

KEPEKATAN KADMIUM, KUPRUM, PLUMBUM DAN ZINK DALAM BIVALVIA DI
TANJUNG DUMPIL, PUTATAN

SHAWNA VUN MIN FAH

DISERTASI INI DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI SEBAHAGIAN DARIPADA
SYARAT MEMPEROLEHI IJAZAH SARJANA MUDA SAINS DENGAN KEPUJIAN

PROGRAM SAINS SEKITARAN
FAKULTI SAINS DAN SUMBER ALAM
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

2014

PENAKUAN

Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang setiap satunya telah dijelaskan sumbernya.

SHAWNA VUN MIN FAH

(BS11110587)

26 JUN 2014



DIPERAKUKAN OLEH

Tandatangan

1. PENYELIA

(CIK KAMSIA BUDIN)

PENGHARGAAN

Saya ingin merakamkan setinggi penghargaan yang tulus ikhlas kepada Cik Kamsia Budin, penyelia disertasi ini yang telah banyak membantu dan memberi bimbingan yang amat bernilai sepanjang proses penyiapan disertasi ini.

Saya juga ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada pembantu makmal, iaitu Encik Mohd. Syaufie bin Lamjin dan Encik Neldin Jeoffery yang banyak membantu semasa analisis di makmal dijalankan.

Seterusnya, ribuan penghargaan kepada semua pihak yang terlibat dalam menyumbangkan bantuan dan data-data yang berguna bagi menjayakan disertasi ini. Dan akhir sekali, kepada rakan seperjuangan yang turut berusaha menjayakan disertasi ini. Jasa kalian tidak dapat lupakan.

ABSTRAK

Kepekatan kadmium, kuprum, plumbum dan zink dalam tisu lembut bivalvia (*Anadara sp.*, *Crassostrea sp.*, *Isognomon sp.*, dan *Placuna sp.*) yang dikutip di Tanjung Dumpil, Putatan telah dikaji. Bivalvia tersebut terbahagi kepada pemakan mendapan dan pemakan penapis. Selain itu, analisis air dan sedimen juga dijalankan. Kajian dijalankan untuk menentukan kepekatan logam berat (Cd, Cu, Pb dan Zn) dalam air, sedimen dan tisu lembut bivalvia. Hubungkait antara air, sedimen dan bivalvia juga dikaji menggunakan analisis *Pearson*. Kaedah *aqua regia* digunakan untuk analisis sampel dengan menggunakan larutan $\text{HNO}_3:\text{HCl}$. Kepekatan logam berat ditentukan dengan menggunakan *Inductively-Couple Plasma Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES). Keputusan analisis logam berat dalam air adalah 0.0020-0.0021 mgL^{-1} bagi Cu, 0.0212-0.0224 mgL^{-1} bagi Cd, 0.0019-0.0029 mgL^{-1} bagi Pb dan 0.0291-0.0353 mgL^{-1} bagi Zn. Analisis logam berat dalam sedimen adalah 0.117-0.248 mgkg^{-1} bagi Cu, 7.781-13.154 mgkg^{-1} bagi Cd, 8.134-14.483 mgkg^{-1} bagi Pb dan 34.867-53.825 mgkg^{-1} bagi Zn. Kepekatan logam berat dalam tisu lembut bivalvia berada dalam julat 0.031-0.331 mgkg^{-1} bagi Cd, 1.007-12.633 mgkg^{-1} bagi Cu, 0.400-1.290 mgkg^{-1} bagi Pb dan 120.420-667.458 mgkg^{-1} bagi Zn. Analisis korelasi digunakan untuk membuat perkaitan antara kepekatan logam berat dalam air, sedimen dan bivalvia. Hasil analisis menunjukkan tiada hubungan yang jelas antara air, sedimen dan spesies bivalvia. Kajian mendapati kepekatan logam berat dalam tisu lembut kesemua spesies bivalvia adalah tidak melebihi had yang ditetapkan oleh Peraturan Makanan 1985 (Cd, 1 mgkg^{-1} ; Cu, 30 mgkg^{-1} ; Pb, 2 mgkg^{-1} dan Zn, 100 mgkg^{-1}) dan *Food and Agricultural Organization* (FAO) (Cd, 5.5 mgkg^{-1} ; Cu, 100 mgkg^{-1} ; Pb, 6 mgkg^{-1} dan Zn, 100 mgkg^{-1}), kecuali logam berat Zn.

CONCENTRATION OF CADMIUM, COPPER, PLUMBUM AND ZINC IN BIVALVES AT DUMPIL BAY, PUTATAN

ABSTRACT

Concentrations of cadmium, copper, lead and zinc in soft tissue Bivalves (Anadara sp., Crassostrea sp., Isognomon sp., and Placuna sp.) collected in Dumpil bay, Putatan were studied. Bivalves are divided into deposit feeders and filter feeders. In addition, water and sediment analyzes were also conducted. The study was conducted to determine the concentration of heavy metals (Cd, Cu, Pb and Zn) in water, sediment and soft tissue bivalves. The relationship between water, sediment and bivalves are also examined using Pearson analysis. Aqua regia is used for analysis of the sample with a solution of HNO₃:HCl. The concentration of heavy metals was determined using Inductively Couple Plasma Optical Emission-Spectrometry (ICP-OES). The analysis of heavy metals in water are 0.0020-0.0021 mgL⁻¹ for Cu, 0.0212-0.0224 mgL⁻¹ for Cd, 0.0019-0.0029 mgL⁻¹ for Pb and 0.0291-0.0353 mgL⁻¹ for Zn. Analysis of heavy metals in sediment are 0.117-0.248 mgkg⁻¹ for Cu, 7.781-13.154 mgkg⁻¹ for Cd, 8.134-14.483 mgkg⁻¹ for Pb and 34.867-53.825 mgkg⁻¹ for Zn. Heavy metal concentrations in soft tissue of bivalves in the range of 0.0313-0.331 mgkg⁻¹ for Cd, 1007-12633 mgkg⁻¹ for Cu, 0.4-1.29 mgkg⁻¹ for Pb and 120.42-667.458 mgkg⁻¹ for Zn. Correlation analysis is used to determine the relationship between the concentration of heavy metals in water, sediment and bivalves. The analysis showed no clear relationship between water, sediment and species of bivalves. The study found that concentrations of heavy metals in the soft tissues of all species of bivalves are not exceeding the limits set by the Food Regulations 1985 (Cd, 1 mgkg⁻¹; Cu, 30 mgkg⁻¹; Pb, 2 mgkg⁻¹ dan Zn, 100 mgkg⁻¹) and the Food and Agricultural Organization (FAO) (Cd, 5.5 mgkg⁻¹; Cu, 100 mgkg⁻¹; Pb, 6 mgkg⁻¹ dan Zn, 100 mgkg⁻¹), except for the heavy metal Zn.

KANDUNGAN

	Muka Surat
PENGAKUAN	ii
PENGESAHAN	iii
PENGHARGAAN	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
SENARAI KANDUNGAN	vii
SENARAI JADUAL	ix
SENARAI RAJAH	x
SENARAI FOTO	xi
SENARAI SIMBOL	xii
SENARAI SINGKATAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Kajian	1
1.2 Objektif	4
1.3 Kepentingan Kajian	5
1.4 Skop Kajian	6
BAB 2 ULASAN LITERATUR	7
2.1 Logam Berat	7
2.1.1 Kadmium	9
2.1.2 Kuprum	11
2.1.3 Plumbum	13
2.1.4 Zink	15
2.2 Air	16
2.3 Sedimen	19
2.4 Bivalvia	21
a. <i>Anadara sp.</i>	24
b. <i>Crassostrea sp.</i>	25
c. <i>Isognomon sp.</i>	26
d. <i>Placuna sp.</i>	27

2.5	Standard Kualiti Marin	27
	2.5.1 Standard Interim Kualiti Air Marin Malaysia (IMWQS)	28
	2.5.2 Garis Panduan Interim Kualiti Sedimen Marin (ISQG)	29
2.6	Langkah Kawalan Keselamatan Makanan	30
	2.6.1 Akta Makanan 1983 dan Peraturan Makanan 1985	31
	2.6.2 <i>Food and Agriculture Organization</i> (FAO)	32
BAB 3	BAHAN DAN KAEDAH	34
3.1	Kawasan Kajian	34
3.2	Persampelan	35
3.3	Penyediaan Analisis	36
3.6	Kawalan Kualiti	37
3.7	Penukaran Unit	38
3.8	Analisis Logam Berat	38
3.9	Analisis Statistik	39
BAB 4	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	40
4.1	Klasifikasi Spesies Bivalvia	40
4.2	Kepekatan Logam Berat dalam Air	42
4.3	Kepekatan Logam Berat dalam Sedimen	45
4.4	Kepekatan Logam Berat dalam Bivalvia	49
4.5	Faktor Biokepekatan	53
4.6	Korelasi di antara Air dan Bivalvia	55
4.7	Korelasi di antara Sedimen dan Bivalvia	56
BAB 5	KESIMPULAN DAN CADANGAN	57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Cadangan	58
	RUJUKAN	59
	LAMPIRAN	68

SENARAI JADUAL

No. Jadual		Muka Surat
2.1	Cadangan pengambilan Cu dan Zn yang dibenarkan oleh <i>Food and Nutrition Board the Institute of Medicine</i> .	12
2.2	Standard kualiti air marin yang dicadangkan oleh IMWQS.	29
2.3	Garis panduan kualiti sedimen yang dicadangkan oleh ISQG.	30
2.4	Kadar maksimum cecairan logam dalam moluska dwicangkerang yang dibenarkan dalam Peraturan Makanan 1985.	32
2.5	Kepekatan logam berat dalam bivalvia oleh FAO.	33
3.1	Parameter analitikal untuk analisis berdasarkan lima jenis logam berat yang dikaji menggunakan ICP-OES.	39
4.1	Klasifikasi empat genus bivalvia yang dijumpai di Tanjung Dumpil, Putatan.	41
4.2	Perbandingan logam berat dalam air.	44
4.3	Perbandingan logam berat dalam sedimen.	47
4.4	Perbandingan logam berat dalam dua genus utama.	51
4.5	Faktor bio-kepekatan logam berat dalam empat genus bivalvia.	53
4.6	Korelasi antara air dan genus bivalvia yang berbeza.	55
4.7	Korelasi antara air dan genus bivalvia yang berbeza	56

SENARAI RAJAH

No. Rajah		Muka Surat
3.1	Imej satelit menunjukkan kedudukan Tanjung Dumpil, Putatan.	34
4.1	Kepekatan Cd, Cu, Pb dan Zn dalam sampel air.	43
4.2	Kepekatan Cd, Cu, Pb dan Zn dalam sedimen.	46
4.3	Kepekatan Cd, Cu, Pb dan Zn dalam tisu lembut spesies bivalvia.	50

SENARAI FOTO

No. Foto		Muka Surat
2.1	<i>Anadara granosa</i>	24
2.2	<i>Crassostra gigas</i>	25
2.3	<i>Isognomon epphium</i>	26
2.4	<i>Placuna placenta</i>	27

SENARAI SIMBOL

%	peratus
°C	darjah Celcius
cm	sentimeter
g/cm ³	gram per sentimeter padu
kg	kilogram
m	meter
mm	millimeter
mL	mililiter
mg/d	milligram per dose
mg/kg	milligram per kilogram
mg/L	milligram per liter
MPN/mL	<i>most probable number per milimeter</i>
nm	nanometer
g	gram
µg	mikrogram
µg/g	mikrogram per gram
µg/L	mikrogram per liter
µg/kg	mikrogram per kilogram
V	isipadu

SENARAI SINGKATAN

Al	Aluminium
Cd	Kadmium
Cr	Kromium
Cu	Kuprum
Hg	Merkuri
HNO ₃	Asid nitrik
H ₂ O ₂	Hidrogen peroksida
Mn	Mangan
Ni	Nikel
Pb	Plumbum
Sn	Tin
Zn	Zink
Zn ²⁺	Ion zink
NIST	Institut Piawaian dan Teknologi Kebangsaan
AMWQC	Kriteria Kualiti Air Marin ASEAN (AMWQC)
FAO	<i>Food and Agricultural Organization</i>
JECFA	<i>Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives</i>
ISQG	Interim Kualiti Sedimen Marin
IMWQS	Standard Interim Kualiti Air Marin Malaysia
SQGs	Panduan Kualiti Sedimen
PELs	<i>Probable Effect Levels</i>
TELs	<i>Threshold Effects Levels</i>
ICP-OES	<i>Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometry</i>
GPS	Sistem Kedudukan Global
RDAs	Diet yang disyorkan
DO	Oksigen terlarut
BAF	Faktor biokumulasi
Sd	Sisihan piawai
ANOVA	Analisis Variasi

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Kajian

Sabah merupakan sebuah negeri yang terletak di Malaysia Timur dan bersempadan dengan negeri Sarawak dan kedudukan geografi yang dikelilingi oleh Laut Sulawesi di bahagian tenggara, Laut Sulu di timur laut, dan Laut China Selatan di barat laut. Ini menunjukkan bahawa ekosistem akuatik meliputi sekitar negeri Sabah dan menjadi habitat pelbagai jenis hidupan akuatik.

Peningkatan aktiviti-aktiviti pelabuhan, sisa-sisa industri dan domestik, sumber daripada atmosfera, dan pertanian menyumbang kepada pelepasan bahan pencemar kimia ke dalam ekosistem akuatik (Alina *et al.*, 2012; Sany *et al.*, 2011; Nakisah Mat Amin *et al.*, 2001). Ini membawa kepada peningkatan tahap kepekatan logam berat yang berlebihan hingga boleh membawa kesan buruk hidupan-hidupan akuatik dan kesihatan manusia (Tapia *et al.*, 2009; Mohd Harun Abdullah *et al.*, 2007). Logam berat dalam ekosistem akuatik boleh didapati dalam larutan, ion bebas atau dalam bentuk organik yang kompleks dengan humik, dan asid fulvik.

Logam berat mempunyai berat atom yang tinggi dengan kepadatan yang melebihi lima kali ganda daripada air (Duruibe *et al.*, 2007). Logam berat seperti

ferum (Fe), kuprum (Cu), zink (Zn), dan mangan (Mg) adalah logam penting kerana mereka memainkan peranan penting dalam sistem biologi manakala logam tidak penting seperti plumbum (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) boleh mengurangkan kadar kesuburan, kerosakan tisu dan selular, sel mati dan kegagalan pelbagai organ untuk berfungsi (Alina *et al.*, 2012).

Pencemaran logam berat dalam ekosistem akuatik adalah suatu perkara yang membimbangkan kerana logam berat yang berlebihan berbahaya kepada hidupan akuatik (Kaiser *et al.*, 2012; Liang *et al.*, 2004). Organisma-organisma boleh terdedah dengan logam berat melalui logam berat yang terlarut dalam air ataupun melalui sumber makanan (Fukunaga & Anderson, 2011). Seseengah logam berat bersifat lebih toksik berbanding yang lain. Sebagai contoh, kadar toksik kadmium, plumbum, kuprum, dan zink mengikut urutan dari kesan toksik yang tinggi hingga ke rendah adalah kadmium>plumbum>kuprum>zink (Perera, 2004).

Dalam ekosistem akuatik, logam berat yang menjadi kebimbangan utama adalah kuprum, zink, kadmium, merkuri, dan plumbum. Elemen-elemen ini adalah bersifat toksik kepada organisma dalam kepekatan yang tertentu. Walau bagaimanapun, kepekatan kuprum dan zink yang rendah adalah penting bagi organisma untuk proses metabolisma. Plumbum, kadmium dan merkuri tidak mempunyai sebarang fungsi biologi. Elemen-elemen lain yang penting adalah aluminium, kromium, selenium, perak, arsenik, dan antimoni, yang telah menyumbang kepada masalah yang serius di ekosistem air tawar, estuari, dan pantai.

Logam berat yang dilepaskan ke persekitaran akuatik juga boleh menjejaskan hidupan-hidupan akuatik dan diversiti spesies, disebabkan kecenderungan hidupan-hidupan akuatik untuk mengakumulasi logam berat dan bio-magnifikasi dalam rantai makanan (El-Nemr, 2012; Lim *et al.*, 2013). Sifat mengakumulasi logam berat dalam tisu lembut bergantung kepada kadar pengambilan dan penyingkiran hidupan-hidupan akuatik tersebut.

Tahap pencemaran logam berat pada ekosistem akuatik boleh dianggar dengan menganalisis air, sedimen dan organisma marin. Logam berat yang dialirkan ke dalam ekosistem akuatik akan terperangkap dalam sedimen dan seterusnya berkumpul menjadi bahan yang bertoksik tinggi. Sedimen merupakan tempat di mana pelbagai jenis bahan pencemar termendap, terutamanya logam berat. Oleh yang demikian, sedimen berkeupayaan mengumpul bahan pencemar dan boleh bertindak sebagai tempat berakumulasi untuk jangka masa yang panjang bagi logam berat dalam persekitaran. Tahap kepekatan logam berat dalam sedimen yang terletak pada dasar boleh menjadi petunjuk bagi pencemaran yang dilakukan oleh manusia.

Tahap kepekatan logam berat dalam organisma akuatik adalah lebih tinggi berbanding dengan persekitarannya (Yap *et al.*, 2010; Siti Aishah *et al.*, 2010), bergantung kepada spesies organisma akuatik tersebut, habitat dan tabiat pemakanannya (El-Nemr *et al.*, 2012). Organisma akuatik boleh terdedah dengan logam berat melalui penyerapan air, penapisan zarah-zarah sedimen, dan melalui rantai makanan. Berbanding dengan sedimen, moluska mempamerkan kepekaan ruang yang lebih besar. Oleh itu, moluska sering kali digunakan untuk mengenal pasti punca biologi pencemaran logam berat dalam ekosistem akuatik. Kebanyakan kajian menyatakan bahawa moluska, terutamanya spesies bivalvia berpotensi untuk dijadikan alat untuk permonitoran pencemaran logam berat dalam ekosistem akuatik. Spesies bivalvia juga dijadikan sebagai alat permonitoran pencemaran logam berat adalah disebabkan spesies tersebut merupakan makanan laut yang penting untuk dikomersilkan.

Tabiat pemakanan bivalvia adalah melalui penapisan air dan sedimen yang mempunyai kecenderungan untuk menumpukan bahan kontaminasi dalam tisu mereka. Mereka adalah spesies yang ideal untuk dijadikan alat untuk menjalankan pemantauan persekitaran, disebabkan mereka hanyalah tertumpu pada sesuatu kawasan, dan tidak berpotensi untuk berpindah-randah. Mereka juga memenuhi syarat-syarat sebagai bioindikasi untuk menjalankan pemantauan kerana bilangan mereka yang banyak dan tersebar luas, jangka hayat yang panjang, dimensi yang

sesuai, dan keupayaan mereka untuk mengakumulasi bahan pencemar yang sesuai untuk menilai tahap pencemaran dan risiko persekitaran tersebut (Gupta & Singh, 2011).

Pengambilan logam berat oleh spesies bivalvia dalam ekosistem akuatik yang tercemar adalah bergantung dengan keperluan ekologi, metabolisma, dan faktor yang lain seperti saliniti, tahap pencemaran air, makanan, dan sedimen. Spesies bivalvia mengakumulasi logam berat dalam tisu lembut mereka melalui penyerapan dan manusia boleh terdedah dengan logam berat tersebut melalui pengambilan spesies bivalvia sebagai makanan. Ini akan menyebabkan kesan akut dan kronik terhadap manusia.

Justeru itu, kajian mengenai pendedahan, pengambilan, dan penyerapan logam berat telah mendapat perhatian pada masa kini. Analisis air, sedimen, dan tisu lembut bivalvia dijalankan secara meluas untuk mengenalpasti impak pencemaran antropogenik di ekosistem marin dan estuari (Perera, 2004). Kajian tersebut amatlah penting, di mana Sabah kaya dengan makanan laut yang menjadi tarikan orang ramai dan seterusnya memastikan makanan laut tersebut selamat dimakan tanpa membawa kesan toksik terhadap manusia. Logam berat yang terdapat dalam tisu lembut spesies bivalvia akan dibandingkan dengan Peraturan Makanan 1985 dan *Food and Agricultural Organization* (FAO) untuk memastikan kepekatan logam berat tidak melebihi had piawai yang ditetapkan.

1.2 Objektif Kajian

1. Menentukan tahap kepekatan logam berat (Cd, Cu, Pb, dan Zn) dalam tisu lembut empat spesies bivalvia.
2. Menentukan hubungkait antara air, sedimen, dan spesies bivalvia ke atas tahap kepekatan logam berat (Cd, Cu, Pb, dan Zn) yang berakumulasi dalam tisu lembut spesies bivalvia.

3. Membandingkan tahap kepekatan logam berat (Cd, Cu, Pb, dan Zn) yang terdapat dalam tisu lembut spesies bivalvia dengan Peraturan Makanan 1985 dan *Food and Agricultural Organization* (FAO).

1.3 Kepentingan Kajian

Pertumbuhan ekonomi yang pesat membawa kepada kenaikan dalam pengeluaran dan penggunaan bahan kimia yang bertoksik. Ekosistem marin menjadi kawasan takungan dan penumpuan bahan pencemar, terutamanya logam berat yang banyak digunakan dalam pertanian, industri dan bahan buangan domestik. Oleh itu, banyak kajian biopermonitoran menggunakan moluska dijalankan. Kajian untuk menentukan kepekatan logam berat yang wujud dalam persekitaran ekosistem akuatik Tanjung Dumpil dijalankan disebabkan kajian lepas oleh Kamsia *et al.* (2013) menunjukkan kepekatan logam berat (Cd, Cu, Pb dan Zn) yang sangat tinggi dalam tisu gastropoda. Kepekatan logam berat tersebut melebihi piawaian logam berat yang dicadangkan oleh Peraturan Makanan 1985 dan *Food and Agriculture* (FAO). Disebabkan kepekatan logam berat melebihi had piawai yang telah ditetapkan maka kajian yang lebih terperinci akan dijalankan dengan menjalankan permonitoran dan analisis di lokasi tersebut.

Kajian untuk menentukan tahap pencemaran yang berlaku di sekitar Tanjung Dumpil dijalankan dengan menganalisis kepekatan logam berat yang ada pada air, sedimen, dan spesies bivalvia. Ini disebabkan kecenderungan sampel-sampel tersebut untuk mengakumulasi logam berat, terutamanya dalam sedimen dan spesies bivalvia. Pada masa yang sama, kajian ini dijalankan untuk memastikan kandungan logam berat seperti Cd, Cu, Pb dan Zn dalam spesies bivalvia yang didapati di Tanjung Dumpil adalah selamat dimakan oleh penduduk setempat dengan membuat perbandingan dengan kepekatan logam berat yang ditetapkan dalam Peraturan Makanan Malaysia 1985 dan *Food and Agricultural Organization* (FAO). Oleh yang demikian, kajian ini amatlah penting dan harus dilaksanakan kerana spesies bivalvia tersebut merupakan sumber makanan yang penting dikalangan penduduk setempat.

1.4 Skop Kajian

Kajian ini terbahagi kepada dua bahagian, iaitu persampelan dan analisis. Analisis dijalankan untuk mengenalpasti kepekatan logam berat seperti Cd, Cu, Pb, dan Zn yang terdapat dalam air, sedimen, dan tisu lembut spesies bivalvia. Persampelan air, sedimen, dan spesies bivalvia dijalankan di Tanjung Dumpil, Putatan. Spesies bivalvia tersebut diambil di sekitar Tanjung Dumpil pada waktu air surut. Tanjung Dumpil dipilih disebabkan tempat tersebut telah dicemari dan dikenalpasti mempunyai kadar pencemaran yang tinggi. Tempat tersebut juga merupakan habitat spesies bivalvia yang menjadi sumber makanan penduduk sekitar. Kepekatan logam berat yang terdapat dalam air, sedimen, dan spesies bivalvia digunakan untuk mengukur tahap pencemaran di sekitar Tanjung Dumpil.

BAB 2

ULASAN LITERATUR

2.1 Logam Berat

Istilah logam berat sering digunakan sebagai nama kumpulan bagi logam dan separa logam yang dikaitkan dengan pencemaran dan toksikologi (Duffus, 2002). Berdasarkan ketumpatan elemen logam, Edisi Ketiga Kimia Bukan Organik Bjerrum telah mengklasifikasikan logam berat sebagai logam yang mempunyai ketumpatan melebihi 7 g/cm^3 . Van Nostrand (1964), Grant dan Hackh (1987) menyatakan bahawa logam mempunyai ketumpatan melebihi 4 g/cm^3 . Kemudian, Parker (1989), Lozet dan Mathieu (1991) mendefinisikan bahawa logam adalah elemen yang mempunyai ketumpatan melebihi 5 g/cm^3 .

Logam berat boleh terhasil dalam alam sekitar secara semulajadi ataupun melalui sumber antropogenik. Kewujudan logam berat di dalam udara, tanah, dan air adalah melalui pelbagai cara, termasuklah dari operasi bekas perlombongan, sistem kumbahan yang tidak dirawat, masalah trafik dan aktiviti pembakaran (Sany *et al.*, 2011). Sumber utama antropogenik yang menyebabkan pencemaran logam berat ialah melalui aktiviti perlombongan. Walaupun aktiviti perlombongan telah berhenti, logam berat tersebut masih kekal dan terdedah kepada alam sekitar. Pada tahun 1999, terdapat laporan menyatakan bahawa pencemaran logam berat berlaku

walaupun operasi perlombongan telah tamat selama beratus-ratus tahun (Duruibe *et al.*, 2007).

Logam berat tidak boleh diuraikan secara kimia mahupun penguraian oleh mikroorganisma (Abdelrahim *et al.*, 2011; Usero *et al.*, 2008; Tapia *et al.*, 2010). Oleh itu, kandungan logam dalam tanah akan semakin meningkat dan kemudiannya berkecenderungan untuk berakumulasi di dalam tumbuh-tumbuhan, haiwan, dan juga pada manusia. Pencemaran logam berat selalunya berlaku pada ekosistem akuatik, khususnya kawasan pantai, berhampiran dengan kawasan yang padat dengan penduduk dan aktiviti perindustrian. Zarah-zarah logam berat yang terdapat dalam air, akhirnya akan terperangkap dalam sedimen. Ini menyebabkan kepekatan logam berat pada sedimen 10 hingga 100 kali ganda lebih tinggi berbanding kepekatan logam berat yang ada pada air.

Kepekatan logam berat bergantung dengan jenis logam berat, spesies organisma, dan keadaan persekitaran. Selepas logam berat memasuki ke dalam ekosistem akuatik, ia akan berakumulasi di dalam tisu dan organ-organ organisma akuatik. Jumlah penyerapan bergantung kepada ekologi, fizikal, kimia dan keadaan biologi dan jenis unsur dan fisiologi organisma. Organisma-organisma akuatik terdedah dengan kepekatan logam berat yang tinggi boleh menyebabkan kerosakan pada tisu-tisu, ketidakupayaan untuk membaiki tisu yang rosak dan kerosakan pada DNA. Kecenderungan hidupan akuatik untuk mengakumulasi, membuang, dan detoksifikasi logam berat bergantung dengan spesies hidupan akuatik tersebut.

Sesetengah logam berat adalah penting dalam membantu pertumbuhan organisma yang normal, tetapi terdapat juga logam berat yang berunsur toksik. Logam berat dianggap sebagai toksik jika unsur tersebut berpotensi merosakkan pertumbuhan atau metabolisma organisma apabila mencapai kepekatan yang tertentu (Nammalwar, 1983). Logam berat seperti kuprum (Cu), nikel (Ni), ferum (Fe), dan zink (Zn) diperlukan dalam kehidupan. Contohnya, ferum penting dalam

menghasilkan hemoglobin, protein di dalam darah yang berfungsi untuk mengangkut oksigen ke seluruh tisu-tisu badan.

Walaupun diperlukan, logam berat tersebut boleh menjadi toksik pada kepekatan yang tinggi. Logam berat termasuklah plumbum (Pb), merkuri (Hg), kadmium (Cd), dan tin (Sn) tidak diperlukan dalam diet. Logam berat tersebut boleh diterima dalam tubuh badan tetapi tidak boleh melebihi kepekatan yang tertentu bagi mengelakkan kesan toksik ke atas tubuh badan. Mengikut urutan kesan toksik (dari rendah ke tinggi) yang dicadangkan: aluminium, plumbum, nikel, zink, kuprum, kadmium, dan merkuri (Perera, 2004).

Pada kepekatan yang tinggi, logam berat menjadi toksik kepada organisma di peringkat trofik lebih tinggi, termasuk manusia. Logam berat diserap masuk ke dalam badan melalui pemakanan, sistem pernafasan atau melalui kulit. Logam berat berakumulasi dalam badan membawa kesan toksik ke atas manusia yang boleh menyebabkan kesihatan terjejas. Logam berat sukar untuk dimetabolismakan dan mudah berakumulasi dalam organisma (Nammalwar, 1983). Setelah diserap, logam berat terikat kepada protein, menyebabkan aktiviti enzim terjejas dan berpotensi merosakkan organ-organ di seluruh badan.

Terdapat beberapa insiden yang mendatangkan kesan buruk ke atas manusia yang telah berlaku disebabkan kepekatan logam berat yang tinggi. Sebagai contoh, tragedi 'Itai-itai' berlaku disebabkan ekosistem akuatik yang terdedah dengan pencemaran kadmium di Niigata, Jepun (Nammalwar, 1983; Adu *et al.*, 1993). Tragedi ini berlaku disebabkan kepekatan logam berat yang tinggi sehingga mendatangkan kesan buruk ke atas manusia dan juga hidupan akuatik.

2.1.1 Kadmium

Kadmium berlaku secara semulajadi dalam alam sekitar dalam jumlah yang kecil. Pemendapan zarah-zarah kadmium bawaan udara, letusan gunung berapi, aktiviti perlombongan, penggunaan baja yang berasaskan kadmium, dan sisa-sisa kumbahan boleh membawa kepada peningkatan kadmium dalam alam sekitar. Kadmium juga boleh hadir dalam makanan dengan kepekatan yang berbeza bergantung kepada jenis makanan dan tahap pencemaran alam sekitar.

Komponen kadmium seperti kadmium sulfat dan kadmium klorida berkebolehan untuk larut dalam air. Kadmium berupaya untuk tersebar luas di dalam tanah, sedimen, dan air, seterusnya berkecenderungan untuk berakumulasi (*United Nations Environment Programme, 2010*). Kuantiti kadmium dalam ekosistem akuatik boleh dipertingkatkan lagi dengan pH yang rendah, mendapan yang rendah, saliniti yang rendah, dan potensi redoks yang tinggi. Dalam ekosistem akuatik, kadmium berbentuk ion-ion bebas diserap oleh biota melalui air.

Kepekatan kadmium di perairan laut yang terbuka boleh mencapai serendah 0.002 µg/L dan jarang sekali melebihi 0.5 µg/L di perairan berhampiran pantai, walaupun terdapat 40 kawasan perindustrian berat di persekitaran. Sedimen tidak tercemar biasanya mengandungi 0.2 µg/g atau kurang tetapi kepekatan boleh mencapai melebihi 100 µg/g di kawasan yang tercemar (Denton *et al.*, 1999).

Pengambilan kadmium yang dicadangkan oleh WHO adalah tidak melebihi 400-500 µg dalam seminggu (Achparaki *et al.*, 2012). Kajian menunjukkan bahawa makanan mengandungi kadmium semakin meningkat akibat daripada pencemaran alam sekitar. Diet yang kaya dengan serat dan pengambilan kerang-kerangan dalam makanan harian sering dikaitkan dengan kadar kadmium yang tinggi. Kepekatan tinggi kadmium hadir dalam moluska dan krustasia seperti tiram dan kerang (Järup & Akesson, 2009).

Kadmium yang terkumpul boleh memberi kesan kepada buah pinggang, mengganggu metabolisma tulang, menjejaskan sistem pembiakan serta sistem endokrin. Meningkatkan pengambilan zink boleh mengurangkan tahap toksik kadmium di dalam buah pinggang. Pendedahan kepada kadmium meningkatkan perkumuhan kalsium dan berkemungkinan akan membawa kepada kerapuhan tulang dan risiko keretakan. Wanita mengandung yang terdedah dengan kadmium boleh menyebabkan kelahiran pra-matang (Mudgal *et al.*, 2010).

2.1.2 Kuprum

Kuprum adalah logam peralihan dengan jisim atom 63.54. Dalam sistem biologi, kuprum wujud dalam larutan sebagai Cu^{2+} dan Cu. Kuprum dilepaskan ke udara melalui letusan gunung berapi, pemprosesan bijih timah, dan aktiviti melebur. Kuprum wujud di dalam air melalui proses luluhawa dan sumber-sumber antropogenik.

Tahap kuprum terlarut dalam air permukaan lautan terbuka adalah rendah, biasanya dalam lingkungan 0.2 $\mu\text{g/L}$. Di permukaan perairan yang tidak tercemar, kepekatan kuprum adalah lebih tinggi, sering menghampiri 1 $\mu\text{g/L}$. Sekiranya perairan tersebut sangat tercemar, kepekatan kuprum mungkin melebihi 10 $\mu\text{g/L}$. Kepekatan kuprum yang bukan terhasil daripada proses geokimia dalam sedimen adalah kira-kira 10 $\mu\text{g/g}$. Sebaliknya, persekitaran yang sangat tercemar boleh menghasilkan kepekatan kuprum dalam sedimen lebih daripada 2000 $\mu\text{g/g}$ (Denton *et al.*, 1999).

Biota terdedah kepada kuprum melalui pernafasan, pengambilan makanan dan air, dan resapan melalui kulit. Sumber utama pengambilan kuprum adalah makanan, namun jumlah kuprum dalam diet biasanya tidak melebihi had yang diperlukan dalam badan. Kuprum adalah nutrien penting dalam pembentukan

RUJUKAN

- Aguilar, C. A., Montalvo, C., Rodriguez, L., Ceron, J. G. & Ceron, R. M. 2011. American oyster (*Crassostrea virginica*) and sediments as a coastal zone pollution monitor by heavy metals. *International Journal Environmental Science Technology*, **9**: 579-586.
- Abdelrahim A. Ali, Elhadi M. Elazein & Mohamed A. Alian. 2011. Determination of heavy metals in four common fish, water and sediment collected from Red Sea at Jeddah Islamic Port Coast. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, **1**(10): 453-459.
- Achparaki, M., Thessalonikeos, E., Tsoukali, H., Mastrogianni, O., Zaggelidou, E., Chatzinikolaou, F., Vassiliades, N. & Raikos, N. 2012. Heavy metals toxicity. *Aristotle University Medical Journal*, **39**(1): 29-34.
- Adu, O. K. 2010. *An assessment of heavy metal contamination of sediments and tissues of the clam Galatea Paradoxa (Botn 1778) in The Volta Estuary, Ghana*. BSc. HONS. Thesis. Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi.
- Alina, M., Azrina, A., Mohd Yunus, A.S., Mohd Zakiuddin, S., Mohd Izuan Effendi, H. & Muhammad Rizal, R. 2012. Heavy metals (mercury, arsenic, cadmium, plumbum) in selected marine fish and shellfish along the Straits of Malacca. *International Food Research Journal*, **19**(1): 135-140.
- Ali, M. & Taylor, A. 2010. The effect of salinity and temperature on the uptake of cadmium and zinc by the common blue mussel, *Mytilus edulis* with some notes on their survival. *Journal of Mesopotamia Marine Science*, **25**(1): 11-30.
- Ansari, T. M., Marr, I. M. & Tariq, N. 2004. Heavy metals in marine pollution perspective: A mini review. *Journal of Applied Sciences*, **4**(1)1-20.

- Arain, M. B., Kazi, T. G., Jamali, M. K., Jalbani, N., Afridi, H. I. & Shah, A. 2008. Total dissolved and bioavailable elements in water and sediment samples and their accumulation in *Oreochromis mossambicus* of polluted Manchar Lake. *Chemosphere*, **70**: 1845-1856.
- Bjerrum, N. 1936. *Bjerrum's Inorganic Chemistry*. Ed. ke-3. Heinemann, London.
- Burton, G. A. 2002. Sediment quality criteria in use around the world. *The Japanese Society of Limnology*, **3**: 65-75.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Canadian Council of Ministers of the Environment.
- Conti, M. E. & Cecchetti, G. 2003. A biomonitoring study: trace metals in algae and molluscs from Tyrrhenian Coastal areas. *Environmental Research*, **93**: 99-112.
- COWI Consulting Engineers and Planners. 2002. *Heavy metals in waste*. European Commission DG, Denmark (Unpublished).
- Denton, G. R. W., Concepcion, L. P, Wood, H. R., Eflin, V. S. & Pangelinan, G. T. 1999. *Heavy metals, PCBs and PAHs in marine organisms from four Harbor locations on Guam*. Water & Environmental Research Institute of the Western Pacific University of Guam.
- Duffus, J. H. 2002. *Heavy metals: A meaningless term*. IUPAC Technical Report, United Kingdom (In press).
- Duruibe, J. O., Ogwuegbu, M. O. C. & Egwurugwu, J. N. 2007. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences*, **2**(5): 112-118.

- El-Moselhy, K. & Yassein, M. H. 2005. Accumulation patterns of heavy metals in venus clams, *Paphia undulata* (Born, 1780) and *Gafrarium pectinatum* (Linnaeus, 1758), from Lake Timsah, Suez Canal, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, **3**(1): 13-28.
- El-Nemr, A., Azza Khaled, Abeer A. Moneer & El-Sikaily. 2012. Risk probability due to heavy metals in bivalve from Egyptian Mediterranean Coast. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, **38**: 67-75.
- European Food Safety Authority. 2006. *Tolerable Upper Intake Levels For Vitamins and Minerals*, ISBN: 92-9199-014-0. European Food Safety Authority.
- Food and Nutrition Board of the Institute of Medicine. 2011. *Manual of Clinical Nutrition Management*. Morrison Management Specialists Inc., Washington.
- Fukunaga, A. & Anderson, M. J. 2011. Bioaccumulation of copper, lead and zinc by the bivalves *Macomona liliana* and *Austrovenus stutchburyi*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **396**: 244-252.
- Gopinathan, K. M. & Sobhana, A. R. 2008. *Bioaccumulation of toxic heavy metals in the ediblesoft tissues of green mussel (Perna viridis L.) of Mahe Region*. Mahatma Gandhi Government Arts College (Unpublished).
- Gupta, S. K. & Singh, J. 2011. Evaluation of mollusc as sensitive indicator of heavy metal pollution in aquatic ecosystem: A review. *The IIOAB Journal*, 49-57.
- Grant, R. & Grant, C. 1987. *Grant and Hackh's Chemical Dictionary*. McGraw-Hill, New York.
- Hadi Hamli, Mohd. Hanafi Idris, Abu Hena Mustafa Kamal & Wong, S. K. 2012. Diversity of edible mollusc (gastropoda and bivalvia) at selected division of Sarawak, Malaysia. *International Journal Advanced Science Engineering Information Technology*, **2**(4).

- Hamed, M. & Emara, M. 2006. Marine mollusc as biomonitors for heavy metal levels in the Gulf of Suez, Red Sea. *Journal of Marine Systems*, **60**: 220-234.
- Huang, H., Wu, J. Y. & Wu, J. H. 2007. Heavy metal monitoring using bivalved shellfish from Zhejiang coastal water, East China Sea. *Environment Monitoring Assessment*, **129**: 315-320.
- Jabatan Alam Sekitar. 2010. Alam Sekitar Air/Akuatik: Marin. Jabatan Alam Sekitar.
- Järup, L. & Akesson, A. 2009. Current status of cadmium as an environmental health problem. *Toxicology and Applied Pharmacology*, **238**: 201-208.
- Kaiser, M. F., Aboulela, H. A., El-Serehy, H. & El-Din, H. E. 2012. Heavy metals contamination of a Mediterranean Coastal ecosystem, Eastern Nile Delta, Egypt. Edm: Young, S. (pnyt.) *International Perspectives on Global Environmental Change*. InTech, Rijeka, ms. 297-310.
- Kamsia Budin, Mahyar Sakari, Sarva Mangala Praveena, Norlita Ismail & Azisah Ismail. 2013. Concentrations of Cd, Pb, Cu and Zn in gastropods available in major markets of Kota Kinabalu, Sabah. *2nd International Conference on Environment, Agriculture and Food Sciences*, 25-26 August, 2013 Kuala Lumpur, Malaysia, ms. 102-105.
- Lawson, E. O. 2011. Physico-chemical parameters and heavy metal contents of water from the mangrove swamps of Lagos Lagoon, Lagos, Nigeria. *Advances in Biological Research*, **5**(1): 8-21.
- LEAD Action News. 2009. *Iron nutrition and lead toxicity*. The Journal of The LEAD Group Inc.
- Liang, L. N., He, B., Jiang, G. B., Chen, D. Y. & Yao, Z. W. 2004. Evaluation of mollusks as biomonitors to investigate heavy metal contaminations along Chinese Bohai Sea. *Science of The Total Environment*, **324**: 105-113.

- Lias, K., Jamil T. & Nor Aliaa. 2013. A preliminary study on heavy metal concentration in the marine bivalves *Marcia Marmorata* species and sediments collected from the coastal Area of Kuala Perlis, North of Malaysia. *Journal of Applied Chemistry*, **4**(1): 48-54.
- Lim, D. I., Choi, J. W., Shin, H. H., Jeong, D. H. & Jung, H. S. 2013. Toxicological impact assessment of heavy metal contamination on macrobenthic communities in southern coastal sediments of Korea. *Marine Pollution Bulletin*, **73**: 362-368.
- Lozet, J. & Mathieu, C. 1991. *Dictionary of Soil Science*. Ed. ke-2. Balkema, Rotterdam.
- Lupien, J. R. 2000. The codex alimentarius commission: International science-based standards, guidelines, and recommendations. *Journal of Agrobiotechnology Management and Economics*, **3**(4): 193-196.
- Maizatun Mustafa & Mariani Ariffin. 2011. Protection of marine biodiversity from pollution: Legal strategies in Malaysia . *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, **1**(4): 276-281.
- Marin, S., Lacrimioara, S. & Cecilia, R. 2011. Evaluation of performance parameters for trace elements analysis in perennial plants using ICP-OES Technique. *Journal of Plant Development*, **18**: 87-93.
- Martinčić, D. Kwokal, Z. & Branica, M. 1990. Distribution of zinc, lead, cadmium and copper between different size fractions of sediments I. The Limski Kanal (North Adriatic Sea). *Science of The Total Environment*, **95**: 201-215.
- Mohamad Saupi Ismail & Ahmad Adna Nuruddin. 2004. *Marine invertebrates of Malaysia Information System (MIMIS) an innovative tool for research, education and management*, Fisheries Research Institute (Unpublished).

- Mohd. Harun Abdullah, Jovita Sidi & Ahmad Zaharin Aris. 2007a. Heavy metals (Cd, Cu, Cr, Pb and Zn) in *Meretrix meretrix* Roding, water and sediments from estuaries in Sabah, North Borneo. *International Journal on Environmental and Science Education*, **2**(3): 69-74.
- Mohd Harun Abdullah, Shahbudin Saad & Kavithasan A/L Palanisamy. 2007b. Taburan logam berat (Cd dan Pb) dalam sedimen Teluk Mengkabong. *The Journal of Science and Technology*, **20**(1): 40-49.
- Mudgal, V., Madaan, N., Mudgal, A., Sigh, R. B. & Mishra, S. 2010. Effect of toxic metals on human health. *The Open Nutraceuticals Journal*, **3**:94-99.
- Nakisah Mat Amin, Noor Azhar Mohd Shazili & Lau, K. S. 2001. Analisis akumulasi logam kuprum dan zink dari sedimen salam *Geloina sp* (Lokan): Satu kajian makmal. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*. **7**(2): 369-376.
- Nammalwar, P. 1983. *Heavy metals pollution in marine environment*. Science Spectrum, Tamil Nadu.
- Nor Faizah Binti Baharuddin Pallan. 2010. *Heavy metal in pen shells (Bivalvia pinnidae) at Merambong Island and Merambong Seagrass Shoal*. M.Eng. Thesis. Universiti Teknologi Malaysia.
- Noraini Abdullah, Rohana Tair & Mohd Harun Abdullah. 2014. Heavy metals concentration relationship with *Perna viridis* physical properties in Mengkabong Lagoon, Sabah, Malaysia. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, **17**(1): 62-67.
- Noraini Mohd Othman. Food safety in Southeast Asia: Challenges facing the region. *Asian Journal of Agriculture and Development*, **4**(2).
- Nuryanto, A. & Susanto, A. H. 2010. Genetic variability of *Polymesoda Erosa* population in the Segara Anakan Cilacap. *BIOTROPIA*, **17**(1): 22-30.

- Nur Atiqah Mohamad Yusoff & Shabdin Mohd Long. 2011. *Comparative bioaccumulation of heavy metals (Fe, Zn, Cu, Cd, Cr, Pb) in different edible mollusk collected from the estuary Area of Sarawak river*. Universiti Malaysia Sarawak (Tidak diterbitkan).
- Osman, A. G. M. & Kloas, W. 2010. Water Quality and Heavy Metal Monitoring in Water, Sediments, and Tissues of the African Catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) from the River Nile, Egypt. *Journal of Environmental Protection*, **1**: 389-400.
- Parker, S. P. 1989. *McGraw-Hill Dictionary of Scientific and Technical Terms*. Ed. ke-4. McGraw-Hill, New York.
- Peraturan-peraturan Makanan Malaysia 1985. 2003. Akta Makanan 1983 (Akta 281) dan Peraturan-peraturan. International Law Book Services, Malaysia,
- Perera, P. 2004. *Heavy metal concentrations in the Pacific oyster: Crassostrea gigas*. MAsc. Thesis. Auckland University of Technology, Auckland.
- Persatuan Pengguna-Pengguna Standard Malaysia. 2008. *Situasi Keselamatan Makanan di Malaysia: Ekstrak aduan keselamatan makanan yang diterima oleh pusat khidmat aduan pengguna nasional (NCCC) pada tahun 2007*. Persatuan Pengguna-Pengguna Standard Malaysia, Petaling Jaya.
- Poutiers, J. M. 1998. Bivalves (Acephala, Lamellibranchia, Pelecypoda), ms. 123–362.
- Rahmah Ismail. 2011. *Food and consumer protection: A study on food legislation of selected countries*. Asia Law Institute, Singapore (Unpublished).
- Rainbow, P. S. 1995. Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, **31**: 183-192.
- Samir, M. A. & Ibrahim, M. S. 2008. *Assessment of heavy metals pollution in water and sediments and their effect on oreochromis niloticus in the Northern Delta Lakes, Egypt*. International Symposium on Tilapia in Aquaculture.

- Sany, B. T., Sulaiman, A. H., Monazami, G. H. & Salleh, A. \ 2011. Assessment of sediment quality according to heavy metal status in the West Port of Malaysia. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, **50**: 633-637.
- Shulkin, V. M., Presley, B. J. & Kavun, V. I. 2003. Metal concentrations in mussel *Crenomytilus grayanus* and oyster *Crassostrea gigas* in relation to contamination of ambient sediments. *Environment International*, **29**(4): 493-502.
- Siti Aishah Mohd Ali, Kamsia Budin, Rohana Tair, Farrah Anis F. Adnan & Norfatimah Johani. 2010. Kepekatan logam berat dalam sedimen dan *Meretrix sp.* di pesisir pantai Bongawan dan Lok Kawi. *Borneo Science*, **26**: 11-18.
- Tapia, J., Chacoff, L. V., Bertran, C., Carrasco, G., Torres, F., Pinto, R. & Urzua, S., Valderrama, A. & Letelier, L. 2010. Study of the content of cadmium, chromium and lead in bivalve molluscs of the Pacific Ocean (Maule Region, Chile). *Food Chemistry*, **121**: 666-671.
- Tayab, M. R. 1991. *Environmental impact of heavy metals pollution in natural aquatic system*. PhD. Thesis. University of West London.
- United Nations Environment Programme. 2010. *Final Review of Scientific Information on cadmium*. United Nations Environment Programme.
- U.S. Department of Health and Human Services. 2004. *Toxicological Profile for Copper*. U.S. Department of Health and Human Services. 2004.
- Usero, J., Morillo, J. & Hicham El Bakouri. 2008. A general integrated ecotoxicological method for marine sediment quality assessment: Application to sediments from littoral ecosystems on Southern Spain's Atlantic coast. *Marine Pollution Bulletin*, **56**: 2027-2036.
- Van, N. R. 1964. *Van Nostrand International Encyclopedia of Chemical Science*. Van Nostrand, New Jersey.

- Victor, S. T. & Knott, D. *The Asian Green Mussel: Recent Introduction to the South Atlantic Bight*. South Carolina Department of Natural Resources.
- Xie, W. Y. Chen, C., Liu, X. S., Wang, B., Sun, Y., Yan, M. C. & Zhang, X. Y. 2012. *Meretrix meretrix*: Active components and their bioactivities. *Life Science Journal*, **9**(3): 756-762.
- Yamakawa, A. Y., Yamaguchi, M. & Imai, H. 2008. Genetic Relationships among Species of *Meretrix* (Mollusca: Veneridae) in the Western Pacific Ocean. *Pacific Science*, **62**(3): 385-394.
- Yap, C. K, Edward, F. B. & Tan, S.G. 2010. Identification of potential intertidal bivalves as biomonitors of heavy metal contamination by using bivalve sediment accumulation factors (BSAFs). *Journal of Sustainability Science and Management*, **5**(1): 29-38.
- Zhou, Q. F., Zhang, J. B, Fu, J. J., Shi, J. B. & Jiang, G. B. 2008. Biomonitoring: An appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Analytica Chimica Acta*, **606**: 135-150.