

Penentuan Kandungan dan Penilaian Risiko Kesehatan Hidrokarbon Polisiklik Aromatik dalam Tisu Ikan dari Pulau Perhentian, Malaysia

(Content Determination and Health Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Fish Tissue Samples from Perhentian Island, Malaysia)

SIM KHAY TIEN, LEE YOOK HENG*, MAZLAN ABD. GHAFAR,
MOHD. PAUZI ZAKARIA & SALMIJAH SURIF

ABSTRAK

Kandungan hidrokarbon polisiklik aromatik (PAH) dalam tiga spesies ikan yang berbeza tabiat pemakanan dan habitat, iaitu Lolong (Selar boops), Kerisi (Nemipterus peronii) dan Mengkarong (Trachinocephalus myops) dari luar pantai Pulau Perhentian, Malaysia ditentukan. Tiga individu daripada setiap spesies dipilih secara rawak dan kandungan 10 sebatian PAH diukur, iaitu fenantrena, antrasena, fluorantena, pirena, benzo(a)anthracene benzo(a)antrasena, krisena, benzo(a)fluorantena, benzo(k)fluorantena, benzo(e)pirena dan dibenzo(a,h)antrasena dalam otot ikan ditentukan. Pengekstrakan PAH menggunakan kaedah Soxhlet dan kandungannya diukur dengan kromatografi gas - spektrometri jisim (GC-MS). Jumlah PAH dalam tisu ikan yang dikaji adalah pada julat 17.89 – 42.18 ng/g berat basah dan 393.98 – 511.07 ng/g mengikut berat lipid. Kandungan PAH dalam tisu jenis ikan menurut berat basah adalah Mengkarong (42.18 ng/g) > Lolong (25.61 ng/g) > Kerisi (17.89 ng/g), sementara menurut berat lipid ialah Kerisi (511.07 ng/g) > Mengkarong (409.50 ng/g) > Lolong (393.98 ng/g). Otot Kerisi mengandungi kandungan lipid paling sedikit, iaitu 3.5 % berbanding dengan Lolong (6.5 %) dan Mengkarong (10.3 %). Tidak ada penumpukan PAH yang jelas dalam lipid tisu ikan (kolerasi Pearson, $p > 0.05$) dan ketiga-tiga spesies ikan tidak menunjukkan kandungan PAH yang berbeza (ANOVA, $p > 0.05$). Berdasarkan kadar pengambilan ikan pada 142.2 g/hari, pengiraan kepekatan potensi setara (PEC), iaitu nilai potensi karsinogenisiti sebatian PAH, ketiga-tiga spesies ikan adalah pada julat 0.41 – 0.63 ng/g berat basah. Nilai ini lebih rendah daripada nilai garis panduan yang ditetapkan oleh USEPA, iaitu 0.67 ng/g berat basah.

Kata kunci: Hidrokarbon polisiklik aromatik; kepekatan potensi setara; penilaian risiko; tisu ikan

ABSTRACT

The concentration of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) in three fish species with different feeding habits and habitat i.e. Lolong (Selar boops), Kerisi (Nemipterus peronii) dan Mengkarong (Trachinocephalus myops) from offshore of Perhentian Island, Malaysia was determined. Three individuals from each species were taken at random and the PAHs contents were determined in the muscles. Ten PAH compounds, phenanthrene, anthracene, fluoranthene, pyrene, benzo(a)anthracene, chrysene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(e)pyrene and dibenzo(a,h)anthracene were determined. PAH in fish tissues was extracted using Soxhlet method and detected using gas chromatography – mass spectrometry (GC-MS). The level of PAH in fish tissue ranged from 17.89 – 42.18 ng/g wet weight and 393.98 – 511.07 ng/g lipid weight. The order of PAH concentration in wet weight was Kerisi (511.07 ng/g) > Mengkarong (409.50 ng/g) > Lolong (393.98 ng/g) but in terms of lipid weight, the order was Kerisi (511.07 ng/g) > Mengkarong (409.50 ng/g) > Lolong (393.98 ng/g). Kerisi has the lowest lipid content of 3.5% compared to Lolong (6.5 %) and Mengkarong (10.3 %). No obvious significant difference ($p > 0.05$) of PAH levels in three fish species was observed (ANOVA, $p > 0.05$). There was no significant relationship between lipid content and PAH accumulation in fish. Based on fish consumption rate of 142.2 g/day, the Potency Equivalent Concentration (PEC), which is a carcinogenic potency value for PAH, was found to be ranged from 0.41 – 0.63 ng/g wet weight in all three species of fish. This value is below the limit set by USEPA, which is 0.67 ng/g wet weight for human consumption.

Keywords: Fish tissue; polycyclic aromatic hydrocarbon; potency equivalent concentration; risk assessment

PENDAHULUAN

Hidrokarbon polisiklik aromatik (Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)) merupakan kumpulan sebatian toksik yang mengandungi lebih daripada dua sebatian aromatik atau benzena yang tergabung (Howsan & Jones 1998). Akibat daripada proses perindustrian dan perbandaran yang

rancak, hidrokarbon polisiklik aromatik telah dilepaskan secara berlebihan ke dalam alam sekitar (Wong & Poon 2003).

PAH adalah bahan pencemar yang berasal dari sumber semula jadi (aktiviti gunung berapi dan kebakaran hutan semula jadi) dan antropogenik (pembakaran tidak lengkap

bahan api fosil, penghasilan arang dan pelbagai proses industri) (Burgess et al. 2003; Pena et al. 2006; Zakaria et al. 2002). Sesetengah sebatian PAH dikategorikan sebagai karsinogenik dan mutagenik, contohnya benzo[a]pirena dan 15 sebatian PAH yang lain iaitu asenafthilena, asenafthena, anthrasena, benzo[a]anthrasena, benzo[b]fluoranthena, benzo[k]fluoranthena, benzo[ghi]anthrasena, krisena, dibenzo[ah]anthrasena, fluoranthena, fluorena, indeno[1,2,3-cd]pirena, naphthalena, fenanthrena, dan pirena telah disenaraikan sebagai bahan pencemar utama oleh U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (Pena 2006). Sebatian ini juga disenaraikan dalam senarai 20 sebatian paling berbahaya iaitu senarai utama 2001 Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (CERCLA) (Lage Yusty & Cortizo Davina 2005).

Sebatian PAH merupakan salah satu pencemar organik persisten (POP). Fernandez et al. (2000, 2002) dan Vilanova et al. (2001) telah menemui sebatian PAH dalam sedimen, air dan udara di tasik gunung tinggi. Sifat hidrofobik sebatian PAH menyebabkan pengumpulan sebatian ini dalam sedimen marin di air persisiran pantai dan seterusnya dikumpul oleh ikan dan molluska (Pena 2006). Ikan merupakan salah satu sumber protein utama kepada manusia terutamanya negara-negara di kawasan tropika dan subtropika (FAO 1995). Disebabkan 10 % pemakanan manusia terdiri daripada ikan, ia merupakan salah satu laluan utama pencemar memasuki badan manusia (Binelli & Provini 2003). Ikan juga berada pada aras tertinggi jaringan makanan. Oleh itu, ikan berpotensi mengumpul sejumlah pencemar seperti PAH (Vives & Grimalt 2002).

Laluan utama kemasukan PAH dalam organisma ikan adalah melalui insang dan juga melalui kulit serta sistem pencernaan. Laluan kemasukan biasanya bergantung kepada cara pemakanan, tabiat dan aras trofik ikan tersebut (Kong et al. 2005). Ikan boleh mengumpul sebatian hidrokarbon dengan sangat cepat. Ikan yang ditempatkan dalam air yang dicemari dengan petroleum mentah akan mengambil sebatian hidrokarbon sehingga takat keseimbangan antara ikan dengan air tercapai (Ramachandran et al. 2006).

Kepekatan potensi setara (PEC) adalah suatu nilai kepekatan sebatian PAH tertentu dalam ikan berbanding nilai garis panduan yang dikira menggunakan benzo(a)pyrene sebagai rujukan (Nisbet & Rasmussen 1992). Nilai ini digunakan sebagai nilai ambang aras residu pencemar dalam tisu yang menunjukkan kepekatan bahan pencemar tertinggi dalam tisu ikan yang boleh dimakan tanpa menjejaskan kesihatan manusia (USEPA 2000).

Tujuan kajian ini adalah untuk mengukur kepekatan PAH dalam ikan di luar pantai Pulau Perhentian. Kawasan ini merupakan salah satu tapak penangkapan ikan untuk pantai timur Semenanjung Malaysia. Hasil yang diperolehi daripada kajian ini akan dapat dijadikan sebagai pangkalan data asas dan memberi gambaran kepada status kandungan PAH dalam ikan. Selain itu nilai kepekatan potensi setara sebatian PAH dalam setiap spesies ikan ditentukan untuk mengenalpasti risiko karsinogen bagi pemakanan ikan ini.

Ikan ditangkap pada 3hb. September 2006 dengan menggunakan pukat tunda (7.7 m ID × 4.6 m) di sekitar koordinat N 5° 59' 863, E 102° 46' 623 hingga ke koordinat N 6° 4' 679, E 102° 38' 895 (Rajah 1). Saiz ikan yang dipilih adalah hampir sama supaya ralat saiz dan umur tidak mempengaruhi ujian. Tiga jenis spesies ikan dipilih berdasarkan habitat dan tabiat makanan yang berbeza dipilih iaitu *Selar boops* (Lolong), *Nemipterus peronii* (Kerisi) dan *Trachinocephalus myops* (Mengkarong) (Jadual 1).

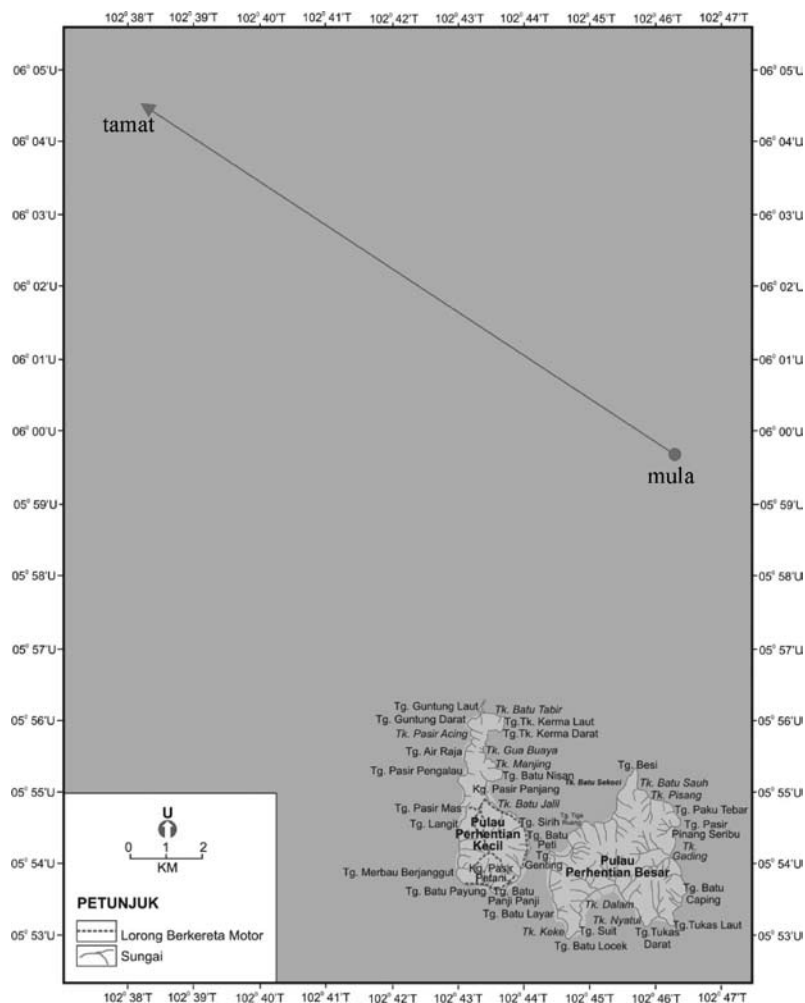
Otot ikan diasingkan menggunakan pisau besi tahan karat, dibungkus dengan kerajang aluminium, ditanda dan seterusnya dibungkus dalam beg plastik. Ikan disimpan sejuk sehingga dibawa ke makmal. Di makmal, ikan disimpan pada suhu 20°C sehingga dianalisis.

Bahan-bahan kimia yang digunakan adalah daripada gred analisis kecuali dinyatakan sebaliknya. Aseton – gred pestisid (Fisher Scientific), Diklorometana – gred pestisid (Fisher Scientific), gel silika – 70 – 230 mesh (Fluka Chemika), heksana – gred pestisid (R&M Chemical), natrium sulfat kontang granular (Merck, Germany), larutan piawai PAH (Supelco) yang terdiri daripada sebatian asenafthilena, asenafthena, anthrasena, benzo[a]anthrasena, benzo[b]fluoranthena, benzo[k]fluoranthena, benzo[ghi]anthrasena, benzo[a]pirena, benzo[e]pirena, krisena, dibenzo[ah]anthrasena, fluoranthena, fluorena, naphthalena, fenanthrena, dan pirena serta larutan piawai dalam, d-terfenil d₋₁₄ (Supelco).

Pengekstrakan sebatian PAH dari sampel ikan adalah berdasarkan kepada Kaedah Piawai 3540C EPA (1996) ataupun Kaedah Soxhlet. Sebanyak 10 g sampel ikan yang telah dihomogenkan dan 200 mL larutan heksana : aseton (50:50) digunakan untuk mengekstrak PAH selama 24 jam. Proses sponifikasi sampel tidak dilakukan untuk mengurangkan kesan "lemak neutral".

Ekstrak dibiarkan sejuk selepas pengekstrakan selesai dan dikeringkan secara mengalir ekstrak dalam turus pengering yang mengandungi kira-kira 10 cm natrium sulfat kontang yang telah dikeringkan pada 500°C selama 5 jam dan disimpan pada 130°C sebelum digunakan. Heksana (~100 mL) digunakan untuk membasuh kelalang pengekstrak dan turus pengering supaya pemindahan ekstrak adalah lengkap. Setelah melalui turus natrium sulfat, ekstrak dipekatkan kepada 1 mL dengan menggunakan penyejat berputar (Eyela N-1000) pada 30°C.

Ekstrak seterusnya dilalukan melalui turus yang mengandungi 15 g gel silika yang telah diaktifkan pada 130°C selama 24 jam. Turus ini dicuci dengan 15 mL diklorometana diikuti dengan 20 mL heksana sebelum ekstrak dimasukkan ke dalam turus. Langkah ini bertujuan untuk menyingkirkan hidrokarbon tepu yang terdapat di dalam turus. Sebatian PAH dielusi keluar menggunakan 90 mL larutan campuran heksana: diklorometana (80:20, v/v) dan dipekatkan kepada 1.0 mL menggunakan penyejat berputar. Seterusnya, fraksi ini dipekatkan lagi menggunakan aliran gas nitrogen yang



Sumber: Jabatan Geografi, Universiti Kebangsaan Malaysia

RAJAH 1. Peta lokasi persampelan di Pulau Perhentian

JADUAL 1. Spesies ikan yang dikaji

Nama am	Nama saintifik	Makanan	Habitat	Panjang	Berat
Lolong	<i>Selar boops</i>	fitoplankton dan invertebrata benthik	persisiran pantai dan kawasan terumbu karang	20.0 – 20.5	180.2 – 180.7
Kerisi	<i>Nemipterus peronii</i>	ikan kecil dan cacing	Kawasan berpasir dan berlumpur	20.8 – 21.2	181.2 – 183.5
Mengkarong	<i>Trachinocephalus myops</i>	ikan kecil	Hidup dalam sedimen dasar	22.4 – 22.9	198.8 – 199.9

Sumber: Allen (2000)

perlahan sehingga hampir kering. Sebanyak 50 μ L larutan piawaian dalam, terphenyl d_{-14} dimasukkan ke dalam fraksi ini.

Sebanyak 1.0 μ L ekstrak disuntik ke dalam kromatografi gas-spektrometri jisim (GC-MS, HP 6890). Sampel dianalisis oleh GC-MS dengan menggunakan kaedah suntikan biasa yang menggunakan mod tanpa split. Apabila cecair sampel disuntik ke dalam GC-MS, ia akan dipisahkan dalam turus kapilari HP-5 MS (5% Phenyl

Methyl Siloxane) yang mempunyai diameter 0.32 mm dan 30 m panjang. Suhu ketuhar dimulakan pada 70°C dan suhu akhir dicapai pada 310°C. Masa analisis adalah sepanjang 55 minit.

Analisis statistik dilakukan dengan menggunakan perisian MINITAB Release 13.2. Ujian ANOVA satu hala dijalankan untuk melihat wujud atau tidak perbezaan yang bererti di antara kepekatan hidrokarbon polisiklik aromatik antara spesies.

Pengiraan kepekatan potensi setara (PEC) dan nilai penapisan (SV) dilakukan mengikut kaedah yang dicadangkan oleh Nisbet dan LaGoy (1992).

$$PEC \text{ (ng/g)} = \sum (C \times RP)$$

dengan C ialah kepekatan PAH dalam sampel ikan (ng/g) dan RP ialah Potensi relatif setiap PAH kepada benzo[a]pyrene

Nilai penapisan (SV) bagi PAH dikira menurut Russell et al. (1997):

$$SV = [(RL/SF) \times BW]/CR$$

dengan SV ialah nilai pemeriksaan ($\mu\text{g/g}$), RL ialah paras maksimum risiko boleh diterima, SF ialah Faktor kecerunan ($\mu\text{g/g day}^{-1}$), BW ialah berat badan (kg) dan CR ialah kadar pengambilan ikan (g/day)

Dalam pengiraan ini, kadar pengambilan ikan (CR), berat badan (BW) dan faktor penentuan oral (SF) adalah tetap untuk setiap pengiraan. Berat badan 70 kg dipilih kerana ia adalah berat badan purata bagi populasi dewasa. Kadar pengambilan ikan ditetapkan pada 142.2 g/day (USEPA 2000). Faktor kecerunan untuk PAH ialah 7.30 $\mu\text{g/g day}^{-1}$ (USEPA 1993). Faktor kecerunan adalah nilai jangkaan kebarangkalian seseorang individu mendapat kanser akibat pendedahan sepanjang hayat (70 tahun) kepada karsinogen pada aras tertentu (USEPA 1989).

Paras risiko (RL) ditetapkan pada 10^{-5} . Paras risiko ditakrifkan sebagai risiko paling tinggi untuk mendapat satu kes kanser baru dalam seratus ribu orang jika seorang dewasa individu yang berberat 70 kg yang memakan 142.2 g ikan sehari pada kepekatan pencemar yang sama untuk 70 tahun (Cheung et al. 2006).

HASIL DAN PERBINCANGAN

Jadual 2 menunjukkan purata kepekatan sebatian PAH dalam tisu ikan Lolong, Kerisi dan Mengkarong berada dalam julat 17.89 – 42.18 ng/g berat basah. Aras yang paling tinggi didapati pada spesies Mengkarong, diikuti spesies Lolong dan spesies Kerisi. Kepekatan PAH berdasarkan berat lipid berada pada julat 393.98 ng/g – 511.07 ng/g. Kepekatan paling tinggi adalah dalam tisu ikan Kerisi diikuti Mengkarong dan Lolong.

Nilai ikut berat lipid diberi perhatian kerana kandungan lipid dianggap sebagai penentu penting yang mengawal penumpukan sebatian PAH dalam ikan, memandangkan PAH mengumpul pada tisu yang kaya dengan lipid disebabkan sifat lipolitik sebatian ini (Philips 1980). Nilai yang dikira per berat basah juga penting kerana tisu dimakan secara keseluruhan dan bukan hanya pada lemaknya sahaja. Oleh itu, nilai dalam berat basah dijadikan penunjuk dalam penilaian risiko pemakanan ikan oleh manusia. Dalam kajian ini, 10 daripada 16 sebatian yang ingin dikaji dapat dikesan di dalam tisu ikan. Sebatian benzo(a)pirena ialah sebatian PAH yang tidak dikesan dalam tisu ikan-ikan ini (USEPA 1993).

Kepekatan sebatian PAH dalam tisu ikan boleh dipengaruhi oleh tabiat pemakanan, habitat dan aras trofik ikan (Hong et al. 1995). Ikan Mengkarong mencatatkan jumlah kepekatan hidrokarbon polisiklik aromatik lebih tinggi mungkin disebabkan ikan ini yang habitatnya berada dekat dengan sedimen serta merupakan sejenis pemangsa ikan (Tolosa et al 1996). Pencemar organik seperti PAH cenderung untuk bioakumulasi dalam jaringan makanan. Maka, spesies Mengkarong sebagai pemangsa ikan berakumulasi pencemar yang lebih tinggi.

Tisu ikan Lolong yang berhabitat di kawasan persisiran pantai dan menapis air untuk mendapatkan makanannya seperti fitoplankton dalam zaraharah terampai menunjukkan kepekatan PAH kedua paling tinggi. Zarah terampai di muara dan persisiran pantai adalah berpunca dari sungai. Kandungan zaraharah terampai yang tinggi ini akan menyebabkan sebatian PAH terjepap dalam permukaannya sebelum bawa masuk ke laut (Hong et al. 1995). Antara tiga spesies ikan, Kerisi mencatatkan nilai kepekatan PAH yang paling rendah berbanding dengan spesies ikan yang lain dalam kajian ini. PAH yang bersifat lipolitik adalah cenderung untuk larut dalam lipid (Kong et al. 2005).

Beberapa kajian PAH dalam sampel pelbagai jenis ikan pernah dilakukan. Cheung et al. (2006) mencatatkan kepekatan PAH pada julat 15.5 – 118 ng/g berat basah dan bilangan sebatian yang dikesan ialah sebanyak 12 jenis. Kajian Kong et al. (2005) mencatatkan kepekatan hidrokarbon polisiklik aromatik pada julat 1.91 – 130.70 ng/g berat basah dalam sampel ikan daripada kolam ikan. Hanya 9 sebatian hidrokarbon polisiklik aromatik yang dikesan iaitu sebatian naphthalena, asenaphthilena, fluorena, fenanthrena, anthrasena, fluoranthrena, pirena dan krisena. Aras sebatian ialah masing-masing pada julat 3.24 – 34.32 ng/g berat basah, ND – 2.46 ng/g berat basah, 2.87 – 14.31 ng/g berat basah, 2.62 – 12.55 ng/g berat basah dan 0.72 – 6.98 ng/g berat basah. Aras sebatian PAH dalam lipid ikan juga dilaporkan oleh Binelli & Provini (2004) dalam tisu ikan di Tasik Iseo, Itali. Jenis sampel ikan yang terlibat ialah *Alburnus alburnus*, *Cyprinus carpio*, *Tinca tinca*, *Alosa fallax lacustris*, *Leuciscus cephalus*, *Esox lucius* dan *Perca fluviatilis*. Aras yang dicatatkan untuk semua spesies ikan ini dilaporkan berada dalam julat 233.5-694.4 ng/g berat lipid dengan kandungan lemak sampel ikan berada pada julat 3.9-18.9 %. Jelas bahawa jenis dan kandungan PAH dalam sampel ikan berubah-ubah mengikut jenis spesies ikan yang dikaji dan tempat pensampelan.

Punca pencemaran PAH boleh diketahui melalui berat molekul sebatian PAH yang hadir dalam sesuatu sampel. Punca PAH petrogenik berasal daripada petroleum mentah dan terproses yang kebanyakannya terdiri daripada PAH berberat molekul rendah (LMW) dengan berat molekulnya dari 128-202, contohnya fenanthrena, anthrasena, fluoranthrena dan pirena. Biasanya PAH berberat molekul tinggi (HMW) yang berat molekulnya antara 228-300, seperti benzo(a)anthrasena, benzo(b)fluoranthrena, krisena dan dibenzo(ah)anthrasena wujud hanya sangat sedikit dalam PAH berpunca petrogenik. Sebaliknya sumber pirogenik yang dihasilkan daripada pembakaran tidak lengkap

JADUAL 2. Kepekatan sepuluh sebatian hidrokarbon polisiklik aromatik dalam tisu otot ikan yang disampel di luar pantai Pulau Perhentian

Sebatian		Kepekatan (n = 3)					
		Lolong		Kerisi		Mengkarong	
		ng/g berat basah	ng/g berat lipid	ng/g berat basah	ng/g berat lipid	ng/g berat basah	ng/g berat lipid
Fenanthrena	Julat	0 – 23.23	0 – 357.42	0 – 7.63	0 – 217.99	3.65 – 34.91	35.41 – 338.88
	Purata	12.42	191.07	3.17	90.47	15.04	145.98
Anthrasena	Julat	0 – 9.21	0 – 141.64	0 – 26.57	0 – 759.26	0 – 32.60	0 – 316.49
	Purata	4.48	68.99	11.99	342.60	14.33	139.11
Fluoranthena	Julat	0.60 – 5.48	9.18 – 84.28	0 – 0.41	0 – 11.81	0.21 – 8.97	2.02 – 87.09
	Purata	2.45	37.72	0.24	6.83	6.00	58.26
Pirena	Julat	0 – 10.01	0 – 154.07	0 – 0.54	0 – 15.55	1.99 – 3.86	19.29 – 37.48
	Purata	3.34	51.36	0.18	5.18	3.17	30.77
Benzo(a)anthrasena	Julat	0.20 – 0.96	3.15 – 14.74	0 – 1.42	0 – 40.60	0.00	0.00
	Purata	0.70	10.77	0.93	26.51	0.00	0.00
Krisena	Julat	0 – 0.94	0 – 14.52	0.00	0.00	0 – 1.31	0 – 12.67
	Purata	0.42	6.44	0.00	0.00	0.82	7.99
Benzo(b)fluoranthena	Julat	0 – 1.66	0 – 25.58	0 – 0.23	0 – 6.63	0 – 0.48	0 – 4.64
	Purata	0.93	14.32	0.11	3.11	0.16	1.55
Benzo(k)fluoranthena	Julat	0 – 0.88	0 – 13.53	0.00	0.00	0 – 4.41	0 – 42.81
	Purata	0.29	4.52	0.00	0.00	1.82	17.66
Benzo(e)pirena	Julat	0.30 – 0.89	4.56 – 13.74	0 – 1.91	0 – 54.71	0 – 1.27	0 – 12.36
	Purata	0.57	8.79	1.21	34.48	0.73	7.12
Dibenzo(ah)anthrasena	Julat	0.00	0.00	0 – 0.16	0 – 4.59	0.06 – 0.14	0.58 – 1.37
	Purata	0.00	0.00	0.07	1.89	0.11	1.04

bahan organik mengandungi lebih PAH berberat molekul tinggi daripada sebatian berberat molekul rendah (Zakaria et al. 2002). Nisbah kepekatan PAH berberat molekul rendah kepada sebatian berberat molekul tinggi (L/H) boleh digunakan sebagai petunjuk sama ada sebatian berberat molekul tinggi atau rendah yang merupakan komponen utama di dalam tisu ikan (Zakaria et al. 2002). Ini ditunjukkan dalam Jadual 3 untuk ketiga-tiga spesies ikan dalam kajian ini.

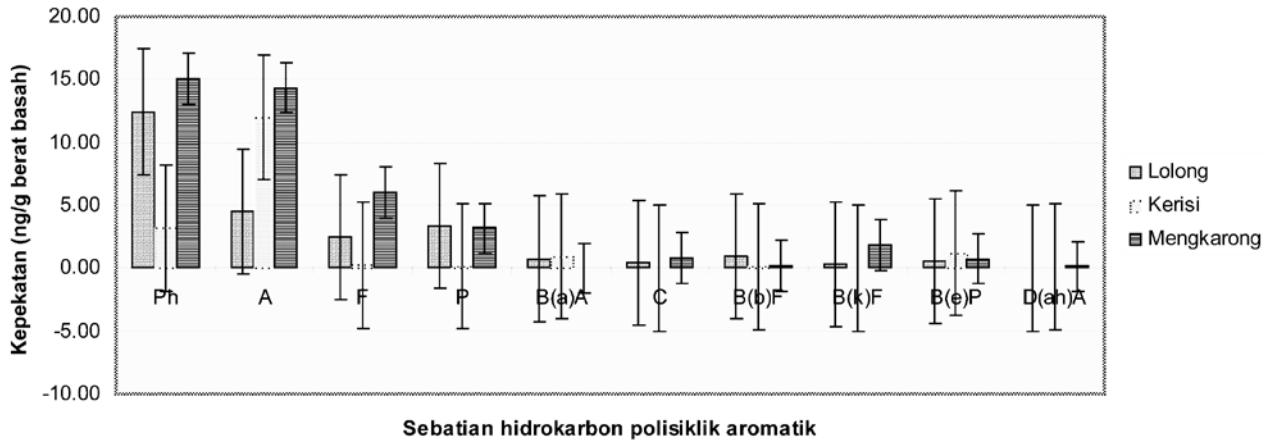
Nisbah jumlah sebatian berberat molekul rendah kepada jumlah sebatian berberat molekul tinggi berjulat daripada 6.74-10.59. Ini membuktikan bahawa sebatian

PAH yang hadir dalam tisu ikan ketiga-tiga spesies yang dikaji berpunca daripada sebatian PAH berberat molekul rendah. Oleh itu, boleh dikatakan bahawa pencemaran minyak petroleum merupakan punca PAH yang paling utama dalam tisu ikan kajian ini. Namun demikian kehadiran PAH sumber pirogenik juga tidak harus diabaikan kerana PAH ini mempunyai potensi karsinogenik yang tinggi khususnya benzo(a)pirena (Sericano et al. 2001).

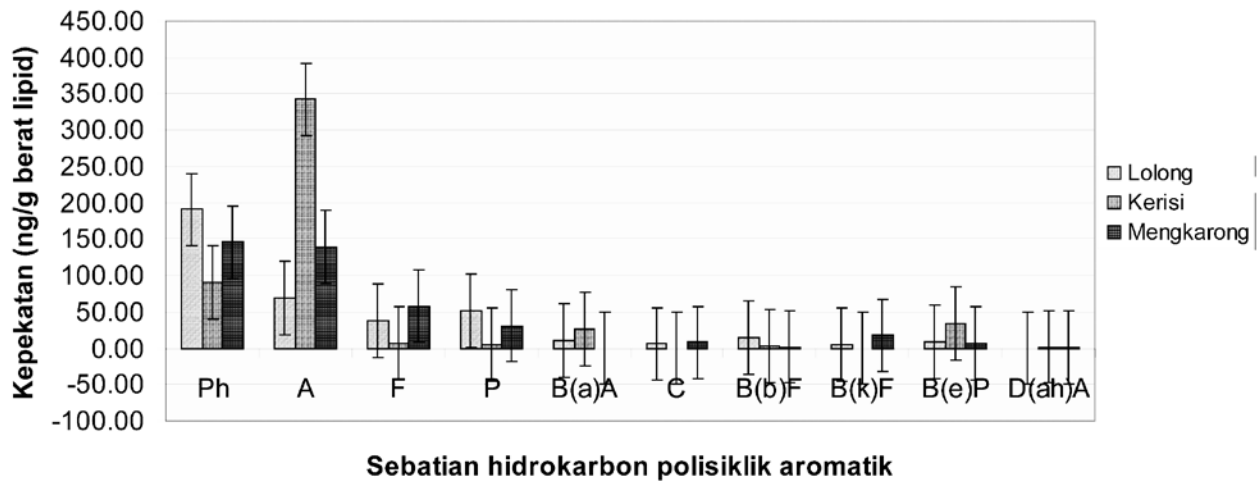
Tren taburan PAH dalam semua sampel tisu ikan ditunjukkan dalam Rajah 2 dan 3. Jelas bahawa sebatian PAH yang paling banyak hadir dalam semua sampel ikan ialah fenanthrena dan anthrasena, iaitu masing-masing

JADUAL 3. Nisbah L/H bagi spesies ikan *Selar boops*, *Nemipterus peronii* dan *Trachinocephalus myops*

Spesies	Sebatian hidrokarbon polisiklik aromatik	Nilai kepekatan (ng/g)	Nisbah L/H
<i>Selar boops</i>	∑ LMW	22.69	7.80
	∑ HMW	2.91	
<i>Nemipterus peronii</i>	∑ LMW	15.58	6.74
	∑ HMW	2.31	
<i>Trachinocephalus myops</i>	∑ LMW	38.54	10.59
	∑ HMW	3.64	



RAJAH 2. Sebatian hidrokarbon polisiklik aromatik dalam berat basah di dalam sampel tisu ikan Lolong, Kerisi dan Mengkarong. Semua data ditunjukkan dalam nilai min, $n=3$. Ph: Fenanthrena, A: Anthrasena, F: Fluornathena, P: Pirena, B(a)A: Benzo(a)anthrasena, C: Krisena, B(b)F: Benzo(b)fluoranthena, B(k)F: Benzo(k)fluoranthena, B(e)P: Benzo(e)pirena dan D(a,h)A: Dibenzo(a,h)anthrasena



RAJAH 3. Sebatian hidrokarbon polisiklik aromatik dalam berat lipid di dalam sampel tisu ikan Lolong, Kerisi dan Mengkarong. Semua data ditunjukkan dalam nilai min, $n=3$. Ph: Fenanthrena, A: Anthrasena, F: Fluornathena, P: Pirena, B(a)A: Benzo(a)anthrasena, C: Krisena, B(b)F: Benzo(b)fluoranthena, B(k)F: Benzo(k)fluoranthena, B(e)P: Benzo(e)pirena dan D(a,h)A: Dibenzo(a,h)anthrasena

terdiri daripada 48.5 % dan 17.5 % daripada jumlah PAH dalam ikan Lolong, 17.7 % dan 67.0 % daripada jumlah PAH dalam ikan Kerisi serta 35.7 % dan 34.0 % daripada jumlah PAH dalam ikan Mengkarong. Walaupun demikian, analisis statistik ANOVA satu arah tidak menunjukkan perbezaan yang bererti ($p > 0.05$) antara kepekatan semua PAH untuk ketiga-tiga spesies ikan yang dikaji.

PENILAIAN RISIKO

Dos rujukan (RfD) untuk sebatian PAH masih belum wujud dalam had piawai agensi-agensi seperti US Environmental Protection Agency (USEPA), Organisasi Kesihatan Sedunia (WHO) dan agensi-agensi kesihatan Malaysia walaupun sebatian seperti benzo(a)pirena dan dibenzo(a,h)anthrasena dikategorikan sebagai karsinogen

kepada manusia (Binelli & Provini 2004). Namun demikian, USEPA (1993) telah menggunakan pendekatan jangkaan potensi relatif untuk sebatian PAH untuk mengira potensi penyakit barah oleh PAH. Berdasarkan pendekatan ini, potensi bahaya kepekatan PAH dinyatakan dalam bentuk kepekatan potensi setara (Potency Equivalent Concentration, PEC) yang dikira dengan menjumlahkan semua hasil darab kepekatan PAH dengan nilai potensi relatifnya. Nilai PEC kemudian akan dibandingkan dengan nilai garis panduan atau nilai penapisan (screening value, SV) daripada USEPA (Binelli & Provini 2003).

Nilai garis panduan atau nilai penapisan bagi PAH yang disarankan oleh USEPA adalah 0.67 ng/g berat basah untuk orang dewasa (USEPA 2000). Nilai garis panduan yang dikira adalah berdasarkan kepada kadar pengambilan ikan sebanyak 142.2 g/hari untuk manusia, berat badan

piawaian dewasa, iaitu 70 kg, nilai faktor kecerunan PAH, iaitu $7.30 \mu\text{g/g day}^{-1}$ dan aras risiko pada 10^{-5} . Nilai PEC untuk ketiga-tiga spesies ikan yang dikaji dalam kajian ini ialah dalam julat 0.41 – 0.63 ng/g adalah lebih rendah daripada nilai garis panduan yang ditetapkan, iaitu 0.67 ng/g. PEC dalam kajian ini lebih tinggi berbanding dengan Cheung et al. (2006) yang memberikan nilai PEC pada julat 0.01 – 0.37. Ini disebabkan benzo(a)anthrasena, benzo(k)fluoranthena dan dibenzo(a,h)anthrasena yang mempunyai nilai PEC yang tinggi tidak dapat dikesan manakala sebatian PAH ini dikesan dalam kajian.

KESIMPULAN

Secara keseluruhannya, kepekatan PAH dalam tisu ikan Lolong (25.61 ng/g berat basah), Kerisi (17.89 ng/g berat basah) dan Mengkarong (42.18 ng/g berat basah) adalah lebih rendah berbanding dengan kajian lain yang pernah dilaporkan. Tren penumpukan sebatian PAH dalam ikan menunjukkan tertib berikut: Mengkarong (*Trachinocephalus myops*) > Lolong (*Selar boops*) > Kerisi (*Nemipterus peronii*). Secara umumnya, taburan jenis PAH yang diperolehi adalah seperti yang dijangka berdasarkan tabiat pemakanan, habitat ikan dan kandungan lipid dalam ikan itu. Nilai kepekatan potensi setara (PEC) dalam kajian ini pada julat 0.41 – 0.63 ng/g berat basah adalah lebih rendah dari nilai garis panduan yang ditetapkan oleh USEPA, iaitu 0.67 ng.g berat basah.

RUJUKAN

- Allen, G. 2000. *Marine Fishes of South East Asia, A Field Guide for Anglers and Divers*. Singapore: Periplus Editions Ltd.
- Binelli, A. & Provini, A. 2003. POPs in edible clams from different Italian and European markets and possible human health risk. *Marine Pollution Bulletin* 46: 879-886.
- Binelli, A. & Provini, A. 2004. Risk for human health of some POPs due to fish from Lake Iseo. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 58: 139-145.
- Burgess, R.M., Ahrens, M.J. & Hickey, C.W. 2003. Geochemistry of PAHs in aquatic environments: source, persistence and distribution. Dlm. *PAHs: An Ecotoxicological Perspective*, Douben, P.E.T. New York: John Wiley & Son Inc.
- Cheung, K.C., Leung, H.M., Kong, M.H. & Wong, M.H. 2006. Residual levels of DDTs and PAHs in freshwater and marine fish from Hong Kong markets and their health risk assessment *Chemosphere* June: 1-9.
- FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations). 1995. *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Rome: FAO Fisheries Department.
- Fernández, P., Grimalt, J. & Vilanova, R. 2002. Atmospheric gas-particle partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons in high mountain regions of Europe. *Environ. Sci. Technol.* 36: 1162-1168.
- Fernández, P., Vilanova, R., Martínez, C., Appleby, P. & Grimalt, J. 2000. The historical record of atmospheric pyrolytic pollution over Europe registered in sedimentary PAH from remote mountain lakes. *Environ. Sci. Technol.* 34: 1906-1913.
- Hong, H., Xu, L., Zhang, L., Chen, J.C., Wong, Y.S. & Wan, T.S.M. 1995. Environmental fate and chemistry of organic pollutants in sediments of Xiamen and Victoria Harbours. *Marine Pollution Bulletin* 31: 229-236.
- Howson, M. & Jones, K. 1998. Sources of PAHs in the environment. Dlm. *Handbook of Environmental Chemistry*. Neilson, A.H. (ed.), Berlin: Springer-Verlag.
- Kong, K.Y., Cheung, K.C., Wong, C.K.C. & Wong, M.H. 2005. The residual dynamic of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides in fishponds of the Pearl River Delta, South China. *Water Research* 39: 1831-1843.
- Lage Yusty, M.A. & Cortizo Daviña, J.L. 2005. Supercritical fluid extraction and high performance liquid chromatography – fluorescence detection method for polycyclic aromatic hydrocarbons investigation in vegetable oil. *Food Control* 16: 59-64.
- Nisbet, I.C.T. & Rasmussen, J.B. 1992. Toxic equivalent factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Regul. Toxicol. Pharm.* 16: 290-300.
- Pena, T., Pensado, L., Casais, C., Mejuto, C., Phan-Tan-Luu, R. & Cela, R. 2006. Optimization of a microwave-assisted extraction method for the analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons from fish samples. *Journal of Chromatography A* 1121: 163-169.
- Philips, D.J.H., 1980. *Quantitation Aquatic biological Indicators: Their Use to Monitor Trace Metals and Organochlorine Pollution*. United Kingdom: Applied Science Publishers Ltd.
- Ramachandran, S.D., Swezey, M.J., Hodson, P.V., Boudreau, M., Courtenay, S.C., Lee, K., King, T. & Dixon, J.A. 2006. Influence of salinity and fish species on PAH uptake from dispersed crude oil. *Marine Pollution Bulletin* (February): 1-8.
- Russell, F., Taberski, K., Lamerdin, S., Johnson, E., Clark, R.P., Downing, J.W., Newman, J. & Petreas, M. 1997. Organochlorines and other environmental contaminants in muscle tissues of sportfish collected from San Francisco Bay. *Marine Pollution Bulletin* 34: 1058- 1071.
- Sericano, J.L., Brooks, J.M., Champ, M.A., Kennicutt II, M.C., Makeyev, V.V. 2000. Trace Contaminant Concentration in Kara Sea and its adjacent Rivers, Russia. *Marine Pollutin Bulletin* 42: 1017-1030.
- Tolosa, I., Bayona, J.M. & Albiges, J. 1996. Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons and sulfur/oxygen derivatives in NW Mediterranean sediments: Spatial and temporal variability, fluxes and budget. *Environmental Science Technology* 30: 2495-2503.
- USEPA, US Environmental Protection Agency. 1989. *Risk assessment guidance for superfund .Human health evaluation manual*. Washington, D.C.: US Environmental Protection Agency, Office of Emergency and Remedial Response.
- USEPA, US Environmental Protection Agency. 1993. Dieldrin (CASRN 60-57-1): US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Integrated Risk Information System. <http://www.epa.gov/iris/subst/0225.htm#carc>. [23 November 2006]
- USEPA, US Environmental Protection Agency. 1996. *Method 3540C: Soxhlet extraction*. Washington, D.C.: US Environmental Protection Agency.
- USEPA, US Environmental Protection Agency. 2000. *Guidance for Assessing Chemical Contaminant, Data for Use in Fish Advisories: Fish Sampling and Analysis*. Washington: Office of Water.

- Vilanova, R., Fernández, P., Martínez, C. & Grimalt, J. 2001. Polycyclic aromatic hydrocarbons in remote mountain lake waters. *Water Research* 35: 3916-3926.
- Vives, I & Grimalt, J.O. 2002. Method for integrated analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine compounds in fish liver. *Journal of Chromatography B* 768: 247-254.
- Wong, M.H. & Poon, B.H.T. 2003. Sources, fates and effects of persistent organic pollutants in China, with emphasis on the Pearl River Delta. Dlm. *The Handbooks of Environmental Chemistry*. Fiedler, H. hlm. 355-369. Berlin: Springer.
- Zakaria, M. P., Takada, H., Tsutsumi, S., Ohno, K., Yamada, I., Kouno, E. & Kumata, H. 2002. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in rivers and estuaries in Malaysia: a widespread input of petrogenic PAHs. *Environ. Sci. Technol.* 36: 1907-1918.
- Lee Yook Heng*
Pusat Pengajian Sains Kimia & Teknologi Makanan
Fakulti Sains & Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 Bangi, Selangor D.E.
Malaysia
- Mohd. Pauzi Zakaria
Jabatan Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia
43400 Serdang, Selangor D.E.
Malaysia
- *Pengarang untuk surat-menyurat; email: yhl1000@ukm.my
- Diserahkan: 30 Julai 2008
Diterima: 8 September 2009
- Sim Khay Tien, Mazlan Abd. Ghaffar & Salmijah Surif
Pusat Pengajian Sains Sekitaran & Sumber Alam
Fakulti Sains & Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 Bangi, Selangor D.E.
Malaysia