

PENENTUAN KUALITI AIR TASIK KEJURUTERAAN UKM KAMPUS BANGI: KE ARAH SISTEM PENGURUSAN SUMBER AIR BERSEPADU

Mazlin Bin Mokhtar¹, Othman A. Karim² dan Irene Lee Pei Ngo³

¹Institut Alam Sekitar dan Pembangunan (LESTARI)

²Jabatan Kejuruteraan Awam & Struktur, Fakulti Kejuruteraan

³Pusat Pengajian Sains Kimia dan Teknologi Makanan, Fakulti Sains & Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia

43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

Kata kunci: Kualiti air, tasik, UKM, pengurusan, bersepadu
Key words : Water quality, lake, UKM, management, integrated

Abstrak

Sistem pengurusan sumber air bersepadu (IWRM) merupakan suatu proses yang mempromosikan pembangunan penyelarasan dan pengurusan air, tanah dan sumber lain yang berkaitan untuk memaksimumkan manfaat ekonomi dan sosial secara seimbang tanpa menjejaskan kelestarian ekosistem. Kajian mengenai kualiti air Tasik Kejuruteraan, UKM Kampus Bangi dijalankan untuk menentukan kualiti air tasik tersebut, membandingkannya dengan nilai Interim Kualiti Air Kebangsaan (INWQS) (JAS, 2001), dan menganggarkan nilai Indeks Kualiti Air berdasarkan enam parameter terpilih. Kajian ini juga bertujuan mengenalpasti sumber dan tahap pencemaran air tasik berkenaan. Kesan hari hujan dan hari kering ke atas kualiti air tersebut juga telah dinilai. Parameter yang diukur adalah pH, suhu, oksigen terlarut (DO), konduktiviti, kekeruhan, jumlah pepejal terampai (TSS), permintaan oksigen biokimia (BOD), permintaan oksigen kimia (COD), nitrogen ammonia (NH₃-N), plumbum dan kadmium. Parameter suhu, pH, konduktiviti, oksigen terlarut dan kekeruhan diukur secara *in situ* dengan menggunakan meter yang telah dikalibrasi. Kandungan logam berat ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom (AAS). Kaedah pensampelan dan analisis dilakukan mengikut garis panduan yang dicadangkan oleh *American Public Health Association* (APHA, 1998). Pada keadaan biasa, kadar aliran masuk bagi air tasik dianggarkan sebanyak 0.057 ± 0.024 m³/s manakala, kadar aliran keluar adalah 0.052 ± 0.018 m³/s. Secara teori, masa mastautin air tasik dengan kedalaman purata tasik (1.5m) dan keluasan (18,000 m²) adalah 62.5 ± 37.6 hari. Jumlah anggaran bagi bahan yang diukur yang berada dalam tasik adalah DO (200.88 \pm 28.25 kg), TSS (163.78 \pm 18.19 kg), NH₃-N (12.65 \pm 13.90 kg), BOD (41.90 \pm 23.95 kg), COD (1605 \pm 75 kg), Pb (9.50 \pm 0.90 kg) dan Cd (2.81 \pm 0.24 kg). Anggaran jumlah berat bahan yang mengalir ke Sungai Langat setiap hari dari tasik ini adalah TSS (27.81 \pm 9.29 kg), NH₃-N (2.12 \pm 0.71 kg), BOD (7.01 \pm 2.34 kg), COD (268.9 \pm 89.78 kg), Pb (1.59 \pm 0.53 kg) dan Cd (0.47 \pm 0.15 kg). Hasil ujian ANOVA dua hala menunjukkan perbezaan yang sangat bererti ($p < 0.001$) antara kepekatan parameter semasa hari hujan dan kering bagi Pb, $p < 0.05$ antara hari hujan dan kering bagi TSS. Perbezaan bererti $p < 0.05$ dicerap bagi data antara stesen bagi parameter suhu, DO dan BOD. Semua stesen pensampelan kajian ini didapati mempunyai kualiti air Kelas II kecuali Stesen S2 yang berada pada Kelas III (sedikit tercemar). Secara keseluruhannya, kualiti air Tasik Kejuruteraan UKM boleh dikategorikan sebagai Kelas II – III. Beberapa langkah yang perlu diambil ke arah sistem pengurusan sumber air bersepadu dalam kampus UKM Bangi bagi mewujudkan kualiti air yang baik, sihat dan harmoni yang selaras dengan tema UKM 'Universiti dalam Taman' telah juga dicadangkan.

Abstract

Integrated Water Resources Management (IWRM) is a process, which promotes the coordinated development and management of water, land and related resources, in order to maximize the resultant economic and social welfare in an equitable manner without compromising the sustainability of vital ecosystem. A study on the water quality of the 'Engineering Lake', UKM Bangi Campus was carried out to determine the water quality, and compare it with the Interim National Water Quality Standard (INWQS) (DOE, 2001), followed by estimation of its Water Quality Index (WQI) based on six selected parameters. The purpose of this study was to identify the possible causes of the water pollution and level of this pollution at the lake. The comparisons of concentration values measured during dry days with those on rainy were performed using suitable statistical methods. Water quality parameters that were measured are pH, temperature, dissolve oxygen (DO), conductivity, turbidity, total suspended solids (TSS), biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), ammoniacal-nitrogen, lead and cadmium. Temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen and turbidity were measured *in situ* by using calibrated meters, whilst metal concentrations were determined by using Atomic Absorption Spectrophotometry

(AAS). Methods of sampling and water analyses were performed according to recommendations that were outlined by the American Public Health Association (APHA, 1998). On normal days, the inflow and the outflow of the lake were estimated to be $0.057 \pm 0.024 \text{ m}^3/\text{s}$ inflows and $0.052 \pm 0.018 \text{ m}^3/\text{s}$ outflows. The theoretical retention time of the lake water with a mean depth of 1.5 m and area of 18,000 m^2 was 62.5 ± 37.6 days. On the normal days, the estimated total amounts of materials that were present in the lake were DO ($200.88 \pm 28.25 \text{ kg}$), TSS ($163.78 \pm 18.19 \text{ kg}$), NH₃-N ($12.65 \pm 13.90 \text{ kg}$), BOD ($41.90 \pm 23.95 \text{ kg}$), COD ($1605.58 \pm 74.68 \text{ kg}$), Pb ($9.50 \pm 0.90 \text{ kg}$) and Cd ($2.81 \pm 0.24 \text{ kg}$). The estimated total amount of polluted materials which flowed into the Langat River daily were TSS ($27.81 \pm 9.29 \text{ kg}$), NH₃-N ($2.12 \pm 0.71 \text{ kg}$), BOD ($7.01 \pm 2.34 \text{ kg}$), COD ($268.9 \pm 89.78 \text{ kg}$), Pb ($1.59 \pm 0.53 \text{ kg}$) and Cd ($0.47 \pm 0.15 \text{ kg}$). The results from two way ANOVA showed that there were significant differences ($p < 0.001$) between rainy days and dry days for Pb. There were also significant differences ($p < 0.05$) between rainy days and dry days in term of TSS. There were significant differences ($p < 0.05$) between stations in terms of temperature, DO and BOD. All sampling stations were categorized as having Class II water that means a reasonably good water quality except S2 which was categorized as a Class III, which means it was slightly polluted. On the overall, the Engineering Lake water of UKM Bangi Campus was categorized as Class II-III. Some measures of IWRM were suggested for improvement of the lake's water quality and its environment, in achieving a healthy lake ecosystem which is in line with UKM's theme of being a 'University in A Garden'.

Pengenalan

Konsep pembangunan lestari telah dikemukakan oleh *World Commission on Environment and Development (Brundtland Commission)* dalam laporan *Our Common Future* pada tahun 1987 (Bruce, 1997). Pembangunan lestari menekankan pengurusan sumber alam yang terdiri daripada biodiversiti, air, tanah dan sumber lain. Di Malaysia, konsep pembangunan lestari telah dimaktubkan dalam beberapa dasar dan dokumen rasmi kerajaan, seperti Rancangan Jangka Panjang Malaysia Ketiga 2001 – 2010 (*“Third Outline Perspective Plan 2001 – 2010”*), yang merangkumi Rancangan Malaysia ke-8 (2001 - 2005) dan Rancangan Malaysia ke-9 (2006 – 2010). Malaysia menyertai Persidangan Pertubuhan Bangsa-Bangsa Bersatu mengenai alam sekitar dan pembangunan (UNCED) di Rio de Janeiro, Brazil pada Jun 1992, bila mana konsep pengurusan air secara bersepadu telah dimajukan untuk memastikan bekalan air tawar dunia adalah mencukupi untuk semua penduduk di semua negara bagi tujuan hidupan seharian dan pembangunan lestari. Dalam *Millenium Summit of the United Nations* di New York (2000), *the International Freshwater Conferences* di Bonn (2001) dan *World Summit on Sustainable Development* di Johannesburg (2002), peserta dari pelbagai kerajaan, NGO dan organisasi telah digalakkan untuk menyatakan iltizam dalam pengurusan air termasuk untuk menghebahkan dan melaksanakan agenda pendekatan Pengurusan Sumber Air Bersepadu (*“Integrated Water Resources Management”*, IWRM) (*World Water Forum 2003*). *Global Water Partnership* (GWP) atau Pakatan Air Sedunia mendefinisikan IWRM sebagai suatu proses yang mempromosikan pembangunan dan pengurusan sumber air, tanah dan sumber lain yang berkaitan untuk memaksimumkan manfaat ekonomi dan sosial secara seimbang tanpa menjejaskan ekosistem lestari (GWP, 2000b).

IWRM boleh dijalankan dalam beberapa skala atau peringkat iaitu kebangsaan, negara, negeri, tempatan dan lembangan sungai. Pengurusan Bersepadu Lembangan Sungai (*Integrated River Basin Management/ IRBM*) merupakan cara pengurusan bersepadu dalam mengatasi pelbagai masalah dan isu sumber air seperti pencemaran air, kekurangan air dan banjir dalam konteks isu guna tanah dan pembangunan di sesebuah lembangan sungai. Lembangan Langat di Semenanjung Malaysia adalah terdiri daripada empat buah daerah, iaitu Hulu Langat, Kuala Langat dan Sepang di Selangor, serta empat mukim di Negeri Sembilan. Lembangan ini mempunyai keluasan kira-kira 2 940 km^2 dan merupakan suatu pusat perindustrian, pembangunan dan pentadbiran di Malaysia yang merangkumi projek nasional seperti Putrajaya, KLIA dan Koridor Raya Multimedia (MSC) (Mazlin *et al.*, 2004). Sungai Langat ini juga mengalir bersebelahan dengan kawasan UKM Kampus Bangi dan sungai ini juga menerima air luahan dari beberapa saluran dan jasad air tertentu dalam Kampus tersebut. Satu daripada jasad air tersebut adalah *“Tasik Kejuruteraan”* UKM yang dinamakan sedemikian kerana kedudukannya yang hampir dengan fakulti tersebut. Tasik ini telah dipilih sebagai kawasan kajian memandangkan kualiti airnya yang kelihatan tidak berapa menarik dan juga kerana ia menyumbangkan air luahan kepada Sungai Langat.

Permasalahan Kajian

Pencemaran air telah mula kelihatan berlaku di Tasik Kejuruteraan dan kualiti airnya diandaikan tidak baik berdasarkan pandangan estetik. Antara penyebab pencemaran yang disyaki adalah projek pembinaan Kolej Kediaman Pelajar Kausar dan Kompleks Fakulti Teknologi Sains Maklumat (FTSM) yang melibatkan kerja pembersihan tanah; serta aktiviti perniagaan di kantin dalam bangunan Fakulti Kejuruteraan serta blok-blok makmal di sepanjang saluran menuju ke tasik. Kajian kualiti air perlu dijalankan untuk mengenalpasti sumber

dan tahap pencemaran air tasik dengan menggunakan parameter fizikal dan kimia. Seterusnya, Indeks Kualiti Air (IKA) bagi kualiti air tasik ini telah juga ditentukan.

Objektif Kajian

Objektif kajian ini adalah: (1) mengkaji sistem saliran ke Tasik Kejuruteraan, kampus UKM Bangi; (2) menentukan kualiti air pada hari kering dan hari hujan dan kemudiannya membandingkannya dengan piawaian Interim Kualiti Air Kebangsaan (INWQS) dan piawaian lain yang sesuai untuk menentukan status pencemaran; (3) memberi cadangan tentang langkah-langkah yang perlu diambil untuk mengurangkan pencemaran air dan mengindahkan tasik bagi menghasilkan suasana sihat dan harmoni selaras dengan tema UKM 'Universiti dalam Taman' dan juga sebagai inisiatif ke arah pengurusan sumber air bersepadu (IWRM) dalam kampus.

Lokasi Kajian

Tasik Kejuruteraan ini sebenarnya telah diubahsuai dari sebuah kawasan paya ke tasik buatan manusia pada tahun 1989. Airnya mengalir dari bukit yang berhutan di hulu ke dalam tasik dan air tasik kemudiannya mengalir ke Sungai Langat. Kawasan sekelilingnya telah dikembangkan menjadi taman rekreasi dengan lorong jalan kaki, pondok dan menawarkan aktiviti mengayak untuk pelajar dan warga kampus. Anggaran keluasan Tasik Kejuruteraan ini adalah kira-kira 1.8 hektar. Kedalamannya secara purata adalah 1.5 m. Jabatan Pengurusan Pembangunan (JPP) UKM bertanggungjawab ke atas pengurusan tasik ini dan ia juga bertanggungjawab memantau dan menjaga kebersihan tasik. Kini, pencemaran air telah mula kelihatan dan kualiti air disyaki menjadi semakin teruk. Nilai estetik di tasik kelihatan menurun saban hari dan pemandangan di tasik tidak menyenangkan mata. Punca pencemaran boleh dibahagi kepada pencemar tentu dan pencemar tidak tentu (Krenkel & Novotny 1980). Di Tasik Kejuruteraan, pencemar tentu yang dikenalpasti termasuklah hakisan permukaan tanah akibat projek pembinaan Kolej Kausar dan longkang Kompleks Fakulti Teknologi dan Sains Maklumat, kantin dan bangunan Fakulti Kejuruteraan. Menurut JPP, semua air buangan samada air dari makmal, tandas atau kantin disalurkan oleh paip pembentungan khas ke tangki kumbahan yang kemudiannya disalurkan ke kolam pengoksidaan kumbahan UKM untuk proses perawatan sebelum ia dialirkan ke Sungai Langat. Air larian hujan dan hakisan kelodak di sekeliling tasik merupakan pencemar tidak tentu. Kajian kualiti air ke atas Tasik Kejuruteraan ini dilakukan di lima lokasi yang telah ditentukan sebagai stesen pensampelan (Jadual 1).

Bahan dan Kaedah

Parameter-parameter kajian

Parameter-parameter yang diukur adalah pH, suhu, oksigen terlarut (DO), konduktiviti, kekeruhan, jumlah pepejal terampai (TSS), permintaan oksigen biokimia (BOD), permintaan oksigen kimia (COD), nitrogen ammonia (NH₃-N), plumbum dan kadmium. Parameter suhu, pH, konduktiviti, oksigen terlarut dan kekeruhan diukur secara *in situ* dengan menggunakan meter yang telah dikalibrasikan. Kandungan logam ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom (AAS). Kaedah pengawetan dan penyimpanan sampel sebelum analisis adalah seperti yang disarankan oleh APHA (1998).

Secara ringkas, pengukuran suhu, pH, DO, konduktiviti diukur dengan meter oksigen terlarut model YSI 556. Meter turbiditi 2020 berjenama Lamotte digunakan untuk mengukur kekeruhan. TSS ditentukan dengan kaedah APHA 2540D melalui penurasan dan pengeringan pada 103-105 °C. BOD adalah sepertimana saranan Kaedah APHA 5210B kaedah elektrod. COD ditentukan melalui kaedah refluks terbuka APHA 5220B. Nitrogen ammonia diukur dengan kaedah HACH Quick Program 380 (Kaedah Nessler) menggunakan spektrometer HACH DR2000 pada jarak gelombang 425 nm. Halaju aliran air diukur dengan meter aliran elektromagnet model Valeport 801 Ver 3.10.

Jadual 1 : Stesen pensampelan dalam kajian ini.

| Stesen | Koordinat | Perihal Ringkas |
|--------|--------------------------------|--|
| 1 | U 02 55°12.1" T101 46°20.3" | Aliran air sungai dari bukit selepas melalui Fakulti Teknologi dan Sains Maklumat. |
| 2 | U 02 55°12.4" T101 46°23.6" | Perangkap lumpur yang berdekatan dengan makmal dan kantin Fakulti Kejuruteraan. |
| 3 | U 02 55°24.0" T101 46°24.5" | Kawasan yang menerima aliran air dari longkang bangunan Fakulti Kejuruteraan. |
| 4 | U 02 55°28.4" T101 46°20.7" | Di tengah-tengah tasik. |
| 5 | U 02 55°28.2" T101 46°17.4" | Kawasan aliran keluar air tasik ke Sungai Langat |

Hasil dan Perbincangan

Pengiraan Data Hidrologi

Hasil ukuran keluasan melintang bagi aliran masuk ialah 0.151 m² dan aliran keluar ialah 0.092 m²

$$\begin{aligned} \text{Kadar aliran isipadu, } Q \text{ (m}^3\text{/s)} &= V \times A && \text{- Persamaan (1)} \\ \text{dimana } V &= \text{halaju aliran (m/s)} \\ A &= \text{Keluasan melintang (m}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar aliran isipadu masuk, } Q_{in} &= V_{in} \times A \\ &= 0.376 \text{ m/s} \times 0.151 \text{ m}^2 \\ &= 0.057 \pm 0.024 \text{ m}^3\text{/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar aliran isipadu keluar, } Q_{out} &= V_{out} \times A \\ &= 0.567 \text{ m/s} \times 0.092 \text{ m}^2 \\ &= 0.052 \pm 0.018 \text{ m}^3\text{/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luahan aliran masuk dan keluar, } Q &= Q_{in} - Q_{out} && \text{- Persamaan (2)} \\ Q &= 0.057 \text{ m}^3\text{/s} - 0.052 \text{ m}^3\text{/s} \\ &= 5.0 \times 10^{-3} \pm 0.003 \text{ m}^3\text{/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Masa mastautin, } t_h &= I / Q && \text{- Persamaan (3)} \\ \text{dimana } I &= \text{isipadu tasik (m}^3\text{),} \\ Q &= \text{Luahan aliran masuk \& keluar (m}^3\text{/s)} \\ \text{Masa mastautin, } t_h &= I/Q \\ &= \frac{27,000 \text{ m}^3}{(5.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3\text{/s})} \\ &= 5.4 \times 10^6 \text{ s} \end{aligned}$$

Jadi, dijangka air tasik berada dalam tasik selama 62.5 ± 37.6 hari.

Bagi pengiraan sesuatu pencemar, purata kepekatan di lima stesen diambil kira :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah berat, } M &= C \times I && \text{- Persamaan (4)} \\ \text{dimana } C &= \text{kepekatan sebatian,} \\ I &= \text{isipadu air} \end{aligned}$$

$$\text{Kadar aliran berat, } L = C \times Q_{out} \quad \text{- Persamaan (5)}$$

Persamaan (5) boleh digunakan untuk menganggar jumlah pencemar yang mengalir dari Tasik Kejuruteraan ke dalam Sungai Langat.

Parameter-parameter

Nilai purata dan sisihan piawai bagi setiap parameter kajian pada pensampelan hari kering dan hari hujan diringkaskan dalam Jadual 2 dan Jadual 3.

Suhu

Analisis statistik ANOVA dua hala menunjukkan tiada perbezaan yang bererti ($p > 0.05$) diantara keadaan hari hujan-kering bagi lima stesen dengan $P=0.717$. Manakala, terdapat perbezaan yang bererti diantara stesen dengan $P=0.006$. Suhu berada dalam julat 28.00 ± 0.01 C hingga 30.84 ± 1.57 C.

pH

Analisis statistik ANOVA dua hala menunjukkan tiada perbezaan yang bererti ($p > 0.10$) diantara keadaan hari hujan-kering dengan $P=0.148$. Tiada perbezaan yang bererti ($p > 0.10$) antara stesen dengan $P=0.913$. Nilai pH stesen kajian berada dalam julat 6.06 ± 0.07 hingga 7.57 ± 1.61 , iaitu berada pada subkelas IIA. Berdasarkan INWQS (1998), nilai pH yang melebihi julat 6 hingga 9, menunjukkan pencemaran air telah berlaku. Namun menurut APHA (1992), kebiasaannya nilai pH air yang neutral ialah diantara julat 4 hingga 9. Nilai ini adalah merupakan nilai biasa yang menunjukkan kehadiran ion bikarbonat dan karbonat dalam keadaan alkali dan

logam alkali bumi. Nilai pH air semulajadi dipengaruhi oleh bahan organik tanah seperti asid humik, asid tanik, asid uronik dan asid mineral hasil aktiviti tanah (Mokhtar *et al.*, 2003)

Konduktiviti

Analisis statistik ANOVA dua hala menunjukkan tiada berbezaan yang bererti ($p > 0.10$) diantara keadaan hari hujan-kering dengan $P=0.339$. Tiada perbezaan yang bererti ($p > 0.10$) antara stesen dengan $P=0.712$. Julat konduktiviti berada dalam julat $168.33 \pm 13.61 \mu\text{S/cm}$ hingga $207.67 \pm 8.14 \mu\text{S/cm}$. Menurut Chapman (1992), konduktiviti air permukaan biasanya berada dalam julat $10 \mu\text{S/cm}$ hingga $1000 \mu\text{S/cm}$, tetapi mungkin melebihi nilai julat ini terutamanya dalam air yang tercemar atau sistem saliran yang menerima air larian permukaan. Konduktiviti mengukur bahan bukan organik terlarut yang terion membentuk elektrolit. Konduktiviti dan jumlah pepejal terampai adalah berkadaran terus antara satu sama lain (Mokhtar *et al.*, 2003)

Jadual 2 : Nilai purata dan sisihan piawai bagi setiap parameter kajian pada pensampelan hari kering (1/9/04, 6/9/04, 14/9/04)

| Parameter | STESEN | | | | |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Suhu ($^{\circ}\text{C}$) | 28.00 ± 0.01 | 29.66 ± 0.67 | 28.22 ± 0.17 | 29.91 ± 0.56 | 30.62 ± 0.30 |
| pH | 6.06 ± 0.07 | 6.64 ± 0.18 | 6.42 ± 0.18 | 6.57 ± 0.15 | 6.84 ± 0.82 |
| Konduktiviti ($\mu\text{S/cm}$) | 205.00 ± 6.56 | 207.67 ± 0.18 | 204.00 ± 11.27 | 173.67 ± 18.50 | 175.00 ± 19.98 |
| Kekeruhan (NTU) | 5.37 ± 0.64 | 12.70 ± 0.78 | 7.84 ± 4.46 | 9.79 ± 1.05 | 9.78 ± 2.10 |
| TSS (mg/L) | 5.83 ± 1.61 | 6.50 ± 3.12 | 7.00 ± 5.77 | 5.67 ± 0.58 | 5.33 ± 2.57 |
| DO (mg/L) | 7.20 ± 0.73 | 7.58 ± 1.42 | 5.80 ± 0.65 | 8.09 ± 1.01 | 8.53 ± 0.80 |
| DO (%) | 92.80 ± 8.36 | 99.20 ± 20.42 | 73.47 ± 8.73 | 105.50 ± 14.08 | 112.97 ± 11.54 |
| NH ⁻ N (mg/L) | 0.25 ± 0.07 | 0.21 ± 0.15 | 0.08 ± 0.03 | 1.36 ± 2.21 | 0.44 ± 0.41 |
| BOD (mg/L) | 0.92 ± 0.45 | 2.21 ± 0.92 | 2.64 ± 2.17 | 1.50 ± 0.84 | 0.49 ± 0.37 |
| COD (mg/L) | 61.33 ± 8.33 | 57.33 ± 16.17 | 62.67 ± 12.86 | 56.00 ± 27.71 | 60.00 ± 8.00 |
| Pb (mg/L) | 0.36 ± 0.12 | 0.32 ± 0.04 | 0.32 ± 0.06 | 0.40 ± 0.08 | 0.36 ± 0.10 |
| Cd (mg/L) | 0.09 ± 0.02 | 0.11 ± 0.04 | 0.11 ± 0.04 | 0.10 ± 0.03 | 0.11 ± 0.03 |

Jadual 3: Nilai purata dan sisihan piawaian bagin setiap parameter kajian pada pensampelan hari hujan (24/8/04, 21/9/04, 25/11/04)

| Parameter | Stesen | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Suhu ($^{\circ}\text{C}$) | 28.30 ± 1.42 | 28.97 ± 2.46 | 28.08 ± 0.76 | 29.42 ± 1.57 | 30.84 ± 1.57 |
| pH | 7.05 ± 1.71 | 7.30 ± 1.77 | 7.06 ± 1.97 | 6.96 ± 1.63 | 7.57 ± 1.61 |
| Konduktiviti ($\mu\text{S/cm}$) | 168.33 ± 13.61 | 200.00 ± 39.36 | 175.33 ± 86.29 | 174.67 ± 23.67 | 189.33 ± 51.87 |
| Kekeruhan (NTU) | 26.10 ± 32.22 | 192.27 ± 287.48 | 12.19 ± 14.56 | 29.53 ± 17.39 | 28.83 ± 19.72 |
| TSS (mg/L) | 20.17 ± 17.02 | 69.00 ± 92.15 | 20.83 ± 15.54 | 18.50 ± 4.77 | 18.00 ± 12.50 |
| DO (mg/L) | 6.82 ± 1.35 | 6.00 ± 0.92 | 5.47 ± 1.16 | 7.20 ± 1.49 | 7.70 ± 1.45 |
| DO (%) | 87.67 ± 16.40 | 78.70 ± 12.14 | 70.10 ± 14.22 | 94.17 ± 21.25 | 103.90 ± 20.36 |
| NH ⁻ N (mg/L) | 0.49 ± 0.37 | 1.54 ± 0.85 | 0.36 ± 0.28 | 0.41 ± 0.27 | 0.42 ± 0.28 |
| BOD (mg/L) | 0.72 ± 0.72 | 3.48 ± 2.03 | 2.69 ± 1.75 | 2.33 ± 1.42 | 0.77 ± 0.32 |
| COD (mg/L) | 59.73 ± 30.38 | 59.88 ± 52.90 | 51.09 ± 36.48 | 42.87 ± 39.31 | 64.37 ± 34.27 |
| Pb (mg/L) | 0.19 ± 0.11 | 0.15 ± 0.14 | 0.14 ± 0.12 | 0.12 ± 0.10 | 0.17 ± 0.20 |
| Cd (mg/L) | 0.29 ± 0.31 | 0.09 ± 0.04 | 0.09 ± 0.02 | 0.10 ± 0.03 | 0.10 ± 0.01 |

Kekeruhan

Analisis statistik ANOVA dua hala menunjukkan tiada perbezaan yang bererti ($p > 0.10$) diantara keadaan hari hujan-kering dengan $P=0.163$. Manakala, tiada perbezaan yang bererti ($p > 0.10$) antara stesen dengan $P=0.399$. Nilai kekeruhan berada dalam julat 12.19 ± 14.56 NTU hingga 192.27 ± 287.48 NTU. Semua stesen berada pada subkelas I kecuali S2 yang melampaui paras maksimum 50 NTU yang disarankan oleh subkelas IIB. Stesen S2

adalah paling keruh (192.27 ± 287.48 NTU) pada hari hujan kerana merupakan perangkap lumpur yang memerangkap sedimen dari projek pembinaan Kolej Kausar dan Kompleks FTSM.

TSS

Analisis statistik ANOVA dua hala menunjukkan terdapat perbezaan yang bererti ($p < 0.05$) diantara keadaan hari hujan-kering dengan $P=0.049$. Manakala, tiada perbezaan yang bererti antara stesen dengan $P=0.527$. TSS adalah lebih tinggi pada hari hujan kerana air larian permukaan sewaktu hujan mempunyai daya hakisan yang kuat dan mengakibatkan kadar hakisan tanah yang kuat dan menyumbangkan kepada peningkatan pepejal terampai di kawasan tanah rata terutamanya yang terdedah akibat proses pembangunan. Nilai TSS berada dalam julat 5.33 ± 2.57 mg/L hingga 69.00 ± 92.15 mg/L. Pada hari kering, semua stesen terletak pada subkelas I. Manakala pada hari hujan, semua stesen dikategorikan sebagai subkelas I kecuali S2 berada pada subkelas III. Stesen S2 mempunyai TSS yang paling tinggi (69.00 ± 92.15 mg/L) pada hari hujan kerana merupakan perangkap lumpur yang memerangkap sedimen dari projek pembinaan Kolej Kausar dan Kompleks FTSM. Pada keadaan normal, jumlah berat TSS dalam tasik adalah 163.78 ± 18.19 kg. Anggaran jumlah pepejal terampai yang mengalir masuk ke Sungai Langat adalah 27.81 ± 9.29 kg setiap hari.

Oksigen Terlarut

Analisis statistik ANOVA dua hala menunjukkan tiada perbezaan yang bererti ($p > 0.05$) diantara keadaan hari hujan-kering dengan $P=0.068$. Manakala, terdapat perbezaan yang bererti antara stesen dengan $P=0.014$. DO berada dalam julat 5.47 ± 1.16 mg/L hingga 8.53 ± 0.80 mg/L. Pada hari kering, semua stesen berada pada subkelas I kecuali S3 berada pada subkelas IIA. Pada hari hujan, S4 dan S5 berada pada subkelas I manakala S1, S2, S3 berada pada subkelas IIA. S3 mempunyai nilai DO yang paling rendah (5.47 ± 1.16 kg) kerana kehadiran bahan organik yang tinggi di S3. Bakteria menggunakan oksigen terlarut semasa proses penguraian bahan organik tersebut. Pada keadaan normal, dianggarkan 200.88 ± 28.25 kg oksigen terlarut berada dalam air tasik.

Nitrogen Ammonia

Analisis statistik ANOVA dua hala menunjukkan tiada perbezaan yang bererti ($p > 0.10$) diantara keadaan hari hujan-kering dengan $P=0.545$. Tiada perbezaan yang bererti ($p > 0.10$) diantara stesen dengan $P=0.476$. Nilai nitrogen ammonia berada dalam julat 0.08 ± 0.03 mg/L hingga 1.54 ± 0.85 mg/L. Pada hari kering, Stesen S3 terletak dalam subkelas I; S2 dan S3 berada pada subkelas IIA, manakala S5 terletak pada subkelas III dan S4 terletak pada subkelas IV. Pada hari hujan, Stesen S1, S3, S4 dan S5 dikategorikan sebagai subkelas III dan S2 terletak pada subkelas IV. Ini mungkin disebabkan air kumbahan domestik yang dilepaskan ke dalam Tasik Kejuruteraan dan pembuangan air sisa makanan dari kantin. Menurut Jabatan Pengurusan Pembangunan (JPP), semua air buangan sama ada dalam makmal dan tandas disalurkan oleh paip pembentungan dalam sistem pembentungan ke kolam pengoksidaan kumbahan UKM untuk proses perawatan sebelum ia dialirkan ke Sungai Langat, namun dijangkakan terdapat juga luahan air buangan yang disalurkan ke dalam longkang yang mengalir ke dalam tasik kajian. Pada keadaan normal, dianggarkan 12.65 ± 13.90 kg nitrogen ammonia berada dalam tasik. Anggaran jumlah nitrogen ammonia yang mengalir masuk ke Sungai Langat adalah 2.12 ± 0.71 kg setiap hari.

Permintaan Oksigen Biokimia (BOD)

Analisis statistik ANOVA dua hala menunjukkan tiada perbezaan yang bererti ($p > 0.10$) diantara keadaan hari hujan-kering dengan $P=0.354$; manakala, terdapat perbezaan yang bererti antara stesen dengan $P=0.018$. BOD berada dalam julat 0.49 ± 0.37 mg/L hingga 3.48 ± 2.03 mg/L. Pada hari kering, S1 dan S5 terletak pada subkelas I manakala S2, S3 dan S4 berada pada subkelas IIA. Pada hari hujan, S1 dan S5 terletak pada subkelas I, S3 dan S4 berada pada subkelas IIA, manakala S2 berada pada subkelas III. Stesen 2 mempunyai nilai BOD yang paling tinggi, iaitu 3.48 ± 2.03 mg/L sewaktu hari hujan. Ini mungkin kerana stesen ini terletak berdekatan dengan bengkel fakulti kejuruteraan. Kawasan bengkel ini mungkin menyebabkan saluran air buangan berjaya masuk ke dalam longkang pada hari hujan yang mengandungi bahan berorganik tinggi yang boleh meningkatkan paras kepekatan BOD dalam sistem air. Pada keadaan normal, jumlah berat BOD yang dianggarkan hadir dalam tasik adalah 41.90 ± 23.95 kg. Anggaran BOD yang mengalir masuk ke Sungai Langat adalah 7.01 ± 2.34 kg setiap hari.

Permintaan Oksigen Kimia (COD)

Analisis statistik ANOVA dua hala menunjukkan tiada perbezaan yang bererti ($p > 0.10$) diantara keadaan hari hujan-kering dengan $P=0.729$. Tiada perbezaan yang bererti ($p > 0.10$) antara stesen dengan $P=0.955$. Secara keseluruhan, nilai COD adalah tinggi, iaitu dalam kategori subkelas IV (51 mg/L hingga 100 mg/L) berdasarkan

INQWS disebabkan kehadiran bahan organik dan bahan bukan organik yang banyak dalam tasik mungkin disebabkan air larian sisa makanan dari kantin dan air sisa buangan dari makmal dan bengkel fakulti. Menurut JPP, semua air buangan sama ada air dalam makmal dan tandas disalurkan oleh paip pembentungan dalam sistem pembentungan ke kolam pengoksidaan kumbahan UKM untuk proses perawatan sebelum ia dialirkan ke Sungai Langat, namun terdapat kemungkinan air sisa ini juga mengalir dalam saluran longkang dan mengikut air larian sewaktu hari hujan. Nilai COD yang tinggi menunjukkan pembuangan air sisa yang mungkin dialirkan secara langsung atau tidak langsung dari kawasan bangunan fakulti. Pada keadaan normal, dianggarkan air tasik mengandungi jumlah berat COD sebanyak 1605.58 ± 74.68 kg. Anggaran COD yang mengalir masuk ke Sungai Langat adalah 268.90 ± 89.78 kg setiap hari. Nilai ini adalah amat tinggi dan memberikan beban terhadap kualiti air Sungai Langat yang semakin tercemar.

Plumbum

Analisis statistik ANOVA dua hala menunjukkan terdapat perbezaan yang sangat bererti ($p < 0.001$) diantara keadaan hari hujan-kering dengan $P=0.001$. Julat pB ialah 0.32 ± 0.06 mg/L hingga 0.40 ± 0.08 mg/L sewaktu hari kering manakala julatnya pada hari hujan adalah 0.12 ± 0.10 mg/L hingga 0.19 ± 0.11 mg/L. Nilai pB adalah rendah semasa hujan disebabkan proses pencairan air tasik. Tiada perbezaan yang bererti antara stesen dengan $P=0.345$ hasil ujian ANOVA. Secara keseluruhan, nilai Pb adalah amat tinggi dan melebihi had piawai JAS, iaitu 0.05 mg/L. Kebanyakan plumbum yang dibebaskan ke atmosfera berpunca daripada bahan api kenderaan bermotor yang mengandungi bahan kimia antiketuk, tetraetil plumbum, $(C_2H_5)_4Pb$. Plumbum yang termendap di tempat letak kereta dan jalanraya boleh dibawa oleh air larian permukaan yang mengalir ke dalam tasik. Menurut Camp dan Meserve (1974), berdasarkan pencemaran yang diakibatkan daripada kawasan bandar, terdapat peningkatan masalah pencemaran logam berat semasa berlakunya air larian permukaan di kawasan bandar. Menurut Spliethoff dan Hemond (1996), kewujudan plumbum bukan sahaja boleh dicerap di kawasan berkepadatan dengan kenderaan, tetapi juga dalam atmosfera yang turun dengan air hujan dan diangkut ke sedimen akuatik dengan berkesan berbanding dari permukaan kawasan pertanian. Pada keadaan normal, dianggarkan terdapat kandungan Pb sebanyak 9.50 ± 0.90 kg. Anggaran jumlah Pb yang mengalir masuk ke Sungai Langat adalah 1.59 ± 0.53 kg setiap hari. Nilai ini adalah amat tinggi kerana logam berat ini amat toksik kepada manusia walaupun dalam kuantiti kecil.

Kadmium

Analisis statistik ANOVA dua hala menunjukkan tiada perbezaan yang bererti ($p > 0.10$) di antara keadaan hari hujan-kering dengan $P=0.404$. Tiada perbezaan yang bererti ($p > .010$) antara stesen dengan $P=0.931$. Julat Cd ialah 0.09 ± 0.02 mg/L hingga 0.11 ± 0.04 mg/L. Nilai kepekatan Cd adalah amat tinggi dan melebihi had piawai JAS, iaitu 0.01 mg/L. Ini mungkin disebabkan kehadiran Cd dalam debu dan termendap di tasik. Kewujudan Cd dalam atmosfera biasanya berpunca dari pembakaran bahan api dalam keadaan bermotor, kegiatan perindustrian dan aktiviti pembinaan yang amat pesat di sekitar lembangan. Pada keadaan normal, kandungan Cd dalam tasik dianggarkan 2.81 ± 0.24 kg. Anggaran jumlah Cd yang mengalir masuk ke Sungai Langat adalah 0.47 ± 0.15 kg setiap hari. Nilai ini adalah tinggi dan membahayakan kehidupan jika ia terkumpul dalam tisu badan.

Indeks Kualiti Air (IKA)

Jadual 4 menunjukkan nilai IKA secara purata bagi hari hujan dan hari kering di stesen kajian ini.

Jadual 4 : Nilai IKA secara purata di stesen kajian ini

| Stesen | IKA | Pengelasan | Status |
|--------|------------------|------------|------------------|
| 1. | 81.32 ± 3.33 | (II) | Baik |
| 2. | 72.85 ± 2.45 | (III) | Sedikit tercemar |
| 3. | 81.22 ± 0.02 | (II) | Baik |
| 4. | 81.99 ± 3.24 | (II) | Baik |
| 5. | 82.50 ± 2.62 | (II) | Baik |

Semua stesen pensampelan berada pada Kelas II, iaitu mempunyai kualiti air yang baik kecuali stesen S2 dikategorikan sebagai Kelas III, iaitu sedikit tercemar dan memerlukan rawatan ekstensif. Secara keseluruhannya, Tasik Kejuruteraan dikategorikan sebagai Kelas II-III, iaitu merupakan bekalan air yang memerlukan rawatan konvensional dan membenarkan kegunaannya untuk aktiviti rekreasi yang melibatkan

sentuhan. Hujan mempengaruhi kualiti air Tasik Kejuruteraan, terutamanya pada musim tengkujuh, yang menyebabkan nilai bagi parameter TSS meningkat dengan banyak dan menyebabkan air tasik kelihatan keruh dan berwarna coklat.

Cadangan

Berikut merupakan cadangan tentang langkah-langkah yang perlu diambil untuk menuju ke arah IWRM dalam kampus bagi menghasilkan suasana ekosistem sihat dan harmoni selaras dengan tema UKM 'Universiti dalam Taman'. Di peringkat kampus, Pembuatan Keputusan Kolaboratif atau 'Collaborative Decision Making' atau CDM (Mazlin *et al.* 2004b) sangat digalakkan sebagai inisiatif bersama pelbagai pihak berkepentingan termasuk pihak pengurusan tertinggi universiti yang terdiri daripada Naib Canselor, pihak pengurusan profesional dan eksekutif seperti jurutera dan peringkat lain merangkumi warga universiti yang terdiri daripada pengajar, pelajar dan kakitangan sokongan serta pengguna lain seperti kontraktor projek bertujuan untuk memperbaiki sistem pengurusan sumber air yang sedia ada. CDM menggalakkan proses perkongsian dan pertukaran maklumat di antara pelbagai pihak, dan secara tidak langsung turut memperbaiki alat sokongan membuat keputusan. Orang ramai yang memasuki kampus seperti ibu bapa pelajar dan orang yang menggunakan kemudahan universiti juga harus didedahkan tentang konsep CDM dan IWRM.

Pihak pengurusan universiti bertanggungjawab membuat dasar dan peraturan, menetapkan mesyuarat bersama eksekutif dan menggalakkan proses berkongsi data dan maklumat, serta cara menangani isu bersama. Jurutera atau saintis berperanan dalam pemantauan kualiti air. Pengajar perlu menerapkan konsep IWRM kepada setiap pelajar. Kakitangan sokongan mesti juga terlibat membantu mengawal pelepasan sisa secara tidak bertanggungjawab. Pelajar harus menjaga kebersihan tasik seperti tidak membuang sampah ke dalam tasik manakala kontraktor bertanggungjawab dalam pengaliran air buangan berkelodak dan mengandungi pelbagai bahan buangan lain serta juga mereka mengambil inisiatif untuk menjamin kebersihan air tasik.

Selain itu, dana kewangan dan sumber manusia yang berpatutan juga perlu disediakan oleh pihak pengurusan universiti, bermula dengan menerapkan konsep IWRM dan CDM kepada golongan staf sedia ada. Kakitangan di Jabatan Pengurusan Pembangunan khususnya perlu didedahkan dengan konsep tersebut agar dapat mengurus tasik ini dengan baik. Daya tampung bagi bahan pencemar dalam tasik harus dinilai oleh pihak jurutera. Jenis spesies hidupan yang ada di dalam tasik perlu diketahui melalui kajian masa depan. Pangkalan data harus dibina dan dikongsi bersama oleh semua pihak berkepentingan dalam universiti dan masyarakat yang berminat.

Kesimpulan

Sistem saliran air ke Tasik Kejuruteraan telah dikaji dan menunjukkan bahawa parameter kekeruhan di S2 melampaui paras maksimum 50 NTU yang disarankan oleh subkelas IIB bagi INWQS. Jumlah TSS di S2 tergolong dalam subkelas III pada hari hujan. Parameter NH₄-N di S5 dan S4 telah melebihi paras maksimum subkelas IIB pada hari kering manakala semua stesen telah melebihi paras maksimum subkelas IIB pada hari hujan. Kandungan BOD di S2 tergolong dalam subkelas III pada hari hujan. Nilai COD adalah tinggi, iaitu dalam kategori subkelas IV. Nilai kepekatan Pb dan Cd adalah amat tinggi dan masing-masing melebihi had piawai JAS, iaitu 0.05 mg/L dan 0.01 mg/L. Tasik Kejuruteraan dikategorikan dalam Kelas II-III menurut pengelasan INWQS. Analisis ANOVA dan kolerasi telah dilakukan. Beberapa langkah untuk memperbaiki kualiti air dan keadaan saliran tasik serta sistem sumber air di kampus telah juga dicadangkan.

Rujukan

1. AHPA.AWWA.WEF. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* Ed.20, American Public Health Association, Washington.
2. Bruce Mitcell, 1997. *Resource and Environmental Management*. England. Wesley Longman Limited.
3. Camp, T.R. & Meserve, R.L. 1974. *Water and its impurities*. Ed. Ke 2. Stroudsburd: Dowden Hutchinson & Ross, Inc.
4. DID. 2000. *Urban Stormwater Management Manual for Malaysia (Manual Saliran Mesra Alam Malaysia)*. Vol 5: Runoff Estimation. KL.
5. DID. 2000. *Urban Stormwater Management Manual for Malaysia (Manual Saliran Mesra Alam Malaysia)*. Vol 8: Retention. KL.
6. Global Water Partnership, 2000b. *Integrated water resources management*. TAC Background papers, Nomer 4, Stockholm, Sweden.
7. Mazlin Mokhtar, Mohd. Talib Latif, Lee Yook Heng. 2003. *Kimia Air*. KL. Utusan Publications & Distributors Sdn Bhd.
8. Mazlin b. Mokhtar, Shaharudin Idrus, Sarah Aziz. 2004. *Kesihatan Ekosistem Lembangan Langat. Prosiding Simposium Penyelidikan Ekosistem Lembangan Langat 2003*, Penerbit Lestari, UKM.

9. Mazlin b. Mokhtar, Rahmah Elfithri and Abdul Hadi Harman Shah. 2004b. "Collaborative Decision Making as a Best Practice in Integrated Water Resources Management: A Case Study on Langat Basin, Malaysia". Proceedings (Technical Papers), First Southeast Asia Water Forum, 17-21 November 2003, Chiang Mai, Thailand, Volume 2: pp. 333-354. ISBN 974-241-776-8.
10. *World Water Forum 2003* (atas talian) <http://www.water-forum3.com> (21 Oktober 2004).
11. Spliethoff, H.M. & Hemond, H.F. 1996. History of toxic discharge to surface waters of the Aberjona Watershed. *Journal of Environmental Science & Technology* 30 (1): 121-127.