

Analisis Kualiti Air Tasik Chini Menggunakan Pendekatan Multivariat (Lake Chini Water Quality Assessment Using Multivariate Approach)

A.K. AHMAD*, M. SHUHAIMI OTHMAN, E.C. LIM & Z. ABD. AZIZ

ABSTRAK

Satu analisis penentuan parameter kualiti air yang penting untuk penilaian ekosistem cetek telah dilakukan menggunakan kaedah multivariat. Sebanyak 14 parameter kualiti air yang melibatkan komponen biologi, fizik dan kimia telah dikumpulkan setiap bulan selama satu tahun. Data dianalisis menggunakan ujian faktor yang melibatkan tiga proses iaitu mengenal pasti korelasi antara faktor, mengekstrak faktor dan seterusnya melihat kesan gabungan faktor-faktor tersebut. Proses pertama melibatkan pengelompokan parameter yang berkorelasi kuat ke dalam faktor tersendiri dan mengeluarkan parameter yang mempunyai lebih daripada satu faktor. Analisis pengelasan aglomeratif hierarki (HACA) dan analisis diskriminan (DA) juga dilakukan untuk memperlihatkan kelompokan dan pengaruh faktor terhadap kualiti air tasik. Hasil analisis menunjukkan kualiti air Tasik Chini dipengaruhi oleh lebih daripada satu faktor. Hasil kajian menunjukkan komponen biologi dan kimia (nutrien) mempunyai pengaruh kuat dalam penentuan kualiti air tasik. Parameter berasaskan biologi iaitu BOD_5 , COD, klorofil a dan kimia (nitrat dan ortofosfat) adalah parameter yang penting di Tasik Chini. Ketiga-tiga analisis yang dijalankan menunjukkan kepentingan penentuan komponen biologi dan kimia bagi menentukan kualiti air Tasik Chini.

Kata kunci: Ekosistem air tawar; kualiti air; limnologi; multivariat; Tasik Chini

ABSTRACT

An analysis was undertaken using the multivariate approach to determine the important water quality for shallow lake water quality assessment. Fourteen water quality parameters which includes biological, physical and chemical components were collected monthly over twelve month period. The data were analysed using factor analysis which involves identification of factor correlation, factor extraction and factor permutations. The first process involved the clustering of high correlation parameters into its respective factor and the removal of parameters that have more than one factor. Agglomerative hierarchy (HACA) and discriminant analysis (DA) were also used to exhibit the important factors that has significant influence on lake water quality. The analysis showed that Lake Chini water quality was determined by more than one factor. The results indicated that the biological and chemical (nutrients) components have significant influence in determining the lake water quality. The biological parameters namely BOD_5 , COD, chlorophyll a and chemical (nitrate and orthophosphate) are important parameters in Lake Chini. All analysis demonstrated the importance of biological and chemical water quality components in the determination of Lake Chini water quality.

Keywords: Freshwater ecosystem; Lake Chini; limnology; water quality

PENDAHULUAN

Penyelidikan parameter kualiti air merupakan kaedah konvensional dan masih diamalkan sehingga kini untuk menilai kualiti sesuatu ekosistem akuatik. Banyak indeks kualiti yang telah dihasilkan mengikut kepentingan tertentu untuk digunakan sebagai alat penilaian kualiti ekosistem akuatik. Kebanyakan indeks yang dihasilkan adalah untuk menilai kualiti ekosistem yang berarus. Pemonitoran kualiti air sungai diberikan perhatian serius memandangkan sungai memberikan sumbangan penting dalam kehidupan dan keselamatan manusia. Indeks kualiti air telah dihasilkan untuk membantu pemonitoran kualiti sungai di kebanyakan negara. Di Malaysia, dua indeks telah dihasilkan iaitu indeks kualiti air Malaysia (WQI) dan piawaian kualiti air kebangsaan (NWQS). Indeks kualiti air di Malaysia hanya merujuk kepada enam parameter

yang terpilih, manakala NWQS pula mengelaskan sungai kepada lima kelas mengikut skala tertentu. Kedua indeks ini telah digunakan oleh Jabatan Alam Sekitar Malaysia dan hasil pemantauan boleh diperolehi daripada laporan tahunan Jabatan Alam Sekitar Malaysia (Jabatan Alam Sekitar 2006).

Penekanan terhadap kepentingan dan pengelakan kualiti air tasik di Malaysia tidak setara dengan ekosistem sungai. Tasik juga mempunyai kepentingan yang besar dalam ekosistem seperti menjadi habitat untuk perkembangan anak-anak ikan, pengawalan limpahan air ke sungai, menampung kepelbagaian haiwan dan tumbuhan yang tinggi dan juga sebagai nilai estetik yang tinggi. Tasik Chini dan Tasik Bera sebagai contohnya, merupakan tasik semula jadi di Malaysia dan mempunyai kepentingan ekonomi yang tinggi (Loganathan et al. 1999). Kedua-

dua tasik ini telah diwartakan sebagai khazanah warisan negara dan menjadi destinasi pelancongan negara yang penting. Tasik Bera telah diletakkan di bawah pengurusan RAMSAR, manakala Tasik Chini pula diuruskan oleh Pusat Penyelidikan Tasik Chini (PPTC), Universiti Kebangsaan Malaysia.

Tasik Chini telah mengalami perubahan ekosistem kesan pembinaan pintu air bagi mengawal jumlah air yang mengalir ke Sungai Pahang. Penahanan air secara berlebihan telah menyebabkan berlaku kelimpahan air yang serius pada tahun 1995 dan memberikan perubahan ekosistem yang ketara. Penurunan kualiti ekosistem seperti pengurangan kekayaan spesies ikan dan peralihan tumbuhan akuatik dominan telah berlaku kesan daripada pembinaan pintu air tersebut (Mohamad et al. 2007; Sujaul et al. 2010; UNDP 1999). Teratai (*Nelumbo nucifera*) dan telipot (*Nymphaea lotus*) yang dahulunya mendominasi permukaan air tasik kini telah diganti oleh rumpair ekor kucing akuatik (*Cabomba furcata*) yang tidak mempunyai nilai estetika.

Beberapa kajian kualiti air dan kesihatan ekosistem telah dijalankan di Tasik Chini dan data yang diperolehi telah digunakan untuk menilai kualiti semasa dan perubahan yang berlaku (Ahmad Abas et al. 2001; Gasim et al. 2008; Mohamad et al. 2007). Walau bagaimanapun, tiada maklumat khusus mengenai parameter kualiti air penting yang perlu diberikan penekanan dalam penilaian kualiti air di Tasik Chini. Walaupun terdapat beberapa cadangan parameter yang sesuai, kebanyakannya adalah berdasarkan kepada kajian pada ekosistem tasik yang besar, dalam, tasik buatan dan bukan di Malaysia. Tasik Chini merupakan tasik yang terbentuk secara semula jadi dan mempunyai ciri ekosistem yang sangat berbeza berbanding dengan tasik yang lain.

Satu analisis data menggunakan kaedah multivariat telah dilakukan untuk menentukan faktor-faktor yang berpotensi mempengaruhi kualiti air Tasik Chini. Sebanyak 14 parameter kualiti air telah dianalisis menggunakan kaedah analisis faktor. Kajian ini bertujuan untuk memperlihatkan kelompok faktor tersendiri yang mempengaruhi kualiti air Tasik Chini. Hasil kajian ini penting untuk membantu menentukan parameter kualiti air yang mempengaruhi kualiti air Tasik Chini serta mengurangkan kos penyelidikan pemantauan kualiti tasik.

BAHAN DAN KAEDAH

KAWASAN KAJIAN

Tasik Chini terdiri daripada 12 takungan air yang besar yang bercantum antara satu sama lain membentuk satu tasik seluas kira-kira 350 ha. Secara ekologi, tasik ini menerima kemasukan air daripada 7 anak sungai dan air tasik mengalir keluar ke Sungai Pahang melalui Sungai Chini sepanjang kira-kira 4 km. Tasik ini mempunyai ciri-ciri umum seperti kawasan lain di Semenanjung Malaysia

iaitu menerima hujan yang sederhana sepanjang tahun (Mohamad et al. 2007). Secara umum, air tasik mengalir keluar ke Sungai Pahang sepanjang tahun kecuali semasa musim tengkujuh, iaitu air limpahan Sungai Pahang memasuki ekosistem Tasik Chini kesan daripada hujan yang berlebihan.

Tasik Chini mengalami beberapa perubahan fizikal yang serius seperti kerosakan ekosistem, penurunan kepelbagaian hidupan akuatik kesan daripada pembinaan empangan di kuala Sungai Chini, pembersihan hutan sekitar untuk penanaman kelapa sawit dan getah (lebih kurang 807 ha), aktiviti pembalakan (lebih kurang 67 ha) dan perlombongan (Mohamad et al. 2007). Selain daripada penempatan masyarakat orang asli di sekitar tasik, satu pusat peranginan dan pusat latihan khidmat negara (PLKN) telah dibina berhampiran dengan tasik tersebut. Kesemua komponen dan aktiviti ini berpotensi mempengaruhi kualiti ekosistem tasik terutamanya kualiti air tasik secara kimia, biologi atau fizik.

PESAMPELAN DAN ANALISIS KUALITI AIR

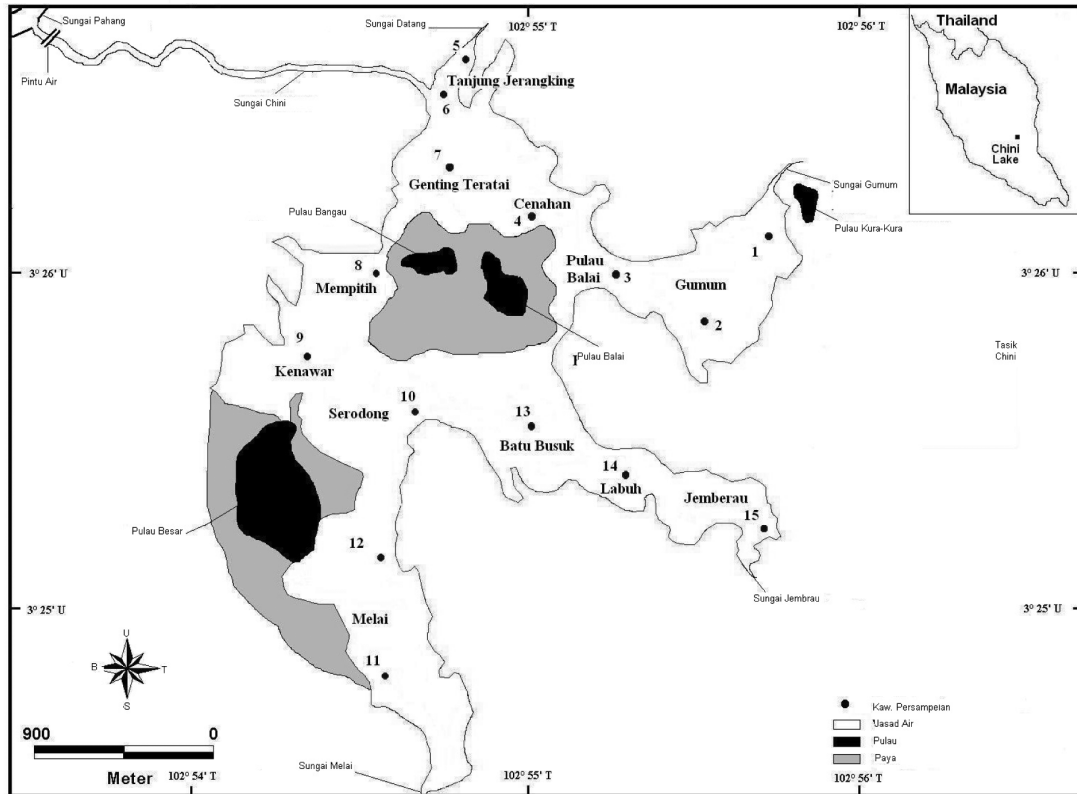
Persampelan kualiti air tasik telah dijalankan selama 12 bulan bermula dari Jun 2004 hingga Mei 2005, pada 12 kawasan yang berasingan di sekitar Tasik Chini (Rajah 1). Sebanyak 14 parameter kualiti air telah dicerap iaitu lima parameter fizik (suhu air, kekonduksian, oksigen terlarut, turbiditi dan jumlah pepejal terampai (TSS), empat parameter kimia (COD, pH, sulfat dan jumlah pepejal terlarut, TDS) serta lima parameter biologi (BOD₅, amoniakal nitrogen, ortofosfat, nitrat dan klorofil a) (Jadual 2). Pengukuran kualiti air secara *in situ* telah dilakukan menggunakan hydrolab dataSonde 4, manakala persampelan dan kesemua kaedah analisis kualiti air telah dilakukan menurut saranan APHA (1992) dan HACH (2003). Kesemua pengukuran dan analisis kualiti air telah dilakukan sebanyak tiga replikasi untuk meminimumkan variasi data.

ANALISIS DATA

Analisis deskriptif dan pemerihal data dilakukan menggunakan pakej statistik SPSS versi 18 dan XL Stat2012. Data telah diuji kenormalan menggunakan ujian Kolgomorov-Smirnov dan telah dilakukan transformasi formula \log_{10} . Ujian perbandingan ANOVA satu hala telah dilakukan untuk perbandingan secara masa dan ruang dan ujian korelasi Pearson untuk ujian hubungan antara parameter. Seterusnya analisis multivariat telah dilakukan ke atas data yang telah diproses menggunakan kaedah analisis pengelasan agglomeratif hierarki (HACA), analisis diskriminan (DA) dan analisis faktor (PCA/FA).

ANALISIS PENGELASAN AGGLOMERATIF HIERARKI (HACA)

Analisis pengelasan hierarki telah digunakan bertujuan untuk menentukan tahap kesamaan corak kualiti air secara ruang berdasarkan 12 titik persampelan yang terlibat dalam penyelidikan ini. Dalam kajian ini kaedah pengelasan



RAJAH 1. Tasik Chini dan stesen persampelan kualiti air

aglomeratif hierarki (HACA) telah digunakan untuk mengkaji lokasi persampelan (stesen pemantauan/ruang) untuk kawasan kajian. HACA merupakan kaedah yang biasa digunakan untuk pengelasan (Massart & Kaufman 1983) pemboleh ubah atau kes (cerapan/sampel) ke dalam kelompok tertentu dengan paras kehomogenan yang tinggi bagi setiap ahli kumpulan dalam kelas tertentu berdasarkan kepada ciri pra-penentuan pemilihan (McKenna 2003). Kaedah Ward yang menggunakan jarak Euklidian sebagai pengukur ciri kesamaan dalam HACA telah terbukti sebagai satu kaedah yang sangat berkesan (Adams 1998; Otto 1998; Willet 1987). Keputusan daripada analisis ini ditunjukkan dalam rajah dendogram sebagai mewakili kluster dan kemiripan (Forina et al. 2002; Juahir et al. 2009). Jarak Euklidian adalah ditunjukkan sebagai D_{link}/D_{max} , yang mewakili hasil bahagi antara jarak sambungan dengan jarak maksimum. Hasil bahagi tersebut didarabkan dengan 100 sebagai satu cara untuk mempiawaikan jarak sambungan yang diwakili oleh paksi y (Shrestha & Kazama 2007; Singh et al. 2004, 2005).

ANALISIS DISKRIMINAN (DA)

Analisis diskriminan digunakan dalam kajian ini untuk menentukan pemboleh ubah yang boleh membezakan dua atau lebih kejadian kumpulan/kluster secara semula jadi. Analisis tersebut dapat membina fungsi pembezaan (DF) untuk setiap kumpulan (Johnson & Wichern 1992). Faktor diskriminan (DF) dikira berdasarkan:

$$f(G_i) k_i + \sum_{j=1}^n w_j P_{ij}, \quad (1)$$

dengan, i adalah bilangan kumpulan (G), k_i adalah pemalar semula jadi untuk setiap kumpulan, n bilangan parameter yang telah digunakan untuk pengelasan set data ke dalam kumpulan yang diberikan dan w_j adalah pekali pemberat penanda oleh analisis fungsi diskriminan (DFA) kepada parameter yang diberikan (p_j).

Dalam kajian ini, DA menentukan sama ada kumpulan-kumpulan adalah berbeza dengan merujuk kepada purata pemboleh ubah dan menggunakan pemboleh ubah tersebut untuk meramalkan ahli kumpulan. Pemboleh ubah bersandar ditentukan berdasarkan dapatan pengelasan ruang oleh HACA. DA telah diaplikasikan kepada data mentah dengan menggunakan mod piawai, mod langkah ke hadapan dan mod langkah ke belakang. Kaedah ini telah digunakan bagi membina fungsi diskriminan (DF) yang bertujuan untuk menilai variasi ruang dalam kualiti air (Juahir et al. 2010). Stesen pemantauan (aspek ruang) adalah kumpulan pemboleh ubah bersandar, manakala kesemua parameter yang telah diukur mengandungi pemboleh ubah tak-bersandar. Bagi mod langkah ke hadapan, pemboleh ubah telah dimasukkan satu demi satu bermula dengan pemboleh ubah yang paling signifikan ($p < 0.05$) sehingga tiada perubahan yang signifikan diperoleh. Dalam mod langkah ke belakang pula, pemboleh ubah telah disingkirkan satu demi satu bermula dengan pemboleh ubah yang kurang signifikan sehingga tiada perubahan yang signifikan diperoleh.

ANALISIS FAKTOR (PCA/FA)

Analisis komponen prinsipal (PCA) telah digunakan untuk mengenal pasti dan menyusun setiap parameter kualiti air ke dalam konstruk yang saling tidak berhubungan. Parameter yang didapati bertindih berdasarkan kepada hubungan antara konstruk dikeluarkan daripada ujian lanjutan untuk menghasilkan satu konstruk yang tersendiri. Ujian PCA melibatkan fasa pengenalanpastian korelasi faktor, mengekstrak faktor dan melihat kesan gabungan faktor untuk membentuk kelompok konstruk tersendiri. Semasa proses pengenalanpastian korelasi, hanya komponen yang mempunyai nilai eigen melebihi 1 sahaja yang dilakukan ujian pengeksarikan dan pemutaran (Bengraïne & Marhaba 2003). Komponen dengan nilai eigen melebihi 1 memberikan kesan variasi yang jelas kepada data kajian. Kadangkala nilai faktor pemberatan yang diberikan oleh PCA tidak jelas dan tidak tersedia untuk ditafsir, justeru perlu dilakukan putaran mengikut kaedah putaran varimax (Juahir et al. 2009, 2010). Dalam kajian ini, hanya nilai faktor pemberatan yang kuat (faktor pemberatan ≥ 0.7) sahaja yang diambil kira dalam interpretasi keputusan (Juahir et al. 2011). Kaedah PCA juga merupakan kaedah pengenalanpastian kemungkinan faktor yang mempengaruhi status kualiti air di Tasik Chini. Konsep asas analisis faktor diwakili oleh;

$$z_{ij} = a_{f1}f_{1i} + a_{f2}f_{2i} + \dots + a_{fm}f_{mi} + e_{ij} \quad (2)$$

dengan, z adalah nilai pemboleh ubah yang diukur, a adalah faktor pemberatan, f adalah faktor skor, e adalah residu yang dikirakan untuk ralat atau variasi daripada sumber-sumber yang lain, i bilangan sampel, j adalah bilangan pemboleh ubah dan m adalah jumlah bilangan faktor.

Dalam kajian ini, PCA/FA yang digunakan adalah daripada set data yang telah ditranformasikan (30 pemboleh ubah) secara berasingan untuk bahagian kajian yang berbeza berdasarkan keputusan yang diberikan oleh HCA. Input data matriks (pemboleh ubah \times kes) untuk PCA/FA adalah (14 \times 12) yang meliputi kesemua bahagian pengelasan tersebut.

HASIL DAN PERBINCANGAN

KUALITI AIR

Hasil pengukuran dan analisis secara reruang dan masa menunjukkan terdapat variasi kualiti air secara bermakna pada sela keyakinan $\alpha=0.001$. Kebanyakan parameter kualiti air mempunyai corak kepekatan yang berbeza-beza secara reruang dan masa. Penilaian kualiti air secara masa menunjukkan suhu, oksigen terlarut, ammoniakal nitrogen dan ortofosfat dipengaruhi oleh jumlah hujan. Berdasarkan kepada data hujan yang diperoleh dari Jabatan Meteorologi Malaysia (Jun 2004 hingga Mei 2005) hujan tertinggi iaitu berjulat 70.20 mm hingga 149.90 mm setahun dicatatkan dari bulan Oktober hingga Disember 2004. Kemasukan jumlah hujan yang banyak

sama ada melalui sungai pembekal atau aliran permukaan berpotensi mengubah ciri ekosistem seperti kualiti air. Walaupun Muhd Barzani Gasim et al. (2004) menunjukkan hubungan positif beberapa parameter kualiti air (nitrat, fosfat, TSS) dengan jumlah hujan di sungai pembekal di Tasik Chini, faktor pencairan berpotensi menurunkan semula kepekatan parameter ini di dalam tasik. Suhu air, kepekatan oksigen terlarut dan kepekatan klorofil a didapati berhubungan negatif dengan jumlah hujan. Semasa hujan, kekurangan cahaya matahari menyebabkan penurunan suhu permukaan serta proses fotosintesis oleh fitoplankton yang mengakibatkan ketiadaan pertambahan oksigen terlarut di dalam jasad air. Kepekatan ammoniakal nitrogen dan ortofosfat pula didapati meningkat semasa hujan yang mungkin disebabkan oleh aliran permukaan yang melalui kawasan pertanian, perkampungan dan hutan seterusnya memasuki sungai pembekal. Proses secara berterusan dipercayai menyumbang kepada situasi ini (Jadual 1).

Perbandingan secara ruang menunjukkan, kawasan berbeza di Tasik Chini mempunyai kualiti air yang berbeza. Nilai indeks kualiti air (WQI) di kawasan berhampiran penempatan dan aktiviti manusia didapati pada kelas III, manakala kawasan yang kurang terganggu mempunyai kelas I hingga II sahaja. Ini jelas menunjukkan pengaruh aktiviti masyarakat setempat terhadap kualiti air tasik. Parameter fizik dan biologi juga menunjukkan corak yang sama seperti indeks WQI. Stesen persampelan berhampiran kawasan penempatan orang asli didapati mempunyai nilai parameter biologi dan kimia yang lebih tinggi. Sisa perkumuhan manusia dan penggunaan detergen berpotensi menyumbangkan ortofosfat ke dalam jasad air (Allen & Kramer 1972; Golterman 1975). Ekosistem tasik mempunyai ciri air yang tenang dan pembauran komponen di dalam jasad air adalah minimum. Ini mewujudkan situasi kualiti air yang berbeza walaupun pada suatu ekosistem yang sama. Stesen persampelan berdekatan dengan tapak aktiviti perlombongan didapati mempunyai nilai sulfat yang tinggi berbanding dengan kawasan lain. Wetzel (1983) menyatakan sulfat boleh terhasil daripada kawasan perlombongan.

ANALISIS MULTIVARIAT

Hasil analisis pengelasan HACA memperlihatkan kelompokan parameter kualiti air berdasarkan kepada parameter bersandar. Analisis pengelompokan berhierarki ini telah dilakukan dengan menggunakan analisis jarak Euklidian dan hasil dendogram ditunjukkan pada Rajah 2. Hasil analisis menunjukkan terdapat tiga kelompok yang terhasil iaitu dengan merujuk kepada perbezaan nilai pekali yang besar pada tiga langkah kelompok yang terakhir iaitu 127.1, 127.5 dan 203.8. Kawasan persampelan yang berdekatan antara satu sama lain didapati mempunyai ciri kualiti air yang hampir sama dan dikelompokkan dalam kumpulan yang sama seperti ditunjukkan dalam Rajah 2. Kesemua kelompok diwakili oleh tiga hingga lima stesen persampelan. Ujian ANOVA satu hala telah dilakukan untuk menentukan parameter kualiti air yang

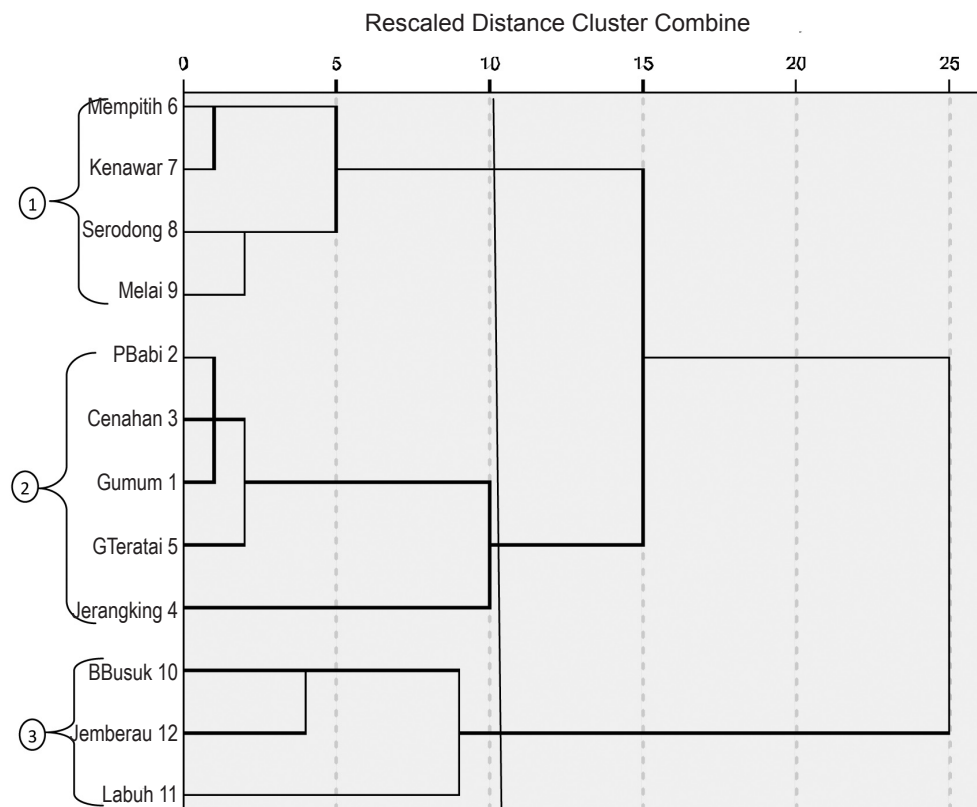
JADUAL 1. Ujian korelasi Pearson parameter kualiti air terhadap jumlah hujan

| | Suhu | DO | Klorofil a | NH ₃ N | PO ₄ ³⁻ | TSS | Hujan |
|-------------------------------|-----------|-----------|------------|-------------------|-------------------------------|-------|-------|
| Suhu | 1 | | | | | | |
| DO | 0.391*** | 1 | | | | | |
| Klorofil a | 0.177* | 0.232** | 1 | | | | |
| NH ₃ N | -0.661*** | -0.344*** | -0.053 | 1 | | | |
| PO ₄ ³⁻ | 0.095 | -0.021 | -0.185* | | 1 | | |
| TSS | -0.321*** | -0.079 | 0.199** | 0.679*** | 0.087 | 1 | |
| Hujan | -0.398*** | -0.483*** | -0.448*** | 0.387*** | 0.154* | 0.072 | 1 |

Nota: hanya parameter berkorelasi (7 daripada 14) sahaja dimasukkan

menentukan pengelompokan stesen persampelan ini secara bermakna. Ujian Levene telah membuktikan bahawa andaian varians data adalah homogen boleh diikuti dan hasil ujian ANOVA satu hala pada sela keyakinan 95% menunjukkan lima parameter iaitu sulfat, fosfat, nitrat, pH dan suhu air terpaksa dikeluarkan daripada senarai disebabkan mempunyai tahap keseragaman varians yang sangat rendah. Terdapat kombinasi parameter atau parameter tunggal yang mencirikan sesuatu kelompok (Jadual 2, Rajah 2). Kelompok 1 (VF1) menyumbang sebanyak 44.84% daripada keseluruhan varians dengan nilai positif pemberatan kuat terhadap klorofil (0.96), BOD (0.96), COD (0.91), TSS (0.77) dan ammonia (0.90). Kelompok ini terdiri daripada stesen 6, 7, 8 dan 9 yang mewakili bahagian barat Tasik Chini yang mempunyai banyak tumbuhan akuatik tenggelam (*Cabomba furcata*)

dan juga tumbuhan akuatik muncul (*Scirpus*). Bercirikan air cetek dan turbiditi yang rendah, kawasan ini mempunyai aras klorofil a yang tinggi. Variasi yang tinggi terhadap BOD₅ dan COD menggambarkan kesuburan ekosistem kesan penghuraian kandungan organik di dalam jasad air secara biologi dan kimia. Kehadiran bahan organik yang mereput di dalam air tasik juga telah mengakibatkan peningkatan kepada kepekatan TSS. Namun demikian disebabkan ciri tasik yang cetek menyebabkan TSS tidak memberikan kesan yang signifikan terhadap jumlah keamatan cahaya dan membolehkan kedapatan cahaya matahari yang mencukupi untuk merangsang penjanaan tenaga di dalam jasad air oleh plankton dan meningkatkan kepekatan klorofil a. Kelompok 2 (VF2) terdiri daripada stesen 1, 2, 3, 4 dan 5 pula mewakili kawasan berhampiran penempatan orang asli dan pusat peranginan dan dicirikan



RAJAH 2. Hasil ujian kelompok hierarki mengkelompokkan stesen pesampelan

JADUAL 2. Komponen matrik berputar untuk empat komponen yang terhasil

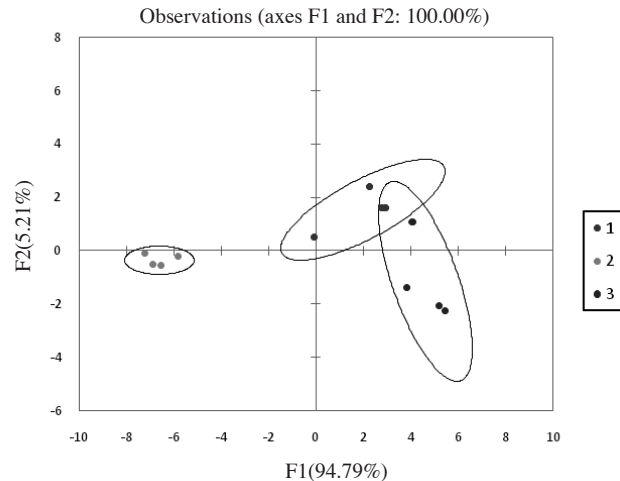
| | VF1 | VF2 | VF3 | VF4 |
|------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| Suhu | -0.052 | 0.453 | 0.619 | -0.267 |
| Kond | -0.576 | 0.167 | 0.733 | -0.052 |
| TDS | -0.575 | 0.166 | 0.733 | -0.052 |
| DO | -0.184 | 0.626 | -0.091 | 0.642 |
| pH | 0.185 | 0.885 | 0.077 | 0.025 |
| Klorofil a | 0.961 | -0.079 | -0.014 | -0.084 |
| Turbiditi | 0.433 | -0.836 | -0.096 | 0.065 |
| BOD ₅ | 0.958 | 0.070 | -0.072 | 0.142 |
| COD | 0.910 | 0.255 | -0.279 | 0.004 |
| TSS | 0.767 | -0.512 | -0.226 | -0.041 |
| Ammonia | 0.895 | -0.393 | -0.159 | 0.017 |
| Nitrat | -0.039 | -0.051 | 0.890 | 0.132 |
| Fosfat | 0.153 | -0.043 | 0.137 | 0.865 |
| Sulfat | 0.061 | 0.578 | 0.359 | -0.584 |
| Nilai Eigen | 6.278 | 2.602 | 1.826 | 1.478 |
| Varians (%) | 44.843 | 18.586 | 13.045 | 10.560 |
| Kumulatif % | 44.843 | 63.429 | 76.474 | 87.034 |

oleh turbiditi dan TSS. Kelompok 2 (VF2) menyumbangkan sebanyak 18.59% daripada jumlah keseluruhan varians, dengan nilai positif pemberatan kuat terhadap pH (0.89) dan nilai negatif pemberatan kuat terhadap turbiditi (-0.84). Nilai yang berbeza (antara pH dan turbiditi menunjukkan kedua-dua parameter ini berkadar songsang antara satu sama lain. Kawasan sekitaran adalah lebih terbuka kesan pembangunan dan kesan aliran permukaan air hujan berpotensi meningkatkan peningkatan kepekatan turbiditi serta meningkatkan kandungan garam mineral di dalam jasad air yang menurunkan nilai pH. Kelompok 3 (VF3 & VF4) (Stesen 10, 11 dan 12) mewakili stesen persampelan di bahagian tenggara Tasik Chini dan menyumbangkan sebanyak 13.05% dan 10.56% daripada jumlah varians keseluruhan dengan nilai positif pemberatan yang kuat terhadap nitrat (0.89) dan fosfat (0.87). Kedua faktor ini berkemungkinan disumbangkan oleh aktiviti pertanian kelapa sawit di sekitar Tasik Chini. Air larian permukaan berkemungkinan membawa residu baja nitrat dan fosfat ke dalam ekosistem tasik. Pengelompokan yang terhasil menunjukkan kawasan tertentu di Tasik Chini dicirikan oleh parameter kualiti air yang khusus. Hasil ini jelas menggambarkan terdapat ciri stratifikasi di Tasik Chini yang secara umumnya merupakan kriteria utama sesuatu ekosistem tasik.

Analisis DA ruang telah dilakukan dengan menggunakan set data mentah yang sama yang mengandungi 14 parameter fiziko-kimia selepas dikelaskan kepada tiga kelas utama iaitu yang diberikan oleh analisis HACA (Jadual 3). Kedua-dua DF menggunakan mod piawai, mod langkah ke hadapan dan mod langkah ke belakang menggunakan 14 dan 4 parameter diskriminan (pemisahan) (Rajah 3) dan (Jadual 4) sejajar dengan matrik kekeliruan telah memisahkan cerapan spatial dengan betul sebanyak 100% dan 91.67% masing-masing dengan menggunakan empat parameter diskriminan iaitu konduktiviti, DO, turbiditi dan COD. Penandaan pemisahan yang betul (91.67%) oleh DA

untuk ketiga-tiga kluster yang berbeza merupakan lanjutan pengesanan yang mencukupi terhadap DA dan corak kumpulan yang sama dengan analisis pengelasan yang telah dilakukan terdahulu. Kedua-dua kaedah HACA dan DA meramalkan perbezaan penting dalam kualiti air merujuk kepada impak daripada aktiviti guna tanah di persekitaran Tasik Chini. Analisis DA menunjukkan bahawa terdapat perbezaan yang signifikan antara ketiga-tiga bahagian tasik (bahagian barat, penempatan orang asli/peranginan dan bahagian tenggara) dengan hanya menggunakan empat parameter diskriminan. Oleh itu, DA juga dapat dipertimbangkan sebagai kaedah pengurangan data. Plot 'box dan whisker' terhadap empat parameter diskriminan terpilih oleh DA ruang ditunjukkan dalam Rajah 4 untuk menilai perbezaan corak variasi ruangnya bagi kualiti air Tasik Chini. Berdasarkan kepada pengelasan tersebut, ujian PCA/FA telah digunakan untuk menentukan parameter (faktor) yang mungkin telah mempengaruhi kualiti ekosistem tasik. Dalam ujian faktor, kesemua parameter kualiti air dikelompokkan ke dalam komponen yang tidak bersandar. Ujian Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) menunjukkan kesemua parameter yang diuji sesuai untuk dilakukan ujian PCA (> 0.50). Rajah Scree menunjukkan terdapat empat komponen yang mempunyai nilai eigen melebihi 1.0 dan sesuai untuk dilakukan analisis lanjutan (Rajah 5). Kesemua komponen ini menyumbang sebanyak 87.04% perubahan varian keseluruhan.

Hasil ujian Varimax menunjukkan terdapat empat komponen yang terhasil dan parameter kualiti air telah disusun mengikut kekuatan korelasi terhadap komponen (Jadual 2). Melalui analisis faktor ini kualiti air Tasik Chini didapati dipengaruhi oleh lebih daripada satu dimensi, manakala sembilan parameter kualiti air yang mempunyai pelbagai konsep telah dikeluarkan. Merujuk kepada parameter kajian, komponen 1 (VF1) dicirikan oleh klorofil a, BOD₅, COD, TSS dan ammonia. Parameter BOD₅ dan COD menggambarkan kadar penguraian bahan



RAJAH 3. Pengelasan DA yang menunjukkan pembahagian tiga kluster
Nota: 1= kluster 1, 2= kluster 2, 3=kluster 3

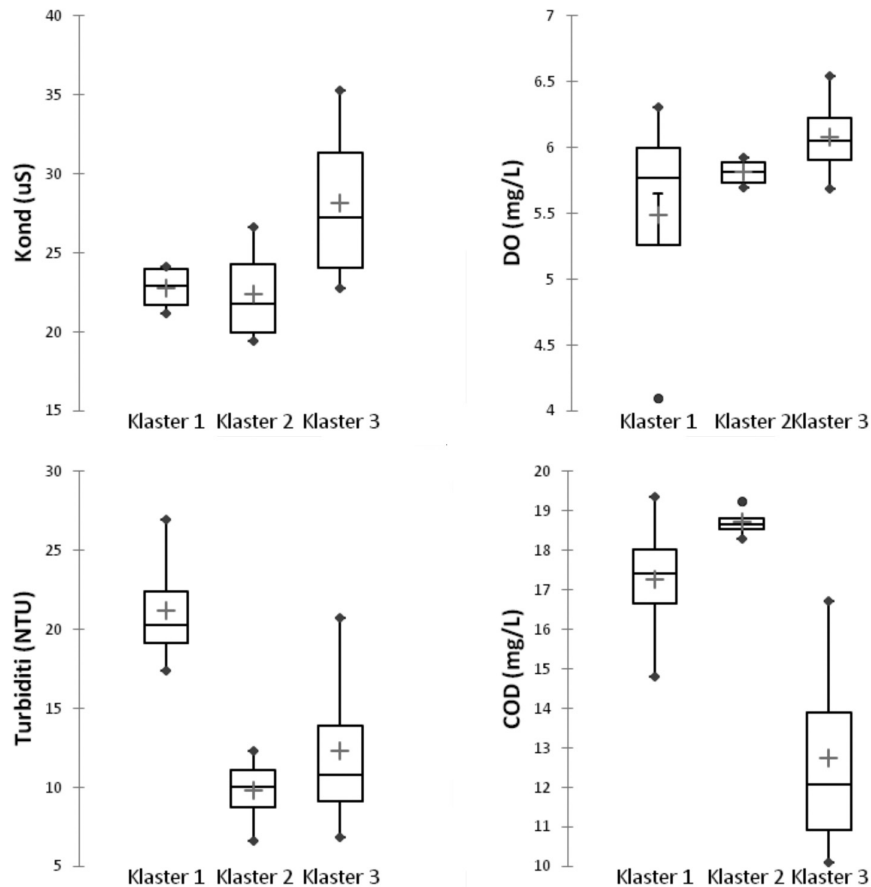
JADUAL 3. Matrik pengelasan bagi DA ruwang di Tasik Chini

| Pengelasan ruwang | Pengelasan ruwang oleh DA | | | Jumlah | % penandaan betul |
|-------------------------|---------------------------|-----------|-----------|--------|-------------------|
| | Kluster 1 | Kluster 2 | Kluster 3 | | |
| Mod piawai DA | | | | | |
| Kluster 1 | 4 | 0 | 0 | 4 | 100.00% |
| Kluster 2 | 0 | 4 | 0 | 4 | 100.00% |
| Kluster 3 | 0 | 0 | 4 | 4 | 100.00% |
| Jumlah | 4 | 4 | 4 | 12 | 100.00% |
| Mod langkah hadapan DA | | | | | |
| Kluster 1 | 4 | 0 | 0 | 4 | 100.00% |
| Kluster 2 | 0 | 4 | 0 | 4 | 100.00% |
| Kluster 3 | 1 | 0 | 3 | 4 | 75.00% |
| Jumlah | 5 | 4 | 3 | 12 | 91.67% |
| Mod langkah belakang DA | | | | | |
| Kluster 1 | 4 | 0 | 0 | 4 | 100.00% |
| Kluster 2 | 0 | 4 | 0 | 4 | 100.00% |
| Kluster 3 | 1 | 0 | 3 | 4 | 75.00% |
| Jumlah | 5 | 4 | 3 | 12 | 91.67% |

organik secara biokimia dan kimia. Ciri tasik yang cetek membolehkan penembusan cahaya yang mencukupi untuk merangsang penghuraian organik dan penjana tenaga di dalam jasad air oleh bakteria dan plankton yang seterusnya meningkatkan kepekatan klorofil a.

Komponen 2 (VF2) pula dicirikan oleh pH dan turbiditi. Parameter pH di dalam jasad air komponen 2 merujuk kepada kepekatan ion hidrogen di dalam jasad air. Penghuraian organik menghasilkan keasidan jasad air dan pembebasan banyak partikel terampai yang meningkatkan kepekatan ion H^+ dan TSS. Komponen 3 (VF3) pula didominasi oleh kekonduksian berserta TDS dan nitrat, manakala komponen 4 (VF4) diwakili fosfat. Kekonduksian dan TDS merupakan ukuran ionik major dan minor di dalam jasad air dan disumbangkan melalui penghuraian unsur organik yang tinggi di dalam

tasik semula jadi. Walaupun kedua-dua parameter ini merupakan ion garam dan nutrien untuk pertumbuhan tumbuhan dan organisma akuatik lain, tidak dapat dijelaskan bagaimana ia dipisahkan kepada komponen yang berbeza di dalam analisis faktor. Variasi nilai yang besar antara masa dan kawasan persampelan dipercayai mempengaruhi analisis ini. Perbandingan keseluruhan menunjukkan parameter biologi adalah paling penting untuk dikaji dalam membuat penilaian air Tasik Chini, diikuti dengan parameter kimia (nutrien). Tasik Chini merupakan tasik semula jadi dan dicirikan oleh air yang cetek dan jasad air dipenuhi dengan tumbuhan akuatik. Secara semula jadi, ini menghasilkan proses pereputan dan penghuraian yang tinggi dan berkait rapat dengan parameter biologi dan nutrien. Ujian faktor yang dilakukan jelas menunjukkan parameter biologi seperti



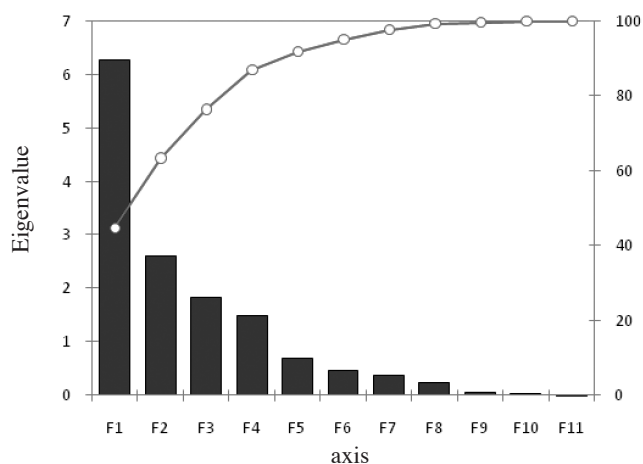
RAJAH 4. Plot 'box and whisker' bagi empat parameter yang signifikan yang telah memisahkan corak kualiti air Tasik Chini kepada tiga kelompok utama (barat, perkampungan orang asli/peranginan dan tenggara)

JADUAL 4. Fungsi pengkelasan untuk DA terhadap variasi ruang di Tasik Chini

| Parameter | Mod piawai DA | | | | | Mod langkah hadapan | | | | | Mod langkah belakang | | | | |
|-----------|---------------|-------|-----|-----|---------|---------------------|-------|-----|-----|---------|----------------------|-------|-----|-----|---------|
| | λ | F | DF1 | DF2 | p-value | λ | F | DF1 | DF2 | p-value | λ | F | DF1 | DF2 | p-value |
| Suhu | 0.814 | 1.031 | 2 | 9 | 0.395 | | | | | | | | | | |
| Kond | 0.625 | 2.696 | 2 | 9 | 0.121 | 0.625 | 2.696 | 2 | 9 | 0.121 | 0.625 | 2.696 | 2 | 9 | 0.121 |
| TDS | | | 2 | 9 | | | | 2 | 9 | | | | 2 | 9 | |
| DO | 0.818 | 0.998 | 2 | 9 | 0.406 | 0.818 | 0.998 | 2 | 9 | 0.406 | 0.818 | 0.998 | 2 | 9 | 0.406 |
| pH | 0.733 | 1.643 | 2 | 9 | 0.246 | | | 2 | 9 | | | | 2 | 9 | |
| Klorofil | 0.433 | 5.891 | 2 | 9 | 0.023 | | | 2 | 9 | | | | 2 | 9 | |
| Turbiditi | 0.375 | 7.510 | 2 | 9 | 0.012 | 0.375 | 7.510 | 2 | 9 | 0.012 | 0.375 | 7.510 | 2 | 9 | 0.012 |
| BOD | | | 2 | 9 | | | | 2 | 9 | | | | 2 | 9 | |
| COD | 0.319 | 9.590 | 2 | 9 | 0.006 | 0.319 | 9.590 | 2 | 9 | 0.006 | 0.319 | 9.590 | 2 | 9 | 0.006 |
| TSS | | | 2 | 9 | | | | 2 | 9 | | | | 2 | 9 | |
| Ammonia | 0.397 | 6.829 | 2 | 9 | 0.016 | | | 2 | 9 | | | | 2 | 9 | |
| Nitrat | | | 2 | 9 | | | | 2 | 9 | | | | 2 | 9 | |
| Fosfat | 0.975 | 0.115 | 2 | 9 | 0.892 | | | 2 | 9 | | | | 2 | 9 | |
| Sulfat | | | 2 | 9 | | | | 2 | 9 | | | | 2 | 9 | |

BOD dan klorofil a berperanan dalam penentuan kualiti air diikuti dengan COD, pH dan nutrien (fosfat dan nitrat). Kajian oleh Zati Sharip et al. (2011) melalui ujian regresi berganda tidak normal menunjukkan kejayaan *Cabomba* sp. mendominasi tasik adalah berpunca daripada kebolehan mendapatkan nutrien jasad air yang baik.

Mereka juga mendapati penghasilan primer *Cabomba* sp. yang lebih tinggi selepas musim hujan berkait rapat dengan kepekatan nutrien, ion-ion dalam air dan juga ketelusan cahaya yang rendah. Kandungan nutrien yang tinggi merangsang perkembangan organisma mikrob yang berperanan sebagai pengeluar primer di dalam



RAJAH 5. Plot Scree untuk menentukan komponen yang terhasil

ekosistem Tasik Chini. Ciri Tasik Chini yang cetek memberikan peluang berlakunya perubahan ketelusan cahaya dan suhu jasad air yang ketara yang merangsang pertumbuhan fitoplankton yang tinggi. Ini dibantu dengan perubahan aras air tasik yang ketara sepanjang tahun yang berpunca daripada aliran keluar air dan juga hujan serta limpahan air Sungai Pahang. Berdasarkan kepada data yang dianalisis, hasil kajian ini menunjukkan kedinamikan kandungan nutrien (komponen kimia), kejayaan penghasilan produktiviti primer dan proses penghuraian yang tinggi (komponen biologi) di dalam jasad air dan memainkan peranan penting dalam menentukan kesuburan tasik. Zati Sharip et al. (2011) juga mendapati sesaran tumbuhan tenggelam *Cabomba* sp. terhadap tumbuhan daun muncul *Nelumbo nucifera* juga dipengaruhi oleh kedinamikan nutrien di dalam jasad air dan perubahan kualiti ekosistem.

KESIMPULAN

Kualiti air Tasik Chini didapati dipengaruhi oleh dua faktor utama iaitu komponen biologi dan kimia. Kandungan nutrien seperti nitrat dan fosfat merupakan elemen yang mempunyai pengaruh yang besar di dalam jasad air Tasik Chini. Kemasukan sumber organik melalui tujuh anak sungai berpotensi meningkatkan aras kepekatan nutrien di tasik. Walaupun kedalaman air tasik berubah mengikut masa, analisis faktor terhadap data yang dikumpulkan selama satu tahun menunjukkan tiada pengaruh yang bermakna di dalam penentuan kualiti air tasik. Kewujudan pengaruh klorofil a menunjukkan ekosistem Tasik Chini mempunyai status penghasilan primer yang baik.

PENGHARGAAN

Penulis merakamkan terima kasih kepada En. Khairi Talib dan En. Shahrul Nizam yang membantu aktiviti persampelan air di Tasik Chini dan geran penyelidikan universiti UKM-OUP-FST-2012.

RUJUKAN

- Adams, M.J. 1998. The principles of multivariate data analysis. In *Analytical Methods of Food Authentication*, edited by Ashurst, P.R. & Dennis, M.J. London, UK.: Blackie Academic & Professional. p. 350.
- Ahmad Abas Kutty, Ahmad Ismail & Chay Siew Fong. 2001. A preliminary study of phytoplankton at Lake Chini, Pahang. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 4(3): 309-313.
- Allen, H.E. & Kramer, J.R. 1972. *Nutrients in Natural Waters*. Ontario, Canada: John Wiley & Sons.
- APHA 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18th ed. Washington DC: American Public Health Association.
- Bengraïne, K. & Marhaba, T.F. 2003. Using principle component analysis to monitor reruag and masa changes in water quality. *Journal of Hazardous Materials* 100(1-3): 179-195.
- Forina, M., Armanino, C. & Raggio, V. 2002. Clustering with dendrograms on interpretation variables. *Analytica Chimica Acta* 454: 13-19.
- Gasim, M.B., Hj.Toriman, M.E., Kutty, A.A., Islam, M.S. & Tan, C.C. 2008. Water quality of several feeder rivers between two seasons in Tasik Chini, Pahang. *Sains Malaysiana* 37(4): 313-321.
- Golterman, H.L. 1975. *Physiological Limnology*. Amsterdam: Elsevier.
- HACH 2003. *The Handbook of DR/2500 Laboratory Spectrophotometer*. Loveland, CO:HACH Company.
- Jabatan Alam Sekitar (JAS). 2006. Malaysia Environmental Quality Report. Kuala Lumpur. Kementerian Sumber Asli dan Alam Sekitar Malaysia.
- Johnson, R.A. & Wichern, D.W. 1992. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 3rd ed. Englewood Cliffs, New Jersey: PrenticeHall.
- Juahir, H., Zain, S.M., Rashid Atta Khan, Mohd Kamil Yusoff, Mazlin Mokhtar & Mohd Ekhwani Toriman. 2009. Using chemometrics in assessing Langat River water quality and designing a cost effective water sampling strategy. *Maejo International Journal of Science and Technology* 3(01): 26-42.
- Juahir, H., Zain, S.M., Ahmad Zaharin Aris, Mohd Kamil Yusoff & Mazlin Mokhtar. 2010. Spatial assessment of Langat River water quality using Chemometrics. *J. Environ. Monit.* 12: 287-295.

- Juahir, H., Zain, S.M., Mohd Kamil Yusoff, Tengku Hanidza, T.I., Mohd Armi, A.S., Mohd Ekhwan Toriman & Mazlin Mokhtar 2011. Spatial water quality assessment of Langat River Basin (Malaysia) using environmetric techniques. *Environmental Monitoring Assessment* 173: 625-641.
- Loganathan, M.T., Hua S.C. & Ramakrishna, S. 1999. Effects of Kuala Sg. Chini gateway (KSGC) to the wetland ecology of Tasek Chini Pahang: A case study. *Proceeding of Water: Forestry and Landuse Perspective*. Forest Research Institute of Malaysia (FRIM), Kepong, Malaysia, 31st March-1st April.
- Massart, D.L. & Kaufman, L. 1983. *The Interpretation of Analytical Chemical Data by the Use of Cluster Analysis*. New York, United States: Wiley.
- McKenna, J.E. 2003. An enhanced cluster analysis program with bootstrap significance testing for ecological community analysis. *Environmental Modelling & Software* 18: 205-220.
- Mohammad Shuhaimi-Othman, E.C. Lim & I. Mushrifah. 2007. Water quality changes in Chini Lake, Pahang, West Malaysia. *Environ. Monit. Assess.* 131: 279-292.
- Muhammad Barzani Gazim, Mohd Ekhwan Toriman, Sahibin Abd Rahim, Mir Sujaul Islam, Tan Choon Chek & Hafizan Juahir. 2004. Hydrology and water quality and land-use assessment of Tasik Chini's feeder rivers, Pahang, Malaysia. *Geografia* 3(3): 1-16.
- Otto, M. 1998. Multivariate methods. In *Analytical Chemistry*, edited by Kellner, R., Mermet, J.M., Otto, M. & Widmer, H.M. Weinheim, Germany: Wiley-VCH. p. 916.
- Shrestha, S. & Kazama, F. 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling & Software* 22(4): 464-475.
- Singh, K.P., Malik, A., Mohan, D. & Sinha, S. 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) - A case study. *Water Research* 38: 3980-3992.
- Singh, K.P., Malik, A., Singh, V.K., Mohan, D. & Sinha, S. 2005. Chemometric analysis of groundwater quality data of alluvial aquifer of Gangetic Plain, North India. *Analytica Chimica Acta* 550: 82-91.
- Sujaul, I.M., Ismail, B.S., Muhammad Barzani, G., Mohd Ekhwan, T. & Sahibin, A.R. 2010. Assessment of land use and land cover changes in the Tasik Chini Catchment area, Pahang, Malaysia using the GIS. *Advances in Environmental Biology* 4(3): 404-413.
- UNDP 1999. Chini Lake-The ecosystem and biodiversity, Kuala Lumpur: Malaysia Wetland International: United Nation Development Programme.
- Wetzel, R.G. 1983. *Limnology*. Philadelphia: Saunders College Publishing.
- Willett, P. 1987. *Similarity and Clustering in Chemical Information Systems*. Letchworth: Research Studies Press.
- Zati Sharip, Schooler, S.S., Hipsey, M.R. & Hobbs, R.J. 2011. Eutrophication, agriculture and water level control shift aquatic plant communities from floating-leaved to submerged macrophytes in Lake Chini, Malaysia. *Biol. Invasions*. DOI 10.1007/s10530-011-0137-1.

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

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

Diserahkan: 12 Jun 2012

Diterima: 2 Oktober 2012