

Kebolehpayaan Fitoremediasi oleh *Azolla pinnata* dalam Merawat Air Sisa Akuakultur (Phytoremediation Capability by *Azolla pinnata* in Aquaculture Wastewater Treatment)

FARAH DIYANA ARIFFIN, AZHAR ABDUL HALIM*, MARLIA MOHD HANAFIAH & NOR AZIRA RAMLEE

ABSTRAK

*Isu kekurangan sumber air bersih merupakan salah satu masalah utama pada masa kini. Bahan pencemar di dalam air merupakan antara penyumbang kepada masalah ini. Salah satu alternatif yang utama dalam penyingkiran bahan pencemar daripada air sisa adalah melalui kaedah fitoremediasi. Kajian ini bertujuan mengkaji kecekapan *Azolla pinnata* dalam merawat air sisa menggunakan kaedah fitoremediasi. Keberkesanan *A. pinnata* untuk menyerap nutrien adalah bergantung kepada kualiti air sisa dan kuantiti *A. pinnata* yang digunakan. Seterusnya satu uji kaji untuk menentukan biojisim *A. pinnata* selepas rawatan fitoremediasi telah dijalankan. Dalam hasil kajian ini, ammonia dan fosfat merupakan parameter yang utama dalam menentukan keberkesanan rawatan air sisa akuakultur menggunakan kaedah fitoremediasi *A. pinnata*. Hasil kajian menunjukkan penurunan drastik nilai ammonia apabila air sisa dirawat menggunakan *A. pinnata* iaitu daripada nilai bacaan purata 7.47 ke 1.67 mg/L. Sementara itu, kepekatan fosfat juga menunjukkan penurunan ketara selepas air sisa dirawat dengan *A. pinnata* daripada nilai purata 5.73 kepada 1.22 mg/L. Hasil daripada rawatan air sisa akuakultur dengan menggunakan fitoremediasi *A. pinnata* dapat menunjukkan perubahan disebabkan oleh peningkatan biojisim dengan nilai tertinggi 147.26 gram.*

*Kata kunci: Akuakultur; *Azolla pinnata*; fitoremediasi; rawatan air sisa*

ABSTRACT

*The issue of lack of clean water sources is one of the main problems today. Pollutants in the water is one of the contributors to the problem. One of the major alternatives in the removal of pollutants from wastewater is through phytoremediation. The objective of this research was to determine the efficiency of phytoremediation method in treating wastewater using *Azolla pinnata*. The efficacy of *A. pinnata* to absorb nutrients is dependent on the quality of wastewater and the quantity of *A. pinnata*. Further, an experiment to determine the *A. pinnata* biomass by phytoremediation method was carried out. The results of this study show that ammonia and phosphate were the main parameters in determining the effectiveness of aquaculture wastewater treatment using *A. pinnata*. The results showed a drastic decline in the ammonia when the wastewater was treated with *A. pinnata* from the average reading value of 7.47 to 1.67 mg/L. Meanwhile, phosphate concentration also showed a drastic decline after the wastewater was treated with *A. pinnata* from the average value of 5.73 to 1.22 mg/L. The results of treatment of aquaculture wastewater by using phytoremediation of *A. pinnata* was able to show changes due to an increase in biomass with the highest value of 147.26 gram.*

*Keywords: Aquaculture; *Azolla pinnata*; phytoremediation: wastewater treatment*

PENGENALAN

Akuakultur atau juga dikenali sebagai pertanian ikan, kerang dan tumbuhan akuatik adalah antara sektor ekonomi dunia yang paling pesat berkembang. Pengeluaran akuakultur global lebih daripada dua kali ganda dalam jumlah dan nilai sepanjang dekad yang lalu dan kini membekalkan satu pertiga makanan laut yang diperlukan di seluruh dunia (Naylor et al. 2001). Pengeluaran makanan yang berasaskan ikan di seluruh dunia melalui sektor akuakultur adalah sebanyak 73.8 juta tan pada tahun 2014, jumlah pengeluaran akuakultur global, termasuk tumbuh-tumbuhan akuatik ternakan adalah 101.1 juta tan yang bernilai AS \$165.8 bilion (FAO 2016). Asia menguasai pengeluaran ini dengan menyumbang sebanyak 88.91% daripada jumlah

pengeluaran pada tahun 2014 (Nadarajah & Flaaten 2017).

Statistik mengenai pengambilan ikan per kapita dunia menunjukkan penggunaannya meningkat secara beransur-ansur dan pada tahun 2013, penggunaan ikan per kapita dunia adalah 19.7 kg (FAO 2016). Pertumbuhan berterusan dalam pengeluaran akuakultur telah meningkatkan purata penggunaan makanan laut pada peringkat global. Sumbangan sektor akuakultur global kepada bekalan makanan laut untuk kegunaan manusia mengatasi tangkapan perikanan pada tahun 2014 (FAO 2016). Akuakultur kini lebih penting daripada perikanan sebagai sumber makanan laut untuk kegunaan manusia. Penggunaan ikan dianggarkan terus meningkat di negara-negara Asia, Afrika, Amerika dan Negara Eropah pada

tahun 2010-2030 (Kobayashi et al. 2015). Memandangkan sumbangan oleh sektor akuakultur global kepada keselamatan makanan, pembangunan lestari sektor akuakultur adalah penting untuk memenuhi permintaan masa hadapan daripada penduduk dunia sebanyak 9.6 bilion menjelang 2050 (Nadarajah & Flaaten 2017).

Walau bagaimanapun, sektor akuakultur boleh memberikan kesan yang signifikan terhadap alam sekitar dan sumber asli. Pencemaran air yang disebabkan oleh efluen kolam merupakan isu yang sering dikaitkan dengan sektor akuakultur dan membimbangkan kebanyakan negara (Boyd 2003). Perusahaan akuakultur yang menggunakan kolam tidak boleh dijalankan tanpa pelepasan air sisa (Boyd 2003). Kebanyakan pengeluaran udang dan ikan dijalankan di kolam yang menghasilkan air sisa dalam kuantiti yang tinggi terutamanya selepas hujan lebat (Boyd & Queiroz 2001). Walaupun terdapat tarikan dalam penggunaan semula air, atau sistem pengeluaran kitaran tertutup, namun agak sukar bagi menjalankan perusahaan akuakultur tanpa melibatkan pelepasan air sisa (Boyd 2003).

Baja dan makanan digunakan untuk meningkatkan pengeluaran udang dan ikan, dan biasanya, tidak lebih daripada 25% hingga 30% daripada nitrogen dan fosforus yang digunakan untuk kolam ditemui dalam ikan atau udang semasa dituai (Boyd & Tucker 1998). Kolam mempunyai keupayaan yang luar biasa untuk mengasimilasikan nitrogen dan fosforus melalui proses fizikal, kimia dan biologi (Schwartz & Boyd 1994a). Sehubungan itu, kolam sering mempunyai kepekatan nutrien, plankton, pepejal terampai dan permintaan oksigen yang lebih tinggi daripada badan-badan air di mana ia dilepaskan (Schwartz & Boyd 1994b). Oleh itu, air sisa kolam adalah sumber pencemaran yang berpotensi dalam badan air yang menerima air sisa kolam tersebut.

Pada tahun 1990, kaedah fitoremediasi diperkenalkan sebagai satu teknologi dan juga alternatif yang digunakan untuk menyingkirkan bahan pencemar (Nor Rifhan Syuhada et al. 2015). Fitoremediasi iaitu penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan bahan pencemar daripada alam sekitar, merupakan bidang penyelidikan yang semakin berkembang dalam kajian alam sekitar kerana kelebihannya yang mesra alam dan kos efektif (Wang et al. 2011). Agen fitoremediasi yang paling ideal dan efisien perlu digunakan untuk menjalankan kaedah fitoremediasi ini. Spesies tumbuhan akuatik yang sesuai sebagai agen fitoremediasi adalah mempunyai biojisim yang tinggi, cepat membiak, mempunyai sistem akar yang baik dan mudah ditanam (Clemens et al. 2002). Kajian Arora et al. (2006) mendapati tumbuhan *Azolla* sp. boleh membiak dengan cepat serta sangat efisien menjadi agen fitoremediasi bagi menyingkirkan sisa logam berat daripada persekitaran akuatik yang tercemar. Selain digunakan sebagai agen fitoremediasi, *Azolla* sp. juga digunakan sebagai makanan ikan disebabkan ia mempunyai kandungan protein dan karbohidrat yang tinggi (Miranda et al. 2016). Oleh itu, tujuan kajian ini adalah untuk mengkaji kualiti air sisa kolam ikan keli

selepas rawatan fitoremediasi dan kesannya terhadap biojisim *Azolla pinnata*.

BAHAN DAN KAEDAH

TUMBUHAN AKUATIK

Tumbuhan akuatik yang digunakan dalam kaedah penyelidikan ini adalah *Azolla pinnata* bertujuan untuk penyerapan nutrien ammonia dan fosforus di dalam air sisa akuakultur.

FITOREMEDIASI AIR SISA KOLAM IKAN BERSKALA MAKMAL

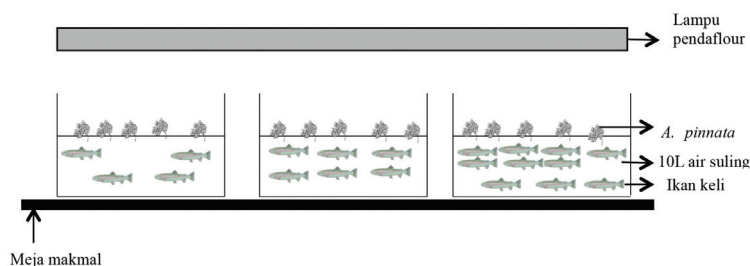
Uji kaji ini dijalankan untuk mengkaji kualiti air sisa kolam ikan selepas proses fitoremediasi dijalankan dan kesannya terhadap biojisim makrofit. *Azolla pinnata* adalah makrofit terapung yang digunakan untuk tujuan rawatan fitoremediasi. Kajian ini dilakukan dalam skala pelantar kolam di dalam makmal di bawah persekitaran terkawal seperti dalam Rajah 1. Sebanyak 10 L air sisa kolam ikan telah digunakan dalam kajian ini. Makrofit yang sihat dipilih dan dibasuh dengan air, supaya nutrien bukan organik yang tidak digunakan dan sukrosa pada permukaan tumbuhan boleh dikeluarkan untuk mengelakkannya daripada mempengaruhi hasil kajian. Tumbuhan tersebut kemudiannya dikeringkan dengan membungkus dengan kain dan ditimbang untuk 100 g sebelum diletakkan sama rata pada permukaan kolam. Kajian fitoremediasi ini dijalankan pada suhu $25 \pm 1^\circ\text{C}$ di bawah tiub pendarfluor (1000 lux) selama 14 hari. 100 mL sampel air dikumpulkan setiap 2 hari bermula pada hari 0 hingga akhir kajian. Sampel air diuji untuk parameter ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$), fosfat (PO_4^{3-}), permintaan oksigen kimia (COD), permintaan oksigen biokimia (BOD) dan oksigen terlarut (DO) untuk menilai perubahan kualiti air semasa tempoh proses fitoremediasi. Pada hari ke-14, makrofit dituai dan dikeringkan dengan teliti dengan cara yang sama semasa persediaan sebelum ditimbang untuk berat bersih terakhirnya.

PENENTUAN PARAMETER KUALITI AIR

Penentuan kandungan oksigen terlarut adalah dengan menggunakan meter oksigen terlarut YSI 5000. Permintaan oksigen biokimia (BOD) pula ditentukan dengan menggunakan kaedah BOD_5 (APHA 1999) dengan bacaan DO pada hari pertama diambil dan sampel air berkenaan disimpan di dalam inkubator pada suhu 20°C selama lima hari. Pada hari kelima, bacaan DO diambil semula dan pengiraan untuk mendapatkan nilai BOD adalah menggunakan formula seperti berikut,

$$\text{BOD} = \text{DO (bacaan pada hari pertama)} - \text{DO (bacaan pada hari kelima)}$$

Penentuan permintaan oksigen kimia (COD) pula ditentukan menggunakan kaedah penghadaman reaktor.



RAJAH 1. Rajah skematik skala pelantar kolam di dalam makmal di bawah persekitaran terkawal

Penghadaman reaktor adalah kaedah penghadaman dan penentuan kolorimeter (3-150, 20-1500 mg/L COD) yang dilulus dan dibenarkan oleh USEPA (HACH 2007). Kemudian, ammonia nitrogen ditentukan menggunakan kaedah Nessler (APHA 1999). Parameter nitrat pula diukur menggunakan kaedah penurunan kadmium dan parameter fosfat dinilai menggunakan kaedah asid askorbik (HACH 2007). Penentuan fosfat ini adalah mengikut kaedah USEPA 365.2 untuk air sisa. Semua sampel dilakukan secara tripliket. Nilai diberikan dalam purata \pm sisihan piawai. Jadual 1 menunjukkan parameter yang terlibat dan kaedah serta alatan yang digunakan dalam menganalisis sampel air sisa tersebut.

ANALISIS STATISTIK

Analisis statistik dijalankan dengan menggunakan perisian *Microsoft Excel* 2013. Semua data bagi parameter fiziko-kimia dalam kajian ini ditunjukkan dalam purata \pm sisihan piawai. Analisis statistik yang digunakan adalah ujian T berpasangan bagi membandingkan antara bacaan purata bagi parameter tanpa rawatan menggunakan *A. pinnata* dengan bacaan purata parameter dengan *A. pinnata* dan aras signifikan ditentukan pada $p < 0.05$.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

FITOREMEDIASI MENGGUNAKAN *Azolla Pinnata*

Terdapat lima parameter yang ditentukan dalam kajian ini iaitu parameter ammonia, fosfat, permintaan oksigen kimia

(COD), permintaan oksigen biokimia (BOD) dan oksigen terlarut (DO). Terdapat tiga sampel air sisa yang disediakan iaitu sampel AZ (4), AZ (6) dan AZ (10). Ketiga-tiga sampel air sisa ini mengandungi jumlah ikan keli yang berbeza. Sampel AZ (4) mengandungi empat ekor ikan, AZ (6) mengandungi enam ekor ikan dan AZ (10) mengandungi 10 ekor ikan. Reka bentuk kajian ditunjukkan dalam Jadual 2.

Kajian dijalankan selama 28 hari dan ia terbahagi kepada dua iaitu hari pertama hingga hari ke-14 merupakan sampel tanpa rawatan menggunakan *A. pinnata* manakala hari ke-16 hingga ke-28 merupakan sampel yang dirawat menggunakan *A. pinnata*. Bacaan kesemua parameter diplotkan dengan menggunakan nilai purata bagi ketiga-tiga sampel melawan hari.

PARAMETER AMMONIA NITROGEN ($\text{NH}_3\text{-N}$)

Rajah 2 menunjukkan plot purata kepekatan ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) melawan hari. Berdasarkan hasil kajian yang diperolehi, dapat dilihat bahawa terdapat perbezaan nilai bacaan kepekatan $\text{NH}_3\text{-N}$ tanpa dirawat dengan *A. pinnata* dan selepas dirawat dengan *A. pinnata*. Bagi plot purata kepekatan $\text{NH}_3\text{-N}$ melawan hari menunjukkan nilai kepekatan $\text{NH}_3\text{-N}$ mempunyai peningkatan bermula daripada hari pertama hingga hari ke-13. Namun, pada hari ke-16 apabila *A. pinnata* mula dimasukkan ke dalam sampel air, nilai kepekatan $\text{NH}_3\text{-N}$ menunjukkan penurunan ketara sehingga mencapai nilai yang minimum pada hari ke-25 dan ke-28.

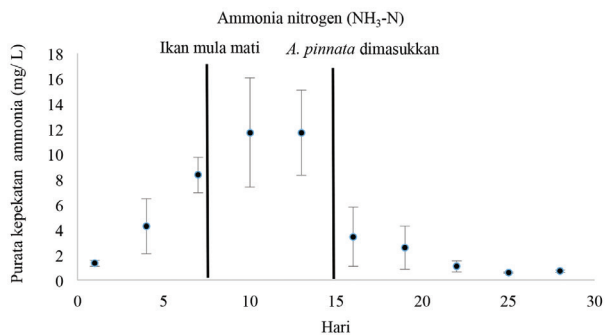
Nilai purata kepekatan $\text{NH}_3\text{-N}$ dalam sampel air tanpa *A. pinnata* ialah 7.47 mg/L manakala nilai purata

JADUAL 1. Kaedah piawaian dan instrumentasi yang digunakan untuk analisis kualiti air hujan

Parameter	Kaedah Piawaian (APHA 1999)	Alat yang digunakan
DO		YSI Pro DO meter
BOD	BOD ₅ (APHA 1999)	Meter Oksigen Terlarut (model YSI 5000)
COD	Kaedah Penghadaman Reaktor (Kaedah 8000)	- HACH DR 2800 Spektrofotometri - Reaktor COD (model 45600)
$\text{NH}_3\text{-N}$	Kaedah Nessler (Kaedah 8038)	HACH DR 2800 Spektrofotometri
Nitrat	Kaedah penurunan kadmium bagi julat 0.3 to 30.0 mg/L $\text{NO}_3\text{-N}$ (Kaedah 8039)	HACH DR 2800 Spektrofotometri
Fosfat	Kaedah asid askorbik bagi julat 0.02 to 2.50 mg/L PO_4^{3-} (Kaedah 8048)	HACH DR 2800 Spektrofotometri

JADUAL 2. Reka bentuk penyediaan air sisa akuakultur

Bekas	Isi padu air (L)	Jumlah ikan (Ekor)	Kuantiti makanan ikan diberi / 2 hari/ikan (Gram)
Bekas AZ (4)	10 Liter	4 ekor ikan	2
Bekas AZ (6)	10 Liter	6 ekor ikan	3
Bekas AZ (10)	10 Liter	10 ekor ikan	5



RAJAH 2. Perubahan kepekatan ammonia selama 28 hari Bacaan dalam purata \pm sisihan piawai ($n=3$)

kepekatan $\text{NH}_3\text{-N}$ dalam sampel air yang dirawat dengan *A. pinnata* pula ialah 1.67 mg/L. Keputusan analisis menggunakan ujian T berpasangan mendapati nilai $p < 0.05$ dan ia menunjukkan terdapat perbezaan nilai $\text{NH}_3\text{-N}$ yang signifikan antara sampel air yang tidak dirawat dengan *A. pinnata* dengan sampel air yang dirawat dengan *A. pinnata*. Keputusan kajian ini mendapati bahawa rawatan air sisa akuakultur ikan keli menggunakan *A. pinnata* lebih berkesan daripada rawatan air sisa akuakultur ikan tilapia menggunakan *Salvinia molesta*, *Eichhornia crassipes* dan *Pistia stratiotes* (Henry-Silva & Camargo 2006) dengan peratus penyingkiran $\text{NH}_3\text{-N}$ menggunakan ketiga-tiga makrofita tersebut masing-masing adalah sebanyak 61.17%, 69.90% dan 65.05%. Manakala penyingkiran $\text{NH}_3\text{-N}$ daripada air sisa akuakultur menggunakan *A. pinnata* adalah sebanyak 77.64%. Namun, kajian yang dilakukan oleh Akinbile dan Yusoff (2012) mendapati purata peratus penyingkiran $\text{NH}_3\text{-N}$ dalam air sisa akuakultur menggunakan *Eichhornia crassipes* dan *Pistia stratiotes* adalah tinggi iaitu melebihi 80%. Abdel-Tawwab (2006) pula melaporkan bahawa peratus penyingkiran $\text{NH}_3\text{-N}$ dalam air sisa akuakultur menggunakan *A. pinnata* adalah dalam julat 11.91% hingga 68.45% dengan ia sedikit rendah berbanding hasil kajian ini.

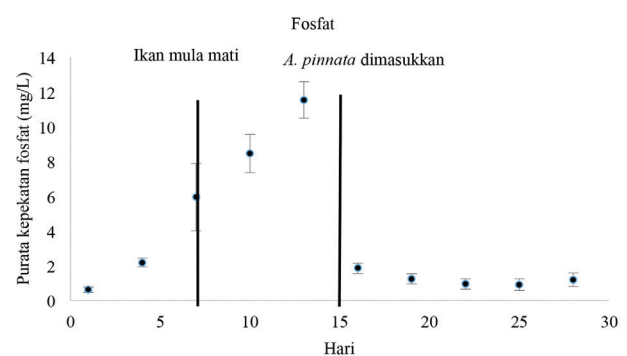
Peningkatan kandungan $\text{NH}_3\text{-N}$ dalam air disebabkan kematian ikan yang bermula pada hari ketujuh. Seterusnya, jumlah ikan juga turut menjadi faktor kepada peningkatan $\text{NH}_3\text{-N}$. Semakin banyak jumlah ikan maka semakin banyak jumlah makanan yang diberikan. Kandungan makanan tersebut boleh meningkatkan tahap ammonia di samping penghasilan najis yang banyak. Menurut Gross et al. (2000) makanan adalah input utama nitrogen dan penambahan makanan yang besar menyebabkan kepekatan

jumlah ammonia yang tinggi dalam air kolam kerana ikan menyingkirkan NH_3 melalui insang.

Penyingkiran $\text{NH}_3\text{-N}$ oleh tumbuhan akuatik *A. pinnata* menurunkan nilai kepekatan $\text{NH}_3\text{-N}$ dalam air sisa. Penyingkiran $\text{NH}_3\text{-N}$ disebabkan oleh mekanisme biologi dalam pengambilan nutrien dan wujudnya penyerapan ammonia (Aziz et al. 2004). Nilai $\text{NH}_3\text{-N}$ mengalami penurunan juga disebabkan pertumbuhan dan pengumpulan bakteria nitrifikasi yang tinggi. Tumbuhan dikatakan mengambil nitrogen bukan organik sebagai ion NH_3^- atau NH_4^+ yang dibantu oleh bakteria (Geenens et al. 2010). *Azolla* sp. mempunyai keupayaan menyingkirkan ammonia daripada air sisa. Semakin rendah kepekatan ammonia, semakin singkat masa yang diperlukan untuk menyingkirkan ammonia daripada air sisa (Carlozzi & Padovani 2016).

PARAMETER FOSFAT

Rajah 3 menunjukkan purata kepekatan fosfat melawan hari. Kadar purata kepekatan fosfat menunjukkan peningkatan secara berturutan bermula daripada hari pertama hingga hari ke-13. Setelah dimasukkan *A. pinnata*, bacaan menunjukkan perubahan drastik pada hari yang ke-16. Bacaan purata kepekatan *A. pinnata* ini kemudiannya mendatar pada hari ke-22 dan 25.



RAJAH 3. Perubahan kepekatan fosfat selama 28 hari. Bacaan dalam purata \pm sisihan piawai ($n=3$)

Terdapat perbezaan yang signifikan terhadap nilai purata kepekatan fosfat dalam sampel air yang tidak dirawat dengan *A. pinnata* dengan sampel air yang dirawat dengan *A. pinnata* dan analisis ujian T berpasangan menunjukkan bahawa nilai $p < 0.05$. Nilai purata kepekatan fosfat dalam sampel air tanpa *A. pinnata* ialah 5.74 mg/L. Manakala,

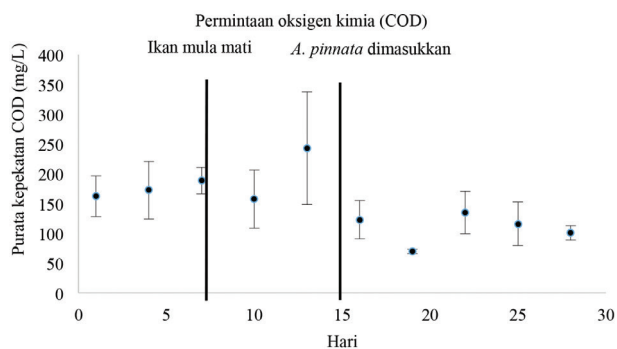
nilai purata kepekatan fosfat dalam sampel air yang dirawat dengan *A. pinnata* ialah 1.22 mg/L. Keputusan ini menunjukkan kaedah fitoremediasi *A. pinnata* berkesan untuk menyingkirkan fosfat daripada air sisa akuakultur. Peratus penyingkiran fosfat menggunakan *A. pinnata* adalah 78.75%. Keputusan kajian ini adalah lebih tinggi berbanding kajian yang dilaporkan oleh Abdel-Tawwab (2006) dan Ferdoushi et al. (2008). Abdel-Tawwab (2006) melaporkan bahawa penyingkiran fosfat menggunakan *A. pinnata* dalam air sisa akuakultur berada dalam julat 30.75% hingga 71.55%. Manakala Ferdoushi et al. (2008) pula mendapati bahawa penyingkiran fosfat oleh *A. pinnata* dalam air sisa akuakultur adalah 36.59%. Deshmukh et al. (2013) pula melaporkan bahawa penyingkiran fosfat menggunakan *Azolla carolinia* dalam air sisa perbandaran adalah sebanyak 67.27%.

Kamaruddin et al. (2013) menyatakan bahawa jumlah penurunan fosfat mungkin disebabkan kepelbagaian substrat yang membawa kepada keberkesanan penyingkiran fosfat. Manakala Sim et al. (2008) mencadangkan bahawa penyingkiran dan penurunan nilai fosfat adalah disebabkan pengambilan oleh tumbuhan. Kropfelova et al. (2009) juga menyatakan bahawa pengurangan fosfat merupakan faktor bagi aktiviti biologi yang menyumbang kepada pengambilan nutrien tersebut oleh tumbuhan. Kepekatan fosfat juga boleh berkurang disebabkan oleh pereputan *Azolla* sp. yang diakibatkan oleh kepadatan populasi (Iwao & Corazon 1990).

PARAMETER PERMINTAAN OKSIGEN KIMIA (COD)

Rajah 4 menunjukkan plot purata kepekatan permintaan oksigen kimia (COD) melawan hari. Berdasarkan graf tersebut, kepekatan COD menunjukkan sedikit peningkatan daripada hari pertama hingga hari ketujuh kerana pada hari ketujuh ikan sudah mulai mati. Bacaan nilai purata kepekatan COD mengalami penurunan pada hari ke-10 dan naik kembali pada hari ke-13. Penurunan ketara nilai COD berlaku pada hari ke-16.

Nilai purata kepekatan COD bagi sampel air tanpa *A. pinnata* ialah 184.53 mg/L manakala nilai purata kepekatan COD bagi sampel air yang dirawat dengan *A. pinnata* pula ialah 108.73 mg/L. Keputusan analisis ujian T berpasangan



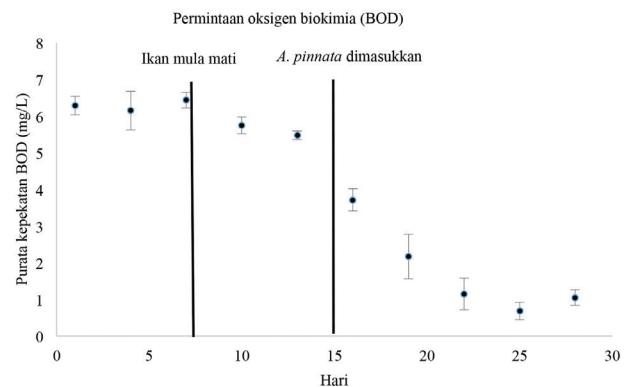
RAJAH 4. Perubahan kepekatan COD selama 28 hari. Bacaan dalam purata \pm sisihan piawai ($n=3$)

ialah $p < 0.05$. Oleh itu, terdapat perbezaan yang signifikan bagi nilai purata COD antara sampel air yang tidak dirawat dengan *A. pinnata* dengan sampel air yang dirawat menggunakan *A. pinnata*. Peratus pengurangan COD dalam kajian ini adalah 41.08%. Keputusan kajian ini adalah lebih kurang sama dengan keputusan kajian yang dijalankan oleh Deshmukh et al. (2013) dan kajian tersebut mendapati peratus pengurangan COD menggunakan *A. caroliniana* adalah 42.93%. Kajian oleh Akinbile dan Yusoff (2012) pula mendapati bahawa peratus pengurangan COD menggunakan *E. crassipes* dan *P. stratiotes* adalah lebih tinggi berbanding *Azolla* sp. iaitu masing-masing adalah 59.02% dan 53.82%. Keputusan kajian oleh Ng et al. (2017) juga mendapati bahawa pengurangan COD menggunakan *Spirodela polyrhiza* dan *Salvinia molesta* dalam air sisa akuakultur adalah lebih tinggi daripada *Azolla* sp. iaitu masing-masing adalah 61.04% dan 59.68%.

Penurunan nilai COD disebabkan dengan kehadiran aktiviti tumbuhan *A. pinnata* yang melibatkan mikroorganisma. Mikroorganisma tersebut boleh memecahkan sebatian organik semasa proses fitoremediasi. Penurunan COD juga mungkin disebabkan oleh proses oksidasi bahan organik untuk kegunaan metabolisme mikroorganisma (Akinbile et al. 2015). Menurut Akinbile dan Yusoff (2012) pula, bahan organik yang terdapat dalam air sisa mengandungi substrat untuk metabolisme mikroorganisma aerobik dan jangka masa pembiakan yang panjang juga mendorong kepada penurunan bacaan COD.

PARAMETER PERMINTAAN OKSIGEN BIOKIMIA (BOD)

Rajah 5 menunjukkan plot purata kepekatan permintaan oksigen biokimia (BOD) melawan hari. Nilai purata kepekatan menunjukkan tren penurunan bermula daripada hari pertama sehingga hari ke-28. Kadar penurunan semakin ketara pada hari ke-16 iaitu apabila *A. pinnata* mula dimasukkan. Nilai purata kepekatan sedikit meningkat pada titik akhir iaitu pada hari ke-28. Hal ini jelas menunjukkan bahawa kadar permintaan oksigen semakin berkurang dengan pertambahan hari selepas didedahkan dengan *A. pinnata*.



RAJAH 5. Perubahan kepekatan BOD selama 28 hari. Bacaan dalam purata \pm sisihan piawai ($n=3$)

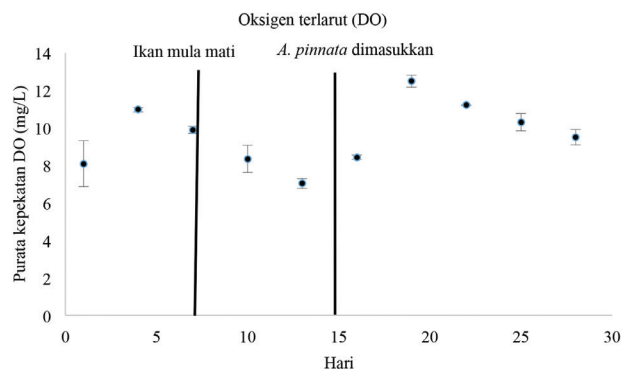
Nilai purata kepekatan BOD bagi sampel air tanpa *A. pinnata* ialah 6.02 mg/L manakala bagi nilai purata kepekatan BOD bagi sampel air yang dirawat dengan *A. pinnata* pula ialah 1.75 mg/L. Nilai tersebut jelas menunjukkan perbezaan kepekatan BOD dengan menggunakan kaedah fitoremediasi *A. pinnata* dengan nilai p yang diperoleh daripada analisis ujian T berpasangan ialah < 0.05 . Keputusan kajian ini menunjukkan peratus pengurangan BOD menggunakan *A. pinnata* adalah 70.93% dan ia lebih tinggi daripada peratus pengurangan BOD menggunakan *E. crassipes*, *P. stratiotes* dan *A. caroliniana* iaitu masing-masing adalah 67.31%, 31.61% dan 66.66% (Deshmukh et al. 2013).

Nilai BOD tidak dapat distabilkan dan diseragamkan kerana terdapat pelbagai mekanisme yang terlibat. Namun, jangka masa operasi yang panjang sama ada dalam masa beberapa jam atau hari boleh menyebabkan perubahan kepada pengurangan bagi kepekatan BOD (Akinbile et al. 2015). Ini kerana jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisma untuk menguraikan bahan organik menurun dengan peningkatan oksigen terlarut dalam air akibat aktiviti fotosintesis (Morrice et al. 2008).

PARAMETER OKSIGEN TERLARUT (DO)

Rajah 6 menunjukkan plot purata kepekatan oksigen terlarut (DO) melawan hari. Berdasarkan graf tersebut, purata kepekatan DO meningkat sedikit daripada hari pertama hingga hari keempat. Namun, selepas hari keempat nilai bacaan menunjukkan penurunan secara berturut sehingga hari ke-13. Setelah dimasukkan *A. pinnata*, bacaan kepekatan DO meningkat sehingga hari ke-19 dan kembali menurun sehingga hari ke-28.

Nilai purata kepekatan DO bagi sampel air tanpa rawatan menggunakan *A. pinnata* ialah 8.86 mg/L manakala purata kepekatan DO bagi sampel air yang dirawat menggunakan *A. pinnata* ialah 10.39 mg/L. Keputusan tersebut menunjukkan pertambahan oksigen terlarut dalam air setelah *A. pinnata* dimasukkan ke dalam sampel air sisa. Nilai p yang diperoleh daripada analisis ujian T berpasangan ialah < 0.05 dan ia menunjukkan bahawa penambahan *A. pinnata* dapat membantu meningkatkan oksigen terlarut secara signifikan dalam sampel air sisa akuakultur. Peratus peningkatan oksigen terlarut dalam kajian ini adalah sebanyak 17.27%. Peratus peningkatan oksigen terlarut dalam kajian ini adalah rendah berbanding peratus peningkatan oksigen dalam air sisa akuakultur yang dirawat oleh *E. crassipes* dan *P. stratiotes* iaitu masing-masing sebanyak 36.55% dan 45.69% (Akinbile & Yusoff 2012). Namun, peningkatan oksigen yang tinggi dalam rawatan tersebut adalah disebabkan oleh proses pengudaraan. Kajian tersebut mendapati bahawa rawatan air sisa akuakultur oleh *E. crassipes* dan *P. stratiotes* tanpa bantuan pengudaraan menyebabkan penurunan kandungan oksigen dalam air sisa tersebut. Kajian oleh Abdel-Tawwab (2006) dan Ferdoushi et al. (2008) juga mendapati bahawa kandungan oksigen sedikit berkurangan dalam air sisa yang dirawat dengan mikrofit.



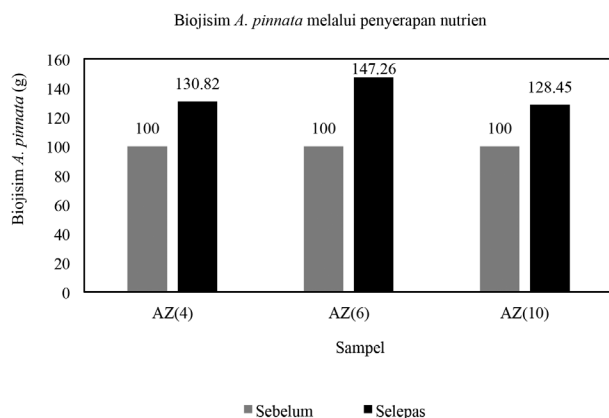
RAJAH 6. Perubahan kepekatan DO selama 28 hari. Bacaan dalam purata \pm sisihan piawai ($n=3$)

Nilai kepekatan oksigen terlarut dalam air sisa akuakultur mempunyai nilai yang tinggi pada permulaan menunjukkan bahawa air berada pada keadaan yang masih elok. Namun selepas hari keempat hingga hari ke-13, bacaan kepekatan oksigen terlarut berkurangan disebabkan peningkatan jumlah ikan yang mati berserta peningkatan najis ternakan kerana penggunaan oksigen digunakan secara optimum untuk menyingkirkan karbon dan nitrogen (Jang et al. 2004).

Setelah dirawat dengan *A. pinnata*, bacaan kepekatan oksigen meningkat semula pada hari ke-19. Peningkatan oksigen dalam air sisa akuakultur disebabkan oleh penyerapan ammonia dan fosfat melalui kaedah fitoremediasi *A. pinnata*. Selain itu, peningkatan DO juga menunjukkan bahawa *A. pinnata* memainkan peranan dalam pemindahan oksigen daripada udara ke sampel air (Raju et al. 2010). Namun, pada hari rawatan ke-28, kadar kepekatan oksigen terlarut kembali menurun sedikit daripada hari sebelumnya. Hal ini disebabkan oleh aktiviti mikroorganisma yang menggunakan oksigen terlarut dalam air tersebut untuk penguraian bahan organik dalam proses respirasi aerobik (Siti Hanna et al. 2014).

BIOJISIM *Azolla Pinnata* MELALUI PENYERAPAN NUTRIEN

Kecekapan kaedah fitoremediasi menggunakan *A. pinnata* dapat ditentukan melalui perbezaan biojisim *A. pinnata* sebelum dan selepas rawatan air sisa akuakultur. Rajah 7 menunjukkan perbezaan biojisim *A. pinnata* sebelum dan selepas penyerapan nutrien bagi ketiga-tiga sampel iaitu AZ (4), AZ (6) dan AZ (10). Biojisim asal *A. pinnata* sebelum berlaku penyerapan adalah sama iaitu 100 gram. Selepas berlakunya penyerapan nutrien, jumlah biojisim *A. pinnata* bagi ketiga-tiga sampel menunjukkan peningkatan. Biojisim *A. pinnata* selepas penyerapan nutrien bagi sampel AZ (4) ialah 130.82 gram, AZ (6) ialah 147.26 gram dan AZ (10) ialah 128.45 gram. Peningkatan biojisim adalah disebabkan penyerapan nutrien dalam air sisa akuakultur. Malar et al. (2015) menyatakan bahawa tumbuhan akuatik yang hidup terapung mudah membiak dengan jumlah nutrien yang tinggi dan menghasilkan biojisim yang tinggi dalam persekitaran akuatik tanpa menunjukkan simptom



RAJAH 7. Perubahan biojisim *A. pinnata* sebelum dan selepas penyerapan nutrien selama 14 hari pembiakan

toksik. Keputusan kajian ini menunjukkan bahawa *A. pinnata* menunjukkan peningkatan biojisim tertinggi sebanyak 47.26%. Nilai ini adalah lebih rendah berbanding kajian Rai (2007) yang melaporkan peningkatan biojisim *A. pinnata* sebanyak 3 kali ganda dalam air sisa kumbahan. *S. molesta* dan *S. polyrhiza* juga menunjukkan peningkatan biojisim yang tinggi dalam air sisa akuakultur iaitu melebihi 80% daripada biojisim asal (Ng et al. 2017).

Merujuk kepada hasil kajian, didapati sampel AZ (10) yang mengandungi air sisa bagi 10 ekor ikan menunjukkan peningkatan biojisim yang sedikit daripada biojisim asal. Hal ini mungkin disebabkan tekanan tindak balas tumbuhan terhadap nutrien yang mampu mengubah kapasiti tumbuhan untuk mengambil atau menyerap nutrien tersebut dan peningkatan pengambilan nutrien juga boleh membawa masalah kepada pertumbuhan tumbuhan tersebut (Almeida et al. 2007; Stepniewska et al. 2005). Namun, kesan tersebut juga bergantung kepada bahan pencemar, spesies tumbuhan serta kepekatan dan jangka masa pendedahan terhadap bahan pencemar (Fazilah et al. 2015; Marlia et al. 2018).

Peningkatan biojisim yang ketara dapat dilihat bagi sampel AZ (6) yang mengandungi sisa ternakan bagi enam ekor ikan. Begum dan Harikrishna (2010) menyatakan bahawa penyerapan nutrien akan meningkat apabila tumbuhan dibiakkan dalam air sisa yang mengandungi kepekatan makronutrien yang tinggi. Tumbuhan akuatik *A. pinnata* dikatakan mempunyai kadar pertumbuhan dan keupayaan penyerapan nitrogen yang tinggi yang membuatkan biojisim *A. pinnata* tersebut kaya dengan nitrogen dan protein (Sharma & Sachdeva 2012).

Penyingkiran nutrien akan menghasilkan biojisim dan kepadatan tisu tumbuhan. Namun kepantasan penyingkiran nutrien adalah terhad (Ebbs et al. 1997). Valderrama et al. (2012) menyatakan bahawa *A. filiculoides* boleh meningkatkan biojisimnya dalam keadaan nutrien yang optimum. Menurut Hechler dan Dawson (1995), *A. pinnata* merupakan tumbuhan akuatik yang sangat sensitif terhadap ammonia dan kewujudan ion ini dalam badan air mampu menggalakkan pertumbuhan *A. pinnata*.

KESIMPULAN

Tiga sampel air sisa iaitu AZ (4), AZ (6) dan AZ (10) telah disediakan dengan jumlah ikan yang berbeza-beza digunakan dalam kajian ini untuk melihat keberkesanan kaedah fitoremediasi menggunakan *A. pinnata* untuk merawat air sisa akuakultur. Kaedah fitoremediasi menunjukkan kemampuan menyingkirkan ammonia dan fosfat melalui penyerapan nutrien oleh *A. pinnata*. Perubahan biojisim melalui penyerapan nutrien juga telah diperhatikan dalam kajian ini. Terdapat peningkatan biojisim *A. pinnata* selepas proses merawat air sisa akuakultur dengan menggunakan kaedah fitoremediasi. Secara keseluruhan, perbezaan yang signifikan bagi purata kepekatan kesemua parameter antara rawatan air menggunakan *A. pinnata* dengan sampel air tanpa *A. pinnata* berjaya menunjukkan bahawa pengurangan nutrien mampu dilakukan dengan menggunakan kaedah fitoremediasi *A. pinnata*.

PENGHARGAAN

Penyelidik ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia kerana telah membiayai penyelidikan ini melalui geran penyelidikan GUP-2017-044.

RUJUKAN

- Abdel-Tawwab, M. 2006. Effect of free-floating macrophyte, *Azolla pinnata* on water physico-chemistry, primary productivity, and the production of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), and Common Carp, *Cyprinus carpio* L., in fertilized earthen ponds. *J. Appl. Aquaculture* 18(1): 21-41.
- Akinbile, C.O., Ogunrinde, T.A., Hasfalina, C.M. & Hamidi, A.Z. 2015. Phytoremediation of domestic wastewaters in free water surface constructed wetlands using *Azolla pinnata*. *Int. J. Phytorem.* 18(1): 54-61.
- Akinbile, C.O. & Yusoff, M.S. 2012. Assessing Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and lettuce (*Pistia stratiotes*) effectiveness in aquaculture wastewater treatment. *Int. J. Phytorem.* 14(3): 201-211.
- Almeida, C.M.R., Dias, A.C., Mucha, A.P., Bordalo, A.A. & Vanconcelos, M.T.S.D. 2007. Influence of surfactant on the cu phytoremediation potential of a salt marsh plant. *Chemosphere* 75: 13-140.
- APHA. 1999. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Edisi ke-20. Washington: American Public Health Association.
- Arora, A., Saxena, S. & Sharma, D.K. 2006. Tolerance and phytoaccumulation of chromium by three *Azolla* species. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 22: 97-100.
- Aziz, H.A., Adlan, M.N., Zahari, M.S.M. & Alias, S. 2004. Removal of ammoniacal nitrogen (N-NH₃) from municipal solid waste leachate by using activated carbon and limestone. *Waste Manage. Res.* 22: 371-375.
- Begum, A. & Harikrishna, S. 2010. Bioaccumulation of trace metals by aquatic plants. *Internat. J. Chem. Tech. Research* 2: 250-254.
- Boyd, C.E. 2003. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. *Aquaculture* 226: 101-112.

- Boyd, C.E. & Queiroz, J. 2001. Feasibility of retention structures, settling basins, and best management practices in effluent regulation for Alabama channel catfish farming. *Reviews in Fisheries Science* 9: 43-67.
- Boyd, C.E. & Tucker, C.S. 1998. *Pond Aquaculture Water Quality Management*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Carlozzi, P. & Padovani, G. 2016. The aquatic fern *Azolla* as a natural plant-factory for ammonia removal from fish-breeding fresh wastewater. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23(9): 8749-8755.
- Clemens, S., Palmgren, M.G. & Krämer, U. 2002. A long way ahead: Understanding and engineering plant metal accumulation. *Trends Plant Sci.* 7: 309-315.
- Deshmukh, A.A., Bandela, N.N., Chavan, J.R. & Nalawade, P.M. 2013. Studies on potential use of water hyacinth, *Pistia* and *Azolla* for municipal waste water treatment. *Indian J. Appl. Res.* 3(11): 226-228.
- Ebbs, S.D., Lasat, M.M., Brady, D.J., Cornish, J., Gordon, R. & Kochian, L.V. 1997. Phytoextraction of cadmium and zinc from a contaminated site. *J. Environ. Quali.* 26: 1424-1430.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2016. *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Rome.
- Fazilah, A.M., Chai, T.T., Azman, A.S. & Dayangku, D.M. 2015. Evaluation of the phytoremediation potential of two medicinal plants. *Sains Malaysiana* 44(4): 503-509.
- Ferdoushi, Z., Haque, F., Khan, S. & Haque, M. 2008. The effects of two aquatic floating macrophytes (*Lemna* and *Azolla*) as biofilters of nitrogen and phosphate in fish ponds. *Turk. J. Fish. Aquat. Sc.* 8: 253-258
- Geenens, D., Bixio, B. & Thoeve, C. 2010. Combined ozone-activated sludge treatment of landfill leachate. *Water Sci. Technol.* 44: 359-365.
- Gross, A., Boyd, C.E. & Wood, C.W. 2000. Nitrogen transformations and balance in channel catfish ponds. *Aquacultural Engineering* 24: 1-14.
- HACH. 2007. *DR 2800 Spectrophotometer: Procedures Manual*. Edisi Ke-2. Jerman: Hach Company.
- Hechler, W.D. & Dawson, J.O. 1995. Factors affecting nitrogen fixation in *Azolla caroliniana*. *Transactions of the Illinois State Academy of Science* 88(3&4): 97-107.
- Henry-Silva, G.G. & Camargo, A.F.M. 2006. Efficiency of aquatic macrophytes to treat Nile Tilapia pond effluents. *Sci. Agric.* 63(5): 433-438.
- Iwao, W. & Corazon, R. 1990. Phosphorus and nitrogen contents of *Azolla* grown in the Philippines. *Soil Science and Plant Nutrition* 36(2): 319-331.
- Jang, J.D., Barford, J.P., Lindawati, K. & Renneberg, R. 2004. Application of biochemical oxygen demand (BOD) biosensor for optimization of biological carbon and nitrogen removal from synthetic wastewater in a sequencing batch reactor system. *Biosens. Bioelectron.* 19: 805-812.
- Kamaruddin, M.A., Mohd Suffian, Y., Abdul Aziz, H. & Akinbile, C.O. 2013. Recent developments of textile waste water treatment by adsorption process: A review. *Inter. J. Sci Res. Knowledge* 1(4): 60-73.
- Kobayashi, M., Msangi, S., Batka, M., Vannuccini, S., Dey, M.M. & Anderson, J.L. 2015. Fish to 2030: The role and opportunity for aquaculture. *Aquac. Econ. Manag.* 19(3): 282-300.
- Kropfelova, L., Vymazal, J., Svehla, J. & Stichova, J. 2009. Removal of trace elements in three horizontal sub-surface flow constructed wetlands in the Czech Republic. *Environ. Poll. J.* 157: 1186-1194.
- Malar, S., Sahi, S.V., Favas, P.J.C. & Venkatachalam, P. 2015. Mercury heavy-metal-induced physiochemical changes and genotoxic alterations in water hyacinths [*Eichhornia crassipes* (Mart.)]. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22(6): 4597-4608.
- Marlia, M.H., Nan Hamiza, S.M.M. & Nur Izzah, H.A.A. 2018. *Salvinia molesta* dan *Pistia stratiotes* sebagai agen fitoremediasi dalam rawatan air sisa kumbahan. *Sains Malaysiana* 47(8): 1625-1634.
- Miranda, A.F., Biswas, B., Ramkumar, N., Singh, R., Kumar, J., James, A., Roddick, F., Lal, B., Subudhi, S., Bhaskar, T. & Mouradov, A. 2016. Aquatic plant *Azolla* as the universal feedstock for biofuel production. *Biotechnol. Biofuels* 9: 221-237.
- Morrice, J.A., Danz, N.P., Regal, R.R., Kelly, J.R., Niemi, G.J., Reavie, E.D., Hollenhorst, T.P., Axler, R.P., Trebitz, A.S., Cotter, A.M. & Peterson, G.S. 2008. Human influences on water quality in Great Lakes coastal wetlands. *Environmental Management* 41: 347-357.
- Nadarajah, S. & Flaaten, O. 2017. Global aquaculture growth and institutional quality. *Marine Policy* 84: 142-151.
- Naylor, R.L., Williams, S.L. & Strong, D.R. 2001. Aquaculture-A gateway for exotic species. *Science* 294: 1655-1656.
- Ng, Y.S., Samsudin, N.I.S. & Chan, D.J.C. 2017. Phytoremediation capabilities of *Spirodela polyrhiza* and *Salvinia molesta* in fish farm wastewater: A preliminary study. *IOP Conf. Series: Mater. Sci. Eng.* 206: 012084.
- Nor Rifhan, S.M.R., Wan Ramlee, W.A.K., Syazuani, M.S., Mohd Zaini, N., Sarini, A.W., Zuraida, J. & Muhammad Izzat, R. 2015. Phytoremediation: Environmental-friendly clean up method. *World Journal of Environmental Pollution* 5(2): 16-22.
- Rai, P.K. 2007. Wastewater management through biomass of *Azolla pinnata*: An eco-sustainable approach. *AMBIO* 36(5): 426-428.
- Raju, A.R., Anitha, C.T., Sidhimol, P.D. & Rosna, K.J. 2010. Phytoremediation of domestic wastewater by using a free floating aquatic angiosperm, *Lemna minor*. *Nature Environment and Pollution Technology* 9(1): 83-88.
- Schwartz, M.F. & Boyd, C.E. 1994a. Channel catfish pond effluents. *Progressive Fish Culturist* 56: 273-281.
- Schwartz, M.F. & Boyd, C.E. 1994b. Effluent quality during harvest of channel catfish from watershed ponds. *Progressive Fish-Culturist* 56: 25-32.
- Sharma, A. & Sachdeva, S. 2012. *Azolla*: Role in phytoremediation of heavy metals. *Int. J. Eng. Sci.* 1: 2277-9698.
- Sim, C.H., Yusoff, M.K., Shutes, B., Ho, S.C. & Mansor, M. 2008. Nutrient removal in a pilot and full scale constructed wetland, Putrajaya City, Malaysia. *J. Environ. Manage.* 88: 307-317.
- Siti Hanna, E., Maketab, M., Aznah, N.A., Khalida, M., Mohd Arif, H.M.H., Nor Othman, M. & Chelliapan, S. 2014. Water hyacinth bioremediation for ceramic industry wastewater treatment-application of rhizofiltration system. *Sains Malaysiana* 43(9): 1397-1403.
- Stepniewska, Z., Bennicilli, R.P., Balakhnina, T.I., Szajnocha, K., Banach, A. & Wolinska, A. 2005. Potential of *Azolla caroliniana* for removal of Pb and Cd from wastewater. *Int. Agrophys.* 19: 251-255.
- Valderrama, A., Tapia, J., Peñailillo, P. & Carvajal, D.E. 2012. Water phytoremediation of cadmium and copper using *Azolla filiculoides* Lam. in a hydroponic system. *Water and Environment Journal* 27(3): 293-300.
- Wang, H., Zhang, H. & Cai, G. 2011. An application of phytoremediation to river pollution remediation. *Procedia Environmental Sciences* 10: 1904-1907.

Farah Diyana Ariffin, Azhar Abdul Halim*,
Marlia Mohd Hanafiah & Nor Azira Ramlee
Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam
Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan
Malaysia

Farah Diyana Ariffin
Pusat Sains Kesihatan dan Gunaan
Fakulti Sains Kesihatan
Universiti Kebangsaan Malaysia
Jalan Raja Muda Abdul Aziz
50300 Kuala Lumpur, Wilayah Persekutuan
Malaysia

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

Diserahkan: 29 Mac 2018

Diterimakan: 15 September 2018