

Bioakumulasi senyawa poli-aromatik hidrokarbon dalam plankton, ganggang dan ikan di perairan laut selatan Jogjakarta

Bioaccumulation of poly-aromatic hydrocarbons in plankton, algae and fish in south sea waters in Jogjakarta

Endang Lukitaningsih*) dan Ari Sudarmanto

Fakultas Farmasi, Universitas Gadjah Mada Jogjakarta

Abstrak

Sebagai polutan, keberadaan senyawa Poli Aromatik Hidrokarbon (PAH) di lingkungan harus selalu dipantau, karena senyawa ini berpotensi sekali untuk menyebar luas melalui pola rantai makanan dan bersifat karsinogenik. Kelarutannya yang sangat kecil dalam sampel air, menyebabkan sulit untuk dianalisis. Oleh karena itu disarankan untuk menggunakan sampel selain air, bila akan mengetahui keberadaan PAH dalam lingkungan air. Dengan memanfaatkan fenomena akumulasi PAH dalam jaringan lipid biota air, maka dikembangkan teknik analisis menggunakan bioindikator. Pada penelitian ini telah diamati konsentrasi empat jenis PAH (pirena, benzo(a)antrasena, benzo(k)fluorantena dan benzo(a)pirena) masing-masing dalam sampel air, plankton, ganggang dan ikan di perairan Laut Selatan Jogjakarta. Harga faktor bioakumulasi PAH total dalam masing-masing biota telah dihitung dan hasilnya berkisar antara 4498 - 432754; 2552 - 49265; 14156 - 730991, masing-masing untuk sampel plankton, ganggang dan ikan. Berdasarkan harga faktor bioakumulasi yang diperoleh, maka plankton dapat digunakan sebagai bioindikator pencemaran PAH untuk pemantauan sesaat, sedangkan ikan Kuniran *Upeneus moluccensis* dengan prioritas organ insang dapat digunakan untuk pemantauan jangka menengah (bulan).

Kata kunci : poli aromatik hidrokarbon, faktor bioakumulasi, bioindikator, *Upeneus moluccensis*

Abstract

As a pollutant, the presence of Poly Aromatic Hydrocarbons (PAH) in the environment must be always monitored, because of their ability to spread widely through the food chain and also their carcinogenic properties. The solubility of PAH in water is very low, therefore it is difficult to analyze their presence in water environment by using water as a sample. By utilizing the phenomenon of the accumulation of PAH in biolipids, the analysis method has been developed using bioindicators. In this research, the concentration of four kinds of PAH (pyrene, benzo(a)anthracene, benzo(k)fluoranthene and perylene) in several samples (water, plankton, algae and fish) that collected from the south sea Jogjakarta has been determined. The bioaccumulation factor (BAF) of PAH in each sample has been calculated and the results were from 4498 to 432754; 2552 to 49265; 14156 to 730991, respectively for plankton, algae and fish. Based on the BAF values, plankton can be used as a bioindicator for short term PAH monitoring, while the *Upeneus moluccensis* fish primarily gills organ can be used as a bioindicator for medium term (months) PAH monitoring.

Key words : poly aromatic hydrocarbons, bioaccumulation factor, bioindicator, *Upeneus moluccensis*

Pendahuluan

Senyawa PAH (Poli Aromatik Hidrokarbon) adalah golongan senyawa kimia yang memiliki struktur dasar terdiri dari atom-atom karbon dan hidrogen yang tersusun dalam fusi dua atau lebih cincin aromatic. Senyawa ini dihasilkan oleh pembakaran tidak sempurna bahan bakar fosil (Hallet and Brecher, 1983) dan juga plastik (Wheatly, *et al.*, 1993). Bahan bakar diesel mengandung PAH total hingga 14,740 ppm termasuk di dalamnya karbazol dan dibenzotiofene yang diketahui bersifat karsinogenik. Kerosene juga dilaporkan mengandung PAH total hingga 10,93 ppm dengan kandungan utamanya naftalene (Lalah and Kanigwara, 2005).

Sebagai polutan, PAH perlu selalu dipantau keberadaannya karena dapat menyebabkan mutasi material genetik dan menimbulkan kanker (Jones and Wild, 1989). Di dalam tubuh, PAH akan dimetabolisme oleh sitokrom P450 dalam liver membentuk derivat epoksida, derivat dihidrodiol serta bentuk radikal kation (Grover, 1986; Liu and Sloane, 1979; Cavalieri and Rogan, 1995). Bentuk radikal kation PAH memegang peranan penting dalam interaksinya dengan DNA dan pada akhirnya menginisiasi terjadinya tumor (Cavalieri and Rogan, 1995). Benzo(a)pirena dan *benzo(j)aceanthrylene* dimetabolisme membentuk derivat 7,8-dihidrodiol-BAP dan 1,2-dihidrodiol-BAA. Kedua metabolit ini akan berkonjugasi dengan glukoronida maupun glutathione dan akhirnya diekskresikan melalui faeces dan urine (Rao and Duffel, 1992; Hegstad, *et al.*, 1999).

Karena demikian berbahaya, maka WHO telah mengeluarkan rekomendasi batas maksimum kandungan PAH dalam air minum sebesar 200 ng/L yang dihitung sebagai jumlah enam PAH yang mudah ditetapkan yaitu fluorantena, benzo(b)-fluorantena, benzo(a)pirena, benzo(g,h,i)-perilena dan indeno(1,2,3)pirena. Khusus untuk benzo(a)pirena tidak boleh lebih dari 10 ng/L (Samara, *et al.*, 1995), sedangkan negara-negara Eropa mereko-mendasikan batas maksimum PAH dalam air sebesar 10 ng/L yang dihitung sebagai jumlah enam belas jenis PAH berbahaya (Ollivon, *et al.*, 1995).

PAH memiliki sifat sukar larut dalam air. Oleh karena itu sering timbul kendala dalam analisis bila diinginkan untuk menetapkan konsentrasi PAH dalam lingkungan perairan dengan mengambil sampel airnya saja. Untuk mengatasi problem tersebut, maka dikembangkan metode analisis menggunakan sampel selain air seperti misalnya biota atau sedimen. Metode ini didasarkan pada sifat PAH yang lipofil, yang menyebabkan PAH cenderung teradsorpsi pada partikel-partikel organik maupun terabsorpsi dalam jaringan lipid biota yang hidup di sekitarnya (Hallet and Brecher, 1983; Kamiet, *et al.*, 1988; John and Braulio, 1985). Data penetapan PAH dalam jaringan lipid organisme yang memiliki kemampuan mengakumulasi PAH tentunya lebih reliable daripada data air. Semakin besar kemampuan organisme untuk mengakumulasi PAH, maka peluang untuk dijadikan bioindikator semakin besar. Bioindikator adalah sistem biologi yang dapat dijadikan pembeda untuk melihat kondisi lingkungan terpolusi atau tidak.

Metodologi

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan, jika tidak dinyatakan lain berkualitas pro analisis dari E. Merck, meliputi heksana, aseton, florisil, alumina, natrium sulfat anhidrat, gas nitrogen dan hidrogen berkualitas *ultra high pure*, Seppak cartridge C18 dari Waters Association. Standard PAH diperoleh dari Kernforschungsanlage (KFA), Institut für Angewandte Physikalische, Chemie Forschungszentrum Jülich GmbH, Germany meliputi fluorantena, pirena, benzo(a)antrasena, benzo(a)pirena dan perilena.

Sampel: air, plankton, ganggang dan ikan yang diambil dari perairan Laut Selatan DIY meliputi sungai Baron, muara sungai Baron dan air laut Baron; sungai Opak, muara sungai Opak dan air laut Kretek; air sungai Serang, muara sungai Serang dan air laut Glagah.

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat *rotary evaporator*, seperangkat alat Soxhlet, seperangkat gas kromatografi dengan detektor FID, *freeze dryer*, alat timbang, alat gelas.

Jalannya Penelitian Pengambilan sampel

Sampel baik air maupun biota diambil secara teratur dan serentak. Kemudian disimpan dalam freezer untuk menghindari peruraian mikroorganisme.

Preparasi sampel air

Sejumlah 5,0 L sampel air disaring dengan kertas Whatman no. 42 kemudian diulang dengan Millipore 0.45 μm . Kemudian dilewatkan cartridge seppak C18 yang telah diaktivasi. Elusi seppak dilakukan dengan teknik gravitasi, berturut-turut menggunakan aseton-heksana dan heksana. Masing-masing eluat ditampung secara terpisah, kemudian dievaporasi hingga volume 100 μL . Eluat kental kemudian diinjeksikan dalam sistem kromatografi gas yang telah dioptimalkan sesuai dengan prosedur dalam Lukitaningsih (2004).

Preparasi sampel plankton dan ganggang

Sampel plankton dan ganggang dikeringkan menggunakan freeze dryer. Ditimbang sejumlah sampel kering, kemudian diekstraksi dengan Soxhlet menggunakan pelarut campuran heksan-aseton (1:1) pada temperatur 60 $^{\circ}\text{C}$. Ekstrak kemudian dipekatkan dan dilanjutkan dengan *clean up* menggunakan kromatografi kolom berisi florasil. Kolom dielusi berturut-turut menggunakan heksan-aseton dan heksan. Masing-masing eluat ditampung secara terpisah kemudian dievaporasi hingga volume 100 μL . Eluat pekat kemudian diinjeksikan dalam kromatografi gas yang telah dioptimalkan.

Preparasi sampel ikan

Sampel ikan dibelah dan dipisahkan organ-organanya (insang, hepar dan daging). Setelah dipisahkan organanya, kemudian ditimbang sejumlah tertentu dan seksama. Sampel kemudian dimasukkan dalam erlenmeyer

dan ditambahkan natrium sulfat anhidrat kemudian dimaserasi menggunakan heksan-aseton (1:1) selama 2X24 jam di atas penggojok. Ekstrak kemudian disaring dan dibebaskan tapak-tapak airnya dengan natrium sulfat anhidrat. Selanjutnya ekstrak dievaporasi hingga 2-5 mL dan dilakukan *clean up* menggunakan kromatografi kolom fase diam alumina yang telah diaktivasi. Kolom alumina dielusi berturut-turut menggunakan heksan-aseton (1:1) dan heksan. Masing-masing eluat kemudian dievaporasi hingga volume 100 μL . Ekstrak pekat kemudian diinjeksikan ke dalam kromatografi gas yang telah dioptimalkan.

Perhitungan faktor bioakumulasi serta pemilihan biota yang sesuai untuk bioindikator

Faktor bioakumulasi dihitung dengan membandingkan konsentrasi PAH dalam biota dengan harga konsentrasi PAH dalam air di mana biota itu hidup, dalam waktu yang bersamaan. Biota yang paling tinggi kemampuannya mengakumulasi PAH dipilih sebagai bioindikator.

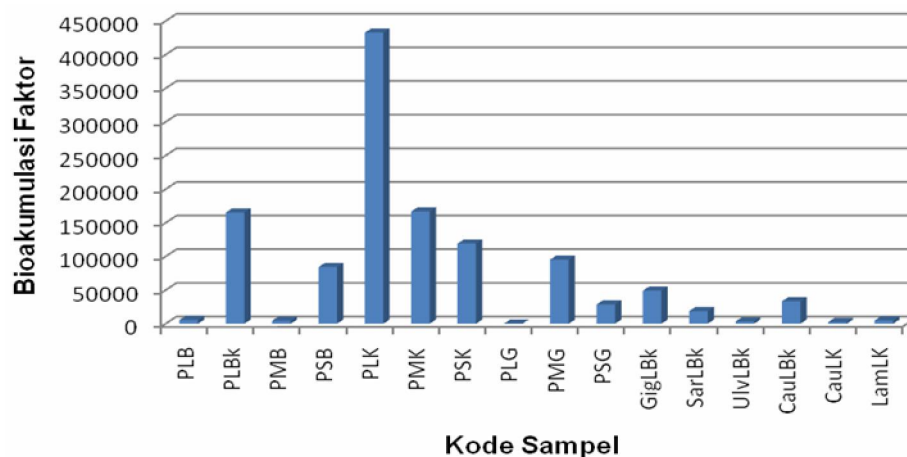
Hasil dan Pembahasan

Tahap awal dari penelitian ini adalah identifikasi sampel biota yang berhasil dikumpulkan. Hasil identifikasi dapat dilihat dalam Tabel I.

Hasil penetapan kandungan PAH dalam sampel plankton dan ganggang

Optimasi dan validasi metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini telah dilaporkan dalam Lukitaningsih (2004). Harga *limit of detection (LOD)* dan *limit of quantification (LOQ)* (Tabel II). Kandungan PAH dalam sampel air, plankton dan ganggang dapat dibaca dalam Tabel III.

Analisis PAH dilakukan dengan membandingkan waktu retensi kromatogram sampel dengan waktu retensi kromatogram standar. Untuk mengganti-sipasi kemungkinan interferensi dari sinyal kontaminan yang memiliki waktu retensi hampir sama dengan PAH, maka pembatasan pergeseran waktu retensi yang digunakan sangat kecil yaitu $\pm 0,05$ menit.



Keterangan:

P : Plankton
 Gig : *Iridea betrocarpa*
 Sar : *Sargassum filipendula*
 Ulv : *Ulua lactuca*
 Cau : *Caulerpa* sp
 Lam : *Laminaria sinclairii*
 M : Muara
 S : Sungai
 L : Laut
 B : Baron
 Bk : Kukup
 K : Krakal
 G : Glagah

Gambar 1. Diagram faktor bioakumulasi PAH dalam sampel plankton dan ganggang.

Tabel I. Hasil identifikasi sampel biota

Nama Spesies	Golongan
<i>Upeneus moluccensis</i>	Ikan Kuniran
<i>Chrorinemus lyson</i>	Ikan Petek
<i>Mugil Sp</i>	Ikan Belanak
<i>Trichiurus sp</i>	Ikan Layur
<i>Iridaea betrocarpa</i>	Ganggang makro
<i>Ulua lactuca</i>	Ganggang makro
<i>Sargassum filipendula</i>	Ganggang makro
<i>Caulerpa sp</i>	Ganggang makro
<i>Laminaria sinclairii</i>	Ganggang makro
<i>Nitzschia seriata</i>	Plankton yang dominan
<i>Gonyoulax sp</i>	Plankton yang dominan

Tabel II. Harga LOD dan LOQ (Rerata ± SD)

No	Nama Senyawa	Harga LOD (ng/peak)	Harga LOQ (ng/peak)
1	Pirena	22,9 ± 0,3	76,3 ± 4,6
2	Benzo(a)antrasena	111,9 ± 1,2	373,1 ± 0,8
3	Benzo(k)fluorantena	139,0 ± 2,8	463,3 ± 2,8
4	Benzo(a)pirena	119,8 ± 3,9	399,3 ± 8,7

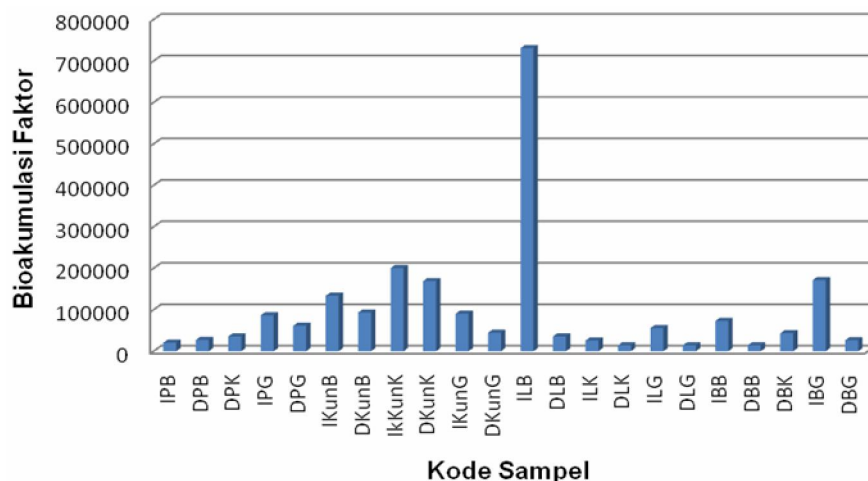
Tabel III. Data distribusi PAH dalam sampel air, plankton dan ganggang di setiap lokasi pengambilan sampel (Rerata ± SD)

Jenis Sampel	Kandungan PAH				PAH total
	Pirena	B(a)A	B(k)F	B(a)P	
PAH dalam Air (ppb)					
Laut Baron	Trace	1,0±0,0	ND	10,5±1,0	11,5±1,0
Laut Kukup	Trace	Trace	ND	2,0±0,0	2,0±0,0
Muara Baron	ND	Trace	1,4±0,0	ND	1,4±0,0
Sungai baron	Trace	1,7±0,2	ND	6,4±0,7	8,1±0,9
Laut Kretek	Trace	0,6±0,7	ND	8,9±1,0	9,5±1,0
Muara Opak	Trace	3,1±0,1	ND	17,2±2,6	20,3±2,7
Sungai Opak	0,1±0,02	9,0±1,2	ND	11,2±0,6	20,3±1,8
Laut Glagah	Trace	2,7±0,6	ND	5,7±0,4	8,2±1,0
Muara Serang	0,1±0,0	14,8±0,7	9,6±1,7	11,6±2,5	36,1±4,8
Sungai Serang	ND	5,0±1,0	15,6±2,0	8,3±0,5	28,9±3,4
PAH dalam Plankton (ppm)					
Laut Baron	64,9±0,4	ND	ND	ND	64,9±1,5
Laut Kukup	ND	320,0±3,2	Trace	21,3±1,4	341,3±34,5
Muara Baron	6,4±0,1	ND	Trace	Trace	6,4±0,2
Sungai baron	13,2±0,1	Trace	ND	672,4±7,2	685,6±3,5
Laut Kretek	Trace	887,8±22,9	3222,0±16,9	Trace	4109,9±87,1
Muara Opak	56,7±7,8	293,1± 9,5	2715,1±36,7	326,0±23,5	3390,9±45,1
Sungai Opak	18,1±0,1	1057,5±13,5	1259,5±45,3	81,5±5,4	2416,7±23,4
Laut Glagah	ND	Trace	ND	ND	Trace
Muara Serang	ND	830,4±17,3	2323,3±12,3	292,6±19,8	3446,3±16,7
<i>Iridaea betrocarpa</i> (Laut Baron)	Trace	3,2±0,8	74,1±0,8	24,3±1,2	101,6±6,7
<i>Sargassum sp</i> (Laut Baron)	19,3±0,3	18,0±0,3	Trace	1,4±0,3	38,7±1,3
<i>Uva lactuca</i> (Laut Baron)	3,3±0,2	2,4±0,1	Trace	1,3±0,1	7,0±0,2
<i>Sargassum filipendula</i> (Laut Baron)	0,5±0,1	6,5±0,1	61,6±3,2	ND	68,6±3,5
<i>Caulerpa sp</i> (Laut Kukup)	2,9±0,4	14,0±0,6	2,2±0,2	5,2±0,6	24,2±0,8
<i>Laminaria sinclairii</i> (Laut Kukup)	4,2±0,1	13,6±0,5	10,4±1,0	17,4±1,6	45,7±3,8

Keterangan: ND : tidak terdeteksi (tidak timbul respon)
 Trace: terdeteksi dengan konsentrasi sangat kecil (di bawah LOD)
 Analisis dilakukan duplo dengan masing-masing pengukuran dua kali

Di samping itu secara acak sampel juga dianalisis menggunakan HPLC dengan detektor spektrofлуorometer yang lebih selektif untuk mengkonfirmasi kebenaran data. Dari kedua data (HPLC dan GC) ternyata tidak

ditemukan perbedaan yang bermakna dan tidak ditemukan material yang menginterferensi dalam tiap puncak kromatogram sampel (Lukitaningsih, 2004).



Keterangan :

I : Ikan	Kun (huruf kedua) :	Kuniran	P :	Petek
D: DagingB (huruf ketiga)	:	Baron		
B : Blanak K (huruf ketiga)	:	Kretek		
L : Layur	G	: Glagah		

Gambar 2. Diagram faktor bioakumulasi PAH dalam sampel ikan.

Bila dibandingkan dengan ganggang, ternyata plankton memiliki kemampuan mengakumulasi PAH lebih besar.

Ganggang hanya memiliki harga BAF (bioakumulasi faktor) sekitar 2552,6 - 49262,4 dengan harga logaritma BAF rata-rata 4. Hal ini disebabkan plankton memiliki luas permukaan tubuh yang sangat besar sehingga tempat absorpsi PAH juga sangat besar. Di samping itu sistem enzim dalam plankton tidak sekompleks dalam ganggang sehingga PAH yang sudah terabsorpsi tidak mengalami metabolisme. Harga bioakumulasi faktor dari sampel plankton dan ganggang selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 1.

Dari sekian jenis ganggang, ternyata *Iridaea hetrocarpa* memiliki kemampuan mengakumulasi PAH paling besar dengan harga BAF 49268,1. Berdasarkan hasil pengamatan tersebut, maka disarankan untuk menggunakan sampel plankton untuk indikator cemaran PAH jangka pendek dalam sistem perairan.

Hasil penetapan kandungan PAH dalam sampel ikan

Ikan merupakan salah satu biota yang dapat digunakan sebagai bioindikator

pencemaran jangka menengah (bulan). Telah dilakukan pengamatan terhadap beberapa spesies ikan yaitu ikan Petek (*Chrorinomus lyson*), ikan Kuniran (*Upeneus moluccensis*), ikan blanak (*Mugil sp*) dan Ikan Layur (*Trichiurus sp*).

Ikan tergolong biota dengan organogenesis yang kompleks, oleh karenanya dalam penelitian ini juga dipelajari distribusi PAH dalam organ penting yaitu daging, hepar dan insang.

Daging dipilih dengan pertimbangan bahwa di dalamnya memiliki kandungan lipid yang paling besar sehingga kemungkinan PAH terjerap cukup besar, sedangkan insang merupakan organ terluar yang selalu kontak dengan air dan merupakan pintu gerbang masuknya makanan yang dikonsumsi.

Tabel IV. Hasil penetapan kandungan PAH dalam sampel Ikan (Rerata ± SD)

Jenis Biota	Kandungan PAH (ppm)				
	Pirena	B(a)A	B(k)F	B(a)P	PAH total (ppm)
Insang					
Petek-Baron	13,7 ± 0,2	66,0 ± 2,5	138,4 ± 9,3	18,8 ± 2,5	236,9 ± 5,7
Petek-Glagah	2,3 ± 0,1	210,8 ± 4,1	308,9 ± 8,9	191,2 ± 42,1	713,1 ± 14,2
Kuniran-Baron	Trace	384,6 ± 26,1	1013,8 ± 21,4	137,5 ± 3,8	1535,9 ± 17,8
Kuniran-Kretek	30,1 ± 0,3	447,3 ± 12,3	1072,0 ± 72,1	356,0 ± 17,2	1905,5 ± 61,1
Kuniran-Glagah	8,5 ± 0,2	87,2 ± 2,9	595,4 ± 16,5	53,3 ± 9,7	744,4 ± 11,8
Layur-Baron	12,2 ± 0,0	224,4 ± 16,9	694,5 ± 20,8	102,6 ± 21,2	1033,6 ± 17,3
Layur-Kretek	7,7 ± 0,1	42,2 ± 2,9	158,7 ± 16,8	35,8 ± 0,2	244,5 ± 21,1
Layur-Glagah	12,0 ± 0,2	230,2 ± 14,2	51,7 ± 7,4	164,1 ± 9,3	458,0 ± 2,7
Blanak-Baron	10,1 ± 0,1	26,0 ± 0,9	745,3 ± 16,8	57,5 ± 9,9	838,9 ± 8,9
Blanak-Glagah	4,7 ± 0,1	434,5 ± 23,1	916,4 ± 82,1	54,1 ± 5,8	1409,7 ± 6,9
Daging					
Petek Baron	0,9 ± 0,0	115,3 ± 12,9	165,5 ± 16,9	29,3 ± 0,2	310,9 ± 4,1
Petek-Kretek	2,9 ± 0,1	52,5 ± 9,7	229,5 ± 22,7	53,3 ± 9,1	338,2 ± 6,3
Petek-Glagah	ND	129,9 ± 6,8	343,3 ± 32,1	31,8 ± 0,4	505,0 ± 19,4
Kuniran-Baron	1,9 ± 0,1	154,8 ± 8,3	870,5 ± 19,97	45,3 ± 2,9	1072,5 ± 21,4
Kuniran-Kretek	5,6 ± 0,2	411,7 ± 19,6	1129,9 ± 72,4	59,6 ± 7,7	1606,8 ± 33,3
Kuniran-Glagah	0,1 ± 0,0	90,1 ± 7,8	270,8 ± 31,1	5,5 ± 0,7	366,5 ± 4,9
Layur-Baron	0,4 ± 0,1	108,6 ± 6,9	169,5 ± 12,7	132,9 ± 6,2	411,5 ± 8,7
Layur-Kretek	0,3 ± 0,0	109,8 ± 2,9	14,1 ± 3,5	10,3 ± 0,2	134,4 ± 11,8
Layur-Glagah	2,4 ± 0,3	39,1 ± 5,7	49,5 ± 12,6	25,5 ± 0,4	116,5 ± 12,4
Blanak-Baron	1,0 ± 0,0	70,6 ± 8,3	89,3 ± 11,1	4,2 ± 0,3	165,2 ± 18,8
Blanak-Kretek	0,2 ± 0,0	141,1 ± 4,9	241,7 ± 8,9	28,3 ± 1,1	411,3 ± 32,1
Blanak-Glagah	0,6 ± 0,0	112,5 ± 3,9	69,1 ± 16,8	36,4 ± 1,0	218,6 ± 8,9

Keterangan: ND : tidak terdeteksi (tidak timbul respon)
 Trace : terdeteksi dengan konsentrasi sangat kecil (di bawah LOD)
 Analisis dilakukan duplo dengan pengukuran masing-masing dua kali

Bentuk atau struktur insang yang berlapis-lapis dan berongga sehingga memudahkan PAH terjerab dan terakumulasi. Organ hepar merupakan organ penting yang merupakan tempat metabolisme dan terdepositnya bahan-bahan kimia asing yang masuk. Dari hasil penelitian terlihat bahwa kandungan PAH di dalam hepar pada umumnya sangat rendah berbeda dengan di dalam daging dan insang. Diperkirakan PAH banyak mengalami metabolisme menjadi metabolit yang tidak dapat dideteksi oleh

kromatografi gas yang digunakan. Oleh karena itu dalam tinjauan selanjutnya difokuskan hanya pada organ insang dan daging (Tabel IV).

Dari tabel IV terlihat bahwa distribusi PAH di dalam insang mempunyai kecenderungan relatif besar daripada di dalam daging. Spesies ikan kuniran mempunyai harga faktor bioakumulasi terbesar daripada keempat spesies lainnya dengan organ insang sebagai tempat akumulasi paling tinggi. Daging dari ikan belanak dan ikan petek memiliki akumulasi yang hampir sama, tetapi kemampuan insang

Belanak sedikit lebih besar daripada ikan Petek, sedangkan ikan Layur memiliki kemampuan akumulasi yang rendah.

Berdasarkan harga faktor bioakumulasinya (Gambar 2), maka ikan Kuniran merupakan salah satu spesies ikan yang terbaik yang dapat digunakan sebagai bioindikator pencemaran PAH dalam jangka waktu menengah.

Kesimpulan

Pemantauan pencemaran PAH dalam air disarankan menggunakan sampel selain air, untuk memperoleh data yang memiliki reliabilitas tinggi.

Harga faktor bioakumulasi PAH total berkisar antara 4498 - 432754; 2552 - 49265;

14156 - 730991, masing-masing untuk sampel plankton, ganggang dan ikan.

Plankton dapat digunakan sebagai bioindikator pencemaran PAH untuk pemantauan sesaat, sedangkan ikan Kuniran *Upeneus moluccensis* dengan prioritas organ insang dapat digunakan untuk pemantauan jangka menengah (bulan).

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada QUE Project Batch III Fakultas Farmasi Universitas Gadjah Mada yang telah membiayai penelitian ini

Daftar Pustaka

- Cavalieri, E. L., and Rogan, E. G., 1995, Central role of radical cations in metabolic activation of polycyclic aromatic hydrocarbons, *Xenobiotica*, 25, 677-688
- Grover, P. L., 1986, Pathways involved in the metabolism and activation on polycyclic hydrocarbons, *Xenobiotica*, 16, 915-931
- Hallet, D. J. and Brecher, R. W., 1983, Cycling of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in The Great Lakes Ecosystem in Niagru, J. O and Simons, M.S. (Editors), *Toxic Contaminant in The Great Lakes*, vol. 14., 195-211, John Wiley and Sons, London
- Hegstad, S., Lundanes, E., Holme, J. A. and Alexander, J., 1999, characterization of metabolites of benz(j)aceanthrylene in faeces, urine, bile from rat, *Xenobiotica*, 29, 1257-1272
- John, F. M. and Barulio, D. J., 1985, Interaction between Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and dissolved Humic Material, Binding and Dissociation, *Environ. Sci. Technology*, 19, 11, 1072-1076
- Jones, K. C. and Wild, S. R., 1995, Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in the United Kingdom Environment: A Preliminary Source Inventory and Budget, *Environ. Pollution*, 88, 91-108
- Kamiet, J. M., Doherty, R. M., Carr P. W., Mackay, D., Abraham, M. H., and Taft, R. W., 1998, Linier Solvation Energy Relationships 44 Parameter Estimation Rules that Allow Accurate Prediction of Octanol/Water Partition Coefficients and Other Solubility and Toxicity Properties of Polychlorinated Biphenyls and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, *Environ. Sci. Technol.*, 22, 5, 503-509
- Lalah, J. O., and Kanigwara, P.N., 2005, Polynuclear aromatic compounds in kerosene, diesel and unmodified sunflower oil in respective engine exhaust particulate emissions, *Toxicol. & Environ. Chem.*, 87, 463-479
- Liu, W. and Sloane, N.H., 1999, The effects of cytochrome P450-448 inhibitors on the binding of benzo(a)pyrene and derivatives to DNA upon microsomal activation, *Xenobiotica*, 9, 165-171
- Lukitaningsih, E., Sudarmanto, B.S., and Primadesa, L., 2004, Bioakumulasi senyawa hidrokarbon polisiklik aromatic dalam *Ind. J. Pharmacy*, 15,3,110-117
- Ollivon, D., Garban, B. and Chesterikoff, A., 1995, Analysis of the Distribution of some Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediment and Suspended matter in the River Seine

- (France), *Water, air and Soil Pollution*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 81, 135-152
- Rao, S.I. and Duffel, M.W., 1992, Inhibition of rat hepatic aryl sulphotransferase IV by dihydrodiol derivatives of benzo(a)pyrene and naphthalene, *Xenobiotica*, 22, 247-255
- Samara, C., Lintelmann, J. and Kettrup, A., 1995, Determination of Selected Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in Waste Water and Sludge Samples by HPLC with Fluorescence Detection, *Toxicol. & Environ. Chem.*, 8, 89-102
- Wheatly, L., Lavendis, Y. A., and Yourous, P., 1993, Exploratory study on the combustion and PAH Emissions of Selected Municipal Waste Plastics, *Environ. Sci. Technol.*, 27, 2885-2895

*¹ Koresponden : Endang Lukitaningsih
Fakultas Farmasi, Universitas Gadjah Mada Jogjakarta
Email : lukitaningsih_end@yahoo.com