

PENGAMATAN KADAR SENYAWA POLISIKLIK AROMATIK HIDROKARBON (PAH): BENZO (a) PYRENE, BENZO (a) ANTHRACENE, BENZO (b) FLUORANTHENE, DI-BENZO (a,h) ANTHRACENE, DAN BENZO (g,h,i) PERYLENE DALAM AIR LAUT DI TELUK JAKARTA

Edward

Pusat Penelitian Oseanografi-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P2O-LIPI)

Corresponding author: ekewe07@gmail.com

Abstract

Measurement of the concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) compounds Benzo(a) Pyrene, Benzo(a)Anthracene, Benzo(b)Fluoranthene, Di-benzo(a,h)Anthracene, and Benzo(g,h,i) Perylene in seawater in Jakarta Bay was conducted in July-August 2015. The purpose of this study is to determine the level of pollution of five PAH compounds in seawater in their relation to the protection of marine organisms. Seawater samples were taken by using a water sampler at 23 research stations. The station position is determined by using the Geographical Position System (GPS). All samples were analyzed by using Gas Chromatography. The results showed that the concentration of the five PAH compounds in seawater in the western parts of Jakarta Bay was higher than the middle and the eastern parts. The content of the five PAHs compounds is still in accordance with the safe threshold value for marine organism life.

Keywords: Jakarta Bay, seawater, polycyclic aromatic hydrocarbon, concentration

PENDAHULUAN

Teluk Jakarta merupakan perairan estuarin, terletak di utara Jakarta dengan kedalaman rerata ± 15 m, dan luas ± 514 km². Ke teluk ini mengalir 13 sungai yang melintasi kota metropolitan Jakarta yang berpenduduk ± 10 juta jiwa. Seiring dengan perkembangan kota metropolitan Jakarta sebagai ibukota negara yang semakin pesat, teluk ini juga menerima tekanan yang besar sebagai akibat dari aktivitas manusia baik di darat maupun di laut, antara lain dalam bentuk pencemaran.

Sekitar ± 10 juta orang di kota Jakarta bertanggung jawab atas pencemaran yang terjadi di Teluk Jakarta dan sekitarnya. Seluruh limbah aktivitas manusia, baik limbah rumah tangga maupun industri, masuk ke perairan ini.

Limbah tersebut mengandung berbagai macam senyawa kimia yang bersifat toksik, sehingga berbahaya bagi kehidupan biota laut yang hidup di Teluk Jakarta dan sekitarnya, salah satunya adalah senyawa organik Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH).

Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) adalah senyawa organik dengan dua atau lebih cincin benzen, bersifat toksis, karsinogen, dan mutagen (Dong *et al.*, 2015). PAH adalah kontaminan yang menyebar secara luas di laut (NRC, 2003). PAH berasal dari sumber antropogenik seperti produksi industri, transportasi, pembakaran sampah dan proses pembakaran yang tidak sempurna seperti kebakaran hutan dan letusan gunung berapi. Kadar PAH yang dihasilkan dari proses

alam umumnya lebih rendah dibandingkan dengan yang berasal dari sumber antropogenik. Zaghdan *et al.*, (2007) membagi sumber PAH dalam dalam tiga kategori: yakni 1) petrogenik, 2) pirolitik, 3) rembesan minyak alami dan diagenesis mendasarkan rasio diagnostik dan/atau dominasi congener PAH yang berbeda. PAH petrogenik terkait dengan tumpahan/rembesan minyak bumi, termasuk minyak mentah dan produk olahannya. PAH biogenik dihasilkan oleh proses biologis atau tahap awal diagenesis dalam sedimen laut (misalnya perylene). PAH pirogenik dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar fosil (batu bara dan minyak) dan bahan organik seperti kayu (tumbuhan), (Syakti, 2016) (Stogiannidis *et al.*, 2015).

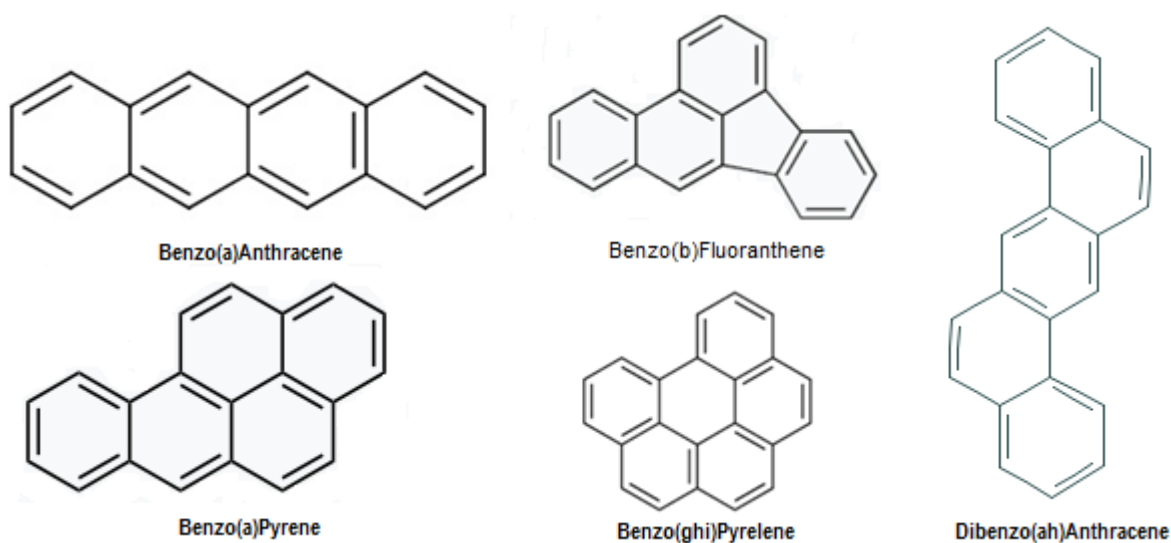
Environment Protection Agency (EPA) menetapkan 17 jenis PAH yang bersifat toksik, karsinogen, dan mutagen terhadap biota laut dan larvanya (Mirza *et al.*, 2012). Toksisitasnya sangat tergantung pada struktur dan isomer yang terbentuk. Di antara 17 senyawa tersebut, Benzo (a) Anthracene, Benzo(a)Pyrene, Benzo(b) Fluoranthene, Dibenzo(a,h)Anthracene, dan Benzo (g,h,i) Pyrene ke dalam kelompok senyawa yang bersifat karsinogen, mutagen dan toksik, baik terhadap manusia maupun organisme akuatik (Alawi *et al.*, 2016). PAH memiliki toksisitas akut dengan rentang sedang

sampai tinggi terhadap organisme akuatik dan burung-burung (Igwee *et al.*, 2015). Beberapa senyawa PAH juga bersifat toksik terhadap zooplankton. Hasil uji laboratorium menunjukkan zooplankton jenis *Scyphozoa pelagia noctiluca* mengalami kematian 100% pada konsentrasi minyak mentah 20 and 40 μL^{-1} sesudah 16 jam (Almeda *et al.*, 2013). Untuk itu perlu dilakukan penelitian dengan tujuan untuk mengetahui besar tingkat pencemaran senyawa PAH (Benzo(a)Anthracene, Benzo(b) Fluoranthene, Benzo(a)Pyrene, Dibenzo (a,h) Anthracene, dan Benzo(g,h,i) Pyrene dalam air laut di Teluk Jakarta. Selain itu, untuk mengetahui dampak pencemarannya terhadap kehidupan biota laut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat pencemaran senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH): Benzo(a)Anthracene, Benzo(b) Fluoranthene, Benzo(a)Pyrene, Dibenzo (a,h) Anthracene, dan Benzo(g,h,i) Pyrene dalam kaitannya dengan perlindungan biota laut.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Teluk Jakarta pada bulan Juli-Agustus 2015 (Khozanah *et al.*, 2017), bulan tersebut tersebut dianggap mewakili musim timur (**Gambar 2**).



Gambar 1. Lima senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon
Sumber. Sahoo *et al.* (2020)

Contoh air laut yang diambil dengan menggunakan alat pengambil contoh air (*water sampler*) di 23 stasiun penelitian. Penetapan stasiun penelitian dilakukan secara purposive sesuai dengan tujuan penelitian yakni menentukan tingkat pencemaran lima senyawa PAH. Semua stasiun ditetapkan di muara sungai dan dikelompokkan menjadi tiga wilayah yaitu wilayah barat (Stasiun 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8), wilayah tengah (Stasiun 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16) dan timur (Stasiun 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23). Contoh air laut (2 liter) dimasukkan ke dalam botol kaca berwarna gelap dan disimpan dalam kotak es (*ice box*). Di laboratorium, contoh air laut disaring dengan kertas saring GFC (*glass fiber type C*) ukuran 0,45 mikron. Filtrat yang dihasilkan diekstrak ke dalam corong pemisah dengan hexan pro analisa sebanyak tiga kali masing-masing dengan volume 100, 50, dan 5 ml. Selanjutnya

filtrat dibersihkan dengan alumina *WB 5 basic Sigma* dan dilakukan pemisahan fraksi non polar (F1) dan polar (F2) dengan silica *Merck 7754*. Kadar senyawa PAH Benzo (a) Pyrene, Benzo (a) Anthracene, Benzo (b) Fluoranthene, Dibenzo (a,h) Anthracene, dan Benzo(g,h,i) Pyrene dalam fraksi F1 diukur dengan GC (FID) HP 5890 series II (Holden & Marsden, 1969; Greve & Grevenstuck, 1975; Duinker & Hillegrand, 1978). Standar PAH yang digunakan adalah QTM PAH MIX, standar ini mencakup semua jenis PAH (16 jenis) yang diproduksi oleh SUPELCO-USA. Hasil pengukuran dinyatakan dalam $\mu\text{g.L}^{-1}$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran kadar senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) Benzo (a) Pyrene, Benzo (a) Anthracene,

Edward: Pengamatan Kadar Senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH): Benzo (a) Pyrene, Benzo (a) Anthracene, Benzo (b) Fluoranthene, Di-Benzo (a,h) Anthracene, dan Benzo (g,h,i) Perylene Dalam Air Laut di Teluk Jakarta



Gambar 2. Lokasi Penelitian
Sumber. Dokumen Penulis.

Tabel 1. Kadar B(a)Pyrene ($\mu\text{g.L}^{-1}$) dalam Air Laut di Teluk Jakarta, Juli-Agustus 2015

St	Bagian Barat	St	Bagian Tengah	St	Bagian Timur
1	0,002	9	ttd	17	ttd
2	ttd	10	ttd	18	ttd
3	ttd	11	ttd	19	ttd
4	ttd	12	ttd	20	ttd
5	ttd	13	0,002	21	ttd
6	ttd	14	ttd	22	ttd
7	ttd	15	ttd	23	ttd
8	ttd	16	ttd	-	-
Min	ttd		ttd		ttd
Mak	0,002		0,002		ttd
Total	0,002		0,002		ttd
Rerata	0,00025		0,00025		ttd

Keterangan: ttd (tidak terdeteksi): $<0,001 \mu\text{g.L}^{-1}$

Tabel 2. Kadar B(a)Anthracene ($\mu\text{g.L}^{-1}$) dalam Air Laut di Teluk Jakarta, Juli-Agustus 2015

St	Bagian Barat	St	Bagian Tengah	St	Bagian Timur
1	0,007	9	0,006	17	ttd
2	0,006	10	0,006	18	ttd
3	ttd	11	0,006	19	ttd
4	ttd	12	ttd	20	0,006
5	ttd	13	0,008	21	0,006
6	0,006	14	0,007	22	ttd
7	0,006	15	0,006	23	0,006
8	0,006	16	0,006	-	-
Min	ttd		ttd		ttd
Mak	0,007		0,008		0,006
Total	0,031		0,045		0,018
Rerata	0,0038		0,0056		0,0025

Keterangan: ttd (tidak terdeteksi): $<0,001 \mu\text{g.L}^{-1}$

Tabel 3. Kadar B(b)Fluoranthene ($\mu\text{g.L}^{-1}$) dalam Air Laut di Teluk Jakarta, Juli-Agustus 2015

St	Bagian Barat	St	Bagian Tengah	St	Bagian Timur
1	0,006	9	ttd	17	ttd
2	0,004	10	ttd	18	ttd
3	ttd	11	ttd	19	ttd
4	ttd	12	ttd	20	ttd
5	ttd	13	0,007	21	ttd
6	ttd	14	0,004	22	ttd
7	ttd	15	ttd	23	ttd
8	ttd	16	ttd	-	-
Min	ttd		ttd		ttd
Mak	0,006		0,007		ttd
Total	0,010		0,011		ttd
Rerata	0,0012		0,0013		ttd

Keterangan: ttd (tidak terdeteksi): $<0,001 \mu\text{g.L}^{-1}$ **Tabel 4.** Kadar Db (ah)Anthracene ($\mu\text{g.L}^{-1}$) dalam Air Laut di Teluk Jakarta, Juli-Agustus 2015

St	Bagian Barat	St	Bagian Tengah	St	Bagian Timur
1	0,002	9	0,004	17	ttd
2	ttd	10	0,005	18	ttd
3	ttd	11	ttd	19	ttd
4	ttd	12	ttd	20	ttd
5	ttd	13	0,001	21	ttd
6	ttd	14	0,003	22	ttd
7	ttd	15	0,004	23	ttd
8	ttd	16	ttd	-	-
Min	ttd		ttd		ttd
Mak	0,002		0,005		ttd
Total	0,002		0,017		ttd
Rerata	0,00025		0,0021		ttd

Keterangan: ttd (tidak terdeteksi): $<0,001 \mu\text{g.L}^{-1}$ **Tabel 5.** Kadar B(g,h,i)Py ($\mu\text{g.L}^{-1}$) dalam Air Laut di Teluk Jakarta, Juli-Agustus 2015

St	Bagian Barat	St	Bagian Tengah	St	Bagian Timur
1	ttd	9	ttd	17	ttd
2	0,003	10	ttd	18	ttd
3	ttd	11	ttd	19	ttd
4	ttd	12	ttd	20	ttd
5	ttd	13	ttd	21	ttd
6	ttd	14	0,005	22	ttd
7	ttd	15	ttd	23	ttd
8	ttd	16	ttd	-	-
Min	ttd		ttd		ttd
Mak	0,003		0,005		ttd
Total	0,003		0,005		ttd
Rerata	0,0003		0,0006		ttd

Keterangan: ttd (tidak terdeteksi): $<0,001 \mu\text{g.L}^{-1}$

Benzo (b) Fluoranthene, Di-benzo(a,h) Anthracene, Benzo (g,h,i) Pyrene dalam air laut di Teluk Jakarta bagian barat, tengah dan timur pada bulan Juli-Agustus 2015 yang disajikan pada **Tabel 1, 2, 3, 4, dan 5**.

Berdasarkan **Tabel 1,2,3,4, dan 5** dapat dilihat bahwa kadar kelima senyawa PAH tersebut bervariasi, baik antar stasiun penelitian maupun antar lokasi. Variasi ini dapat disebabkan oleh perbedaan waktu pengambilan contoh, sifat fisik dan kimia

air laut dari setiap stasiun dan lokasi penelitian.

Benzo(a)Pyrene

Benzo(a)Pyrene adalah senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) dengan berat molekul tinggi, terdiri dari 6 cincin benzen, dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna bahan organik seperti, rokok, bensin, dan kayu. B(a)Pyrene umumnya ditemukan bersama-sama dengan PAH lainnya dalam asap rokok, dalam makanan yang dibakar, dan produk dari banyak industri. Bersifat karsinogen terhadap manusia dan organisme akuatik (Ikenaka *et al.*, 2013) (EPA, 2017) dan paling beracun dari semua individu PAH (Nasher *et al.*, 2013). Hasil pengukuran kadar B(a)Pyrene disajikan pada **Tabel 1**.

Berdasarkan **Tabel 1** dapat dilihat kadar B(a) Pyrene di bagian barat Teluk Jakarta pada tahun 2015 berkisar tidak terdeteksi (ttd)-0,002 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 0,00025 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 0,002 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Kadar ini relatif sama dengan kadar B(a)Pyrene di bagian tengah yang berkisar tidak terdeteksi (ttd)-0,002 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 0,00025 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 0,002 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Di bagian timur kadar B(a) Pyrene tidak terdeteksi di semua stasiun. Data ini menunjukkan bagian tengah dan barat Teluk Jakarta lebih banyak menerima masukan limbah yang mengandung B(a)Pyrene dibandingkan bagian timur. Bagian timur relatif lebih

bersih dari kontaminasi senyawa B(a)Pyrene. Sumber dari senyawa B(a) Pyrene di bagian barat dan tengah ini adalah limbah yang masuk melalui aliran sungai yang bermuara di bagian tengah (muara Marina/Ancol dan Sunter) dan barat (muara Kamal, Cengkareng, Angke, dan Karang) Teluk Jakarta. Selain itu bagian barat dan tengah merupakan lokasi yang ramai dengan aktivitas perkapalan seperti Muara Angke, Marina/Ancol dan Tanjung Priok. PAH merupakan salah satu polutan yang berasal dari penggunaan bahan bakar minyak. Kadar B(a)Pyrene ini masih lebih rendah dari nilai ambang batas yang aman untuk kehidupan biota laut yakni 0,01 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (EPA, 2009 dalam Nasher *et al.*, 2013).

Hasil penelitian ini masih lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu di Teluk Jakarta. Keadaan ini dapat disebabkan oleh perbedaan waktu penelitian (sampling), posisi stasiun, volume limbah yang mengandung minyak bumi yang masuk ke Teluk Jakarta serta pola arus. Edward (2017) mendapatkan kadar B(a) Pyrene di bagian barat Teluk Jakarta pada bulan Maret dan Mei 2013 masing-masing berkisar tidak terdeteksi (ttd)-6,289 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan terdeteksi (ttd)-3,062 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 2,134 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 1,834 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 8,537 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 7,339 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Di bagian tengah berkisar tidak terdeteksi

(ttd)-8,780 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 0,940-2,658 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 3,527 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 1,092 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 14,108 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 7,610 $\mu\text{g.L}^{-1}$, di bagian timur berkisar 9,472-123,396 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 0,911-5,638 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 43,313 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 3,366 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 173,254 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 13,466 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Pada bulan Maret dan Juli 2011 di bagian barat Teluk Jakarta kadar B(a) Pyrene berkisar 53,170-171,550 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 32,599-114,644 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 115,805 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 60,012 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 463,220 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 240,051 $\mu\text{g.L}^{-1}$, di bagian tengah berkisar 29,930-85,410 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 24,535-74,483 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 52,757 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 57,159 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 211,030 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 228,638 $\mu\text{g.L}^{-1}$, di bagian timur berkisar 26,060-93,030 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 16,482-83,626 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 47,320 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 50,980 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 189,280 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 203,922 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Data ini menunjukkan air laut di Teluk Jakarta hasil penelitian ini masih lebih bersih dari kontaminasi senyawa B(a)Pyrene dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (**Tabel 6**).

Benzo(a)Anthracene

B(a)Anthracene adalah PAH dengan berat molekul tinggi, terdiri dari 4 cincin benzen, dan merupakan polutan yang diprioritas oleh EPA. B(a)Anthracene terbentuk bila bahan organik seperti bensin, sampah, atau hewan/tanaman dibakar,

selain itu juga ditemukan dalam rokok dan jelaga. *The International Agency for Research on Cancer (IARC)*, *Environment Protection Agency (EPA)* dan *The Department of Health and Human Services (DHHS)* menetapkan B(a)Anthracene sebagai senyawa yang diduga bersifat karsinogen terhadap manusia dan makhluk hidup lainnya (Honda *et al.*, 2020). Paparan B(a)Anthracene dapat melalui udara, air, dan makanan (Irwin *et al.*, 1997).

Berdasarkan **Tabel 2** dapat dilihat kadar B(a)Anthracene di bagian barat Teluk Jakarta pada tahun 2015 berkisar tidak terdeteksi (ttd)-0,007 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 0,0038 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 0,031 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Kadar ini lebih rendah bila dibandingkan dengan bagian tengah yang kadarnya berkisar tidak terdeteksi (ttd)-0,008 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 0,0056 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 0,0450 $\mu\text{g.L}^{-1}$, namun lebih tinggi dibandingkan dengan bagian timur yang kadarnya berkisar tidak terdeteksi (ttd)-0,006 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 0,0025 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 0,018 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Data ini menunjukkan bagian tengah Teluk Jakarta lebih banyak menerima masukan limbah yang mengandung B(a)Anthracene dibandingkan bagian barat dan timur. Penyebabnya diperkirakan sama dengan B(a)Pyrene. Hasil penelitian ini masih lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya. Edward (2017) pada penelitian sebelumnya mendapatkan

kadar B(a) Anthracene di bagian barat Teluk Jakarta pada bulan Maret dan Mei 2013 masing-masing berkisar 3,974-11,096 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 0,641-4,348 $\mu\text{g.L}^{-1}$, dengan rerata 7,120 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 2,082 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 28,480 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 8,331 $\mu\text{g.L}^{-1}$, di bagian tengah berkisar 2,671-14,993 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 1,006-2,988 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 8,614 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 2,149 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 35,456 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 8,598 $\mu\text{g.L}^{-1}$, dan di bagian timur berkisar 6,276-19,298 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 0,935-6,171 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 11,508 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 3,645 $\mu\text{g.L}^{-1}$, dan total 46,033 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 14,616 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Pada bulan Maret dan Juli 2011 kadar B(a)Anthracene di bagian barat Teluk Jakarta berkisar 9,350-60,780 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 9,926-26,905 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan kadar rerata 35,992 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 17,719 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan total 143,970 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 70,877 $\mu\text{g.L}^{-1}$, di bagian tengah berkisar 7,620-53,920 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 13,495-35,568 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 26,302 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 20,386 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 105,210 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 81,544 $\mu\text{g.L}^{-1}$, di bagian timur berkisar 9,750-43,990 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 6,494-17,619 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 21,245 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 14,429 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 84,980 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 57,719 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Data ini menunjukkan bahwa air laut di Teluk Jakarta hasil penelitian ini lebih bersih dari kontaminasi senyawa B(a) Anthracene dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Maret dan Mei 2013 dan Maret dan Juli 2011). Adanya perbedaan

tingkat kontaminasi ini seperti yang telah diungkapkan di atas, dapat disebabkan oleh perbedaan waktu sampling, posisi stasiun dan volume limbah yang masuk ke Teluk Jakarta, baik yang berasal dari aktivitas di darat maupun di laut serta pola arus. Nilai ambang batas B(a) Anthracene untuk perlindungan biota laut adalah 0,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Ngapal, 1993).

Benzo(b)Fluoranthene

B(b)Fluoranthene adalah senyawa PAH berat molekul tinggi dengan 5 cincin benzen, merupakan polutan yang diprioritaskan oleh EPA (*Environment Protection Agency*), dan dimasukkan kedalam kelompok polutan yang bersifat karsinogen terhadap manusia dan hewan (Huang *et al.*, 2014). B(b)Fluoranthene dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna bahan bakar fosil, sampah, dalam asap rokok, bahan organik, batu bara, asap, kreosot (pengawet kayu) (Byeong-Kyu Lee, 2010)(Shafy *et al.*, 2015).

Berdasarkan **Tabel 3** dapat dilihat kadar B(b)Fluoranthene di bagian barat Teluk Jakarta pada tahun 2015 berkisar tidak terdeteksi (ttd)-0,006 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 0,0012 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 0,010 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Kadar ini lebih rendah bila dibandingkan dengan kadar B(a)Anthracene di bagian tengah yang kadarnya berkisar tidak terdeteksi (ttd)-0,007 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 0,0013 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 0,011 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Di

bagian timur Teluk Jakarta kadar B(b)Fluoranthene tidak terdeteksi (tt) di semua stasiun. Data ini menunjukkan bagian tengah Teluk Jakarta lebih banyak menerima masukan limbah yang mengandung B(b)Fluoranthene. Sumber limbah di bagian tengah Teluk Jakarta ini berasal dari darat yang masuk ke Teluk Jakarta bagian tengah melalui aliran sungai (muara marina/Ancol dan Sunter) serta masukan dari aktivitas perkapalan yang bersandar dan yang keluar masuk di pelabuhan Tanjung Priok. Bagian timur Teluk Jakarta lebih bersih dari kontaminasi senyawa B(b)Fluoranthene. Kadar B(b)Fluoranthene ini masih lebih rendah dari nilai ambang batas yang aman untuk perlindungan biota laut yakni $0,017 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Environment Agency, 2019).

Hasil penelitian ini masih lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu. Sebagaimana yang telah diungkapkan di atas penyebab rendahnya kadar B(b)Fluoranthene hasil penelitian ini dapat disebabkan oleh perbedaan waktu penelitian, posisi stasiun, volume limbah yang masuk ke Teluk Jakarta dan pola arus. Edward (2017) mendapatkan kadar B(b)Fluoranthene di bagian barat Teluk Jakarta pada bulan Maret dan Mei 2013 berkisar $1,836-6,763 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan $0,894-2,040 \mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata $4,337 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan $1,501 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan total $17,531 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan $6,007 \mu\text{g.L}^{-1}$. Di

bagian tengah Teluk Jakarta berkisar $1,76-5,612 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan $0,689-1,820 \mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata $3,413 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan $1,328 \mu\text{g.L}^{-1}$ dengan total $13,653 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan $5,312 \mu\text{g.L}^{-1}$, dan di bagian timur berkisar $6,637-107,844 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan $0,677-5,218 \mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata $37,824 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan $2,847 \mu\text{g.L}^{-1}$ dengan total $151,229 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan $11,390 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Pada bulan Maret dan Juli 2011 di bagian barat Teluk Jakarta kadar B(b)Fluoranthene berkisar $37,290-121,650 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan $15,608-42,851 \mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata $86,845 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan $29,426 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan total $347,380 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan $117,704 \mu\text{g.L}^{-1}$, di bagian tengah berkisar $6,740-69,800 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan $15,151-52,961 \mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata $37,995 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan $35,798 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan total $151,980 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan $143,195 \mu\text{g.L}^{-1}$, di bagian timur berkisar $27,03-97,440 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan $12,014-60,306 \mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata $49,095 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan $30,989 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan total $196,380 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan $123,959 \mu\text{g.L}^{-1}$. Data ini menunjukkan bahwa air laut di Teluk Jakarta hasil penelitian ini masih lebih bersih dari kontaminasi senyawa B(b)Fluoranthene (**Tabel 8**).

Dibenzo (ah)Anthracene

Db(a,h)Anthracene adalah senyawa PAH dengan berat molekul tinggi, mengandung 5 cincin benzen, merupakan polutan yang diprioritaskan oleh *Environment Protection Agency* (EPA), bersifat toksik, namun toksisitas akutnya

jarang dilaporkan khususnya terhadap manusia, ikan, atau hewan lainnya. *The Department of Health and Human Services* (DHHS) menetapkan Db(a,h)Anthracene perlu diantisipasi sebagai zat yang bersifat karsinogen. EPA juga menetapkan Db(a,h)Anthracene termasuk zat yang dicurigai bersifat karsinogen terhadap manusia, masuk ke lingkungan akibat pembakaran yang tidak sempurna dari bahan-bahan organik (Shafy *et al.*, 2015). Hasil pengukuran kadar Db (a,h) Anthracene di Teluk Jakarta disajikan pada **Tabel 4**.

Dari **Tabel 4** dapat dilihat kadar Db(a,h)Anthracene di bagian barat Teluk Jakarta pada tahun 2015 berkisar tidak terdeteksi (ttd)-0,002 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 0,00025 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 0,002 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Kadar ini relatif lebih rendah dibandingkan dengan bagian tengah yang kadarnya berkisar tidak terdeteksi (ttd)-0,005 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 0,0021 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 0,017 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Di bagian timur Db(a,h)Anthracene tidak terdeteksi (ttd) di semua stasiun. Data ini menunjukkan bagian lebih banyak menerima masukan limbah yang mengandung Db(a,h) Anthracene dibandingkan bagian barat dan timur. Bagian timur relatif lebih bersih dari kontaminasi senyawa Db(a,h) Anthracene. Seperti yang telah dijelaskan penyebabnya adalah perbedaan waktu penelitian, posisi stasiun, dan volume limbah yang masuk ke

Teluk Jakarta serta pola arus. Db(a,h) Anthracene ini masih lebih rendah dari nilai ambang batas yang aman untuk kehidupan biota laut yakni 0,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Montana Department of Enviromental Quality, 2012).

Hasil penelitian ini masih lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya, penyebabnya diperkirakan sama dengan yang telah diungkapkan di atas. Edward (2017) pada penelitian sebelumnya mendapatkan kadar Db(a,h)Anthracene di bagian barat Teluk Jakarta pada bulan Maret 2013 berkisar 1,128-3,722 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 2,370 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 9,843 $\mu\text{g.L}^{-1}$, sedang bulan Mei kadar Db(a,h)Anthracene tidak terdeteksi di semua stasiun. Di bagian tengah pada bulan Maret berkisar 1,061-4,072 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 2,715 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 10,862 $\mu\text{g.L}^{-1}$, sedang pada bulan Mei tidak terdeteksi di semua stasiun. Di bagian timur pada bulan Maret berkisar ttd-27,746 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 8,712 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 34,849 $\mu\text{g.L}^{-1}$, sedang pada bulan Mei juga tidak terdeteksi di semua stasiun.

Pada bulan Maret 2011 di bagian barat Teluk Jakarta kadar Db(a,h) Anthracene tidak terdeteksi (ttd) di semua stasiun dan pada bulan Juli 2011 berkisar tidak terdeteksi (ttd)-17,011 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan 6,892 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 27,569 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Di bagian tengah dan timur kadar Db(a,h)

Anthracene tidak terdeteksi (ttt) di semua stasiun. Data ini menunjukkan kadar Db(ah) Anthracene dalam air laut di Teluk Jakarta hasil penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan bulan Maret 2013 dan Juli 2011 (barat Teluk Jakarta), namun lebih tinggi dibandingkan dengan bulan Mei 2013 dan Maret 2011 (barat dan tengah) (**Tabel 9**). Penyebab adanya variasi kadar Db(ah) Anthracene ini sama dengan yang telah dijelaskan di atas.

Benzo (g,h,i)Pyrene

B(g,h,i)Pyrene adalah senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) dengan berat molekul tinggi dengan enam cincin benzen, dan dinyatakan oleh EPA sebagai polutan prioritas. Banyak sumber menyatakan bahwa senyawa ini tidak bersifat karsinogen terhadap makhluk hidup. Toksisitas akutnya jarang dilaporkan khususnya pada manusia, ikan, atau satwa liar, akibat terpapar senyawa ini. Badan Internasional untuk Penelitian Kanker (IARC) dan EPA menetapkan bahwa B(g,h,i)Pyrene tidak termasuk ke dalam kelompok zat yang bersifat karsinogen terhadap manusia. B(g,h,i)Pyrene adalah komponen dari minyak mentah dan produk pembakaran yang dapat diproduksi dan dilepaskan ke lingkungan selama kebakaran alami (Irwin *et al.*, 1997). Emisi dari penyulingan minyak bumi, tar batubara, dan pembakaran bahan bakar kayu, batu bara,

minyak, propana, bensin dan diesel merupakan kontributor utama B(g,h,i) Pyrene ke lingkungan. B(g,h,i) Pyrene lepas ke lingkungan melalui limbah industri, fasilitas pengolahan air limbah kota dan insinerator limbah, terurai secara perlahan di lingkungan (Shafy *et al.*, 2015). Biodegradasi B(g,h,i)Pyrene pada tanah aerobik berkisar 600-650 hari. Nilai ambang batas B(g,h,i)Pyrene untuk perlindungan biota pelagik laut adalah $8.2 \cdot 10^{-4} \mu\text{g.L}^{-1}$ (Anonymous, 2011) (Environment Agency, 1990).

Hasil pengukuran B(g,h,i) Pyrene di Teluk Jakarta disajikan pada Tabel 5. Dari tabel tersebut dapat dilihat kadar B(g,h,i) Pyrene di bagian barat Teluk Jakarta pada tahun 2015 berkisar tidak terdeteksi (ttt)-0,003 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 0,0003 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 0,003 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Kadar ini lebih rendah dibandingkan dengan bagian tengah yang kadarnya berkisar tidak terdeteksi (ttt)-0,005 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 0,0006 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 0,005 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Di bagian timur kadar B(g,h,i) Pyrene tidak terdeteksi (ttt) di semua stasiun.

Data ini menunjukkan bagian tengah Teluk Jakarta lebih banyak menerima masukan limbah yang mengandung B(g,h,i)Pyrene dibandingkan bagian barat dan timur. Bagian timur relatif lebih bersih dari kontaminasi senyawa B(g,h,i)Pyrene. Adanya perbedaan ini seperti yang telah dijelaskan di atas dapat

disebabkan oleh perbedaan waktu penelitian, posisi stasiun, volume limbah dan pola arus.

Hasil penelitian ini juga masih lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya, penyebabnya diperkirakan sama dengan yang telah di jelaskan sebelumnya. Edward (2017) pada penelitian sebelumnya mendapatkan kadar rerata B(g,h,i)Pyrene di bagian barat Teluk Jakarta pada bulan Maret 2013 berkisar tidak terdeteksi (ttt)-2,011 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 1,073 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 4,293 $\mu\text{g.L}^{-1}$, sedang pada bulan Mei kadar B(g,h,i)Pyrene tidak terdeteksi di semua stasiun. Di bagian tengah berkisar tidak terdeteksi (ttt)-4,464 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 2,127 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 8,508 $\mu\text{g.L}^{-1}$ sedang pada bulan Mei kadarnya tidak terdeteksi di semua stasiun. Di bagian timur pada bulan Maret kadarnya berkisar 2,847-16,298 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 6,522 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 26,09 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan pada bulan Mei kadarnya berkisar tidak terdeteksi (ttt)-1,693 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 0,493 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan total 1,693 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Pada bulan Maret dan Juli 2011 kadar B(g,h,i)Pyrene di bagian barat Teluk Jakarta berkisar 14,010-26,010 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan tidak terdeteksi (ttt)-22,786 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 19,405 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 7,567 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan total 77,62 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 30,269 $\mu\text{g.L}^{-1}$, di bagian tengah berkisar tidak terdeteksi (ttt)-18,840 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 21,655-90,598 $\mu\text{g.L}^{-1}$, dengan rerata 13,817 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 53,377 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan total 55,270 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 213,509 $\mu\text{g.L}^{-1}$, dan di bagian timur berkisar 10,390-37,600 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan tidak terdeteksi (ttt)-26,525 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan rerata 19,182 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 16,383 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dengan total 76,730 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dan 65,535 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Data ini menunjukkan kadar B(g,h,i)Pyrene dalam air laut di Teluk Jakarta hasil penelitian ini masih lebih rendah dibandingkan dengan Bulan Maret 2013, Mei 2013 (bagian timur), Maret dan Juli 2011 dan lebih tinggi dibandingkan dengan Mei 2013 (barat dan tengah)(Tabel 10). Environment Agency (2019) menetapkan nilai ambang batas aman B(g,h,i)Pyrene untuk perlindungan biota perairan sebesar 0,00008 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Tabel 6. Perbandingan Kadar B(b)Pyrene di Teluk Jakarta, $\mu\text{g.L}^{-1}$

Waktu	Barat	Rerata	Tengah	Rerata	Timur	Rerata
Juli-Agustus 2015*	0,001-0,002	0,00025	ttt-0,002	0,00025	ttt	ttt
Maret 2013**	ttt-6,289	2,134	ttt-8,787	3,527	9,472-123,396	43,313
Mei 2013**	ttt-3,062	1,834	0,940-2,658	1,092	0,911-5,638	3,366
Maret 2011**	53,170-171,550	115,805	29,930-85,410	53,757	26,060-93,030	47,320
Juli 2011**	32,599-114,644	60,012	24,535-74,483	57,159	16,482-83,626	50,980

Keterangan: * Penelitian ini, ** Edward (2017), ttt (tidak terdeteksi: <0,001 $\mu\text{g.L}^{-1}$)

Tabel 7. Perbandingan Kadar B(a)Anthracene di Teluk Jakarta, $\mu\text{g.L}^{-1}$

Waktu	Barat	Rerata	Tengah	Rerata	Timur	Rerata
Juli-Agustus 2015*	ttd-0,007	0,0038	ttd-0,008	0,0056	ttd-0,006	0,0025
Maret 2013**	3,974-11,096	7,120	2,671-14,993	8,614	6,276-19,298	11,508
Mei 2013**	0,641-4,348	2,082	1,006-2,988	2,149	0,935-6,171	3,654
Maret 2011**	9,350-60,780	35,992	7,620-53,920	26,302	9,750-43,990	21,245
Juli 2011**	9,926-26,905	17,719	13,495-35,568	20,386	6,494-17,619	14,429

Keterangan: * Penelitian ini, ** Edward (2017), ttd (tidak terdeteksi: $<0,001 \mu\text{g.L}^{-1}$)**Tabel 8.** Perbandingan Kadar B(b)Fluoranthene di Teluk Jakarta, $\mu\text{g.L}^{-1}$

Waktu	Barat	Rerata	Tengah	Rerata	Timur	Rerata
Juli-Agustus 2015*	ttd-0,006	0,0012	ttd-0,007	0,0013	ttd	ttd
Maret 2013**	1,836-6,763	4,337	1,76-5,612	3,413	6,637-107,844	37,824
Mei 2013**	0,894-2,040	1,501	0,689-1,820	1,328	0,677-5,218	2,847
Maret 2011**	37,290-121,650	86,845	6,740-69,800	37,995	27,03-97,440	49,095
Juli 2011**	15,608-42,851	29,426	15,151-53,691	35,798	12,014-60,306	30,989

Keterangan: * Penelitian ini, ** Edward (2017), ttd (tidak terdeteksi: $<0,001 \mu\text{g.L}^{-1}$)**Tabel 9.** Perbandingan Kadar Db(a)Anthracene di Teluk Jakarta, $\mu\text{g.L}^{-1}$

Waktu	Barat	Rerata	Tengah	Rerata	Timur	Rerata
Juli-Agustus 2015*	ttd-0,002	0,00025	ttd-0,005	0,0021	ttd	ttd
Maret 2013**	1,128-3,722	2,370	1,061-4,072	2,715	ttd-27,746	8,712
Mei 2013**	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
Maret 2011**	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
Juli 2011**	ttd-17,011	6,892	ttd	ttd	ttd	ttd

Keterangan: * Penelitian ini, ** Edward (2017), ttd (tidak terdeteksi: $<0,001 \mu\text{g.L}^{-1}$)**Tabel 10.** Perbandingan Kadar B(g,h,i)Pyrene di Teluk Jakarta, $\mu\text{g.L}^{-1}$

Waktu	Barat	Rerata	Tengah	Rerata	Timur	Rerata
Juli-Agustus 2015*	ttd-0,003	0,0003	ttd-0,005	0,0006	ttd	ttd
Maret 2013**	ttd-2,011	1,073	ttd-4,464	2,127	2,847-16,298	6,522
Mei 2013**	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd-1,693	0,423
Maret 2011**	14,010-26,010	19,405	ttd-18,840	13,817	10,390-37,600	19,182
Juli 2011**	ttd-22,786	7,567	21,655-90,598	53,377	ttd-26,525	16,383

Keterangan: * Penelitian ini, ** Edward (2017), ttd: tidak terdeteksi: $<0,001 \mu\text{g.L}^{-1}$)

Berdasarkan uraian di atas terlihat bahwa kadar ke lima senyawa PAH tersebut bervariasi baik antar stasiun maupun bulan pengamatan. Data ini juga menunjukkan bahwa volume limbah yang masuk ke Teluk Jakarta juga bervariasi setiap saat. Untuk perlindungan biota laut KMN LH (2004) menetapkan nilai ambang batas untuk total PAH sebesar $3 \mu\text{g.L}^{-1}$. Pada tabel berikut dapat dilihat

perbandingan ke lima senyawa PAH di atas dengan beberapa perairan di Indonesia.

Berdasarkan **Tabel 11** dapat dilihat kadar B(a)Anthracene tertinggi dijumpai di Teluk Lampung, selanjutnya diikuti oleh Laut Timor dan Teluk Klabat. Kadar B(b)Fluoranthene tertinggi dijumpai di Laut Timor selanjutnya diikuti oleh Pelabuhan Ratu. Kadar B(a)Pyrene tertinggi dijumpai di Teluk Lampung

Tabel 11. Perbandingan kadar individu senyawa PAH dalam Air laut di Teluk Jakarta dengan beberapa perairan di Indonesia.

Lokasi	Kadar, $\mu\text{g.L}^{-1}$.	Ref
Laut Timor, Mei 2010		Falahudin et al., (2017)
B(a)Ant	3,0-7,49	
B(b)F	2,79-32,05	
B(a)P	7,78-28,49	
Db(ah)Ant	9,15-32,34	
B(ghi)Py	ttd-14,79	
Teluk Lampung, Nov 2018		Edward (2019)
B(a)Ant	48,207-48,553	
B(b)F	ttd	
B(a)P	45,570-52,941	
Db(ah)Ant	ttd	
B(ghi)Py	ttd	
Teluk Klabat, Bangka, Juni 2006		Munawir (2007)
B(a)Ant	ttd	
B(b)F	ttd	
B(a)P	ttd-17,153	
Db(ah)Ant	ttd-18,722	
B(ghi)Py	ttd	
Teluk Klabat, Bangka Maret 2006		
B(a)Ant	ttd-9,619	
B(b)F	ttd	
B(a)P	ttd	
Db(ah)Ant	ttd-20,323	
B(ghi)Py	ttd	
Pelabuhan Ratu, April 2017		Edward (2018)
B(a)Ant	ttd	
B(b)F	ttd-0,0017	
B(a)P	ttd-0,0073	
Db(ah)Ant	ttd	
B(ghi)Py	ttd	
Hasil Penelitian ini		
Teluk Jakarta, Agt-July 2015		Hasil penelitian ini
B(a)P	ttd-0,002	
B(a)Ant	ttd-0,008	
B(b)F	ttd-0,007	
Db(ah)Ant	ttd-0,005	
B(g,h,i)Py	ttd-0,005	

Keterangan: ttd (tidak terdeteksi) $<0,001 \mu\text{g.L}^{-1}$

selanjut diikuti oleh Laut Timor dan Teluk Klabat. Kadar Db(ah)Anthracene tertinggi dijumpai di Laut Timor, selanjutnya diikuti oleh Teluk Klabat, dan kadar B(g,h,i)Pyrene tertinggi dijumpai di Laut Timor. Data di atas menunjukkan kadar B(a)Anthracene, B(b)Fluoranthene, B(a)Pyrene, Db(ah) Anthracene dan B(g,h,i)Pyrene hasil penelitian ini relatif lebih rendah di bandingkan dengan

perairan lainnya. Perbedaan kadar ini baik pada penelitian ini maupun pada penelitian terdahulu dapat disebabkan oleh perbedaan lokasi, waktu penelitian, letak stasiun dan pola arus.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan; kadar total senyawa B(a) Pyrene, B(a) Anthracene, B(b)

Fluoranthene, Db(a,h) Anthracene, dan B(g,h,i)Pyrene dalam air laut di Teluk Jakarta masih sesuai dengan nilai ambang batas aman yang ditetapkan oleh Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup 2004 untuk perlindungan biota laut. Hasil penelitian ini relatif masih lebih rendah bila dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alawi, A Mahmoud, & Abbas L. Azeez. 2016. Study of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil samples from Al-Ahdab oil field in Waset Region, Iraq. *Journal of Toxin Review*, 35 : 69-76.
- Almeda R, Zoe Wambaugh, Chao Chai, Zucheng Wang, Zhanfei Liu, & Edward J. Buskey. 2013. Effects of Crude Oil Exposure on Bioaccumulation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Survival of Adult and Larval Stages of Gelatinous Zooplankton. *LoS ONE*, 8(10): e74476. doi:10. 1371/journal.pone.0074476:1-15.
- Anonymous. 2011. 5-6 Rings Polyaromatic Hydrocarbons (PAH). 45 p.
- Byeong-Kyu Lee. 2010. Sources, Distribution and Toxicity of Poly aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Particulate Matter. Publish: August 17 th 2010. DOI: 10.5772/ 10045.
- Dong C, X. Bai, H. Sheng, L. Jiao, H. Zhou, & Z. Shao. 2015. Distribution of PAHs and the PAH degrading bacteria in the deep-sea sediments of the high-latitude Arctic Ocean. *Biogeosciences*, 12, 2163–2177, doi: 10.5194/bg-12-2163-2015.
- Duinker JC & MTHJ Hillerbrand. 1978. *Determination of selected organo chlorine seawater. In : Methods of seawater analysis (K. Grasshof, M.Erhardt and K. Kremling eds.)*. Verlag Cheme. Weinheim : 290-304.
- Edward E. 2017. Pengamatan kadar senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon (pah): (benzo [a]pyrene, benzo [a] anthracene, benzo [b] fluoranthene, di-benzo [a,h] anthracene, dan benzo [g,h,i] perylene) dalam air laut di Teluk Jakarta. *Jurnal Kelautan, Universitas Trunojoyo*, 10(2), 113-128.
- Edward E. 2018. Senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) dalam air laut dan sedimen di muara Sungai Cimandiri, Pelabuhan Ratu. *Prosiding Semkan UGM*: 15-26.
- 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, DOI: 10.13170/depik.8.1.13268.
- Environment Agency. 2019. *Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): sources, pathways and environmental data*. 44 p.
- EPA. 2017. *Toxicological Review of Benzo (a) Pyrene [CASRN 50-32-8]. Integrated Risk Information System National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development USEPA Washington DC*. 234 p.
- Falahudin D, Khozanah Munawir, Z Arifin & GA Wagey. 2012. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal waters of the Timor Sea. *Coastal Marine Science*, 35(1): 112–121.
- Grave PV & WBF Gravenstuck. 1975. A convenient small-scale clean-up method for extracts of fatty samples with basic alumina before GLC analysis on organochlorine pesticide residues. *Meded Faculty Land bouwwed*. Gent 40 : 1115-1124.
- Holden AV & K Marsden. 1969. Single stage clean-up of animal tissue

- extracts for organochlorine residue analysis. *Journal of Chromatography*, 44 :481-492.
- Honda M & Nobuo Suzuki. 2020. Toxicities of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons for Aquatic Animals. *International Journal of Environment Research and Public Health*, 17, 363; doi:10.3390/ijerph 17041363: 1-23.
- Huang M, TM Penning. 2014. *Hazards and Diseases in Encyclopedia of Food Safety*, 2304 p.
- Igwe JC, Ukaogo PO. 2015. Environmental Effects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Journal of Natural Sciences Research*. Vol.5, No.75, 117-131.
- Ikenaka Y, Masaki Sakamoto, Takamaru Nagata, Hirokazu Takahashi, Yuichi Miyabara, Takayuki Hanazato, Mayumi Ishizuka, & Kwang-Hyeon Chang, Tomo. 2013. Effects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on an aquatic ecosystem: acute toxicity and community-level toxic impact tests of benzo[a]pyrene using lake zooplankton community. *The Journal of Toxicological Sciences*, 38 (1): 131-136.
- Irwin R.J, M. Vanmouwerik, L Steven., MD Seese, & W Basham. 1997. Environmental Contaminants Encyclopedia. National Park Service, Water Resources Division, Forts Collins, Colorado. Distributed within the Federal Government as an electric document (Projected public availability on the internet or NTIS: 1998): 46 p.
- Khozannah K & Deny Yogaswara. 2017. Pengaruh aktivitas antropogenik terhadap sebaran dan jumlah jenis Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) dalam air laut dan sedimen di Perairan Teluk Jakarta. *Jurnal geologi kelautan*, 15 (2): 63-72.
- KMNLH. 2004. *Keputusan Menteri Negara dan Lingkungan Hidup No.51 Tentang Baku Mutu Air Laut untuk Kehidupan Biota Laut*. 11 hal.
- Mirza R, Iraj Faghiri, & Ehsan Abedi. 2012. Contamination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Sediments of Khure-Musa Estuarine, Persian Gulf. *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 4 (2): 136-141, 2012.
- Montana Department of Environmental Quality. 2012. *DEQ-7 Montana Numeric Water Quality Standards*. Helena, MT: Montana Dept. of Environmental Quality. 76 p.
- 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.
- Nagpal KN. 1993. *Ambient Water Quality Criteria For Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Ministry of Environment, Lands and Parks Province of British Columbia*. 135 p.
- Nasher E, Lee Yook Heng, Zuriati Zakaria, & Salmijah Surif.2013. Concentrations and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Seawater around Langkawi Island, Malaysia. Hindawi Publishing Corporation *Journal of Chemistry* Volume 2013, Article ID 975781, 10 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/975781>.
- NRC (National Research Council). 2003. *Oil in the sea III: inputs, fates, and effects*, Washington, DC. 277 p.
- Sahoo, M Biswa, V.V Ravi Kumar, Bimal K. Banik and Preetismita Borah. 2002. Polyaromatic Hydrocarbons (PAHs): Structures, Synthesis and their Biological Profile. *Current Organic Synthesis*, 17, 1-16
- Shafy-Abdel. I. Hussein & Mona S,M, Mansour. 2016. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25: 107-123.

- Stogiannidis E & R Laane. 2015. *Source Characterization of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Using Their Molecular Indices: An Overview of Possibilities*. 86 p.
- Syakti DA. 2016. Molecular Diagnostik Ratios to Assess The Apportionment of Petroleum Hydrocarbons Contamination in Marine Sediment Rasio Molekul Diagnostik untuk Pendugaan Sumber Kontaminasi Hidrokarbon Minyak Bumi di Sediment Laut. *Molekul*, Vol. 11. No. 2: 208 – 219.
- Zaghden H, Kallel, M, Elleuch, B, Oudot J, & Saliot A. 2007. Sources and distribution of aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in sediments of Sfax, Tunisia, Mediterranean Sea, *Marine Chemistry*, 105(1-2), 70-89.