

Kandungan Senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) di Teluk Jakarta

Fasmi Ahmad

Stasiun Penelitian Lapangan LIPI Ternate.
Jalan Pertamina Sasa Ternate, Indonesia.
HP: 081356689507, Email: fasmi_ahmad@ymail.com

Abstrak

Perairan Teluk Jakarta menerima limbah yang berasal dari darat maupun perairan itu sendiri. Salah satu limbah tersebut adalah senyawa organik Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) yang merupakan senyawa organik bersifat toksik terhadap biota laut. Penelitian dilakukan untuk mengetahui kandungan PAH air laut dan sedimen dalam kaitannya dengan kehidupan biota laut serta mengetahui sumber senyawa tersebut. Pengukuran dilakukan bulan Maret 2011. Contoh air laut diambil dengan water sampler dan contoh sedimen dengan grab pada 15 stasiun. Kadar PAH dianalisa dengan Gas Chromatography-Flame Ionization Detector. Hasil penelitian menunjukkan kadar PAH air laut di Teluk Jakarta Bagian Barat > Bagian Tengah > Bagian Timur. Kandungan PAH di Teluk Jakarta Bagian Barat berkisar 201,57-474,68 ppb dengan total PAH 1404,68 ppb, di Bagian Tengah 104,61-337,07 ppb dengan total 825,63 ppb, dan di Bagian Timur 112,91-370,79 ppb dengan total 806,73 ppb. Data ini menunjukkan Teluk Jakarta Bagian Barat lebih banyak menerima masukan limbah yang mengandung PAH. Sedangkan Kadar PAH sedimen di Teluk Jakarta Bagian Timur > Bagian Tengah > Bagian Barat. Kadar PAH di Teluk Jakarta Bagian Barat berkisar 1,92-64,241 ppm dengan total 107,931 ppm, di Bagian Tengah 16,14-77,71 ppm dengan total 170,61 ppm, dan di Bagian Timur 8,72-115,39 ppm dengan total 252,25 ppm. Data ini menunjukkan sedimen di Teluk Jakarta Bagian Timur lebih banyak mengakumulasi limbah yang mengandung PAH. Sumber PAH dalam air laut dan sedimen ini berasal dari berbagai sumber yakni pembakaran bahan organik, pembakaran minyak bumi, dan tumpahan minyak. Kadar PAH dalam air laut di Teluk Jakarta ini telah melebihi Nilai Ambang Batas yang ditetapkan oleh KMNLIH untuk biota laut, dan Nilai Ambang Batas untuk sedimen yang ditetapkan oleh Handbook for Sediment Quality Assessment.

Kata kunci: Teluk Jakarta, Polisiklik Aromatik Hidrokarbon, PAH, polusi

Abstract

Polycyclic Aromatic Compounds Hydrocarbons (PAH) Content in Jakarta Bay

Jakarta Bay receives various kinds of waste both from land and waters, including Polycyclic Aromatic Hydrocarbons organic compounds (PAH). These organic compounds are toxic to marine life. This study determines the content of PAH in sea water and sediments in relation to marine life and to find out the source of the PAH compounds in the Bay of Jakarta. Measurement of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon levels were carried out in March 2011. Sea water samples were taken by using a water sampler and sediment samples taken using a grab at 15 sites. PAH content were analyzed using gas chromatography-Flame Ionization Detector. The results showed that the content of PAH in seawater in the western part of Jakarta Bay > middle > east. The content of PAH in the western of Jakarta Bay ranged from 201,57 to 474,68 ppb with PAH total 1404,68 ppb, in the middle area ranged from 104,61 to 337,07 ppb with PAH total 825,63 ppb, and in the eastern part ranged from 8.72 to 115,39 ppb with PAH total 806,73 ppb. This means that seawater in the western part receives the PAH compound more than the others. However, the content of PAH in sediments in the western part < middle < eastern. This means that sediment in the western part of Jakarta Bay accumulates PAH compound less than the others areas. The content of PAH in the western part of Jakarta Bay ranged from 1.92 to 64.241 ppm with PAH total 107,931 ppm, in middle part ranged from 16.14 to 77.71 ppb with PAH total 170,61 ppm, and in the eastern part range 8,72 to 115.39 ppm with PAH total 252,25 ppm. This means that sediment in the western area of Jakarta Bay accumulates the PAH compound less than the others. Sources of PAH in seawater and sediment came from several sources namely from combustion of organic material, combustion of petroleum, and from petroleum. PAH content in seawater has passed the Threshold Limit Value stated by KMNLIH for marine life and also has passed the threshold value stated the Ministry of Environment and Handbook for Sediment Quality Assessment for marine organism.

Key words: Jakarta Bay, polycyclic aromatic hydrocarbon, PAH, pollution

Pendahuluan

Teluk Jakarta, terletak di sebelah Utara kota Jakarta, adalah perairan dangkal (kedalaman rata-rata 15 m), dengan luas sekitar 514 km². Di teluk ini bermuara 13 sungai yang melintasi Kawasan Metropolitan Jakarta (Jabotabek) yang berpenduduk sekitar 20 juta jiwa. Dengan perkembangan Kawasan Metropolitan Jakarta selama setengah abad terakhir, Teluk Jakarta menerima tekanan yang besar sebagai akibat dari aktivitas manusia, antara lain berupa pencemaran. Menurut data dari Badan Pengendalian Dampak Lingkungan, dalam 10 tahun terakhir Teluk Jakarta telah mengalami pencemaran yang melebihi ambang batas. Setidaknya 83% dari 13 sungai yang bermuara ke Teluk Jakarta telah masuk dalam kategori tercemar berat. Sungai-sungai tersebut membawa berbagai macam jenis limbah yang bersifat toksik ke perairan Teluk Jakarta, diantaranya adalah senyawa organik Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.

PAH adalah senyawa organik yang tersebar luas di alam, bentuknya terdiri dari beberapa rantai siklik aromatik dan bersifat hidrofobik. Senyawa PAH mengandung dua atau lebih cincin benzene, berasal dari pirolisis, pembakaran yang tidak sempurna (pembakaran hutan, buangan motor, gunung api), proses pembakaran yang menggunakan suhu tinggi pada pengolahan minyak bumi, proses industry dan aktivitas manusia lainnya (Anonim, 2009, 2010). PAH mengandung lebih dari 100 senyawa kimia berbeda yang terbentuk selama pembakaran tidak sempurna dari 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. 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). PAH yang berasal dari proses alami umumnya lebih rendah dari sumber antropogenik (Culotta et al., 2006).

PAH merupakan kontaminan yang sering dijumpai laut (NRC, 2003), dijumpai dalam sedimen pantai, muara, dan dasar kontinen dalam konsentrasi yang relatif tinggi dibandingkan dengan masukan antropogenik (Liu et al., 2007). Umumnya kadar PAH yang tinggi dijumpai dalam sedimen laut yang dekat dengan pantai. Hung et al. (2011) dalam penelitiannya di Laut Cina Timur melaporkan tingginya kadar PAH pada stasiun-stasiun yang berada dekat pantai. Senyawa PAH yang mengendap ke dasar perairan sangat beracun bagi organism perairan. 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 (Uthe, 1991). Falahuddin (2012) melaporkan adanya akumulasi senyawa PAH dalam kerang hijau yang hidup di Teluk Jakarta, namun kadarnya masih rendah sehingga belum berbahaya untuk dikonsumsi. Untuk mengetahui dampak negatif PAH terhadap kualitas air laut dan sedimen, dalam kapitannya untuk kepentingan biota laut di Teluk Jakarta, maka penelitian ini perlu dilakukan, sehingga dampak negatif yang mungkin muncul dapat diantisipasi sedini mungkin.

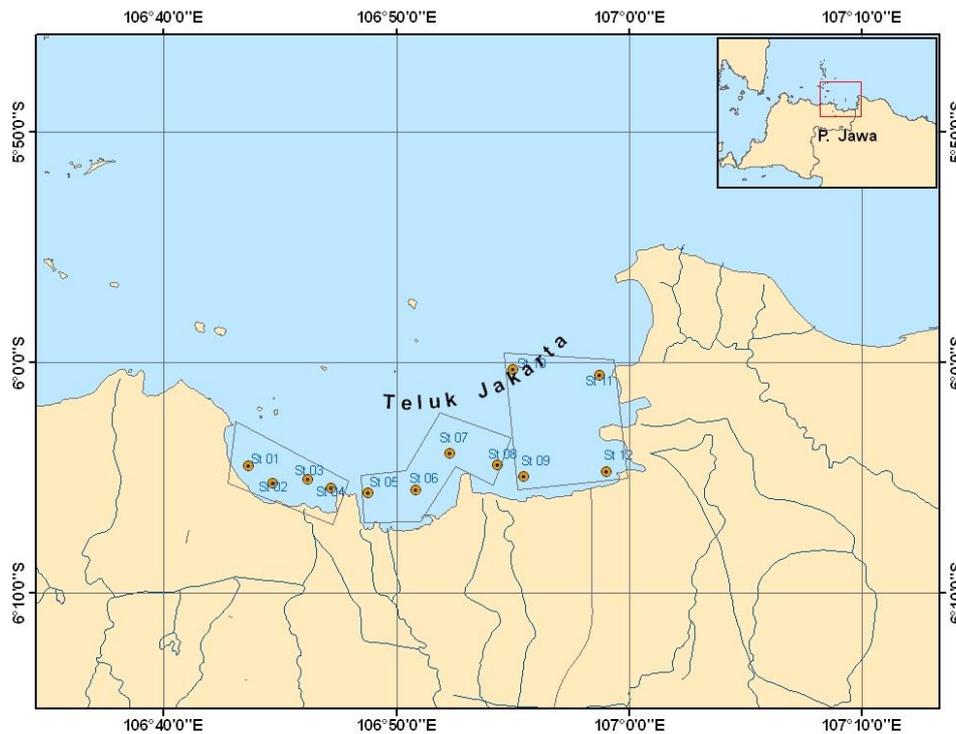
Penelitian ini mengkaji kandungan PAH dalam air laut dan sedimen dalam kaitannya untuk kepentingan biota laut serta asal-usul senyawa PAH di Teluk Jakarta. Hasilnya diharapkan dapat memberikan informasi dan masukan kepada pihak yang berkepentingan dalam rangka pengelolaan perairan Teluk Jakarta secara berkesinambungan.

Materi dan Metode

Penelitian ini dilakukan di Teluk Jakarta pada bulan Maret 2011. Contoh air laut dan sedimen masing-masing diambil dengan ember stainless steel dan grab sedimen pada 15 stasiun penelitian yang berada di daerah muara. Penetapan posisi stasiun dilakukan dengan GPS, mengacu pada letak stasiun penelitian PAH pada tahun 2003 (Razak, 2003). Contoh air laut permukaan sebanyak 2 liter, dimasukkan ke dalam botol kaca, disimpan dan diawetkan dalam ice box pada suhu 4°C. Di laboratorium, contoh disaring dengan kertas saring GFC (glass fiber type C) ukuran 0,45 mikron. Filtrat yang diperoleh dimasukkan ke dalam corong pemisah untuk diekstrak dengan hexan p.a. dengan ulangan tiga kali masing-masing dengan volume 100, 50, dan 5 ml. Selanjutnya filtrat dibersihkan dengan alumina Sigma WB 5 Basic dan pemisahan fraksi non polar (F1) dan polar (F2) dengan silica Merck 7754.

Contoh sedimen dimasukkan ke dalam botol kaca (yang sebelumnya dicuci dengan deterjen teepol dan dikeringkan pada suhu 200°C), kemudian disimpan dan diawetkan dalam ice box pada suhu 4°C. Di laboratorium, contoh lumpur dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 24 jam, selanjutnya diekstraksi dengan diklormetan selama 8 jam. Hasil ekstraksi dicuci dengan bubuk alumina Sigma WB 5 Basic yang dilakukan dengan melewati campuran 4% dietil eter dan n-hexan.

Kadar PAH dalam air laut dan sedimen diukur dengan kromatografi gas (*Gas Chromatography-Flame Ionization Detector*) merek Hewlett Packard (HP) 5890



Gambar 1. Lokasi stasiun penelitian tempat pengambilan contoh air dan sedimen di Teluk Jakarta.

seri II yang dilengkapi dengan kolom kapiler (HPI). Panjang kolom 12 meter dan diameter 0,2 mm dan tebal film 0,33 μm . Hasil pengukuran dinyatakan dalam ppb untuk air dan ppm untuk sedimen. Metode yang digunakan untuk analisis air laut dan sedimen mengacu pada Falahudin *et al.* (2011).

Sumber asal PAH di telusuri dengan menggunakan metode diagnose rasio (Yunker *et al.* 2002). Ada beberapa rasio senyawa PAH yang digunakan yaitu rasio fenantrena/antrasena (D-1), fluorantena/pirena (D-2), indeno(123-cd)pirena/(indeno (123-cd)pirena+ benzo(ghi)pirilena) (D-3), fluorantena/(fluorantena+ pirena) (D-4) , benzo(a)pirena / (benzo(a)pirena + krisena) (D-5), antrasena / (antrasena + fenantrena) (D-6), antrasena/178 (D-7) dan benzo(a)antrasena/228 (D-8) (Tabel 1). Data dianalisis secara diskriptif analitis dengan membandingkan dengan hasil penelitian yang lain dan baku mutu air laut dan sedimen.

Hasil dan Pembahasan

Air laut

Hasil pengukuran kadar Total PAH dalam air laut di Teluk Jakarta disajikan pada Tabel 2. Dari tabel tersebut dapat dilihat untuk kawasan barat (St 1, 2, 3

barat (St 1, 2, 3 dan 4) kadar PAH berkisar antara 201.57-474.68 ppb dengan total kadar 1404,68 ppb. Kadar tertinggi dijumpai di Stasiun 2 dan terendah di Stasiun 3. Untuk kawasan tengah (St 5, 6, 7, 8) kadar PAH berkisar antara 104.61-337.07 ppb dengan total kadar 825,63 ppb. Kadar tertinggi dijumpai di Stasiun 6 dan terendah di Stasiun 5. Untuk kawasan timur (St 9, 10, 11 dan 12) kadar PAH berkisar 112.91-370.19 ppb dengan total kadar 806,73 ppb. Kadar tertinggi dijumpai di Stasiun 11 dan terendah di Stasiun 9. Berdasarkan data di atas terlihat bahwa Stasiun 2 (kawasan barat), Stasiun 6 (kawasan tengah), dan Stasiun 11 (kawasan timur) lebih banyak menerima masukan limbah mengandung PAH, dibandingkan stasiun lain. Berdasarkan kawasan, maka kawasan barat mempunyai kadar total PAH tertinggi dibandingkan dengan tengah dan timur. Tingginya kandungan PAH di kawasan barat ini, menunjukkan bahwa stasiun-stasiun yang berada di kawasan barat lebih banyak menerima masukan limbah PAH baik yang berasal dari aktivitas di darat, maupun di laut.

Kadar PAH hasil penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan Nilai Ambang Batas (NAB) yang ditetapkan oleh KMNLH (2004) untuk biota Laut yakni 3 ppb. Demikian juga bila dibandingkan dengan perairan Teluk Klabat (Bangka Belitung) yang kadar

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	>5	>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

Tabel 2. Kadar Total PAH (ppb) dalam Air Laut di Teluk Jakarta pada Bulan Maret 2011

Stasiun	Wilayah Sekitar Muara				
	Barat	Stasiun	Tengah	Stasiun	Timur
1	377,99	5	104,61	9	112,91
2	474,68	6	337,07	10	138,71
3	201,57	7	169,78	11	370,79
4	350,52	8	214,17	12	184,32
Minimum	201,57	Minimum	104,61	Minimum	112,91
Maksimum	474,68	Maksimum	337,07	Maksimum	370,79

total PAH nya berkisar antara 0,375-44,486 ppb dengan rerata 7,468 ppb pada bulan Maret 2006, antara 1,329-27,826 ppb dengan rerata 15,2 ppb pada bulan Juli (Munawir, 2008). Agustine (2008) dalam penelitiannya mendapatkan kadar total 7 jenis PAH di perairan Kamal, Teluk Jakarta berkisar 0,0181-1,1551 µg/l dengan rerata 0,634 µg/l (1 µg = 10⁶ pg). Falahudin et al., (2011) menjumpai kadar PAH di Laut Timor berkisar antara 54,46-213,70 ppb dengan rerata 99,75 ppb. Nevenka et al. (2007) di Teluk Rijeka, Laut Adriatik menemukan kadar total 10 jenis PAH berkisar ttd-305 ng/l. Data hasil penelitian menunjukkan bahwa Teluk Jakarta khususnya wilayah di sekitar muara telah tercemar oleh PAH. Keadaan ini dapat membahayakan kehidupan biota di perairan ini, mengingat kadar PAH sebesar 0,1-0,5 ppm sudah dapat menyebabkan keracunan semua larva biota perairan (Munawir, 2007).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk kawasan barat kadar PAH tertinggi dijumpai di Stasiun 2 yakni 474,68 ppb dengan jenis PAH sebanyak 11 (Tabel 2., Gambar 2.), selanjutnya diikuti Stasiun 1 sebesar 377,99 ppb dengan jenis PAH sebanyak 8, Stasiun 4 sebesar 350,52 ppb dengan jenis PAH sebanyak 14 jenis, dan Stasiun 3 sebesar 201,57 ppb dengan jumlah jenis PAH sebanyak 10 jenis.

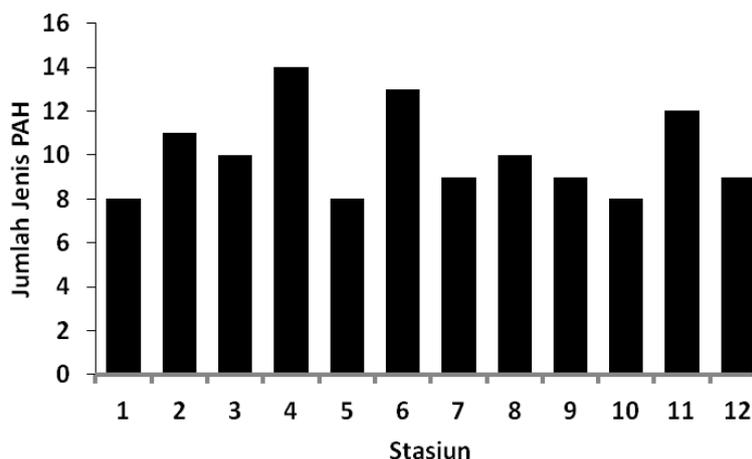
Berdasarkan kadar PAH maka Stasiun 2 lebih tercemar dibandingkan dengan stasiun yang lain, namun bila dilihat dari jumlah jenisnya PAH nya, maka stasiun 4 memiliki jumlah jenis PAH terbanyak

dibandingkan dengan yang lain.

Untuk kawasan tengah, kadar PAH tertinggi dijumpai di Stasiun 6 yakni 337,07 ppb (Tabel 2) dengan jumlah jenis PAH sebanyak 13 jenis (Gambar 2), selanjutnya berturut-turut diikuti oleh Stasiun 8 sebesar 214,17 ppb dengan jumlah jenis PAH sebanyak 10 jenis, Stasiun 7 sebesar 169,78 ppb dengan jumlah jenis PAH sebanyak 9 jenis, dan Stasiun 5 sebesar 104,61 ppb dengan jumlah jenis PAH sebanyak 8 jenis. Data ini menunjukkan bahwa Stasiun 6 baik berdasarkan kadar PAHnya maupun jumlah jenis memiliki tingkat pencemaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun lain.

Untuk kawasan timur, kadar PAH tertinggi dijumpai di Stasiun 11 yakni 370,79 ppb (Tabel 2) dengan jenis PAH sebanyak 12 jenis (Gambar 2), selanjutnya diikuti berturut-turut oleh Stasiun 12 sebesar 184,32 ppb dengan jenis PAH 9 jenis, Stasiun 10 sebesar 138,71 ppb dengan 8 jenis PAH dan Stasiun 9 sebesar 112,91 ppb dengan 9 jenis PAH. Data menunjukkan bahwa Stasiun 11 kadar maupun jenis PAH nya memiliki tingkat pencemaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun lain.

Secara keseluruhan di ketiga kawasan tersebut kadar PAH tertinggi (>300 ppb) dijumpai di Stasiun 2 yakni 474,68 ppb, Stasiun 1 yakni 377,99 ppb, Stasiun 11 yakni 370,79 ppb dan Stasiun 4 yakni 350,52 ppb), sedangkan jenis terbanyak (>10 jenis) dijumpai di Stasiun 4 (14 jenis), Stasiun 6 (13 jenis), Stasiun 11 (12 jenis), dan Stasiun 2 (11 jenis).



Gambar 2. Jumlah Jenis PAH di air laut Teluk Jakarta. Stasiun 1-4 (Barat), 5-8 (Tengah), 9-12 (Timur).

Adanya perbedaan kadar PAH di setiap stasiun disebabkan oleh pengaruh arus. Arah dan kecepatan arus yang selalu berubah menyebabkan pola penyebaran PAH tidak merata di permukaan laut. PAH dalam air laut dapat berbentuk terlarut ataupun partikel di kolom perairan. Kondisi ini memungkinkan PAH untuk memiliki mobilisasi tinggi dan bisa terbawa ke tempat lain oleh arus (Agustine, 2008).

Tingginya kadar PAH di perairan Teluk Jakarta ini akan memberikan dampak negatif terhadap biota laut. PAH akan terakumulasi dalam jaringan tubuh organisme laut. Agustine (2008) mendapatkan kadar rerata PAH dalam kerang hijau yang berukuran 1,0-1,5 cm di Teluk Jakarta sebesar 167,253 ppb. Achayani (2011) mendapatkan kadar PAH dalam tubuh ikan Nomei (*Horpodon nehereus*) di Perairan Tarakan berkisar antara 1.582-2.747 ng/g, dan Lukitaningsih dan Ari (2010) mendapatkan kadar PAH dalam tubuh ikan yang berasal dari laut selatan daerah Baron Yogyakarta yakni ikan petek (*Chrorinomus lyson*) berkisar antara 0,9-310,9 ng/g, dan ikan Kuniran (*Upeneus moluccensis*) berkisar antara 1,9-1072,5 ng/g. Bila kerang dan ikan ini dimakan oleh manusia, maka PAH akan terakumulasi dalam tubuh manusia, dan sampai pada batas tertentu dapat menimbulkan gangguan terhadap kesehatan manusia.

Penyebab tingginya kadar PAH ini adalah limbah yang berasal dari berbagai macam kegiatan yang terdapat di sekitar Jabodetabek. Limbah ini masuk ke Teluk Jakarta melalui 13 aliran sungai yang bermuara ke Teluk Jakarta, di samping limbah yang berasal dari aktivitas perkapalan yang banyak terdapat di Teluk Jakarta. Menurut Malik (2006), jumlah sampah yang masuk ke Teluk Jakarta

mencapai 144 ton per hari.

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.*, 2009). Molekul PAH dengan bobot molekul besar (PAH > 3 cincin benzene) biasanya berasal dari pembakaran tidak sempurna (pirogenik) sedangkan PAH dengan bobot molekul kecil (PAH dengan 2-3 cincin benzene) sangat dominan dalam produk petroleum (petrogenik) (Apeti *et al.*, 2010). Penelusuran sumber asal senyawa PAH dalam sedimen dapat dilakukan dengan metode diagnosa rasio. Metode diagnosa rasio dilakukan karena adanya perbedaan stabilitas termodinamika setiap senyawa PAH (Dominguez *et al.*, 2010).

Kandungan dan jenis PAH di suatu perairan sangat tergantung dari sumber asal PAH tersebut. Hasil diagnosis rasio konsentrasi individu PAH (Tabel 2) menunjukkan bahwa sumber PAH di Teluk Jakarta ini berasal dari berbagai sumber, antara lain dari minyak bumi, pembakaran minyak bumi, pembakaran bahan organik, campuran minyak dan pembakaran bahan organik. Rasio ini akan berbeda untuk setiap stasiun penelitian. Stasiun 4 memiliki jumlah jenis PAH terbanyak dibandingkan dengan stasiun lain. Diperkirakan stasiun 4 memiliki volume limbah minyak bumi, bahan organik, dan campuran (minyak bumi dan bahan organik) yang lebih tinggi dibandingkan stasiun lain. Kiranya hal inilah yang dapat menjelaskan adanya perbedaan jumlah jenis PAH di setiap stasiun, namun untuk memastikannya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dan mendalam.

Hasil analisa diagnosa rasio sumber pencemaran PAH dalam air laut disajikan dalam Tabel 3. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa nilai D1 berkisar antara 0,87-2,62 dengan rerata 1,489. Nilai ini < 10, yang berarti bahwa PAH yang terdapat di stasiun-stasiun tersebut berasal dari pembakaran bahan organik, Nilai D2 berkisar antara 0,050-1,517 dengan rerata 0,392. Nilai ini < 1, yang berarti bahwa senyawa PAH yang terdapat di stasiun-stasiun tersebut juga berasal dari minyak bumi.

Nilai D3 berkisar 0,077-1,0 dengan rerata 0,651. Nilai ini >0,5, yang menunjukkan sumber PAH berasal dari pembakaran bahan organik. Nilai D4 berkisar antara 0,048-0,602 dengan rerata 0,231. Nilai ini lebih rendah dari 0,4, yang berarti bahwa sumber PAH berasal dari minyak bumi. Nilai D5 berkisar antara 0,605-0,978 dengan rerata 0,711. Nilai ini berada dalam kisaran 0,6-0,9 yang berarti bahwa sumber PAH berasal dari minyak bumi. Nilai D6 berkisar antara 0,006-0,494 dengan rerata 0,196. Nilai ini >0,1 yang berarti bahwa senyawa PAH berasal dari pembakaran minyak. Nilai D7 berkisar antara 0,005-0,010 dengan rerata 0,006. Nilai ini <0,1 yang berarti bahwa PAH berasal dari minyak bumi. Nilai D8 berkisar antara 0,007-0,266 dengan rerata 0,118. Nilai ini <0,2 yang berarti bahwa PAH berasal dari minyak bumi.

Hasil analisa rasio konsentrasi individu PAH dalam air laut menunjukkan bahwa PAH yang terdapat dalam air laut berasal dari berbagai sumber yakni minyak bumi, pembakaran minyak bumi, dan pembakaran bahan organik.

Sedimen

Hasil pengukuran kadar PAH dalam sedimen di Teluk Jakarta disajikan pada Tabel 4. Dari tabel tersebut dapat dilihat untuk kawasan barat (St 1, 2, 3, 4) kadar PAH berkisar antara 1.92-64.241 ppm dengan total kadar 107,931 ppm. Kadar tertinggi dijumpai di Stasiun 1 dan terendah di Stasiun 3. Untuk kawasan tengah (St 5, 6, 7, 8) kadar PAH berkisar antara 16.14-77,71 ppm dengan total kadar PAH 170,61 ppm. Kadar tertinggi dijumpai di stasiun 5 dan terendah di Stasiun 7. Untuk kawasan timur (Stasiun 9, 10, 11, 12) kadar PAH berkisar 8,72-115.39 ppm dengan rerata total kadar 252,25 ppm. Kadar tertinggi dijumpai di Stasiun 12 dan terendah di stasiun 10. Kadar PAH ini lebih tinggi dari nilai ambang batas untuk kehidupan biota dalam sedimen yakni 45 ppm (Simpson et al., 2005).

Data di atas menunjukkan bahwa Stasiun 1, 5, dan 12 memiliki tingkat pencemaran PAH lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun lain, dengan kata lain bahwa sedimen di ketiga stasiun tersebut lebih banyak mengakumulasi PAH dibandingkan dengan stasiun lain. Bila dilihat untuk setiap kawasan, maka kawasan timur memiliki kadar total PAH tertinggi selanjutnya diikuti oleh kawasan tengah dan barat. Hal ini menunjukkan bahwa kawasan timur lebih tercemar dibandingkan dengan kawasan lain. Tingginya akumulasi PAH di Stasiun 1, 5, dan 12, ada kaitannya dengan komposisi sedimen. Sedimen yang berupa lumpur dengan kandungan bahan organik yang tinggi akan menyerap PAH lebih banyak dibandingkan dengan sedimen dengan tekstur pasir.

Tabel 3. Diagnosis rasio konsentrasi individu PAH dalam Air Laut

St	D1 Phe/Ant	D2 Flu/pyr	D3 Indeno (123-cd)pyr/ Indeno(123-cd)pyr+benz(ghi)pyr	D4 Flu/(flu+pyr)	D5 Bens(a)py/ (Benz(a)pyr+cry)	D6 Ant/(Ant+Phe)	D7 Ant/178	D8 Benz(a)Ant/228
1		0,580	0,077	0,367	0,726			0,041
2		0,683	0,648	0,407	0,754			0,152
3		1,517	0,643	0,602	0,698	0,010	0,010	0,171
4	0,87	0,170	0,709	0,145	0,981	0,006	0,006	0,266
5		0,241	1	0,194	0,634			0,033
6	0,979	0,122	0,697	0,109	0,670	0,494	0,005	0,236
7		0,093	0,628	0,146	0,621			0,077
8		0,050	0,625	0,048	0,605			0,113
9			0,626		0,627			0,007
10			0,619		0,618			0,068
11	2,62	0,072	0,924	0,067	0,978	0,275	0,005	0,192
12			0,627		0,628			0,068
-	1,489	0,392	0,651	0,231	0,711	0,196	0,006	0,118
X	(<10)	(<1)	>0,5	(<0,4)	(0,6-0,9)	(>0,1)	(<0,1)	(<0,2)

Tabel 4. Kadar PAH (ppm) dalam Sedimen di Teluk Jakarta pada Bulan Maret 2011

Wilayah Sekitar Muara					
Stasiun	Barat	Stasiun	Tengah	Stasiun	Timur
1	64.241	5	77.71	9	84.04
2	27.920	6	37.22	10	8.72
3	1.92	7	16.14	11	44.10
4	13.85	8	39.54	12	115.39
Minimum	1,92	Minimum	16,14	Minimum	8,72
Maksimum	64,241	Maksimum	77,71	Maksimum	115,39
Total	107,931	Total	170,61	Total	252,25

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), dimana semakin tinggi kandungan bahan organik semakin tinggi pula kandungan PAHnya. With (1995) menyatakan sedimen dengan kandungan bahan organik yang tinggi, mempunyai kandungan PAH yang tinggi pula. Diperkirakan Stasiun 1, 2, dan 5 memiliki kandungan bahan organik lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun lain. Namun, untuk memastikan hal ini perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

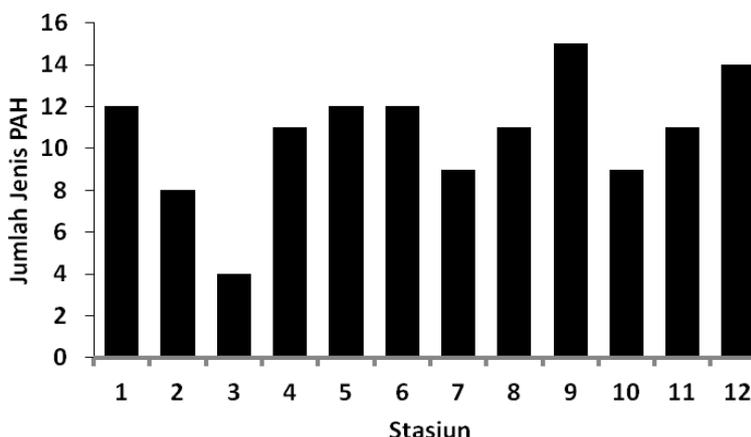
Kadar total PAH hasil penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan perairan Teluk Klabat (Bangka Belitung) yang kadar total PAH nya dalam sedimen berkisar antara 0,029-0,209 ppm dengan rerata 0,106 ppm pada bulan Maret 2006, antara 1,002-4,792 ppm dengan rerata 1,928 ppm pada bulan Juli 2006 (Munawir, 2008). Razak (1997) melaporkan kadar total PAH dalam sedimen di perairan Siak (Riau) berkisar antara 0,013-1,309 ppm. Denton *et al.* (2006) menemukan kadar total PAH dalam sedimen di Apra Harbour dan Agat Marina (Perairan Guam) masing-masing berkisar antara ttd-10,70 ppm dan antara ttd-0,06 ppm. Lubecki *et al.* (2010) menemukan kadar total dari 12 jenis PAH di perairan Teluk Gdansk (Laut Baltik) berkisar antara 0,011-2,89 ppm. Selanjutnya Falahudin *et al.* (2011) menjumpai kadar PAH dalam sedimen di Laut Timor berkisar antara 24,50-26,63 ppm dengan rerata 24,06 ppm. Kadar tersebut lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian di Teluk Jakarta ini. Seperti dalam air laut, kadar PAH yang tinggi dalam sedimen menunjukkan adanya akumulasi PAH dalam sedimen. PAH ini selanjutnya akan terakumulasi dalam tubuh biota yang hidup dan mencari makan di dasar perairan (jenis kekerangan). Bila biota ini dimakan oleh manusia akan menimbulkan gangguan terhadap kesehatan. Adanya akumulasi PAH dalam sedimen ini menyebabkan

Adanya akumulasi PAH dalam sedimen ini menyebabkan tingginya kadar PAH. PAH ini berasal dari kegiatan manusia yang ada di Jabodetabek. CCMRS-IPB (2010) menyatakan sumber pencemaran utama di Teluk Jakarta adalah industri. Supadyo (2005) melaporkan salah satu penyebab pencemaran minyak bumi di Teluk Jakarta adalah kapal-kapal tanker yang sering membuang minyak dan oli.

Kadar dan jenis PAH untuk setiap stasiun penelitian disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 3. Dari Tabel 4 dapat dilihat untuk kawasan barat kadar PAH tertinggi dijumpai di Stasiun 1 yakni 64,241 ppm, berturut-turut diikuti oleh Stasiun 2, 4 dan 3, yang kadar PAH nya berturut-turut adalah 27,92 ppm, 13,85 ppm dan 1,92 ppm. Data ini menunjukkan bahwa sedimen di Stasiun 1 lebih banyak mengakumulasi senyawa PAH dibandingkan dengan stasiun lain, sedangkan untuk jenis PAH, jenis terbanyak dijumpai di Stasiun 1 yakni 12 jenis, Stasiun 4 sebanyak 11 jenis, Stasiun 2 sebanyak 8 jenis dan Stasiun 3 sebanyak 4 jenis.

Untuk kawasan tengah, kadar PAH tertinggi dijumpai di Stasiun 5 yakni 77,71 ppm, selanjutnya berturut-turut di Stasiun 8 sebesar 39,54 ppm, Stasiun 6 sebesar 37,22 ppm, dan Stasiun 7 sebesar 16,14 ppm (Tabel 4). Data menunjukkan bahwa sedimen di Stasiun 5 lebih banyak mengakumulasi senyawa PAH dibandingkan yang lain, sedangkan berdasarkan jenis PAH, jenis PAH terbanyak dijumpai di stasiun 5 sebanyak 12 jenis, Stasiun 13 sebanyak 6 jenis, Stasiun 8 sebanyak 11 jenis dan Stasiun 7 sebanyak 9 jenis (Gambar 3).

Untuk kawasan timur, kadar PAH tertinggi di stasiun 12 yakni 115,39 ppm, selanjutnya berturut-turut diikuti oleh stasiun 9 sebesar 84,04 ppm, Stasiun 11 sebesar 44,10 ppm dan stasiun 10 sebesar 8,72 ppm (Tabel 4). Data ini menunjukkan bahwa sedimen di Stasiun 12 lebih banyak mengakumulasi senyawa PAH dibandingkan yang lain,



Gambar 3. Jumlah jenis PAH di sedimen Teluk Jakarta. Stasiun 1-4 (Barat), 5-8 (Tengah), 9-12 (Timur)

sedangkan berdasarkan jenis PAH, terbanyak dijumpai di stasiun 9 sebanyak 15 jenis, Stasiun 12 sebanyak 14 jenis, Stasiun 11 sebanyak 11 jenis, dan Stasiun 10 sebanyak 9 jenis (Gambar 3). Secara keseluruhan di ketiga kawasan tersebut, kadar PAH tertinggi (>50 ppm) dijumpai di Stasiun 12 sebesar 115,39 ppm, selanjutnya Stasiun 9 sebesar 84,04 ppm, Stasiun 1 sebesar 64,241 ppm, sedangkan untuk jenis PAH tertinggi (>10 jenis) dijumpai di Stasiun 9 yakni 15 jenis, Stasiun 12 sebanyak 14 jenis, Stasiun 1, 5, 6 masing-masing 12 jenis, Stasiun 4, 8, 11 masing-masing 11 jenis.

Berdasarkan uraian di atas terlihat bahwa secara keseluruhan kadar PAH air laut di wilayah muara Teluk Jakarta telah melewati nilai ambang batas yang ditetapkan oleh KMNLH (2004) untuk kepentingan biota laut yakni 0,003 ppm atau 3 ppb, hal yang sama juga dijumpai untuk sedimen, kadar PAH dalam sedimen yang dapat menimbulkan efek negatif terhadap biota laut adalah 45 ppm (Simpson *et al.*, 2005). 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) bersifat mutagenik (Vondraček *et al.*, 2001) dengan aktivitas mutagenik utama berhubungan dengan benzo (a) pyrene (Marvin *et al.*, 2000).

Hasil analisa diagnosa rasio sumber pencemaran PAH dalam air laut disajikan dalam Tabel 5. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa nilai D1 yakni perbandingan antara Phenantren/Antrasen di Stasiun 1, 2, 3, 4, dan 5 berkisar antara 0,92-16,5 dengan rerata 4,201. Nilai ini <10, yang berarti bahwa PAH yang terdapat di stasiun-stasiun tersebut berasal dari pembakaran bahan organik, Nilai D2

berkisar antara 0,048-0,241 dengan rerata 0,090. Nilai ini <1, yang berarti bahwa senyawa PAH yang terdapat di stasiun-stasiun tersebut juga berasal dari minyak bumi. Nilai D3 berkisar antara 0,603-0,627 dengan rerata 0,625. Nilai ini >0,5, menunjukkan sumber PAH berasal dari pembakaran bahan organik. Nilai D4 berkisar antara 0,046-0,194 dengan rerata 0,080. Nilai ini lebih rendah dari 0,4, yang berarti bahwa sumber PAH berasal dari minyak bumi. Nilai D5 berkisar antara 0,618-0,976 dengan rerata 0,750. Nilai ini berada dalam kisaran 0,6-0,9 yang berarti bahwa sumber PAH berasal dari minyak bumi. Nilai D6 berkisar antara 0,057-0,607 dengan rerata 0,367. Nilai ini >0,1 yang berarti bahwa senyawa PAH berasal dari pembakaran minyak. Nilai D7 berkisar antara 0,0002-0,0019 dengan rerata 0,0009. Nilai ini <0,1 yang berarti bahwa PAH berasal dari minyak bumi. Nilai D8 berkisar antara 0,0042-0,0835 dengan rerata 0,024. Nilai ini <0,2 yang menunjukkan bahwa PAH berasal dari minyak bumi.

Seperti halnya PAH dalam air laut, berdasarkan hasil analisa ratio, sumber senyawa PAH yang terdapat dalam sedimen di Teluk Jakarta juga berasal dari berbagai sumber yakni pembakaran bahan organik (D1), minyak bumi (D2), pembakaran bahan organik (D3), minyak bumi (D4), minyak bumi (D5), pembakaran minyak bumi (D6), minyak bumi (D7), dan minyak bumi (D8). Data ini menunjukkan bahwa sumber PAH dalam sedimen berasal dari 1) pembakaran bahan organik, 2) pembakaran minyak bumi, dan 3) tumpahan minyak.

Kesimpulan

Kadar PAH di Teluk Jakarta baik dalam air

Tabel 5. Diagnosis Rasio Konsentrasi Individu PAH dalam Sedimen

St	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
	Phe/Ant	Flu/pyr	Indeno (123-cd)pyr/ Indeno(123-cd)pyr+benz(ghi)pyr	Flu/(flu+pyr)	Bens(a)py/ (Benz(a)pyr+cry)	Ant/(Ant+Phe)	Ant/178	Benz(a)Ant/228
1	1,93	0,067	0,606	0,063	0,961	0,340	0,0008	0,024
2	-	-	0,623	-	0,628	-	-	0,010
3	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	0,11	0,615	0,100	0,627	0,312	0,0002	0,0049
5	2,2	0,059	0,627	0,056	0,978	0,607	0,0019	0,0417
6	2,41	0,049	0,621	0,046	0,606	0,292	0,0006	0,0163
7	-	-	0,682	-	0,627	-	-	0,0065
8	-	0,241	0,614	0,194	0,620	-	0,0010	0,0138
9	16,5	0,06	0,627	0,057	0,976	0,057	0,0005	0,0603
10	1,25	-	-	-	0,618	0,444	0,0004	0,0042
11	-	-	0,631	-	0,639	-	-	0,0176
12	0,92	0,048	0,603	0,046	0,98	0,52	0,0021	0,0835
-	4,201	0,090	0,624	0,080	0,750	0,367	0,0009	0,024
X	(<10)	(<1)	>0,5	(<0,4)	(0,6-0,9)	(>0,1)	(<0,1)	(<0,2)

laut maupun sedimen relatif tinggi. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa perairan Teluk Jakarta telah tercemar oleh senyawa PAH. PAH yang terdapat dalam air laut dan sedimen di Teluk Jakarta Berasal dari berbagai sumber yakni minyak bumi, pembakaran minyak bumi, dan pembakaran senyawa organik.

Daftar Pustaka

Acosta, A., C. Bartels, J. Colvocoresses, & M.F.D. Greenwood. 2007. Fish Assemblages in Seagrass Habitats of The Florida Keys, Florida: Spatial and Temporal Characteristics. *Bull. Mar. Sci.*, 81(1): 1-19.

Achyani, Ratno. 2011. Karakteristik Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) di Air Laut dan Sedimen serta Akumulasinya pada Tubuh Ikan Nomei (*Horpodon nehereus*) di Perairan Tarakan. Thesis, PPS IPB, Bogor, 110 hal.

Agustine, Diana. 2008. Akumulasi Hidrokarbon Aromatik Polisiklik (PAH) daam Kerang Hijau (*Verna Viridis* L) di Perairan Kamal Muara, Teluk Jakarta. Skripsi: FPIK IPB 115 hal.

Anonimous. 2009. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) in Food. Toxicology Factsheet Series. Food Savety Authority Ireland. Issue No1. 9 p

Anonimous. 2010. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon. Canadian Soil Quality Guidelines for Protection of Environmental and Human Health. 19 p

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. *Mar. Poll. Bull.*, 60(5):732-42.

Catsiki, V.A, I. Hatzianestis & F. Rigas. 2003. Distribution of metal and organic contaminants in mussel from Thermoikos gulf. *Global Nest: The Int.J.* 5(3): 119-126.

CCMRS-IPB. 2010. Jakarta Megapolitan atau Otorita. Artikel, PKSPL-IPB

Chen S.G & P.A. White. 2004. The mutagenic hazards of aquatic sediments: a review. *Mutat. Res.* 567: 151-225

Culoota, L., Cencetta De Stefano., Antonio Gianguzza Maria Rosaria Mannino & Santino Groecchia. 2006. The PAH Composition of Surface Sediments from Stagnone coastal Lagoon, Marsala (Italy). *Mar. Chem.* 99: 117-127

Denton, W. R. G., Lucrina P. Concepcion., H.R. Wood., & R.J. Morrison. 2006. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Small Island Cosatal Environment: A Case Study from Harbour in Guam, Micronesia. *Mar.Poll Bull.* 52:1090-1117

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. *Arch Environ Contam Toxicol.* 59(1):49-61,

Falahuddin, D & Khosannah M. 2011. Pengukuran dan Identifikasi Sumber Asal Senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) dalam kerang Hijau *Perna viridis* sp dari pasar Cilincing. *Oseanol. dan Limnol. Indonesia* 37(2): 295-307

- Falahuddin, D., Zainal, A., & T. Wagey. 2011. Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) and Heavy Metals in Coastal Waters of Timor Sea. ATSEA. Cruise Report, UNP. VII-1-VII-14
- Hugget, R. J., M.E. Bender & M.A. Unger. 1987. Polynuclear aromatic hydrocarbons in the Elizabeth River, Virginia. In: Dickson, K.K., A.W. Maki & W.A. Brungs (Eds.). Fate and effects of sediment-bound chemicals in aquatic systems. Pergamon Press, New York. Pp. 327-341
- Hung, Chang-Chin., Gwo-Ching Gong., Fung-Chi Ko., Hung-Jen Lee., Hung-Yu Chen., Jian-Ming Wua., Min-Lan Hsu., Sen-Chueh Peng., Fan-Hua Nan. & Peter H. Santschi. 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of the East China Sea and their relationship with carbonaceous materials. *Mar. Poll. Bull.* 63: 464-470
- Helton, D. A. Moles, J. Short & J. Rice. 2004. Result of the M/V Kuroshima oil spill shellfish tissue report 1999, 2000 and 2004. NOAA, United States of America.
- KMNLH. 2004. Keputusan Menteri Negara Dan Lingkungan Hidup No.51 Tentang Baku Mutu Air Laut untuk Kehidupan Biota Laut." 11 hal
- Lah, Katarina. 2011. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. <http://toxipedia.org/display/toxipedia/Polycyclic+Aromatic+Hydrocarbon> s. Rabu 12 September 2012
- Llobet, J.M, G. Falco, A. Rocio & J.L Domingo. 2006. Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons through consumption of edible marine species in Catalonia, Spain. *J.Food Protection.* 69(10):2493-2499.
- Lubecki., Ludwick. & Grazina Kowalewska. 2010. Distribution and fate of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) in Recent Sediments from the Gulf of Gdansk (SE Baltic). *Oceanologia* 52(4): 609-703
- Lukitaningsih E & Ari S. 2010. Bioakumulasi Senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon dalam Plankton, Ganggang, dan Ikan. Di Perairan Laut Selatan. *M. Farmasi Indon.* 21: 18-26
- Malik, I. 2006. Berapa Jumlah Sampah di Teluk Jakarta. Seminar Pencemaran Laut di Kepulauan Seribu. Oseanografi. wordpress.com/2007/01/04/. Kamis 3 Mei 2012.
- Marvin H.C., S. Mehta., D. Lin., B.E. Carry., & D.W. Bryant. 2000. Relative genetoxicities of PAH of molecular weight 252 amu in coal tar contaminated sediment policy. *Polycycl Aromat Compd*, 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.
- Munawir, K. 2007. Kadar Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) dalam Air, Sedimen dan Sampel Biota di Peraira Teluk Klabat Bangka. *Oseanol. Limnol. Indonesia* 33:441-453
- Navenka, B., F. Maya., & P. Vanda. 2007. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Ecotoxicology Characterization of Seawater, Sediment, and Mytilus galloprovincialis from the Gulf of Rijeka, the Adriatic Sea, Croatia. *Arch. Environ. Contamination Toxicol.* 52(3): 379-387
- Razak, H. 1997. Poliaromatik Hidrokarbon (PAH) di Perairan Sungai Siak-Riau. Dalam: Hendrarto, B; S.A. Hoedoyo and S.B. Prayitno (ed.) Pros. Seminar Nasional Wilayah Pantai: Aspek manajemen dan Dinamika Biogeofisik. FPIK, UNDIP, Semarang. Hal. 462-474
- 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. Centre Environment Contamination Research. Csiro Bangor-NSW
- Uthe, J.F. 1991. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in The Environment. Marine Chemistry Division, Departement of Fisher and Ocean. Halifax. *Canadian Chemisal News:* 25-27
- 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. *Environ Toxicol Chem*, 20: 1499-1506
- With, G. 1995. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water and Sediments of the Baltic Sea. *Mar. Poll. Bull.* 31: 237-248.
- 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. *Org. Geochem.*, 33: 489-515.
- 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