

Penggunaan Biomonitor Multispesies Air Tawar dalam Menilai Perubahan Kelakuan Ikan Gapi, *Poecilia reticulata* dan Udang Air Tawar, *Macrobrachium lanchesteri* Terhadap Air Larut Resap dari Tapak Pelupusan Sampah

(Use of Multispecies Freshwater Biomonitor to Assess Behavioural Changes of Guppy, *Poecilia reticulata* and Freshwater Prawn, *Macrobrachium lanchesteri* in Response to Leachate from Landfill)

Z. NURUL-AKHMA, M. SHUHAIMI-OTHMAN* & M. AZMAH

ABSTRAK

Biomonitor Multispesies Air Tawar (MFB™) digunakan bagi mengukur dan menganalisis pelbagai kelakuan daripada pelbagai jenis organisma akuatik untuk memantau kualiti air dalam ekosistem air tawar. Isyarat gerak balas udang air tawar (*Macrobrachium lanchesteri*) dan ikan gapi (*Poecilia reticulata*) dikaji di dalam makmal bagi menentukan respons yang spesifik terhadap pendedahan kepekatan air larut resap yang berbeza (1%, 3% dan 5%) bagi kedua-dua organisma. Perubahan perilaku organisma (pergerakan dan ventilasi) direkodkan dengan menggunakan *Biomonitor Multispesies Air Tawar (MFB)* selama 24 jam. Hasil yang diperolehi menunjukkan terdapat trend peningkatan respons pergerakan dan ventilasi yang jelas dengan peningkatan kepekatan pendedahan air larut resap bagi udang air tawar. Manakala respons yang ditunjukkan oleh ikan gapi adalah tidak begitu jelas walaupun terdapat trend pengurangan pergerakan dengan peningkatan kepekatan pendedahan air larut resap dan trend peningkatan ventilasi dengan peningkatan kepekatan pendedahan. Kajian ini menunjukkan *M. lanchesteri* memberikan respons yang lebih sensitif kepada air larut resap berbanding *P. reticulata* dan organisma ini lebih sesuai digunakan sebagai organisma penunjuk untuk MFB.

Kata kunci: Kelakuan; *Macrobrachium lanchesteri*; pencemaran air; *poecilia reticulata*

ABSTRACT

The *Multispecies Freshwater Biomonitor (MFB™)* was used to measure and analyse different types of behaviours from different aquatic organisms for monitoring water quality in freshwater ecosystems. The signal response of freshwater shrimp (*Macrobrachium lanchesteri*) and guppy fish (*Poecilia reticulata*) was studied in the laboratory to determine the specific response of both organisms to different concentrations of leachate (1%, 3% and 5%). Behavioural changes were recorded by using *Multispecies Freshwater Biomonitor (MFB)* for 24 h. Our results showed that the behavioural and ventilation responses of freshwater shrimp increased with increasing exposure to concentrations of leachate. However, the responses shown by guppy fish was not clear although there was a trend of reduction in the behavioural responses with increasing exposure and increasing ventilation responses with increasing exposure to leachate. Results also showed that the *M. lanchesteri* was more sensitive to leachate than *P. reticulata* and this organism was more suitable as indicator organism for the MFB.

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

PENGENALAN

Tapak pelupusan sampah merupakan kaedah utama pelupusan sisa pepejal bandaran di seluruh dunia termasuk Malaysia. Ini adalah kerana kaedah ini menawarkan jumlah lambakan sisa pepejal bandaran yang tinggi selain daripada faktor kos yang lebih rendah berbanding kaedah pelupusan sampah yang lain seperti pembakaran. Air larut resap merupakan cecair yang terhasil daripada proses penapisan air hujan dan lembapan yang melalui lapisan-lapisan sampah di tapak pelupusan sampah (Koshy et al. 2007). Air larut resap dari tapak pelupusan sampah kebiasaannya adalah sangat tercemar dan terdiri daripada air buangan kompleks yang sukar diuruskan. Cecair ini mengandungi kepekatan bahan organik sama ada terbiodegrasi dan tak

terbiodegradasi yang tinggi, nitrogen ammonia, logam berat dan garam tak organik yang mana berpotensi membahayakan organisma akuatik (Renou et al. 2008).

Peningkatan populasi manusia dan pembangunan yang pesat turut meningkatkan penghasilan air larut resap dari tapak pelupusan sampah. Di Malaysia, peningkatan populasi penduduk dan penerimaan gaya hidup moden, terutamanya penggunaan produk pakai buang jelas menyebabkan pengeluaran sisa pepejal bertambah dalam tahun kebelakangan ini. Penghasilan sampah dijangka akan mencecah 30,000 tan sehari dalam masa 11 tahun akan datang (Ali 2009). Di Malaysia, terdapat banyak tapak pelupusan sampah yang tidak mempunyai lapisan dasar yang sesuai dan sistem pengumpulan dan rawatan

air larut resap. Kira-kira 230 buah tapak pelupusan sampah di Malaysia yang dikenal pasti secara rasmi mempunyai saiz dan umur yang berbeza serta dianggarkan kebanyakannya daripadanya merupakan tapak pelupusan sampah haram. Kebanyakan dari tapak pelupusan sampah ini tidak tergolong dalam tapak pelupusan sanitari kerana tidak mempunyai kemudahan bagi mengumpul dan merawat air larut resap serta tiada kemudahan bagi mengeksploitasi gas dari tapak pelupusan sampah (Agamuthu 2001).

Kajian yang dijalankan pada tahun 2002 menunjukkan 43% daripada 112 tapak pelupusan sampah ini adalah daripada jenis buangan terbuka dan hanya 6.3% tapak pelupusan sampah yang mempunyai sistem rawatan air larut resap (MHLG 2005). Keadaan ini membawa kepada pentingnya sistem pengurusan dan strategi kawalan bagi mengurangkan kesan bahaya akibat daripada air larut resap dari tapak pelupusan sampah. Penilaian potensi impak daripada air larut resap terhadap ekosistem memerlukan pengenalpastian terhadap bahan pencemar yang terkandung di dalamnya. Proses pengenalpastian bahan-bahan pencemar ini walau bagaimanapun adalah sukar kerana ia mengandungi pelbagai bahan kimia, manakala jumlah bahan kimia yang dianalisis secara rutin adalah terhad serta kerumitan dan kepelbagaian air larut resap tersebut (Isidori et al. 2003).

Secara tradisi pemantauan melalui kaedah 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 memberikan data tertentu bergantung kepada parameter yang diukur, tidak dapat menentukan kesan ketoksikan secara langsung, memerlukan kos yang tinggi dan tidak sensitif (Gruber et al. 1994). Penggunaan ujian biologi adalah lebih bernilai dalam banyak cara seperti ia dapat menunjukkan kesan terhadap organisma dan kesan terhadap sebatian atau percampuran sebatian dapat diukur yang mana ianya tidak dapat diukur secara kimia (Penders et al. 2001). Oleh yang demikian, kaedah penilaian kualiti air larut resap perlu menggunakan gabungan kaedah kimia, fizikal dan biologi bagi menilai kesan ketoksikan yang lebih tepat terhadap ekosistem akuatik. Tujuan kajian ini adalah untuk menentukan beberapa parameter fiziko-kimia air larut resap dari tapak pelupusan sampah Sungai Sedu, Banting, Selangor dan menentukan isyarat gerak balas organisma terpilih iaitu udang air tawar (*M. lanchesteri*) dan ikan gapi (*P. reticulata*) terhadap air larut resap tersebut dengan menggunakan alat MFB di dalam makmal.

BAHAN DAN KAEDAH

PENSAMPELAN AIR LARUT RESAP

Air larut resap telah disampel dari tapak pelupusan sampah Sungai Sedu, Banting, Selangor (latitud 2°50'38"U dan longitud 01°30'55"T) pada 9 November 2010. Tapak pelupusan sampah ini direka bagi menerima kapasiti kira-kira 1500-2000 tan sisa pepejal setiap hari dari

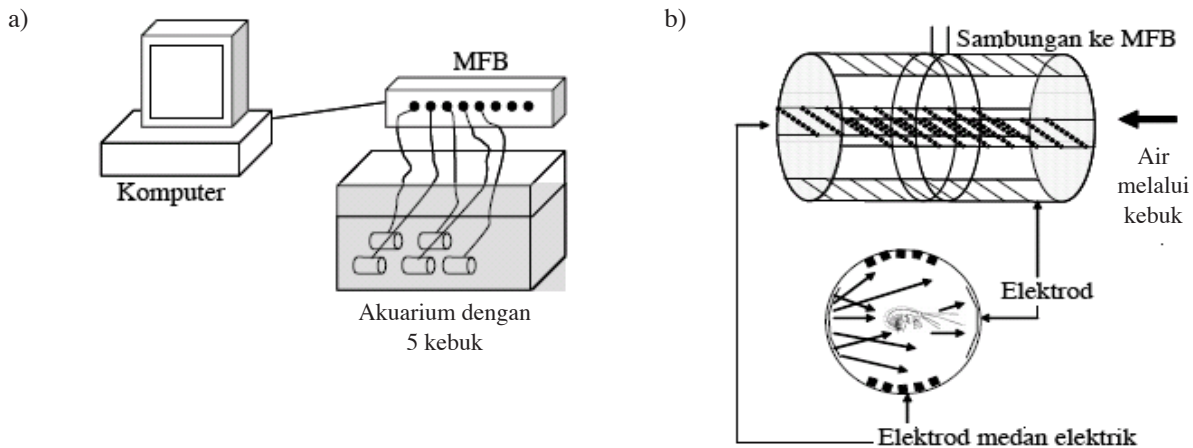
daerah Sepang dan Putrajaya. Tapak pelupusan sampah ini telah memulakan operasi sekitar tahun 1995 dan telah ditamatkan operasinya pada tahun 2009. Sebanyak 15 L air larut resap telah diambil dari enam lokasi persampelan (sampel komposit) di kawasan tapak pelupusan sampah tersebut seperti kolam takungan air larut resap, tangki rawatan air larut resap, lopak kecil dan longkang. Botol plastik polietelina serta botol gelap BOD digunakan bagi pengambilan sampel air larut resap. Beberapa parameter *in-situ* turut ditentukan di setiap lokasi persampelan semasa sampel diambil seperti suhu, kekonduksian, jumlah pepejal terlarut (TDS), oksigen terlarut (DO), pH dan kekeruhan dengan menggunakan alat multimeter Hydrolab Quanta® yang telah dikalibrasi terlebih dahulu di makmal. Parameter yang ditentukan di makmal ialah permintaan oksigen biokimia (BOD), permintaan oksigen kimia (COD), jumlah pepejal terampai (TSS), nitrogen ammonia, nitrat, sulfat, fosfat dan logam berat seperti As, Cu, Mn, Cd, Fe, Zn, Ni, Pb dan Al berbandukan kaedah piawai (APHA 1992; HACH 2003). Kepekatan logam berat ditentukan dengan alat spektrofotometer plasma gandingan aruhan (ICP-MS) model Perkin Elmer Elan DRC9000. Disebabkan kepekatan kebanyakan parameter adalah tinggi, sampel telah dicairkan sebanyak 100-300 kali pencairan menggunakan air nyahion atau nyahklorin (untuk BOD) bergantung kepada parameter yang diukur.

SPESES KAJIAN

Dalam kajian ini, dua organisma air tawar telah dipilih iaitu udang (*Macrobrachium lanchesteri*) dan ikan gapi (*Poecilia reticulata*). Udang dibeli dari kedai akuarium di Bangi, Selangor manakala ikan gapi pula disampel di kawasan Alur Ilmu, UKM, Bangi, Selangor. Udang dan ikan gapi yang digunakan adalah pada peringkat juvenil dan bersaiz antara 1.5-2.0 cm panjang. Udang (*Macrobrachium lanchesteri*) dan ikan gapi (*Poecilia reticulata*) diaklimasi di dalam makmal selama seminggu dalam dua buah akuarium yang berbeza sebelum didedahkan kepada keadaan eksperimen sebenar. Organisma kajian berada dalam persekitaran makmal bersuhu 29-30 °C di samping pencahayaan 12 jam cerah dan 12 jam gelap dengan menggunakan lampu floresan. Akuarium yang digunakan untuk proses aklimasi mengandungi 50 L berisi air paip yang dinyahklorin (tapisan pasir dan karbon teraktif, model T.C. Sediment filter®). Bagi memastikan kualiti akuarium berada dalam keadaan baik, ianya dilengkapi dengan sistem penapisan dan pengudaraan.

BIOMONITOR MULTISPESES AIR TAWAR (MFB)

Rajah 1 menunjukkan skema alat Biomonitor Multispecies Air Tawar (MFB). Biomonitor Multispecies Air Tawar (MFB) ini berdasarkan teknik pertukaran *quadropole impedance* di mana 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



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

1998). Teknik pertukaran impedans kutub empat berlaku dalam kebuk 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 *fast fourier transform* (FFT) dengan menghasilkan frekuensi dalam bentuk histogram di mana ia memberikan isyarat frekuensi antara 0.5 hingga 8.5 Hz (Gerhardt et al. 1994). Organisma kajian dimasukkan ke dalam bekas ujikaji (kebuk) (panjang: 5 cm, diameter: 2 cm), kemudian ditutup dengan jaring nylon di kedua-dua hujungnya. Organisma kajian dibiarkan bergerak bebas di antara dua pasang plat besi yang bertindak sebagai elektrod. Sebanyak lapan buah kebuk digunakan dan tujuh daripadanya dimasukkan organisma (satu organisma untuk setiap kebuk) sebagai tujuh replikasi dan sebuah kebuk dibiarkan kosong yang bertindak sebagai kawalan bunyi. Sebanyak tiga kepekatan air larut resap yang berbeza digunakan dalam kajian ini iaitu 1%, 3% dan 5%. Kepekatan dipilih berdasarkan kepada ujian penentuan julat (penduga) yang telah dijalankan sebelumnya. Larutan air larut resap berkepekatan 1% disediakan dengan memasukkan sebanyak 50 mL air larut resap ke dalam silinder penyukat 5 L. Air paip nyahklorin ditambahkan kedalam silinder penyukat sehingga bacaan 5 L. Larutan daripada silinder penyukat dituang ke dalam bekas plastik berisipadu 10 L. Larutan air larut resap berkepekatan 3% dan 5% juga turut disediakan dengan kaedah yang sama. Larutan kawalan turut disediakan dengan menggunakan air nyahklorin sahaja. Kelapan-lapan kebuk direndam kedalam bekas yang mengandungi air paip nyahklorin terlebih dahulu selama 10 min sebelum direndam ke dalam larutan berkepekatan 1% air larut resap. Bacaan signal organisma di dalam kebuk direkodkan selepas 10 min selama 24 jam. Ujian diulang dengan menggunakan larutan air larut resap berkepekatan 3%, 5% serta air nyahklorin

(kawalan). Semasa proses direkod oleh alat MFB, paras hingar dalam MFB ditetapkan kepada 30 mV manakala amplitud signal generator ditetapkan kepada 500 mV. Frekuensi jalur 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).

ANALISIS STATISTIK

Data kadar pergerakan dan ventilasi organisma yang dicerap dalam kajian ini adalah dalam bentuk frekuensi dan peratusan. Oleh itu, bagi ujian perbandingan, ujian tak berparameter (Kruskal Wallis dan Mood Median) digunakan bagi melihat sama ada terdapat perbezaan bererti antara pendedahan terhadap kepekatan air larut resap yang berbeza berbanding dengan kawalan. Semua analisis dijalankan dengan menggunakan perisian SPSS versi 15.

HASIL DAN PERBINCANGAN

PARAMETER FIZIKO-KIMIA AIR LARUT RESAP

Parameter fiziko-kimia air larut resap tapak pelupusan sampah Sungai Sedu ditunjukkan dalam Jadual 1. pH air larut resap dari tapak pelupusan sampah ini ialah 8.1 yang mana sedikit beralkali. Kajian yang dijalankan oleh Alkassasbeh et al. (2009) menunjukkan nilai pH air larut resap dari tapak pelupusan sampah Sungai Sedu mempunyai nilai purata yang hampir sama iaitu 7.9. Yusuf et al. (2009) melaporkan pH air larut resap di tiga buah tapak pelupusan sampah di kawasan Selangor berjulat di antara 3.9 hingga 8.9. pH air larut resap didapati secara amnya akan meningkat dengan umur tapak pelupusan sampah di mana dengan peningkatan masa, kandungan bahan organik menjadi semakin berkurang dalam air menyebabkan nilai pH turut berubah daripada keadaan

JADUAL 1. Purata dan sisihan piawai kepekatan parameter fiziko-kimia dan logam berat dalam air larut resap dari tapak pelupusan sampah Sungai Sedu, Banting

Parameter	Purata (\pm sisihan piawai)	Piawaian B*	NWQS (Kelas II)**
Suhu ($^{\circ}$ C)	31.71 \pm 1.48	40	
Kekonduksian (μ S/cm)	9377.22 \pm 5.10	NA	1000
pH	8.1 \pm 0.17	5.5-9.0	6-9
Oksigen terlarut (mg/L)	2.09 \pm 1.53	NA	5-7
TDS (mg/L)	5987.61 \pm 359.41	NA	500-1000
Kekeruhan (NTU)	162.23 \pm 83.26	NA	5-50
BOD (mg/L)	597.94 \pm 42.93	50	1-3
TSS (mg/L)	3517.09 \pm 4.67	100	25-50
Ammonia-N (mg/L)	740.44 \pm 15.67	NA	0.1-0.3
COD (mg/L)	1608.46 \pm 57.37	100	10-25
Fosfat (mg/L)	39.63 \pm 0.77	NA	
Sulfat (mg/L)	1450 \pm 54.77	NA	250
Nitrat (mg/L)	16.33 \pm 0.52	NA	7
Al (mg/L)	1.31 \pm 0.19	5.0	
As (mg/L)	0.08 \pm 0.001	0.1	0.05
Cd (mg/L)	0.01 \pm 0.001	0.02	0.01
Cu (mg/L)	1.87 \pm 0.05	1.0	0.02
Fe (mg/L)	8.97 \pm 0.12	5.0	1.0
Mn (mg/L)	1.18 \pm 0.01	1.0	0.1
Pb (mg/L)	0.05 \pm 0.001	0.5	0.05
Ni (mg/L)	0.25 \pm 0.01	1.0	0.05
Zn (mg/L)	6.79 \pm 0.04	1.0	5.0

* Piawaian B, Akta Kualiti Alam Sekeliling (1974), Peraturan-Peraturan Kualiti Alam Sekeliling (Kumbahan dan Effluen-Effluen Perindustrian). ** Piawaian Kualiti Air Kebangsaan (NWQS, DOE 2002)

NA – tiada nilai

berasid kepada keadaan yang semakin beralkali (Futta et al. 1997). Bagi parameter BOD dan COD, kedua-dua parameter ini digunakan bagi menunjukkan kehadiran bahan organik. Kajian ini menunjukkan nilai BOD dan COD air larut resap masing-masing ialah 597.9 mg/L dan 1608.5 mg/L. Nilai BOD dan COD air larut resap yang diperolehi oleh Alkassasbeh et al. (2009) dari tapak pelupusan sampah yang sama masing-masing ialah 507 mg/L dan 1640 mg/L. Kajian ini menunjukkan hanya kandungan COD yang mengalami penurunan, manakala kandungan BOD mengalami sedikit peningkatan. Kandungan bahan organik dalam air larut resap ini didapati tidak banyak berubah walaupun secara amnya ia akan berkurangan dengan peningkatan masa terutama selepas tapak pelupusan sampah Sungai Sedu ini ditutup pada tahun 2009. Menurut Bagchi (1994) adalah normal bagi sisa cecair air larut resap yang semakin lama kandungan bahan organik semakin berkurangan dalam air disebabkan oleh proses penguraian mikroba. Yusuf et al. (2009) melaporkan nilai BOD dan COD air larut resap di tiga buah tapak pelupusan sampah di kawasan Selangor berjalut masing-masing di antara 50 hingga 49,500 mg/L dan 100 hingga 80,600 mg/L. Nisbah BOD/COD air larut resap yang lebih besar daripada 0.5 menunjukkan ia merupakan tapak pelupusan yang baru, nisbah 0.1 menunjukkan

tapak pelupusan sampah yang lama dan stabil manakala nisbah 0.1-0.5 menunjukkan bahawa komposisi air larut resap adalah separa stabil (Kjeldsen et al. 2002). Dalam kajian ini nisbah BOD/COD yang diperolehi adalah 0.37 menunjukkan air larut resap di tapak pelupusan sampah ini bersifat separa stabil.

Bagi kepekatan DO air larut resap ia nya menunjukkan nilai yang rendah iaitu purata 2.09 mg/L yang mana ia disebabkan oleh kandungan bahan organik yang tinggi dalam air seperti yang ditunjukkan oleh nilai BOD dan COD. Air larut resap dari tapak pembuangan sisa bandaran kebiasaannya mempunyai kandungan DO yang sangat rendah disebabkan oleh proses pemampatan sisa dan juga disebabkan oleh pereputan aerobik bahan buangan di mana mikroba menggunakan oksigen dan mengubah bahan organik kepada bahan tak organik (Bagchi 1994). Bagi nitrogen ammonia dalam air larut resap, kepekatan purata yang diperolehi ialah 740.44 mg/L (Jadual 1). Kajian yang dijalankan oleh Alkassasbeh et al. (2009) bagi air larut resap dari tapak pelupusan sampah Sungai Sedu menunjukkan kepekatan ammonia-N yang lebih rendah berbanding kajian ini iaitu 321.22 mg/L. Yusuf et al. (2009) melaporkan nilai ammonia-N air larut resap di tiga buah tapak pelupusan sampah di kawasan Selangor berjalut di antara 112 hingga 3125 mg/L. Kehadiran

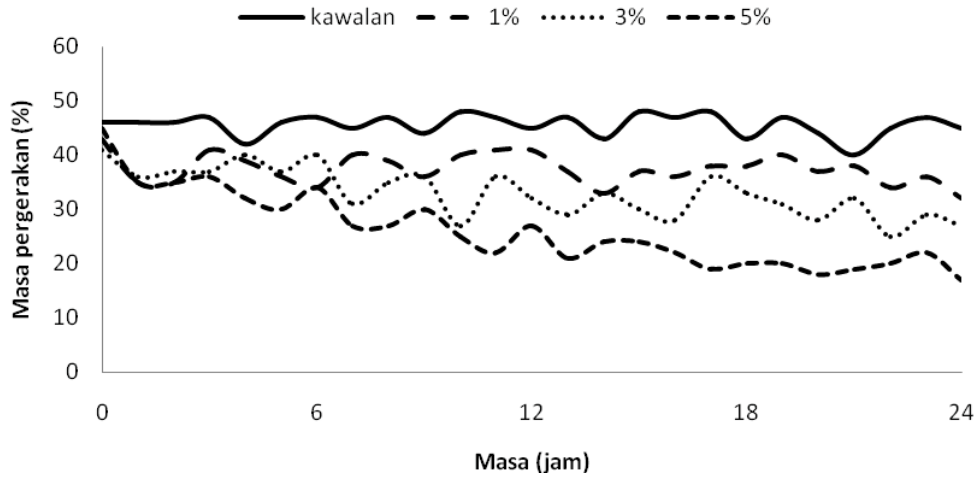
ammonia dan nitrogen organik adalah kebanyakannya disebabkan oleh penguraian bahan organik yang mana stabil dalam keadaan anaerobik dan menjelaskan kehadiran peratusan sebatian nitrogen yang tinggi ditemui dalam air larut resap (McBean et al. 1995). Ammonia cenderung untuk mengumpul dalam sistem tapak pelupusan sisa kerana tiada laluan degradasi bagi ammonia-N dalam sistem anaerobik (Berge 2005). Berbanding dengan bahan organik dalam air larut resap yang boleh berkurangan dengan peningkatan penghasilan metana akibat penguraian sampah, kepekatan nitrogen ammonia selalunya kekal tinggi bagi satu jangka masa yang lama. Proses hidrolisis dan fermentasi bahan organik nitrogen dalam sampah ini boleh meningkatkan perlarutan nitrogen terlarut dan ini akan meningkatkan kepekatan ammonia-N dalam air larut resap yang lebih matang (Jokela & Rintala 2003). Bagi TSS dan TDS kepekatan yang diperoleh di tapak pelupusan sampah Sungai Sedu ialah masing-masing 3517.09 mg/L dan 5987.61 mg/L. Menurut Girard (2005), peningkatan kandungan pepejal terampai menyebabkan air menjadi lebih keruh dan menurunkan penembusan cahaya serta memperlahankan kadar fotosintesis. Keadaan ini menjadi lebih buruk apabila bahan toksik seperti logam dan racun perosak terdapat dalam air tersebut dan akan tertarik kepada pepejal terampai dan akhirnya akan termendap pada sedimen. Kandungan pepejal terampai yang tinggi dalam air boleh membahayakan ikan dengan memberikan kesan terhadap insang dan melemaskan organisma akuatik yang lain. Bagi nilai kekonduksian air larut resap pula nilai puratanya ialah 9377.22 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Secara umumnya, nilai purata kekonduksian yang diperoleh pada kedua-dua kajian ini masih berada dalam julat normal bagi air larut resap yang dilaporkan dari tapak pelupusan sampah di Malaysia (Agamuthu 2001). Perbandingan nilai parameter fiziko-kimia air larut resap yang diperoleh dengan piawaian efluen kebangsaan, Akta Kualiti Alam Sekeliling (1974) (Peraturan-Peraturan Kualiti Alam Sekeliling-Kumbahan dan Efluen-Efluen Perindustrian 1979) menunjukkan parameter suhu dan pH masih berada dalam limit piawaian B, manakala bagi BOD, COD dan TSS melebihi daripada piawaian tersebut (Jadual 1). Bagi nilai sulfat, fosfat dan nitrat, tiada nilai piawai ditetapkan dalam Akta Kualiti Alam Sekeliling (1974). Perbandingan dengan Piawaian Kualiti Air Kebangsaan (NWQS, DOE 2002) menunjukkan nilai sulfat dan fosfat melebihi piawaian Kelas II (Jadual 1). Nilai ini adalah setara dengan kajian Yusuf et al. (2009) yang melaporkan kepekatan nitrat air larut resap di tiga buah tapak pelupusan sampah di kawasan Selangor berjalat di antara 0 dan 91.75 mg/L.

Purata kepekatan logam berat dalam air larut resap dari tapak pelupusan sampah Sungai Sedu, Banting ditunjukkan dalam Jadual 1. Kepekatan Al, As, Cd, Pb, dan Ni yang diperoleh dalam kajian ini didapati lebih rendah daripada nilai kepekatan logam berat yang ditetapkan dalam Akta Kualiti Alam Sekeliling 1974 (Peraturan-Peraturan Kualiti Alam Sekeliling-Kumbahan dan Efluen-Efluen Perindustrian 1979) Piawaian B (Jadual 1). Manakala, kepekatan logam Cu, Fe, Mn

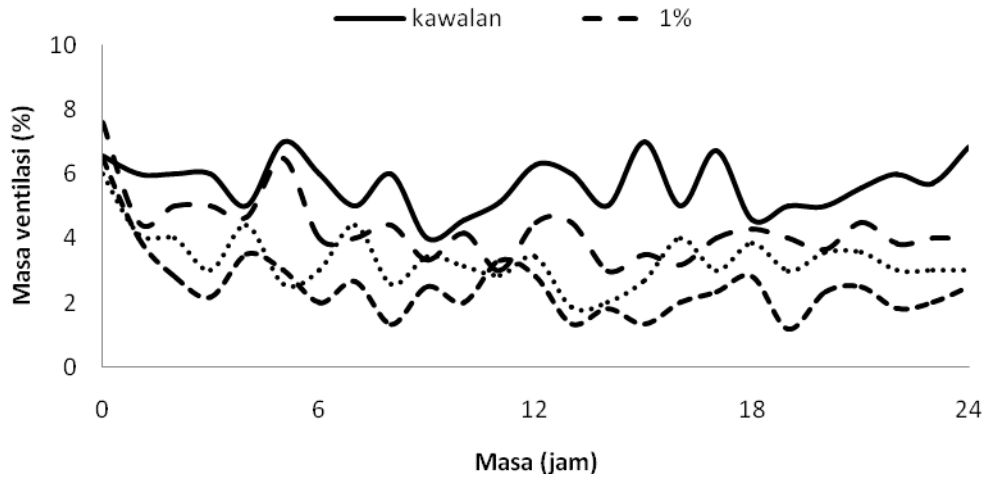
dan Zn adalah melebihi daripada nilai yang ditetapkan dalam piawaian tersebut. Walau bagaimanapun, menurut Crutcher & Yardley (1992) nilai kepekatan logam Cu, Fe, Mn dan Zn berada dalam julat kebiasaan air larut resap bagi tapak pelupusan sampah. Pada masa ini, permintaan terhadap bateri oleh isi rumah semakin meningkat dengan meningkatnya penggunaan perkhidmatan mudah alih seperti kamera, perakam, pemain CD mudah alih dan sebagainya. Akibatnya, jumlah bateri yang telah digunakan dan dilupuskan meningkat dan ini telah menjana kepada peningkatan sisa di tapak pelupusan sampah bandaran. Hasil kajian yang dijalankan oleh Karnchanawong & Limpiteeprakan (2006) menunjukkan tapak pembuangan sampah bandaran yang mempunyai pelupusan bateri yang tinggi mempunyai kandungan logam Mn, Fe dan Zn yang tinggi dalam air larut resap berbanding dengan logam berat yang lain. Kemungkinan pelupusan bateri adalah dalam jumlah yang tinggi di tapak pelupusan sampah Sungai Sedu mengakibatkan kandungan logam Mn, Fe dan Zn melebihi daripada yang ditetapkan dalam Piawaian B (Jadual 1). Bagi logam Cu ia nya banyak digunakan dalam racun perosak, bahan makanan ternakan, barang elektrik, tekstil dan cat (Alabaster & Lloyd 1980). Kuprum (Cu) juga merupakan logam yang banyak digunakan di dalam bidang kejuruteraan terutamanya bidang industri elektrik (Hammer 1996). Kepekatan logam Cu dalam air larut resap dari tapak pelupusan sampah Sungai Sedu adalah melebihi nilai piawaian yang ditetapkan berkemungkinan kerana terdapatnya banyak perkakasan elektrik yang dilupuskan di tapak tersebut. Bagi logam berat yang lain, kepekatan yang diperoleh adalah lebih rendah daripada nilai kepekatan logam berat yang ditetapkan dalam Piawaian B. Susunan kepekatan logam berat dalam air larut resap tapak pelupusan sampah Sungai Sedu, Banting ialah $\text{Cd} < \text{Pb} < \text{As} < \text{Ni} < \text{Mn} < \text{Cu} < \text{Al} < \text{Zn} < \text{Fe}$. Keputusan yang sama turut dilaporkan oleh Yusuf et al. (2009) bagi air larut resap di tiga buah tapak pelupusan sampah di Selangor. Air larut resap dari tapak pelupusan sampah kajian ini masih boleh dikategorikan sebagai sederhana tercemar dengan logam berat mungkin disebabkan nilai pH yang tinggi iaitu 8.1 menyebabkan kurang berlakunya keterlarutan logam dan juga proses permendakan. Kajian Yusuf et al. (2009) juga mendapati kepekatan logam dalam air larut resap adalah tinggi di tapak pelupusan sampah yang masih baru dan aktif berbanding di tapak pelupusan sampah yang telah lama.

BIOMONITOR MULTISPESIES AIR TAWAR (MFB)

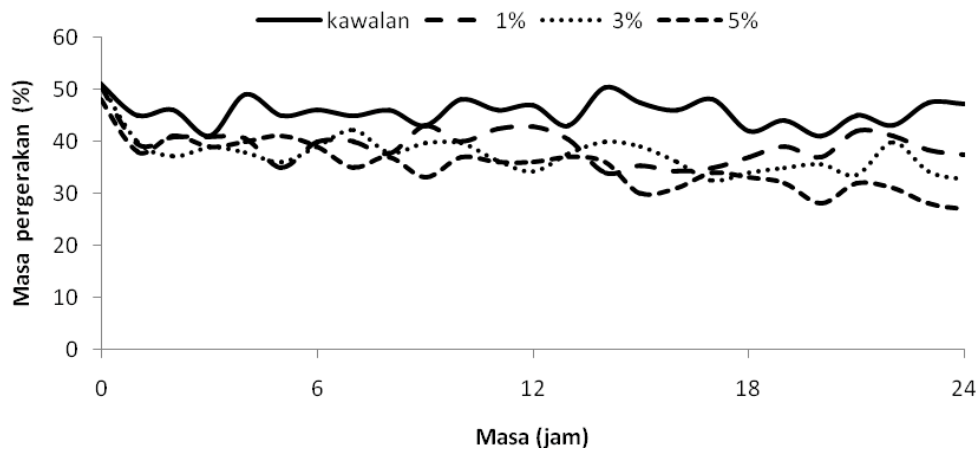
Respons pergerakan dan ventilasi udang dan ikan gapi yang direkodkan oleh alat MFB apabila didedahkan kepada kepekatan larutan air larut resap yang berbeza ditunjukkan dalam Rajah 2-5. Rajah 2 menunjukkan pergerakan *M. lanchesteri* semakin tidak aktif dengan peningkatan kepekatan pendedahan air larut resap di mana peratus masa yang dihabiskan untuk pergerakan ialah $37.09 \pm 3.59\%$ bagi pendedahan terhadap kepekatan air larut resap terendah (1%), $33.06 \pm 4.25\%$ bagi kepekatan sederhana



RAJAH 2. Peratus masa yang dihabiskan oleh *Macrobrachium lanchesteri* bagi pergerakan dan aktiviti-aktiviti perlahan seperti berenang dan berjalan dalam keadaan tanpa tekanan (kawalan) dan kepekatan pendedahan air larut resap yang berbeza



RAJAH 3. Peratus masa yang dihabiskan oleh *Macrobrachium lanchesteri* bagi ventilasi dalam keadaan tanpa tekanan (kawalan) dan kepekatan pendedahan air larut resap yang berbeza



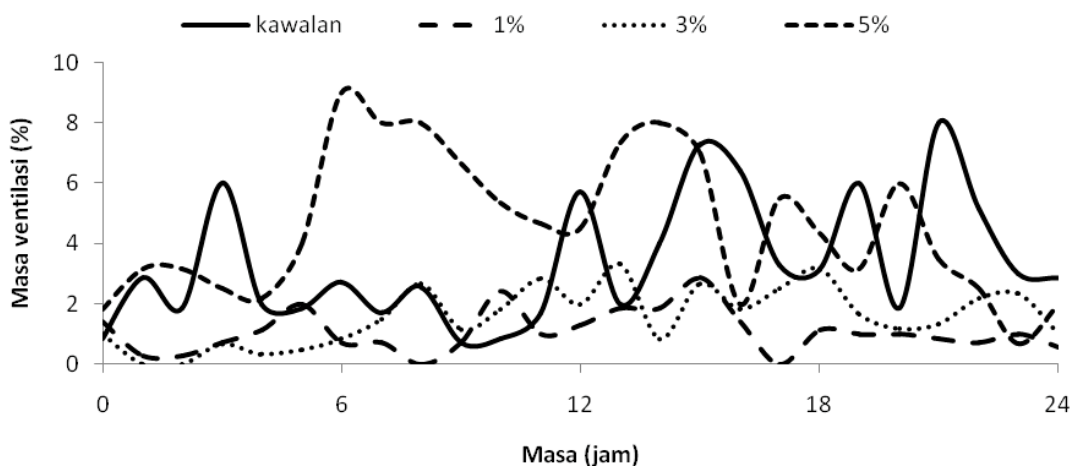
RAJAH 4. Peratus masa yang dihabiskan oleh *Poecilia reticulata* bagi pergerakan dan aktiviti-aktiviti perlahan seperti berenang dan berjalan dalam keadaan tanpa tekanan (kawalan) dan kepekatan pendedahan terhadap air larut resap yang berbeza

(3%) dan $25.70 \pm 6.63\%$ bagi kepekatan tertinggi (5%). Berdasarkan ujian Kruskal Wallis yang dijalankan, secara keseluruhannya terdapat perbezaan yang bererti antara kawalan dan pendedahan pada kepekatan air larut resap yang berbeza ($\chi^2(3) = 429.05, p=0.000$ ($p<0.001$)). Ujian Mood Median menunjukkan terdapat perbezaan yang bererti antara kawalan dan kesemua kepekatan air larut resap ($p<0.001$). Ventilasi *M. lanchesteri* juga menunjukkan terdapat trend pengurangan ventilasi dengan peningkatan kepekatan pendedahan air larut resap (Rajah 3). Ventilasi udang bagi kawalan ialah $5.12 \pm 1.09\%$ berbanding dengan pendedahan terhadap kepekatan air larut resap terendah (1%) ialah $3.90 \pm 1.23\%$, kepekatan sederhana (3%) ialah $3.48 \pm 0.88\%$ dan kepekatan tertinggi (5%) ialah $2.62 \pm 1.18\%$. Ujian statistik Kruskal Wallis menunjukkan terdapat perbezaan yang bererti secara keseluruhannya antara setiap pendedahan yang dijalankan ($\chi^2(3) = 240.54, p=0.000$ ($p<0.001$)), manakala ujian Mood Median menunjukkan terdapat perbezaan yang bererti antara kawalan dan kesemua kepekatan air larut resap yang berbeza ($p<0.001$). Pengurangan ventilasi ini boleh dikaitkan dengan reaksi udang untuk mengurangkan pengambilan bahan pencemar dalam air melalui insang. Insang merupakan salah satu cara utama kemasukan logam dalam organisma akuatik (Gerhardt 1992). Dalam kajian ini, pengurangan kadar ventilasi yang ditunjukkan oleh *M. lanchesteri* merupakan tindak balas untuk mengurangkan kemasukan bahan pencemar ke dalam tubuh. Kajian ini menunjukkan kelakuan *M. lanchesteri* adalah sangat dipengaruhi oleh kepekatan pendedahan air larut resap yang berbeza. Kedua-dua gerak balas pergerakan dan ventilasi *M. lanchesteri* menunjukkan penurunan dengan peningkatan kepekatan pendedahan air larut resap. Hasil yang serupa juga turut diperoleh oleh Shuhaimi-Othman et al. (2010a), dengan pergerakan dan ventilasi *M. lanchesteri* didapati menurun daripada peringkat tanpa tekanan (kawalan) ke peringkat pendedahan yang lebih tinggi iaitu 1 ppb dan 10 ppb pendedahan terhadap logam Cd. Kajian oleh Gerhardt et al. (2004) dengan menggunakan

spesies krustasea yang berlainan iaitu udang *Atyaephyra desmaresti* menunjukkan penurunan aktiviti pergerakan udang secara keseluruhannya dengan peningkatan pendedahan terhadap tekanan iaitu pengurangan pH dalam sampel air lombong berasid.

Bagi ikan gapi *P. reticulata*, ia menunjukkan trend pengurangan pergerakan dengan peningkatan kepekatan pendedahan air larut resap (Rajah 4). Dalam keadaan tanpa tekanan (kawalan), peratus pergerakan ikan gapi ialah sebanyak $42.19 \pm 5.64\%$, pendedahan terhadap kepekatan air larut resap terendah (1%) ialah $39.88 \pm 4.26\%$, kepekatan sederhana (3%) ialah $37.63 \pm 3.75\%$ dan pendedahan kepekatan kandungan air larut resap tertinggi (5%) ialah $36.43 \pm 4.77\%$. Walau bagaimanapun, trend pengurangan pergerakan ikan gapi ini adalah kurang jelas jika dibandingkan dengan peratus pengurangan pergerakan udang *M. lanchesteri*. Keadaan ini mungkin disebabkan dalam perbandingan respons kelakuan yang diukur dengan MFB antara ikan dan udang, ikan selalunya bersifat lebih tertekan apabila berada dalam kebuk ujikaji disebabkan ia nya merupakan organisma pelagik yang sentiasa berenang berbanding udang yang merupakan organisma bentik (Gerhardt et al. 2002). Ini menyebabkan perbezaan yang kurang jelas antara kawalan dan pendedahan terhadap kepekatan air larut resap yang menyebabkan kesukaran dalam menilai perbezaan pergerakan ikan gapi bagi pendedahan kepekatan air larut resap yang berbeza. Walau bagaimanapun ujian statistik Kruskal Wallis menunjukkan terdapat perbezaan yang bererti antara kawalan dan pendedahan terhadap kepekatan air larut resap berbeza yang dijalankan ($\chi^2(3) = 95.19, p=0.000$ ($p<0.001$)). Melalui ujian Mood Median menunjukkan terdapat perbezaan yang bererti antara kawalan dan kesemua pendedahan kepekatan air larut resap yang berbeza ($p<0.001$).

Bagi kadar ventilasi *P. reticulata* pula, ianya tidak begitu jelas (Rajah 5) di mana peratus ventilasi ikan gapi pada keadaan tanpa tekanan (kawalan) ialah $3.55 \pm 2.66\%$, berbanding dengan pendedahan kepada kepekatan air



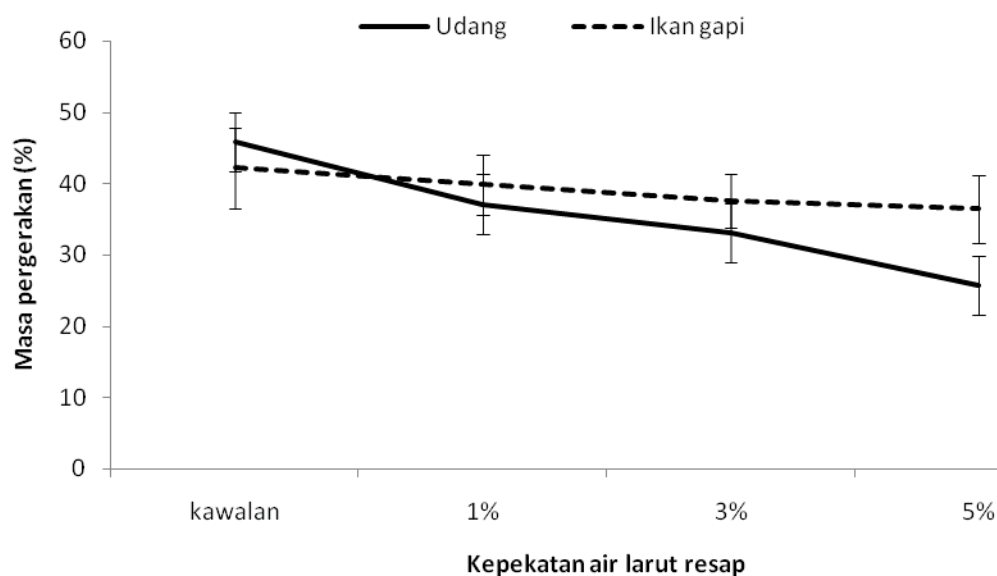
RAJAH 5. Peratus masa yang dihabiskan oleh *Poecilia reticulata* bagi ventilasi dalam keadaan tanpa tekanan (kawalan) dan kepekatan pendedahan air larut resap yang berbeza

larut resap terendah (1%) ialah $1.23 \pm 0.84\%$, kepekatan sederhana (3%) $1.83 \pm 1.24\%$ dan kepekatan tertinggi (5%) $4.99 \pm 2.75\%$. Secara keseluruhannya, peratus ventilasi ikan gapi menunjukkan trend peningkatan dengan peningkatan kepekatan pendedahan air larut resap daripada 1% ke 5%. Walau bagaimanapun, tiada trend yang jelas jika dibandingkan dengan kawalan. Ujian statistik Kruskal Wallis menunjukkan terdapat perbezaan yang bererti secara keseluruhannya antara kawalan dan pendedahan terhadap kepekatan air larut resap berbeza yang dijalankan ($\chi^2(3) = 241.49, p=0.000$ ($p < 0.001$)). Ujian Mood Median menunjukkan terdapat perbezaan yang bererti antara kawalan dan kesemua kepekatan pendedahan air larut resap yang berbeza ($p < 0.001$). Kajian oleh Shuhaimi-Othman et al. (2010a) dengan MFB menggunakan logam Cd memperoleh hasil yang hampir sama dengan hasil kajian ini di mana gerak balas pergerakan ikan gapi adalah tidak begitu nyata walaupun terdapat trend di mana *P. reticulata* menjadi semakin kurang aktif dengan peningkatan kepekatan, manakala kesan terhadap kadar ventilasi ikan gapi adalah semakin meningkat dengan peningkatan kepekatan pendedahan logam Cd. Keadaan ini berkemungkinan kerana ikan gapi telah menjadi semakin lemah dan tertekan dengan peningkatan kepekatan pendedahan pencemar dan menyebabkan aktiviti pergerakannya turut berkurang dan hanya menumpukan kepada aktiviti ventilasi sahaja.

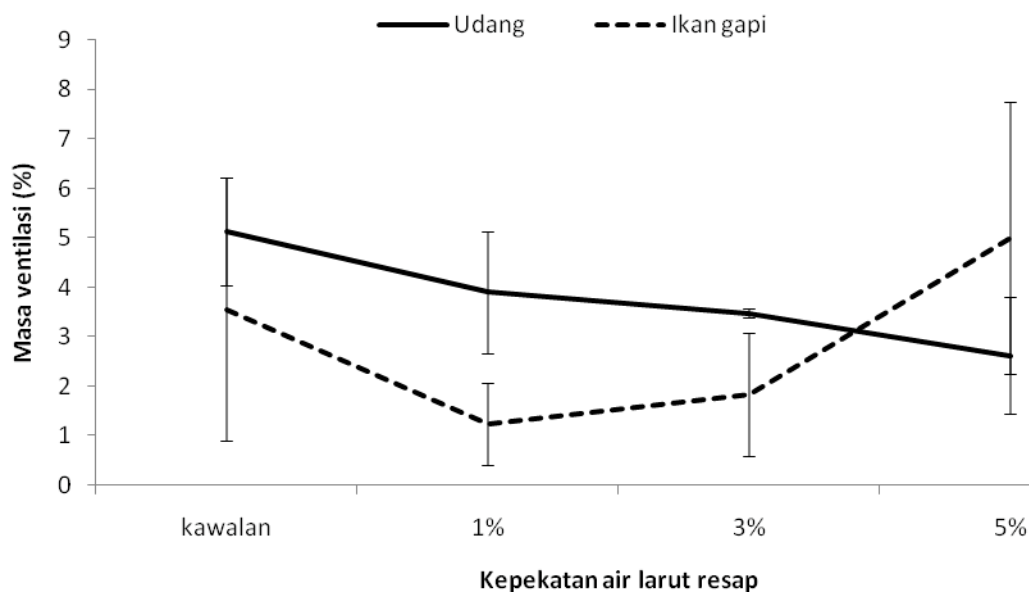
Hasil daripada kajian ini menunjukkan pergerakan dan ventilasi udang *M. lanchesteri* dan ikan gapi *P. reticulata* adalah dipengaruhi oleh kepekatan pendedahan air larut resap. Pendedahan yang berbeza memberikan respons yang berbeza terhadap organisma iaitu udang pada mulanya akan meningkatkan kadar ventilasi diikuti penurunan kadar ventilasi dan pergerakan manakala bagi ikan pada permulaannya cuba untuk melarikan diri kemudian diikuti

peningkatan ventilasi (Gerhardt et al. 2002). Walau bagaimanapun, trend pergerakan dan ventilasi *P. reticulata* yang diperhatikan adalah kurang jelas berbanding trend yang ditunjukkan oleh *M. lanchesteri*. Kajian ini menunjukkan bahawa *M. lanchesteri* adalah lebih sensitif terhadap pencemaran air larut resap berbanding *P. reticulata*. Kajian yang dibuat oleh Shuhaimi-Othman et al. (2010a) dengan menggunakan alat MFB juga mendapati *M. lanchesteri* adalah lebih sensitif terhadap logam Cd berbanding *P. reticulata*. Kajian ketoksikan akut yang telah dijalankan juga menunjukkan udang *M. Lanchesteri* adalah lebih sensitif terhadap logam berat seperti Cu dan Cd berbanding ikan gapi *P. reticulata* (Shuhaimi-Othman et al. 2010b; Shuhaimi-Othman et al. 2011). Rajah 6 menunjukkan bahawa bagi *M. lanchesteri* dan *P. reticulata*, daripada segi kelakuan pergerakan jelas menunjukkan penurunan aktiviti pergerakan dengan peningkatan kepekatan pendedahan air larut resap. Bagi kadar ventilasi pula, Rajah 7 jelas menunjukkan pengurangan kadar ventilasi *M. lanchesteri* dengan peningkatan kepekatan pendedahan air larut resap. Manakala, keputusan yang sebaliknya diperolehi bagi kadar ventilasi *P. reticulata* di mana secara keseluruhannya terdapat trend peningkatan ventilasi berlaku dengan peningkatan kepekatan pendedahan air larut resap.

Perubahan dalam respons ventilasi ikan telah lama dikaji dan digunakan bagi tujuan penilaian terhadap pelbagai jenis bahan kimia dan toksik yang terdapat dalam persekitaran (Cairns & Van der Schalie 1980). Beberapa bidang kajian seperti yang dijalankan oleh Lipton et al. (1997) dan DeLonay et al. (1997) telah mengesahkan bahawa ikan akan mengelak daripada bahan pencemar seperti logam Cu dan Zn. Dua kajian yang dijalankan oleh Gerhardt et al. (2002, 2005), yang melibatkan perbandingan antara kumpulan krustasea dan ikan kecil melaporkan bahawa krustasea (udang air tawar



RAJAH 6. Perbandingan gerak balas pergerakan *Macrobrachium lanchesteri* dan *Poecilia reticulata* terhadap peningkatan kepekatan pendedahan air larut resap



RAJAH 7. Perbandingan gerak balas ventilasi *Macrobrachium lanchesteri* dan *Poecilia reticulata* terhadap peningkatan kepekatan pendedahan air larut resap

seperti *Macrobrachium nipponense* dan *Daphnia magna*) adalah sama atau lebih sensitif terhadap pencemaran (saliran lombong berasid, air buangan perbandaran dan farmaseutikal) berbanding ikan (*Oryzias latipes* dan *Gambusia holbrooki*). Janssens de Bisthoven et al. (2006) mencadangkan kepentingan penggunaan udang dalam permonitoran MFB dan di samping sensitiviti yang tinggi, udang juga turut mempunyai beberapa kelebihan lain seperti penerimaan daripada segi etika yang lebih tinggi berbanding ikan dalam ekotoksikologi, peningkatan kepentingan dalam ekonomi akuakultur serta kepentingan ekologi terutamanya 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 penentuan parameter fiziko-kimia sahaja. Walaupun kepekatan air larut resap yang didedahkan hanya berkepekatan 1-5%, respons pergerakan dan ventilasi organisma kajian dapat mengesan kehadiran bahan pencemar dalam air larut resap ini dengan menggunakan alat MFB. Ini jelas menunjukkan kelebihan penggunaan respons kelakuan dalam mengesan pencemar di dalam air dan sangat sesuai digunakan dalam pemantauan kualiti air.

Secara keseluruhannya, dapat diperhatikan bahawa gerak balas pergerakan dan ventilasi *M. lanchesteri* adalah lebih jelas dan sensitif terhadap pendedahan kepekatan air larut resap yang berbeza berbanding gerak balas *P. reticulata* yang menunjukkan gerak balas pergerakan dan ventilasi yang kurang jelas. Kajian ini menunjukkan *M. lanchesteri* merupakan spesies tempatan yang lebih sesuai dijadikan sebagai organisma penunjuk bagi MFB terhadap pencemaran air larut resap berbanding ikan gapi. Isyarat

gerak balas organisma air tawar ini boleh diaplikasikan bagi memantau dan meningkatkan keberkesanan program kawalan sistem air daripada pencemaran air larut resap khususnya. Ini adalah kerana sistem amaran awal biologi ini dapat mengesan kesan bahan pencemar ke atas organisma walaupun dalam kepekatan yang rendah yang terdapat dalam persekitaran, selain daripada menjimatkan kos.

KESIMPULAN

Nilai parameter fiziko-kimia air larut resap yang diperoleh menunjukkan parameter suhu dan pH masih berada dalam limit piawaian B (piawaian efluen kebangsaan), manakala bagi BOD, COD dan TSS melebihi daripada piawaian tersebut. Kepekatan DO adalah rendah manakala kepekatan logam Fe, Zn dan Al adalah yang paling tinggi dalam air larut resap. Bagi udang *M. lanchesteri* gerak balas pergerakan dan ventilasi dapat dilihat dengan jelas menunjukkan trend pengurangan dengan peningkatan kepekatan pendedahan air larut resap. Bagi ikan gapi *P. reticulata*, gerak balas pergerakan dan ventilasi adalah tidak begitu jelas walaupun terdapat trend pengurangan pergerakan dengan peningkatan kepekatan pendedahan air larut resap dan trend peningkatan ventilasi dengan peningkatan kepekatan pendedahan. Kajian ini menunjukkan bahawa *M. lanchesteri* adalah lebih sensitif dan lebih sesuai digunakan sebagai organisma penunjuk bagi MFB terhadap pencemaran air larut resap.

PERNGHARGAAN

Kajian ini telah dibiayai oleh MOSTI di bawah projek Scienfund kod 06-01-02-SF0472.

RUJUKAN

- Agamuthu, P. 2001. *Solid Wastes: Principles and Management with Malaysian Case Studies*. Kuala Lumpur: University of Malaya Press.
- Akta Kualiti Alam Sekeliling. 1974. *Peraturan-Peraturan Kualiti Alam Sekeliling (Kumbahan dan Effluen-Effluen Perindustrian) 1979*. Kuala Lumpur International Law Book Services.
- Alabaster, J.S. & Lloyd, R. 1980. *Water Quality Criteria for Freshwater Fish for the Food and Agricultural Organisation*. Butterworths: United Nations.
- Ali, S. 2009. *Kawasan Pelupusan Sampah Negara Semakin Krikital?* <http://www.kpdnkk.gov.my/.html> [1 Mei 2011].
- Alkassasbeh, J.Y.M., Heng, L.Y. & Surif, S. 2009. Toxicity testing and the effect of landfill leachate in Malaysia on behavior on Common Carp (*Cyprinus carpio* L., 1758; Pisces, Cyprinidae). *American Journal Environmental Sciences* 5 (3): 209-217.
- APHA. 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18th edition. Washington American Public Health Association (APHA).
- Bagchi, A. 1994. *Design, Construction and Monitoring of Landfills*. Edisi ke-2. New York: John Wiley & Sons.
- Berge, N.D., Reinhart, D.R. & Townsed, T.G. 2005. The fate of nitrogen in bioreactor landfills. *Journal of Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 35: 365-399.
- Cairns, J.Jr. & Van der Schalie, W.H. 1980. Biological monitoring part I: early warning system. *Water Resources* 14: 1179-1196.
- Crutcher, A.J. & Yardley, J.R. 1992. Implications of changing refuse quantities and characteristics on future landfill design and operations. Dlm. *Municipal Solid Waste Management: Making Decisions in the Face of Uncertainty*, disunting oleh Haight, M.E. hlm.171-195. Waterloo Ontario: University of Waterloo Press.
- DeLonay, A.J., Little, E.E., Lipton, J. & Hansen, J.A. 1997. Behavioral avoidance and evidence of injury to fishery resources: applications to natural resource damage assessments. Dlm. *Environmental Toxicology and Risk Assessment: Biomarkers and Risk Assessment*, disunting oleh LaPoint T.W., Price, F.T. Little E.E, 4th vol. ASTM STP 1262, hlm. 268-280. Philadelphia: American Society of Testing and Materials (ASTM).
- DOE (Department of Environment Malaysia). 2002. Malaysia Environmental Quality Report 2001. Department of Environment, Ministry of Science, Technology and Environment Malaysia
- Futta, D., Yoscoc, C., Haralambous, K.J. & Loizidou, M. 1997. An assessment of the effect of landfill leachate on groundwater quality. *Proceeding Sardina 97. Sixth. International Landfill Symposium*: 181 – 187.
- Gerhardt, A. 1992. Review of heavy metals on stream invertebrates with special emphasis on acid conditions. *Water Air Soil Pollution* 66: 289-314.
- Gerhardt, A. 1998. A new biomonitor system based on magnetic inductivity for freshwater and marine environment. *Environment International* 24(7): 699-701.
- Gerhardt, A., Clostermann, M., Frilund, B., Svensson, E. 1994. Monitoring of behavioral patterns of aquatic organisms with an impedance conversion technique. *Environment International* 20: 209-219.
- Gerhardt, A., Janssens de Bisthoven, L., Mo, Z., Wang, C., Yang, M. & Wang, Z. 2002. Short- term responses of *Oryzias latipes* (Pisces: Andrianichthyidae) and *Macrobrachium nipponense* (Crustacea: Palaemonidae) to municipal and pharmaceutical wastewater in Beijing, China: survival, behavior, biochemical biomarkers. *Chemosphere* 47: 35-47.
- Gerhardt, A., Janssens de Bisthoven, L. & Soares, A.M.W.M. 2004. Macroinvertebrate responses to acid mine drainage: community and on-line behavioral toxicity bioassay. *Environmental Pollution* 130: 120-131.
- Gerhardt, A., Janssens de Bisthoven, L. & Soares, A.M.W.M. 2005. Evidence for the stepwise stress model: *Gambusia holbrooki* and *Daphnia magna* under acid mine drainage and acidified reference water stress. *Environmental Science and Technology* 39: 4150-4158.
- Girard, J. 2005. *Principles of Environmental Chemistry*. Canada: Jones and Bartlett Publishers.
- Gruber, D., Frago, C.H. & Rasnake, W.J. 1994. Automated biomonitors—first line of defense. *Journal of Aquatic Ecosystem Health* 3: 87-92.
- HACH. 2003. *The Handbook of DR/2500 Laboratory Spectrophotometer*. HACH Company, USA.
- Hammer, M.J. 1996. *Waste and Wastewater Engineering*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Isidori, M., Lavorgna, M., Nardelli, A. & Parrella, A. 2003. Toxicity identification evaluation of leachates from municipal solid waste landfills: a multispecies approach. *Chemosphere* 52: 85-94.
- 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. *Exotoxicology* 15: 215-227.
- Jokela, J.P.Y. & Rintala, J.A. 2003. Anaerobic solubilisation of nitrogen from municipal solid waste (MSW). *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 2: 67–77.
- Karnchanawong, S. & Limpiteeprakan P. 2006. Heavy metal contamination in leachate caused by spent household batteries in municipal wastes. *Journal of Research in Engineering and Technology* 3: 279-289.
- Kjeldsen, P., Barlaz, M.A., Roxker, A.P., Baun, A., Ledin, A. & Christensen, T.H. 2002. Present and long-term composition on MSW landfill leachate: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 32(4): 297-336.
- Koshy, L., Paris, E., Ling, S., Jones, T. & Bérubé, K. 2007. Bioreactivity of leachate from municipal solid waste landfill – assessment of toxicity. *Journal of Science of the Total Environment* 384: 171-181.
- McBean, E.A., Frank, F.A. & Farquhar, G.J. 1995. *Solid Waste Landfill Engineering and Design*. New Jersey: Prentice-Hall PTR.
- Ministry of Housing and Local Government, Malaysia (MHLG), 2005. National Strategic Plan for Solid Waste Management. vol. 1. The Strategic Plan. Kuala Lumpur Local Government Department.
- Penders, E.J.M, Nieuwegein, W.R.K., Hoogenboezem, W. & Haarlem, P.W.N. 2001 *Biological Tests, A Suitable Instrument for the Quality Control of Surface Water?* Association of River Waterworks – RIWA.
- Renou, S., Givaudan, J.G., Poulain, S., Dirassouyan, F. & Moulin, P. 2008. Landfill leachate treatment: review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials* 150: 468-493.
- Shuhaimi-Othman, M., Azmah, M. & Ahmad, A.K. 2010a. Penggunaan biopenunjuk multispecies air tawar dalam menilai perubahan kelakuan ikan gapi, *Poecilia reticulata*

- dan udang air tawar, *Macrobrachium lanchesteri* terhadap logam kadmium. *Sains Malaysiana* 39(4): 549-555.
- Shuhaimi-Othman, M., Nadzifah, Y. & Ahmad, A.K. 2010b. Toxicity of Copper and Cadmium to Freshwater Fishes. *World Academy of Science and Technology* 65: 1173-1176.
- Shuhaimi-Othman, M., Nadzifah, Y., Nur-Amalina, R. & Ahmad, A. 2011. Sensitivity of the freshwater prawn, *Macrobrachium lanchesteri* (Crustacea: Decapoda), to heavy metals *Toxicology and Industrial Health* 27(6): 523-530.
- Yusof, N., Haraguchi, A., Hassan, M.A., Othman, M.R., Wakisaka, M. & Shirai, Y. 2009. Measuring organic carbon, nutrients and heavy metals in rivers receiving leachate from controlled and uncontrolled municipal solid waste (MSW) landfills. *Waste Management* 29: 2966-2680.

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; e-mail: shuhaimi@ukm.my

Diserahkan: 18 Ogos 2011
Diterima: 18 November 2011