



## Kandungan senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon dalam air laut dan sedimen di Teluk Lampung

### *Polycyclic aromatic hydrocarbon content in seawater and sediment in Lampung Bay*

Edward Edward

Pusat Penelitian Oseanografi-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P2O-LIPI). Jln. Pasir Putih 1, Ancol Timur, Jakarta 14330. Tel/fax:021.64715038, 021.64711848. \*Email korespondensi: ekewe07@gmail.com

Received: 04 March 2019

Accepted: 29 April 2019

**Abstract.** *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) are polycyclic aromatic organic compounds that are toxic to humans and aquatic organisms. This research aims to determine the level of pollution of PAH compounds in seawater and sediments in Lampung Bay, Lampung. This research was conducted by survey method in November 2018. Sediments and seawater samples were taken using water and sediment sampling equipment. Sediment and seawater samples were taken at three and two research stations. The levels and types of PAH compounds were determined by using Gas Mass Spectrometry Chromatography and their sources using individual ratio diagnostic methods. The results showed that the levels of PAH total in seawater ranged 295,587-331,133 ppb, this level is relatively high and has passed the threshold values set by the Decision Letter of the Office of the State Minister of Environment No 51, 2004 for marine biota protection, while in the sediments range 51.481-62.448 ppb, this level is relatively small and still in accordance with the criteria for marine life. The results of individual ratios diagnosis analysis indicate that PAHs in seawater and sediment come from various sources, namely petroleum, burning of petroleum and burning of organic matter.*

**Keywords:** Lampung Bay, sediment, seawater, PAH

**Abstrak.** Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) merupakan senyawa organik aromatik polisiklik yang bersifat toksik terhadap manusia dan organisme perairan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat pencemaran senyawa PAH dalam air laut dan di sedimen Teluk Lampung. Penelitian ini dilakukan dengan metode survei pada bulan November 2018. Contoh air laut dan sedimen diambil dengan menggunakan alat pengambil contoh air dan sedimen. Contoh air laut diambil pada dua stasiun dan sedimen pada tiga stasiun penelitian. Kadar dan jenis senyawa PAH ditentukan dengan menggunakan Kromatografi Gas-Spektrometer Massa dan sumbernya dengan metode diagnosa rasio individu. Hasilnya menunjukkan kadar total PAH dalam air laut berkisar 295,587-331,133 ppb, kadar ini relatif tinggi dan telah melewati nilai ambang batas yang ditetapkan oleh Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 untuk kepentingan biota laut, sedangkan pada sedimen berkisar 51,481-62,448 ppb, kadar ini relatif kecil dan masih sesuai dengan kriteria untuk kehidupan biota laut. Hasil analisis diagnosa rasio individu menunjukkan bahwa PAH dalam air laut dan sedimen berasal dari berbagai sumber yakni minyak bumi, pembakaran minyak bumi, dan pembakaran bahan organik.

**Kata Kunci:** Teluk Lampung, sedimen, air laut, PAH

### Pendahuluan

Teluk Lampung terletak di Provinsi Lampung, teluk ini padat dengan berbagai aktivitas, antara lain pelabuhan internasional, budidaya perikanan (udang, tambak, kerang mutiara), areal penangkapan ikan dan wisata bahari sementara di daratan terdapat kawasan



industri, permukiman perkotaan yang padat (*densely urbanized area*) dan pembangkit listrik tenaga batu bara (*coal power plant*). Keadaan ini membuatnya banyak menerima masukan limbah yang berasal dari kegiatan tersebut. Limbah tersebut masuk ke perairan Teluk Lampung langsung dari sumber kegiatan dan melalui aliran sungai. Limbah mengandung berbagai macam bahan yang bersifat toksik terhadap biota laut, salah satunya adalah senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH). Kontaminasi PAH adalah bahaya utama yang menjadi perhatian untuk kehidupan akuatik di sedimen laut, terutama di daerah dekat dengan sumber antropogenik (Liu *et al.*, 2009; Veltman *et al.*, 2010). Senyawa ini bersifat persisten di lingkungan, hidrofobik, bioakumulasi dan beracun, selain itu juga memiliki efek mutagenik, hepatotoksik, teratogenik dan karsinogenik (Keshavarzifard, 2017).

PAH merupakan senyawa organik yang keberadaannya tersebar luas di alam, terbentuk dari beberapa rantai siklik aromatik, serta terdiri dari lebih dari 100 senyawa kimia yang berbeda, yang terbentuk selama pembakaran yang tidak sempurna dari senyawa organik seperti batubara, minyak dan gas, sampah, dan zat organik lainnya (McGrath *et al.*, 2007). Keberadaan PAH di alam dapat berasal dari dua sumber, yakni sumber alami dan sumber antropogenik (Xu *et al.*, 2018). Sumber alami meliputi; kebakaran hutan dan padang rumput, rembesan minyak bumi, gunung berapi, tumbuhan yang berklorofil, jamur dan bakteri, sedangkan sumber antropogenik meliputi; minyak bumi, pembangkit tenaga listrik, insenerasi, pemanas rumah, batu bara, karbon hitam, aspal dan mesin-mesin pembakaran (Lah, 2011). Kadar PAH yang berasal dari proses alami umumnya lebih rendah dari sumber antropogenik (Culotta *et al.*, 2006). PAH di lingkungan atmosfer diendapkan di tanah dan sedimen melalui pengendapan kering dan basah. PAH yang mencapai ekosistem akuatik dengan mudah bergabung dengan partikel tersuspensi dan disimpan di sedimen (Keshavarzifard *et al.*, 2016). PAH masuk ke perairan laut melalui banyak cara antara lain melalui pembuangan air limbah industri, limpasan permukaan, pengendapan partikulat atmosfer, kebocoran minyak/oli dan sebagainya (Nasher *et al.*, 2013).

Di lingkungan laut PAH teradsorpsi di permukaan sedimen karena hidrofobitasnya yang tinggi dan degradasi yang lebih sedikit. Kadar PAH dalam sedimen dapat mencerminkan tingkat polusi lokal, sehingga perlu untuk mempelajari kandungan PAH dalam sedimen (Xu *et al.*, 2018). Beberapa literatur, menyatakan bahwa sedimen merupakan reservoir penting untuk polutan organik (Keshavarzifard *et al.*, 2018). PAH merupakan kontaminan yang sering dijumpai di laut (NRC, 2003 dalam Edward, 2015). Kadar PAH dalam sedimen pantai, muara, dan dasar kontinen relatif tinggi dibandingkan dengan masukan antropogenik. Nikolaou *et al.*, (2009) dan Hung *et al.*, (2011) dalam penelitiannya di Laut Cina Timur menemukan tingginya kadar PAH pada stasiun-stasiun yang berada dekat pantai. Senyawa PAH yang mengendap ke dasar perairan sangat beracun bagi organisme perairan. Banyak hasil penelitian menunjukkan bahwa PAH yang berasal dari kegiatan manusia dapat menyebabkan kanker dan efek mutagenik pada organisme (Zakaria *et al.*, 2006). Senyawa PAH dapat terakumulasi dalam tubuh hewan tingkat rendah hingga mencapai kadar yang tinggi, karena sukar dicerna dalam tubuh. Falahuddin dan Khosanah (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 mengenai senyawa PAH di Teluk Lampung ini belum banyak dilakukan, sehingga data pembandingan PAH di Teluk Lampung ini masih sangat sedikit.

Untuk mengetahui berapa besarkah kadar PAH dalam air laut dan sedimen di Teluk Lampung dan bagaimanakah pengaruhnya terhadap terhadap kualitas air laut dalam kaitannya untuk kepentingan biota laut di Teluk Lampung, maka penelitian ini perlu dilakukan, sehingga dampak negatif yang mungkin muncul dapat diantisipasi sedini mungkin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar, jenis-jenis dan sumber PAH dalam sedimen dan air laut di



perairan Teluk Lampung dalam kaitannya untuk kehidupan biota laut. Hasilnya diharapkan dapat memberikan informasi dan masukan kepada pihak yang berkepentingan dalam rangka pengelolaan perairan Teluk Lampung secara berkesinambungan.

### **Bahan dan Metode**

#### **Waktu dan tempat penelitian**

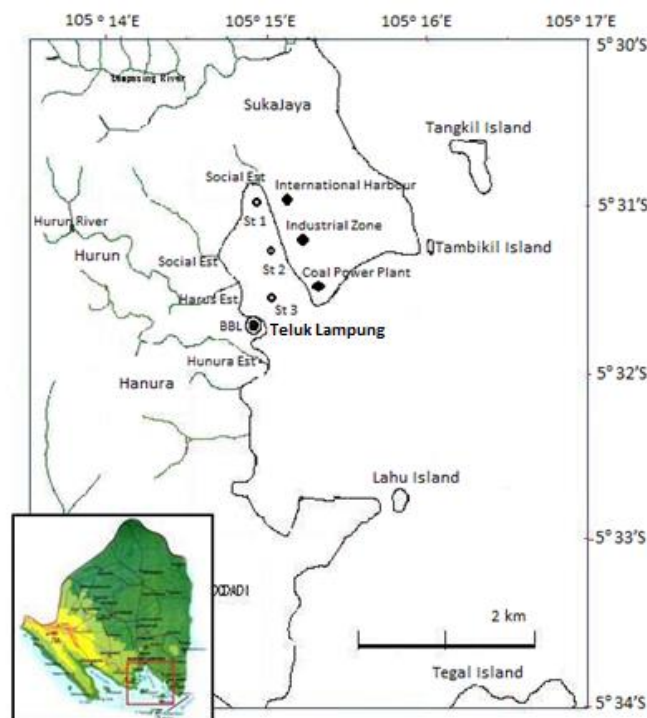
Penelitian ini dilakukan pada bulan November 2018 di perairan Teluk Lampung, Lampung (Gambar 1). Contoh air laut dan sedimen disimpan dalam *ice box* pada suhu 4° C, selanjutnya dibekukan dalam lemari pendingin dan dibawa ke laboratorium Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI Jakarta.

#### **Bahan dan alat**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah : contoh air laut dan sedimen, bahan kimia: DCM (dichloromethana), sodium sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), dietileter, n-hexan, bubuk alumina tipe WB 5 basic SIGMA, bubuk silica tipe Merck 7754, dan air suling. Semua bahan kimia yang digunakan adalah pro analisis (pa). Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah GC-MS, kolom kromatografi, soxlet, rotary evaporator, timbangan analitis, pompa vakum dan alat-alat gelas.

#### **Analisis contoh**

Contoh air laut diambil pada dua stasiun penelitian yakni Stasiun 1 dan 2, kedua stasiun ini dianggap mewakili lokasi yang tercemar, sedang sedimen diambil pada tiga stasiun penelitian yakni Stasiun 1, 2 dan 3. Stasiun 1 berada di depan dermaga/pelabuhan internasional, Stasiun 2 di depan dermaga kawasan industri, dan Stasiun 3 di antara PLTU (coal power plant) dan Balai Budidaya Lampung (BBL) serta berada pada jalur lalu lintas kapal. Contoh air laut di ambil dengan menggunakan gayung aluminium dan sedimen dengan grab sedimen (stainlesteel), selanjutnya dimasukkan dalam botol berwarna gelap dan disimpan dalam *ice box*. Contoh air dan sedimen diambil secara komposit dengan ulangan sebanyak tiga kali.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Teluk Lampung)



Analisis contoh dilakukan sesuai dengan SOP Laboratorium Kimia Organik P2O-LIPI (2015). Preparasi contoh dilakukan di laboratorium, air laut sebanyak 2,5 disaring dengan menggunakan pompa vakum. Hasil saringan sebanyak 1 liter diekstraksi dengan cara memasukkannya ke dalam corong pemisah (*Separatory funnel*), ditambahkan 40 ml n-hexan, dan dikocok selama lebih kurang 3 menit, dialirkan ke dalam corong pemisah yang telah diberi kertas saring GFC ukuran 0,45 mikron dan bubuk Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan ditampung hasilnya. Ekstraksi diulangi masing-masing dengan 40 ml dan 60 ml n-hexan dan dikumpulkan hasilnya (100 ml). Selanjutnya hasil ini dipekatkan dengan cara menguapkan dengan alat rotary evaporator hingga volume 1 ml. Proses selanjutnya dilakukan *clean up* menggunakan kolom kromatografi yang telah diisi dengan glasswool dan bubuk silica Merck 7754. Contoh yang telah dipekatkan dimasukkan ke dalam kolom, lalu alirkan 5 ml DCM (*dichloromethana*) dan tampung hasilnya (F1), selanjutnya alirkan lagi larutan campuran DCM dan pentana (40:60) sebanyak 15 ml dan tampung lagi hasilnya (F2). Fraksi F2 selanjutnya diuapkan lagi di atas water bath sampai volume 2 ml, dan dimasukkan ke dalam vial.

Untuk sedimen, contoh sebanyak 10 gram ditambahkan 30 ml DCM, 30 ml n-hexan, 30 ml campuran n-hexan dan DCM (1:1), 30 ml campuran metanol dan DCM (2:1) dimasukan ke dalam alat ultrasonik dan centrifuse selama 5 menit (3000 rpm), kemudain disaring dengan dengan corong yang telah berisi glass woll dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, filtratnya diuapkan dengan alat rotary evaporator (suhu water bath 30-40 °C) sampai volume 1 ml, kemudian dipindahkan ke dalam tabung reaksi dan ditambah bubuk tembaga (untuk menghilangkan sulfur), selanjutnya dilakukan fraksinasi dengan kolom kromatografi yang telah diisi dengan silika yang telah dibilas dengan DCM dan hexan masing-masing 10 ml. Setelah itu dilakukan fraksinasi dengan menambahkan campuran DCM dan pentana (60:40) sebanyak 15 ml ke dalam kolom dan ditampung hasilnya dan diuapkan sampai volume 1 ml, dimasukan ke dalam vial.

Kadar PAH dalam air laut dan sedimen diukur dengan kromatografi gas-spektrometer massa Trace 1310 Thermo *Scientific*, Model : trace 1310 ISQ LT. *Detector: single quadrupole mass spectrometer (320° C). Inlet: temp 260°C (splitless). Column: thermo TR-5, Length: 30 m; ID: 0,25 mm; Film: 0,25 μm. Oven: 50°C (0,5 min), 160 °C (14 min), 290 °C (13 min), 300 °C (4 min). Gas system: Helium 1,2 ml/min (constant flow); Split flow 10 ml/min; Splitless time 0,5 min.* Hasilnya dinyatakan dalam μg/l (ppb) untuk air laut dan μg/kg (ppb) untuk sedimen. Standar PAH yang digunakan adalah QTM PAH MIX, standar ini mencakup semua jenis PAH (16 jenis) yang diproduksi oleh SUPELCO-USA.

Sebelum dilakukan analisis, lebih dahulu dilakukan validasi instrumen, yakni dengan membuat kurva standar secara series dengan 5 konsentrasi masing-masing 3,6, 12, 24, dan 48 ppb. Setiap larutan standar terdiri dari 16 jenis senyawa PAH. Nilai R<sup>2</sup> dari masing-masing senyawa PAH dari larutan standar adalah: naphthalene (0,929), acenaphtylene (0,956), 2-bromonaphtalene (0,966), acenaphtene (0,972), fluorene (0,964), anthrasene (0,963), phenanthrene (0,963), fluoranthene (0,955), pyrene (0,945), b(a)anthrasene (0,949), chrysene (0,945), b(k)fluoranthene (0,944), b(a)pyrene (0,952), indeno (1,2,3-Cd)perylene (0,927), db(ah)anthrasene (0,953), dan b(ghi)perylene (0,832). RSD dari masing-masing senyawa PAH 0,0%. Nilai R<sup>2</sup> dan RSD ini menunjukkan bahwa prosedur pengukuran sudah valid.

Sumber asal PAH di telusuri dengan menggunakan metode diagnose rasio (Yunker *et al.*, 2002). 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/anthrasene(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), anthrasene/(anthrasene+phenanthrene) (D-6), anthrasene/178 (D-7) dan benzo(a) anthrasene/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	>0,3
Campuran minyak dan Pembakaran bahan organik					0,4-0,6	0,1	-	0,2-0,35

**Analisis data**

Analisis data dilakukan secara deskriptif analitis dengan cara membandingkannya hasil penelitian lain dan dengan baku mutu air dan sedimen yang ditetapkan oleh Kantor Menteri Negara Lingkungan dan baku mutu dari beberapa negara.

**Hasil****Air laut**

Hasil pengukuran kadar dan jenis senyawa PAH dalam air laut di Teluk Lampung pada Tabel 2. Pada tabel tersebut dapat dilihat di Stasiun 1 dijumpai 3 jenis PAH dengan berat molekul rendah (BMR) yakni naphthalene, fluorene, dan anthrasene, sedang acenaphthylene, 2-bromo naphthalene, acenaphthene dan phenanthrene tidak terdeteksi. PAH dengan berat molekul tinggi (BMT) juga dijumpai 3 jenis yakni pyrene, b(a)anthrasene dan b(a)pyrene, sedang fluoranthene, chrysene, b(b)fluoranthene, indeno(123-cd)pyrene, db(ah)anthrasene, dan b(ghi)perylene tidak dijumpai. Jumlah PAH dengan berat molekul rendah (BMR) di Stasiun 2 dijumpai sebanyak 4 jenis yakni naphthalene, 2-bromonaphthalene, fluorene dan anthrasene, sedang acenaphthylene, acenaphthene dan phenanthrene tidak terdeteksi. PAH dengan berat molekul tinggi (BMT) di Stasiun 2 ini hanya dijumpai 3 jenis yakni pyrene, b(a)anthrasene dan b(a)pyrene, sedang fluoranthene, chrysene, b(b)fluoranthene, indeno(123-cd)pyrene, db(ah)anthrasene dan b(ghi)perylene tidak terdeteksi.

Tabel 2. Jenis dan Kadar Total PAH (ppb) dalam Air Laut di Teluk Lampung, Nov 2018

No	PAH	St. 1	St. 2
		BMR	
1	Naphthalene	107,125	27,096
2	Acenaphthylene	ttd	ttd
3	2-Bromonaphthalene	ttd	39,765
4	Acenaphthene	ttd	ttd
5	Fluorene	40,867	39,841
6	Anthrasene	45,995	44,337
7	Phenanthrene	ttd	ttd
	Total Kadar	193,978	151,030
	Jmh Jenis	3	4
	BMT		
1	Fluoranthene	ttd	ttd
2	Pyrene	43,032	43,409
3	Benzo(a)Anthrasene	48,553	48,207
4	Chrysene	ttd	ttd
5	Benzo(b)Fluoranthene	ttd	ttd
6	Benzo(a)Pyrene	45,570	52,941
7	Indeno(123-cd)Pyrene	ttd	ttd
8	Dibenzo(ah)Anthrasene	ttd	ttd
9	Benzo(ghi)Perylene	ttd	ttd
	Total Kadar	137,155	144,557
	Jmh Jenis	3	3
	BMR+BMT	331,133	295,587
	BMR/BMT	1,414	1,044
	NAB (KMNLIH, 2004)	3	

Ket: ttd (tidak terdeteksi)



**Sedimen**

Hasil pengukuran kadar dan jenis senyawa PAH dalam sedimen di Teluk Lampung pada Tabel 3. Pada tabel tersebut dapat dilihat di Stasiun 1 dijumpai 5 jenis PAH dengan berat molekul rendah (BMR) yakni naphthalene, 2-bromonaphthalene, fluorene, anthrasene, phenanthrene, sedang 2-bromonaphthalene dan acenaphthylene dan acenaphthene tidak terdeteksi. PAH dengan berat molekul tinggi (BMT) dijumpai semua jenis kecuali db(ah)anthrasene.

PAH dengan berat molekul rendah (BMR) di Stasiun 2 dijumpai sebanyak 4 jenis yakni naphthalen, acenaphthene, fluorene dan anthrasene sedang acenaphthylene, 2-bromonaphthalene dan phenanthrene tidak terdeteksi. PAH dengan berat molekul tinggi (BMT) dijumpai sebanyak 4 jenis yakni fluoranthene, pyrene, b(a)anthrasene dan b(a)pyrene sedang chrysene, b(b)fluoranthene, indeno(123-cd)pyrene, db(ah)anthrasene dan b(ghi)perylene tidak terdeteksi.

PAH dengan berat molekul rendah (BMR) di Stasiun 3 dijumpai sebanyak 5 jenis yakni naphthalene, 2-bromomonaphthalene, acenaphthene, fluorene dan phenanthrene, sedang acenaphthylene dan anthrasene tidak terdeteksi. PAH dengan berat molekul tinggi (BMT) dijumpai semua jenis, kecuali db(ah)anthrasene dan b(ghi)perylene tidak terdeteksi.

Tabel 3. Jenis dan Kadar Total PAH (ppb) dalam Sedimen di Teluk Lampung, Nov 2018

No	PAH	St. 1	St. 2	St 3
		BMR		
1	Naphthalene	4,139	1,734	2,173
2	Acenaphthylene	ttd	ttd	ttd
3	2-Bromonaphthalene	3,298	ttd	3,103
4	Acenaphthene	ttd	3,638	3,611
5	Fluorene	4,061	4,030	3,956
6	Anthrasene	6,114	ttd	ttd
7	Phenanthrene	5,243	4,658	4,652
	Total Kadar	22,846	14,06	17,495
	Jmh Jenis	5	4	5
		BMT		
1	Fluoranthene	6,640	4,251	4,407
2	Pyrene	6,677	4,346	4,437
3	Benzo(a)Anthrasene	5,757	4,942	5,455
4	Chrysene	5,536	ttd	5,348
5	Benzo(b)Fluoranthene	6,284	ttd	4,189
6	Benzo(a)Pyrene	4,136	4,730	5,165
7	Indeno(123-cd)Pyrene	5,245	ttd	4,985
8	Dibenzo(ah)Anthrasene	ttd	ttd	ttd
9	Benzo(ghi)Perylene	4,572	ttd	ttd
	Total Kadar	39,602	18,269	33,986
	Jmh Jenis	8	4	7
	BMR+BMT	62,448	32,329	51,481
	BMR/BMT	0,576	0,769	0,514

**Pembahasan****Air laut**

Tabel 2 dapat dilihat kadar PAH dengan berat molekul rendah (BMR) di Stasiun 1, dijumpai 3 jenis yakni naphthalene, fluorene dan anthracene yang kadarnya berturut-turut adalah 107,125 ppb, 40,867 ppb dan 45,995 ppb, sedang acenaphthylene, 2-bromonaphthalene, acenaphthene dan phenanthrene tidak terdeteksi. PAH dengan berat molekul tinggi (BMT) juga dijumpai 3 jenis yakni pyrene, b(a)anthrasene dan b(a)pyrene yang kadarnya berurut-turut adalah 43,032 ppb, 48,553 ppb dan 45,570 ppb, sedang fluoranthene, chrysene, b(b)fluoranthene, indeno(123-cd)pyrene, db(ah) anthrasene dan benzo (ghi)pyrelene tidak terdeteksi.



Kadar PAH dengan berat molekul rendah (BMR) di Stasiun 2 dijumpai sebanyak 4 jenis yakni naphthalene, 2-bromonaphthalene, fluorene dan anthracene yang kadarnya berturut-turut adalah 27,096 ppb, 39,765 ppb, 39,841 ppb dan 44,337 ppb, sedang acenaphthylene, acenaphthene dan phenanthrene tidak terdeteksi. PAH dengan berat molekul tinggi (BMT) dijumpai sebanyak 3 jenis yakni pyrene, b(a)anthracene dan b(a)pyrene yang kadarnya berturut-turut adalah 43,409 ppb, 48,207 ppb dan 52,941 ppb sedang fluoranthene, chrysene, b(b)fluoranthene, indeno(123-cd)pyrene, db(ah)anthracene, dan benzo(ghi)pyrene tidak terdeteksi.

Kadar total PAH (BMR+BMT) di Stasiun 1 dan 2 masing-masing adalah 331,33 ppb dan 295,587 ppb. Kadar ini lebih tinggi dari Nilai Ambang Batas (NAB) yang ditetapkan oleh Surat Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 51 Tahun 2004 (KMNLH (2004) untuk keamanan biota laut yakni 3 ppb, hal ini perlu mendapat perhatian mengingat PAH bersifat toksis bagi biota perairan. Tingginya kadar total PAH di Stasiun 1 disebabkan adanya masukan limbah minyak yang berasal dari aktivitas perkapalan dan permukiman, sedang di Stasiun 2 di samping limbah perkapalan juga dari aktivitas industri. Kadar PAH hasil penelitian ini lebih rendah bila dibandingkan dengan hasil penelitian lain di Teluk Lampung. Saputra (2017) mendapatkan 5 jenis PAH di perairan kawasan industri Teluk Lampung yakni fluorene, phenanthrene, anthracene, fluoranthene dan pyrene yang kadarnya berkisar 400,961-876,545 ppb dengan rerata 552,087 ppb, namun lebih tinggi bila dibandingkan dengan kadar PAH di perairan mangrove Kota Bandar Lampung. Wahyuni (2016) mendapatkan kadar 7 jenis senyawa PAH yakni adalah: naphthalene, phenanthrene, anthracene, fluoranthene, pyrene, b(a)anthracene, dan chrysene di perairan hutan mangrove Kota Bandar Lampung dengan kadar berkisar 11,377-231,768 ppb. Hasil penelitian ini juga lebih tinggi bila dibandingkan dengan Teluk Jakarta. Edward (2013) mendapatkan kadar total PAH dalam air laut pada bulan Maret 2013 di 11 stasiun penelitian di wilayah muara Teluk Jakarta bagian barat, tengah dan wilayah bukan muara masing-masing adalah 119,976 ppb, 146,900 ppb, dan 167,961 ppb. Adanya perbedaan ini dapat disebabkan oleh perbedaan lokasi, perbedaan kondisi lingkungan laut, musim (waktu pengamatan) dan pola arus pada saat penelitian. Pada Tabel 2 dapat dilihat rasio antara kadar PAH dengan berat molekul rendah dengan PAH berat molekul tinggi di Stasiun 1 dan 2 masing-masing adalah 1,414 dan 1,044. Nilai ini >1, yang berarti secara umum PAH berasal dari sumber petrogenik (Nasher *et al.*, 2013). PAH petrogenik terdiri dari naphthalene, acenaphthylene, acenaphthene, dan fluorene, dan merupakan alkil yang tersubstitusi pada PAH atau PAH 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 di darat, limbah perkotaan dan industri (Saha *et al.*, 2009).

#### **Sumber asal individual senyawa PAH pada air laut**

Sumber asal senyawa kontaminasi PAH dalam suatu perairan dapat bersumber dari berbagai aktivitas, baik aktivitas alami (perembesan minyak, asap kebakaran hutan, letusan gunung berapi) ataupun sumber antropogenik (kegiatan industri, transportasi dan aktivitas rumah tangga) (Zakaria *et al.*, 2006). Molekul PAH dengan bobot molekul besar (PAH>3 cincin benzen) biasanya berasal dari pembakaran tidak sempurna (pirogenik) sedangkan PAH dengan bobot molekul kecil (PAH dengan 2-3 cincin benzen) sangat dominan dalam produk petroleum (petrogenik) (Apeti *et al.*, 2010). Penelusuran sumber senyawa PAH dalam air laut dapat dilakukan dengan metode diagnosa rasio. Metode diagnosa rasio dilakukan karena adanya perbedaan stabilitas termodinamika setiap senyawa PAH (Dominguez *et al.*, 2010). Kadar dan jenis PAH di suatu perairan sangat tergantung dari sumber asal PAH tersebut.

Hasil diagnosis rasio kadar individu PAH dalam air laut di Teluk Lampung disajikan pada Tabel 4. Dari tabel tersebut dapat dilihat nilai D5 di Stasiun 1 dan 2 masing-masing



adalah 1,0, nilai ini mendekati 0,9. Nilai D5 dengan rentang nilai 0,6-0,9 menunjukkan PAH berasal dari minyak bumi, mengingat nilai 1,0 lebih dekat kepada 0,9, maka diprediksi PAH berasal dari minyak bumi. Nilai D6 di Stasiun 1 dan 2 masing-masing adalah 1,0. Nilai ini >0,1 yang berarti PAH berasal dari pembakaran minyak bumi. Nilai D7 di Stasiun 1 dan 2 masing-masing adalah 0,258 dan 0,249, kedua nilai ini >0,1, yang berarti PAH berasal dari pembakaran bahan organik. Nilai D8 di Stasiun 1 dan 2 masing-masing adalah 0,212 dan 0,211, kedua nilai ini berada pada kisaran >0,2-0,35 yang berarti PAH berasal campuran minyak dan pembakaran bahan organik.

Tabel 4. Diagnosis Rasio Kadar Individu PAH dalam Air laut di Teluk Lampung

St	D1 Phe/Ant	D2 Fluo/Pyr	D3 In(123-cd)P/ In(123-cd)P +B(ghi)P	D4 Fluo/(Flu+Pyr)	D5 B(a)P/ (B(a)P+Chr)	D6 Ant/(Ant+Phe)	D7 Ant/ 178	D8 B(a)A/ 228
1	0	0	0	0	1	1	0,258	0,212
2	0	0	0	0	1	1	0,249	0,211

Hasil analisis rasio konsentrasi individu PAH di atas (Tabel 4) menunjukkan bahwa PAH yang terdapat dalam air laut berasal dari berbagai sumber yakni minyak bumi, pembakaran minyak bumi, dan campuran minyak dan pembakaran bahan organik.

#### Sedimen

Tabel 3 dapat dilihat kadar PAH dengan berat molekul rendah (BMR) di Stasiun 1, hanya dijumpai 5 jenis yakni naphtalene, acenaphtylene, fluorene, anthrasene dan phenantrene yang kadarnya berturut-turut adalah 4,139 ppb, 3,298 ppb dan 4,061 ppb, 6,114 ppb dan 5,243 ppb, sedang 2-bromonaphtalene dan acenaphtene tidak terdeteksi. PAH dengan berat molekul tinggi (BMT) dijumpai sebanyak 8 jenis yakni fluoranthene, pyrene, b(a)anthrasene, chrysene, b(b)fluoranthene, b(a)p, indeno(123-cd)pyrene dan b(ghi)pyrelene yang kadarnya berturut-turut adalah 6,640 ppb, 6,677 ppb, 5,757 ppb, 5,536 ppb, 6,284 ppb, 4,136 ppb, 5,245 ppb dan 4,572 ppb, sedang db(ah)anthrasene tidak terdeteksi.

PAH dengan berat molekul rendah (BMR) di Stasiun 2 dijumpai 4 jenis yakni naphtalene, acenaphtene, fluorene dan anthrasene yang kadarnya berturut-turut adalah 1,734 ppb, 3,638 ppb, 4,030 ppb dan 4,658 ppb, sedang 2-bromonaphtalene, acenaphtylene dan phenantrene tidak terdeteksi. PAH dengan berat molekul tinggi (BMT) juga dijumpai 4 jenis yakni fluoranthene, pyrene, b(a)anthrasene dan b(a)pyrene yang kadarnya berturut-turut adalah 4,251 ppb, 4,346 ppb, 4,942 ppb dan 4,730 ppb, sedang chrysene, b(b)fluoranthene, indeno(123-cd)pyrene, db(ah)anthrasene dan b(ghi)pyrelene tidak terdeteksi.

PAH dengan berat molekul rendah (BMR) di Stasiun 3 dijumpai 5 jenis yakni naphtalene, acenaphtylene, acenaphtene, fluorene dan anthrasene yang kadarnya berturut-turut adalah 2,173 ppb, 3,103 ppb, 3,611 ppb, 3,956 ppb dan 4,652 ppb, sedang 2-bromonaphtalene dan phenantrene tidak terdeteksi. PAH dengan berat molekul tinggi (BMT) dijumpai sebanyak 7 jenis yakni fluoranthene, pyrene, b(b)fluoranthene, chrysene, b(a)pyrene dan indeno(123-cd)pyrene yang kadarnya berturut-turut adalah 4,407 ppb, 4,437 ppb, 5,455 ppb, 5,348 ppb, 4,189 ppb, 5,165 ppb dan 4,985 ppb, sedang db(ah)anthrasene dan b(ghi)pyrelene tidak terdeteksi.

Tabel 2 juga terlihat kadar PAH dengan berat molekul tinggi (BMT) lebih tinggi dibandingkan kadar PAH dengan berat molekul rendah (BMR). Keadaan ini dapat disebabkan PAH BMT mempunyai daya larut yang 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 dan Widenfalk, 2002).

Kadar total PAH (BMR+BMT) di Stasiun 1, 2 dan 3 berturut-turut adalah 62,448 ppb, 32,329 ppb dan 51,481 ppb. Kadar ini lebih rendah bila dibandingkan dengan PAH di perairan hutan mangrove Kota Bandar Lampung. Wahyuni (2016) mendapatkan kadar 7 jenis senyawa PAH yakni naphthalene, phenanthrene, anthrasene, fluoranthene, pyrene, b(a)anthrasene, dan chrysene pada sedimen di perairan hutan mangrove Bandar Lampung berkisar 534,677-1.220,2 ppm (atau 534.677-1220.200 ppb). Kadar PAH hasil penelitian ini juga lebih rendah bila dibandingkan dengan Teluk Jakarta. Kadar total PAH (BMR+ BMT) di Teluk Jakarta pada bulan Maret 2011 dan 2013 masing-masing berkisar 67920-252250 ppb dan 119976-605928 ppb (Edward, 2011, 2013) dan di Perairan Pakis Jaya Karawang berkisar 113-862 ppb (Edward, 2015). Data ini menunjukkan bahwa sedimen di Teluk Lampung ini relatif lebih bersih dari cemaran PAH dibandingkan dengan Perairan hutan mangrove Kota Bandar Lampung, Teluk Jakarta, Perairan Pakis Jaya Karawang. Kadar total PAH dalam sedimen di Teluk Hurun ini masih lebih rendah bila dibandingkan dengan nilai ambang batas yang aman untuk biota laut yakni 4,5 ppm (4500 ppb) (Simpson *et al.*, 2005) dan 1,684 ppm (1684 ppb) (Burton *et al.*, 2002). Chen dan White (2004) melaporkan adanya korelasi positif antara mutagenisitas dan pencemaran PAH pada biota laut. Sedimen yang mengandung konsentrasi tinggi dari PAH (>10 ppm) atau >10000 ppb bersifat mutagenik (Vondracek *et al.*, 2001) dengan aktivitas mutagenik utama berhubungan dengan benzo(a)pyrene (Marvin *et al.*, 2000). Dengan demikian kadar PAH dalam sedimen di Teluk Lampung ini tidak menimbulkan efek mutagenetik terhadap biota yang hidup di Teluk Lampung.

Berdasarkan kriteria pada Tabel 5, sedimen di Teluk Lampung ini termasuk kategori dengan tingkat pencemaran rendah.

Tabel 5. Kriteria Tingkat Pencemaran Senyawa PAH dalam Sedimen

No	Kadar, ppm	Kriteria*	Penelitian ini
1	0-0,100	Rendah	0,032-0,062
2	0,100-1,000	Sedang	
3	1,000-5,000	Tinggi	
4	>5,000	Sangat tinggi	

\* Nasher *et al.* (2013).

Dari Tabel 2 dapat dilihat perbandingan kadar PAH dengan berat molekul rendah (BMR) dengan PAH berat molekul tinggi (BMT) di Stasiun 1, 2 dan 3 berturut-turut adalah 0, 576, 0,769 dan 0,514. Ketiga nilai ini < 1, yang menunjukkan bahwa senyawa PAH ini merupakan PAH pyrogenik yakni PAH yang berasal dari bahan bakar fosil dan pembakaran tidak sempurna biomassa pada suhu tinggi dan umumnya ditandai dengan berat molekul tinggi (BMT) dengan empat hingga enam cincin (Keshavarzifard, 2017).

#### **Sumber asal individual senyawa PAH pada sedimen**

Hasil diagnosis rasio kadar individu PAH dalam sedimen di Teluk Lampung disajikan pada Tabel 6. Pada tabel tersebut dapat dilihat nilai D1 di Stasiun 1 adalah 0,857. Nilai <10, yang berarti PAH berasal dari pembakaran senyawa organik. Nilai D2 di Stasiun 1, 2 dan 3 berturut-turut adalah 0,994, 0,978, dan 0,993. Nilai ini < 1, yang berarti PAH berasal dari minyak bumi. Nilai D3 di Stasiun 1 dan 3 masing-masing adalah 0,534 dan 1. Nilai ini >0,5 yang berarti PAH berasal dari pembakaran bahan organik. Nilai D4 di Stasiun 1, 2 dan 3 berturut-turut adalah 0,498, 0,494 dan 0,515. Nilai di Stasiun 1 dan 2 berada pada kisaran 0,4-0,5 yang berarti PAH berasal dari pembakaran minyak, sedang di Stasiun 3 > 0,5, yang berarti PAH berasal dari pembakaran bahan organik. Nilai D5 di Stasiun 1, 2 dan 3 berturut-turut adalah 0,427, 1, dan 0,491. Nilai D5 di Stasiun 1 dan 3 berada pada rentangan 0,4-0,6, yang



berarti PAH berasal dari campuran minyak dan pembakaran bahan organik, sedang di Stasiun 2 mendekati rentangan 0,6-0,9, yang menunjukkan PAH berasal dari minyak. Nilai D6 di Stasiun 1, 2 dan 3 berturut-turut adalah 0,538, 1, dan 1. Nilai-nilai ini >0,1, yang berarti PAH berasal dari pembakaran minyak. Nilai D7 di Stasiun 1, 2 dan 3 berturut-turut adalah 0,034, 0,026 dan 0,026, nilai-nilai ini <0,1, yang berarti PAH berasal dari minyak bumi. Nilai D8 di Stasiun 1, 2 dan 3 masing-masing adalah 0,025, 0,021 dan 0,023, nilai-nilai <0,2 yang berarti PAH berasal dari minyak bumi.

Tabel 6. Diagnosis Rasio Kadar Individu PAH dalam Air laut di Teluk Lampung

St	D1 Phe/Ant	D2 Fluo/Py	D3 In(123-cd)P/ In(123-cd)P +B(ghi)P	D4 Fluo/(Fluo+Pyr)	D5 B(a)P/ (B(a)P+Chr)	D6 Ant/(Ant+Phe)	D7 Ant/ 178	D8 B(a)A/ 228
1	0,857	0,994	0,534	0,498	0,427	0,538	0,034	0,025
2	0	0,978	0	0,494	1	1	0,026	0,021
3	0	0,993	1	0,515	0,491	1	0,026	0,023

Hasil analisis rasio konsentrasi individu PAH di atas menunjukkan bahwa PAH yang terdapat dalam sedimen berasal dari berbagai sumber yakni minyak bumi, pembakaran minyak bumi, dan campuran minyak dan pembakaran bahan organik.

### Risiko ekologi

PAH mempunyai efek terhadap organisme laut dan selalu menjadi bahan pertimbangan sebagai indikator peringatan dini dari dampak yang berpotensi terhadap kesehatan manusia. Di Indonesia sampai saat ini belum ada baku mutu untuk individu PAH dalam sedimen. Oleh karena itu efek toksik dari polutan dalam penelitian ini secara kasar dievaluasi dengan menggunakan petunjuk yang dibuat oleh *British Columbia* (1993) untuk air laut dan yang dibuat oleh *National Oceanography and Atmospheric Administration* (NOAA) dan *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME) (Bhupander *et al.*, 2012) untuk sedimen. Pada Tabel 7 dapat dilihat PAH hasil penelitian ini relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kriteria yang ditetapkan oleh British Columbia (BC)(1993). Khususnya b(a)pyrene merupakan PAH yang paling beracun terhadap biota laut.

Nilai risiko yang mungkin terjadi terhadap biota laut (*Risk Quotient*) adalah kadar PAH dalam air laut dibagi dengan nilai ambang batas yang diperkenankan untuk keamanan biota laut (Kaf, 1997 dalam Jia *et al.*, 2018) (Sun *et al.*, 2015). Pada Tabel 7 juga dapat dilihat nilai RQ untuk naphthalene di Stasiun 1 dan 2 masing-masing adalah 107,125 dan 27,096, untuk fluorene masing-masing adalah 3,405 dan 3,320, untuk benzo(a)pyrene masing-masing adalah 4557 dan 5291. Nilai RQ tersebut >1, nilai menunjukkan bahwa naphthalene, fluorene dan benzo(a)pyrene mempunyai risiko yang sangat tinggi terhadap kehidupan biota di perairan ini.

Tabel 7. Kriteria Individual Senyawa PAH dalam Air Laut (ppb)

No	PAH	Kriteria, ppb*	Penelitian ini		RQ
			St 1	St 2	
BMR					
1	Naphthalene	1	107,125	27,096	107,125
2	Acenaphthylene	-	ttd	ttd	
3	2-BrNaphthalene	-	ttd	39,765	
4	Acenaphthene	6	ttd	ttd	
5	Fluorene	12	40,867	39,841	3,405
6	Phenanthrene	-	45,995	44,337	
7	Anthrasene	-	ttd	ttd	
BMT					
8	Fluoranthene	-	ttd	ttd	
9	Pyrene	-	43,032	43,409	



10	B(a)Anthrasene**	-	48,553	48,207		
11	Chrysene **	0,1	ttd	ttd		
12	B(k)Fluoranthene **	-	ttd	ttd		
13	Benzo(a)Pyrene **	0,01	45,570	52,941	4557	5294,1
14	Indeno(123-cd)Pyrene **	-	ttd	ttd		
15	Dibenzo(ah)Anthrasene	-	ttd	ttd		
16	Benzo(ghi)Pyrelene	-	ttd	ttd		

\*\* Karsinogenik, BC (British Columbia, 1993), ttd: tidak terdeteksi

Tabel 8 dapat dilihat perbandingan kadar individual PAH dalam sedimen di Teluk Lampung dengan kriteria yang ditetapkan oleh CCME dan NOAA. Dari tabel tersebut terlihat kadar individual PAH hasil penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan kriteria yang ditetapkan oleh CCME dan NOAA. Dengan demikian belum berbahaya bagi kehidupan biota laut yang hidup dalam sedimen.

Tabel 8. Kriteria Individual Senyawa PAH dalam Sedimen/Lumpur (ppm)

No	PAH	CCME (2010)		NOAA*	Penelitian ini		
		ISQG	PEL	TEL	x10 <sup>-3</sup>		
BMR		Marine Water			St1	St2	St3
1	Naphthalene	34,6	391	34,57	4,139	1,734	2,173
2	2-BrNaphthalene	-	-	-	ttd	ttd	ttd
3	Acenaphthylene	5,78	128	5,87	3,298	ttd	3,103
4	Acenaphthene	6,71	88,9	6,71	ttd	3,638	3,611
5	Fluorene	21,2	144	21,17	4,061	4,030	3,956
6	Phenanthrene	86,7	544	86,68	5,243	ttd	ttd
7	Anthrasene	46,9	245	-	6,114	4,658	4,652
BMT							
8	Fluoranthene	113	1494	112,82	6,640	4,251	4,407
9	Pyrene	153	1398	152,66	6,677	4,346	4,437
10	B(a)Anthrasene**	74,8	693	74,83	5,757	4,942	5,455
11	Chrysene **	108	846	107,77	5,536	ttd	5,348
12	B(b)Fluoranthene **	-	-	-	6,284	ttd	4,189
13	Benzo(a)Pyrene **	88,8	763	88,81	4,136	4,730	5,165
14	Indeno(123-cd)Pyrene **	-	-	-	5,245	ttd	ttd
15	Dibenzo(ah)Anthrasene	6,22	135	6,22	ttd	ttd	ttd
16	Benzo(ghi)Pyrelene	-	-	-	4,572	ttd	ttd

\* Karsinogenik, ISQG: Interim Sediment Quality Guidelines, PEL: Probably Effect Level

TEL: Threshold Effect Level. \* Buchman (1999), CCME (2010 dalam Bhupander *et al.* (2012)

Berdasarkan Tabel 2 dan 3 dapat dilihat kadar total PAH dalam air laut di Stasiun 1 dan 2 lebih tinggi dibandingkan sedimen. Keadaan ini dapat disebabkan oleh beberapa hal antara lain; struktur sedimen, kandungan bahan organik, atau pengaruh arus di dasar perairan yang pada penelitian belum diamati. Rendahnya kadar PAH dalam sedimen dapat pula disebabkan belum sempurnanya proses akumulasi yang terjadi dalam sedimen. 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) melaporkan adanya korelasi positif antara akumulasi total PAH pada sedimen dengan konsentrasi bahan organik dan kadar air di Stagnone Coastal Lagon (Italy), di mana semakin tinggi kandungan bahan organik semakin tinggi pula kandungan PAHnya. With (1995 dalam Ahmad, 2012) menyatakan sedimen dengan kandungan bahan organik yang tinggi, mempunyai kandungan PAH yang tinggi pula. Data hasil penelitian ini menunjukkan tidak ada pola yang jelas apakah kadar PAH yang tinggi dalam air laut akan diikuti pula oleh kadar PAH yang tinggi dalam sedimen. Untuk membuktikan hal ini perlu dilakukan penelitian lanjut dengan memperbanyak jumlah stasiun. Edward (2013) mendapatkan adanya kecenderungan semakin tinggi kadar



PAH dalam air laut akan diikuti pula oleh kadar PAH yang tinggi dalam sedimen di Teluk Jakarta pada 18 stasiun penelitian dan di muara Sungai Cimandiri, Pelabuhan Ratu pada 15 stasiun penelitian (Edward, 2018).

### **Kesimpulan**

Berdasarkan data yang dikaji dapat disimpulkan bahwa PAH dalam air laut telah melewati nilai ambang batas yang ditetapkan oleh Surat Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 51 Tahun 2004 (KMNLH 2004), sedang dalam sedimen masih lebih rendah dari kriteria yang ditetapkan oleh CCME dan NOAA. PAH yang terdapat dalam air laut dan sedimen berasal dari berbagai sumber yakni tumpahan minyak bumi, pembakaran minyak bumi, dan pembakaran senyawa organik. Total PAH dalam air laut lebih tinggi dibandingkan dengan sedimen.

### **Ucapan Terima Kasih**

Ucapan terimakasih penulis disampaikan kepada sdr Tumpak Sidabutar sebagai kordinator penelitian ini dan sdr Herman Rahayaan dan Deny Yogaswara yang telah membantu dalam pengambilan sampel dan analisis di laboratorium kimia organik P2O-LIPI Jakarta.

### **Daftar Pustaka**

- Agustine, D. 2008. Akumulasi hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH) dalam kerang hijau (*Verna Viridis* L) di Perairan Kamal Muara, Teluk Jakarta. Skripsi: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB, Bogor. 115 hal.
- Ahmad, F. 2012. Kandungan senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) di Teluk Jakarta. *Ilmu Kelautan*, 17(4): 199-208.
- Apeti, D.A., G.G. Lauenstein, J.D. Christensen, K. Kimbrough, W.E. Johnson, M. Kennedy, and 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.
- Bhupander, K., G. Gargi, G. Richa, P. Dev, K. Sanjay, S.C. Shekhar. 2012. Distribution composition profiles and source identification of poly cyclic aromatic hydrocarbons in roadside soil of Delhi. India. *Journal of Environment and Earth Science*, 2(1): 10-22.
- British, C. 1993. Water quality ambient water quality criteria for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) Overview Report Prepared pursuant to Section 2(e) of the Environment Management Act, 1981 Original signed by J. O'Riordan Assistant Deputy Minister Ministry of Environment, Lands and Parks August 13 1993: 9 p.
- 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. 12 p.
- Bertillon, S. Widenfalk. 2002. Photochemical degradation of PAHs in freshwaters in their impact on bacterial growth-influence of water chemistry. *Hydrobiologia*, 469: 23-32.
- Brooks, M., 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.
- Chen, S.G., P.A. White. 2004. The mutagenic hazards of aquatic sediments: a review. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 567: 151-225.



- Cullota, L., C.D. Stefano, A. Gianguzza, M.R. Mannino, S. Groecchia. 2006. The PAH composition of surface sediments from Stagnone coastal Lagoon, Marsala (Italy). *Marine Chemistry*, 99(1-4): 117-127.
- Dominguez, C., S.K. Sarkar, A. Bhattacharya, M. Chatterjee, B.D. Bhattacharya, E. Jover, J. Albaiges, J.M. Bayona, Md.A. Alam, K.K. Satpathy. 2010. Quantification and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons in core sediments from Sundarban Mangrove Wetland, India. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 59: 49-61.
- Edward. 2011. Kaji mutu senyawa organik. Laporan Penelitian. Pusat Penelitian Oseanografi LIPI. Jakarta. 68 hal.
- 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:167 hal.
- Edward. 2015. Kandungan dan sumber asal senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon (pah) dalam sedimen di perairan Pakis Jaya, Kabupaten Karawang. *Jurnal Akuatika*, VI(2): 95-106.
- Edward. 2018. Kadar Senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon (pah) dalam air laut dan sedimen di muara Sungai Cimandiri, Pelabuhan Ratu. Prosiding Jilid II Masnajemen Sumberdaya Perikanan. Seminar Nasional Tahunan XV Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan Tahun 2018. Departemen Perikanan Fakultas Pertanian UGM: 15-16
- Falahuddin, D., 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.
- Hung, C.C., G.C. Gong, F.C. Ko, H.J. Lee, H.Y. Chen, J.M. Wua, M.L. Hsu, S.C. Peng, F.H. Nan, P.H. Santschi. 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of the East China Sea and their relationship with carbonaceous materials. *Marine Pollution Bulletin*, 63: 464-470.
- Jia, M.X., J.Y. Li, S.Y. Tian. 2017. Assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) ecological risk in surface seawater from the west Bohai Bay, China. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 82: 8 p.
- Kantor MNLH. 2004. Keputusan Menteri Negara dan Lingkungan Hidup No.Kep-51/2004 Tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Air Laut. Kantor Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup, Jakarta: 11 hal.
- Keshavarzifard, M., F. Moore, B. Keshavarzi, R. Sharifi. 2017. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediment and sea urchin (*Echinometra mathaei*) from the intertidal ecosystem of the northern Persian Gulf: Distribution, sources, and bioavailability. *Marine Pollution Bulletin*, 123(1-2): 373-380.
- Keshavarzifard, M., F. Moore, B. Keshavarzi, R. Sharifi. 2018. Distribution, source apportionment and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in intertidal sediment of Asaluyeh, Persian Gulf. *Environmental geochemistry and health*, 40(2): 721-735.
- Keshavarzifard, M., M.P. Zakaria, S. Keshavarzifard. 2016. Evaluation of polycyclic aromatic hydrocarbons contamination in the sediments of the Johor Strait, Peninsular Malaysia. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 1-16.
- Lah, K. 2011. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. <http://toxipedia.org/display/toxipedia/Polycyclic+Aromatic+Hydrocarbons>. Rabu, Akses tanggal 12 September 2012.
- Liu, Y., L. Chen, Q.H. Huang, W.Y. Li, Y.J. Tang, et al. 2009. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of the Huangpu River, Shanghai, China. *Science of the Total Environment*, 407: 2931-2938.





- Marvin H.C., S. Mehta, D. Lin, B.E. Carry, D.W. Bryant. 2000. Relative genotoxicities of PAH of molecular weight 252 amu in coal tar contaminated sediment policy. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 20: 305-318.
- McGrath, T.E., J.B. Wooten, C.W. Geoffrey, M.R. Hajaligol. 2007. Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons from tobacco: the link between low temperature residual solid (char) and PAH formation. *Food and Chemical Toxicology*, 45(6): 1039-1050.
- Nasher, E., L.Y. Heng, A. Zakaria, S. Salmijah. 2013. Assessing the ecological risk of polycyclic aromatic hydrocarbons in Langkawi Island, Malaysia. Hindawai Publishing Corporation. *The Scientific World Journal*. Article ID 858309: 13 p.
- Nikolaou, M. Kastopoulou, G. Lofrano, S. Meric. 2009. Determination of PAHs in marine sediments: analytical methods and environmental concerns. *Global NEST Journal*, 11(4): 391-405.
- Saha, M., A. Togo, K. Mizukawa, M. Murakami, H. Takada, et al. 2009. Sources of sedimentary PAHs in tropical Asian waters: differentiation between pyrogenic and petrogenic sources by alkyl homolog abundance. *Marine pollution bulletin*, 58: 189-200.
- Saputra, R. Rizal. 2017. Penentuan senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) di Perairan Kawasan Industri Teluk Lampung menggunakan Metode SPME. Skripsi: Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Lampung: 61 hal.
- Simpson, L.S., G.E., 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-NSW: 126.
- SOP (*Standard Operation Procedure*). 2015. Metode analisis senyawa organik PAH, pestisida dan polikloridabifenil dalam air laut, seidmen dan biota. Laboratorium Kimia Organik. Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI, Jakarta: 40 hal.
- Sun, C., J. Zhang, Q. Ma, Y. Chen. 2015. Human Health and ecological risk assessment of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons in drinking source water from a large mixed-use reservoir. *International journal of environmental research and public health*, 12(11): 13956-13969.
- Veltman, K., M.A.J. Huijbregts, H. Rye, E.G. Hertwich. 2012. Including impacts of particulate emissions on marine ecosystems in life cycle assessment: The case of offshore oil and gas production. *Integrated environmental assessment and management*, 7: 678-686.
- Vondracek, J., M. Machale., K. Minksova., L. Blaha., A.J. Murk., A. Kozubik. 2001. Monitoring river sediments contaminated predominantly with polyaromatic hydrocarbons by chemical and in vitro bioassay techniques. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 20: 1499-1506.
- Wahyuni, D.A.Y. 2016. Profil polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) pada Perairan dan Hutan Mangrove Kota Bandar Lampung. Thesis: Program Pascasarjana Master Kimia FMIPA Bandar Lampung. 78 hal.
- Yunker, M.B., R.W. Macdonald, R. Vingarzan, 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: 489-515.
- Xu, S., P. Tao, Y. Li., Q. Guo., Y. Zhang, M. Wang, H. Jia, M. Shao. 2018. Distribution, Source, and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Sediment of Liaodong Bay, Northeast China. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 301 012156: 10 p.
- Zakaria, M.P., A.A. Mahat. 2006. Distibution of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) in sediments in the Langet Estuary. *Coastal Marine Science*, 30(1): 387-395.



*How to cite this paper:*

Edward, E. 2019. Kandungan senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon dalam air laut dan sedimen di Teluk Lampung. Depik Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan, 8(1): 52-66.