5 dan 6 nilainya <0 yang berarti PAH berasal dari tumpahan/rembesan minyak bumi. Nilai BaP/(BaP+Chy) di Stasiun 1, 2, 3 dan 6 berturut-turut adalah 0 (*not found*).

Kadar PAH di St 1, 2,3, dan 6 ini juga tidak dapat digunakan untuk memprediksi sumber asal PAH mengingat kadar BaP dan Chy di ke empat stasiun tersebut adalah 0 (*not found*), sedang di Stasiun 4 dan 5 nilainya masing-masing adalah 0, nilai ini <0,2 yang berarti sumber asal PAH di kedua stasiun ini berasal dari pembakaran bahan organik. Nilai Anth/(Anth+Ph) di semua stasiun adalah 0, nilai ini <0,1 yang berarti PAH berasal dari minyak.

Nilai Anth/178 dan BaAnth/228 di semua stasiun adalah 0 (*not found*), nilai ini juga tidak dapat digunakan untuk memprediksi sumber asal PAH mengingat kadar Anth dan BaAnth di semua stasiun adalah 0 (*not found*). Berdasarkan hasil analisis rasio kadar individu PAH di atas menunjukkan bahwa PAH yang terdapat dalam sedimen berasal dari minyak bumi (tumpahan/rembesan), pembakaran minyak bumi dan pembakaran bahan organik.

Secara keseluruhan kadar total PAH dalam sedimen di DAS Bayeman meskipun sudah termasuk kategori tercemar ringan sampai tinggi, berdasarkan empat kategori di atas (Nasher *et al.*, 2013), tetapi belum berbahaya bagi biota perairan sesuai dengan kriteria yang dinyatakan oleh Simpson *et al.*, (2005), Burton *et al.*, (2002) dan CCME (2010).

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.

Risiko Ekologis PAH

PAH mempunyai efek terhadap organisme laut dan organisme air tawar dan selalu menjadi bahan pertimbangan sebagai indikator peringatan dini dari dampak yang potensi terhadap kesehatan manusia. Di Indonesia sampai saat ini belum ada baku mutu untuk individu 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) and Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME)* (Bhupander *et al.*, 2012).

Tabel 4. Kriteria Individual Senyawa PAH dalam Sedimen/Lumpur ($\mu\text{g/g}$)

No	PAH	CCME (2010)				NOAA*	Penelitian ini
		ISQG	PEL	ISQG	PEL	TEL	
	BMR	Fresh water		Marine water			
1	Naphthalene	34,6	391	34,6	391	34,57	0,097-1,292
2	Acenaphthylene	5,78	128	5,78	128	5,87	0,000-0,008
3	Acenaphthene	6,71	88,9	6,71	88,9	6,71	0,002-0,005
4	Fluorene	21,2	144	21,2	144	21,17	0,000-0,009
5	Phenanthrene	41,9	515	86,7	544	86,68	0,002-0,023
6	Anthracene	46,9	245	46,9	245	-	0
	BMT						
7	Fluoranthene	111	2355	113	1494	112,82	0,000-0,006
8	Pyrene	53	875	153	1398	152,66	0,000-0,008
9	B(a)Anthracene**	31,7	385	74,8	693	74,83	0,000-0,001
10	Chrysene **	57,1	862	108	846	107,77	0,000-0,002
11	B(b)Fluoranthene **	-	-	-	-	-	0
12	Benzo(a)Pyrene **	31,9	782	88,8	763	88,81	0
13	Indeno(123-cd)Pyrene **	-	-	-	-	-	0
14	Dibenzo(ah)Anthracene	6,22	135	6,22	135	6,22	0
15	Benzo(ghi)Pyrene	-	-	-	-	-	0

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

* Buchman (1999). BMR (Berat Molekul Rendah), BMT (Berat Molekul Tinggi)

Pada **Tabel 4** berikut dapat dilihat kadar senyawa PAH hasil penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan kriteria yang ditetapkan oleh NOAA dan CCME, dengan demikian belum menimbulkan efek yang berbahaya bagi kehidupan biota laut dan sungai.

KESIMPULAN

Berdasarkan data yang dikaji dapat disimpulkan sedimen di DAS Bayeman, Probolinggo termasuk kategori tercemar sedang sampai tinggi, namun belum berbahaya bagi kehidupan biota perairan. Kadar dan jumlah jenis PAH dalam sedimen di DAS Bayeman didominasi oleh senyawa PAH dengan berat molekul rendah. PAH yang terdapat dalam sedimen berasal dari minyak bumi pembakaran minyak bumi, dan pembakaran bahan organik.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustine D. 2008. Akumulasi Hidrokarbon Polisiklik (PAH) dalam Kerang Hijau (*Verna Viridis* L) di Perairan Kamal Muara, Teluk Jakarta. *Skripsi*, FPIK IPB: 115 hal.
- Bhupander K, Goel Gargi, Gaur Richa, Prakash Dev, Kumar Sanjay & Sharma Chandra Shekhar. 2012. Distribution. Compositioun Profiles and Source Identification of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Roadside Soil of Delhi. India. *Journal of Environment and Earth Science*, 2 (1): 10-22. ISSN 2224-3216 (paper). ISSN 2225-0948 (online).
- 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. Seattle, Washington: 12 p.

- Burton GA. 2002. Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology*, 3: 65–75.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). 2010. Canadian Soil Quality Guidelines for Carcinogenic and Other Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (Environmental and Human Health Effects). *Scientific Criteria Document (revised)*. 216 pp.
- Chen SG & PA White. 2004. The mutagenic hazards of aquatic sediments: a review. *Mutat. Res*, 567: 151-225.
- Dominguez C, SK Sarkar, A Bhatta charya, M Chatterjee, BD Bhatta charya, E Jover, J Albaiges, JM Bayona, MdA Alam & KK Satpathy. 2010. Quantification and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons in core sediments from Sundarban Mangrove Wetland, India. *Arch Environ Contam Toxicol*, 59: 49–61.
- Edward E, Deny Yogaswara, Khozanah, Ita Wulandari & Dede Falahudin. 2020. Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Brackish Water and Sediments of Citarum Irrigation System, Pakis Jaya, Karawang, Indonesia. *E3S Web of Conferences* 147, 02002 (2020) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014702002>.
- Edward E. 2018. Kontaminasi Senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) dalam Sedimen di Daerah Aliran Sungai (DAS) Gending, Probolinggo. *Depik. Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 7 (2): 139-150.
- Falahuddin D & Khosanah Munawir. 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
- Falahudin D, D Yogaswara, Khozanah & Edward E. 2017. Assessing the distribution, origins, and ecological risk of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the habitat of Medaka fish at Keramat Kebo River and Estuary, Tangerang, Banten. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 118 (2018) 012055 doi :10.1088/1755-1315/118/1/012055.
- Gu YG, Lin Q, Lu TT, Ke CL, Sun RX & Du FY. 2013. Levels, composition profiles and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments from Nan'ao Island, a representative mariculture base in South China. *Mar. Pollut. Bull*, 75, 310–316.
- Guo C, Dang Z, Wong Y & Tam NF. 2010. Biodegradation ability and dioxygenase genes of PAH-degrading *Sphingomonas* and *Mycobacterium* strains isolated from mangrove sediments. *Int. Biodeter. and Biodegr*, 64:419-426.
- Hong WJ, Jia HL, Li YF, Sun YQ, Liu XJ & Wang L. 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and alkylated PAHs in the coastal seawater, surface sediment and oyster from Dalian, Northeast China. *Ecotoxicol. Environ. Saf*, 128, 11–20.
- Liu LY, Wang JZ, Wei GL, Guan YF & Zeng E.Y. 2012. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in continental shelf sediment of China: implications for anthropogenic influences on

- coastal marine environment. *Environ. Pollut*, 167, 155–162.
- Marvin HC, S Mehta, D Lin, BE Carry & DW Bryant. 2000. Relative genotoxicities of PAH of molecular weight 252 amu in coal tar contaminated sediment policy. *Polycycl Aromat Compd*, 20: 305-318.
- Nasher E, Lee Yook Heng, Zuriati Zakaria & Salmijah Surif. 2013. Assessing the Ecological Risk of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments at Langkawi Island, Malaysia Hindawi Publishing Corporation The Scientific World Journal Volume 2013, Article ID 858309, 13 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/858309>.
- Nieto R Elisa, Diego Salesb & Jose Antonio Perales. 2013. Sources, transport and fate of PAHs in sediments and superficial water of a chronically polluted semi-enclosed body of seawater: linking of compartments. *Environ. Sci*, 15, 986–995.
- Perelo LW. 2010. Review: In situ and bioremediation of organic pollutants in aquatic sediments. *J. of Haz. Mat*, 177: 81-89.
- Qin XB, Sun HW, Wang CP, Yu Y & Sun T.H. 2010. Impacts of crab bioturbation on the fate of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediment from the Beitang Estuary of Tianjin, China. *Environ. Toxicol. Chem*, 29 (6), 1248–1255.
- Qiu YW, Zhang G, Liu GQ, Guo LL, Li XD & Wai O. 2009. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the water column and sediment core of Deep Bay, South China. *Coast. Shelf Sci*, 83, 60–66.
- Simpson L Stuart, Graeme E Batley, Anthony A Chariton, Jenny L Stauber, Catherine K King, John C Chapman, Ross V Hyne, Sharyn A Gale, Anthony C Roach, William A Maher. 2005. *Handbook for Sediment Quality Assessment*. Publish by Centre Environment Contamination Research. Csiro Bangor-NSW.
- SOP (Standard Operation Procedure). 2013. *Metode Analisis Senyawa Organik PAH, Pestisida dan Polikloridabifenil dalam Air laut, Sedimen dan Biota. Laboratorium Kimia Organik*. Jakarta: Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI. 40 hal.
- Vondracek J, M Machale, K Minksova, L Blaha, AJ Murk & A Kozubik. 2001. Monitoring river sediments contaminated predominantly with poly aromatic hydrocarbons by chemical and in vitro bioassay techniques. *Environ Toxicol Chem*, 20: 1499-1506.
- Wang Z, Zhanfei Liu, Kehui Xu, Lawrence M Mayer, Zulin Zhang, Alexander S Kolker & Wei Wu. 2014. Concentrations and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface coastal sediments of the northern Gulf of Mexico. *Geochemical Transactions*, 15:2
- Yunker MB, RW Macdonald, R Vingazan, RH 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. *Org. Geochem*, 33: 489-515.
- Zakaria MP & AA Mahat. 2006. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) in sediments in the Langet Estuary. *Coastal Marine Science*, 30 (1): 387-395.