

Bioakumulasi senyawa hidrokarbon polisyklik aromatik dalam *Panaceus merquensis* dan *Calappa flammae* di perairan laut selatan Jogjakarta

Bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in *Panaceus merquensis* and *Calappa flammae* in south sea water Jogjakarta

Endang Lukitaningsih, B.S. Ari Sudarmanto dan Lina Primadesa

Bagian Kimia Farmasi, Fakultas Farmasi UGM, Yogyakarta

Abstrak

Hidrokarbon polisyklik aromatik (PAHs) adalah golongan senyawa kimia yang tersusun dari fusi cincin benzena, di lingkungan terutama dibentuk oleh pembakaran tidak sempurna dari bahan bakar fosil. Pengaruhnya terhadap kesehatan disebabkan oleh pembentukan metabolit PAHs yang ternyata bersifat karsinogenik, mutagenik dan teratogenik. Karena sifatnya yang hidrofob, maka di lingkungan perairan, PAHs dapat terakumulasi pada ekokompartemen yang lipofil seperti pada jaringan lipid biota maupun pada sedimen. Oleh karena itu PAHs dapat terdistribusi melalui jaringan makanan.

Pada penelitian ini telah diteliti lima jenis PAHs yaitu pirena, benzo(a)antrasena, benzo(k)fluorantena, benzo(a)pirena dan perilena dalam sampel kepiting (*Calappa flammae*) dan udang (*Panaceus merquensis*) yang diambil dari perairan pantai Laut Selatan Daerah Istimewa Jogjakarta. Analisis dikerjakan dengan kromatografi gas yang dilengkapi dengan detektor ionisasi nyala (*flame ionization detector*). Dari hasil analisis diharapkan dapat mengetahui kemampuan kedua biota tersebut dalam mengakumulasi PAHs sehingga dapat dijadikan sebagai bioindikator tingkat pencemaran PAHs di lingkungan.

Dari hasil penelitian diperoleh faktor bioakumulasi (BAF) senyawa PAHs total pada biota udang berkisar antara 2388,33-23486,54 sedangkan pada biota kepiting berkisar antara 13870,92-96078. Log BAF dari biota udang 3,378-4,371 sedangkan untuk kepiting 4,142-4,983. Berdasarkan rekomendasi dari *World Health Organization (WHO)*, konsentrasi PAHs total dalam sampel air masih dalam batas aman.

Kata kunci : hidrokarbon polisyklik aromatik, bioakumulasi, udang (*Panaceus merquensis*) dan kepiting (*Calappa flammae*)

Abstract

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are a class of organic chemicals, composed of fused benzene rings, occurred in the environment due to incomplete combustion of fossil fuels. Health concerns are focused on the metabolite transformation of PAHs, which is carcinogenic, mutagenic and teratogenic. Due to their hydrophobicity in aquatic environment, PAHs are accumulated to the more lipophilic ecocompartments such as biolipid tissues and sediments, so PAHs can be distributed through food chain system.

In this research, five kinds of PAHs (i.e. pyrene, benz(a)anthracene, benz(k)fluoranthene, benz(a)pyrene and perylene) in shrimps (*Panaceus*

merquensis) and crabs (*Calappa flammea*) collected from the south sea beach water system at Jogjakarta were investigated. PAHs analysis were worked out by gas chromatography with flame ionization detector. It can be shown from this research that PAHs accumulate into each biota.

The results showed that bioaccumulation factor value of total PAHs in shrimp and crab are 2388.33-23486.54 and 13870.92-96078 respectively. The logarithmic value of bioaccumulation factor of total PAHs in shrimp and crab are 3.378-4.371 and 4.142-4.983 respectively. According to the World Health Organization (WHO) recommendation, the level of PAHs concentration in water sample is safe.

Key words : polycyclic aromatic hydrocarbons, bioaccumulation, shrimp (*Panaceus merquensis*) and crab (*Calappa flammea*)

Pendahuluan

PAHs merupakan zat kimia dengan struktur dasar yang terdiri dari atom karbon dan hidrogen yang bergabung menjadi dua atau lebih cincin aromatik (Eadie, 1983). Beberapa jenis PAHs yang sering dipelajari dan banyak ditemukan di lingkungan adalah benzo(a)pirena, antrasena, benzo(a)antrasena, fluorantena, indeno(1,2,3-cd)pirena, phenantrena, perilena dan pirena (Eadie, 1983).

Sebagai polutan, PAHs perlu selalu dipantau keberadaannya karena dapat menyebabkan mutasi material genetik dan menimbulkan kanker. PAHs termasuk golongan zat kimia yang bersifat genotoksik. PAHs memberikan efek dengan membentuk ikatan kovalen dengan basa dari DNA. PAHs memiliki gugus elektrofil yang akan membentuk ikatan kovalen dengan gugus nukleofilik seperti asam amino, sulfhidril dan gugus hidroksil pada molekul lain (Sugiyanto, *et al.*, 1992).

PAHs terbentuk akibat pembakaran tidak sempurna dari zat-zat organik. Beberapa industri penting menghasilkan PAHs, diantaranya proses gasifikasi dan likuififikasi batubara, pembakaran bahan bakar fosil (bensin, minyak tanah, batu bara, gas alam, solar) dan pembuangan limbah pada proses industri (Thakker, *et al.*, 1985). Sumber lain dari PAHs yang mungkin sangat berpengaruh pada manusia adalah makanan yang telah mengadsorpsi PAHs, pembakaran lahan pertanian, dan kebiasaan merokok. Pada bahan makanan, cemaran PAHs mungkin dijumpai sebagai hasil samping proses pengolahan makanan misalnya pembakaran, pemanggangan maupun pengasapan, dapat juga sebagai akibat cemaran wadah makanannya atau berasal dari air, tanah dan udara yang terkontaminasi (Peereboom dan Reijnders, 1989).

Struktur PAHs yang kaku dan tersusun dari dua atau lebih cincin aromatik menyebabkan PAHs bersifat lipofilik, sukar larut dalam air dan memiliki kecenderungan untuk terakumulasi dalam jaringan lipid, bersifat stabil, tidak mudah terurai oleh mikroorganisme, sehingga eksistensinya di alam cukup lama (Jones and Wild, 1995).. Dikaitkan dengan sifatnya yang apolar dan sukar larut dalam air, maka sering ditemukan kendala-kendala dalam penetapan konsentrasi PAHs dalam air jika hanya mengambil sampel airnya saja. Selain dibutuhkan jumlah sampel yang relatif banyak, kompleksnya matrik yang ikut tersari bersama sampel sering mengganggu penetapan. Terkadang kadar PAHs yang dianalisa dengan menggunakan sampel air sering tidak menunjukkan hasil yang reliabel, sehingga hasil analisis tidak bersifat representatif terhadap konsentrasi PAHs yang sebenarnya ada di lingkungan. Untuk itu perlu dilakukan teknik monitoring konsentrasi PAHs dengan menggunakan biota laut. Secara teori PAHs bersifat lipofilik dan cenderung untuk terakumulasi di dalam jaringan lipid, sehingga penggunaan biota ini diharapkan dapat memberikan hasil analisis yang lebih reliabel dan representatif. Proses pengambilan polutan PAHs oleh organisme dapat melalui beberapa cara diantaranya melalui adsorpsi langsung dari lingkungan atau melalui makanan yang telah tercemar oleh polutan tersebut (Connell and Miller, 1984).

Metodologi

Sampel

Sampel berupa air dan dua jenis biota kelas Crustacea, yaitu udang (*Panaceus merquensis*) dan kepiting *Calappa flammea* yang diambil dari wilayah perairan yang mewakili perairan pantai laut selatan

Daerah Istimewa Jogjakarta yaitu di wilayah Kabupaten Gunung Kidul (Pantai Baron), Kabupaten Bantul (Pantai Parangkusumo) dan Kabupaten Kulon Progo (Pantai Glagah).

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca analitik, *rotary evaporator*, *cartridge seppak C18* (dari Waters), kolom dan seperangkat kromatografi gas cair dengan *packed column* Hitachi 263-50, fase diam SE 30, fase gerak gas N₂ dengan *flame ionization detector* (FID).

Bahan

Bahan yang digunakan: Standar PAHs donasi dari Kernforschungsanlage (KFA) Institut für Angewandte Physikalische, Chemie Forschung zentrum Jülich GmbH Germany, meliputi pirena, benzo(a)antrasena, benzo(k)-fluorantena, benzo(a)-pirena dan perilena dan bahan-bahan berkualitas pro analisis dari E. Merck, meliputi heksana, aseton, natrium sulfat anhidrat, alumina, gas nitrogen dan hidrogen berkualitas *ultra high pure* serta sampel berupa air laut dan biota udang dan kepiting yang diambil pada beberapa tempat di Pantai Selatan Daerah Istimewa Jogjakarta.

Cara Penelitian

Preparasi sampel air

Sejumlah 5,0 liter sampel air disaring dengan kertas Whatman no. 42 kemudian diulang dengan millipore 0.45 µm. Kemudian dilewatkan cartridge seppak C18 yang telah diaktivasi menggunakan metanol (5 ml) dan air (5 ml). Elusi seppak dilakukan dengan tehnik gravitasi, berturut-turut menggunakan aseton-heksan dan heksan. Masing-masing eluat ditampung secara terpisah, kemudian dievaporasi hingga volume 100 µl. Eluat kental kemudian diinjeksikan dalam sistem kromatografi gas yang telah dioptimasi.

Preparasi sampel udang dan kepiting

Sampel biota dipisahkan cangkangnya, 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 *shaker*. Ekstrak kemudian disaring dan dibebaskan tapak-tapak airnya dengan natrium sulfat anhidrat. Selanjutnya ekstrak dievaporasi hingga volume 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 dioptimasi.

Pembuatan kurva baku

Dibuat larutan campuran standard PAH dengan berbagai konsentrasi, kemudian diambil sejumlah volume tertentu dengan syringe untuk diinjeksikan ke dalam kromatografi gas. Luas area dari tiap puncak dicatat, selanjutnya dibuat kurva baku hubungan antara luas area (sebagai sumbu Y) dan berat standard (sebagai sumbu X). Harga korelasi dan linearitas dihitung secara statistika.

Penetapan *recovery* metode

Recovery metode ditetapkan dengan standard adisi. Ke dalam sampel biota yang telah dipreparasi dan siap dimaserasi, dimasukkan sejumlah standard PAH kemudian dimaserasi, dilanjutkan *clean up* dan dianalisis dengan kromatografi gas. Harga *recovery* dihitung dengan rumus : jumlah PAH yang ditemukan dalam sampel yang diperkaya standard dikurangi dengan jumlah PAH dalam sampel yang tidak diperkaya standard, selanjutnya dibagi dengan jumlah standard PAH yang ditambahkan dan dikalikan 100%.

Perhitungan faktor bioakumulasi serta pemilihan biota yang sesuai untuk bioindikator

Faktor bioakumulasi dihitung dengan membandingkan konsentrasi PAHs dalam biota dengan harga konsentrasi PAHs dalam air di mana biota itu hidup, dalam waktu yang bersamaan.

Hasil Dan Pembahasan

Optimasi kondisi Kromatografi Gas

Telah dilakukan analisis senyawa PAHs dengan berbagai variasi kondisi operasional kromatografi gas dan diperoleh hasil kondisi yang optimal (tabel I).

Dengan program di atas, telah dilakukan analisis senyawa campuran maupun senyawa tunggal masing-masing PAHs. Diperoleh informasi waktu retensi masing-masing senyawa seperti tabel II.

Waktu retensi untuk senyawa benzo(a)pirena dan perilena tidak berbeda jauh bahkan dalam campuran tidak terjadi pemisahan (tabel II). Bila dihitung harga faktor resolusi antara peak b(a)p dan peak perilena diperoleh hasil 0,148. Hal ini dikarenakan kedua senyawa memiliki konstanta Henry's yang hampir sama mengingat keduanya adalah isomer. Konstanta Henry's adalah suatu parameter yang menggambarkan kekuatan

Tabel I. Hasil optimasi kromatografi gas untuk pemisahan PAHs

Kolom	SE 30, Ukuran partikel 60–80 mesh, Panjang 2 meter, id 0.4 cm
Fase gerak	Gas nitrogen dengan kecepatan alir 30 ml/menit
Detektor	Flame ionization detector dengan suhu 310 °C
Temperature program	Temperatur awal 210°C selama 6 menit, temperatur akhir 270°C selama 15 menit, kecepatan kenaikan temperatur 10°C/menit. Temperatur Injektor 310°C

Tabel II. Data waktu retensi masing–masing senyawa PAHs

No	Nama Senyawa	Waktu retensi (menit)
1.	Pirena	5,928 ± 0,058
2.	Benzo(a)antrasena	12,154 ± 0,055
3.	Benzo(k)fluorantena	14,726 ± 0,184
4.	Benzo(a)pirena	15,653 ± 0,154
5.	Perilena	15,809 ± 0,342

Tabel III. Hasil Perhitungan Parameter kinetika Pemisahan Senyawa PAHs

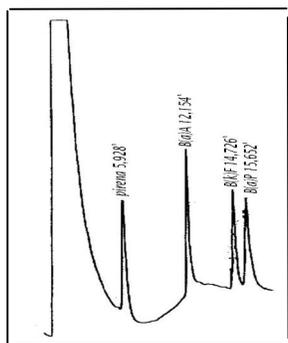
Parameter	Pirena	B(a)A	B(k)F	B(a)P
K'	13,265 ± 1,300	28,268 ± 0,764	34,463 ± 1,062	36,671 ± 0,941
α	-	2,130 ± 0,233	1,219 ± 0,017	1,065 ± 0,013
Rs	-	9,658 ± 1,034	3,920 ± 0,588	1,843 ± 0,154
N _{eff}	1090 ± 427	6250 ± 1458	6374 ± 803	3433 ± 612

Keterangan : k' : faktor kapasitas
α : faktor selektifitas

Rs : faktor resolusi
N_{eff} : jumlah plate efektif teoritik

senyawa berada dalam fase gas. Secara matematis konstanta Henry's merupakan perbandingan tekanan uap parsial P_x terhadap kelarutan senyawa dalam air.

Berikut ini adalah contoh kromatogram campuran standard PAHs (gambar 2).



Gambar 2. Contoh kromatogram standard PAHs. Pirena 515 ng (5,928 menit), Benzo(a)antrasena 485 ng (12,154 menit); Benzo(k)fluorantena 480 ng (14,726 menit; Benzo(a)pirena 490 ng (15,652 menit)

Setelah dilakukan perhitungan terhadap parameter kinetika pemisahan PAHs diperoleh hasil seperti pada tabel III .

Dari hasil di atas, terlihat bahwa parameter resolusi cukup baik yaitu 9.6 untuk pirena-B(a)A, 3,9 untuk B(a)A-B(k)F dan 1,8 untuk B(k)F-B(a)P. Parameter resolusi perlu diperhatikan agar antar puncak kromatogram tidak saling tumpang tindih, sehingga selektifitas metode dapat dipenuhi. Mengingat detektor FID merupakan detektor yang kurang spesifik, maka telah dilakukan konfirmasi menggunakan HPLC dengan detektor spektrofotometer seperti pada metode Lukitaningsih, 1999. Hasil menunjukkan bahwa tidak ditemukan material yang menginterferensi dalam tiap puncak kromatogram sampel. Namun karena harga LOD dalam sistem HPLC jauh lebih tinggi daripada detektor FID, maka untuk analisis selanjutnya digunakan sistem kromatografi gas dengan detektor FID.

Untuk menguji seberapa besar keshahihan dan tingkat kepercayaan terhadap data hasil percobaan, maka perlu dilakukan

Tabel IV. Persamaan Kurva Regresi Linier Hubungan Konsentrasi Baku PAHs terhadap respon detektor

Nama	Persamaan Regresi Linier $Y = (B \pm SE_B)X + (A \pm SE_A)$	R_{HIT}
Pirena	$Y = (18,196 \pm 0,256) X + (295,145 \pm 52,582)$	0,9990
B(a)A	$Y = (43,203 \pm 1,717) X + (6572,255 \pm 609,076)$	0,9899
B(k)F	$Y = (11,787 \pm 1,774) X + (11714,196 \pm 206,384)$	0,9878
B(a)P	$Y = (55,399 \pm 5,329) X + (7432,025 \pm 835,977)$	0,9870

Keterangan : Y : Luas area peak kromatogram ($\mu V \cdot sec$)
X : Berat Senyawa (ng)

Tabel V. Hasil statistika anova dan uji t untuk mengevaluasi linearitas kurva baku dengan taraf kepercayaan 0,95

Nama	Hasil Uji Anova		Hasil Uji t			
	Harga F	Harga p	Koefisien B		Koefisien A	
			Harga t hit	Harga p	Harga t hit	Harga p
Pirena	5045,854	0,000	71,034	0,000	8,638	0,000
B(a)A	581,486	0,000	24,114	0,000	8,058	0,000
B(k)F	51,662	0,001	7,188	0,001	10,881	0,000
B(a)P	105,896	0,000	10,291	0,000	7,313	0,000

Tabel VI. Hasil penetapan *Recovery*

No	Berat Standard Yang Ditemukan (ng)	Berat Standard Semestinya (ng)	Harga Recovery (%)
1	20909,7	22638,9	108,3
2	19586,8	1986,5	101,4
3	1988,0	20681,3	104,0
4	22177,1	19312,5	114,8
5	72800,5	72700,5	100,0
6	14552,6	20751,4	70,1
7	1980,0	2060,0	73,0
8	29332,9	40196,9	126,4
Rata-Rata			99,8
Standard Deviasi			19,4

penetapan beberapa parameter seperti linearitas kurva baku antara konsentrasi baku PAHs terhadap respon detektor, sensitifitas dan *recovery* (perolehan kembali). Berikut ini adalah hasil pembuatan kurva baku hubungan konsentrasi baku PAHs terhadap respon detektor (tabel IV).

Meskipun harga koefisien korelasi R ada yang lebih kecil dari 0,999, tetapi data ANOVA menunjukkan hasil relatif baik (tabel V), sehingga persamaan tersebut dapat digunakan untuk memprediksikan harga Y. Setelah dilakukan uji statistika anova terhadap persamaan regresi dan uji t antara harga A

(intersep) dan B (slope) dari persamaan tersebut dengan harga α (intersep dari persamaan yang terstandarisasi) dan harga β (slope dari persamaan yang terstandarisasi), maka diperoleh hasil pada tabel V.

Dengan melihat hasil perhitungan statistika di atas, maka persamaan tersebut linear dan dapat digunakan untuk perhitungan selanjutnya.

Untuk menguji ketepatan metode telah dilakukan penetapan harga perolehan kembali dengan metode standard adisi (tabel VI).

Tabel VII. Harga *Limit of Detection* (LOD)

No.	Nama Senyawa	Harga LOD (nano gram/peak)
1	Pirena	22,9
2	Benzo(a)antrasena	111,9
3	Benzo(k)fluorantena	139,0
4	Benzo(a)pirena	119,8

Tabel VIII. Data Distribusi PAHs dalam Sampel Air di Setiap Lokasi Pengambilan Sampel ($\bar{X} \pm SD$)

Lokasi	Kandungan PAHs (ppb)				PAHs total (ppb)
	Pirena	B(a)A	B(k)F	B(a)P	
Laut Baron	trace	1,0± 0,0	ND	10,5± 1,0	11,5± 1,0
Laut Kukup	trace	Trace	ND	2,0± 1,0	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	6,3± 0,7	8,1± 0,9
Laut Kretek	trace	0,6± 0,0	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	0,088 ± 0,025	9,0± 1,2	ND	11,1± 0,6	20,3± 1,8
Laut Glagah	trace	2,7± 0,6	ND	5,6± 0,4	8,2± 1,0
Muara Serang	0,073 ± 0,015	14,9± 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

Keterangan :ND : tidak terdeteksi (tidak timbul respon)
Trace : kandungan sangat kecil (di bawah LOD)

Tabel IX. Kandungan PAHs dalam sampel udang dan kepiting ($\bar{X} \pm SD$)

Jenis Biota	Kandungan PAHs (ppb)				PAHs total (ppb)
	Pirena	BaA	BkF	BaP	
Kepiting					
Laut Baron	7172,1 ± 102,6	103549,9± 542,1	39968,9± 56,5	8623,9± 498,5	159314,8± 1199,7
Laut Kretek	7741,4± 354,2	193081,9 ± 1245,6	473178,9 ± 215,4	238491,0± 456,9	912493,3± 2272,0
Muara Opak	8558,7 ± 147,9	68639,7± 673,6	287597,7± 251,3	58430,2± 557,9	423226,3± 1630,6
Udang					
Laut baron	1691,9± 189,6	64418,9 ± 746,3	47479,2± 549,5	9927,8± 205,5	123517,8± 1690,6
Laut Kretek	9329,5 ± 293,6	74153,0 ± 1132,6	109328,1± 306,5	30249,6± 709,9	223060,3 ± 2442,4
Laut Glagah	8053,0 ± 100,2	49289,3 ± 992,0	100062,5 ± 229,5	11088,5± 411,6	168493,3± 1733,3
Muara Serang	1948,2 ± 147,9	8294,2± 188,4	70265,2 ± 370,0	5820,2± 325,4	86327,8 ± 1031,6

Keterangan : ND : tidak terdeteksi (tidak timbul respon)
Trace : kandungan sangat kecil (di bawah LOD)

Tabel X. Harga Faktor Bioakumulasi PAHs dalam sampel udang dan kepiting ($\bar{X} \pm SD$)

Jenis Sampel		Harga BAF
Kepiting		
	Laut Baron	13870,9 ± 1224,2
	Laut Kretek	96078,2 ± 2073,0
	Muara Opak	20829,0 ± 597,5
Udang		
	Laut baron	10754,2 ± 1725,3
	Laut Kretek	23486,5 ± 2228,5
	Laut Glagah	20497,1 ± 1731,5
	Muara Serang	2388,3 ± 214,4

Berdasarkan hasil penetapan *recovery* di atas, maka prosedur penetapan kadar PAHs ini dapat digunakan karena harga *recovery*-nya berada antara 80% - 120% dengan simpangan baku < 20%.

Parameter sensitifitas yang dalam hal ini ditetapkan sebagai harga *Limit of Detection (LOD)* juga telah dihitung. Perhitungan dilakukan dengan asumsi bahwa konsentrasi minimal dari analit yang dapat dideteksi oleh alat akan memberikan respon sebesar $A+3SD_A$ (tabel VII).

Hasil Penetapan Kandungan PAHs dalam Sampel Air

Kandungan cemaran PAHs yang paling dominan adalah B(a)P dengan konsentrasi sekitar 2,062 – 17,226 ppb diikuti B(a)A dengan konsentrasi 0,620 – 14,833 ppb. Berikut ini adalah gambaran distribusi cemaran PAHs dalam sampel air di tiap-tiap lokasi pengambilan sampel (tabel VIII).

Cemaran PAHs di daerah muara pada umumnya lebih besar daripada cemaran PAHs di sungai maupun di laut. Di muara sungai, tempat pertemuan air tawar dan air laut memiliki aliran air yang turbulen dan tidak mengalir secara deras, sehingga semua partikel dan sampah akan cenderung tidak berpindah melainkan mengendap, sedangkan diperairan laut pada umumnya paling kecil, karena terjadi pengenceran.

Hasil Penetapan Kandungan PAHs dalam Sampel Udang dan Kepiting

Analisis kandungan PAHs dalam sampel udang dan kepiting dapat dilihat pada tabel IX.

Dari hasil perhitungan faktor bioakumulasi PAHs pada beberapa biota

diperoleh faktor bioakumulasi yang cenderung tinggi (tabel X). Ditinjau dari jenis spesies yang diteliti, kedua spesies ini mempunyai kemampuan yang tinggi untuk menimbun PAHs di dalam tubuhnya, karena kedua spesies ini memiliki jaringan lemak yang tinggi pada tubuhnya. Dilihat dari mobilitasnya, kedua spesies ini memiliki mobilitas yang tinggi sehingga dapat berada di dasar perairan dan dapat pula berada pada permukaan perairan sehingga kemungkinan untuk terpejani oleh polutan seperti PAHs yang terdapat pada lingkungan perairan sangat besar. Pola makan dari kedua spesies ini hampir sama, mereka memakan sisa-sisa jasad renik, plankton dan hewan-hewan kecil. Oleh karena itu kedua jenis biota ini dapat dipertimbangkan sebagai bioindikator pencemaran PAHs dalam sistem perairan.

Kesimpulan

1. Kandungan PAHs dalam air di perairan pantai Laut Selatan Daerah Istimewa Yogyakarta yang dapat dideteksi dalam penelitian ini berkisar antara 1,414 ppb – 36,146 ppb.
2. Harga faktor bioakumulasi PAHs total pada biota udang berkisar antara 2388,33-23486,54 sedangkan pada biota kepiting berkisar antara 13870,92-96078.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada QUE Project Batch III Fakultas Farmasi Universitas Gadjah Mada yang telah membiayai penelitian ini melalui program Project Grant tahun 2002-2003.

DAFTAR PUSTAKA

- Connel, D. W. and Miller, G.J., 1984, *Chemistry and Ecotoxicology of Pollution*, John Willey and Sons. London, p 31, 229-236, 243-244.
- Eadie, B.J., 1983, Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in The Great Lakes, in Niagru, J.O. and Simons, M.S. (Editors), *Toxic Contaminant in The Great Lakes*, vol. 14. P. 195 – 211, John Wiley and Sons, London
- Jones, K.C. and Wild, S.R., 1995, Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in The United Kingdom Environment : A Preliminary Source Inventory and Budget, *Environmental Pollution 88*, p. 91 – 108
- Lukitaningsih, E., 1999, Studi Pemisahan Senyawa Polyaromatic Hydrocarbons (PAH) secara Kromatografi dan Penerapannya pada Penetapan Kandungan PAH dalam Sedimen di Perairan Cilacap, *Tesis*, Fakultas Farmasi UGM, Yogyakarta
- Peerebom, J.W.C. and Reijnders, L., 1989, *Hoe Gevaarlijk Zijn Milieugevaarlijk Stoffen*, 2nd Ed, Boom Mappel, Amsterdam
- Sugiyanto, Scharping, C.E., McManus, M.E., Birkett, D.J., Holder, G.M. and Ryan, A.J., 1992, The Formation of Proximate Carcinogens from Three Polycyclic Aromatic Compounds by Human Liver Microsomes, *Xenobiotica*, Vol. 22, no. 11, p. 1299 – 1307
- Thakker, D. R., Yogi Hamhiko, Levin, W., Wood, A. W., Conney, A. H., and Jenna, D. M., 1985, *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Metabolic Activation to Ultimate Carcinogens*, in Anders, M.V. (editor) : Bioactivation of Foreign Compounds, Academic Press Inc., New York, p. 177-242