

Kualiti Air dan Nutrien di Tanah Bencah BIOECODS, Kampus Kejuruteraan Universiti Sains Malaysia, Nibong Tebal, Pulau Pinang

*Water Quality and Nutrient in BIOECODS Wetland, Engineering Campus, Universiti Sains Malaysia,
Nibong Tebal, Pulau Pinang*

Nor Adilah Ayob¹, Masitah Zaini¹, Noor Musfirah Musa¹, Sumayyah Aimi Mohd Najib² &
Wan Ruslan Ismail^{1*}

¹Kumpulan Kajian HidroGeomorfologi, Bahagian Geografi,
Pusat Pengajian Ilmu Kemanusiaan, 11800 Minden, Pulau Pinang

²Jabatan Geografi dan Alam Sekitar, Fakulti Sains Kemanusiaan,
Universiti Pendidikan Sultan Idris, 35900 Tanjong Malim, Perak

*e-mel: wruslan@usm.my

Received: 21 June 2016; Accepted: 16 January 2017; Published: 31 October 2017

Abstrak

Sistem Saliran Bio-ekologikal (BIOECODS) merupakan salah satu tanah bencah buatan yang berperanan dalam mengawal atur semua nutrien dan merawat kualiti air ribut. Kajian parameter kualiti air daripada setiap kolam dalam komponen ekologi BIOECODS bermula dari September 2014 hingga Februari 2015 melibatkan persampelan setiap dua minggu untuk mengenalpasti perubahan kualiti dalam sistem BIOECODS tersebut. Antara parameter kualiti air yang diukur di tanah bencah BIOECODS ialah jumlah pepejal terampai (TSS), nitrit-nitrogen (NO₂-N), nitrat-nitrogen (NO₃-N), dan ammonia-nitrogen (NH₃-N). Parameter fizikokimia yang dikaji ialah kekeruhan, konduktiviti, jumlah pepejal terlarut, suhu, oksigen terlarut, dan pH. Hasil kajian menunjukkan kandungan TSS di stesen Wetpond (WP) adalah paling tinggi manakala stesen Recreational Pond (RP) pula adalah paling rendah. Di WP, kandungan TSS ialah 14.22 ± 5.58 mg/L dan di RP pula sebanyak 3.93 ± 1.60 mg/L. Sementara itu, kepekatan nitrit di stesen WP ialah 0.37 ± 0.013 mg/L dan di stesen RP pula ialah 0.09 ± 0.0065 mg/L. Kepekatan nitrat di stesen WP ialah 0.24 ± 0.19 mg/L dan kepekatan nitrat di RP ialah 0.060 ± 0.03 mg/L. Kepekatan ammonia di stesen WP pula ialah 0.19 ± 0.06 mg/L dan di RP ialah 0.14 ± 0.04 mg/L. Hasil kajian ini menunjukkan bahawa sistem tanah bencah BIOECODS memainkan peranan yang penting dalam mengawal atur nutrien dan mengekalkan kualiti air yang baik. Selain itu, BIOECODS juga berkesan dalam menapis air larian ribut dan air sisa buangan yang diterima dari seluruh kampus.

Kata kunci kemerosotan kualiti air, tanah bencah buatan, BIOECODS, mengawalaturan nutrien

Abstract

Bio-ecological Drainage systems (BIOECODS) is one of the constructed wetlands that play a role in regulating all the nutrients and treat storm water quality. A study of water quality parameters from every pool in the ecological component of BIOECODS was conducted from September 2014 to February 2015 which involved sampling for every two weeks to identify changes in quality of the BIOECODS system. Among the parameters of water quality measured on BIOECODS wetlands is the total suspended solids (TSS), namely nitrite-nitrogen (NO₂-N), nitrate-nitrogen (NO₃-N), and ammonia-nitrogen (NH₃-N). Parameter physicochemical characteristics studied were turbidity, conductivity, total dissolved solids, temperature, dissolved oxygen, and pH. The results showed that the content of TSS in Wetpond station (WP) is the highest while the Recreational Pond (RP) station is the lowest. The WP, TSS content was 14.22 ± 5.58 mg/L and in RP of 3.93 ± 1.60 mg/L. Meanwhile, the nitrite concentration in WP station was 0.37 ± 0.013 mg/L and RP station was 0.09 ± 0.0065 mg/L. Nitrate concentrations in WP station was 0.24 ± 0.19 mg/L and nitrate concentration in the RP was 0.060 ± 0.03 mg/L. The concentration of ammonia in the WP station was 0.19 ± 0.06 mg/L and the Rp station was 0.14 ± 0.04 mg/L. The finding showed that the BIOECODS wetland system play an important role in regulating nutrients and maintain good water quality. In addition, BIOECODS is also effective in filtering storm water runoff and waste water received from all over the campus.

Keywords water quality deterioration, constructed wetlands, BIOECODS, nutrient regulation

PENGENALAN

Setiap tamadun yang wujud bermula di kawasan yang mempunyai sumber air sungai. Hal ini jelas memberitahu kepada tamadun manusia moden bahawa sungai merupakan unsur penting dalam sesebuah tamadun. Menurut Ahmad Ismail dan Ahmad Badri (1992) sungai bertindak sebagai penambat sedimen dan nutrien melalui aktiviti tumbuhan di zon litoral yang menapis dan menambat segala bahan yang terdapat di dalam sungai.

Pada masa ini, kualiti air sungai semakin merosot dengan pembangunan dan pambandaran yang pesat. Kemoserosotan kualiti air sungai juga diakibatkan oleh sisa kumbahan, proses perbandaran, tebus guna tanah, aktiviti perindustrian dan pertanian. Berdasarkan laporan yang dikeluarkan oleh Jabatan Alam Sekitar (2000), didapati punca-punca utama yang menyebabkan kemerosotan kualiti air ialah kumbahan domestik, perindustrian, penternakan khinzir dan industri berasaskan pertanian. Sisa buangan domestik daripada kawasan perumahan dan kawasan petempatan turut menjadi punca utama kepada kemerosotan kualiti air. Ini kerana, air sisa domestik mengandungi pelbagai bahan pencemar, virus dan bakteria sama ada terlarut mahupun terampai seperti sisa minyak, sisa makanan, air sisa basuhan, najis dan sebagainya. Usaha melindungi alam sekitar khususnya air sungai perlu dilakukan bagi memastikan kelestarian kehidupan generasi hari ini dan masa depan terjaga.

Konvensyen Ramsar telah mendefinisikan tanah bencah sebagai kawasan paya, rawa, tanah gambut, baik secara semula jadi atau buatan, tetap atau sementara dengan air bergenang atau mengalir, air tawar, payau atau masin termasuk juga perairan laut yang dalamnya tidak melebihi enam meter pada waktu air surut (Linda et al., 2013). Banyak kajian kualiti air untuk mengetahui tahap keberkesanan sesebuah sistem tanah bencah buatan telah dijalankan. Kajian yang dijalankan oleh Sim (2003) melibatkan tanah bencah buatan sebagai penapis air tercemar dengan menggunakan tumbuh-tumbuhan tertentu di samping reka bentuk sistem tanah bencah itu sendiri. Penggunaan sistem ini dilihat lebih berkesan bagi memperbaiki bacaan nilai parameter-parameter seperti keperluan oksigen biokimia (BOD), nitrogen, fosforus dan jumlah pepejal terampai (TSS).

Sistem tanah bencah buatan atau *constructed wetland* di Kampus Kejuruteraan Universiti Sains Malaysia (USM) merupakan salah satu komponen dalam Sistem Saliran Bio-Ekologikal (BIOECODS) yang berperanan dalam merawat dan menambah baik kualiti air larian sebelum digunakan dengan selamat di dalam kolam rekreasi dan disalur keluar dengan bersih ke Sungai Kerian, Perak (Khairul Syafiq, 2013). Hasil daripada pengurusan dan penyelidikan lebih 10 tahun, sistem tanah bencah terbukti mampu mengurus perawatan air larian hujan dengan baik seperti penurunan kadar komposisi nutrien seperti ammonia (NH₃), fosforus, nitrat (NO₃), keperluan oksigen kimia (COD), plumbum, BOD, TSS dan membekalkan oksigen terlarut (DO) yang tinggi serta pH yang kekal sekitar 7. Artikel ini bertujuan mengkaji peranan tanah bencah dalam sistem BIOECODS ini dalam mengawal atur nutrien dan meningkatkan kualiti air.

SISTEM SALIRAN BIO-EKOLOGIKAL ATAU *BIO-ECOLOGICAL DRAINAGE SYSTEM* (BIOECODS)

Sistem saluran bio-ekologikal atau BIOECODS telah dibina di Kampus Kejuruteraan, Universiti Sains Malaysia, Nibong Tebal menerusi Pusat Penyelidikan Kejuruteraan Sungai dan Saliran Bandar (REDAC) dengan usahasama Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS). Sistem ini adalah projek pengujian untuk menunjukkan keefisienan penggunaan tanah bencah sebagai satu kaedah pengurusan air hujan yang lebih lestari dan mampan bagi mengatasi masalah yang sedia ada sejajar dengan matlamat JPS iaitu pengendalian kitaran air hujan dalam sistem ekologi. Kaedah ini menggunakan pendekatan pada punca, pengecilan aliran dan rawatan air dengan kaedah pembinaan sistem biologi seperti tasik, kawasan tanah lembap (paya dan kemudahan-kemudahan rawatan lain). BIOECODS merupakan alternatif pengurusan air larian hujan yang lebih mesra dan mampan untuk memenuhi konsep kawalan kuantiti dan kualiti air larian hujan. Aspek-aspek kawalan kuantiti air larian hujan berteraskan pengurusan pada punca menerapkan elemen kejuruteraan penyusupan, penstoran dan melambatkan aliran (Aminuddin et al., 2004, Nor Azazi et al., 2003).

Selain itu, BIOECODS adalah satu penyelesaian yang mampan dari segi ekologi bagi kejadian banjir kilat, pencemaran sungai dan kekurangan air dengan menggunakan pendekatan "kawalan pada sumber". BIOECODS memberi penekanan penting dalam pendekatan holistik kepada kejuruteraan alam sekitar, seni bina landskap dan pembangunan, menjadikannya unik dalam bidang pengurusan air ribut dan pembangunan

bandar yang inovatif. Pada masa ini, penggunaan BIOECODS adalah satu percubaan bagi pembangunan baru untuk menyelesaikan tiga masalah utama yang biasa ditemui di Malaysia iaitu banjir kilat, pencemaran sungai dan kekurangan air semasa musim kering. Peranan dan fungsinya yang sama dengan tanah bencah semula jadi membolehkan ia sesuai diaplikasi di semua tempat termasuklah kawasan kampus dan kawasan rekreasi.

LATAR BELAKANG KOLAM EKOLOGIKAL (ECOPONDS)

Kolam ekologiikal atau nama ringkasnya ECOPONDS merupakan sub bahagian atau kolam yang terdapat dalam sistem BIOECODS. BIOECODS terdiri daripada 8 komponen kolam ekologiikal iaitu alur berumput perimeter (*perimeter swale*), alur berumput ekologiikal (*ecological swale*), penyimpanan sub permukaan (*subsurface storage*), kolam takungan kering (*drypond*), kolam basah (*wetpond*), tanah bencah (*wetland*), dan kolam rekreasi (*recreational pond*). Ekologiikal *swale* direka bentuk khas untuk menyalurkan air larian dari kawasan tadahan pusat-pusat pengajian dan asrama ke stesen kolam ekologiikal (ECOPONDS) (Zakaria, 2003). Komponen-komponen ECOPONDS merupakan stesen kajian yang terdiri daripada (Rajah 1 dan 2):

- i. *Wetpond* (WP)
Wetpond yang berkeluasan 4500 m² dan direka bentuk untuk menampung sementara air larian hujan dari kawasan tadahan pusat pengajian. *Wetpond* berperanan untuk mengecilkan hidrograf kawasan pusat pengajian sebelum air larian hujan disalurkan selanjutnya ke *detention pond*. Ia juga merupakan komponen yang amat penting memandangkan ia merupakan titik akhir untuk BIOECODS dari kawasan pusat pengajian dan ia juga satu-satunya sistem penyambung air larian untuk kawasan pusat pengajian dan *detention pond*.
- ii. *Detention Pond* (DP)
Detention pond mempunyai keluasan 10,000 m² dan menerima air larian hujan daripada *wetpond* dan kawasan tadahan asrama. Ia juga direka bentuk untuk peristiwa hujan kala ulangan 10 tahun dan 50 tahun. Air larian hujan untuk peristiwa hujan kurang daripada berkala ulangan 3 bulan akan memasuki *wetland* untuk rawatan ekologiikal atau biologiikal. *Detention pond* juga merupakan titik terakhir untuk kawalan dari aspek kuantiti air larian hujan.
- iii. *Wetland* (WL)
Wetland merupakan kawasan rawatan lanjut air larian melalui proses biologiikal dan kimia. Ia mempunyai keluasan 91,000 m². *Wetland* ini telah dibentuk dengan nisbah panjang dan lebar yang sesuai demi mencapai prestasi penyucian yang optimum. Matlamat utama *Wetland* ini adalah untuk meningkatkan kualiti air larian hujan sebelum masuk ke Sungai Kerian dan mengitar semula air ke asrama yang berdekatan untuk tujuan domestik seperti bekalan air minuman, membasuh dan sebagainya. Hal ini bermakna ia berperanan untuk merawat air larian hujan secara ekologiikal dan biologiikal selepas penyucian secara penyusupan pada “*bio-retention swale*”.
- iv. *Micro Pool* (MP)
Micro pool atau kolam mikro menghubungkan antara *wetland* dengan *wading river* (sungai randuk) iaitu air yang ditapis dari kawasan *wetland* akan masuk ke kolam ini sebelum dialirkan ke *wading river*.
- v. *Wading River* (WR)
Wading river merupakan sebuah sungai randuk yang menyambungkan *wetland* dan *recreational pond* (kolam rekreasi). Ia berfungsi untuk meningkatkan paras oksigen terlarut melalui penghasilan aliran gelora di sepanjang sungai yang dasarnya terdiri daripada pasir kasar dan batu kelikir.

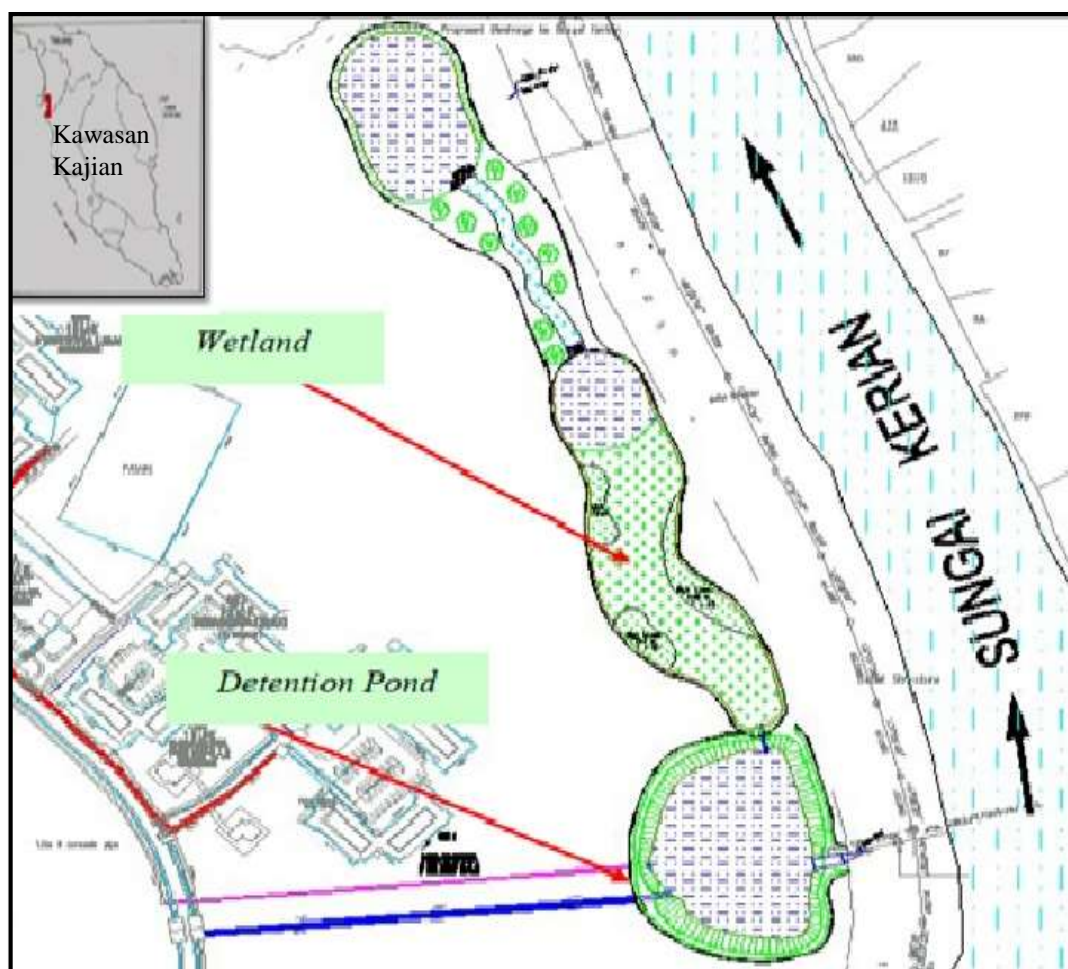
vi. *Recreational Pond (RP)*

Recreational pond berperanan menyediakan satu kawasan untuk tujuan rekreasi. Air dalam kolam ini merupakan air larian hujan yang telah menjalani keseluruhan proses rawatan fizikal dan biologiikal melalui Sistem Bio-Elogikal. Kolam ini merupakan “*Crystal Clear Pristine Water Lake*”.

LOKASI DAN METODOLOGI KAJIAN

Kawasan Kajian

Kajian ini dijalankan di Kampus Kejuruteraan Universiti Sains Malaysia (USM) Sri Ampangan, Nibong Tebal, Pulau Pinang. Kampus terletak di Latitud 100° 29' Utara dan 100° 30.3' Utara dan di atas Longitud 5° 9.4' Timur dan 5° 8.5' Timur. Kawasan kampus ini secara amnya ialah kawasan yang mendatar dan ditanami oleh kelapa sawit. Pembinaan bangunan kampus ini telah mengekalkan pokok nipah di sepanjang Sungai Kerian dan sebahagian pokok kelapa sawit di kawasan yang tidak dibangunkan dalam kampus (Aminuddin et al., 2004). Rajah 1 merupakan susun atur sistem BIOECODS dan pelan skematik *Wetland* di Kampus Kejuruteraan USM. Air larian hujan dari seluruh kawasan kampus akan dirawat terlebih dahulu di kolam BIOECODS sebelum dialirkan ke Sungai Kerian.



Rajah 1 Peta lokasi kajian dan susun atur sistem saliran BIOECODS dan pelan skematik *wetland* di Kampus Kejuruteraan USM

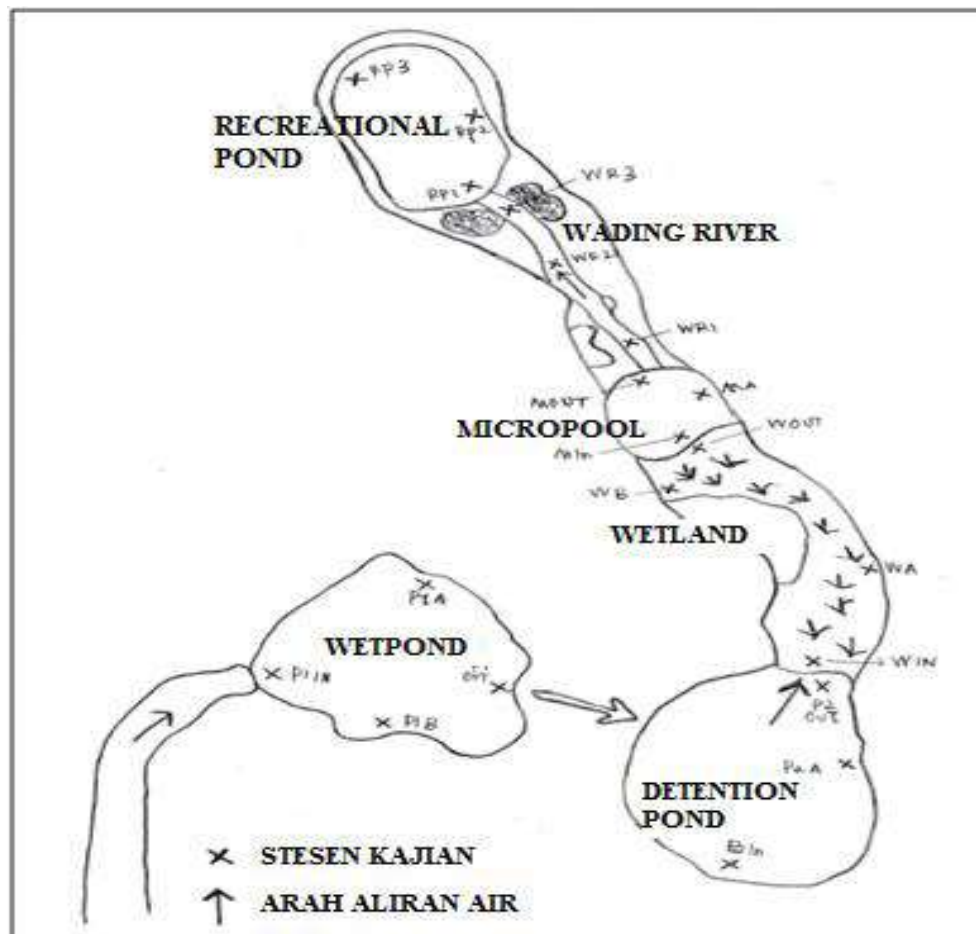
Sumber: Aminuddin et al. (2004)

METODOLOGI

Kaedah Persampelan

Persampelan kualiti air di kawasan kajian telah dijalankan sebanyak dua kali sebulan selama enam bulan yang bermula pada 19 September 2014 sehingga 16 Februari 2015. Lokasi persampelan telah dipilih berdasarkan komponen yang terdapat di sistem saliran BIOECODS iaitu *Wetpond* (WP), *Detention Pond* (DP), *Wetland* (WL), *Micropool* (MP), *Wading River* (WR) dan *Recreational Pond* (RP). Setiap komponen tersebut dibahagikan kepada beberapa stesen mengikut keluasan komponen tersebut seperti Rajah 3.

Parameter-parameter in situ seperti suhu, konduktiviti, pH, jumlah pepejal terlarut (TDS), kekeruhan dan oksigen terlarut (DO) diambil pada setiap stesen. Sebanyak 17 sampel air diambil dan dibawa pulang ke makmal bagi tujuan dianalisis. Keadaan cuaca pada waktu persampelan turut diambil kira. Sampel air dianalisis bagi parameter jumlah pepejal terampai (TSS), nitrit-nitrogen ($\text{NO}_2\text{-N}$), nitrat-nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$), ammonia-nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) dan jumlah nitrogen (TN). Kaedah analisis TSS adalah berdasarkan kaedah penurasan (Gordon et al., 1992) dan kaedah analisis sampel air adalah menggunakan kaedah *American Public Health Association* (APHA, 1999). Bacaan bagi setiap parameter diambil dan direkodkan.



Rajah 2 Lokasi stesen-stesen kajian yang ditetapkan untuk persampelan air di sistem BIOECODS

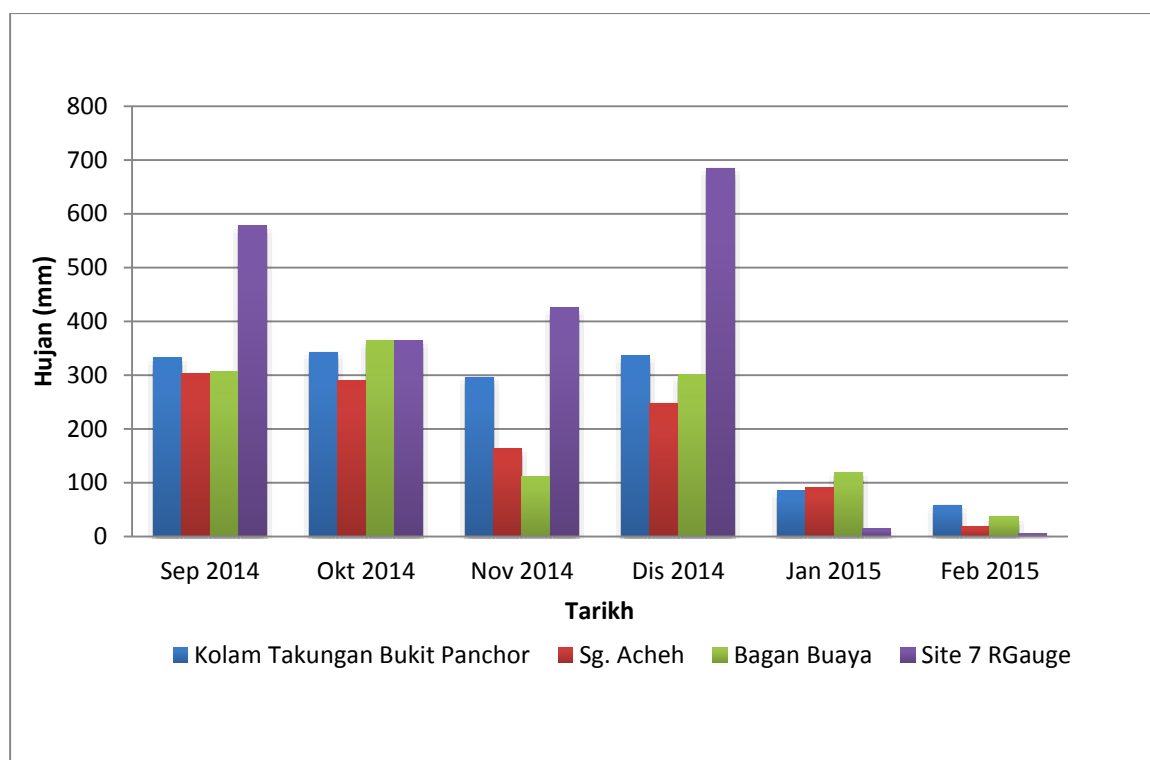
Klasifikasi Kualiti Air

Tahap pencemaran kualiti air di kawasan kajian dinilai berdasarkan klasifikasi Standard Piawaian Interim Kualiti Air Kebangsaan (INWQS) (JAS, 2000) (Lampiran 1) dan piawai kualiti air mengikut penilaian kualiti air sungai di Republik Persekutuan Jerman-Pengelasan kimia badan-badan air (LAWA) (1998) (Lampiran 2) untuk menentukan tahap pencemaran air terbabit.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Corak Taburan Hujan

Taburan hujan di kawasan persampelan dan kawasan-kawasan sekitarnya merupakan faktor yang penting dalam mempengaruhi tahap kualiti air di kawasan tersebut. Rajah 3 menunjukkan jumlah hujan (mm) yang diambil daripada stesen-stesen cerapan sekitar kampus Transkrian seperti stesen Kolam Takungan Bukit Panchor, stesen Sungai Acheh, stesen Bagan Buaya dan stesen SITE7 RGauge (stesen di dalam sistem BIOECODS).



Rajah 3 Taburan hujan di tapak kajian (SITE7 RGauge) dan beberapa stesen berdekatan Transkrian

Parameter Fiziko-Kimia

Jadual 3 menunjukkan dapatan kajian parameter-parameter kualiti air. Suhu memainkan peranan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem akuatik. Kajian ini mendapati suhu di stesen WR mencatatkan nilai purata suhu yang tertinggi iaitu dengan bacaan 31.73 °C, manakala nilai purata suhu terendah ialah 29.26 °C iaitu di stesen WP. Ini kerana, WR merupakan sungai randuk yang cetek, terdedah dan terbuka kepada cahaya matahari berbanding dengan stesen WP yang merupakan sebuah kolam yang lebih dalam, bertakung dan dikelilingi oleh tumbuh-tumbuhan di sekitarnya. Menurut Wan Ruslan et al. (2005) faktor fizikal yang terdapat di kawasan sekitar juga mempengaruhi suhu air di kawasan tersebut. Faktor liputan tumbuh-tumbuhan yang banyak telah mencatatkan suhu yang lebih rendah berbanding dengan kawasan yang lebih terdedah secara terbuka kepada cahaya matahari.

Jadual 3 Nilai purata dan julat bagi setiap parameter di stesen-stesen BIOECODS

Stesen	Suhu (°C) (Julat)	Konduktiviti (mS/cm) (Julat)	TDS (mg/L) (Julat)	DO (mg/L) (Julat)	pH (Julat)	Kekeruhan (NTU) (Julat)	TSS (mg/L) (Julat)
WP	29.26 (27.97 - 30.22)	0.121 (0.102 - 0.143)	0.072 (0.061 - 0.087)	5.30 (3.66 - 6.98)	6.44 (5.95 - 7.74)	19 (11 - 43)	14.22 (9.50 - 24.15)
DP	29.94 (28.29 - 31.45)	0.104 (0.085 - 0.119)	0.061 (0.051 - 0.070)	6.74 (5.06 - 8.41)	6.64 (6.29 - 7.41)	17 (9 - 36)	11.82 (6.40 - 20.27)
WL	30.21 (29.02 - 31.44)	0.112 (0.079 - 0.145)	0.066 (0.047 - 0.085)	6.77 (4.69 - 7.88)	6.65 (6.38 - 7.25)	10 (7 - 17)	7.36 (3.50 - 14.95)
MP	30.82 (29.36 - 31.46)	0.111 (0.076 - 0.146)	0.065 (0.046 - 0.084)	7.14 (5.33 - 8.77)	6.76 (6.40 - 7.28)	8 (4 - 17)	5.60 (1.47 - 12.00)

WR	31.73 (29.53 - 33.20)	0.111 (0.074 - 0.153)	0.062 (0.045 - 0.079)	7.67 (6.55 - 8.42)	6.82 (6.46 - 7.35)	6 (3 - 13)	4.44 (2.80 - 8.53)
RP	31.08 (29.26 - 32.82)	0.112 (0.99 - 0.127)	0.067 (0.056 - 0.080)	7.65 (6.50 - 9.82)	6.83 (6.53 - 7.44)	5 (2 - 12)	3.93 (1.73 - 7.60)

Selain itu, kekonduksian ialah salah satu parameter yang penting dalam menentukan ciri-ciri kimia air tasik (Gibson et al., 1995). Secara purata, stesen WP mencatatkan nilai purata konduktiviti yang tertinggi iaitu dengan nilai bacaan 0.121 mS/cm, manakala nilai purata konduktiviti terendah ialah pada stesen DP dengan nilai 0.104 mS/cm. Keadaan sedemikian berlaku kerana, stesen WP merupakan kolam pertama yang menerima air kumbahan dari seluruh kawasan kampus. Air ini juga merupakan air larian hujan yang mengandungi pelbagai bahan-bahan organik, tak organik, bahan terampai dan bahan terlarut seperti kelodak, sedimen, baja fosfat dan nitrat daripada aktiviti penyiraman landskap. Bahan-bahan ini juga akan membawa kepada peningkatan kepekatan ion di dalam stesen WP dan seterusnya menyumbang kepada peningkatan konduktiviti dan juga jumlah pepejal terlarut. Penggunaan bahan kimia berfosfat dan bernitrat akan menyumbang kepada peningkatan ion dalam air (Gibson et al., 1995). Sementara itu, stesen DP pula merupakan stesen yang kedua selepas stesen WP, jumlah pepejal terlarut sedikit berkurangan setelah melalui stesen WP sebelum memasuki stesen DP dan menyebabkan berlaku sedikit pengurangan dalam konduktiviti iaitu daripada 0.102 mS/cm kepada 0.085 mS/cm.

Daripada Jadual 3, nilai purata dan nilai julat TDS tertinggi yang direkodkan ialah masing-masing sebanyak 0.072 mg/L dan 0.087 mg/L di stesen WP. Ini kerana, inlet stesen WP menerima air yang mengandungi sisa kumbahan atau pepejal, sedimen, kelodak, baja fosfat dan nitrat daripada hasil aktiviti penyiraman landskap. Ini menyumbang kepada peningkatan kandungan TDS dan di dalam stesen ini. Menurut Hamidi (1999), nilai kekeruhan adalah disebabkan oleh sejumlah kandungan pepejal terampai dan pepejal terlarut dalam air. Julat nilai TDS terendah ialah 0.045 mg/L di stesen WR. WR merupakan sebuah sungai yang mengalirkan air dari stesen MP ke stesen RP. Air yang mengalir akan lebih rendah kepekatan TDS berbanding kolam yang bertakung. Aliran air di stesen WR menyebabkan kepekatan TDS berkurangan dan meningkatkan kepekatan oksigen terlarut. Menurut Gordon et al. (1992), nutrien akan berkumpul di dalam tanah bencah semasa aliran air kerana ia bergabung dengan partikel halus dan pergerakannya bergantung kepada luahan. Kadar aliran yang perlahan memudahkan beban sedimen untuk mendap ke bawah.

DO juga merupakan salah satu daripada ciri penting dalam menentukan status kualiti air. Daripada Jadual 3 nilai purata DO tertinggi yang direkodkan ialah sebanyak 7.67 mg/L di stesen WR, manakala nilai purata yang terendah bagi DO pula ialah pada stesen WP dengan nilai 5.30 mg/L. WR merupakan sungai randuk yang mengalirkan air dari stesen MP ke stesen RP. Nilai DO yang tinggi di stesen WR adalah disebabkan oleh terdapat pengaliran arus yang agak laju di stesen tersebut. Kehadiran aliran arus ini membantu dalam pelarutan DO di dalam air dan membantu dalam mengurangkan jumlah pepejal terlarut. Menurut Gregory dan Walling (1973), TDS dan peningkatan aliran air sungai ketika hujan adalah berkadar songsang. Hal ini bermakna semasa berlakunya pertambahan aliran air sungai menunjukkan pengurangan dalam TDS. Daripada Jadual 3 juga menunjukkan bahawa kepekatan DO adalah lebih tinggi di stesen RP berbanding dengan stesen WP keadaan di mana stesen RP merupakan kolam terakhir bagi sistem BIOECODS. Mengikut pengkelasan INWQS menunjukkan bahawa stesen RP berada pada kelas I (tidak tercemar).

Nilai pH ialah satu ukuran keamatan ion hidrogen di dalam sesuatu bahan atau jasad yang dikandunginya (Cole, 1993). Hasil dapatan kajian dalam Jadual 3, nilai purata kepekatan pH tertinggi yang direkodkan ialah 6.83 di stesen RP, manakala bacaan purata terendah bagi pH pula ialah pada stesen WP dengan bacaan 6.44. Menurut Train (1979), keasidan dan kealkalian air sungai dipengaruhi oleh kehadiran mineral seperti klorida, sulfat dan nitrat serta fosforus. Bacaan pH bagi setiap stesen kajian di sepanjang tempoh persampelan berada dalam julat antara 5.95 hingga 7.75 iaitu berada pada kelas IIA dan IIB mengikut klasifikasi INWQS. Berdasarkan klasifikasi INWQS, untuk kegunaan bekalan air ini, ia memerlukan rawatan secara konvensional.

Kekeruhan dan TSS yang tinggi memperlihatkan tahap penembusan cahaya yang rendah (Wan Ruslan et al., 2008). Daripada Jadual 3, nilai purata kekeruhan di stesen WP mencatatkan bacaan kekeruhan paling tinggi iaitu dengan bacaan 19 NTU. Bagi nilai purata kekeruhan terendah pula dicatatkan di stesen RP iaitu dengan bacaan 5 NTU. Stesen WP yang menerima pelbagai sisa-sisa kumbahan domestik, sedimen, kelodak

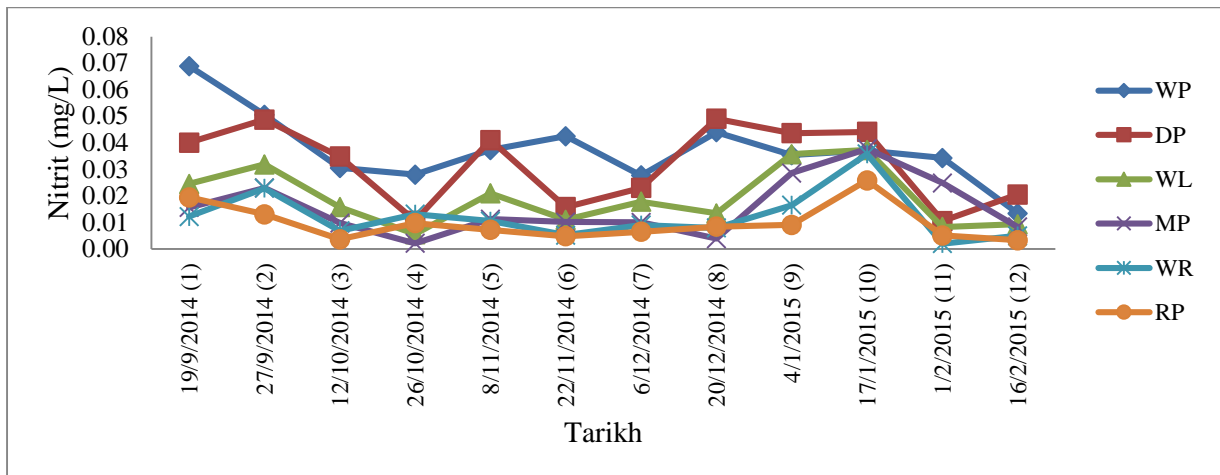
dan bahan-bahan daripada baja nitrat dan fosfat hasil daripada penyiraman landskap secara terus dari seluruh kawasan kampus menyumbang kepada peningkatan kekeruhan di stesen tersebut. Di stesen RP pula memperlihatkan bacaan purata kekeruhan yang terendah iaitu dengan bacaan 5 NTU. Ini kerana, stesen RP merupakan stesen yang terakhir iaitu keadaan di mana segala bahan atau pepejal terampai ditapis terlebih dahulu di stesen *wetland* dan stesen-stesen lain. Ini menyebabkan berlakunya pengurangan kekeruhan sedikit demi sedikit dan mencatatkan bacaan yang terendah di stesen RP. Julat bacaan kekeruhan yang tertinggi yang dicatatkan ialah dengan bacaan 43 NTU. Ini disebabkan terdapat jumlah hujan yang agak tinggi pada bulan Oktober yang membantu meningkatkan kekeruhan di dalam kolam. Air di sistem BIOECODS mempunyai julat kekeruhan yang paling rendah iaitu 2 NTU. Mengikut pengelasan INWQS, air di sistem ini berada pada kelas I (tidak tercemar). Walaupun kekeruhan yang tertinggi ialah 43 NTU iaitu berada pada kelas II, namun ia masih boleh dirawat dengan cara konvensional untuk tujuan kegunaan bekalan air.

TSS adalah satu ciri fizikal yang penting kepada jasad air dan merupakan salah satu petunjuk yang boleh membuat penilaian terhadap kualiti air di kawasan kajian. Berdasarkan keputusan daripada Jadual 3, nilai purata TSS di stesen WP mencatatkan nilai tertinggi iaitu dengan nilai 14.22 mg/L. Bagi nilai purata kepekatan TSS terendah pula dicatatkan di stesen RP iaitu dengan nilai 3.93 mg/L. Kepekatan TSS juga didapati berkurangan secara signifikan daripada stesen WP sehingga ke stesen RP. Hal ini menunjukkan tanah bencah sangat efisien dan berkesan dalam menapis pepejal terampai. Kajian oleh Barten (1987) menunjukkan sistem tanah bencah berkesan untuk menghilangkan lebih daripada 90% bahan pepejal terampai. Di stesen RP pula memperlihatkan bacaan purata TSS yang terendah. Ini kerana, pepejal terampai ditapis terlebih dahulu di stesen WL yang dipenuhi dengan tumbuh-tumbuhan di dalamnya dan stesen-stesen lain sebelum memasuki stesen RP. Kesannya, berlaku pengurangan TSS sedikit demi sedikit di setiap stesen dan membawa bacaan yang terendah di stesen RP. Menurut Sim (2003) pepejal terampai boleh disingkirkan melalui proses penapisan oleh tumbuhan dan tindakan graviti. Kehadiran halaju air di WR juga memainkan peranan penting dan membantu dalam mengurangkan TSS di dalam jasad air sebelum air itu dialirkan ke stesen RP. Tahap kepekatan TSS mengikut klasifikasi INQWS bagi setiap stesen atau kolam di sistem BIOECODS masih dalam keadaan baik iaitu berada pada kelas I (tidak tercemar).

Nutrien

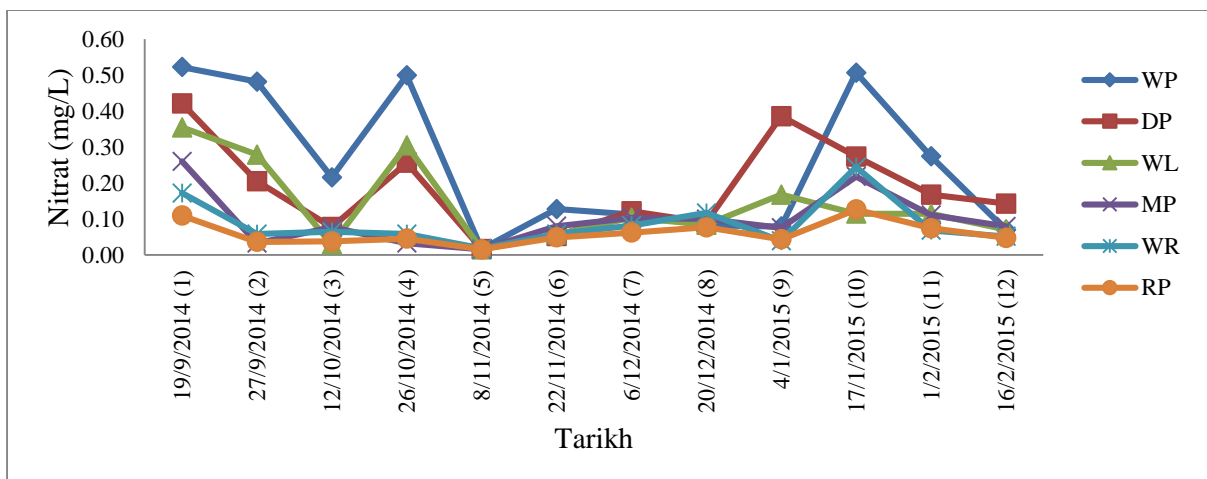
Secara keseluruhannya, penerimaan air larian hujan atau ribut dan air buangan daripada seluruh kawasan kampus memperlihatkan kepekatan nitrit, nitrat dan ammonia yang tinggi di stesen WP dan DP dan kepekatan yang rendah di stesen RP. Hal ini terbukti, bacaan purata bagi setiap nutrien adalah lebih tinggi di stesen WP dan bacaan purata yang terendah bagi setiap nutrien pula adalah di stesen RP.

Nitrit wujud dalam kuantiti yang sedikit dan menurut Manahan (1994), *Nitrosomonas* terlibat di dalam penghasilan nitrit. Rajah 4 menunjukkan kepekatan nitrit adalah lebih rendah di stesen WL, MP, WR dan RP berbanding stesen WP dan DP. Nilai purata kepekatan nitrit yang tertinggi dicatatkan di stesen WP iaitu 0.37 mg/L, manakala nilai purata yang terendah ialah 0.09 mg/L di stesen RP. Julat kepekatan nitrit yang tertinggi ialah 0.068 mg/L di stesen WP dan julat kepekatan nitrit yang terendah ialah di WR iaitu 0.002 mg/L. Ini menunjukkan bahawa tanah bencah berkesan dalam mengurangkan dan mengawal atur kepekatan nitrit. Tumbuh-tumbuhan di tanah bencah berfungsi dalam menyerap nutrien-nutrien yang terdapat di dalam air di stesen tersebut. Selain itu, nitrit (NO_2) hadir dalam sistem akuatik dalam jumlah yang sedikit dan ia mudah ditukar kepada nitrat yang mudah diambil oleh tumbuhan melalui proses pengoksidaan dengan bantuan bakteria seperti *Nitrobacter* (Ahmad Ismail & Ahmad Badri, 1992).



Rajah 4 Purata kepekatan nitrit (NO₂) di sepanjang tempoh persampelan iaitu dari bulan September 2014 hingga Februari 2015

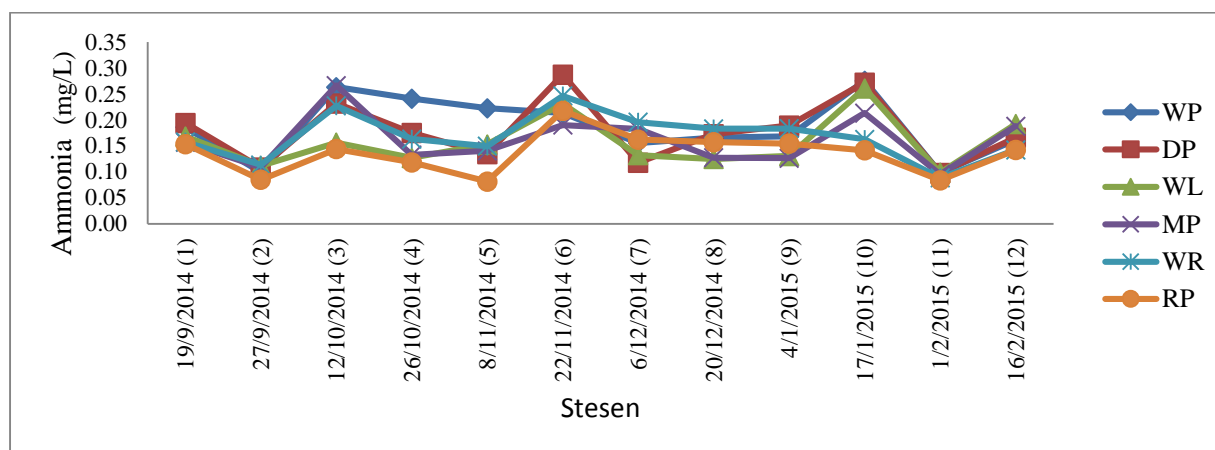
Menurut Mc Carty dan Haug (1995) nitrat boleh didapati dalam tanah, tumbuhan dan air. Kebanyakan sebatian nitrat terhasil daripada proses penguraian tumbuh-tumbuhan haiwan yang telah mati. Daripada Rajah 5, nilai purata kepekatan nitrat yang tertinggi dicatatkan di stesen WP iaitu 0.24 mg/L, manakala nilai purata yang terendah ialah 0.060 mg/L di stesen RP. Julat kepekatan nitrat yang tertinggi ialah 0.52 mg/L di stesen WP, sementara itu, julat kepekatan nitrat yang terendah ialah di stesen MP iaitu 0.015 mg/L. Nitrat diserap oleh tumbuh-tumbuhan untuk proses pertumbuhan. Kawasan tanah bencah buatan yang direka khas dengan dipenuhi oleh tumbuh-tumbuhan, membolehkan ia menyerap nutrien nitrat tersebut. Hal ini membolehkan berlakunya pengurangan nutrien tersebut setelah melalui stesen WL tersebut. Menurut Wan Ruslan et al. (2008) keefisyenan tanah bencah ini dapat mengawal atur nutrien ditingkatkan lagi dengan kehadiran tumbuhan dan rumpai laut seperti *Eichhornia crassipes*, *Nymphae lotus*, *Hydrilla verticillata* dan sebagainya. Setiap tumbuhan ini mempunyai keupayaan penyerapan tersendiri sebagai penyuling air. Tumbuhan ini juga berfungsi sebagai penapis yang akan memerangkap bahan pepejal terampai serta menyerap bahan toksik dan nutrien berlebihan. Berdasarkan penilaian kualiti air sungai di Republik Persekutuan Jerman-Pengelasan kimia badan-badan air (LAWA) (1998), kepekatan nitrat bagi setiap stesen kajian berada pada kelas I (tidak tercemar).



Rajah 5 Purata kepekatan nitrat (NO₃) di sepanjang tempoh persampelan iaitu dari bulan September 2014 sehingga Februari 2015

Ammonia ialah sebatian yang biasanya terdiri daripada proses degradasi bahan organik bernitrogen (Nurain & Ang, 2015). Rajah 6 menunjukkan kepekatan ammonia adalah lebih tinggi di stesen WP berbanding stesen RP. Nilai purata kepekatan ammonia yang tertinggi dicatatkan di stesen WP iaitu 0.19 mg/L, manakala nilai purata yang terendah ialah di stesen RP iaitu sebanyak 0.14 mg/L. Julat kepekatan ammonia yang tertinggi ialah 0.29 mg/L di stesen DP dan julat kepekatan ammonia yang terendah ialah di

stesen RP iaitu 0.08 mg/L. Ini menunjukkan bahawa tanah bencah berkesan dalam mengurangkan dan mengawal atur kepekatan ammonia. Menurut Nurain dan Ang (2015), analisis nitrogen ammonia boleh digunakan untuk mengesan pencemaran yang disebabkan oleh baja tanaman (pertanian), najis haiwan dan juga sisa kumbahan domestik. Di stesen WP mempunyai kepekatan ammonia yang tinggi kerana menerima air larian hujan dan air kumbahan domestik dari kawasan seluruh kampus. Ini terbukti benar, nilai purata yang tertinggi diperolehi di stesen WP berbanding di stesen RP yang mempunyai kepekatan ammonia yang rendah. Kepekatan nutrien di dalam jasad air juga berpunca daripada kumbahan domestik dan, sisa najis (Mohd Noor, 2003). Berdasarkan penilaian kualiti air sungai di Republik Persekutuan Jerman-Pengelasan kimia badan-badan air (LAWA) (1998), kepekatan ammonia bagi setiap stesen pula berada pada kelas I-II (sedikit tercemar) dan kelas II (sederhana tercemar) yang memerlukan rawatan untuk tujuan kegunaan air.



Rajah 6 Purata kepekatan ammonia (NH_3) di sepanjang tempoh persampelan iaitu dari bulan September 2014 sehingga Februari 2015

Kualiti Air di Sistem BIOECODS dan Keberkesanannya

Secara keseluruhan, dapatan kajian menunjukkan kebanyakan parameter di kawasan BIOECODS menunjukkan tahap kualiti air yang kurang tercemar dan sederhana tercemar. Berdasarkan klasifikasi INWQS dan LAWA, kolam-kolam di sistem BIOECODS berada pada sekitar kelas I dan IIA. Kualiti air di kawasan kajian ini, masih boleh dirawat untuk pelbagai kegunaan.

Parameter fizikokimia kualiti air yang penting seperti DO, pH, TSS, kekeruhan, nitrat dan ammonia boleh disingkirkan pada kadar yang tinggi setelah melalui kawasan tanah bencah. Kepekatan TSS, kekeruhan, nitrat dan ammonia semakin berkurangan daripada stesen WP hinggalah stesen RP. Pengurangan yang signifikan bagi parameter ini adalah setelah melalui stesen WL. Hal ini menunjukkan bahawa, tanah bencah berjaya sebagai fungsi dalam mengawal atur parameter-parameter tersebut dan seterusnya dapat meningkatkan kualiti air. Sistem tanah bencah juga mampu merawat pelbagai jenis air yang tercemar, mengurangkan kandungan nutrien, bahan organik, pepejal terampai dan patogen walaupun dalam jumlah yang besar (Gottscharl et al., 2005). Oleh itu, sistem BIOECODS atau kawasan tanah bencah buatan (*Constructed Wetland*) yang direka khas dengan dipenuhi oleh tumbuh-tumbuhan sesuai diaplikasi di semua tempat termasuklah kawasan kampus dan kawasan rekreasi.

KESIMPULAN

Sistem tanah bencah buatan merupakan salah satu kaedah alternatif dan mampan dalam merawat air sisa buangan. Sistem tanah bencah adalah sangat sesuai dibangunkan kerana memberikan persekitaran yang baik terutamanya di kawasan kampus yang mana dapat meningkatkan suasana pembelajaran. Namun begitu, dalam membina sistem tanah bencah buatan ini memerlukan kawasan yang luas bagi menampung air larian dan sisa kumbahan yang banyak. Sistem tanah bencah buatan mempunyai fungsi yang sama dengan tanah bencah semula jadi. Ini kerana, kedua-dua tanah bencah ini berfungsi dalam mengawal atur nutrien yang terdapat di dalam air. Namun begitu, air di sistem BIOECODS masih memerlukan rawatan kerana

kandungan nitrogen seperti ammonia masih berada pada kelas I-II iaitu keadaan air yang sedikit tercemar. Oleh itu, pengurusan yang lebih efektif dan teratur dan pemantauan yang kerap sangat diperlukan supaya tahap kebersanan sistem bio-ekologikal dalam merawat kulaiti air berada pada tahap yang maksimum.

PENGHARGAAN

Penulis merakamkan setinggi-tinggi ucapan terima kasih kepada Pengarah REDAC yang membenarkan kajian dijalankan di tapak BIOECODS, kepada Encik Mohd Nazrul Ibrahim dan Encik Mohd Khushairy Mohd Zahir yang membantu dalam persampelan serta Encik Kamaluddin Shaikh Maidin yang memandu penyelidik ke lapangan.

RUJUKAN

- Ahmad Ismail & Ahmad Badri Mohamad (1992). *Ekologi air tawar*. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.
- Aminuddin, A. G., Nor Azazi, Z., Rozi, A., Lariyah, M. S., Lau, T. L., Mohd Fazly, Y., Wong, L. P., Khairul, R. A., Anita, A., & Chang, C. K. (2004). *Garis panduan sistem saliran bio-ekologikal (BIOECODS) di Malaysia: Rekabentuk komponen BIOECODS*. Pulau Pinang: REDAC, Kampus Kejuruteraan, USM.
- APHA. (1999). *Standard methods for examination of water and wastewater* (19th ed.) Baltimore: Port City Press.
- Barten, J. M. (1987). *Stormwater runoff treatment in wetland filter: Effect on the water quality of clear water lake*. *Lake Reservoir Management*, 3, 297-305.
- Cole, G. A. (1993). *Limnologi* (terjemahan). Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.
- Gibson, C. E., Wu, Y., Smith, S. J. & Wolfe-Murphy, S. A. (1995). Synoptic limnology of a diverse geological region: Catchment and water chemistry. *Journal of Hydrobiologia*, 306, 213-227.
- Gordon, N. D., Mc Mahon, T. A., & Finlayson, B. L. (1992). *Stream hydrology: An introduction for ecologist*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Gottschall, N., Boutin, C., Crolla, A., Kinsley, C. & Champagne, P. (2005). The role of plants in the removal of nutrients at constructed wetlands treating agricultural (dairy) wastewater, Ontario, Canada. *Journal of Ecological Engineering*, 29(2), 154-163.
- Gregory, K. J. & Walling, D. E. (1973). *Drainage basin form and process: A geomorphical approach*. London: Edward Arnold.
- Hamidi, A.A. (1999). *Kejuruteraan kualiti air dan air sisa*. Kuala Lumpur: Utusan Publications & Distributors.
- Jabatan Alam Sekitar (2000). *Malaysia environmental quality report 2000*. Kuala Lumpur: Kementerian Sains, Teknologi dan Alam Sekitar.
- Jabatan Pengairan & Saliran Malaysia. (2015). *Data hujan*. Diperoleh daripada <http://infobanjir.water.gov.my/rainfall>
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). (1998). *Assessment of the water structure of river streams in the Federal Republic of Germany-Chemical classification of water bodies*. Berlin.
- Linda Roziani, J., Zullyadini, A. R. & Wan Ruslan, I. (2013). Permodelan perubahan tanah bencah di lembangan sungai Setiu, Terengganu menggunakan logistik regresi dan aplikasi Sistem Maklumat Geografi (GIS). *International Journal of Environment, Society and Space*, 1(1), 75-97.
- Manahan, S. E. (1994). *Environmental chemistry*. (6th ed.) Boca Raton, Lewis.
- Mc Carty, P. L. & Haug, R. T. (1995). *Nitrogen removal from wastewater by biological nitrification and denitrification*. United State: Dept. Environmental Engineering Stanford University, Stanford, California.
- Mohd Noor (2003). *Status pengurusan kualiti air sungai Langat: Kajian kes dari Pangsun hingga ke West Country*. Tesis Sarjana Universiti Kebangsaan Malaysia yang tidak diterbitkan.
- Nor Azazi, Z., Aminuddin, A. G., Rozi, A., Lariyah, M. S. & Anita, A. (2003). *Bio-ecological Drainage System (BIOECODS) for water quantity and quality control*. Pulau Pinang: Kampus Kejuruteraan, USM.
- Nurain, M., & Ang, K. H. (2015). Kualiti air Sungai UTM: Satu penilaian awal berpandukan enam parameter Indeks Kualiti Air. *Malaysian Journal of Society and Space*, 11(1), 107-115.
- REDAC (2011). *REDAC Profile: River Engineering and Urban Drainage Research Centre*. Pulau Pinang: REDAC, Kampus Kejuruteraan, USM.
- Sim, C. H. (2003). *The use of constructed wetland for wastewater treatment*. Malaysia, Wetland International.
- Syafiq, S. & Khairul, R. A. (2013). *Pengurusan dan penyelidikan sistem tanah bencah buatan dalam perawatan air larian hujan di USM, Kampus Kejuruteraan*. Pusat Penyelidikan Kejuruteraan Sungai dan Saliran Bandar (REDAC). Seminar Kebangsaan Teknologi Makmal Ke-II (SKETMA).
- Train, R. E. (1979). *Quality criteria for water*. London: Castle House.

- Wan Ruslan, I., Mukhlis, M.G. & Zullyadini, A. R. (2009). *Kesan aktiviti manusia ke atas kualiti air sungai Relau, Pulau Pinang semasa musim kering*. Dlm Nasir Nayan (2009) (eds.). *Persekitaran fizikal di Malaysia: Isu dan cabaran Semasa*. Tanjung Malim: Penerbit Universiti Pendidikan Sultan Idris. (pp 159-175).
- Wan Ruslan, I., Noor Azazi, Z., Aminuddin, A.G., Rozi, A. & Mashhor, M. (2008). *Kajian fizikokimia, nutrien dan fungsi tanah bencah di dalam sistem saliran bio ekologi (BIOECODS)*. Pulau Pinang: Kampus Kejuruteraan, USM. Laporan Geran Jangka Pendek USM.
- Wan Ruslan, I., Siow, A. Y. & Ahyaudin, A. (2005). Water quality and chemical mass balance of tropical freshwater, Beriah Swamp, Perak. *Jurnal of Teknologi*, 43, 65-84.
- Zakaria, N. A. (2003). *Sistem Saliran Bio-ekologi (BIOECODS)*. Pulau Pinang: REDAC, Kampus Kejuruteraan, Universiti Sains Malaysia.

Lampiran 1

Pengelasan Kualiti Air berdasarkan Piawaian Interim Kualiti Air Kebangsaan (INWQS)

Parameter	Unit	Pengelasan					
		I	IIA	IIB	III	IV	V
DO	mg/l	7	5-7	5-7	3-5	<3	>1
pH		6.8-8.5	6-9	6-9	5-9	5-9	-
TSS	mg/l	25	50	50	150	300	>300
Suhu	°C	-	Normal ± 2	-	Normal ± 2	-	-
Turbiditi	FTU	5	50	50	150	300	>300

Lampiran 2

Pengelasan Kualiti Air Badan Air Mengikut LAWA (1998) Bagi Parameter NO₃-N, NH₃-N, dan TN

Kelas	Darjah Kemerotan Air	TN	NO ₃ -N	NH ₃ -N
I	Tidak tercemar	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 0.04
I-II	Sedikit tercemar	≤ 1.5	≤ 1.5	≤ 0.10
II	Sederhana tercemar	≤ 3.0	≤ 2.5	≤ 0.30
II-III	Percemaran kritikal	≤ 6.0	≤ 5.0	≤ 0.60
III	Teramat tercemar	≤ 12.0	≤ 10.0	≤ 1.20
III-IV	Sangat tercemar	≤ 24.0	≤ 20.0	≤ 2.40
IV	Terlampau tercemar	> 24.0	> 20.0	> 2.40