

## Penggunaan Biopenunjuk Multispesies Air Tawar dalam Menilai Perubahan Kelakuan Ikan Gapi, *Poecilia reticulata* dan Udang Air Tawar, *Macrobrachium lanchesteri* terhadap Logam Kadmium

(Use of Multispecies Freshwater Biomonitor (MFB) to Assess Behavioral Changes of Guppy, *Poecilia reticulata* and Freshwater Prawn, *Macrobrachium lanchesteri* in Response to Cadmium)

M. SHUHAIMI-OTHTMAN\*, M. AZMAH & A.K. AHMAD

### ABSTRAK

*Biomonitor Multispesies Air Tawar (Multispecies Freshwater Biomonitor®) (MFB) menggunakan pengukuran dan analisis pelbagai kelakuan daripada pelbagai jenis organisma akuatik untuk memantau kualiti air dalam ekosistem air tawar. Kajian ini dijalankan di dalam makmal bagi menentukan respons spesifik udang air tawar (Macrobrachium lanchesteri) dan ikan gapi (Poecilia reticulata) terhadap logam berat kadmium (Cd). Kepekatan Cd yang berbeza didedahkan kepada M. lanchesteri (1 ppb dan 10 ppb) dan P. reticulata (100 ppb dan 560 ppb) dan perubahan perilaku setiap organisma direkod dengan MFB selama 2 jam. Hasil yang diperolehi menunjukkan peningkatan respons pergerakan dan ventilasi udang air tawar dan ikan dengan peningkatan kepekatan pendedahan kepada logam Cd. Kajian ini menunjukkan udang memberi respons yang lebih sensitif kepada logam Cd berbanding ikan gapi dan spesies tempatan ini sesuai digunakan sebagai organisma penunjuk untuk MFB.*

*Kata kunci: Kadmium; Macrobrachium lanchesteri; pencemaran air; Poecilia reticulata*

### ABSTRACT

*The Multispecies Freshwater Biomonitor® (MFB) uses the measurement and analysis of different types of behaviours from different aquatic organisms for monitoring the water quality in freshwater ecosystem. The aim of this study was to determine the specific response of freshwater shrimp (Macrobrachium lanchesteri) and guppy fish (Poecilia reticulata) to cadmium (Cd) in the laboratory. Different concentrations of Cd were exposed to M. lanchesteri (1 ppb and 10 ppb) and P. reticulata (100 ppb and 560 ppb) and the behavioural changes of the organisms were recorded by MFB for 2 hours. Results showed that the behavioural and ventilation response of M. lanchesteri and P. reticulata increased with increasing exposure concentrations of Cd. Results also showed that the shrimp was more sensitive to Cd than the guppy fish and these local species were suitable as indicator organism for the MFB.*

*Keywords: Cadmium; Macrobrachium lanchesteri; Poecilia reticulata; water pollution*

### PENGENALAN

Secara tradisi pemantauan secara fizikal dan kimia telah banyak digunakan dalam membuat penilaian terhadap kualiti air. Pemantauan kualiti air yang hanya berasaskan parameter fizikal dan kimia mempunyai beberapa kelemahan seperti; hanya memberi data tertentu sahaja bergantung parameter yang diukur, tidak dapat menentukan ketoksikan secara langsung, memerlukan kos yang tinggi dan tidak sensitif. Walau bagaimanapun, alat pemantauan biologi atau biomonitor dapat memberi tindak balas yang lebih meluas terhadap sesuatu kesan ketoksikan (Gruber et al. 1994).

Organisma juga boleh menunjukkan gerak balas daripada segi tingkah laku dan fisiologi yang berbeza terhadap bahan pencemar walaupun pada tahap yang rendah dan kajian telah dibuat untuk memanfaatkan gerak balas ini dalam mencipta sistem amaran secara automatik (Mason

1996). Biomonitor berautomatik ini beroperasi berasaskan waktu sebenar dan menggunakan organisma hidup sebagai pengesan atau penunjuk. Biomonitor berautomatik ini merekod kesan-kesan biologi akibat buangan bertoksik ke atas spesies penunjuk terpilih dan memberikan pengawalan kualiti air yang cepat, berterusan dan lebih berkesan. Sistem amaran awal biologi berautomatik ini boleh melengkapkan pemantauan secara fizikal dan kimia dengan memberikan amaran awal terhadap pencemaran yang berlaku (Van der Schalie et al. 2004).

Sistem amaran awal biologi berautomatik ini mengesan ketoksikan dengan mengesan perubahan keadaan tingkahlaku atau fisiologi sesuatu organisma akuatik. Tujuan utama adalah untuk mengesan situasi pencemaran dengan menggunakan gerak balas tekanan awal terhadap organisma ujian yang sensitif bagi melindungi ekosistem akuatik daripada sisa dan effluen

industri. Pelbagai organisma yang berbeza telah dinilai termasuk bakteria, alga, protozoa dan ikan (Gerhardt 1999; Kramer & Botterweg 1991).

Kebanyakan ukuran yang selalu diambil hanya berasaskan kualitatif sebagai salah satu gerak balas perilaku seperti gerak alih, pergerakan injap dan operkulum atau parameter fisiologi (pendarcahaya, pendafluor dan fotosintesis) dalam bakteria, alga, bivalvia, plankton dan ikan, dan biasanya melibatkan satu spesies pada satu-satu masa. Walau bagaimanapun, penggunaan banyak spesies dalam mengesan pencemaran air mempunyai lebih banyak kelebihan berbanding menggunakan satu spesies sahaja. Biomonitor Multispesies Air Tawar (MFB) ini berdasarkan teknik pertukaran impedans kutub empat, dan ia berkebolehan merekod pelbagai jenis tingkah laku yang berbeza secara serentak bagi semua jenis organisma air tawar. Sistem ini berkeupayaan merekodkan gerak laku dan ventilasi pelbagai organisma akuatik seperti makroinvertebrat bentik dan ikan (Gerhardt 1998).

Teknik pertukaran impedans kutub empat berlaku dalam kebok uji kaji yang terdapat dua pasang elektrod di dalamnya di mana pasangan elektrod yang tidak membawa arus merekodkan perubahan dalam impedans disebabkan oleh pergerakan haiwan dan menghasilkan isyarat khusus untuk membezakan tingkah laku haiwan tersebut seperti gerak laku dan pernafasan. Analisis isyarat adalah berdasarkan analisis Transformasi Fourier Pantas (FFT) dengan menghasilkan frekuensi dalam bentuk histogram di mana ia memberikan isyarat frekuensi antara 0.5 hingga 8.5 Hz (Gerhardt et al. 1994).

Malaysia sebagai sebuah negara membangun sedang berhadapan dengan peningkatan masalah pencemaran air seperti yang dilaporkan oleh Jabatan Alam Sekitar (JAS) di mana pada tahun 2007 sebanyak 1063 stesen pemantauan kualiti air yang ditempatkan di 143 lembangan sungai, menunjukkan 12% tercemar, 30% sederhana tercemar dan 58% bersih. Malaysia kini hanya bergantung pada analisis air secara kimia dan fizikal bagi memantau dan mengesan pencemaran air dan teknik ini mempunyai beberapa kelemahan seperti yang dinyatakan di atas. Pemantauan secara atas talian daripada segi fiziko-kimia seperti yang dijalankan oleh JAS kini menelan kos yang tinggi dan hanya dijalankan di 15 stesen sahaja daripada 926 stesen tersebut (JAS 2007).

Jadi, kegunaan sistem amaran awal biologi ini boleh mengatasi masalah-masalah tersebut dan sangat efektif daripada segi kos dalam jangka masa panjang dan mempunyai potensi yang tinggi. Sistem ini juga boleh digunakan sebagai sistem amaran untuk pengambilan air di loji air minuman supaya ia boleh ditutup secara automatik apabila pencemaran dikesan dalam air tersebut. Dengan menggunakan analisis fiziko-kimia bersama dengan sistem amaran awal biologi ini, ia dapat meningkatkan keberkesanan program pemantauan dan pengawalan pencemaran air di Malaysia. Tujuan kajian ini dijalankan adalah untuk mengenal pasti perubahan kelakuan organisma tempatan (udang air tawar dan ikan

gapi) sebagai penunjuk terhadap logam kadmium (Cd) serta melihat kesesuaian organisma tersebut dengan alat MFB.

## BAHAN DAN KAEDAH

### SPESES KAJIAN

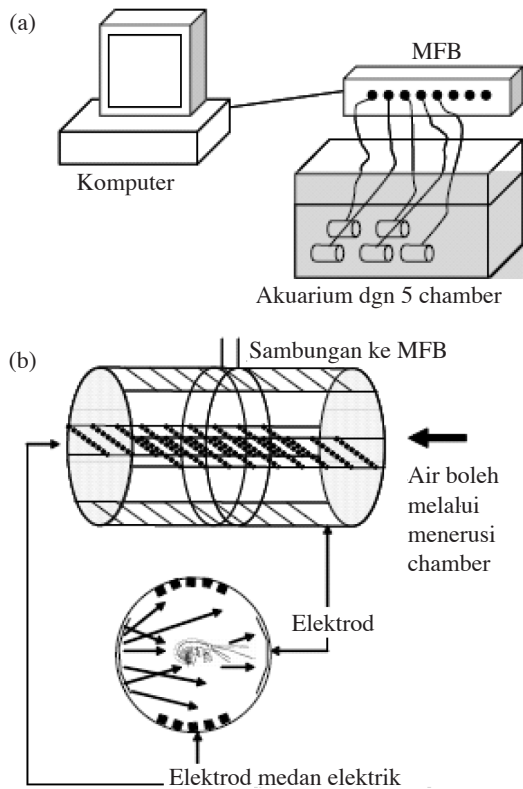
Dalam kajian ini dua organisma air tawar telah dipilih untuk dijadikan biopenunjuk bagi MFB iaitu udang air tawar (*Macrobrachium lanchesteri*) dan ikan gapi (*Poecilia reticulata*). Udang dibeli daripada kedai akuarium manakala ikan gapi pula disampel di kawasan Alur Ilmu UKM. Ikan dan udang yang digunakan adalah pada peringkat juvenil dan bersaiz lebih kurang 1.5 cm sentimeter panjang. Semua organisma ini diaklimasi terlebih dahulu selama 3 hingga 4 hari di dalam persekitaran makmal pada suhu 29-30°C di samping pencahayaan 12 jam cerah: 12 jam gelap menggunakan lampu floresan. Akuarium yang digunakan untuk proses aklimasi ini mengandungi 50 L berisi air paip yang dinyah klorin menggunakan kaedah tapisan pasir dan karbon teraktif (model T.C. Sediment Filter®). Bagi memastikan kualiti air akuarium berada dalam keadaan baik, ianya dilengkapi dengan sistem penapisan dan pengudaraan.

### BIOPENUNJUK MULTISPESIES AIR TAWAR (MFB)

Organisma kajian dimasukkan dalam bekas uji kaji (kebuk) (panjang: 5 cm, diameter: 2 cm) yang ditutup dengan jaring nylon di kedua-dua hujungnya dan dibiarkan bergerak bebas di antara dua pasang plat besi yang bertindak sebagai elektrod. Sebanyak lapan kebuk digunakan tujuh kebuk dimasukkan organisma (satu organisma untuk setiap kebuk) sebagai tujuh replikasi organisma dan satu kebuk kosong dijadikan sebagai kawalan. Semua kebuk ini disambungkan kepada MFB yang dihubungkan dengan komputer (Rajah 1). Semasa proses perekodan oleh MFB, paras hingar dalam MFB ditetapkan kepada 30 mV manakala amplitud signal generator ditetapkan kepada 500 mV. Frekuensi band yang ditetapkan adalah 0.5 Hz hingga 2.0 Hz untuk mewakili pergerakan organisma (jalur 1) dan 2.5 Hz hingga 8.0 Hz untuk mewakili ventilasi semasa organisma tidak bergerak dalam kebuk (jalur 2). MFB merekod pergerakan organisma setiap 10 minit dalam sela masa 6 minit.

### PENDEDAHAN KEPADA LOGAM BERAT

Kebuk yang mengandungi organisma dimasukkan ke dalam akuarium yang bersaiz 10 liter yang mengandungi 5 liter larutan logam Cd. Larutan ini disediakan dengan menggunakan larutan stok logam Cd (100 ppm) yang dicairkan dengan air paip nyahklorin mengikut kepekatan tertentu. Organisma tersebut diaklimasi selama sepuluh minit dalam bekas uji kaji sebelum didedahkan pada tiga keadaan berbeza iaitu tanpa tekanan (air paip nyahklorin) dan dengan tekanan (logam Cd) selama dua jam. Dua kepekatan berbeza didedahkan kepada setiap organisma



RAJAH 1. Skema alat Biomonitor Multispecies Air Tawar (MFB): a) susun atur secara am kebuk (dalam akuarium) disambungkan kepada MFB yang dihubungkan dengan komputer; b) kebuk dengan 2 pasang elektrod, sepasang daripadanya menghasilkan arus manakala lagi sepasang mengesan perubahan dalam medan elektrik kesan daripada kerintangan impedans organisma dalam medan tersebut

iaitu 1 ppb dan 10 ppb bagi *M. lanchesteri* dan 100 ppb dan 560 ppb bagi *P. reticulata*. Kepekatan yang dipilih berdasarkan ujian penentuan julat yang telah dijalankan sebelumnya. Kepekatan nominal yang disediakan tidak diukur kerana kajian makmal ini menunjukkan pendedahan yang singkat (2 jam) tidak memberi perubahan yang signifikan terhadap perubahan kepekatan logam manakala penyediaan kepekatan nominal yang diukur secara rawak dalam kajian-kajian lepas menunjukkan ketepatan kepekatan penyediaan logam adalah 95-100% (data makmal yang tidak diterbitkan). Pergerakan organisma tersebut menghasilkan isyarat disebabkan oleh pertukaran impedans dalam kebuk ujian (Gerhardt et al. 1994).

Analisis data adalah berdasarkan FFT diskret dan menghasilkan histogram frekuensi perlakuan yang berlaku dalam isyarat sebenar. Setiap perlakuan yang berbeza diwakili oleh frekuensi yang berbeza. Frekuensi yang rendah (0.5 – 2.0 Hz) diringkaskan dalam jalur 1 manakala frekuensi yang tinggi (2.5 – 8.0 Hz) diringkaskan dalam jalur 2. Jalur 1 menerangkan peratus masa yang dihabiskan oleh organisma terhadap pergerakan dan lain-lain aktiviti perlahan seperti berenang dan berjalan. Jalur

2 pula menerangkan peratus masa yang dihabiskan oleh organisma terhadap pergerakan cepat iaitu ventilasi atau pernafasan. Masa yang dihabiskan pada frekuensi yang berbeza diplotkan sebagai fungsi masa pendedahan iaitu graf jangka masa panjang yang ditunjukkan oleh perisian MFB (Gerhardt 1995; 1998; 1999). Perubahan perilaku organisma kajian dalam kebuk ujian direkod secara *online* setiap 10 minit selama 2 jam. Suhu persekitaran dikekalkan pada 29-30°C.

#### ANALISIS STATISTIK

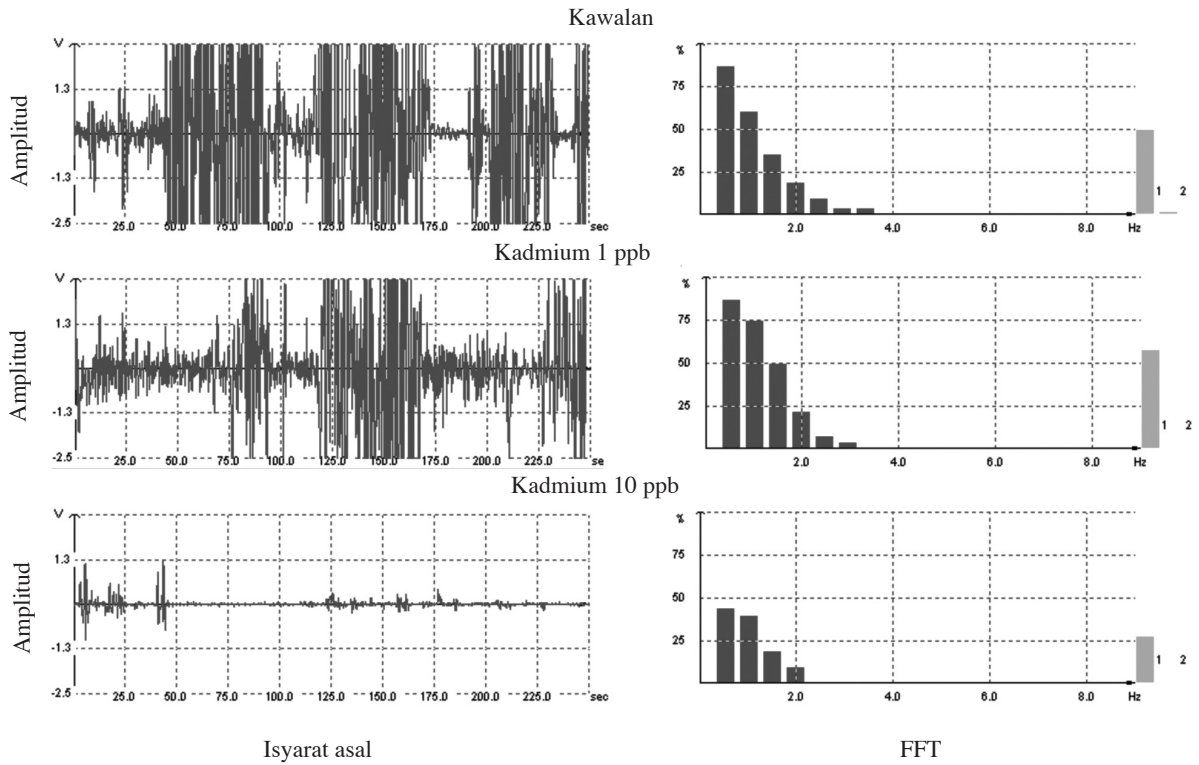
Data yang dicerap dalam kajian ini adalah dalam bentuk frekuensi dan peratusan, oleh itu bagi ujian perbandingan, ujian tak berparameter (Kruskal-Wallis dan ujian Mood Median) digunakan bagi melihat sama ada terdapat perbezaan bererti antara pendedahan terhadap logam berbanding kawalan.

#### HASIL DAN PERBINCANGAN

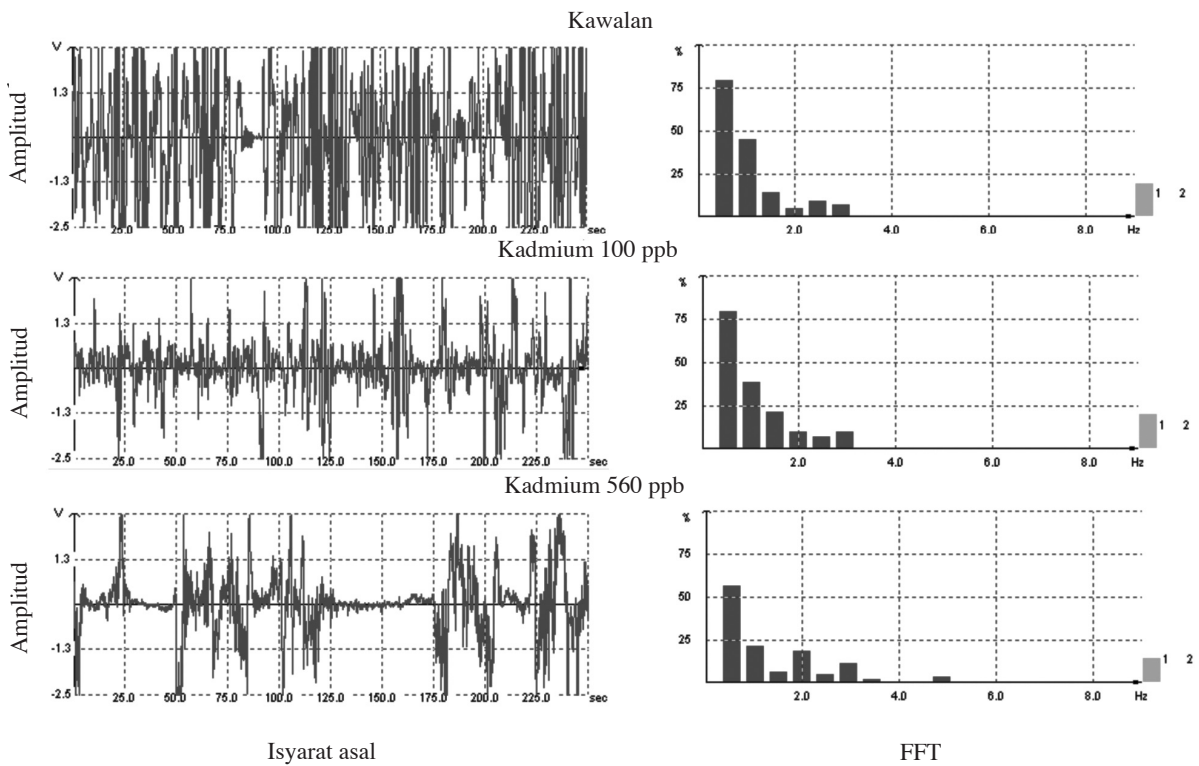
Isyarat pergerakan sebenar yang dihasilkan oleh *M. lanchesteri* dan *P. reticulata* akibat daripada pertukaran impedans dalam kebuk uji kaji dan histogram frekuensi masing-masing ditunjukkan dalam Rajah 2 dan 3. Perubahan isyarat pergerakan dan ventilasi pada isyarat asal dapat dilihat di mana organisma pada amnya semakin kurang aktif dengan peningkatan kepekatan logam Cd.

*Macrobrachium lanchesteri* dalam keadaan tanpa tekanan (kawalan) dan dengan pendedahan kepada kepekatan logam Cd terendah (1 ppb) lebih aktif kerana banyak menghabiskan masa dengan berenang dan berjalan di mana peratus masa yang dihabiskan masing-masing adalah kira-kira  $54 \pm 2\%$  dan  $53 \pm 2\%$  berbanding organisma yang didedahkan kepada logam Cd pada kepekatan 10 ppb iaitu tidak aktif di mana peratus masa yang dihabiskan untuk bergerak kurang daripada  $11 \pm 7\%$  (Rajah 4). Ujian statistik (Kruskal-Wallis dan ujian Mood Median) menunjukkan terdapat perbezaan bererti ( $p < 0.001$ ) antara kepekatan dedahan 10 ppb berbanding kawalan dan dedahan 1 ppb. Walau bagaimanapun, bagi *P. reticulata* kesan terhadap kehadiran logam Cd tidak begitu nyata walaupun terdapat trend di mana ianya semakin kurang aktif dengan peningkatan kepekatan logam berat. Dalam keadaan kawalan dan pada kepekatan pendedahan logam Cd terendah (100 ppb) ianya lebih aktif kerana banyak menghabiskan masa dengan berenang dan lain-lain pergerakan di mana peratus masa yang dihabiskan masing-masing adalah  $19 \pm 2\%$  dan  $18 \pm 1\%$  berbanding ikan yang didedahkan kepada logam Cd pada kepekatan 560 ppb di mana peratus pergerakan lebih rendah iaitu  $17 \pm 2\%$  (Rajah 5). Walau bagaimanapun, ujian statistik (Kruskal-Wallis) tidak menunjukkan perbezaan bererti di antara kepekatan dedahan yang berbeza berbanding kawalan ( $p > 0.05$ ).

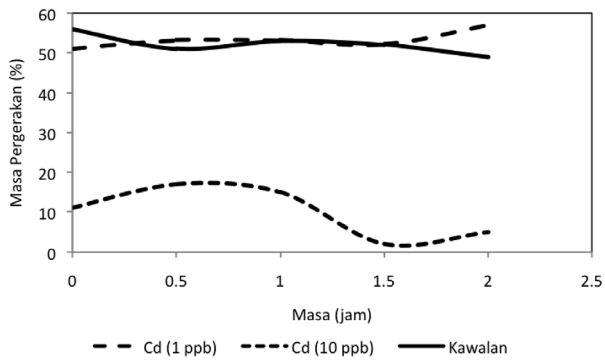
Bagi ventilasi pula, ventilasi udang (Rajah 6) didapati lebih jelas menunjukkan kesan tekanan logam Cd di mana terdapat trend pengurangan ventilasi dengan peningkatan



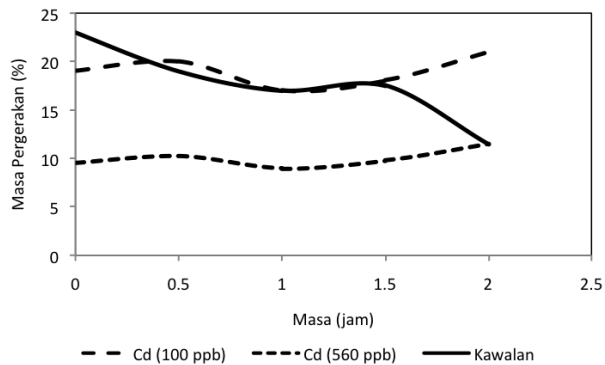
RAJAH 2. Corak perilaku *Macrobrachium lanchesteri* yang terdiri daripada pergerakan (amplitud tinggi dan frekuensi rendah (< 2.5 Hz) dan pernafasan ( amplitud rendah dan frekuensi tinggi (> 2.5 Hz). Atas: tanpa tekanan. Tengah: dengan logam kadmium 1 ppb. Bawah: dengan logam kadmium 10 ppb. Kiri: isyarat asal yang dihasilkan oleh organisma dalam bekas uji kaji. Kanan: histogram frekuensi yang dikira dalam jalur frekuensi 0.5 Hz setiap bar



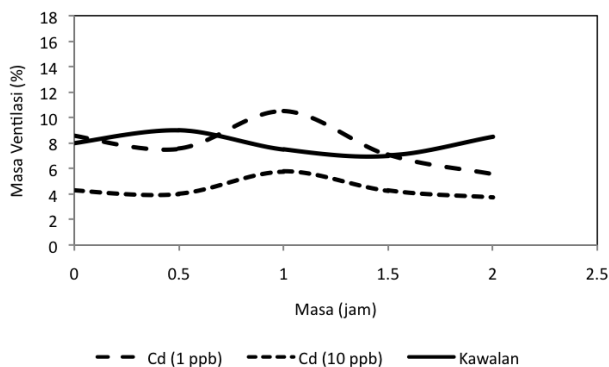
RAJAH 3. Corak perilaku *Poecilia reticulata* yang terdiri daripada pergerakan (amplitud tinggi dan frekuensi rendah (< 2.5 Hz) dan pernafasan ( amplitud rendah dan frekuensi tinggi (> 2.5 Hz). Atas: tanpa tekanan. Tengah: dengan logam kadmium 100 ppb. Bawah: dengan logam kadmium 560 ppb. Kiri: isyarat asal yang dihasilkan oleh organisma dalam bekas uji kaji. Kanan: histogram frekuensi yang dikira dalam jalur frekuensi 0.5 Hz setiap bar



RAJAH 4. Peratus masa yang dihabiskan oleh *Macrobrachium lanchesteri* bagi pergerakan dan lain-lain aktiviti perlahan seperti berenang dan berjalan dalam keadaan tanpa tekanan (kawalan) dan pendedahan kepada logam kadmium berkepekatan 1 ppb dan 10 ppb



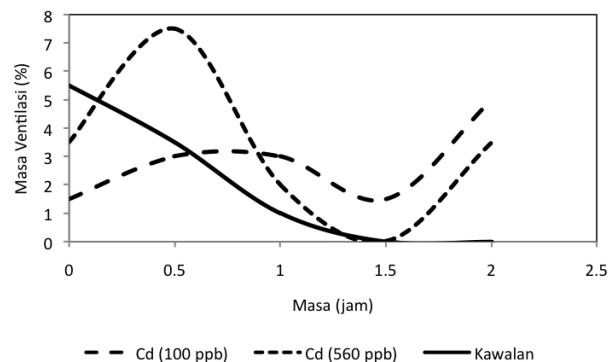
RAJAH 5. Peratus masa yang dihabiskan oleh *Poecilia reticulata* bagi pergerakan dan lain-lain aktiviti perlahan seperti berenang dalam keadaan tanpa tekanan (kawalan) dan pendedahan kepada logam kadmium berkepekatan 100 ppb dan 560 ppb



RAJAH 6. Peratus masa yang dihabiskan oleh *Macrobrachium lanchesteri* bagi ventilasi dalam keadaan tanpa tekanan (kawalan) dan pendedahan kepada logam kadmium berkepekatan 1ppb dan 10 ppb

kepekatan pendedahan logam Cd berbanding kawalan. Ventilasi udang bagi kawalan adalah  $9.23 \pm 2.59\%$  berbanding dengan dedahan kepada logam Cd 1 ppb dan 10 ppb masing-masing adalah  $6.88 \pm 1.49\%$  dan  $5.58 \pm$

1.28%. Ujian statistik (Kruskal-Wallis dan ujian Mood Median) juga menunjukkan terdapat perbezaan yang bererti ( $p < 0.001$ ) antara kepekatan dedahan tertinggi (10 ppb) berbanding kawalan. Pengurangan ventilasi ini boleh dikaitkan dengan respons udang untuk mengurangkan pengambilan logam di mana pengambilan logam melalui air yang melalui insang merupakan salah satu cara (pintu) utama kemasukan logam dalam organisma akuatik (Gerhardt 1992) dan pengurangan ventilasi ini secara tidak langsung dapat mengurangkan kemasukan logam. Fenomena yang serupa turut diperhatikan oleh Macedo-Sausa et al. (2007) terhadap ampifod *Echinogammarus meridionalis* yang didedahkan pada saluran lombong asid. Manakala, bagi ikan gapi kesan dedahan logam Cd terhadap ventilasi tidak begitu jelas (Rajah 7) di mana masa ventilasi ikan kawalan adalah  $1.73 \pm 1.82\%$  berbanding dengan dedahan logam Cd 100 ppb dan 560 ppb masing-masing adalah  $1.81 \pm 1.56\%$  dan  $2.23 \pm 2.06\%$ . Secara amnya ventilasi ikan gapi menunjukkan trend peningkatan ventilasi dengan peningkatan kepekatan dedahan logam Cd. Walaubagaimanapun, ujian statistik (Kruskal-Wallis) menunjukkan tiada perbezaan bererti antara dedahan logam berbanding kawalan ( $p > 0.05$ ).



RAJAH 7. Peratus masa yang dihabiskan oleh *Poecilia reticulata* bagi ventilasi dalam keadaan tanpa tekanan (kawalan) dan pendedahan kepada logam kadmium berkepekatan 100 ppb dan 560 ppb

Hasil kajian ini menunjukkan kelakuan kedua-dua spesies adalah dipengaruhi oleh kepekatan pendedahan kepada logam Cd. Keputusan yang sama turut diperolehi Gerhardt et al. (2002) menggunakan air buangan perbandaran dan farmaseutikal. Beliau menjelaskan bagi ikan pada permulaan ianya akan cuba untuk melarikan diri diikuti peningkatan ventilasi manakala bagi udang, pada mulanya ia akan meningkatkan ventilasi diikuti penurunan ventilasi dan pergerakan. Keputusan yang serupa juga diperolehi dalam kajian ini seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2 dan 3. Gerhardt et al. (2004) melaporkan aktiviti keseluruhan udang *Atyaephyra desmaresti* berkurangan dengan peningkatan terhadap tekanan iaitu pengurangan pH dalam sampel air daripada lombong berasid. Manakala, Janssens de Bisthoven et al. (2004)

melaporkan pengurangan pergerakan dan peningkatan ventilasi larva *Chironomus* dengan pengurangan pH dedahan pada air saliran lombong berasid. Logam Cd dianggap antara logam yang paling tersedia untuk diambil oleh organisma (Alonso et al. 2004). Peningkatan ventilasi ikan dengan peningkatan pendedahan kepekatan logam Cd boleh dikaitkan dengan percubaan untuk menyingkirkan ion logam Cd yang terikat di membran insang yang akan menutup tapak pengikatan logam Ca (Winner & Gauss 1986). Pemerhatian yang sama turut dilaporkan oleh Gerhardt dan Palmer (1998) dengan pendedahan logam Cu terhadap larva mayfly *Adenophlebia auriculata* dan pada ampifod *Gammarus pulex* yang didedahkan pada logam Cu (50 ppb) dan Pb (>10 ppb) (Gerhardt 1995).

Kajian ini menunjukkan bagi udang kawalan, masa yang digunakan (%) untuk pergerakan ( $54 \pm 2\%$ ) secara amnya adalah lebih tinggi berbanding masa yang digunakan untuk ventilasi ( $9.23 \pm 2.59\%$ ). Hasil yang sama turut dilaporkan oleh Janssens de Bisthoven et al. (2006) menggunakan udang air tawar *Atyaephyra desmaresti* dan masa yang digunakan untuk pergerakan dan ventilasi masing-masing adalah 25-35% dan 3-10%. Beliau turut melaporkan pendedahan udang tersebut terhadap sampel air lombong berasid menunjukkan pergerakan udang pada pH 5.5 adalah lebih rendah berbanding pada pH 5.0 yang lebih berasid dan menyimpulkan ini disebabkan logam yang terdapat dalam sampel air tersebut lebih tersedia pada pH 5.5 dan biopenumpukan dalam udang juga lebih tinggi pada pH ini. Janssens de Bisthoven et al. (2004) turut melaporkan pemerhatian yang sama bagi larva *Chironomus* dalam air kolam di mana masa yang digunakan untuk pergerakan antara 15 hingga 28% manakala bagi ventilasi kurang daripada 6%.

Hasil kajian ini menunjukkan *M. lanchesteri* lebih sensitif kepada logam kadmium berbanding *P. reticulata*. Kajian yang dijalankan oleh Gerhardt et al. (2004) menggunakan ikan (*Gambusia holbrooki*) dan udang (*Atyaephyra desmaresti*) yang didedahkan kepada saliran lombong berasid turut mendapati bahawa udang *A. desmaresti* lebih sensitif kepada logam berat berbanding ikan *G. holbrooki*. Ujian ketoksikan makmal juga mendapati *M. lanchesteri* adalah lebih sensitif terhadap logam Cd berbanding *P. reticulata* di mana nilai LC50 96 jam masing-masing adalah 7.0 µg/L dan 168.1 µg/L (Nadzifah & Shuhaimi-Othman 2008). Gerhardt et al. (2002) menyatakan bahawa dalam perbandingan respons kelakuan yang diukur dengan MFB antara ikan dan udang, ikan selalunya akan lebih tertekan berada dalam kebuk ujian kerana ianya adalah organisma pelagik yang sentiasa berenang berbanding udang yang merupakan organisma bentik. Ini akan menyebabkan varians kelakuan yang lebih besar pada kawalan dan kesukaran membezakan dengan ikan yang didedahkan pada pencemar. Ini menjelaskan mengapa ikan kurang sensitif berbanding udang dan ketiadaan perbezaan yang ketara antara kawalan dan dedahan kepada logam bagi ikan (Rajah 5). Janssens de Bisthoven et al. (2006) turut mencadangkan kepentingan penggunaan udang dalam pemantauan MFB dan di samping

sensitivitinya yang tinggi, ia juga mempunyai beberapa kelebihan lain seperti peningkatan kepentingan ekonomi udang dalam akuakultur serta kepentingan ekologi udang terutama di ekosistem subtropika dan tropika menyebabkan udang air tawar menawarkan pilihan yang tinggi nilainya sebagai organisma ujian biologi.

Kajian ini juga menunjukkan penggunaan respons kelakuan adalah lebih sensitif berbanding kematian sebagai parameter ketoksikan. Ujian ketoksikan makmal menunjukkan nilai LC50 24 jam bagi *M. lanchesteri* dan *P. reticulata* bagi logam Cd masing-masing adalah 19.8 µg/L dan 8205 µg/L (Nadzifah & Shuhaimi-Othman 2008). Perbezaan respons in kurang jelas bagi ikan gapi mungkin disebabkan kepekatan pendedahan yang digunakan agak rendah berbanding nilai LC50 24 jam bagi ikan tersebut.

Walaupun bagaimanapun, hasil kajian ini menunjukkan terdapat trend perubahan kelakuan bagi ikan gapi walaupun kepekatan Cd tertinggi yang didedahkan hanya 560 µg/L dan pendedahan hanya selama 2 jam. Ini jelas menunjukkan kelebihan penggunaan respons kelakuan dalam mengesan pencemar di dalam air dan sangat sesuai digunakan dalam pemantauan kualiti air. Keputusan yang sama turut diperolehi oleh Rice et al. (1997) dan Gerhardt et al. (2002). Featherstone et al. (1993) menjelaskan peningkatan pergerakan ikan *Oryzias latipes* disebabkan refleksi ikan tersebut untuk melarikan diri akibat tertekan apabila didedahkan pada fenol. Manakala pendedahan kepada permethrin sejenis bahan neurotoksin menyebabkan peningkatan pergerakan ikan pada kepekatan yang rendah dan masa singkat (<24 jam), manakala pada kepekatan yang tinggi dan masa lama (>24 jam) menyebabkan ikan menjadi tidak aktif.

## KESIMPULAN

Kajian awal ini menunjukkan alat MFB adalah sensitif dan sesuai digunakan bagi mengesan bahan pencemar seperti logam berat Cd. Udang *M. lanchesteri* dan ikan gapi *P. reticulata* merupakan spesies tempatan yang sesuai dijadikan sebagai organisma penunjuk bagi MFB kerana ianya sensitif dan mampu menunjukkan gerak balas terhadap kehadiran logam berat dalam air walaupun pada kepekatan yang rendah.

## PENGHARGAAN

Kajian ini telah dibiayai oleh MOSTI di bawah projek Sciencefund 06-01-02-SF0472

## RUJUKAN

- Alonso, E., Santos, A., Callejon, M. & Jimenez, J.C. 2004. Speciation as a screening tool for the determination of heavy metal surface water pollution in the Guardamar river basin. *Chemosphere* 56: 561-570.
- Featherstone, D., Drewes, C.D., Coats, J.R. & Bradbury, S.P. 1993. A non-invasive neurotoxicity assay larval medaka. *Environmental Toxicology and Risk Assessment* 2, ASTM STP 1216: 275-288.

- Gerhardt, A. 1992. Review of heavy metals on stream invertebrates with special emphasis on acid conditions. *Water Air Soil Pollut.* 66: 289-314.
- Gerhardt, A. 1995. Monitoring behavioural response to metals in *Gammarus pulex* (Crustacea) with impedance conversion. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2(1): 15-23.
- Gerhardt, A. 1998. A new biomonitor system based on magnetic inductivity for freshwater and marine environment. *Environ. Int.* 24(7): 699-701.
- Gerhardt, A. 1999. Recent trends in online biomonitoring for water quality control. In *Biomonitoring of Polluted Water*, Gerhardt, A. (ed.) Uetikon-Zuerich, Switzerland: Trans Tech Publication.
- Gerhardt, A., Clostermann, M., Frilund, B. & Svensson, E. 1994. Monitoring of behavioral patterns of aquatic organisms with an impedance conversion technique. *Environ. Int.* 20: 209-219.
- Gerhardt, A. & Palmer, C. 1998. Copper tolerances of *Adenophlebia auriculata* (Eaton) 1884 (Insecta: Ephemeroptera) and *Burnupia stenochorias* Cawston 1932 (Gastropoda: Ancyliidae) in indoor artificial streams. *Sci. Total Environ.* 215: 217-229.
- Gerhardt, A., Janssens de Bisthoven, L., Mo, Z., Wang, C., Yang, M & Wang, Z. 2002. Short-term responses of *Oryzias latipes* (Pisces: Adrianichthyidae) and *Macrobarchium nipponense* (Crustacea: Paleomonidae) to municipal and pharmaceutical waste water in Beijing, China: survival, behavior, biochemical biomarkers. *Chemosphere* 47: 35-47.
- Gerhardt, A., Janssens de Bisthoven, L. & Soares, A.M.V.M. 2004. Macroinvertebrate response to acid mine drainage: community metrics and online behavioural toxicity bioassay. *Environ. Pollut.* 130: 263-274.
- Gruber, D., Frago, C.H. & Rasnake, W.J. 1994. Automated biomonitors—first line of defense. *J. Aquat. Ecosys. Health* 3: 87-92.
- Janssens de Bisthoven, L., Gerhardt, A., Guhr, K. & Soares, A.M.V.M. 2004. Effect of acid mine drainage on larval *Chironomus* (Diptera, Chironomidae) measured with the Multispecies Freshwater Biomonitor. *Environ. Toxicol. Chem.* 23(5): 1123-1128.
- Janssens de Bisthoven, L., Gerhardt, A., Guhr, K. & Soares, A.M.V.M. 2006. Behavioral changes and acute toxicity to the freshwater shrimp *Atyaephyra desmaresti* Millet (Decapoda: Natantia) from exposure to acid mine drainage. *Ecotoxicol.* 15: 215-227.
- JAS. 2007. *Laporan Tahunan 2007 Jabatan Alam Sekitar (JAS) Malaysia*. Kementerian Sumber Asli dan Alam Sekitar, Malaysia.
- Kramer, K.J.M. & Botterweg, J. 1991. Aquatic biological early warning system: an overview. In *Bioindicators and Environmental Management*, Jeffrey, D.J., Madden, B. (eds.) London, UK: Academic Press pp. 95-126.
- Macedo-Sousa, J.A., Pestana, J.L.T., Gerhardt, A., Nogueira, A.J.A. & Soares, A.M.V.M. 2007. Behavioral and feeding responses of *Echinogammarus meridionalis* (Crustacea, Amphipoda) to acid mine drainage. *Chemosphere* 67: 1663-1670.
- Mason, C.F. 1996. *Biology of Freshwater Pollution*. 3rd ed. Longman Group Ltd.
- Nadzifah, Y. & Shuhaimi-Othman, M. 2008. Ketoksikan akut dan biopemekatan logam kadmium dan ferum dalam undang air tawar *M. lanchesteri*. *Prosiding Kolokium Siswazah Ke-8*, 1-2 Julai, FST, UKM, 509-512.
- Rice, P.J., Drewes, C.D., Klubertanz, T.M., Bradbury, S.P. & Coats, J.R. 1997. Acute toxicity and behavioral effects of chlorpyrifos, permethrin, phenol, strychnine, and 2,4,6-trinitrophenol to 30-day old Japanese Medaka (*Oryzias latipes*). *Environ. Toxicol. Chem.* 16(4): 696-704.
- Van der Schalie, W.H., Sheld, T.R., Widder, M.W. & Brennan, L.M. 2004. Response characteristics of an aquatic biomonitor used for rapid toxicity detection. *J. Appl. Toxicol.* 24(5): 387-394.
- Winner, R.W. & Gauss, J.D. 1986. Relationship between chronic toxicity and bioaccumulation of copper, cadmium and zinc as affected by water hardness and humic acid. *Aquat. Toxicol.* 8: 149-161.

Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam  
Fakulti Sains dan Teknologi  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 UKM Bangi, Selangor D.E.  
Malaysia

\*Pengarang untuk surat-menyurat; email: shuhaimi@ukm.my

Diserahkan: 21 Ogos 2009

Diterima: 21 Januari 2010