

Potensi Makroinvertebrat Bentik Sebagai Penunjuk Biologi di Sungai Ikan, Hulu Terengganu, Terengganu

(Potential Use of Benthic Macroinvertebrate as Biological Indicators
in Sungai Ikan, Hulu Terengganu, Terengganu)

A.K. AHMAD*, A. SITI HAFIZAH & M. SHUHAIMI-OTHMAN

ABSTRAK

Suatu kajian telah dijalankan untuk menentukan potensi makroinvertebrat benthik sebagai penunjuk biologi di hulu Sungai Ikan, Terengganu. Sebanyak lima stesen pensampelan telah dipilih untuk pensampelan makroinvertebrat benthik dan analisis kualiti air. Pensampelan makroinvertebrat benthik telah dilakukan menggunakan jaring Surber dan analisis kualiti air dilakukan menurut kaedah APHA. Piawaian Kualiti Air Kebangsaan (NWQS) telah digunakan untuk menilai parameter kualiti air di kawasan kajian dan hasil menunjukkan Sungai Ikan berada dalam keadaan baik iaitu kelas I hingga II. Ujian ANOVA satu hala menunjukkan bahawa kesemua parameter air yang diuji adalah seragam di sepanjang kawasan kajian ($p > 0.05$, $\alpha = 0.05$). Sebanyak 2 filum, 3 kelas, 8 order, 39 famili dan 1353 individu telah dikenal pasti dan didominasi oleh famili Baetidae, Siphonuridae, Simuliidae, Chironomidae dan Elmidae. Famili dominan didapati hadir pada hampir kesemua stesen pensampelan. Memandangkan kualiti air adalah baik dan tidak berubah sepanjang kawasan kajian, ujian CCA dilakukan untuk memperlihatkan faktor persekitaran lain yang mempengaruhi sebaran makroinvertebrat terutamanya famili dominan. Hasil ujian CCA menunjukkan pengaruh persekitaran yang khusus terhadap famili tertentu dan mempunyai pengaruh yang kuat terhadap sebaran makroinvertebrat benthik. Ujian korelasi menunjukkan batuan besar mempunyai pengaruh besar terhadap sebaran famili Baetidae, Siphonuridae dan sub-famili Orthocladinae, manakala komposisi pasir pula mempunyai pengaruh terhadap famili Elmidae. Hasil kajian ini menunjukkan dalam ekosistem yang bersih, faktor persekitaran habitat adalah kritikal untuk diambil kira dalam menentukan taksa tertentu yang sesuai digunakan sebagai penunjuk biologi ekosistem sungai rekreasi.

Kata kunci: Ekologi air tawar; makroinvertebrat benthik; penunjuk biologi; sungai

ABSTRACT

A study was conducted to distinguish the likely role of benthic macroinvertebrate as biological indicators in Sungai Ikan, Terengganu. A total of five stations were selected for benthic macroinvertebrate and water quality analysis sampling. Benthic macroinvertebrate sampling was done using Surber net and water quality analysis was carried out based on APHA method. National Water Quality Standard (NWQS) was applied to evaluate water quality parameters of Sungai Ikan and the results showed that Sungai Ikan has excellent water quality and falls within the class I to II. The One-way ANOVA test showed most of water quality parameters did not differ significantly throughout the sampling area ($p > 0.05$, $\alpha = 0.05$). A sum of 2 phyla, 3 classes, 8 orders, 39 families and 1353 individuals were identified and dominated by Baetidae, Siphonuridae, Simuliidae, Chironomidae and Elmidae. These dominant families were present in almost all sampling stations. As regards to good water quality along the sampling area, the CCA test was conducted to show other environmental factors influencing the benthic macroinvertebrate distribution, particularly the dominant families. CCA results showed distinct environmental influence to certain family and strongly affected the distribution of benthic macroinvertebrate. Based on correlation test, the distribution of Baetidae, Siphonuridae and Orthocladinae (Family Chironomidae) were extremely influenced by cobbles, whereas Elmidae distribution was influenced by sand substrate. The results of this study indicate that within pristine ecosystem, environmental factors and habitat characteristics are vital to be accounted for in determining the particular taxa to be used as bioindicator of recreation river ecosystem.

Keywords: Benthic macroinvertebrate; bioindicator; freshwater ecology; river

PENGENALAN

Pemantauan biologi mendapat kurang perhatian berbanding dengan kaedah pemantauan secara fizik dan kimia dalam membuat penilaian kualiti air di Malaysia. Pemantauan kualiti air yang hanya berasaskan parameter fizikal dan kimia mempunyai beberapa kelemahan seperti

hanya mampu mengukur parameter tertentu sahaja, tidak dapat menentukan kesan biologi, dipengaruhi oleh bawakan air sungai yang sentiasa mengalir serta kurang sensitif (Shuhaimi-Othman et al. 2010). Sebaliknya, kaedah pemantauan biologi dapat menentukan respons biologi secara sistematik bagi mengesan perubahan dalam

persekitaran (Rosenberg & Resh 1993). Makroinvertebrat bentik merupakan salah satu organisma yang paling mendapat banyak perhatian dalam pemantauan biologi (Blijswijk et al. 2004; Hellowell 1986).

Di Malaysia, Jabatan Pengairan dan Saliran (t.th) telah memperkenalkan makroinvertebrat bentik sebagai penunjuk biologi di dalam program penilaian sungai. Namun begitu, penggunaan makroinvertebrat bentik sebagai penunjuk biologi masih lagi kurang dilakukan di Malaysia. Rosenberg dan Resh (1993) telah menyenaraikan beberapa kelebihan makroinvertebrat bentik sebagai penunjuk biologi. Kelebihan-kelebihan tersebut boleh mencetuskan satu fenomena bagi memantau kualiti air sungai di Malaysia menggunakan kaedah pemantauan biologi seiring dengan kaedah konvensional. Kaedah konvensional boleh memberikan penilaian yang cepat mengenai status kualiti air, manakala konsep bio penunjuk boleh memberikan gambaran keadaan sesebuah ekosistem bagi mengesan perubahan jika berlaku pencemaran (Azrina et al. 2006; Yap & Rahim Ismail 2011; Yap et al. 2003). Kualiti persekitaran sesuatu komuniti boleh dinilai dengan maklumat taburan, kepelbagaian dan kepadatan (Ahmad et al. 2013). Justeru itu, kajian ini penting untuk membantu mewujudkan satu penanda aras kumpulan makroinvertebrat bentik yang berpotensi menjadi penunjuk biologi bagi menilai kualiti air sungai di Malaysia.

Suatu kajian awal telah dijalankan di Sungai Ikan, Hulu Terengganu bagi menentukan kepelbagaian makroinvertebrat bentik serta pengaruh persekitaran terhadap sebarannya. Selain itu, penilaian kualiti air di kawasan kajian juga ditentukan berdasarkan kepada Piawaian Kualiti Air Kebangsaan (NWQS). Kajian ini dijangka dapat memperlihatkan potensi makroinvertebrat bentik sebagai penunjuk biologi di kawasan ekosistem bebas cemar.

BAHAN DAN KAEDAH

KAWASAN KAJIAN

Sungai Ikan merupakan sungai yang kecil dan berada pada order I mengikut pengelasan sungai yang diperkenalkan oleh Vannote et al. (1980). Sungai ini sangat pendek dan merupakan aliran air mata air daripada bahagian puncak bukit di sekitar Tasik Kenyir. Oleh itu, kawasan kajian hanya merangkumi sepanjang 250 meter sahaja dan sebanyak lima stesen pensampelan telah dipilih. Koordinat

geografi bagi stesen pensampelan ditunjukkan dalam Jadual 1, manakala peta kawasan kajian pula ditunjukkan dalam Rajah 1.

KAEDAH PENSAMPELAN

Pensampelan kualiti air dan makroinvertebrat bentik hanya dilakukan sekali sahaja iaitu pada 4 November 2012. Sebanyak tiga replikasi sampel makroinvertebrat bentik dan air telah diambil di setiap stesen pensampelan, manakala ciri fizikal setiap stesen pensampelan seperti teduhan kanopi, kelebaran dan kedalaman sungai serta ciri habitat telah direkodkan di dalam borang penilaian habitat. Maklumat persekitaran ini penting bagi menyokong data kualiti air dan data biologi yang dihasilkan (Ahmad et al. 2013).

Pengukuran *in situ* kualiti air sungai telah dilakukan untuk parameter kandungan oksigen terlarut (DO), pH, suhu dan konduktiviti dengan menggunakan meter YSI 516. Air sungai telah disampel untuk analisis permintaan oksigen biokimia (BOD_5), permintaan oksigen kimia (COD), pepejal terampai (TSS), nitrat, ortofosfat dan ammoniakal nitrogen (NH_3-N). Semua analisis makmal bagi parameter air telah dijalankan dengan menggunakan garis panduan APHA (1995).

Pensampelan makroinvertebrat bentik dilakukan menggunakan jaring Surber dengan meletakkan jaring melawan arus sungai dan dasar sungai telah diganggu secara berterusan selama 3 min. Makroinvertebrat bentik yang terperangkap di dalam jaring dibersihkan dan diawet dengan 70% etanol untuk pengawetan sementara. Sampel makroinvertebrat bentik dibasuh dan ditinggalkan di makmal. Pengecaman dibuat menggunakan mikroskop stereo sehingga ke aras famili dengan menggunakan buku rujukan Brinkhurst & Jamieson (1971), Merrit & Cummins (1984) dan Pennak (1978).

ANALISIS DATA

Indeks kepelbagaian Shannon, indeks kesamarataan Pielou dan indeks kekayaan Margalef ditentukan dengan menggunakan data biologi bagi menilai respon organisma makroinvertebrat terhadap kualiti ekosistem (Ahmad Abas et al. 1999). Analisis statistik yang dilakukan melibatkan ANOVA satu hala, ujian kanonikal (CCA) dan ujian korelasi. Ujian ANOVA satu hala telah dilakukan untuk membandingkan parameter kualiti air antara stesen

JADUAL 1. Koordinat geografi stesen pensampelan di Sungai Ikan

Stesen	Latitud	Longitud
1	N 05° 00'39.94'	E 102° 52'24.52'
2	N 05° 00'39.97'	E 102° 52'24.55'
3	N 05° 00'40.00'	E 102° 52'24.60'
4	N 05° 00'40.02'	E 102° 52'24.63'
5	N 05° 00'40.04'	E 102° 52'24.69'



RAJAH 1. Peta kawasan persampelan di Sungai Ikan, Hulu Terengganu, Terengganu

persampelan, manakala ujian CCA telah dilakukan untuk melihat pengaruh persekitaran terhadap kehadiran dan sebaran makroinvertebrat bentik. Ujian korelasi pula dilakukan bagi mengenal pasti taksa makroinvertebrat bentik yang berpotensi dijadikan agen penunjuk biologi di kawasan kajian.

HASIL DAN PERBINCANGAN

KUALITI AIR

Parameter fizikal dan kimia yang diukur secara *in situ* menunjukkan kawasan kajian berada dalam keadaan bersih. Nilai purata suhu adalah $22.95 \pm 0.25^\circ\text{C}$ iaitu normal bagi bahagian hulu sungai yang biasanya mempunyai purata suhu tidak melebihi 25°C di kawasan tropika (Ahmad Ismail & Asmida 2008). Nilai purata bagi oksigen terlarut (DO) yang diperoleh ialah 8.11 ± 0.20 mg/L, meletakkan kawasan kajian berada dalam kelas I mengikut Piawai Kualiti Air Kebangsaan (NWQS) kerana julat purata yang melebihi 7 mg/L. Nilai purata kekonduksian pula ialah 32 ± 0.05 $\mu\text{S/cm}$, menunjukkan kawasan kajian berada pada aras kepekatan semula jadi bagi ekosistem air tawar. Menurut Connell (1981), organisma akuatik sangat sensitif terhadap perubahan pH dan kebanyakannya boleh hidup dengan baik pada julat 6.0 hingga 8.5. Nilai purata yang diperoleh untuk pH ialah 7.04 ± 0.06 iaitu berada dalam kelas I mengikut NWQS. Kesemua parameter *in situ* yang diceraap mengkelaskan kawasan kajian ke dalam kelas I berdasarkan NWQS.

Nilai purata kualiti air yang diukur secara *ex situ* ditunjukkan dalam Jadual 2. Nilai purata bagi permintaan oksigen biokimia (BOD_5) yang diperoleh ialah 0.33 ± 0.13 mg/L, manakala nilai purata bagi permintaan oksigen kimia (COD) pula ialah 2.28 ± 0.92 mg/L. COD biasanya berkait rapat dengan BOD_5 kerana ia melibatkan penggunaan DO untuk penghuraian bahan bukan organik dan bahan organik. Jika nilai BOD_5 adalah rendah, maka nilai COD juga turut rendah. Nilai purata bagi kedua-dua parameter adalah rendah dan meletakkan kawasan kajian berada dalam kelas I mengikut piawai NWQS. Nilai purata bagi parameter jumlah pepejal terampai (TSS) juga berada dalam keadaan sangat rendah iaitu 7.0 ± 0.01 mg/L, menunjukkan bahawa kawasan kajian bebas daripada ancaman sumber TSS. Bagi parameter ammoniakal nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$), nilai purata yang diperoleh ialah 0.11 ± 0.04 mg/L dan meletakkan kawasan kajian berada dalam kelas II mengikut piawai NWQS. Kawasan kajian masih lagi boleh dikatakan tidak menunjukkan ciri-ciri tercemar dengan bahan organik dan bersih kerana NWQS menetapkan tahap $\text{NH}_3\text{-N}$ dalam sungai yang bersih adalah tidak melebihi 0.9 mg/L (Norhidayah Redzuan et al. 2008). Nilai purata ortofosfat dan nitrat pula ialah 0.11 ± 0.05 dan 0.04 ± 0.02 mg/L, menunjukkan bahawa air di Sungai Ikan mempunyai kepekatan parameter kimia yang rendah dan berada dalam aras kepekatan semula jadi berdasarkan piawaian yang telah ditetapkan oleh NWQS.

Berdasarkan kepada semua kesemua parameter yang telah diukur, hampir semua parameter kualiti air di setiap stesen berada dalam kelas I kecuali parameter $\text{NH}_3\text{-N}$

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

Stesen	Parameter kualiti air					
	BOD ₅ (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	Nitrat (mg/L)	Ortofosfat (mg/L)
1	0.24±0.12	2.90±2.40	13.00±0.01	0.16±0.09	0.04±0.01	0.10±0.02
2	0.33±0.19	2.20±0.36	12.00±0.00	0.07±0.01	0.07±0.04	0.09±0.04
3	0.39±0.24	3.40±1.84	3.00±0.00	0.10±0.03	0.03±0.01	0.07±0.03
4	0.20±0.11	1.87±1.88	3.00±0.00	0.08±0.01	0.04±0.02	0.20±0.13
5	0.23±0.23	1.03±0.86	2.00±0.02	0.14±0.04	0.04±0.03	0.11±0.04
Purata	0.33±0.13	2.28±0.92	7.00±0.01	0.11±0.04	0.04±0.02	0.11±0.05

BOD₅ = permintaan oksigen biokimia, COD = permintaan oksigen kimia, TSS = jumlah pepejal terampai, NH₃-N = ammoniakal nitrogen

yang berada dalam kelas II pada stesen 1 dan 5. Secara keseluruhan, kualiti air Sungai Ikan adalah masih baik dan boleh dikategorikan dalam kelas I atau II mengikut NWQS. Ujian ANOVA satu hala telah dilakukan untuk membandingkan parameter kualiti air antara setiap stesen pensampelan. Hasil ujian menunjukkan kesemua parameter yang diuji adalah seragam dan tidak mempunyai perbezaan yang nyata di antara stesen pensampelan ($p > 0.05$, $\alpha = 0.05$).

MAKROINVERTEBRAT BENTIK

Sebanyak 1353 jumlah individu makroinvertebrat benthik telah berjaya direkodkan di Sungai Ikan (Jadual 3). Hasil kajian terdiri daripada 2 filum, 3 kelas, 8 order dan 39 famili. Kelas Insecta mendominasi dan hadir di semua stesen pensampelan, manakala kelas Gastropoda dan Malacostraca hanya menyumbang komposisi yang kecil berbanding kelas Insecta. Beberapa order daripada kelas Insecta didapati hadir dengan komposisi yang tinggi iaitu Ephemeroptera, Diptera, Trichoptera dan Coleoptera. Ephemeroptera mendominasi dengan 57.1% diikuti oleh Diptera (22.9%), Trichoptera (8.0%) dan Coleoptera (7.6%). Kelimpahan order Ephemeroptera yang tinggi dan hadir di semua stesen pensampelan adalah kerana ia bersifat universal dan larvanya dapat beradaptasi kepada arus sungai yang tenang hingga ke air berarus deras (Che Salmah et al. 2001). Famili Baetidae dan Siphonuridae lebih dominan di stesen 1 dan 2 kerana ciri fizikal stesen 1 dan 2 yang berbatuan dan berarus laju. Baetidae dan Siphonuridae merupakan perenang yang bagus dan mudah dijumpai di perairan yang berbatu dan berarus deras (Bouchard 2004). Kelimpahan Ephemeroptera yang tinggi biasanya dikaitkan dengan kualiti air yang amat bersih (Ahmad et al. 2013).

Hasil kajian menunjukkan famili Chironomidae ditemui di semua stesen pensampelan. Menurut Hart dan Fuller (1974), Chironomidae boleh dijumpai di dalam setiap habitat sama ada di tumbuhan akuatik, kayu atau pasir yang berada antara batuan dengan aliran air yang laju. Sub-famili Orthocladiinae mencatatkan jumlah individu terbanyak di kawasan pensampelan. Cranston (2004) menyatakan diversiti Orthocladiinae di kawasan tropika sangat tinggi di perairan lotik yang mempunyai kandungan oksigen tinggi. Walaupun Chironomidae sering

dikaitkan sebagai penunjuk ekosistem tidak bersih, kajian oleh Ahmad et al. (2013), Azrina et al. (2006) dan Yap et al. (2008, 2003) menunjukkan bahawa Chironomidae mempunyai kelimpahan yang tinggi di ekosistem air bersih. Oleh itu, kajian terperinci Chironomidae perlu dilakukan bagi mengenal pasti genus dan spesies yang sensitif atau toleran terhadap pencemaran dengan lebih tepat.

Larva Trichoptera mendiami pelbagai mikrohabitat akuatik dan tergolong dalam hampir semua kumpulan makanan (Wallace & Merritt 1980). Famili Stenopsychidae merupakan peragut, iaitu memakan alga atau substrat di batuan (Bode et al. 2002). Famili ini paling banyak ditemui di stesen 2 kerana kawasan ini penuh dengan batu-batuan dan terdapat sumber makanan yang banyak. Famili Perlidae (order Plecoptera) hidup di bawah permukaan batu supaya terlindung daripada arus deras (Jabatan Pengairan dan Saliran t.th). Famili ini mencatatkan jumlah individu terbanyak dalam order Plecoptera sama seperti kajian oleh Ahmad et al. (2013) dan Che Salmah et al. (2001). Perlidae merupakan penunjuk biologi yang bagus untuk kualiti air yang baik (Tomanova & Tedesco 2007) dan ini menyokong hasil kajian kualiti air Sungai Ikan yang berada dalam kelas I hingga II mengikut Piawai Kualiti Air Kebangsaan (NWQS) bagi setiap parameter.

Pengumpul merupakan kumpulan pemakan terbanyak (17 famili) di sungai kajian sama seperti kajian lepas oleh Jiang et al. (2011). Ini menyokong konsep *River Continuum Concept* (RCC) oleh Vannote et al. (1980) yang menyatakan bahawa pengumpul dan penghancur merupakan komuniti terbanyak di hulu sungai (order 1-3). Walau bagaimanapun, kumpulan pemangsa merupakan komuniti kedua terbesar selepas pengumpul (12 famili), bertentangan dengan konsep RCC. Namun, ujian korelasi menunjukkan bahawa wujud hubungan yang kuat antara kumpulan pengumpul dan pemangsa ($r = 0.79$). Jumlah bilangan kumpulan pengumpul adalah seiring dengan jumlah bilangan pemangsa kerana terdapat banyak sumber makanan bagi pemangsa yang memakan makroinvertebrat benthik yang lain termasuklah kumpulan pengumpul.

Walaupun status kualiti air Sungai Ikan berada dalam keadaan yang baik berdasarkan NWQS, namun taburan dan komposisi makroinvertebrat benthik adalah

JADUAL 3. Kepelbagaian dan sebaran makroinvertebrat benthik di Sungai Ikan

Order	Famili	Stesen					Jumlah
		1	2	3	4	5	
Ephemeroptera	Baetidae	194	197	56	66	17	530
	Siphonuridae	87	15	23	19	4	148
	Heptageniidae	3	2	6	8	33	52
	Ephemerillidae	0	7	7	15	4	33
	Caenidae	1	0	1	1	2	5
	Neophemeridae	0	0	1	1	1	3
	Leptophlebiae	0	1	0	1	0	2
Diptera	Chironomidae						
	Sub-famili:						
	Orthocladinae	34	36	3	6	0	79
	Chironominae	17	7	3	10	4	41
	Tanypodinae	0	1	2	0	0	3
	Simuliidae	10	52	20	16	22	120
	Tipulidae	0	13	13	17	5	48
	Ceratopogonidae	0	3	1	3	4	11
	Empididae	0	1	1	0	1	3
	Rhagionidae	0	2	0	0	0	2
	Arthericidae	0	1	0	0	0	1
	Ephydriidae	0	1	0	0	0	1
Blephariceridae	0	0	1	0	0	1	
Trichoptera	Stenopsychidae	6	29	10	0	2	47
	Rhyacophilidae	1	3	10	12	2	28
	Psychomyiidae	7	1	5	6	1	20
	Hydroptilidae	1	0	3	0	0	4
	Hydropsychidae	0	3	0	0	0	3
	Sericostomatidae	0	0	0	0	4	4
	Polycentropodidae	0	1	0	0	0	1
	Leptoceridae	0	0	0	0	1	1
Plecoptera	Perlidae	1	4	3	5	11	24
	Nemouridae	1	4	0	0	0	5
	Peltoperlidae	0	0	2	0	0	2
Coleoptera	Elmidae	0	3	37	22	18	80
	Psephenidae	1	5	5	2	1	14
	Dytiscidae	1	1	2	0	0	4
	Lampyridae	0	1	2	0	1	4
	Ptilodactylidae	1	0	0	0	0	1
Odonata	Coenagrionidae	0	0	0	3	2	5
	Libellulidae	0	0	1	0	0	1
	Platystictidae	0	0	0	0	1	1
Decapoda	Atyidae	0	0	1	0	1	2
Mesogastropoda	Bulimidae	0	0	6	6	5	17
	Pleuroceridae	0	0	0	1	0	1
	Lymnaeidae	1	0	0	0	0	1
	Jumlah	367	394	225	220	147	1353

tidak sekata. Stesen 1 mencatatkan jumlah famili dan individu yang paling sedikit. Bradt dan Wieland (1981) telah membandingkan kepelbagaian makroinvertebrat benthik yang dikumpul pada aliran yang berbeza kelajuan dan mendapati bahawa aliran yang lebih laju mempunyai kurang kepelbagaian makroinvertebrat benthik. Stesen 1 mempunyai aliran air yang paling deras dan laju berbanding stesen-stesen yang lain. Ini membuktikan bahawa kepelbagaian dan sebaran makroinvertebrat

benthik bukan sahaja dipengaruhi oleh kualiti air, malah boleh juga dipengaruhi faktor-faktor yang lain seperti ciri habitat, tabiat pemakanan dan ciri fizikal sungai.

INDEKS KEPELBAGAIAN DAN INDEKS BIOLOGI

Indeks kepelbagaian Shannon (H'), indeks kesamarataan Pielou (J') dan indeks kekayaan Margalef (D_{Mg}) telah digunakan untuk menilai kualiti ekosistem Sungai

JADUAL 4. Nilai purata Indeks kepelbagaian dan indeks biotik setiap stesen pensampelan

Stesen	H'	J'	DMg	BMWP	ASPT	FBI	EPT
1	1.38	0.50	2.54	117	8.36	4.91	5.92
2	1.83	0.58	3.85	162	7.37	4.98	6.06
3	2.53	0.79	4.43	167	7.26	4.15	15.88
4	2.38	0.81	3.34	123	7.24	4.20	8.38
5	2.19	0.69	4.61	160	7.27	4.14	20.50
Purata	2.06 ± 0.46	0.67 ± 0.13	3.75 ± 0.84	145.8 ± 23.78	7.5 ± 0.48	4.48 ± 0.43	11.35 ± 6.53

H' = Indeks kepelbagaian Shannon, J' = Indeks kesamarataan Pielou, DMg = Indeks kekayaan Margalef, BMWP = Biological Monitoring Working Party, ASPT = Average Score Per Taxon, FBI = Indeks biotik famili, EPT = Indeks Ephemeroptera, Plecoptera dan Tricoptera

Ikan. Secara purata, indeks kepelbagaian Shannon (H') menggambarkan Sungai Ikan berada dalam keadaan sederhana tertekan (2.06 ± 0.46). Namun begitu, pengiraan indeks kepelbagaian hanya dilakukan sehingga aras famili sahaja dan menyebabkan nilai purata yang dikira lebih rendah daripada nilai anggaran sebenar jika diukur pada aras spesies. Nilai Shannon didapati rendah di Stesen 1 dan 2 kerana pendominasian Baetidae. Nilai purata indeks kesamarataan Pielou yang diperolehi adalah menghampiri nilai 1 iaitu 0.67 ± 0.13 , menunjukkan bahawa tahap kesamarataan taksa adalah kurang seragam terutamanya pada stesen 1 dan 2. Nilai purata Margalef bagi keseluruhan stesen pula ialah 3.75 ± 0.84 dan menggambarkan kekayaan taksa yang agak tinggi kecuali stesen 1 yang didapati sedikit rendah iaitu 2.54. Secara umumnya, nilai Margalef di dalam persekitaran yang sihat adalah melebihi julat 3.5 (Khan et al. 2004).

Selain daripada indeks ekologi, indeks biotik seperti indeks BMWP, ASPT, Indeks Biotik Famili (FBI) dan EPT juga digunakan bagi menyokong data kualiti air yang dihasilkan. Indeks BMWP dikira dengan merujuk sistem penskoran BMWP (Armitage et al. 1983). Nilai purata bagi indeks BMWP adalah 145.8, menunjukkan bahawa kualiti ekosistem Sungai Ikan berada dalam keadaan baik dan kawasan kajian banyak didiami oleh kumpulan sensitif pencemaran. Indeks ASPT dikira dengan membahagikan skor BMWP dengan jumlah taksa dalam pemarkahan (Jabatan Pengairan dan Saliran t.th). Nilai purata yang diperolehi ialah 7.5, meletakkan kualiti air di kawasan kajian berada dalam keadaan bersih. Indeks EPT pula dikira berdasarkan jumlah bilangan Chironomidae dibahagi dengan jumlah individu tiga order sensitif iaitu Ephemeroptera, Plecoptera dan Tricoptera (Bode et al. 1997). Kumpulan EPT merupakan kumpulan organisma yang sensitif dan digunakan sebagai penunjuk bagi perubahan kualiti air (Ahmad et al. 2013). Hasil pengiraan menunjukkan kualiti ekosistem Sungai Ikan adalah sangat baik dengan nilai purata 11.35. Secara keseluruhannya, kesemua indeks yang digunakan memberi gambaran bahawa Sungai Ikan adalah dalam keadaan bersih, bertepatan dengan nilai NWQS setiap parameter yang berada dalam kelas I hingga II.

PENGARUH KUALITI AIR DAN CIRI FIZIKAL SUNGAI

Penilaian kualiti air secara fizikal dan kimia menunjukkan Sungai Ikan mempunyai kualiti air yang sangat baik.

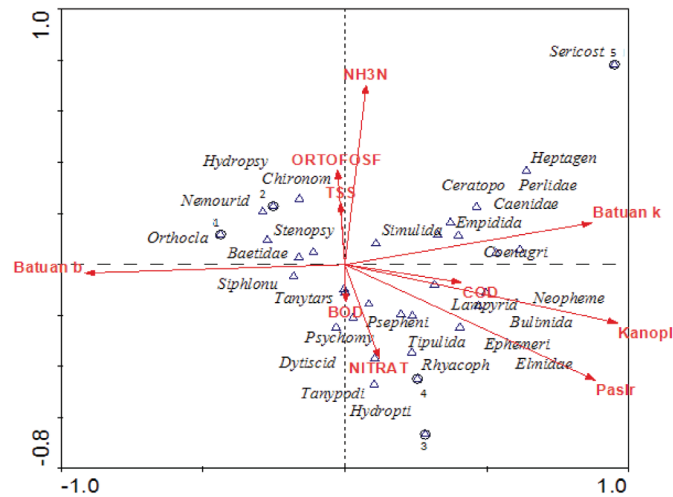
Analisis kononikal (CCA) telah dijalankan untuk melihat hubungan antara pengaruh kualiti air dan persekitaran terhadap kepelbagaian dan sebaran makroinvertebrat bentik. Hasil menunjukkan kebanyakan makroinvertebrat bentik kurang dipengaruhi oleh kualiti air. Namun, semua ciri fizikal sungai seperti jenis dan komposisi substrat serta kanopi memperlihatkan pengaruh yang kuat terhadap sebaran makroinvertebrat bentik (Rajah 2). Hasil juga menunjukkan hubungan yang kuat antara stesen 1 dan 2 serta stesen 3 dan 4 kerana masing-masing mempunyai ciri fizikal yang hampir sama.

Kehadiran setiap kumpulan pemakan seperti penghancur, peragut, pengumpul dan pemangsa dalam analisis ini juga menunjukkan bahawa sumber makanan juga mempengaruhi sebaran makroinvertebrat bentik. Merritt dan Cummins (1984) menyatakan bahawa sebaran organisma akuatik termasuk makroinvertebrat bentik adalah hasil daripada perinteraksian antara fungsi mereka dalam ekologi, keadaan fizikal yang mencirikan habitat serta ketersediaan makanan. Kajian lepas oleh Yap dan Rahim (2011) mendapati bahawa terdapat hubungan yang jelas antara kualiti air dan makroinvertebrat bentik, manakala kajian ini pula menunjukkan bahawa ciri fizikal sungai adalah penting dalam mempengaruhi kehadiran makroinvertebrat bentik. Maka, dapat disimpulkan bahawa struktur komuniti makroinvertebrat bentik dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kualiti air, jenis substrat, saiz zarah sedimen, aliran air, ketersediaan bahan organik, kepekatan oksigen serta keadaan alam sekitar di sekeliling ekosistem (Buss et al. 2004).

Dalam kajian ini, famili Baetidae (530 individu), Siphonuridae (148 individu), Elmidae (80 individu) dan sub-famili Orthocladiinae (79 individu) didapati hadir dengan banyak di setiap stesen pensampelan. Ujian korelasi menunjukkan hubungan yang kuat antara faktor persekitaran dengan taksa makroinvertebrat bentik dan menyokong hasil ujian CCA (Jadual 5). Ini membuktikan bahawa taksa yang disenaraikan berpotensi dijadikan sebagai penunjuk biologi dalam persekitaran air bersih.

KESIMPULAN

Sungai Ikan dikelaskan sebagai sungai yang bersih dan berada dalam kelas I hingga II berdasarkan piawai NWQS, bersesuaian sebagai sungai rekreasi. Sebaran



RAJAH 2. Analisis CCA memperlihatkan pengaruh faktor persekitaran terhadap makroinvertebrat benthik

JADUAL 5. Ujian korelasi (r) antara faktor persekitaran dengan taksa makroinvertebrat benthik

Faktor persekitaran	Taksa makroinvertebrat benthik			
	Baetidae	Siphonuridae	Orthoclaadiinae	Elmidae
Komposisi batuan besar	0.91	0.66	0.86	
Komposisi pasir				0.60

dan kepelbagaian makroinvertebrat benthik bukan sahaja dipengaruhi oleh kualiti air yang baik, malah juga faktor lain seperti ciri fizikal sungai dan ketersediaan makanan. Famili Baetidae, Siphonuridae (order Ephemeroptera), famili Elmidae (order Coleoptera) dan sub-famili Orthoclaadiinae (order Diptera) berpotensi dijadikan sebagai penunjuk biologi dalam ekosistem air bersih. Penggunaan taksa pada aras famili memudahkan aplikasi penunjuk biologi untuk digunakan berbanding dengan aras genus atau spesies. Namun, adalah lebih baik dan jitu mengaplikasikan penunjuk biologi pada aras lebih rendah pada kajian-kajian masa hadapan.

PENGHARGAAN

Penulis ingin merakamkan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia dan Kementerian Pengajian Tinggi (KPT) di atas bantuan kewangan FRGS/1/2013/ST03/UKM/02/3(STWN) bagi menjayakan penyelidikan ini.

RUJUKAN

- Ahmad, A.K., Abd Aziz, Z., Fun, H.Y., Ling, T.M. & Shuhaimi Othman, M. 2013. Makroinvertebrat benthik sebagai penunjuk biologi di Sungai Kongkoi, Negeri Sembilan, Malaysia. *Sains Malaysiana* 42(5): 605-614.
- Ahmad Abas, Maznah Mahali & Zamri Mohamed. 1999. Kajian pemantauan biologi menggunakan makroinvertebrata di Hulu Sungai Langat, Selangor. *Borneo Science* 6: 45-56.
- Ahmad Ismail & Asmdia Ismail. 2008. *Ekologi Air Tawar*. Ed. ke-2. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.
- APHA. 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Ed. Ke-19. Washington: American Public Health Association.
- Armitage, P., Moss, D., Wright, J. & Furse, M. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research* 17(3): 333-347.
- 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(3): 37-347.
- Blijswijk, W., Coimbra, C. & Graça, M.A. 2004. The use of biological methods based on macroinvertebrates to an Iberian Stream (Central Portugal) receiving a paper mill effluent. *Limnetica* 23(3): 307-314.
- Bode, R.W., Novak, M.A., Abele, L.E., Heitzman, D.L. & Smith, A.J. 2002. *Quality Assurance Work Plan for Biological Stream Monitoring in New York State*. New York: NYS Department of Environmental Conservation.
- Bode, R.W., Novak, M.A. & Abele, L.E. 1997. *Biological Stream Testing*. New York: NYS Department of Environmental Protection; Division of Water; Bureau of Monitoring and Assessment; Stream Biomonitoring Unit.
- Bouchard, R.W. 2004. *Guide to Aquatic Invertebrates of the Upper Midwest: Identification Manual for Students, Citizen Monitors, and Aquatic Resource Professionals*. University of Minnesota, Water Resources Research Center.

- Bradt, P.T. & Wieland, G.E. 1981. A comparison of the benthic macroinvertebrate communities in a Trout Stream: Winter and spring 1973 and 1977. *Hydrobiologia* 77(1): 31-35.
- Brinkhurst, R.O. & Jamieson, B.G. 1971. *Aquatic Oligochaeta of the World*. Edinburgh: Oliver & Boyd.
- Buss, D.F., Baptista, D.F., Nessimian, J.L. & Egler, M. 2004. Substrate specificity, environmental degradation and disturbance structuring macroinvertebrate assemblages in neotropical streams. *Hydrobiologia* 518(1-3): 179-188.
- Che Salmah, M.R., Amelia, Z.S. & Abu Hassan, A. 2001. Preliminary distribution of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT) in Kerian River Basin, Perak, Malaysia. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science* 24(2): 101-107.
- Connell, D.W. 1981. *Water Pollution: Causes and Effects in Australia and New Zealand*. Brisbane: University of Queensland Press.
- Cranston, P.S. 2004. Chironomidae. Dlm. *The Freshwater Invertebrates of Malaysia and Singapore*, disunting oleh Yule, C.M. & Yong, H.S. Kuala Lumpur: Academy of Science. hlm. 711-735.
- Hart, C.W. & Fuller, S.L.H. 1974. *Pollution Ecology of Freshwater Invertebrates*. New York: Academic Press.
- Hellawell, J.M. 1986. *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*. London: Elsevier Applied Science Publishers.
- Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS). t.th. *Panduan Penggunaan Makroinvertebrat untuk Penganggaran Kualiti Air Sungai*. Kuala Lumpur: Jabatan Pengairan dan Saliran.
- Jiang, X.M., Xiong, J., Xie, Z.C. & Chen, Y.F. 2011. Longitudinal patterns of macroinvertebrate functional feeding groups in a Chinese river system: A test for River Continuum Concept (RCC). *Quaternary International* 244(2): 289-295.
- Khan, S.A., Murugesan, P., Lyla, P.S. & Jayanathan, S. 2004. A new indicator macroinvertebrate of pollution and utility of graphical tools and diversity indices in pollution monitoring studies. *Current Science* 87(11): 1508-1510.
- Merritt, R.W. & Cummin, K.W. 1984. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Ed. Ke-2. Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Norhidayah Redzuan, Ismail Sahid & Muhd Barzani Gasim. 2008. Pemantauan kualiti air berdasarkan pengelasan IKA bagi sungai-sungai terpilih di Cameron Highlands. *Prosiding Persidangan Kebangsaan Alam Sekitar dan Kesihatan 2008: Alam Sekitar yang Mapan: Asas kepada Kehidupan yang Berkualiti*. hlm. 108-116.
- Pennak, R.W. 1978. *Freshwater Invertebrates of The United States*. New York: John Wiley & Sons.
- Rosenberg, D.M. & Resh, V.H. 1993. *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. New York: Chapman & Hall.
- Shuhaimi-Othman, M., Azmah, M. & Ahmad, A.K. 2010. Penggunaan biopenunjuk multispecies air tawar dalam menilai perubahan kelakuan ikan gapi, *Poecilia reticulata* dan udang air tawar, *Macrobrachium lanchesteri* terhadap logam kadmium. *Sains Malaysiana* 39(4): 549-555.
- Tomanova, S. & Tedesco, P.A. 2007. Body size, ecological tolerance and potential for water quality bioindication in the genus *Anacroneturia* (Plecoptera: Perlidae) from South America. *Revista de Biologia Tropical* 55(1): 67-81.
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R. & Cushing, C.E. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37(1): 130-137.
- Wallace, J.B. & Merritt, R.W. 1980. Filter-feeding ecology of aquatic insects. *Annual Review of Entomology* 25(1): 103-132.
- Yap, C.K. & Rahim Ismail, A. 2011. Relationship of distribution of macrobenthic invertebrates and the physico-chemical parameters from Semenyih River by using correlation and multiple linear stepwise regression analyses. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science* 34(2): 229-245.
- Yap, C.K., Norharfiza, J., Rahim Ismail, A. & Izwan, M.K. 2008. Biodiversity of macrobenthic invertebrates in the Semenyih River: A revisited study. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Science* 10(4): 715-723.
- Yap, C.K., Rahim Ismail, A., Ismail, A. & Tan, S.G. 2003. Species diversity of macrobenthic invertebrates in the Semenyih River, Peninsular Malaysia. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science* 26(2): 139-146.

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

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

Diserahkan: 9 September 2014
Diterima: 24 Disember 2014