

Senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) dalam air laut di Teluk Jakarta

Polycyclic aromatic hydrocarbons compounds (PAH) in seawater of Jakarta Bay

Edward

Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, Jakarta, Email: ekewe07@gmail.com

Abstract. *Research on polycyclic aromatic hydrocarbons (pah)s compound at Jakarta Bay seawater were carried out on July 2011. The objectives of this research were to measure the concentration of total polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) compound, concentration of individual PAH compound, and to identify sources of PAH compound in seawater. PAH compound concentration was measured by Gas Chromatography (Gas Chromatography-Flame Ionization Detector) and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons compound were identified by diagnostic ratio analysis. The results show that the concentration of PAH compound in the middle of Jakarta Bay was higher compared to the west and the east. In the west and middle of Jakarta Bay, it is found that 11 PAH types, and 10 types in the east. Individual PAH compound dominated by high molecular weight of PAH Benzo(a)Anthracene, Chrysene, Benzo(b)Fluoranthene, Benzo(a)Pyrene, dan Indeno(123-cd) Pyrene. The results of PAH compound ratio individual analysis showed that polycyclic aromatic hydrocarbons compound at Jakarta Bay seawater came from oil spill and incomplete combustion mixture of organic material such as wood, grass, fuel oil, and fuel industry combustion activity.*

Keywords : *Jakarta Bay; Seawater; PAHs; Sources; Identification; Measurement*

Abstrak. Penelitian kadar senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon (pah) dalam air laut di Teluk Jakarta telah dilakukan pada bulan Juli 2011. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur kadar total senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) dan mengidentifikasi sumber asal kontaminasi tersebut dalam air laut. Kadar senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon diukur dengan menggunakan alat kromatografi gas (Kromatografi Gas-Detektor Ionisasi Nyala) dan identifikasi sumber kontaminasi senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon dengan metode diagnosa rasio. Hasilnya menunjukkan bahwa kadar total senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon di bagian tengah Teluk Jakarta lebih tinggi dibandingkan dengan bagian barat dan timur. Di bagian barat dan tengah dijumpai masing-masing 11 jenis senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon, dan di bagian timur 10 jenis. Individu senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon didominasi oleh polisiklik aromatik hidrokarbon dengan berat molekul tinggi seperti Benzo(a)Anthracene, Chrysene, Benzo(b)Fluoranthene, Benzo(a)Pyrene, dan Indeno(123-cd) Pyrene. Hasil analisis diagnosa rasio individu senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon menunjukkan senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon di Teluk Jakarta berasal dari tumpahan minyak dan campuran dari proses pembakaran tidak sempurna bahan organik seperti kayu, rumput, bahan bakar minyak, dan aktivitas industri.

Kata kunci: Teluk Jakarta; Air Laut; PAH; Sumber; Identifikasi, Pengukuran

Pendahuluan

Teluk Jakarta terletak di sebelah utara Kota Jakarta, merupakan perairan dangkal dengan kedalaman rerata 15 m, dan luas teluk sekitar 514 km². Teluk ini merupakan muara bagi 13 sungai yang melintasi kawasan Metropolitan Jakarta dan sekitarnya (Jakarta-Bogor-Depok-Bekasi-Tangerang) yang berpenduduk sekitar 24 juta jiwa. Perkembangan Kawasan Metropolitan Jakarta selama setengah abad terakhir sangat pesat sehingga Teluk Jakarta menerima tekanan yang besar sebagai akibat dari aktivitas manusia, antara lain berupa pencemaran. Menurut data dari Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (Bapedalda, 2011) bahwa dalam 10 tahun terakhir Teluk Jakarta telah mengalami pencemaran yang melebihi ambang batas, sekurangnya 11 sungai 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 Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH).

Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (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 industri dan aktivitas manusia lainnya (FSAI, 2009; GFEA, 2012).

Polisiklik Aromatik Hidrokarbon adalah kelompok senyawa yang terdiri 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 (Culoota *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 (Nikolaou *et al.*, 2009). 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 bersifat racun bagi organisme perairan. Beberapa 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 tubuhnya. Falahuddin dan Khosannah (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. Untuk mengetahui dampak negatif PAH terhadap kualitas air laut di Teluk Jakarta, penelitian ini perlu dilakukan sehingga dampak negatif yang mungkin muncul dapat diantisipasi sedini mungkin.

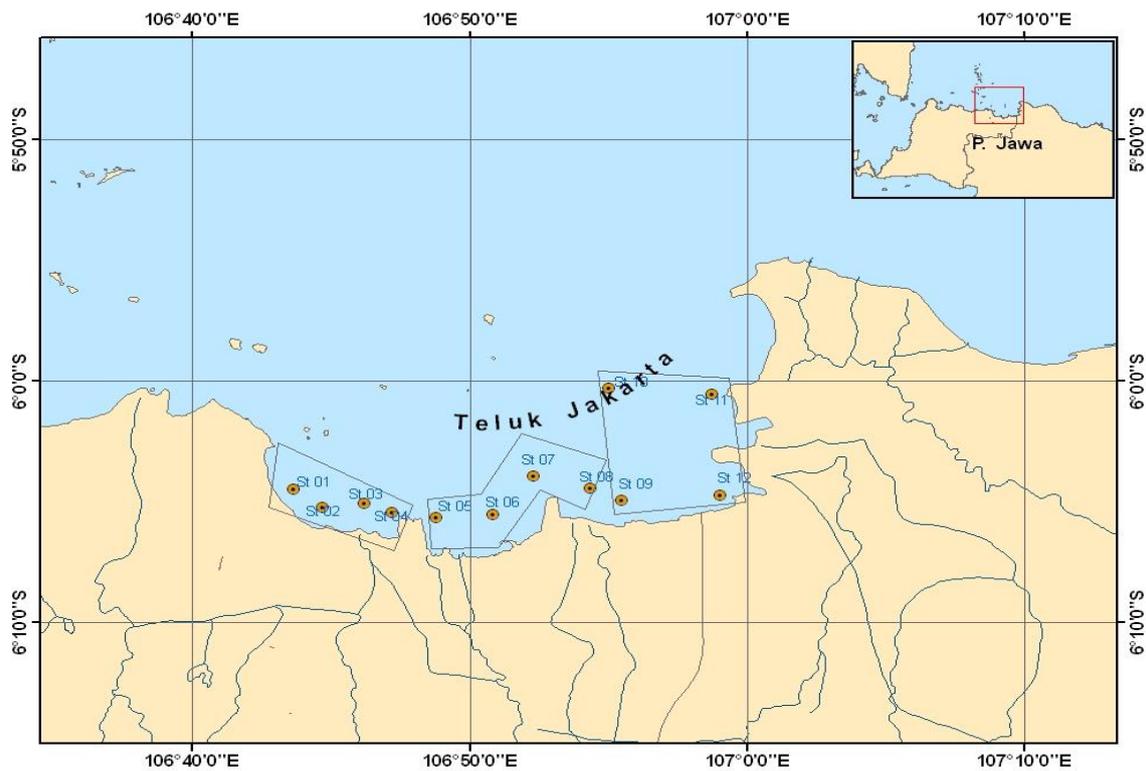
Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan mengidentifikasi kadar dan sumber asal senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon dalam air laut di Teluk Jakarta. Hasilnya diharapkan dapat memberikan informasi dan masukan kepada pihak yang berkepentingan dalam rangka pengelolaan perairan Teluk Jakarta secara berkesinambungan.

Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan di Teluk Jakarta pada bulan Juli 2011. Bulan ini dianggap mewakili musim panas (kemarau). Hasil analisis musim kemarau 2011 di DKI Jakarta menunjukkan bahwa secara umum awal musim kemarau 2011 di wilayah ini terjadi pada bulan Pebruari sampai dengan Juli. Penetapan posisi stasiun dilakukan dengan Global Position System (GPS). Stasiun dikelompokkan atas tiga kawasan yakni kawasan barat (Stasiun 1, 2, 3, dan 4), kawasan tengah (Stasiun 5, 6, 7, dan 8), dan kawasan timur (Stasiun 9, 10, 11, dan 12) (Gambar 1). Contoh air laut permukaan sebanyak 2 liter diambil dengan menggunakan *water sampler*, kemudian dimasukkan ke dalam botol kaca dan diawetkan dalam *ice box* pada suhu 4 °C.

Setiba di laboratorium, contoh air laut disaring dengan kertas saring GFC (*Glass Fiber Type C*) ukuran 0,45 mikron. Filtrat yang dihasilkan diekstrak dalam corong pisah dengan hexan pro analisa sebanyak tiga kali masing-masing dengan volume 100, 50, dan 5 ml. Selanjutnya filtrat dibersihkan dengan alumina *type WB 5 basic Sigma* dan dilakukan pemisahan fraksi non polar (F1) dan polar (F2) dengan silica *Merck 7754*. Kadar PAH diukur dengan alat kromatografi gas (*GC-FID Hewlet Packard* (HP) 5890 seri II. Hasil pengukuran dinyatakan dalam ppb.

Sumber asal senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) di telusuri dengan menggunakan metode diagnose rasio (Yunker *et al.*, 2002; Tabel 1). Metode diagnosa rasio dilakukan karena adanya perbedaan stabilitas termodinamika setiap senyawa PAH (Dominguez *et al.*, 2010). Ada beberapa rasio senyawa PAH yang digunakan (Tabel 1) yaitu rasio fenantrena/antrasena (D-1), fluorantena/pirena (D-2), indeno (123-cd)pirena/(indeno(123-cd)pirena+benzo(ghi)perilena)(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). Data dianalisis secara diskriptif analitis dengan membandingkan dengan hasil penelitian yang lain dan baku mutu air laut untuk biota laut.



Gambar 1. Peta Teluk Jakarta yang menunjukkan lokasi sampling.
 (St01 sampai dengan St12 adalah lokasi sampling)

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

Sumber Pencemar	Nilai Rasio							
	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8
Minyak	>10	<1	<0.2	<0.4	0,6-0,9	<0,1	<0,1	<0,2
Pembakaran minyak	-	-	0,2-0,5	0,4-0,5		>0,1	-	-
Pembakaran bahan organik	<10	>1	>0,5	>0,5	<0,2	0,1	>0,1	>0,35
Campuran minyak dan pembakaran bahan organik	-	-	-	-	0,4-0,6	0,1	-	0,2-0,35

Hasil dan Pembahasan PAH dalam air laut

Hasil pengukuran kadar senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) dalam air laut pada bulan Juli 2011 disajikan pada Tabel 2. Tabel 2 tersebut memperlihatkan untuk kawasan barat (St 1, 2, 3 dan 4) kadar PAH berkisar 111,337-279,266 ppb dengan kadar total dan rerata masing-masing adalah 733,126 ppb dan 183,281 ppb. Kadar tertinggi dijumpai di Stasiun 4 dan terendah di Stasiun 3. Untuk kawasan tengah (St 5, 6, 7, 8) kadar PAH berkisar antara 236,277-365,666 ppb dengan kadar total dan rerata masing-masing adalah 1188,401 ppb dan 297,100 ppb. Kadar tertinggi dijumpai di Stasiun 7 dan terendah di Stasiun 5. Untuk kawasan timur (St 9, 10, 11, 12) kadar PAH berkisar 48,413-263,182 ppb dengan kadar total dan rerata masing-masing adalah 673,982 ppb dan 168,495 ppb. Kadar tertinggi dijumpai di Stasiun 10 dan terendah di Stasiun 11.

Tabel 2. Kadar Total PAH dalam Air Laut di Teluk Jakarta, Juli 2011

Kawasan					
St	Barat	St	Tengah	St	Timur
	Kadar, ppb		Kadar, ppb		Kadar, ppb
1	143,771	5	236,276	9	209,074
2	198,753	6	345,367	10	263,182
3	111,337	7	365,666	11	48,413
4	271,075	8	241,093	12	153,313
Min	111,337	Min	236,277	Min	48,413
Mak	271,075	Mak	365,666	Mak	263,182
Total	724,938	Total	1188,401	Total	673,982
Rerata	181,234	Rerata	297,100	Rerata	168,495
NAB			3 ppb		

Data yang disajikan pada Tabel 2 menunjukkan kawasan tengah lebih banyak menerima masukan limbah yang mengandung senyawa PAH. Secara keseluruhan kadar PAH pada bulan Juli untuk semua stasiun (Stasiun 1-12) berkisar 48,413-365,666 ppb dengan rerata 216,292 ppb. Kadar ini lebih rendah bila dibandingkan dengan bulan Maret 2011, Edward (2011) mendapatkan kadar PAH pada bulan Maret 2011 (Stasiun 1-12) berkisar antara 104,61-474,68 ppb dengan rerata 253,09 ppb. Hal ini menunjukkan bahwa bulan Juli lebih bersih dari kontaminasi PAH dibandingkan bulan Maret.

Kadar PAH hasil penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan Nilai Ambang Batas (NAB) yang ditetapkan oleh Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup (KMNLIH) No 51 Tahun 2004 untuk biota Laut yakni 3 ppb. Demikian juga bila dibandingkan dengan perairan Teluk Klabat (Bangka Belitung) yang kadar 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 2006 (Munawir, 2007). Teluk Klabat merupakan areal penambangan pasir timah, dimana banyak dijumpai kapal keruk, yang membuang limbah minyak ke perairan laut. Agustine (2008) dalam penelitiannya mendapatkan kadar total 7 jenis PAH di perairan Kamal, berkisar 0,0181-1,1551 $\mu\text{g/l}$ dengan rerata 0,634 $\mu\text{g/l}$ ($1 \mu\text{g} = 10^6 \text{ ng}$). Falahudin et al., (2011) dalam penelitian pada bulan Mei 2010, menjumpai kadar PAH di Laut Timor berkisar 54,46-213,70 ppb dengan rerata 99,75 ppb (setelah meledaknya tambang minyak Montara, perairan Australia, Agustus 2009). Navenka et al., (2007) di Teluk Rijeka, Laut Adriatik menemukan kadar total dari 10 jenis PAH berkisar ttd-305 ng/l.

Data di atas menunjukkan bahwa perairan ini telah tercemar oleh PAH. Keadaan ini dapat membahayakan kehidupan biota laut, mengingat kadar PAH sebesar 0,1-0,5 ppm sudah dapat menyebabkan keracunan semua larva biota perairan (Munawir, 2007). Adanya perbedaan kadar PAH di setiap stasiun penelitian disebabkan oleh pengaruh arus. Arah dan kecepatan arus yang selalu berubah-ubah menyebabkan pola penyebaran PAH tidak merata di permukaan laut. PAH dalam air laut dapat berbentuk terlarut ataupun partikel yang ada di kolom perairan. Kondisi ini memungkinkan PAH untuk memiliki mobilisasi tinggi dan bisa terbawa ke tempat lain oleh arus (Agustine, 2008). Kadar PAH yang tinggi akan terakumulasi dalam jaringan tubuh organisme laut. Agustine (2008) mendapatkan kadar rerata PAH dalam kerang hijau (*Perna viridis* L) yang berukuran 1,0-1,5 cm sebesar 167,253 ppb. Falahuddin dan Khosannah (2011) mendapatkan kadar total PAH dalam daging kerang hijau (*Perna viridis* L) yang berukuran 4,192-7,355 cm berkisar 121,64 – 426,52 ppm dengan rerata total sebesar 273,90 ppm. Adanya akumulasi PAH dalam biota laut ini juga dijumpai oleh Achayani (2011) dalam tubuh ikan Nomei (*Horopodon neberensis*) di Perairan Tarakan (Kalimantan) yang kandungan PAH nya berkisar 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 hysan*) berkisar 0,9-310,9 ng/g, dan ikan Kuniran (*Upeneus moluccensis*) berkisar 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. Penyebab tingginya kadar PAH dalam air laut di Teluk Jakarta ini adalah limbah yang berasal dari berbagai macam kegiatan di sekitar Jabodetabek (Jakarta-Bogor-Depok-Tangerang-Bekasi). Limbah ini masuk ke Teluk Jakarta melalui 13 aliran sungai, di samping limbah yang berasal dari aktivitas perkapalan yang ada di laut. Jumlah limbah/sampah yang masuk mencapai 144 ton per hari (Malik, 2006). *Center for Coastal and Marine Resources Studies Bogor, CCMRS-IPB* (2010) menyatakan sumber pencemaran utama adalah industri, dan penyebab pencemaran minyak bumi di Teluk Jakarta adalah kapal-kapal tanker yang sering membuang minyak dan oli.

Jenis senyawa PAH dalam air laut

Hasil identifikasi jenis-jenis senyawa PAH dalam air laut di Kawasan Barat Teluk Jakarta disajikan pada Tabel 3. Dari tabel tersebut dapat dilihat jenis-jenis PAH yang terdapat di Kawasan Barat terbanyak dijumpai di Stasiun 1 dan 4 yakni masing-masing sebanyak 9 jenis, seterusnya diikuti oleh Stasiun 2, 8 jenis, dan Stasiun 3, 7 jenis. Data ini menunjukkan bahwa Stasiun 1 dan 4 memiliki tingkat kontaminasi jenis PAH yang lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun lainnya. Total jenis PAH di semua stasiun (Stasiun 1, 4, 5, dan 8) adalah 33 jenis. Jumlah jenis PAH ini lebih sedikit bila dibandingkan dengan bulan Maret. Edward (2011) mendapatkan jumlah jenis PAH pada bulan Maret 2011 di Stasiun 4 sebanyak 14 jenis PAH, Stasiun 2, 11 jenis, Stasiun 3, 10 jenis, dan Stasiun 1, 8 jenis, dengan total jenis sebanyak 43 jenis. Dari Tabel 1 juga terlihat, senyawa Fluoranthene, Benzo(a)Anthracene, Chrysene, Benzo(b)Fluoranthene, Benzo(a)Pyrene, Indeno(123-cd)Pyrene, merupakan jenis-jenis yang dijumpai di semua stasiun. Benzo(a) Pyrene memiliki kadar tertinggi di semua stasiun yaitu 32,599 ppb (St 1), 56,801 ppb (St 2), 36,007 ppb (St 3), dan 114,644 ppb (St 4).

Untuk kawasan tengah (Tabel 4), jenis PAH terbanyak masih dijumpai di stasiun 6 yakni 11 jenis, selanjutnya diikuti oleh stasiun 5 dan 7 masing-masing sebanyak 9 jenis, dan Stasiun 8 sebanyak 7 jenis, dengan total jenis 36. Jumlah jenis PAH ini lebih sedikit bila dibandingkan dengan bulan Maret 2011. Edward (2011) mendapat jumlah jenis PAH pada bulan Maret 2011 di Stasiun 6 sebanyak 13 jenis, selanjutnya diikuti oleh Stasiun 8, 10 jenis, Stasiun 7, 9 jenis, dan Stasiun 5, 8 jenis, dengan total jenis sebanyak 40 jenis.

Sama halnya dengan kawasan barat, untuk kawasan tengah ini PAH jenis Fluoranthene, Benzo(a) Anthracene, Chrysene, Benzo(b) Fluoranthene, Benzo(a)Pyrene, Indeno(123-cd)Pyrene, masih merupakan jenis-jenis yang dominan dijumpai di semua stasiun. Benzo(a)Pyrene memiliki kadar tertinggi di Stasiun 5 yaitu 74,843 ppb, sedang di Stasiun 6, 7, dan 8 kadar tertinggi didominasi oleh Indeno(123-cd)Pyrene yaitu 122,040 ppb, 152,466 ppb, dan 65,389 ppb.

Tabel 3. Kadar dan jenis PAH di kawasan barat Teluk Jakarta, Juli 2011

Senyawa PAH	Kadar, ppb			
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4
Naphthalene	0	0	0	0
Acenaphthylene	0	0	0	0.345
2-Bromonaphthalene	0	0	0	0
Acenaphthene	0	0	0	0
Fluorene	0	0	0	0
Phenanthrene	0	0.488	0.435	0.917
Anthracene	0	0	0	0
Fluoranthene	1.892	0.964	1.254	4.299
Pyrene	2.425	0	0	0
Benzo(a) Anthracene	19.384	14.662	9.926	26.905
Chrysene	21.563	30.614	15.880	31.904
Benzo(b)Fluoranthene	32.291	42.851	26.954	15.608
Benzo(a) Pyrene	32.599	56.801	36.007	114.644
Indeno(123-cd) Pyrene	15.578	35.362	20.881	53.667
Di-Benzo (a h) Anthracene	10.558	17.011	0	0
Benzo(ghi) Perylene	7.483	0	0	22.786
Total Kadar	143,773	198,753	111,337	271.075
Total Kadar/Bulan				724,938
Rerata/Bulan				181,234
Jumlah Jenis	9	8	7	9
Total Jenis				33 jenis

Untuk kawasan timur (Tabel 5), jumlah jenis PAH terbanyak dijumpai di Stasiun 10 yakni 10 jenis, seterusnya diikuti oleh Stasiun 9, 8 jenis, Stasiun 12, 7 jenis, dan Stasiun 11, 5 jenis, dengan total jenis 30. Data ini menunjukkan bahwa Stasiun 10 relatif lebih terkontaminasi dibandingkan dengan stasiun lain. Bila dibandingkan dengan bulan Maret 2011, jumlah jenis PAH pada bulan Juli ini relatif lebih sedikit. Edward (2011) mendapatkan jumlah jenis PAH pada bulan Maret 2011 di Stasiun 11 sebesar 12 jenis, Stasiun 9 dan 12 masing-masing 9 jenis, dan Stasiun 10, 8 jenis, dengan total jenis sebanyak 38. Senyawa PAH Benzo(a) Anthracene, Chrysene, Benzo(b)Fluoranthene, Benzo(a)Pyrene, Indeno(123-cd)Pyrene, masih merupakan jenis-jenis yang dominan dijumpai di semua stasiun. Kadar Benzo(a)Pyrene masih tertinggi di semua stasiun yaitu 59,482 ppb (St 9), 83,626 ppb (St 10), 16,482 ppb (St 11), dan 44,332 ppb (St 12). Benzo(a)Pyrene merupakan

senyawa paling toksik dibandingkan dengan yang lain dan berisiko tinggi terhadap biota perairan, yang pada gilirannya akan berpengaruh pula terhadap kesehatan manusia yang mengkonsumsinya.

Tabel 4. Jenis PAH di kawasan tengah Teluk Jakarta, Juli 2011

Senyawa PAH	Kadar, ppb			
	St. 5	St.6	St. 7	St.8
Naphthalene	0	0.142	0	0
Acenaphthylene	0.316	0.224	0.347	0
2-Bromonaphthalene	0	0	0	0
Acenaphthene	0	0.331	0	0
Fluorene	0	0	0	0
Phenanthrene	0.816	1.050	0.876	0
Anthracene	0	0	0	0
Fluoranthene	2.161	2.857	2.591	1.066
Pyrene	0	0	0	0
Benzo(a) Anthracene	13.495	15.949	35.568	16.532
Chrysene	23.486	32.447	43.534	22.204
Benzo(b)Fluoranthene	52.691	38.554	15.151	36.799
Benzo(a)Pyrene	74.483	64.805	24.535	64.815
Indeno(123-cd)Pyrene	47.173	122.040	152.466	65.389
Di-Benzo (a h) Antracene	0	0	0	0
Benzo(ghi) Perylene	21.655	66.968	90.598	34.288
Total Kadar	236.276	345.367	365.666	241.093
Total Kadar/Bulan	1188,402			
Rerata/Bulan	297,100			
Jumlah Jenis	9	11	9	7
Total Jenis	36			

Tabel 5. Jenis PAH di kawasan timur Teluk Jakarta, Juli 2011

Senyawa PAH	Kadar, ppb			
	St. 9	St.10	St.11	St.12
Naphthalene	0	0	0	0
Acenaphthylene	0	0,233	0	0
2-Bromonaphthalene	0	0	0	0
Acenaphthene	0	0,345	0	0
Fluorene	0	0	0	0
Phenanthrene	0,374	0,573	0	0
Anthracene	0	0	0	0
Fluoranthene	1,148	2,742	0	1,178
Pyrene	0	0	0	0
Benzo(a) Anthracene	17,619	17,140	6,494	16,466
Chrysene	22,902	19,065	6,295	16,943
Benzo(b)Fluoranthene	38,790	60,306	12,014	12,849
Benzo(a)Pyrene	59,482	83,626	16,482	44,332
Indeno(123-cd) Pyrene	49,341	52,627	7,127	41,952
Di-Benzo (ah) Anthracene	0	0	0	0
Benzo(ghi) Perylene	19,418	26,525	0	19,592
Total Kadar	209.074	263.182	48.413	153.313
Total Kadar/Bulan	673,982			
Rerata	168,495			
Jumlah Jenis	8	10	5	7
Total Jenis	30			

Identifikasi PAH dalam air laut

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 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 dalam air laut di Teluk Jakarta disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Diagnosis rasio konsentrasi individu PAH dalam air laut di Teluk Jakarta

St	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8
	Phe/Ant	Flu/P	Indeno (123-cd)P/ Indeno(123-cd) P+Benz(ghi)Py	Flu/(Flu+P)	Bens(a)P/ (Benz(a)P+Cry)	Ant/(Ant+Phe)	Ant/178	Benz(a)Ant/228
1	-	0,78	0,675	0,438	0,601	-	-	0,085
2	-	-	1	1	0,649	-	-	0,064
3	-	-	1	1	0,693	-	-	0,043
4	-	-	0,702	1	0,782	-	-	0,118
5	-	-	0,685	1	0,76	-	-	0,059
6	-	-	0,645	1	0,66	-	-	0,069
7	-	-	0,627	1	0,36	-	-	0,156
8	-	-	0,656	1	0,744	-	-	0,072
9	-	-	0,717	1	0,722	-	-	0,077
10	-	-	0,664	1	0,814	-	-	0,075
11	-	-	1	0	0,723	-	-	0,028
12	-	-	0,681	1	0,723	-	-	0,072
Rerata	-	0,065	0,754	0,948	0,685	-	-	0,076
		(<1)	>0,5	(>0,5)	(0,6-0,9)			(<0,2)

Nilai D-2 rerata adalah 0,065, nilai ini <1, yang berarti bahwa senyawa PAH berasal dari minyak bumi, nilai D-3 rerata 0,754, nilai ini >0,5, yang berarti bahwa senyawa PAH berasal dari pembakaran senyawa organik, nilai D-4 rerata 0,948, nilai ini >0,5 yang berarti bahwa sumber PAH berasal dari pembakaran senyawa organik, nilai D-5 rerata 0,685. Nilai ini berada dalam kisaran 0,6-0,9 yang berarti bahwa sumber PAH berasal dari minyak bumi. Nilai D-8 rerata 0,076. Nilai ini <0,2 yang berarti bahwa PAH berasal dari minyak bumi. Hasil analisis rasio konsentrasi individu PAH di atas menunjukkan bahwa PAH yang terdapat dalam air laut berasal dari berbagai sumber yakni minyak bumi, pembakaran minyak bumi, dan pembakaran bahan organik.

Jenis PAH yang banyak dijumpai dalam penelitian ini umumnya berupa PAH dengan berat molekul tinggi (mengandung > 4 cincin benzene) yakni Fluoraentene, Pyrene, Chrysene, Benzo(ghi) Perylene, Benzo(b)Fluorethene, Benzo(a)Pyrene, Benzo(a)Anthracena, dan Indeno(123-cd)Pyrene, sedangkan PAH dengan berat molekul rendah (mengandung 2-3 cincin benzene) relatif sedikit yakni Naphthalene, Acenaphthylene, dan Phenantrene.

Untuk mengatasi pencemaran laut di Teluk Jakarta oleh senyawa PAH maka perlu dilakukan efisiensi penggunaan bahan bakar minyak bumi, pembakaran minyak bumi dan bahan-organik (tumbuhan, batubara), pembuangan limbah yang mengandung minyak bumi, dan meningkatkan penggunaan instalasi pengolahan limbah. Faktor penting lainnya adalah memperbaiki pengelolaan 19 daerah aliran sungai, penataan ruang wilayah pesisir Teluk Jakarta serta pengembangan instrumen peraturan dan ekonomi, pengembangan program kesadaran masyarakat yang berkesinambungan dan pemanfaatan sumberdaya sesuai dengan potensi lestariannya. Pengelolaan daerah aliran sungai (DAS) sebagai pembawa sumber bahan pencemar mutlak diperlukan. Mengembalikan fungsi sungai, menata kembali daerah limpahan banjir, dan melarang pembangunan di bantaran sungai. Penanganan limbah dalam suatu institusi yang diberi kewenangan penuh. Buruknya penanganan sampah di Jabodetabek diduga menjadi salah satu sebab mengapa permasalahan sampah di Teluk Jakarta tidak pernah selesai dari tahun ke tahun. Selama ini penanganan limbah terkesan terpecah-pecah, ada tiga pembagian penanganan sampah di DKI Jakarta. Sampah yang berasal dari taman-taman ditangani oleh Dinas Pertamanan, sampah di pemukiman oleh Dinas Kebersihan dan sampah di sungai atau perairan menjadi tanggung jawab Dinas Pekerjaan Umum. Tumpang tindih tugas inilah yang menyebabkan masuknya sampah-sampah tersebut ke Teluk Jakarta. Segala upaya pengelolaan kawasan pesisir tidak akan ada artinya jika penanganan limbah di hilir dan sepanjang daerah aliran sungai tidak dikelola dengan baik. Dengan demikian pemecahan permasalahan dalam pengelolaan kawasan Teluk Jakarta memerlukan pendekatan yang komprehensif dan terintegrasi serta dalam implementasinya perlu melibatkan seluruh stakeholders, baik pemerintah daerah, masyarakat maupun pelaku aktivitas ekonomi (pengusaha, nelayan, dan pihak lainnya). Pendekatan dalam pemecahan masalah ini pada prinsipnya dapat dilakukan melalui pendekatan ekosistem, ekonomi, sosial dan kelembagaan.

Kesimpulan

Berdasarkan data yang dikaji dapat disimpulkan bahwa air laut di Teluk Jakarta telah tercemar oleh senyawa PAH. Senyawa PAH tersebut adalah senyawa PAH dengan berat molekul tinggi. Jenis yang paling tinggi kadarnya adalah Benzo(a)Pyrene, terdapat di Stasiun 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, dan 12. Benzo(a)Pyrene merupakan senyawa yang paling beracun di antara semua senyawa PAH. Oleh karena itu senyawa ini perlu mendapat perhatian.

PAH yang terdapat dalam air laut di Teluk Jakarta berasal dari berbagai sumber yakni campuran dari tumpahan minyak bumi, pembakaran minyak bumi, dan pembakaran senyawa organik.

Untuk mengurangi tingkat pencemaran PAH di Teluk Jakarta, perlu dilakukan efisiensi dalam penggunaan bahan bakar minyak, serta penerapan nyata aturan dan perundangan-undangan, pemberian sanksi, dan melakukan monitoring secara berkala dengan melibatkan semua institusi terkait, LSM dan masyarakat.

Daftar Pustaka

- Apeti, D.A., G.G. Lauenstein, J.D. Christensen, K. Kimbrough, W.E. Johnson, M. Kennedy, K.G. Grant. 2010. A historical assessment of coastal contamination in Birch Harbor, Maine based on the analysis of mussels collected in the 1940s and the Mussel Watch Program. *Marine Pollution Bulletin*, In Press.
- 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.
- Achyani, R. 2011. Karakteristik polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) di air laut dan sedimen serta akumulasinya pada tubuh ikan nomei (*Horpodon neberus*) di perairan Tarakan. Thesis, PPS IPB, Bogor, 110 hal.
- CCMRS-IPB. 2010. Jakarta megapolitan atau otorita. Artikel, PKSPL-IPB. <http://indomaritimeinstitute.org/?p=1427>. Akses tanggal 22 Maret 2013.
- Culoota, 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: 117-127.
- Domínguez, 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*, DOI 10.1007/s00244-009-9444-2.
- Edward. 2011. Kaji baku mutu senyawa organik. Laporan Penelitian. Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, Jakarta. 68 hal.
- 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.
- Falahuddin, D., A. Zainal, 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.
- FSAI (Food Savety Authority of Ireland). 2009. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) in food. *Toxicology Factshet Series*. Issue No 1. May 2009. 9 p.
- GFEA (German Federal Environment Agency). 2012. Polycyclic aromatic hydrocarbon. Harmful to the environment, toxic, and inevitable. Press Office. Wörlitzer Platz 1, D-06844 Dessau-Roßlau, Germany. 24 p.
- 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, 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.
- Bapedalda. 2011. Pencemaran Teluk Jakarta. <http://boechchori.blogspot.com/2011/01/pencemaran-teluk-jakarta-dan-pulau.html>. Akses tanggal 28 Oktober 2014.
- Lah, K. 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons. <http://toxipedia.org/display/toxipedia/Polycyclic+Aromatic+Hydrocarbons>. Akses tanggal 12 September 2012.
- Lukitaningsih, E., S. Ari. 2010. Bioakumulasi senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon dalam plankton, ganggang, dan ikan di perairan laut selatan Yogyakarta. *Majalah Farmasi Indonesia*, 21: 18-26.
- 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 perairan Teluk Klabat Bangka. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 33: 441-453.
- Malik, I. 2006. Berapa jumlah sampah di Teluk Jakarta. Seminar Pencemaran Laut di Kepulauan Seribu. Oseanografi.wordpress.com/2007/01/04/. Akses tanggal 3 Mei 2012.
- National Research Council (NRC). 2003. Oil in the Sea III, inputs, fates, and effects. The National Academies Press. Washington, D.C.
- 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.
- 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. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 52(3): 379-387.
- Yunker, M.B., R.W. Macdonald, R. Vingazan, R.H. Mitchell, D. Goyette, S. Sylvestre. 2002. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH sources and composition. *Organic Geochemistry*, 33: 489-515.
- Zakaria, M.P., A.A. Mahat. 2006. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) in sediments in the Langet Estuary. *Coastal Marine Science*, 30(1): 387-395.