

Penggunaan Spesies Ikan Air Tawar Terpilih sebagai Penunjuk Biologi Pencemaran Kromium dan Selenium di Malaysia

(Use of Selected Freshwater Fishes as Bioindicator for Chromium and Selenium Pollution in Malaysia)

NURUL AKHMA ZAKARIA, AHMAD ABAS KUTTY*, MOHD AKMAL MAHAZAR & MARINA ZAINAL ABIDIN

ABSTRAK

Tiga spesies ikan air tawar iaitu *Rasbora sumatrana* (Cyprinidae), *Poecilia reticulata* (guppy; Poeciliidae) dan *Carrasius auratus* telah didedahkan kepada kromium (Cr) dan selenium (Se) yang mempunyai julat kepekatan yang berbeza selama 4 hari (96 jam) di dalam makmal. Kadar kematian dicatatkan dan kepekatan kematian ambang (LC_{50}) dan masa kematian ambang (LT_{50}) dihitung. Nilai LC_{50} kepekatan kematian median (LC_{50}) dan masa kematian median (LT_{50}) didapati berkurang dengan peningkatan logam dan masa pendedahan bagi kesemua spesies ikan. Nilai LC_{50} bagi pendedahan selama 96 jam bagi *R. sumatrana*, *P. reticulata* dan *C. auratus* kajian ini masing-masing bagi Cr adalah 20.91, 19.85, 28.31 mg/L dan bagi Se pula 0.21, 3.03, 0.24 mg/L. Se mempamerkan ketoksikan paling tinggi terhadap tiga spesies ikan air tawar ini apabila mempunyai nilai LC_{50} 96 jam paling rendah jika dibandingkan dengan Cr.

Kata kunci: Ikan; kesensitifan; ketoksikan akut; LC_{50} ; logam berat

ABSTRACT

Three species of freshwater fish, *Rasbora sumatrana* (Cyprinidae) and *Poecilia reticulata* (guppy; Poeciliidae) and *Carrasius auratus* were exposed to chromium (Cr) and selenium (Se) at varied concentrations for 96 h in the laboratory. Mortality was assessed and median lethal concentrations (LC_{50}) and median lethal times (LT_{50}) were calculated. It was observed that the LC_{50} and LT_{50} values decreased with an increase in mean exposure concentrations and times, for both metals and for all fish types. The 96h LC_{50} values *R. sumatrana*, *P. reticulata* and *C. auratus* were 20.91, 19.85, 28.31 mg/L for Cr and 0.21, 3.03, 0.24 mg/L for Se, respectively. Results indicated that Se was the most toxic metal on all types of fishes with lowest LC_{50} values compared to Cr.

Keywords: Fish; heavy metals; LC_{50} ; toxicity; sensitivity

PENGENALAN

Pencemaran logam berat dan metalloid dalam air dan sedimen pada kepekatan yang tinggi merupakan ancaman serius terhadap ekosistem akuatik khususnya disebabkan kesan ketoksikan, bioakumulasi dan biomagnifikasi dalam rantai makanan (Al-Yousuf et al. 2000; Lamas et al. 2007). Logam adalah merbahaya apabila ia memasuki persekitaran akuatik disebabkan sifatnya yang tidak boleh terbiogradasi (WHO 2011). Secara umumnya, peningkatan populasi dan aktiviti manusia memberi kesan kepada kenaikan paras logam dalam sumber air dan turut mengancam biota akuatik seterusnya memberi kesan kepada manusia (Voigt et al. 2014). Antara bahan pencemar yang wujud dalam ekosistem, logam merupakan bahan pencemar yang paling merbahaya disebabkan sifatnya yang kekal dan kumulatif (Sangeeta Das 2012). Cr merupakan pencemar alam sekitar yang penting, terdapat di dalam persekitaran akuatik akibat kilang penyaduran, pembuatan tekstil, kilang pengeluaran keluli, air bilasan, menyamak kulit binatang dan pewarnaan, pelupusan sampah sanitari, pembakaran arang batu dan minyak, kimpalan, bata relau dan industri pemeliharaan kayu (Johnson & Radhakrishnan 2015). Se pula wujud

secara semula jadi dalam alam sekitar dalam bentuk yang berbeza; seperti selenide (Se [II]), unsur selenite (Se [IV] atau SeO_3^{2-}) dan selenate (Se [VI] SeO_4^{2-}) (Barceloux 1999; Mechora et al. 2013; Takayanagi 2001). Sebatian Se organik dan bukan organik adalah penting untuk sistem imuniti bagi kebanyakan organisma (Mruk et al. 2002). Selain itu, Se adalah elemen penting dengan fungsi fisiologi yang pelbagai (Misra 2011; Patterson et al. 2010). Walau bagaimanapun, aktiviti antropogenik seperti perlombongan logam dan peleburan, pembakaran arang batu dan pertanian boleh membawa kepada peningkatan Se dalam persekitaran akuatik (Lemly 2002; Pieterek & Pietrock 2012).

Pada masa ini, isu pencemaran sistem akuatik dengan logam sudah tidak asing lain dilaporkan di dalam akhbar, televisyen, media sosial dan laporan penyelidikan daripada pelbagai agensi. Akumulasi logam ke tahap yang merbahaya dalam sistem biota akuatik menjadi isu yang hangat dibincangkan dan mendapat perhatian secara global (Tsangaris et al. 2007). Oleh sebab yang demikian, ketoksikan logam dalam ekosistem akuatik ini telah menimbulkan kebimbangan terhadap kesihatan manusia sejak bertahun-tahun dahulu malahan sehingga kini.

Proses urbanisasi seperti aktiviti perindustrian, pertanian, perlombongan dan akuakultur yang semakin pesat telah menyebabkan peningkatan bahan pencemar seperti logam dan pelbagai jenis bahan organik dan tidak organik ke dalam alam sekitar. Malaysia sebagai sebuah negara yang sedang membangun di Asia Tenggara juga tidak terlepas daripada masalah ini. Menurut Laporan Kualiti Alam Sekeliling 2016, kualiti air sungai yang ditentukan daripada segi Indeks Kualiti Air telah menunjukkan penurunan pada tahun tersebut berbanding tahun 2015. Peratus bilangan sungai yang dikategorikan sebagai bersih telah menurun kepada 47% pada tahun 2016 berbanding 58% berbanding tahun sebelumnya. Peratus bilangan sungai yang dikategorikan sebagai sederhana tercemar didapati meningkat daripada 35% pada tahun 2015 kepada 43% pada tahun 2016 (JAS 2016, 2015). Secara amnya, Jabatan Alam Sekitar masih menggunakan kaedah fizikokimia bagi memantau kualiti air sungai di semua 449 stesen sungai di Malaysia (JAS 2016). Analisis kimia kualiti air merupakan pendekatan secara langsung untuk mendedahkan status pencemaran logam di alam sekitar, tetapi kaedah ini tidak memberikan bukti ketoksikan sesuatu organisma atau ekosistem secara keseluruhan (Zhou et al. 2008). Oleh sebab yang demikian, penggunaan tindak balas biologi bagi menilai dan memantau kualiti jasad air mempunyai kelebihan untuk mengintegrasikan respon organisma terhadap pelbagai kesan logam dan interaksi dengan faktor persekitaran dalam semua laluan pendedahan. Ikan dipertimbangkan menjadi penunjuk biologi paling ketara dalam sistem akuatik bagi menganggar tahap pencemaran sesuatu logam (Benaduce et al. 2008) berdasarkan kepada beberapa kelebihan khusus dalam menggambarkan ciri-ciri semula jadi sistem akuatik dan berupaya menilai perubahan dalam habitat (Has-Schön et al. 2008). Di samping itu, ikan juga terletak di aras trofik akhir rantaian makanan akuatik. Ia mengumpul logam dan seterusnya memberi kesan kepada manusia melalui makanan serta menyebabkan penyakit kronik dan akut (Linbo et al. 2009). Ikan merupakan sumber penting makanan dan merupakan sebahagian besar daripada rantaian makanan semula jadi. Ikan sangat berkhasiat kerana kandungan proteinnya yang tinggi dan kehadiran asid lemak, lemak, asid amino dan vitamin omega-3; ia juga mengandungi beberapa mineral, termasuk Ca, Fe, Cd, Pb, Cu, dan Zn (Aremu & Ekunode 2008; Sofia 2005). Kandungan logam berat dalam ikan mampu meningkatkan atau bertindak balas terhadap manfaat omega-3 dan protein dalam ikan (Ogundiran & Ojo 2012).

Objektif kajian ini adalah bagi menentukan ketoksikan akut tiga spesies ikan air tawar di Malaysia iaitu *Rasbora sumatrana*, *Poecilia reticulata* dan *Carrasius auratus* terhadap pendedahan kepada logam Cr dan Se. Ketiga-tiga spesies ikan air tawar ini dipilih dalam kajian ini adalah berdasarkan kepada faktor taburan yang meluas, mudah diperolehi dalam kuantiti yang banyak, saiz yang kecil dan faktor pemangsa. *Rasbora* terkenal dalam kalangan pemancing di Malaysia khususnya digunakan sebagai umpan ikan. Kajian ketoksikan logam di Malaysia

terutamanya menggunakan organisma sebagai penunjuk biologi masih kurang dijalankan dan dilaporkan. Oleh sebab yang demikian, penyelidikan berkaitan bidang ini adalah sangat perlu untuk menentukan sensitiviti sesuatu organisma terhadap bahan pencemar bagi melindungi ekosistem akuatik air tawar (Shuhaimi-Othman et al. 2012).

BAHAN DAN KAEDAH

Dalam kajian ini, kesemua spesies ikan diperolehi dari sekitar Lembah Klang, Selangor. Spesies *R. sumatrana* dan *C. auratus* diperolehi dari kedai akuarium di sekitar kawasan Bandar Baru Bangi, manakala *P. reticulata* disampel dari kolam di Fakulti Sains dan Teknologi, UKM. Setibanya di makmal, ikan diletakkan di dalam akuarium berlainan yang bersaiz 50L bagi tujuan aklimasi. Proses ini dijalankan sekurang-kurangnya selama seminggu menggunakan air paip nyahklorin yang ditapis, pencahayaan 12 jam terang dan 12 jam gelap dan suhu (27-30°C) yang dikawal sepanjang uji kaji dijalankan. Ikan diberi makanan kering (*Super-Gold Tropical Fish Food*) setiap hari. Sebarang partikel yang tidak dikehendaki dibuang daripada akuarium selepas ikan diberi makan bagi mengelakkan kualiti air terjejas. Larutan stok logam disediakan dengan melarutkan garam logam ke dalam 1000 mL kelalang dengan air nyahion menjadikan kepekatan larutan 1000 mg/L. Garam ini ditimbang dengan menggunakan bot penimbang. Berat setiap garam adalah 2.190 g garam natrium selenit (Na_2SeO_3) dan 5.658 g garam kalium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Kelalang digoncang untuk melarutkan kesemua garam dan disimpan pada suhu bilik. Tiga spesies ikan yang digunakan dalam kajian ini iaitu *R. sumatrana* (panjang 5.0-6.0 cm; berat basah 3.5-5.0 g; *P. reticulata* (panjang 2.8-3.8 cm; berat basah 0.22-0.37 g) dan *C. auratus* (panjang 3.2-4.0 cm; berat basah 0.63-0.81 g). Lima kepekatan bagi setiap logam dipilih selepas ujian julat penduga selama 24 jam dijalankan. Kepekatan yang dipilih adalah 10, 18, 32, 56 dan 100 mg/L logam Cr bagi ketiga-tiga spesies ikan manakala kepekatan 1, 10, 32, 56, 100 mg/L bagi *R. sumatrana* dan *C. auratus* serta 10, 18, 32, 56 dan 100 mg/L bagi *P. reticulata*. Jadual 1 menunjukkan kepekatan larutan logam yang digunakan dalam kajian. Lima replikasi dibuat untuk setiap kepekatan logam dan kawalan.

Ujian ketoksikan dijalankan selama 4 hari (96 jam) dengan pembaharuan larutan dilakukan setiap 2 hari bagi mengekalkan kepekatan larutan logam. Sepanjang ujian ketoksikan ini, organisma kajian tidak diberi makan bagi mengawal jumlah kandungan logam yang diserap oleh organisma kajian. Persekitaran makmal juga dikawal pada suhu 26-30°C di samping pencahayaan 12 jam cerah dan 12 jam gelap dengan menggunakan lampu floresan. Organisma kajian diletakkan secara rawak ke dalam setiap bikar larutan logam dan kawalan. 10 ekor organisma digunakan untuk setiap larutan logam dan kawalan bagi *R. sumatrana*, manakala *P. reticulata* dan *C. auratus* menggunakan 20 ekor organisma untuk setiap larutan logam serta kawalan. Bilangan kematian

JADUAL 1. Kepekatan kematian median (LC_{50}) bagi *R. sumatrana*, *P. reticulata* dan *C. auratus* terhadap pendedahan kepada Cr dan Se

Masa	LC_{50} Cr (mg/L)	Aras Keyakinan (95 %)	Masa	LC_{50} Cr (mg/L)	Aras Keyakinan (95 %)	Masa	LC_{50} Cr (mg/L)	Aras Keyakinan (95 %)
<i>R. sumatrana</i>			<i>P. reticulata</i>			<i>C. auratus</i>		
24	37.18	29.8-16.8	24	25.91	7.6-64.8	24	76.90	61.7-108.2
48	27.98	23.4-35.3	48	25.62	19.9-29.8	48	45.35	Na
72	22.05	16.1-29.3	72	23.24	19.3-27.0	72	33.91	25.5-45.6
96	20.91	15.4-27.6	96	19.85	16.8-23.4	96	28.31	21.1-37.8

Masa	LC_{50} Se (mg/L)	Aras Keyakinan (95 %)	Masa	LC_{50} Se (mg/L)	Aras Keyakinan (95 %)	Masa	LC_{50} Se (mg/L)	Aras Keyakinan (95 %)
<i>R. sumatrana</i>			<i>P. reticulata</i>			<i>C. auratus</i>		
24	15.31	22..6-9.6	24	33.28	26.8-41.4	24	18.61	Na
48	2.56	Na	48	14.73	10.3-18.9	48	6.31	Na
72	2.16	Na	72	6.15	0.5-9.3	72	2.77	Na
96	1.75	Na	96	3.03	Na	96	0.24	0-1.0

Na: Nilai tidak diperoleh menggunakan analisis probit

direkodkan setiap 3 jam pada dua hari pertama dan setiap 4 jam pada hari seterusnya hingga 96 jam. Organisma yang mati semasa ujian ketoksikan dikeluarkan dengan kadar segera agar tidak menjejaskan organisma kajian yang masih hidup. Tiada tekanan yang jelas diperhatikan pada organisma kajian yang menunjukkan sebanyak 90% hingga 100% hidup dalam bikar kawalan sehingga akhir ujian. Organisma yang tidak memberi respon dengan sentuhan lembut yang dibuat didefinisikan sebagai mati. Setiap dua hari, parameter kualiti air (pH, kekonduksian dan oksigen terlarut) diukur mengikut prosedur piawai (APHA 2005) menggunakan meter Hydrolab Quanta® dan sampel keliatan air juga diambil dan diukur menggunakan Spektrometer Plasma Gandingan Aruhan (ICP-MS Perkin Elmer®, Elan DRC 9000).

Sebanyak 30 mL sampel larutan bagi setiap pendedahan diambil sebelum dan selepas diperbaharui dan diawet dengan 2% asid nitrik (Aristar® 65%) dan seterusnya dianalisis menggunakan Spektrometer Plasma Gandingan Aruhan dengan tujuh larutan piawai digunakan dalam proses kalibrasi iaitu 10, 30, 50, 100, 250, 500 and 1000 µg/L. Bagi mengelakkan sebarang kontaminasi, semua alat dan radas uji kaji direndam dalam rendaman asid (20% HNO₃) dan dibilas menggunakan air nyahion. Ketepatan analisis juga dilakukan dengan mengukur larutan piawai setelah sepuluh sampel dianalisa dan nilai yang diperolehi adalah dalam julat 10 % nilai piawai. Penentuan bagi kepekatan maut median (LC_{50}) dan masa maut median (LT_{50}) bagi organisma kajian yang telah didedahkan kepada kesemua logam dikira dan dibandingkan dengan menggunakan program FORTAN yang menggunakan kaedah probit oleh Litchfield (1949) dan Litchfield dan Wilcoxon (1949). Bagi analisis biopemekatan pula, ujian

ANOVA sehalu telah digunakan untuk menentukan sama ada terdapat perbezaan bererti antara logam berat bagi organisma dalam larutan kawalan dengan organisma yang didedahkan dalam larutan logam. Semua analisis statistik dijalankan dengan menggunakan perisian SPSS versi 21.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

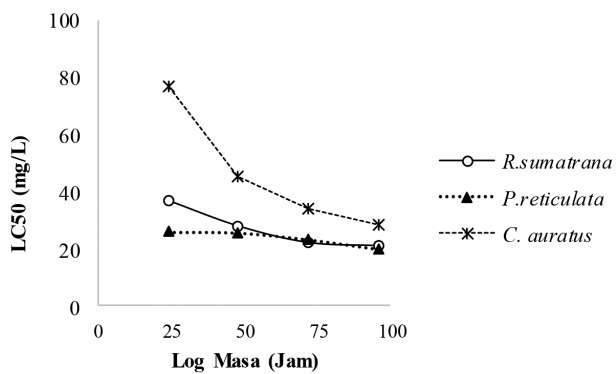
Analisis parameter kualiti air sepanjang kajian yang diukur adalah; pH 7.23 ± 0.2 , suhu air $26.8 \pm 0.2^\circ\text{C}$, kekonduksian $480 \pm 0.6 \mu\text{S cm}^{-1}$, oksigen terlarut $6.8 \pm 0.4 \text{ mg/L}$ dan keliatan air $32.6 \pm 2.4 \text{ mg/L CaCO}_3$ (Ca^{2+} dan Mg^{2+}). Sembilan puluh peratus daripada organisma kawalan yang diletakkan dalam air paip nyahklorin hidup hingga akhir eksperimen dijalankan. Nilai kepekatan kematian median (LC_{50}) (Jadual 1) dan masa kematian median (LT_{50}) (Jadual 2) didapati berkurang dengan peningkatan kepekatan logam berat dan masa pendedahan. Rajah 1 hingga 4 juga menunjukkan trend yang sama iaitu berkurang dengan pertambahan kepekatan logam dan masa pendedahan. Se mempamerkan ketoksikan paling tinggi terhadap tiga spesies ikan air tawar ini apabila mempunyai nilai LC_{50} 96 jam paling rendah jika dibandingkan dengan Cr. Nilai LC_{50} bagi pendedahan selama 96 jam bagi *R. sumatrana*, *P. reticulata* dan *C. auratus* kajian ini masing-masing bagi Se adalah 0.21, 3.03, 0.24 mg/L dan bagi Cr 20.91, 19.85, 28.31 mg/L. Kematian ikan kebanyakannya berlaku pada 48 jam pertama. Nilai LC_{50} yang dihasilkan menurun secara drastik antara pendedahan pada masa 24 dan 48 jam, manakala perbezaan antara nilai 72 dan 96 jam LC_{50} adalah lebih kecil disebabkan ikan lebih beradaptasi dengan kepekatan logam Cr dan Se selari dengan peningkatan masa pendedahan.

JADUAL 2. Masa kematian median (LT_{50}) bagi *R. sumatrana*, *P. reticulata* dan *C. auratus* terhadap pendedahan kepada Cr dan Se

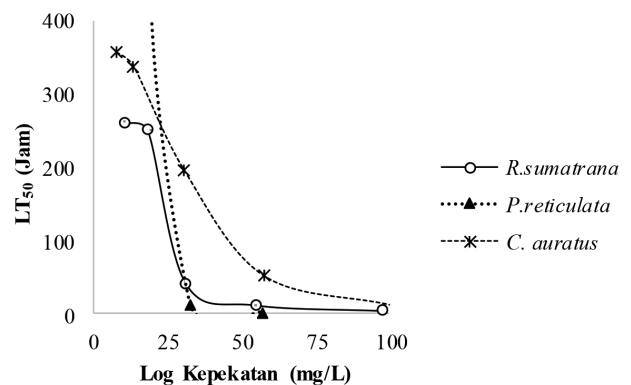
Kepekatan diukur (mg/L)	LT_{50} Cr (Jam)	Aras Keyakinan (95 %)	Kepekatan diukur (mg/L)	LT_{50} Cr (Jam)	Aras Keyakinan (95 %)	Kepekatan diukur (mg/L)	LT_{50} Cr (Jam)	Aras Keyakinan (95 %)
<i>R. sumatrana</i>			<i>P. reticulata</i>			<i>C. auratus</i>		
10.52±0.13	261.92	27.3-2511.8	10.19 ± 0.19	29900.02	Na	7.67±0.15	356.68	16.7-7593.3
18.35±0.76	251.22	25.6-2462.8	18.94±0.55	493.45	71.0-3427.3	13.53±0.13	336.83	39.8-2851.7
31.2±2.32	41.90	20.6-85.4	32.56±0.76	12.59	7.0-22.5	30.66±0.39	195.27	61.2-623.0
55.05±0	12.53	8.6-17.4	56.84±0	2.18	1.0-4.6	57.53±2.36	51.91	31.2-83.7
97.57±0	5.06	3.9-6.6	101.17±0	-	Na	100.48±0	11.94	6.8-20.9

Kepekatan diukur (mg/L)	LT_{50} Se (Jam)	Aras Keyakinan (95 %)	Kepekatan diukur (mg/L)	LT_{50} Se (Jam)	Aras Keyakinan (95 %)	Kepekatan diukur (mg/L)	LT_{50} Se (Jam)	Aras Keyakinan (95 %)
<i>R. sumatrana</i>			<i>P. reticulata</i>			<i>C. auratus</i>		
0.88±0.11	166.37	56.4-491.1	9.21±0.85	53.48	42.4-67.5	1.01±0.05	79.91	58.2-109.6
9.72±0	34.18	25.0-46.6	17.18±2.18	39.02	31.6-48.3	10.38±0.88	58.10	38.6-87.6
31.57±0	3.29	1.5-8.4	31.25±3.65	28.22	18.3-43.5	31.89±0	18.21	13.1-25.2
56.37±0	Na	Na	56.20±0	10.06	6.6-15.4	55.26±0	10.18	7.0-14.9
97.67±0	Na	Na	101.62±0	3.54	2.3-5.4	97.69±0	4.66	2.7-8.1

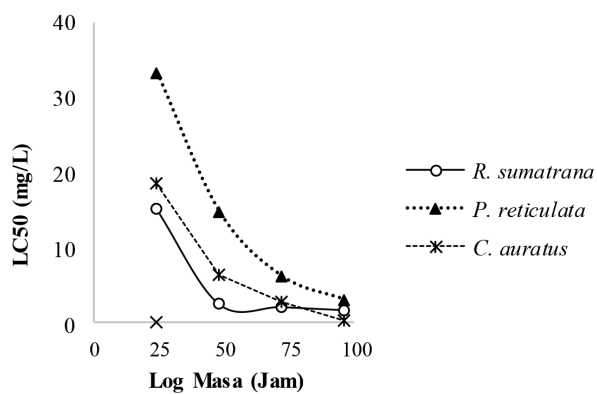
Na: Nilai tidak diperoleh menggunakan analisis probit



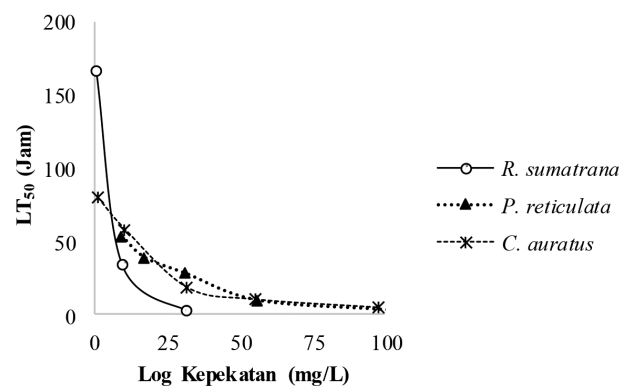
RAJAH 1. Graf hubungan kepekatan kematian median (LC_{50} 96 jam) *R. sumatrana*, *P. reticulata* dan *C. auratus* terhadap pendedahan kepada Cr



RAJAH 3. Graf hubungan masa kematian median (LT_{50} 96 jam) *R. sumatrana*, *P. reticulata* dan *C. auratus* terhadap pendedahan kepada Cr



RAJAH 2. Graf hubungan kepekatan kematian median (LC_{50} 96 jam) *R. sumatrana*, *P. reticulata* dan *C. auratus* terhadap pendedahan kepada Se



RAJAH 4. Graf hubungan masa kematian median (LT_{50} 96 jam) *R. sumatrana*, *P. reticulata* dan *C. auratus* terhadap pendedahan kepada Se

Pendedahan Cr terhadap ketiga-tiga spesies ikan dalam kajian ini menunjukkan *P. reticulata* merupakan spesies paling sensitif diikuti *R. sumatrana* dan *C. auratus*. Bagi membandingkan pendedahan ikan terhadap Cr dengan kajian lain, perbandingan secara terus dibuat antara *P. reticulata* dengan spesies yang sama mempamerkan tahap sensitiviti terhadap pendedahan Cr yang tidak konsisten dengan nilai LC_{50} 48 jam 113.9 mg/L (Bulíček 2012), LC_{50} 96 jam 114.6 mg/L (Oliveira-Filho & Paumgarten 1997) dan 29.28 mg/L (Khangarot & Ray 1990). *P. reticulata* yang digunakan dalam kajian ini adalah 1.5 hingga 6 kali ganda lebih sensitif terhadap Cr berbanding spesies yang sama dalam kajian lain. Trend yang sama juga dilihat pada *C. auratus* apabila dua kajian lain mempunyai nilai LC_{50} 96 jam yang hampir sama iaitu 120 mg/L (Adelman et al. 1976) dan 110 mg/L (Riva et al. 1981), manakala dalam kajian ini nilai yang jauh lebih rendah diperolehi iaitu 28.31 mg/L. Nilai ini membuktikan *C. auratus* yang digunakan dalam kajian ini adalah 4 kali ganda lebih sensitif daripada kajian yang lain. Keadaan ini berkemungkinan besar wujud disebabkan keliatan air semasa eksperimen yang berbeza memberikan nilai LC_{50} yang jauh berbeza walaupun bagi spesies yang sama. Penyelidikan yang dibuat oleh Kiyani dan Ebrahimpour (2013) menunjukkan ketoksikan logam kuprum dan zink meningkat dengan pengurangan keliatan air. Keputusan daripada kajiannya juga mempamerkan peningkatan keliatan air daripada 25 hingga 350 mg/L $CaCO_3$ berupaya mengurangkan ketoksikan kuprum (sehingga 38 kali) dan zink (sehingga 264 kali) terhadap ikan pada pendedahan selama 96 jam. Ketoksikan sesuatu logam berat saling berkait rapat dengan sekitaran seperti keliatan air yang mengakibatkan berlakunya persaingan antara kation logam dengan kation Ca^{2+} dan Mg^{2+} dalam sesuatu jasad air (Di Toro et al. 2001). Keliatan air mengurangkan keterlarutan logam berat dalam air seterusnya mengurangkan penyerapan logam bagi sesuatu organisma serta menyebabkan ketidakaktifan logam berat (Pascoe et al. 1986). Hasil daripada itu, nilai LC_{50} ikan tinggi dalam air liat berbanding air lembut. Alstad et al. (2005) menyatakan bahawa saiz ikan daripada segi berat dan panjang perlu diambil kira semasa menganalisis keputusan bagi kajian ketoksikan sesuatu logam yang dikaji. Penjelasan ini terbukti apabila daripada perbandingan ketoksikan logam As terhadap spesies ikan yang lain di Jadual 3, spesies ikan yang bersaiz lebih besar seperti *O. mossambicus*, *O. mykiss*, *N. notopterus* dan *B. javanicus* mempamerkan nilai ketoksikan LC_{50} yang lebih tinggi berbanding spesies ikan yang lain kecuali *C. auratus* dalam kajian Cardwell (1976).

Perbandingan pendedahan ikan terhadap Se menunjukkan nilai LC_{50} 96 jam yang tertinggi dicatatkan daripada kajian Davis et al. (1988) iaitu 76 mg/L oleh *G. affinis* sedangkan nilai LC_{50} 96 jam *P. reticulata* dalam kajian ini jauh lebih rendah iaitu 3.03 mg/L walaupun kedua-dua spesies ikan ini berada dalam famili yang sama (Poeciliidae). Ikan gapi kajian ini adalah 25 kali ganda lebih peka berbanding *G. affinis* terhadap pendedahan

logam Se. *C. auratus* dalam kajian ini merupakan spesies ikan paling sensitif terhadap logam Se dengan nilai LC_{50} 96 jam yang paling rendah iaitu hanya 0.24 mg/L bersamaan lebih 150 kali ganda lebih peka berbanding spesies yang sama dalam kajian Cardwell et al. (1976). Ketoksikan sesuatu logam berat saling berkait rapat dengan sekitaran seperti keliatan air yang mengakibatkan berlakunya persaingan antara kation logam dengan kation Ca^{2+} dan Mg^{2+} dalam sesuatu jasad air (Di Toro et al. 2001). Keliatan air mengurangkan keterlarutan logam berat dalam air seterusnya mengurangkan penyerapan logam bagi sesuatu organisma serta menyebabkan ketidakaktifan logam berat (Pascoe et al. 1986). Oleh sebab yang demikian, tahap sensitiviti terhadap logam berat sangat berbeza antara organisma seperti di Jadual 3 yang mempunyai julat nilai LC_{50} 96 jam yang besar iaitu daripada 0.24 hingga 76 mg/L. Keputusan ini menjelaskan bahawa spesies yang berbeza mempunyai julat sensitiviti yang berlainan terhadap sesuatu logam. Perbezaan ini berlaku disebabkan oleh faktor variasi biologi yang membentuk sesuatu populasi genetik dan individu. Variasi ini kebiasaannya kecil bagi organisma daripada kumpulan yang sama spesies, umur dan juga tahap kesihatan manakala variasi yang lebih besar didapati terhadap organisma yang berlainan spesies (Rand et al. 1995). Menurut Indeks Ketahanan Relatif (IKR), *R. sumatrana* merupakan spesies ikan paling sensitif terhadap pendedahan kedua-dua jenis logam berbanding dua spesies lain walaupun julat nilai yang diperolehi adalah tidak ketara dengan urutan *R. sumatrana* > *P. reticulata* > *C. auratus*. Keputusan kajian oleh Zakaria-Ismail dan Fatimah (2002) menunjukkan trend sensitiviti yang sama apabila nilai IKR *R. sumatrana* yang diperolehi adalah 2.5 berbanding *P. reticulata* yang mempunyai indeks toleransi 4.0 (julat 0.5 adalah bagi spesies yang paling sensitif manakala 4.5 merupakan spesies yang lebih rintang). Jadual 3 menunjukkan perbandingan nilai LC_{50} spesies kajian ini bagi masa pendedahan yang berbeza dengan spesies ikan air tawar yang lain.

Perbezaan ketoksikan Cr dan Se antara kajian ini dan kajian lain (Jadual 3) mungkin disebabkan perbezaan sensitiviti spesies yang berlainan, usia dan saiz organisma itu sendiri (Hodson et al. 1982; Mc Cahon & Pascoe 1988) begitu juga perbezaan kualiti air seperti keliatan air (Pascoe et al. 1986; Stephenson 1983) dan suhu (Stephenson 1983) kerana semua faktor ini didapati boleh mempengaruhi kadar ketoksikan. Oleh yang demikian, pemilihan spesies ikan yang sesuai digunakan sebagai organisma penunjuk biologi perlulah dilakukan secara lebih teliti lagi dengan mengambil kira pelbagai faktor lain yang berpotensi mempengaruhi sensitiviti sesuatu organisma terhadap bahan pencemar.

KESIMPULAN

Keputusan kajian mendapati bahawa ketiga-tiga spesies ikan air tawar yang digunakan dalam kajian mempunyai

JADUAL 3. Perbandingan nilai LC₅₀ antara *R. sumatrana*, *P. reticulata* dan *C. auratus* dengan spesies ikan kajian lain terhadap pendedahan kepada Cr dan Se

Logam	Organisma	Peringkat hidup	Jenis ujian	Kualiti air	Masa (jam)	LC ₅₀ (mg/L)	Rujukan
Cr	<i>L. rohita</i>	Anak ikan	R	T 27.5, pH 8	96	39.4	Vutukuru 2005
	<i>P. promelas</i>	11 minggu	FT	T 25, pH 7.5-7.9, WH 210	96	48	Adelman et al. 1976
	<i>C. auratus</i>	5 bulan – 1 tahun	FT	T 25, pH 7.5-7.9, WH 210	96	120	Adelman et al. 1976
	<i>P. promelas</i>		FT	T 15, pH 7.6-8.2, A 230-232	96	61	Reusink & Smith 1975
	<i>P. promelas</i>		FT	T 15, pH 7.6-8.2, A 230-232	96	52	Reusink & Smith 1975
	<i>S. fontinalis</i>	Alevin	FT	T 12, pH 7.0-8.0, WH 44-46	96	59	Benoit et al. 1976
	<i>S. gardnerii</i>	Alevin	FT	T 25, pH 7.5-7.9, A 200-230	96	69	Benoit et al. 1976
	<i>C. punctatus</i>		S	T 29.8, pH 7.5-8.5	96	50	Sornaraj et al. 1995
	<i>C. catla</i>		S	T 28, pH 7.1	96	100	Vincent et al. 1996
	<i>C. punctatus</i>	Dewasa	R	pH 7.3, DO 7.5, WH 215.3	96	41.75	Mishra & Mohanty 2008
	<i>C. commersoni</i>			pH 6.37, WH 15	96	31.4	Duncan & Klaverkamp 1983
	<i>P. reticulata</i>				48	113.9	Bulíček 2012
	<i>P. reticulata</i>		S	pH 7.2, WH 40-48, T 23	96	114.6	Oliveira-Filho & Paumgarten 1997
	<i>P. reticulata</i>		S	pH 7.6, T 28.5, WH 178	96	29.28	Khargarot & Ray 1990
	<i>C. auratus</i>		S	pH 7.8, DO 8.5, WH 270	96	110	Riva et al. 1981
	<i>C. batrachus</i>		R	T 28, pH 7.3, DO 7.6, WH 225	96	35.5	Johnson & Radha krishnan 2015
	<i>D. rerio</i>	Dewasa			96	26.034	Nisha et al. 2016
	<i>R. sumatrana</i>	Dewasa	S	pH 6.8, T 27.8, DO 7, WH 29.8	96	20.91	Kajian ini
	<i>P. reticulata</i>	Dewasa	S	pH 6.8, T 27.8, DO 7, WH 29.8	96	19.85	Kajian ini
	<i>C. auratus</i>	Dewasa	S	pH 6.8, T 27.8, DO 7, WH 29.8	96	28.31	Kajian ini
Se	<i>C. auratus</i>			T 19-25, pH 6-6.9	48	12	Weir & Hine 1970
	<i>L. rohita</i>	Anak ikan		T 27.3, pH 7.1, DO 6.3, WH 18.9	96	23.89	Ramesh et al. 2014
	<i>H. fossilis</i>				96	31.25	Srivastava & Srivastava 1998
	<i>P. promelas</i>	Juvenil		WH 329, DO 5.3-6.2, T 25	96	1	Halter et al. 1980
	<i>L. rohita</i>				96	1.8	Rajasubramaniam 2006
	<i>H. fossilis</i>				96	8.85	Rajasubramaniam 2006
	<i>C. commersoni</i>			pH 6.37, DO 7.90, A 6.35, WH 18	96	31.4	Duncan & Klaverkamp 1983
	<i>P. promelas</i>	Anak ikan	IF	pH 7.8, DO 7.1, T 24.7, WH 151	96	2.9	Cardwell et al. 1976
	<i>P. promelas</i>	Juvenil	IF	pH 7.8, DO 7.1, T 24.7, WH 152	96	7.3	Cardwell et al. 1976
	<i>J. floridae</i>	Juvenil	IF	pH 7.9, DO 7.8, T 24.5, WH 152	96	9.1	Cardwell et al. 1976
	<i>S. fonyinalis</i>	Dewasa	IF	pH 7.8, DO 8.1, WH 148, T 15.5	96	14.3	Cardwell et al. 1976
	<i>I. punctatus</i>	Juvenil	IF	pH 7.93, DO 6.7, WH 140, T 24.9	96	18.2	Cardwell et al. 1976
	<i>C. auratus</i>	Juvenil	IF	pH 7.63, DO 6.8, WH 148, T 25.4	96	36.6	Cardwell et al. 1976
	<i>L. macrochirus</i>	Juvenil	IF	pH 7.75, DO 6.8, WQ 150, T 24.9	96	40	Cardwell et al. 1976
	<i>O. tshawytscha</i>	Anak ikan	S	pH 7.82, WH 211	96	13.8	Hamilton & Buhl 1990
	<i>O. kisuth</i>	Anak ikan	S	pH 7.82, WH 212	96	7.8	Hamilton & Buhl 1990
	<i>G. affinis</i>				96	76	Davis et al. 1988
	<i>R. sumatrana</i>	Dewasa	S	pH 6.8, T 27.8, DO 7, WH 29.8	96	1.75	Kajian ini
	<i>P. reticulata</i>	Dewasa	S	pH 6.8, T 27.8, DO 7, WH 29.8	96	3.03	Kajian ini
	<i>C. auratus</i>	Dewasa	S	pH 6.8, T 27.8, DO 7, WH 29.8	96	0.24	Kajian ini

Petak kosong : Tidak dinyatakan, T: Suhu dalam °C, DO: Oksigen terlarut (mg/L), WH: Keliatan air (mg/L), A: kealkalian (mg/L), S: S, FT: Aliran terus, IF: Aliran seketika, R: Diperbaharui

tahap sensitiviti yang berbeza terhadap pendedahan kepada Cr dan Se bergantung kepada faktor biotik dan abiotik. Keputusan kajian juga menunjukkan bahawa ketiga-tiga spesies ikan ini boleh dicadangkan sebagai organisma penunjuk biologi kepada pencemaran ekosistem akuatik air tawar di Malaysia.

PENGHARGAAN

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Sains dan Teknologi (MOSTI) dibawah kod FRGS/1/2013/STWN01/UKM/02/1 kerana menaja projek ini dan kepada Pusat Sains Sekitaran dan Sumber Alam, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) untuk bantuan kemudahan yang lain.

RUJUKAN

- Adelman, I.R., Smith Jr., L.L. & Siesennop, G.D. 1976. Acute toxicity of sodium chloride, pentachlorophenol, Guthion®, and hexavalent chromium to fathead minnows (*Pimephales promelas*) and goldfish (*Carassius auratus*). *Journal of the Fisheries Board of Canada* 33(2): 203-208.
- Al-Yousuf, M.H., El-Shahawi, M.S. & Al-Ghais, S.M. 2000. Trace metals in liver, skin and muscle of *Lethrinus lentjan* fish species in relation to body length and sex. *Science of the Total Environment* 256(2-3): 87-94.
- Alstad, N.E.W., Kjelsberg, M., Vollestad, L.A., Lydersen, E. & Paleo, A.B.S. 2005. The significance of water ionic strength on aluminium toxicity in brown trout (*Salmo trout* L.). *Environmental Pollution* 133: 333-342.
- APHA AWWA WPCP. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st ed. American Public Health Association.
- Aremu, M.O. & Ekunode, O.E. 2008. Nutritional evaluation and functional properties of *Ciarias lazera* (African Catfish) from River Tammali in Nasarawa State, Nigeria. *American Journal of Food Technology* 3(4): 264-274.
- Barceloux, D.G. 1999. Selenium. *J. Toxicol. Clin. Toxicol.* 37: 145-172.
- Benaduce, A.P.S., Kochhann, D., Flores, E.M., Dressler, V.L. & Baldisserotto, B. 2008. Toxicity of cadmium for silver catfish *Rhamdia quelen* (Heptapteridae) embryos and larvae at different alkalinities. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 54(2): 274-282.
- Benoit, D.A. 1976. Toxic effects of hexavalent chromium on brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Water Research* 10(6): 497-500.
- Bulíček. 2012. Akutní toxicita dusitanů pro jeseterovité ryby. Acute toxicity of nitrite for sturgeons (Acipenseridae). Thesis University of South Bohemia in České Budějovice, Czech Republic (Unpublished).
- Cardwell, R.D. 1976. *Acute Toxicity of Selected Toxicants to Six Species of Fish*. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Environmental Research Laboratory.
- Cardwell, R.D., Foreman, D.G., Payne, T.R. & Wilbur, D.J. 1976. Acute toxicity of selenium dioxide to freshwater fishes. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 4(1): 129-144.
- Davis, E., Maier, K. & Knight, A. 1988. The biological consequences of selenium in aquatic ecosystems. *California Agriculture* 42(1): 18-29.
- Di Toro, D.M., Allen, H.E., Bergman, H.L., Meyer, J.S., Paquin, P.R. & Santore, R.C. 2001. Biotic ligand model of the acute toxicity of metals. 1. Technical basis. *Environmental Toxicology and Chemistry* 20(10): 2383-2396.
- Duncan, D.A. & Klaverkamp, J.F. 1983. Tolerance and resistance to cadmium in white suckers (*Catostomus commersoni*) previously exposed to cadmium, mercury, zinc, or selenium. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 40(2): 128-138.
- Halter, M.T., Adams, W.J. & Johnson, H.E. 1980. Selenium toxicity to *Daphnia magna*, *Hyallela azteca*, and the fathead minnow in hard water. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 24(1): 102-107.
- Hamilton, S.J. & Buhl, K.J. 1990. Acute toxicity of boron, molybdenum, and selenium to fry of chinook salmon and coho salmon. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 19(3): 366-373.
- Has-Schön, E., Bogut, I., Kralik, G., Bogut, S., Horvatić, J. & Čačić, I. 2008. Heavy metal concentration in fish tissues inhabiting waters of "Buško Blato" reservoir (Bosnia and Herzegovina). *Environmental Monitoring and Assessment* 144(1-3): 15-22.
- Hodson, P.V., Dixon, D.G., Spray, D.J., Whittle, D.M. & Sprague, J.B. 1982. Effect of growth rate and size of fish on rate of intoxication by waterborne lead. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 39: 1243-1251.
- JAS. 2016. *Laporan Kualiti Alam Sekeliling Malaysia 2015*. Kementerian Alam Sekitar dan Sumber Alam, Malaysia: Jabatan Alam Sekitar.
- JAS. 2015. *Laporan Kualiti Alam Sekeliling Malaysia 2014*. Kementerian Alam Sekitar dan Sumber Alam, Malaysia: Jabatan Alam Sekitar.
- Johnson, C. & Radha Krishnan, M.V. 2015. Estimation of acute toxicity of chromium to the freshwater catfish *Clarias batrachus* (Linn). *International Journal of Research in Environmental Science* 1(2): 30-35.
- Khangarot, B.S. & Ray, P.K. 1990. Acute toxicity and toxic interaction of chromium and nickel to common guppy *Poecilia reticulata* (Peters). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 44(6): 832-839.
- Kiyani, V. & Ebrahimpour, M. 2013. Investigation acute toxicity some of heavy metals at different water hardness. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 1(2): 134-142.
- Lamas, S., Fernández, J.A., Aboal, J.R. & Carballeira, A. 2007. Testing the use of juvenile *Salmo trutta* L. as biomonitors of heavy metal pollution in freshwater. *Chemosphere* 67(2): 221-228.
- Lemly, A.D. 2002. Symptoms and implications of selenium toxicity in fish: The Belews Lake case example. *Aquat. Toxicol.* 57: 39-49.
- Linbo, T.L., Baldwin, D.H., McIntyre, J.K. & Scholz, N.L. 2009. Effects of water hardness, alkalinity, and dissolved organic carbon on the toxicity of copper to the lateral line of developing fish. *Environmental Toxicology and Chemistry* 28(7): 1455-1461.
- Litchfield Jr., J.T. 1949. A method for rapid graphic solution of time-per cent effect curves. *The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics* 97(4): 399-408.
- Litchfield, J.A. & Wilcoxon, F. 1949. A simplified method of evaluating dose-effect experiments. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics* 96(2): 99-113.

- McCahon, C.P. & Pascoe, D. 1988. Use of *Gammarus pulex* (L.) in safety evaluation test: Culture and selection of a sensitive life stage. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 15: 245-252.
- Mechora, Š., Stibilj, V. & Germ, M. 2013. The uptake and distribution of selenium in three aquatic plants grown in Se (IV) solution. *Aquatic Toxicology* 128: 53-59.
- Mishra, A.K. & Mohanty, B. 2008. Acute toxicity impacts of hexavalent chromium on behavior and histopathology of gill, kidney and liver of the freshwater fish, *Channa punctatus* (Bloch). *Environmental Toxicology and Pharmacology* 26(2): 136-141.
- Misra, S. 2011. Cellular transport, metabolism and toxicity of selenium in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Thesis of Degree of Doctor of Philosophy. Department of Biology University of Saskatchewan Saskatoon, Canada (Unpublished).
- Mruk, D.D., Silvestrini, B., Mengyun, M. & Cheng, Y.C. 2002. Antioxidant superoxide dismutase—a review: Its function, regulation in the testis, and role in male fertility. *Contraception* 65: 305-311.
- Nisha, J.C., Raja Reya Sekar, R. & Chandran, R. 2016. Acute effect of chromium toxicity on the behavioral response of Zebra fish *Danio rerio*. *International Journal of Plant, Animals and Environmental Sciences* 6(2): 6-14.
- Ogundiran, M.B. & Ojo, A.S. 2012. Determination of fat contents, iodine values, trace and toxic metals in commonly consumed frozen fish in Nigeria. *American Journal of Food Technology* 7: 34-42.
- Oliveira-Filho, E.C. & Paumgarten, F.J.R. 1997. Comparative study on the acute toxicities of α , β , γ , and δ Isomers of hexachlorocyclohexane to freshwater fishes. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 59(6): 984-988.
- Pascoe, D., Evans, S.A. & Woodworth, J. 1986. Heavy metal toxicity to fish and the influence of water hardness. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 15(5): 481-487.
- Patterson, M.M., Paige, G.B. & Reddy, K.J. 2010. Selenium in surface and irrigation water in the Kendrick irrigation district, Wyoming. *Environ. Monit. Assess.* 171: 267-280.
- Pieterik, T. & Pietrock, M. 2012. Comparative selenium toxicity to laboratory-reared and field-collected *Hyalella azteca* (Amphipoda, Hyallellidae). *Water Air Soil Pollut.* 223: 4245-4252.
- Rajasubramaniam, V. 2006. Toxicity of hexavalent selenium on the freshwater teleost fish, *Labeo rohita*. *Journal of Ecobiology* 19(3): 243.
- Ramesh, M., Sankaran, M., Veera-Gowtham, V. & Poopal, R.K. 2014. Hematological, biochemical and enzymological responses in an Indian major carp *Labeo rohita* induced by sublethal concentration of waterborne selenite exposure. *Chemico-biological Interaction* 207: 67-73.
- Rand, G.M., Wells, P.G. & McCarty, L.S. 1995. Introduction to aquatic toxicology. In *Fundamental of Aquatic Toxicology: Effects, Environmental Fate, and Risk Assessment*, edited by Rand G.M. Washington DC: Taylor and Francis.
- Reusink, R.G. & Smith, L.L. 1975. Relationship of 96h LC₅₀ to lethal threshold concentration of hexavalent chromium, phenol and sodium pentachlorophenate for fathead minnow, *Pimephales promelas* (Raf). *Trans. Amer. Fish. Soc.* 104: 567.
- Riva, M.C., Flos, R., Crespi, M. & Balasch, J. 1981. Lethal potassium dichromate and whitening (blankophor) exposure of goldfish (*Carassius auratus*): Chromium levels in gills. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology* 68(2): 161-165.
- Sangeeta Das. 2012. Toxicological effects of arsenic exposure in a freshwater teleost fish, *Channa punctatus*. *African Journal of Biotechnology* 11(19): 4447-4454.
- Shuhaimi-Othman, M., Nadzifah, Y., Umirah, N.S. & A.K. Ahmad. 2012. Toxicity of metals to an aquatic worm, *Nais elinguis* (Oligochaeta, Naididae). *Research Journal of Environmental Toxicology* 6(4): 122-132.
- Sofia, S. 2005. Metal contamination in commercially important fish and shrimp species collected from Aceh (Indonesia), Penang and Perak (Malaysia). Master Thesis. University Sciences Malaysia, Penang, Malaysia (Unpublished).
- Sornaraj, R., Baskaran, P. & Thanalakshmi, S. 1995. Effects of heavy metals on some physiological responses of air-breathing fish *Channa punctatus* (Bloch). *Environment and Ecology* 13(1): 202-207.
- Srivastava, A.K. & Srivastava, A.K. 1998. Disturbed chloride ion balance in the catfish *Heteropneustes fossilis* as affected by selenium. *Journal of Advanced Zoology* 19(1): 22-26.
- Stephenson, R.R. 1983. Effects of water hardness, water temperature and size of the test organism on the susceptibility of the freshwater shrimp, *Gammarus pulex* (L.) to toxicants. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 31: 459-466.
- Takayanagi, K. 2001. Acute toxicity of waterborne Se (IV), Se (VI), Sb (III), and Sb (V) on red seabream (*Pargus major*). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 66(6): 808-813.
- Tsangaris, C., Papathanasiou, E. & Cotou, E. 2007. Assessment of the impact of heavy metal pollution from a ferro-nickel smelting plant using biomarkers. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 66(2): 232-243.
- Vincent, S., Ambrose, T., Kumar, L.C.A. & Selvanayagam, M. 1996. Heavy metal cadmium influenced anaemia in the riverine major carp, *Catla catla* (Ham.). *Journal of Environmental Biology* 17(1): 81-84.
- Voigt, C.L., da Silva, C.P., Doria, H.B., Ferreira Randi, M.A., de Oliveira Ribeiro, C.A. & de Campos, S.X. 2014. Bioconcentration and bioaccumulation of metal in freshwater Neotropical fish *Geophagus brasiliensis*. *Environmental Science and Pollution Research* 22: 8242-8252.
- Vutukuru, S.S. 2005. Acute effects of hexavalent chromium on survival, oxygen consumption, hematological parameters and some biochemical profiles of the Indian major carp, *Labeo rohita*. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2(3): 456-462.
- Weir, P.A. & Hine, C.H. 1970. Effects of various metals on behavior of conditioned goldfish. *Archives of Environmental Health: An International Journal* 20(1): 45-51.
- WHO. 2011. *Guidelines for Drinking Water Quality*. 4th ed. World Health Organization.
- Zakaria-Ismail, M. & Fatimah, A. 2002. Fish index for classifying riverine ecosystem of Peninsular Malaysia. *Malaysian Journal of Science* 21: 1-7.
- Zhou, Q., Zhang, J., Fu, J., Shi, J. & Jiang, G. 2008. Biomonitoring: An appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Anal. Chim. Acta* 606: 135-150.

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: abas@ukm.edu.my

Diserahkan: 11 Mac 2018

Diterima: 24 Mei 2018