

Makroinvertebrat Bentik sebagai Penunjuk Biologi di Sungai Kongkoi, Negeri Sembilan, Malaysia

(The Use of Benthic Macroinvertebrates as Bio-Indicator at Sungai Kongkoi, Negeri Sembilan, Malaysia)

A.K. AHMAD*, Z. ABD AZIZ, H.Y. FUN, T.M. LING & M. SHUHAIMI OTHMAN

ABSTRAK

Satu kajian penilaian kualiti ekosistem sungai di Sungai Kongkoi di Negeri Sembilan telah dijalankan dengan menggunakan makroinvertebrat bentik sebagai penunjuk biologi. Pensampelan telah dijalankan di 5 stesen yang telah dipilih dan tiga replikasi sampel air telah diambil untuk dianalisis. Makroinvertebrat bentik telah disampel dengan menggunakan jaring Surber pada tiga titik pensampelan yang berbeza. Pengukuran in situ telah dilakukan bagi parameter suhu, pH, oksigen terlarut (DO) dan kekonduksian dengan menggunakan meter YSI 556 MPS. Analisis makmal dilakukan untuk parameter jumlah pepejal terampai (TSS), permintaan oksigen biokimia (BOD_5), permintaan oksigen kimia (COD) dan ammoniakal-nitrogen (NH_3-N). Berdasarkan kepada indeks kualiti air (WQI) dan pengelasan sungai di Malaysia (NWQS), Sungai Kongkoi didapati mempunyai kualiti air yang baik dan berada dalam Kelas 1. Ujian ANOVA satu hala menunjukkan bahawa kebanyakan parameter kualiti air tidak berbeza dengan nyata di sepanjang stesen pensampelan ($p > 0.05$, $\alpha = 0.05$). Sejumlah 2 filum, 3 kelas, 8 order, 32 famili dan 3228 individu makroinvertebrat bentik telah dikenal pasti dan didominasi oleh famili Baetidae, Perlidae, Hydropsychidae dan Elmidae. Ujian faktor menunjukkan setiap famili di atas adalah paling sesuai digunakan sebagai penunjuk biologi di kawasan rekreasi.

Kata kunci: Indeks kualiti air; makroinvertebrat bentik; penunjuk biologi; Sungai Kongkoi

ABSTRACT

A river ecosystem quality assessment was carried out at Sungai Kongkoi, Negeri Sembilan by using benthic macroinvertebrates as biological indicators. Samplings were done at 5 selected stations and three replicates of water quality measurements were conducted. Benthic macroinvertebrates samplings were done at the same stations and water samplings were done using Surber net. In situ measurement has been done for temperature, pH, dissolved oxygen (DO) and conductivity using the YSI 556 MPS meter. Laboratory analysis was undertaken for total suspended solids (TSS), biochemical oxygen demand (BOD_5), chemical oxygen demand (COD) and ammoniacal-nitrogen (NH_3-N). Our results showed that Sungai Kongkoi had an excellent water quality and can be classified as Class I according to the Malaysian water quality index (WQI) and the national water quality standard (NWQS). One-way ANOVA test showed that most water quality parameters did not differ significantly between the sampling stations ($p > 0.05$, $\alpha = 0.05$). A total of 2 phyla, 3 classes, 8 orders, 32 families and 3228 individuals were identified and dominated by Baetidae, Perlidae, Hydropsychidae and Elmidae. Factor analysis results showed that each of the above families were suitable to be used as biological indicators in recreational areas.

Keywords: Benthic macroinvertebrates; biological indicators; Sungai Kongkoi; water quality index

PENDAHULUAN

Hidupan akuatik termasuk komuniti makroinvertebrat bentik memainkan peranan penting dalam penstabilan ekosistem secara semula jadi (Jabatan Pengairan & Saliran Malaysia). Maklumat mengenai taburan, kepelbagaian dan kepadatan ini boleh digunakan untuk menilai kualiti persekitaran komuniti tersebut. Ini secara langsung dapat membantu pemantauan kualiti ekosistem tersebut. Penggunaan informasi komponen biologi untuk menilai kesihatan sesuatu badan air merupakan asas kepada pemantauan biologi (Che Salmah et al. 2006).

Pemantauan biologi boleh mengukur keadaan semasa, masa lampau dan juga kesan kemasukan bahan pencemar pada masa tertentu (Karr & Chu 1997). Kualiti ekosistem boleh dikesan melalui kehadiran atau ketiadaan makroinvertebrat bentik pada ekosistem tersebut ataupun berdasarkan kepada kepadatan sesuatu populasi dan spesies (Ahmad et al. 1999). Komuniti makroinvertebrat bentik berupaya mengaitkan maklumat tekanan pencemaran jangka masa yang panjang, seterusnya menghasilkan suatu ukuran kualiti persekitaran yang sentiasa berubah-ubah (Che Salmah et al. 2006).

Kaedah pemantauan biologi masih baru dan berpotensi untuk dikembangkan serta dilaksanakan di Malaysia dalam menentukan tahap kualiti ekosistem akuatik. Kehadiran dan kelimpahan organisma makroinvertebrat bentik adalah tinggi di dalam ekosistem tropika dan kelebihan ini boleh digunakan untuk tujuan pemantauan secara biologi (Che Salmah et al. 2006; Yap et al. 2003a, Yap & Rahim 2011). Walaupun demikian, kajian pemantauan biologi adalah sangat terhad di Malaysia. Justeru itu, kajian ini dijalankan untuk menilai kualiti air di kawasan rekreasi berdasarkan kepada indeks kualiti air Malaysia (WQI) dan piawai kualiti air kebangsaan (NWQS) serta menggunakan komuniti makroinvertebrat bentik untuk menghasilkan suatu kriteria penunjuk kualiti air sungai sebagai garis panduan data asas yang tersendiri. Potensi makroinvertebrat bentik sebagai penunjuk biologi untuk ekosistem sungai juga ditentukan.

BAHAN DAN KAEDAH

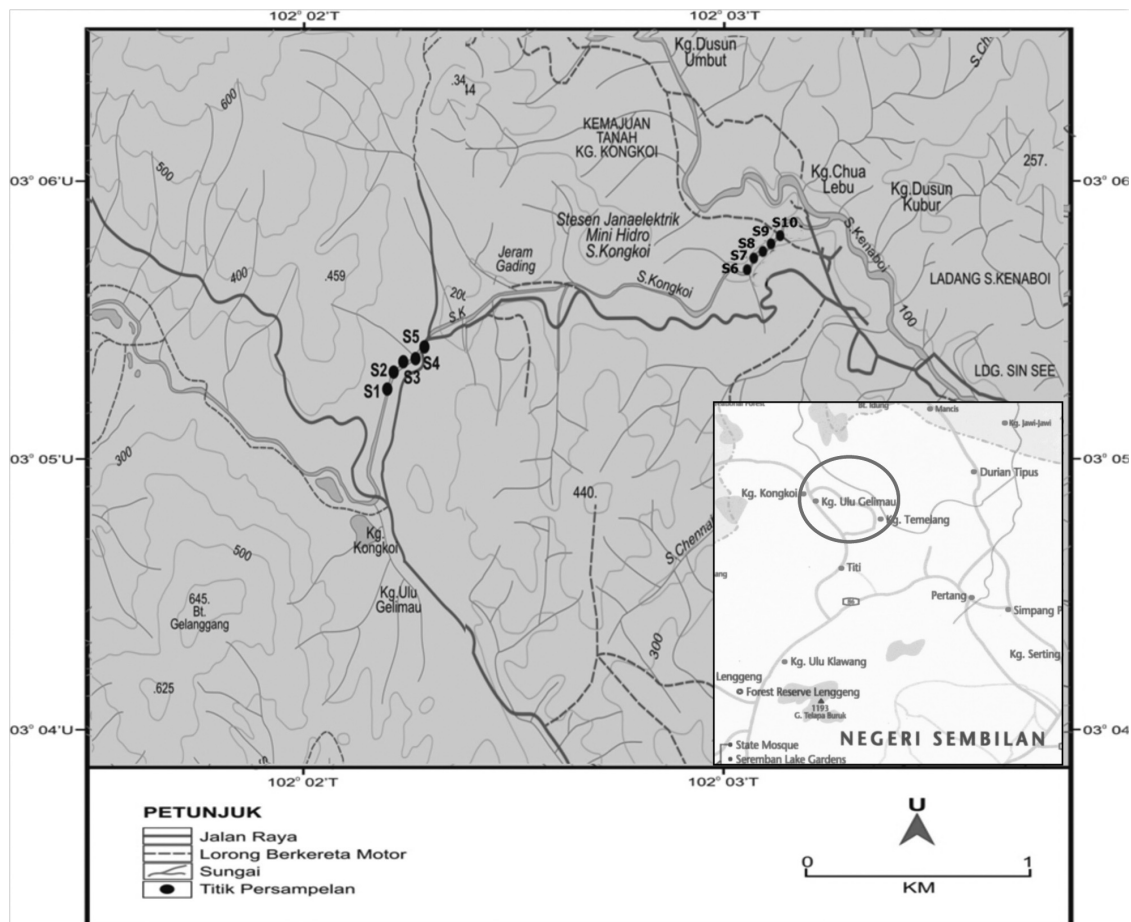
LOKASI KAJIAN

Kajian pemantauan biologi telah dijalankan di Sungai Kongkoi, Jelevu, Negeri Sembilan. Lokasi kawasan kajian adalah merupakan kawasan pedalaman dan dihuni

oleh orang kampung dan orang asli. Sungai Kongkoi merupakan sungai utama yang mengalir di kawasan hutan kekal dan berbukit-bukau dan merupakan sebahagian daripada kawasan rekreasi di kawasan berkenaan. Kawasan pensampelan terdiri daripada dua bahagian iaitu bahagian hulu yang merupakan aliran utama Sg. Kongkoi (S1-S5) manakala bahagian lebih hilir sungai pula adalah sebelum bercantum dengan Sungai Kenaboi (S6-S10) (Rajah 1). Koordinasi lengkap setiap stesen kajian yang telah dijalankan mengikut bacaan GPS (Sistem Kedudukan Global) ditunjukkan dalam Jadual 1.

KAEDAH PENSAMPELAN

Pensampelan makroinvertebrat bentik telah dijalankan pada 30 September 2009 manakala pensampelan dan analisis air telah dijalankan sebanyak dua kali iaitu pada 30 September 2009 dan 30 November 2009. Kerja lapangan melibatkan pengukuran kualiti air dan pensampelan air serta pensampelan makroinvertebrat bentik. Pensampelan bentos telah dilakukan secara kualitatif dan analisis sampel dilakukan di makmal. Maklumat fizikal di setiap stesen pensampelan seperti teduhan, kelebaran dan kedalaman sungai dan ciri habitat sungai dicatatkan dalam jadual penilaian habitat. Maklumat ini penting bagi menyokong data biologi



RAJAH 1. Peta kawasan pensampelan di Sungai Kongkoi, Negeri Sembilan

JADUAL 1. Koordinat geografi stesen pensampelan di Sungai Kongkoi

Stesen	Kedudukan GPS
1	03° 05.371"U 102° 02.616"T
2	03° 05.380"U 102° 02.620"T
3	03° 05.381"U 102° 02.623"T
4	03° 05.391"U 102° 02.622"T
5	03° 05.461"U 102° 02.619"T
6	03° 05.768"U 102° 03.983"T
7	03° 05.782"U 102° 03.991"T
8	03° 05.790"U 102° 04.004"T
9	03° 05.794"U 102° 04.016"T
10	03° 05.800"U 102° 04.016"T

dan data fiziko-kimia yang dihasilkan. Peta topografi menunjukkan stesen pensampelan (Rajah 1).

PENSAMPELAN DAN ANALISIS AIR

Pada setiap stesen pensampelan, pengukuran kualiti air secara *in situ* telah dilakukan bagi parameter oksigen terlarut (DO), suhu, pH dan kekonduksian dengan menggunakan multi parameter YSI 556 MPS. Parameter halaju arus diukur dengan menggunakan meter arus CDM 9000. Sebanyak 3 unit replikasi sampel diambil daripada setiap stesen. Analisis bagi parameter jumlah pepejal terampai (TSS), permintaan oksigen biokimia (BOD_5), permintaan oksigen kimia (COD) dan ammoniakal-nitrogen (NH_3-N) dilakukan mengikut APHA (1995). Penentuan indeks kualiti air (WQI) yang digunakan oleh Jabatan Alam Sekitar Malaysia (2009) dilakukan dengan menggunakan formula berikut:

$$WQI = 0.22(SIDO) + 0.19(SIBOD_5) + 0.16(SICOD) + 0.15(SIAN) + 0.16(SITSS) + 0.12(SIpH)$$

SI = subindeks

PENSAMPELAN DAN PENGECAMAN MAKROINVERTEBRAT BENTIK

Makroinvertebrat benthik disampel dengan menggunakan jaring Surber. Sebanyak 3 unit replikasi sampel diambil untuk mewakili setiap stesen pensampelan. Pensampelan telah dilakukan secara seragam dan jumlah masa pensampelan untuk setiap stesen pensampelan ialah 180 s. Sampel yang dikumpulkan ditapis dengan penapis bersaiz rongga 300 μm untuk mengeluarkan selut, dilabel serta diawet menggunakan etanol (10%) untuk pengawetan sementara. Sampel makroinvertebrat benthik diasing dan dicamkan mengikut garis panduan APHA (1995). Pengecaman dilakukan menggunakan mikroskop model Leica $\mu 4$. Rujukan yang digunakan dalam membantu proses pengecaman makroinvertebrat benthik ialah Pennack (1978), Throp & Covich (1991) dan Yule dan Yong (2004).

Analisis statistik yang dilakukan melibatkan ANOVA satu hala, pengklusteran, korelasi Pearson dan ujian faktor. Ujian ANOVA satu hala telah dilakukan untuk membandingkan

nilai kualiti air antara stesen pensampelan, manakala pengklusteran telah dilakukan untuk memperlihatkan kesamaan stesen pensampelan mengikut parameter kualiti air. Pekali korelasi telah dilakukan untuk menentukan hubungan makroinvertebrat benthik terhadap parameter kualiti air. Ujian faktor pula telah dilakukan untuk mengelompokkan parameter-parameter dalam kumpulan tertentu yang saling berkait rapat.

HASIL DAN PERBINCANGAN

KUALITI AIR

Nilai purata parameter kualiti air yang diukur secara *in situ* di kawasan kajian serta yang dianalisis di makmal ditunjukkan di dalam Jadual 2. Parameter fizikal dan kimia yang diukur secara *in situ* menunjukkan kawasan kajian berada di dalam keadaan yang bersih. Nilai purata suhu adalah $24.7 \pm 0.80^\circ C$ manakala pH adalah 6.70 ± 0.70 . Nilai purata kandungan oksigen terlarut adalah 7.30 ± 0.30 mg/L dan kekonduksian adalah 45.5 ± 1.00 $\mu S/cm$. Halaju arus purata pula adalah 0.60 ± 0.10 m/s. Sebahagian parameter didapati mempunyai bacaan yang seragam antara stesen pensampelan dan sebahagian agak kurang konsisten. Perubahan keadaan cuaca semasa pensampelan boleh mempengaruhi purata suhu dan kuantiti input sinaran matahari (Krenkel & Novotny 1980). Perubahan suhu boleh mempengaruhi banyak parameter kualiti air terutamanya oksigen terlarut. Suhu yang tinggi boleh mengurangkan keterlarutan oksigen dalam jasad air dan pada masa yang sama juga meningkatkan permintaan oksigen biokimia (Agarwal 2002). Menurut WHO (1978) nilai pH air dalam keadaan semula jadi berada dalam julat antara 5.0 dan 8.6. Berdasarkan kepada nilai piawaian yang dikeluarkan oleh Jabatan Alam Sekitar Malaysia (2006), nilai pH dan oksigen terlarut yang diperolehi daripada kajian ini menunjukkan kajian berada dalam Kelas I.

Parameter yang dianalisis di makmal ialah jumlah pepejal terampai (TSS), permintaan oksigen biokimia (BOD_5), permintaan oksigen kimia (COD) dan ammoniakal-nitrogen (NH_3-N). Nilai purata parameter COD adalah 6.10 ± 2.50 mg/L, BOD_5 adalah 0.09 ± 0.06 mg/L dan TSS adalah 6.90 ± 1.10 mg/L. Nilai parameter ammoniakal-nitrogen di kawasan kajian didapati sangat rendah dan di bawah had cerapan iaitu < 0.1 mg/L. Merujuk kepada piawaian kualiti air kebangsaan (NWQS), nilai COD dan BOD_5 menunjukkan kawasan kajian berada dalam Kelas I. Parameter NH_3-N yang direkodkan untuk kesemua stesen pensampelan adalah sangat rendah dan juga terletak dalam Kelas I. Kepekatan NH_3-N yang rendah menunjukkan tiada kemasukan unsur nutrien bukan organik ke dalam sungai walaupun terdapat aktiviti pertanian di sekitar kawasan kajian. Salah satu sumber kemasukan NH_3-N ke dalam ekosistem akuatik adalah melalui penggunaan baja berammonia (Mansor et al. 1989; Norhayati et al. 2004). Hasil ujian kualiti air menunjukkan kawasan kajian adalah sangat bersih dan tidak dicemari secara fizikal, kimia atau biologi.

JADUAL 2. Nilai purata pengukuran *in situ* dan *ex situ* di setiap stesen

Stesen pensampelan	Parameter kualiti air									
	Suhu (°C)	pH	Kekonduksian (µS/cm)	Oksigen terlarut (DO) (mg/L)	(%)	Halaju arus (m/s)	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	Ammoniakal-nitrogen (mg/L)	TSS (mg/L)
Stn 1	24.5 ± 0.8	6.6 ± 0.7	45.0 ± 1.1	7.5 ± 0.4	89.2 ± 6.0	0.4 ± 0.2	7.0 ± 5.7	0.13 ± 0.01	< 0.1 ± 0.01	5.6 ± 1.3
Stn 2	24.5 ± 0.8	6.5 ± 0.7	45.0 ± 1.1	7.4 ± 0.4	86.9 ± 3.9	0.6 ± 0.1	8.0 ± 8.5	0.17 ± 0.01	< 0.1 ± 0.01	5.8 ± 0.5
Stn 3	24.5 ± 0.8	6.6 ± 0.7	44.8 ± 1.3	7.3 ± 0.1	85.9 ± 1.4	0.5 ± 0.1	3.0 ± 1.4	0.09 ± 0.11	< 0.1 ± 0.01	6.3 ± 1.4
Stn 4	24.5 ± 0.8	6.6 ± 0.7	45.3 ± 0.8	7.0 ± 0.3	82.8 ± 3.3	0.6 ± 0.2	2.5 ± 0.7	0.14 ± 0.02	< 0.1 ± 0.01	5.2 ± 1.1
Stn 5	24.5 ± 0.8	6.6 ± 0.7	45.0 ± 1.1	7.2 ± 0.1	85.6 ± 1.6	0.6 ± 0.1	8.0 ± 4.2	0.31 ± 0.22	< 0.1 ± 0.01	5.3 ± 0.8
Stn 6	24.9 ± 0.9	6.8 ± 0.6	46.0 ± 1.1	7.2 ± 0.3	86.2 ± 3.5	0.5 ± 0.2	7.0 ± 1.4	0.01 ± 0.04	< 0.1 ± 0.01	8.4 ± 1.0
Stn 7	24.8 ± 0.9	6.7 ± 0.7	45.7 ± 0.8	7.2 ± 0.2	86.1 ± 2.8	0.6 ± 0.1	6.0 ± 1.4	0.01 ± 0.10	< 0.1 ± 0.01	7.1 ± 1.4
Stn 8	24.9 ± 0.9	6.7 ± 0.7	45.7 ± 0.8	7.8 ± 0.1	92.5 ± 1.7	0.8 ± 0.1	7.5 ± 0.7	0.02 ± 0.01	< 0.1 ± 0.01	7.7 ± 0.6
Stn 9	24.9 ± 0.9	6.7 ± 0.7	46.3 ± 0.8	7.5 ± 0.5	89.1 ± 5.7	0.6 ± 0.1	8.5 ± 0.7	0.02 ± 0.03	< 0.1 ± 0.01	8.2 ± 1.2
Stn 10	24.8 ± 0.8	6.7 ± 0.7	45.8 ± 1.3	7.3 ± 0.1	86.6 ± 0.4	0.7 ± 0.1	3.5 ± 0.7	0.03 ± 0.01	< 0.1 ± 0.01	8.9 ± 1.5
Purata	24.7 ± 0.8	6.7 ± 0.7	45.5 ± 1.0	7.3 ± 0.3	87.1 ± 3.0	0.6 ± 0.1	6.1 ± 2.5	0.09 ± 0.06	< 0.1 ± 0.01	6.9 ± 1.1

Nota: COD = permintaan oksigen kimia, BOD = permintaan oksigen biokimia, TSS = jumlah pepejal terampai

Ujian ANOVA satu hala yang dilakukan menunjukkan tiada perbezaan yang bermakna ($p > 0.05$, $\alpha = 0.05$) untuk kualiti air antara sepuluh stesen pensampelan yang dikaji. Ini menggambarkan bahawa air yang mengalir dari bahagian hulu sungai tidak membawa sebarang bahan pencemar ke bahagian hilir.

INDEKS KUALITI AIR (WQI)

Pengiraan indeks kualiti air (WQI) bagi sepuluh stesen di kawasan kajian di Sungai Kongkoi telah dilakukan. Indeks WQI telah diguna pakai oleh Jabatan Alam Sekitar Malaysia untuk tujuan penilaian dan pemantauan kualiti air sungai di Malaysia (JAS 2006). Nilai indeks kualiti air didapati berada dalam julat 94.32 hingga 96.60 dan mengelaskan kawasan kajian ke dalam Kelas I (Jadual 3). Kelas I di dalam indeks WQI memberi gambaran persekitaran semula jadi yang baik dan sesuai untuk pelbagai kegunaan termasuk sebagai air minuman dan hanya memerlukan rawatan secara konvensional. Kualiti ekosistem akuatik yang baik seperti ini boleh menampung variasi kehidupan pelbagai jenis hidupan akuatik bergantung kepada kapasiti sesuatu ekosistem tersebut.

MAKROINVERTEBRAT BENTIK

Hasil daripada pensampelan yang dilakukan, sejumlah 3228 individu makroinvertebrat benthik telah berjaya disampel yang terdiri daripada 2 filum, 3 kelas, 8 order dan 32 famili (Jadual 4). Kelas Insecta mendominasi setiap stesen kajian dengan kekayaan takson dan kelimpahan yang tinggi, taburan yang meluas dan menguasai pelbagai jenis habitat akuatik. Kelas Decapoda (udang air tawar) dan Mesogastropoda (siput air tawar) hanya didapati pada komposisi yang sangat rendah berbanding dengan kelas Insecta (Jadual 4). Komposisi organisma yang berubah dari hulu, pertengahan dan hilir sungai menunjukkan respons yang berlaku terhadap perubahan persekitaran (Hauer & Lamberti 1996).

Beberapa order daripada kelas Insecta (serangga akuatik) didapati hadir dengan komposisi yang tinggi

adalah Ephemeroptera, Coleoptera, Trichoptera dan Diptera. Di antara keempat-empat order tersebut, Ephemeroptera adalah paling dominan dengan komposisi 39% diikuti oleh Coleoptera (23%), Trichoptera (16%) dan Diptera (9%). Pendedominasian order Ephemeroptera mungkin disebabkan oleh ciri morfologi kumpulan ini yang sesuai dengan habitat yang berbatuan dan berarus laju. Order seperti Baetidae, Heptageniidae, Neophemeridae dan Ephemerellidae mempunyai ciri morfologi yang khusus untuk pengadaptasian pada ekosistem yang berarus laju (Hynes 1970). Kebanyakan individu daripada order di atas hidup di celahan batu di dasar sungai (Yule & Yong 2004) dan di antara akar-akar tumbuhan akuatik di tebing sungai. Mereka dapat beradaptasi kepada arus sungai yang tenang hingga ke air berarus deras. Terdapat juga sebilangan yang hidup di dalam pasir dan ada juga yang memanjat pada tumbuhan (Jabatan Pengairan & Saliran Malaysia). Kelimpahan Ephemeroptera yang tinggi biasanya dikaitkan dengan kualiti air yang amat bersih.

Menurut Yule dan Yong (2004), Plecoptera tinggal dalam air pada peringkat nimfa dari dua minggu hingga beberapa tahun. Famili Perlidae sahaja yang didapati di kawasan kajian dan kebanyakannya hidup di permukaan bawah batu di kawasan air berarus deras tetapi ada juga yang hidup pada daun tumbuh-tumbuhan dan di dalam pasir. Kelimpahan Plecoptera yang tinggi juga menunjukkan Sungai Kongkoi adalah sungai yang bersih. Plecoptera biasanya hidup di kawasan air yang bersih dan organisma ini mempunyai nic yang spesifik di sungai yang berkualiti air tinggi (Spellman & Drinan 2001). Order Trichoptera juga hanya ditemui di persekitaran air bersih walaupun ada beberapa famili yang tahan kepada pencemaran. Peringkat larvanya boleh ditemui di sungai dan tasik dan ia merupakan komposisi rantai makanan yang penting dalam sistem air tawar (Rosenberg & Resh 1993). Kelimpahan famili Hydropsychidae yang tinggi pada setiap stesen pensampelan menunjukkan kualiti air kawasan kajian yang baik (Chakona et al. 2009).

Chironomidae daripada order Diptera merupakan famili toleran dan biasanya dirujuk sebagai penunjuk

JADUAL 3. Nilai indeks kepelbagaian dan indeks biotik bagi setiap stesen

Stesen	WQI	Shannon (H')	Kekayaan Margalef (D_{Mg})	Keseragaman Pielou (J)	EPT	BMWP	ASPT
1	96.25	2.14	2.98	0.73	5.73	121	7.12
2	95.57	1.85	1.76	0.77	5.72	67	6.70
3	96.60	2.21	3.52	0.72	4.87	103	7.36
4	96.38	2.44	3.87	0.76	8.88	155	7.75
5	95.56	2.31	3.19	0.76	13.71	118	7.38
6	94.32	2.21	3.14	0.80	9.75	84	7.6
7	94.38	2.05	2.93	0.74	17.29	72	7.2
8	95.36	2.33	3.61	0.80	15.63	107	7.1
9	95.85	2.00	3.14	0.68	36.14	111	7.4
10	94.85	2.01	3.11	0.68	19.00	85	7.1
Purata	95.51	2.16	3.13	0.74	13.67	102.30	7.27
s.d.	0.80	0.18	0.57	0.04	9.38	26.39	0.30

s.d. = Sisihan piawai

JADUAL 4. Kepelebagaian dan kelimpahan makroinvertebrat bentik di sepanjang kawasan pensampelan

Order	Famili	Stn 1	Stn 2	Stn 3	Stn 4	Stn 5	Stn 6	Stn 7	Stn 8	Stn 9	Stn 10	Jumlah
Trichoptera	Hydropsychidae	30	17	37	54	100	24	46	42	105	35	490
	Psychomyiidae	-	-	-	6	1	-	-	-	1	1	9
	Stenopsychidae	1	-	1	3	-	-	-	-	-	-	5
	Sericostomatidae	-	-	-	1	-	-	-	3	-	-	4
	Polycentropodidae	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	3
	Dipseudopsidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
Ephemeroptera	Baetidae	107	97	114	124	122	26	42	35	73	78	818
	Neophemeridae	7	6	11	48	45	5	3	14	12	5	156
	Heptageniidae	4	1	25	28	28	2	-	6	39	2	135
	Ephemerellidae	24	9	10	3	18	1	5	4	3	17	94
	Potamanthidae	-	-	10	5	13	2	1	1	7	-	39
	Ephemeridae	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Plecoptera	Perlidae	60	36	16	29	56	18	24	20	12	32	303
Odonata	Gomphidae	-	-	3	37	7	4	1	4	8	3	67
	Libellulidae	2	-	-	-	1	-	-	1	-	-	4
	Aeshnidae	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	2
	Euphaeidae	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1
Diptera	Chironomidae	41	29	46	34	28	8	7	8	7	9	217
	Tipulidae	5	13	18	6	7	2	-	3	1	9	64
	Empididae	-	-	1	-	2	1	1	1	-	2	8
	Ceratopogonidae	2	-	-	1	1	-	-	-	-	2	6
	Simuliidae	2	-	1	-	-	-	-	1	1	-	4
	Phychodidae	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Coleoptera	Elmidae	77	72	80	66	60	15	15	33	23	111	552
	Hydrophilidae	48	5	5	14	30	7	5	6	4	7	131
	Dytiscidae	4	4	1	2	4	1	1	1	1	3	22
	Psephenidae	-	-	-	-	-	-	9	8	7	8	32
	Chrysomelidae	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	3
	Lampyridae	-	-	-	2	-	-	-	-	-	1	3
Decapoda	Palaemonidae	1	-	8	8	6	1	3	-	1	-	28
Mesogastropoda	Thiaridae	-	-	-	20	-	-	-	-	1	1	22
	Bithyniidae	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1
	Jumlah ind.	418	291	389	496	530	117	163	191	306	327	3228

ekosistem yang tercemar (Spellman & Drinan 2001). Dalam kajian ini, famili ini didapati hadir pada setiap stesen pensampelan dengan kelimpahan yang sekata. Walaupun famili ini telah dikenal pasti sebagai penunjuk ekosistem tidak bersih, ada juga kajian terdahulu yang menunjukkan ia mempunyai kelimpahan yang tinggi di kawasan air bersih (Ahmad et al. 1999; Azrina et al. 2006). Ini menunjukkan bahawa penelitian pada aras taksonomi yang lebih rendah perlu dijalankan bagi mengasingkan genus dan spesies Chironomidae yang beradaptasi kepada ekosistem tercemar dengan yang hanya beradaptasi pada ekosistem bersih.

INDEKS BIOLOGI DAN INDEKS KEPELBAGAIAN

Data kehadiran dan kelimpahan makroinvertebrat bentik di setiap stesen pensampelan kawasan kajian telah digunakan untuk menentukan indeks kepelebagaian Shannon (H'), indeks keseragaman Pielou (J), indeks kekayaan Margalef (D_{Mg}) dan indeks EPT (Jadual 3). Nilai indeks EPT dikira berdasarkan jumlah bilangan individu daripada ketiga-tiga

order sensitif Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera dan dibahagikan dengan jumlah bilangan Chironomidae (NCDEHNR 1997). Kumpulan EPT merupakan kumpulan organisma yang digunakan sebagai penunjuk sensitif bagi perubahan kualiti air. Kumpulan serangga akuatik ini hidup dominan dalam ekosistem air yang bersih. Kewujudan organisma daripada kumpulan EPT ini menunjukkan kualiti air yang amat baik dan menyamai Kelas I mengikut indeks kualiti air Malaysia.

Nilai EPT yang diperoleh menunjukkan kesemua stesen mempunyai kualiti air baik kecuali stesen 3 yang mempunyai kualiti air sederhana baik. Secara keseluruhannya, nilai purata EPT yang diperoleh adalah 13.7 ± 9.38 dan menggambarkan keadaan ekosistem yang baik (NCDEHNR 1997).

Indeks kepelebagaian Shannon pula dikira menggunakan nisbah kepadatan dan kekayaan takson dan hasil pengiraan menunjukkan kawasan kajian berada dalam keadaan persekitaran yang sederhana tertekan dengan nilai purata 2.2 ± 0.18 . Kebanyakan stesen pensampelan mempunyai

indeks Shannon melebihi nilai 2 dan memperlihatkan ekosistem yang sederhana tertekan. Nilai indeks Shannon yang dihasilkan adalah berdasarkan kepada pengiraan pada aras spesies (Magurran 1988). Pengiraan indeks Shannon dalam kajian ini pula hanya dilakukan pada aras famili dan ini memberikan gambaran yang lebih rendah daripada nilai yang sebenar.

Nilai purata indeks keseragaman Pielou yang diperoleh adalah menghampiri nilai 1. Ini menunjukkan sebaran individu yang tidak sekata dan keadaan ini berpunca daripada kewujudan ciri pendominasian beberapa takson tertentu seperti Chironomidae dan famili daripada kumpulan EPT. Menurut Ludwig dan Reynolds (1988), apabila semua spesies dalam satu sampel adalah sama banyak, nilai indeks sepatutnya maksimum dan menghampiri sifar. Bagi pengiraan indeks kekayaan Margalef (D_{Mg}) pula, semakin tinggi nilai yang direkodkan semakin tinggi kekayaan spesies atau takson yang diperoleh daripada stesen pensampelan. Nilai purata Margalef keseluruhan stesen ialah 3.1 ± 0.57 dan menggambarkan kekayaan takson yang agak tinggi kecuali stesen 2 yang didapati rendah iaitu 1.76.

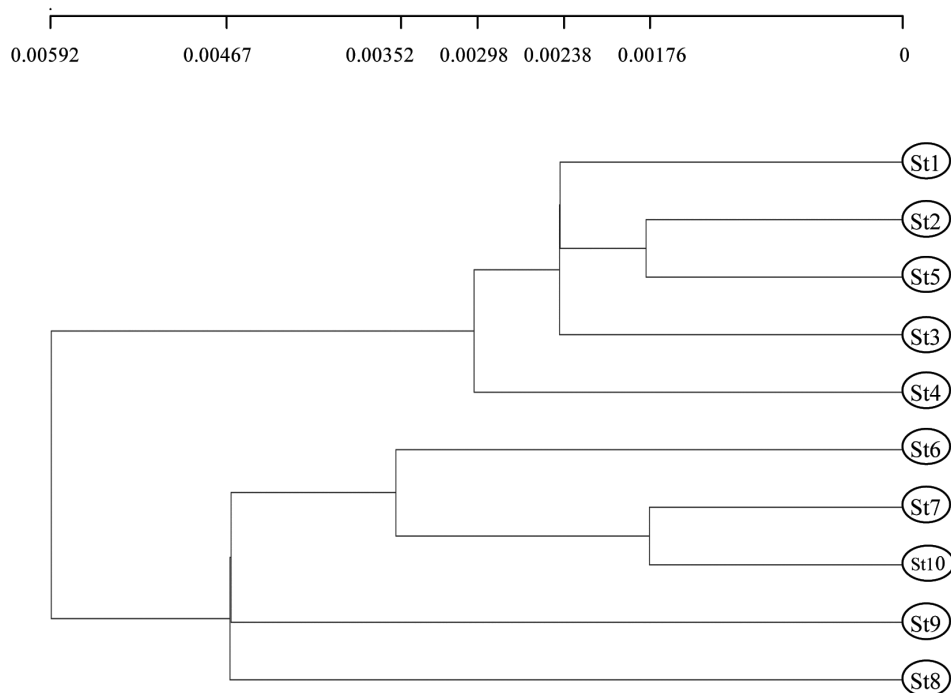
HUBUNGAN KUALITI AIR DENGAN MAKROINVERTEBRAT BENTIK

Nilai kualiti air yang didapati menunjukkan corak dan nilai yang hampir seragam antara stesen pensampelan serta dikategorikan dalam Kelas I berdasarkan indeks kualiti air (WQI). Keadaan ini menunjukkan Sungai Kongkoi mempunyai kualiti air yang baik dan setara di sepanjang kawasan kajian. Keadaan kualiti air yang baik ini telah

menyediakan suatu medium dan persekitaran akuatik yang sesuai dan dapat menampung kehidupan kepelbagaian makroinvertebrat bentik yang tinggi. Walau bagaimanapun, ujian kluster terhadap data kualiti air menunjukkan pembahagian jelas kawasan pensampelan hulu (stesen 1-5) dan lebih hilir (stesen 6-10). Rajah 2 menunjukkan penurunan kualiti air sungai daripada bahagian hulu ke hilir sungai.

Ujian korelasi Pearson menunjukkan suatu hubungan positif yang agak kuat antara bilangan famili makroinvertebrat bentik yang diperoleh dalam kajian ini dengan parameter kualiti air (Jadual 5). Setiap stesen pensampelan kecuali stesen 2 mempunyai kekayaan dan kelimpahan individu yang tinggi. Kawasan yang masih tidak diganggu menyediakan habitat bagi kehidupan makroinvertebrat bentik seperti Baetidae, Hydropsychidae dan Perlidae yang merupakan penunjuk bagi kualiti air yang baik. Yap dan Rahim (2011) telah menjalankan ujian hubungan makroinvertebrat bentik terhadap kualiti air dan mendapati terdapat hubungan yang jelas antara keduanya. Hasil yang sama juga diperoleh dalam kajian ini. Walau bagaimanapun, kawasan kajian juga menyokong kehidupan Elmidae dan Chironomidae daripada kumpulan penunjuk yang sederhana sensitif kepada pencemaran. Ujian korelasi menunjukkan hubungan yang positif antara indeks Shannon (H') dan Margalef (D_{Mg}) dengan indeks kualiti air (Jadual 5).

Keseragaman individu adalah rendah pada setiap stesen pensampelan kerana wujudnya pendominasian individu makroinvertebrat bentik tertentu. Situasi ini



RAJAH 2. Pengklusteran stesen pensampelan menggunakan formula pengukuran Bray-Curtis

biasanya dirujuk sebagai penanda yang kurang baik. Walau bagaimanapun, pendominasian individu dalam kajian ini adalah daripada order penunjuk kualiti yang baik seperti daripada order EPT (Baetidae, Hydropsychidae dan Perlidae). Walaupun WQI menunjukkan kualiti air yang baik, ujian kolerasi Pearson menunjukkan hubungan negatif antara indeks ekologi dengan kualiti air (WQI) (Jadual 5) disebabkan pendominasian makroinvertebrat benthik daripada order EPT.

Makroinvertebrat benthik juga digunakan bagi pengiraan indeks biologi seperti *Biological Monitoring Working Party* (BMWP) dan *Average Score Per Taxon* (ASPT). Hasil pengiraan menunjukkan kedua-dua indeks biotik tersebut juga menggambarkan kualiti air dan ekosistem yang baik berdasarkan pengelasan skor BMWP dan indeks ASPT. Indeks ini tidak begitu dipengaruhi oleh kelimpahan individu kerana hanya melibatkan pengiraan skor pada peringkat famili. Pengelasan skor famili adalah subjektif dan hanya dapat menggambarkan kualiti ekosistem secara umum (Chester 1980). Oleh itu, kajian ini mendapati indeks ini sangat sesuai digunakan berbanding dengan indeks kepelbagaian pada ekosistem yang mengalami pendominasian.

Hasil ujian faktor menunjukkan terdapat dua komponen yang mempunyai nilai eigen melebihi 1 dan mewakili 76.1% jumlah variasi faktor bersandar. Pengasingan ini menunjukkan terdapat pengaruh multi faktor dalam menilai kualiti air sungai kajian. Parameter suhu, pH dan konduktiviti mendominasi faktor 1, manakala fizikal oksigen terlarut dan arus terkumpul dalam faktor 2 (Jadual 6).

Ujian faktor juga dilakukan terhadap famili bentos yang mempunyai kelimpahan yang tinggi. Hanya 9 daripada 32 famili bentos telah diuji tahap hubungan dan plot scree menunjukkan terdapat tiga faktor yang terhasil. Jumlah nilai eigen bagi ketiga faktor ini adalah 86.6%. Faktor pertama terdiri daripada Ephemerellidae (order: Ephemeroptera), Perlidae (order: Plecoptera) dan Hydrophylidae (order: Trichoptera). Faktor kedua didominasi oleh order Ephemeroptera, manakala faktor ketiga terdiri daripada Chironomidae (order: Diptera) dan Elmidae (order: Coleoptera) (Jadual 7). Kesemua order ini merupakan order yang mempunyai famili yang berpotensi sebagai penunjuk biologi. Walau bagaimanapun, penggunaan aras order tidak sesuai kerana pertindihan tersebut. Setiap famili yang tersenarai mempunyai potensi yang baik sebagai penunjuk biologi untuk ekosistem yang bersih. Hasil analisis ini menepati ujian korelasi antara famili makroinvertebrat benthik dengan indeks biotik yang diuji yang menunjukkan hubungan yang baik ($r > 0.05, p < 0.05$).

KESIMPULAN

Ekosistem rekreasi mempunyai kualiti air yang sangat baik dan mampu menampung kepelbagaian makroinvertebrat benthik yang tinggi. Organisma makroinvertebrat daripada kumpulan EPT (Ephemeroptera, Plecoptera dan Trichoptera) didapati mendominasi kawasan kajian diikuti oleh Diptera dan Coleoptera. Order Ephemeroptera didapati mempunyai penyebaran kedominan yang tinggi di kawasan kajian dengan empat famili daripada order ini didapati berpotensi untuk dijadikan sebagai penunjuk biologi ekosistem bersih.

JADUAL 5. Nilai korelasi antara indeks kualiti air, bilangan famili makroinvertebrat benthik dan indeks kepelbagaian

	WQI	Bilangan famili	Shannon	Margalef	Pielou
WQI	1				
Bilangan famili	.635	1			
Shannon	.437	.969(**)	1		
Margalef	.691	.997(**)	.947(*)	1	
Pielou	-.779	-.370	-.149	-.425	1

** Korelasi adalah signifikan pada 0.01

* Korelasi adalah signifikan pada 0.05

JADUAL 6. Ujian faktor parameter kualiti air

	Komponen matrik berputar	
	1	2
Suhu	.901	.405
pH	.896	
Konduktiviti	.938	
Oksigen		.789
Arus		.826
Substrat	-.720	

Kaedah ekstraksi: Prinsipal komponen analisis
Kaedah pemusingan: Varimax dengan penormalan Kaiser

JADUAL 7. Ujian faktor parameter biologi

	Komponen matrik berputar		
	komponen		
	1	2	3
Hydropsychidae (Trichoptera)		.899	
Baetidae (Ephemeroptera)		.447	.830
Neophemeridae (Ephemeroptera)		.796	
Heptageniidae (Ephemeroptera)		.926	
Ephemerellidae (Ephemeroptera)	.834		.394
Perlidae (Plecoptera)	.936		
Chironomidae (Diptera)			.845
Elmidae (Coleoptera)			.787
Hydrophylidae (Coleoptera)	.927		
() = order			
Kaedah ekstraksi: Prinsipal komponen analisis			
Kaedah pemutaran : Varimax dengan penormalan Kaiser			

PENGHARGAAN

Penulis ingin merakamkan penghargaan kepada Kementerian Sains, Teknologi dan Inovasi dan Universiti Kebangsaan Malaysia atas bantuan kewangan UKM-ST-08-FRGS0005-2010 untuk menjayakan penyelidikan ini.

RUJUKAN

- Agarwal, S.K. 2002. *Pollution Management II. Water Pollution*. Kul Bhushan Nangia: A.P.H. Publishing Corporation.
- Ahmad Abas Kutty, Maznah Mahali & Zameri Mohamed. 1999. Kajian pemantauan biologi menggunakan makro invertebrat di hulu Sungai Langat, Selangor. *Borneo Science* 6: 45-46.
- APHA. 1995. *Standard Method for the Study of Examination Water and Wastewater*. 19th ed. Washington: American Public Health Association (APHA), AWWA, WPCF.
- Azrina, M.Z., Yap, C.K., Rahim Ismail, A., Ismail, A. & Tan, S.G. 2006. Anthropogenic impacts on the distribution and biodiversity of benthic macroinvertebrates and water quality of the Langat River, Peninsular Malaysia. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 64: 337-347.
- Chakona, A., Phiri, C. & Day, J.A. 2009. Potential for Trichoptera communities as biological indicators of morphological degradation in Riverine systems. *Hydrobiologia* 621: 155-167.
- Che Salmah, M.R., Tribuana, S.W. & Hassan, A.A. 2006. The population of odonata (dragonflies) in small tropical rivers with reference to asynchronous growth patterns. *Aquatic Insects* 28(3): 195-209.
- Chesters, R.K. 1980. *Biological Monitoring Working Party. The 1978 National Testing Exercise. Technical Memorandum 19*. London: Department of Environment.
- Hauer, F.R. & Lamberti, G.A. 1996. *Methods in Stream Ecology*. London: Academic Press.
- Hynes, H.B.N. 1970. *The Ecology of Running Waters*. Canada: University of Toronto Press.
- Jabatan Alam Sekitar (JAS). 2006. *Malaysia Environmental Quality Report 2006*. Putrajaya Malaysia: Department of Environment, Ministry of Science, Technology and the Environment.
- Jabatan Pengairan & Saliran Malaysia. 2009. *Panduan Penggunaan Makroinvertebrata untuk Penganggaran Kualiti Air Sungai*. Edisi pertama. Kuala Lumpur: Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia.
- Karr, J.R. & Chu, E.C. 1997. *Restoring Life in Running Water Better Biological Monitoring*. Washington, D.C: Island Press.
- Krenkel, P.A. & Novotny, V. 1980. *Water Quality Management*. New York: Academic Press.
- Ludwig, J.A. & Reynolds, J.F. 1988. *Statistical Ecology*. United State: John Wiley & Sons.
- Magurran, A.E. 1988. *Ecological Diversity and its Measurement*. New Jersey: Princeton University Press.
- Mansor, M., Tan, E.S.P. & Yong, W.S. 1989. Soluble phosphate and ammonia-nitrogen concentration concentrations in coastal waters along the west coast of Penang Island. *Prosiding Seminar Tahunan Persatuan Sains Marin Malaysia ke 12*.
- Norhayati, M.T., Suhaimi, S., Mohamad, A. & Ang, K.T. 2004. Studies on nitrogen-based nutrients of Paka River system, Terengganu, Malaysia. *Prosiding Seminar Tahunan KUSTEM ke 3*.
- North Carolina Department of Environment, Health and Natural Resources (NCDEHNR). 1997. *Standard Operating Procedures for Biological Monitoring: Environmental Sciences Branch Biological Assessment Group*. Division of Water. Water Quality Section.
- Pennack, R.W. 1978. *Freshwater Invertebrates of the United States*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Rosenberg, D.M. & Resh, V.H. 1993. *Freshwater Monitoring & Benthic Macroinvertebrates*. USA: Chapman & Hall Pub.
- Spellman, F.R & Drinan, J. 2001. *Stream Ecology and Self Purification: An Introduction*. Ed Ke-2. Pennsylvania Technomic Publishing Company.
- Thorp, J.H. & Covich, A.P. 1991. *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. San Diego: Academic Press.
- WHO. 1978. *Water Quality Surveys, A Guide for the Collection and Interpretation of Water Quality Data*. Paris: UNESCO.
- Yap, C.K., Rahim Ismail, A., Ismail, A. & Tan, S.G. 2003a. Species diversity of macrobenthic invertebrates in the Semenyeh River, Selangor, Peninsular Malaysia. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 26(2): 139-146.
- Yap, C.K. & Rahim Ismail, A. 2011. Relationship of distribution of macrobenthic invertebrates and the physico-chemical

parameters from Semenyeh River by using correlation and multiple linear stepwise regression analyses. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 34(2): 229-245.

Yule, C.M. & Yong, H.S. 2004. *Freshwater Invertebrates of the Malaysian Region*. Kuala Lumpur: Academy of Sciences Malaysia.

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

Diserahkan: 13 Februari 2012

Diterima: 27 Ogos 2012

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