

**POTENSI MAKROINVERTEBRAT BENTIK SEBAGAI PENUNJUK BIOLOGI  
DI EKOSISTEM SUNGAI REKREASI**

**POTENTIAL OF BENTHIC MACROINVERTEBRATES AS A BIOLOGICAL  
INDICATOR IN RECREATIONAL RIVER ECOSYSTEM**

**Ahmad Abas Kutty<sup>1\*</sup>, Norashila Mohd Fauzi, S.<sup>1</sup> Nurhafizah-Azwa<sup>1</sup>, Aweng Eh Rak<sup>2</sup> &  
Sharifah Aisyah Syed Omar<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam,  
Fakulti Sains dan Teknologi,

Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM, Bangi, Selangor, Malaysia.

<sup>2</sup>Fakulti Sains Bumi, Universiti Malaysia Kelantan,

Kampus Jeli, Beg Berkunci No 100, 17600 Jeli, Kelantan, Malaysia.

\*Corresponding author: [abas@ukm.edu.my](mailto:abas@ukm.edu.my)

**ABSTRAK**

Satu kajian untuk menilai kepelbagaian makroinvertebrat bentik dan potensi sebagai penunjuk biologi di Sungai Mendak, Hulu Terengganu telah dijalankan. Pensampelan air dan makroinvertebrat bentik telah dilakukan pada lima stesen dan tiga replikasi sampel telah diambil pada setiap stesen. Parameter oksigen terlarut (DO), suhu, pH dan konduktiviti telah diukur secara *in situ* menggunakan meter YSI 556, manakala, permintaan oksigen kimia (COD), jumlah pepejal terampai (TSS), permintaan oksigen biokimia (BOD<sub>5</sub>) dan ammonia nitrogen (NH<sub>3</sub>-N) telah dianalisis di makmal. Berdasarkan kepada indeks kualiti air Malaysia (WQI), Sg. Mendak berada dalam kelas I iaitu sangat bersih. Kebanyakan nilai parameter kualiti air tidak mempunyai perbezaan yang nyata diantara stesen persampelan ( $p > 0.05$ ). Sejumlah tiga kelas, sembilan order, 37 famili dan 1788 individu dikenalpasti dalam persampelan ini. Melalui analisis koresponden kanonikal (CCA), selain daripada parameter kualiti air, parameter persekitaran seperti kanopi, TSS dan substrat mempunyai pengaruh besar terhadap kehadiran dan sebaran kebanyakan makroinvertebrat bentik. Famili Baetidae dan Chironomidae menunjukkan pengadaptasian yang baik pada habitat kajian dan ditemui pada semua stesen persampelan dengan komposisi yang tinggi. Berdasarkan kepada analisis statistik multivariat famili Baetidae didapati berpotensi sebagai penunjuk biologi bagi ekosistem air yang bersih berdasarkan kepada corak sebaran, kelimpahan di kawasan kajian dan hubungan terhadap kualiti air dan faktor persekitaran.

**Kata kunci:** Ekosistem air tawar, indeks kualiti air (WQI), kepelbagaian biologi

**ABSTRACT**

A study was conducted to determine benthic macroinvertebrates diversity and its biological indicator potential at Sungai Mendak, Hulu Terengganu. Benthic macroinvertebrate and water sampling was undertaken at five different locations and triplicate samples were collected

from each site. Dissolved oxygen (DO), temperature, pH and conductivity were measured *in situ* by using YSI 556, whereas for chemical oxygen demand (COD<sub>5</sub>), total suspended solids (TSS), biochemical oxygen demand (BOD<sub>5</sub>) and ammoniacal-nitrogen (NH<sub>3</sub>-N) were analysed in the laboratory. As regards to Malaysian water quality index (WQI), Sg. Mendak was categorized in class I which is very clean river. Most of water quality parameters values were not differ significantly ( $p>0.05$ ) between sites. A total of three classes, nine orders, 37 families and 1788 macroinvertebrate were identified. Canonical correspondent analysis (CCA) test demonstrates that water quality parameters namely canopy, TSS and river substrates have significant influence on macroinvertebrates present and distribution. Baetidae and Chironomidae exhibited excellent adaptation with the studied habitat and were recorded at high composition at each station. As regards multivariate statistical analysis, Baetidae is the most potential biological indicators based on distribution pattern, density and its correlation with environmental factors.

**Keywords:** Freshwater ecosystem, water quality index (WQI), biological diversity

## PENGENALAN

Sungai merupakan persekitaran semulajadi yang berkait rapat dengan manusia, haiwan dan juga tumbuh-tumbuhan. Kepentingan sungai yang sangat banyak menjadikan sungai sentiasa menjadi lokasi bagi pelbagai aktiviti manusia. Pendedahan secara berterusan kepada aktiviti manusia boleh menyebabkan berlakunya penurunan kualiti air dan tekanan terhadap komuniti akuatik seperti makroinvertebrat benthik di kawasan terbabat (Suhaimi et al. 2005). Kesan penggunaan sungai secara berlebihan adalah penurunan keseimbangan sungai yang melibatkan kepincangan rantaian makanan dan kualiti persekitaran (Noraini 1994). Selain daripada melihat kualiti jasad air secara terus, pemantauan pada komponen akuatik juga berpotensi untuk dilakukan bagi menilai kualiti persekitaran akuatik.

Salah satu penunjuk biologi yang telah digunakan agak meluas terutamanya di negara maju ialah makroinvertebrat benthik. Makroinvertebrat merupakan kumpulan penunjuk biologi yang sangat berpotensi disebabkan ciri sedenter, hidup lama, boleh bertindakbalas segera atau perlahan dan serta boleh meramal kesan kegiatan manusia terhadap perubahan kualiti ekosistem akuatik (Cairns & Pratt 1993). Roserberg dan Resh (1993) dan Gerber dan Gabriel (2002) telah menyenaraikan kelebihan makroinvertebrat benthik sebagai penunjuk biologi ekosistem akuatik. Walaupun Malaysia terletak di kawasan tropika dan mempunyai kepelbagaian organisma yang jauh lebih tinggi berbanding dengan negara temperat, kajian taksonomi dan ekologi sangat kurang dilakukan. Ini menyebabkan limitasi kepada kepenggunaan unsur biologi di dalam pemantauan ekosistem. Penggunaan kaedah konvensional seperti pengukuran fizikal dan kimia kualiti air untuk penilaian ekosistem tidak menyeluruh seperti yang dapat digambarkan oleh komponen biologi seperti makroinvertebrat benthik (Ahmad et al. 2013).

Sungai rekreasi merupakan anak-anak sungai yang mengalir di kawasan hulu sesuatu ekosistem sungai dan kebiasaannya terletak di kawasan tadahan air. Melalui kempen pelancongan di Malaysia, sungai rekreasi merupakan salah satu destinasi pelancongan dan eksploitasi yang berterusan berpotensi menurunkan kualiti persekitaran sungai. Sungai rekreasi dilaporkan menampung kepelbagaian yang tinggi dan komponen biotik seperti makroinvertebrat benthik berpotensi digunakan untuk menunjuk aras keseimbangan sungai seiring dengan penilaian secara konvensional (Azamuddin et al. 2012; Ahmad et al. 2013; Sharifah Aisyah et al. 2017). Menurut Wahizatul et al. (2011), 42 keluarga daripada sembilan

(9) order makroinvertebrat bentik di dua sungai Hulu Terengganu. Malah dirumuskan bahawa terdapat hubungkait di antara makroinvertebrates dan kualiti persekitaran sungai di mana pengurangan makroinvertebrat bentik di hilir berbanding hulu sungai (Wahizatul & Hoon 2016). Oleh itu, potensi organisma ini perlu dinilai sebelum dapat digunakan sebagai penunjuk biologi ekosistem sungai rekreasi.

Satu kajian menggunakan konsep pemantauan biologi telah dijalankan untuk mengkaji kepelbagaian dan sebaran makroinvertebrat bentik dan menentukan faktor-faktor persekitaran yang mempengaruhi makroinvertebrat. Persampelan makroinvertebrat bentik dan penilaian kualiti air menggunakan indeks kualiti air Malaysia (WQI) telah dijalankan di Sungai Mendak, Hulu Terengganu. Kajian ini dijangka dapat memberikan gambaran kepelbagaian makroinvertebrat bentik di kawasan kajian dan potensi penilaian kualiti air sungai dengan menggunakan informasi komponen biologi.

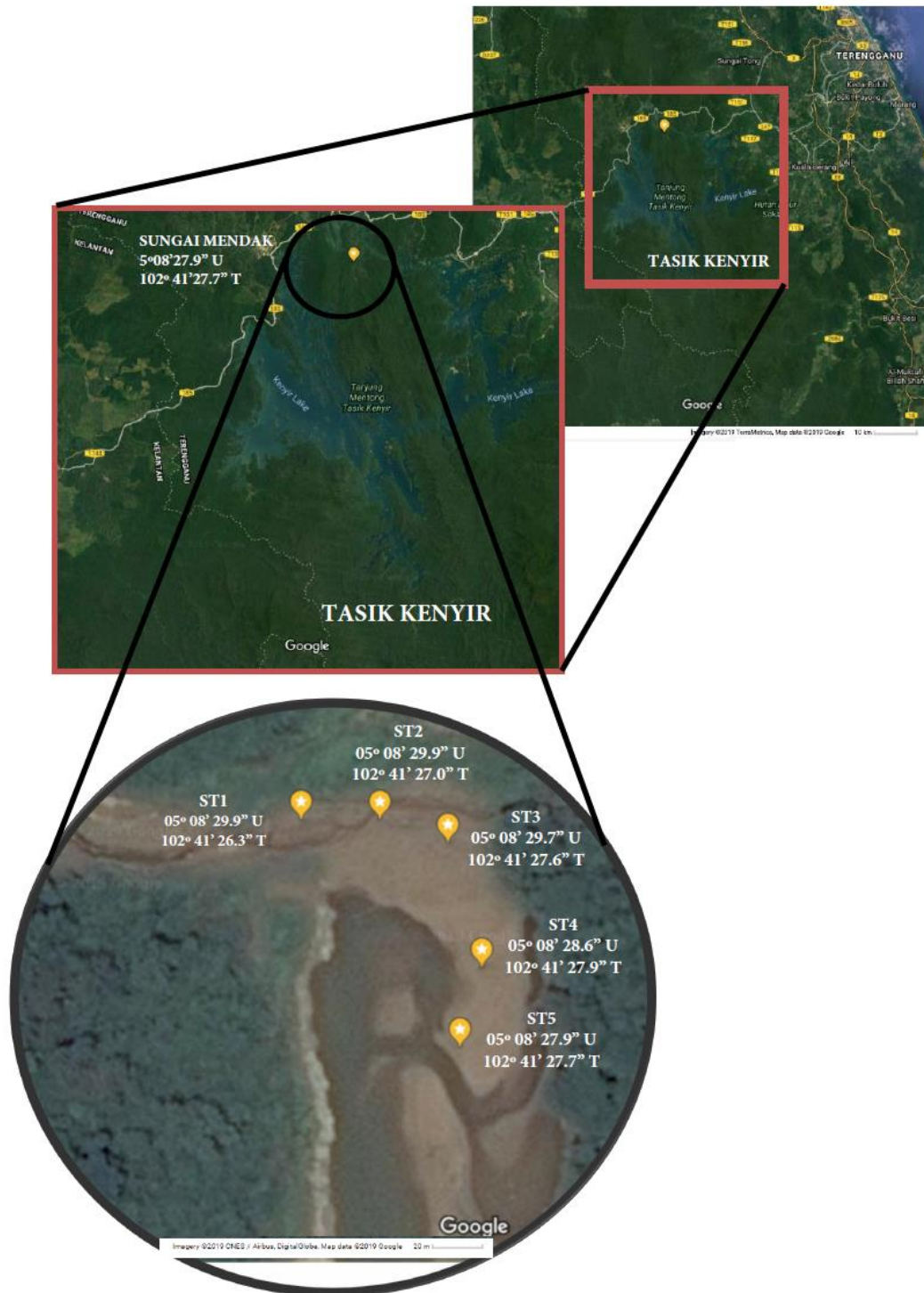
## BAHAN DAN KAEDAH

### Kawasan Kajian

Tasik Kenyir merupakan tasik buatan terbesar di Malaysia dan mempunyai banyak sungai pembekal yang mengalirkan air masuk ke tasik tersebut. Sungai pembekal menerima air permukaan daripada hutan tadahan yang mengelilingi Tasik Kenyir. Sungai Mendak merupakan salah satu sungai pembekal yang terletak pada koordinat 5°08'27.9" U dan 102° 41'27.7" T (Rajah 1). Sungai Mendak juga merupakan salah satu sungai yang digunakan sebagai kawasan rekreasi dan mempunyai nilai estetika yang tinggi. Sebanyak lima stesen persampelan telah dipilih di sungai tersebut dengan jarak diantara setiap stesen persampelan dianggarkan sejauh 300 meter diantara setiap stesen. Sebanyak tiga replikasi sampel air dan sampel makroinvertebrat bentik telah diambil di setiap stesen.

Jadual 1 Ciri fizikal sungai bagi stesen persampelan di Sungai Mendak, Hulu Terengganu

Bil.	Stesen	Ciri fizikal sungai
1.	ST1	Kedalaman cetek bawah 0.20m, air mengalir, substrat batu bertaburan terdiri daripada batu besar, kerikil dan berpasir, tiada kanopi di sekeliling
2.	ST 2	Kedalaman cetek bawah 0.20m air mengalir laju, bergolak di atas batu, substrat batu bertaburan secara sekata(batu besar, batu kecil dan pasir), tiada tutupan kanopi di sekeliling.
3.	ST 3	Kedalaman cetek bawah 0.20m, air mengalir laju, bergolak di atas batu, substrat batu yang dominan adalah batu besar, batu kecil dan kerikil, tiada kanopi di sekeliling
4.	ST 4	Kedalaman cetek bawah 0.20m, air mengalir laju, bergolak di atas batu di beberapa kawasan,substrat batu yang dominan adalah batu besar dan batu kecil, tiada kanopi di sekeliling.
5.	ST 5	Kedalaman cetek bawah 0.20m, air mengalir laju, substrat dominan adalah substrat pasir, tiada kanopi di sekeliling



Rajah 1. Peta stesen persampelan di Sungai Mendak, Hulu Terengganu (Sumber: Google map)

Persampelan makroinvertebrat benthik dilakukan dengan menggunakan Jaring Surber, iaitu dengan mengganggu dasar sungai dan jaring diletakkan di depan yang diganggu dan melawan arus sungai. Jaring Surber sangat sesuai digunakan di sungai yang cetek, berbatuan dan berarus laju. Sampel makroinvertebrat benthik yang diambil, dibasuh dengan air sungai dan diawet dengan formalin sebagai pengawetan sementara. Penilaian ciri habitat setiap stesen

persampelan dilakukan secara pemerhatian dan direkodkan di dalam borang penilaian habitat. Penilaian habitat secara pemerhatian adalah memadai untuk memberikan gambaran kualiti habitat (Buss & Borges 2008). Di makmal, sampel di basuh dan makroinvertebrat di asingkan dan pengecaman dijalankan dengan menggunakan mikroskop Olympus SZX 9 dan buku taksonomi Merritt dan Cummin (1984) dan Thorp dan Covich (2001). Namun, penggunaan buku taksonomi ini tidak menunjukkan perbezaan dengan buku Yule dan Yong (2004) yang memberi panduan pengecaman serangga akuatik di Malaysia.

Pengukuran kualiti air secara *in situ* dilakukan bagi parameter pH, suhu, kekonduksian dan oksigen terlarut dengan menggunakan meter YSI 516. Analisis permintaan oksigen biokimia (BOD<sub>5</sub>) dilakukan menggunakan kaedah pengeraman, manakala jumlah pepejal terampai (TSS) pula dilakukan menggunakan kaedah penapisan gravimetri. Permintaan oksigen kimia (COD), ammonia nitrogen, nitrat dan ortofosfat pula dianalisis menggunakan kaedah yang disarankan oleh HACH (2003). Indeks kualiti air (WQI) digunakan untuk penentuan kelas kualiti air Sungai Mendak (Jabatan Alam Sekitar 2001). Data biologi digunakan untuk pengiraan indeks kepelbagaian (indeks kepelbagaian Shannon ( $H'$ ), indeks kesamarataan Pielou ( $J$ ) dan juga indeks kekayaan Margaleff ( $D_{Mg}$ )) (Magguran, 1988) dan indeks biotik (Indeks BMWP (*Biological Monitoring Working Party*), Indeks ASPT (*Average Score Per Taxon*), FBI (*Family biotic index*), dan EPT/C.) (Hilsenhoff 1988; Bode et al. 1997; Aweng et al. 2015; Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia t.th). Ujian kenormalan data biologi dilakukan menggunakan ujian Kolgomorov-Smirnov dan analisis ANOVA satu hala dilakukan dengan menggunakan perisian SPSS versi 16.0 untuk membandingkan kualiti air secara spatial ( $\alpha=0.05$ ). Analisa koresponden kanonikal (CCA) dengan menggunakan perisian Canoco versi 4.5 dilakukan untuk menganalisis pengaruh habitat dan kualiti air terhadap kehadiran dan sebaran makroinvertebrat bentik, manakala ujian korelasi Pearson pula dilakukan untuk melihat kesinambungan dan potensi makroinvertebrat bentik dalam penilaian kualiti air sungai kajian.

## HASIL DAN PERBINCANGAN

### Kualiti Air

Secara keseluruhan, purata kepekatan oksigen terlarut (DO) pada lima stesen persampelan berada dalam julat  $6.89 \pm 0.12$  mg/L hingga  $7.56 \pm 0.11$  mg/L (Jadual 2). Menurut Iliopoulou-Georgiadaki et al. (2003), kepekatan DO di dalam air yang tinggi adalah berkait rapat dengan keadaan fizikal kawasan kajian yang berbatu dan berarus. Kepekatan DO di dalam kajian ini adalah tinggi dan melebihi keperluan minimum umum yang diperlukan oleh kebanyakan organisma akuatik iaitu 4 mg/L. Nilai pH bagi kesemua stesen pula adalah seragam iaitu dengan nilai minimum  $7.02 \pm 0.01$  dan nilai maksimum  $7.08 \pm 0.02$ . Nilai sisihan piawai bagi pH adalah sangat rendah yang menggambarkan kestabilan pH di sepanjang sungai kajian. Hasil yang sama juga diperolehi untuk suhu air, walaupun terdapat sedikit peningkatan dari bahagian hulu ke hilir kawasan kajian. Stesen 5 mempunyai nilai yang paling tinggi iaitu dengan nilai purata  $24.30 \pm 0.06$  °C, manakala stesen 1 adalah dengan nilai yang paling minimum iaitu sebanyak  $24.17 \pm 0.12$  °C. Variasi ini mungkin disebabkan oleh julat masa pengukuran yang agak berbeza. Walau bagaimanapun, perbezaan ini boleh dianggap sebagai tidak ketara. Ciri sungai yang berarus laju menjadikan kebanyakan parameter kimia air lebih seragam sepanjang kawasan kajian.

Nilai purata BOD<sub>5</sub> adalah berada dalam julat di antara  $0.17 \pm 0.09$  mg/L hingga  $0.62 \pm 0.16$  mg/L (Jadual 2). Nilai BOD<sub>5</sub> yang rendah memberi gambaran bahawa kandungan bahan organik di kawasan persampelan adalah sangat minimum (Ahmad 1992). Hasil kajian yang

diperolehi menggambarkan kawasan kajian adalah bebas daripada ancaman pencemaran organik. Nilai purata COD yang dicatatkan adalah  $1.95 \pm 1.37$  mg/L. Sama seperti BOD<sub>5</sub>, nilai COD juga didapati bervariasi di antara stesen persampelan, walau bagaimanapun nilai purata masih jauh lebih rendah daripada nilai minimum sesuatu pencemaran. Julat nilai purata bagi ammonia nitrogen dan nitrat adalah masing-masing antara  $0.06 \pm 0.04$  mg/L hingga  $0.11 \pm 0.07$  mg/L dan  $0.01 \pm 0.00$  hingga  $0.7 \pm 0.11$ . Kepekatan kedua-dua elemen ini yang rendah menunjukkan kawasan kajian berada dalam keadaan yang baik. Seperti nitrat, kandungan nutrien dalam jasad air iaitu ortofosfat juga didapati sangat rendah dan berada dalam julat kepekatan semulajadi. Secara keseluruhannya, nilai TSS bagi kesemua stesen adalah seragam dan sangat rendah. Nilai ini menunjukkan bahawa kawasan kajian berada dalam keadaan yang sihat memandangkan nilai TSS yang tinggi boleh membawa kepada kemusnahan sesuatu ekosistem tersebut (Billota & Brazier 2008) termasuk kemusnahan habitat makroinvertebrat.

Ujian ANOVA satu hala (varian dianggap tidak berbeza ketara) telah digunakan untuk membandingkan nilai kualiti air dan keputusan menunjukkan tiada perbezaan yang bererti bagi semua nilai parameter kualiti air di antara setiap stesen persampelan kecuali pH (Jadual 2). Namun, semua nilai pH air di setiap stesen adalah menghampiri pH neutral. Ini jelas menggambarkan sungai yang tidak tercemar yang mempunyai aliran yang baik kebiasaannya mempunyai ciri kualiti air yang seragam di sepanjang sungai. Berdasarkan kepada pengelasan NWQS, kesemua nilai parameter kajian meletakkan kawasan kajian dalam kelas I hingga kelas IIA, di mana kualiti air yang baik dan sesuai untuk kegunaan rekreasi (Jabatan Alam Sekitar 2001).

Jadual 2 Analisis ANOVA satu hala untuk parameter kualiti air antara stesen

No.	Parameter	Df	F	p-value
1.	pH	4	5.417	0.014
2.	DO	4	0.991	0.456
3.	BOD	4	2.397	0.120
4.	COD	4	1.194	0.371
5.	NH <sub>3</sub> - N	4	0.581	0.684
6.	TSS	4	0.581	0.684
7.	Nitrat	4	0.923	0.488
8.	Ortofosfat	4	0.599	0.672

Nilai indeks kualiti air Malaysia (WQI) bagi kesemua stesen telah dikira mengikut rumus yang telah ditetapkan oleh Jabatan Alam Sekitar, Malaysia (Jabatan Alam Sekitar 2001). Nilai yang menghampiri 100 menggambarkan kualiti yang baik, manakala nilai yang semakin menurun menunjukkan kualiti air yang semakin tidak baik. Berdasarkan pengiraan WQI, kesemua stesen kajian mencatatkan nilai WQI tinggi iaitu 95 hingga 97 dan mengelaskan kawasan kajian dalam kelas I (Jadual 4). Kelas I menggambarkan kawasan kajian adalah sangat bersih dan sesuai untuk pelbagai kegunaan seperti aktiviti rekreasi yang melibatkan sentuhan primer.

Jadual 3 Nilai min bagi parameter fizikal

Stesen/Parameter	DO (mg/L)	pH	Suhu (° C)
Stn 1	6.90 ± 0.99	7.03 ± 0.01	24.17 ± 0.12
Stn 2	7.56 ± 0.11	7.05 ± 0.01	24.20 ± 1.73
Stn 3	7.13 ± 0.22	7.08 ± 0.02	24.20 ± 0.00
Stn 4	6.99 ± 0.33	7.05 ± 0.03	24.30 ± 0.00
Stn 5	6.89 ± 0.12	7.02 ± 0.01	24.30 ± 0.06
Purata ± SD	7.09 ± 0.35	7.05 ± 0.02	24.23 ± 0.38

Jadual 4 Nilai min bagi parameter kimia dan biologi

	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	COD (mg/L)	Ammonia-N (mg/L)	Nitrat (mg/L)	Fosfat (mg/L)	TSS (mg/L)	WQI
Stesen 1	0.62± 0.16	2.77±1.27	0.07 ± 0.02	0.01 ± 0.00	0.09 ± 0.01	8.0 ± 2.65	95
Stesen 2	0.35± 0.05	2.80±1.49	0.11 ± 0.07	0.02 ± 0.01	0.11 ± 0.10	4.0 ± 1.73	96
Stesen 3	0.25± 0.09	0.73±0.42	0.06 ± 0.04	0.01 ± 0.01	0.06 ± 0.02	29.0 ± 2.00	94
Stesen 4	0.17± 0.09	2.40±2.71	0.07 ± 0.01	0.07 ± 0.11	0.09 ± 0.02	14.67 ± 11.59	96
Stesen 5	0.58± 0.36	1.03±0.95	0.07 ± 0.03	0.01 ± 0.00	0.06 ± 0.04	18.0 ± 8.19	96
Purata ± SD	0.39± 0.15	1.95±1.37	0.08 ± 0.03	0.02 ± 0.03	0.08 ± 0.04	14.73 ± 9.68	96

Jadual 5 Peratusan jenis substrat dan peratusan litupan kanopi mengikut stesen.

Stesen	Peratusan jenis substrat (%)			Peratusan litupan kanopi (%)
	Pasir	Batuan Kecil	Batuan Besar	
1	70	25	5	20
2	30	70	0	10
3	50	50	0	5
4	45	50	5	0
5	98	2	0	0

### **Makroinvertebrat Bentik**

Sejumlah 1788 individu makroinvertebrat bentik telah ditemui yang terdiri daripada 3 kelas, 9 order dan 37 famili (Jadual 6). Insecta merupakan kelas yang paling dominan dan menyumbang sebanyak 96% daripada keseluruhan individu. Hasil ini bersamaan dengan kajian Ahmad et al. (2013) yang mendapati serangga merupakan kelas yang paling dominan dalam ekosistem akuatik. Kelas Insecta mempunyai beberapa kumpulan order yang dilaporkan dominan di dalam ekosistem yang bersih. Di dalam kajian ini, order Diptera merupakan yang paling dominan dan merangkumi 55%, daripada keseluruhan individu, diikuti oleh Ephemeroptera (29.6%) dan Trichoptera (8.5%). Di dalam order Diptera, Chironomidae merupakan famili yang paling dominan dan menyumbang 95% individu di dalam order Diptera. Chironomidae telah digunakan secara global sebagai penunjuk biologi untuk penilaian pencemaran organik (Gilberto & Leandro 2015), tetapi didapati dominan dalam sungai kajian ini yang sangat bersih (Kelas I). Penggunaan makroinvertebrat bentik sebagai penunjuk biologi pada aras famili adalah sangat umum kerana Chironomidae mempunyai kekayaan taksa yang tinggi (Morais et al. 2010) dan secara tidak langsung mempunyai julat toleransi terhadap pencemaran yang sangat luas. Oleh itu pengecaman lanjutan telah dilakukan sehingga aras suku dan hasil kajian menunjukkan suku Tanytarsini daripada subfamili Chironominae adalah yang paling dominan iaitu 87% daripada keseluruhan individu Chironomidae. Suku Tanytarsini menunjukkan sebaran yang baik di sepanjang kawasan kajian (Jadual 6). Hasil kajian ini boleh mencadangkan subfamili Chironominae dan suku Tanytarsini boleh dipisahkan daripada kumpulan penunjuk biologi Chironomidae untuk pencemaran organik kerana dibuktikan beradaptasi dengan baik dalam ekosistem yang bersih seperti kawasan kajian ini. Chutter (1984) mendapati suku Tanytarsini adalah sangat jarang dijumpai di persekitaran yang tercemar.

Order Ephemeroptera, Plecoptera dan Trichoptera merupakan kumpulan penunjuk biologi dan telah dijadikan sebagai indeks penilaian kualiti air (indeks EPT) di beberapa negara maju seperti England, Amerika Syarikat dan Australia (Ahmad et al. 2013). Hasil yang agak berlainan diperolehi dalam kajian ini, hanya dua order iaitu order Ephemeroptera dan Trichoptera sahaja yang dominan dan kombinasi keduanya telah menyumbang 38.1% daripada keseluruhan individu. Order Trichoptera hanya hadir dengan komposisi yang sangat kecil (Jadual 6). Majoriti Plecoptera terdiri yang ditemui dalam kajian ini terdiri daripada kumpulan *clinger* atau *sprawler* yang bergantung kepada kemasukkan material seperti dedaun dan bahan organik ke dalam jasad air sebagai sumber makanan. Ekosistem sungai kajian adalah berciri *autochthonous*, manakala order Plecoptera di atas memerlukan ekosistem *allochthonous* dan ini mungkin menjadi sebab kepada penyebaran terhadap Plecoptera. Ini menunjukkan satu limitasi penggunaan indeks EPT yang lebih sesuai pada ekosistem yang *allochthonous* seperti dicadangkan dalam konsep kesinambungan sungai (RCC) oleh Vannotte et al. (1980). Keputusan yang sama juga diperolehi oleh beberapa kajian yang dilakukan di Malaysia yang menunjukkan peratusan Plecoptera yang kecil walaupun dalam ekosistem yang bersih (Arman et al. 2016; Suhaila & Che Salmah 2017; Sharifah Aisyah et al. 2017).

Ephemeroptera merupakan order yang kedua terbanyak (529 individu) selepas Diptera yang didominasi oleh Chironomidae. Suhaila and Che Salmah (2017) menyatakan bahawa Ephemeroptera beradaptasi dalam keadaan yang berarus laju dengan mempunyai pergerakan yang sangat baik. Keadaan yang berarus meningkatkan kandungan oksigen terlarut yang seterusnya menggambarkan ekosistem air adalah bersih. Famili Baetidae daripada order Ephemeroptera di atas paling dominan dan mempunyai sebaran yang seragam sepanjang kawasan kajian. Famili ini bersifat sederhana sensitif kepada tekanan persekitaran dan telah diberikan nilai skor 5 di dalam indeks BMWP. Selain daripada Ephemeroptera, Trichoptera



juga merupakan salah satu makroinvertebrat bentik yang kebiasaannya digunakan sebagai penunjuk dalam ekosistem sungai bersih (Barata et al. 2005). Trichoptera seringkali dikaitkan sebagai kumpulan takson yang sensitif. Oleh itu, kumpulan ini sentiasa berkolerasi negatif seiring dengan peningkatan degradasi ekosistem yang berlaku (Mereta et al. 2012). Walaupun ketiga order ini digunakan sebagai penunjuk ekosistem yang baik, kajian ini telah menunjukkan bahawa faktor persekitaran perlu diambilkira untuk mengelakan kesilapan dalam membuat kesimpulan kajian. Dalam aspek pemakanan, kumpulan EPT ini kebanyakannya adalah pengumpul. Berdasarkan kepada kajian Jiang et al. (2011), kumpulan pengumpul kebiasaannya berada di kawasan hulu sungai dengan altitud yang tinggi. Oleh itu faktor pemakanan boleh diabaikan sekiranya kajian dilakukan di kawasan hulu sungai.

### **Indeks Biotik dan Indeks Kepelbagaian**

Indeks biotik dan kepelbagaian telah digunakan dengan meluas untuk menilai kualiti ekosistem (Ahmad et al. 2013). Seperti dinyatakan di atas, setiap indeks mempunyai kelebihan dan kelemahan tersendiri dan perlu dinilai kesesuaian sebelum dapat digunakan. Kajian ini cuba memperlihatkan kesesuaian dan kemiripan hasil analisis menggunakan indeks kepelbagaian dan indeks biotik. Hasil pengiraan, nilai purata bagi indeks kepelbagaian Shannon ( $H'$ ) di kawasan kajian adalah  $1.74 \pm 0.29$  iaitu yang menggambarkan keadaan sederhana tertekan. Ini memberikan hasil penilaian yang tidak seiring dengan WQI yang menunjukkan kawasan kajian mempunyai kualiti air yang sangat baik. Ini disebabkan berlakunya pendominasian kumpulan chironomid dalam kebanyakan stesen persampelan yang seterusnya menurunkan nilai indeks Shannon tersebut. Magguran (1988), telah menyatakan bahawa indeks Shannon tidak sesuai digunakan sekiranya berlaku pendominasian dalam sampel kajian. Hasil yang sama turut ditunjukkan oleh indeks kesamarataan Pielou ( $J$ ) iaitu dengan nilai hanya  $0.56 \pm 0.07$  yang meletakkan ianya berada dalam keadaan sederhana tertekan. Indeks kekayaan Margalef ( $D_{Mg}$ ) menunjukkan kawasan kajian mempunyai tahap kekayaan taksa yang baik dengan nilai melebihi 3 (Jadual 7). Kajian ini jelas menunjukkan penggunaan indeks kepelbagaian Shannon tidak sesuai jika terdapat pendominasian, manakala indeks kekayaan Margalef tidak dipengaruhi oleh ciri tersebut.

Selain indeks kepelbagaian, indeks biotik juga digunakan dengan meluas untuk menilai kualiti ekosistem. Indeks biotik memberi pendekatan respon makroinvertebrat bentik terhadap pengkayaan organik dalam ekosistem (Pauw et al. 2006). Hasil pengiraan rumus indeks biotik famili (FBI), kawasan kajian didapati berada dalam keadaan yang sangat bersih dengan nilai purata  $4.19 \pm 5.42$ . Selain daripada itu, indeks BMWP dan ASPT juga menunjukkan kawasan kajian berada dalam keadaan yang baik (Jadual 7 dan 8). Julat nilai BMWP adalah 127 hingga 193 yang mengelaskan Sungai Mendak kepada keadaan baik dan sangat baik. Selain daripada indeks EPT yang dikira di atas tadi, indeks EPT/C telah dikira dan menunjukkan hasil yang berlawanan (Jadual 8). Indeks EPT/C dikira berdasarkan kepada rumus jumlah keseluruhan daripada order Ephemeroptera, Plecoptera dan Trichoptera dibahagikan dengan jumlah chironomid yang ada di kawasan persampelan. Disebabkan pendominasian chironomid, nilai EPT/C yang diperolehi menjadi sangat rendah dan tidak menggambarkan ciri yang sebenar ekosistem. Hasil kajian menunjukkan potensi penggunaan indeks EPT/C juga tidak meluas dan bergantung sepenuhnya kepada komposisi chironomid dalam sesuatu ekosistem. Memandangkan chironomid hadir dengan kelimpahan tinggi di dalam region tropika, maka indeks EPT/C adalah tidak sesuai untuk digunakan.

Jadual 6. Kepelbagaian makroinvertebrat bentik di Sungai Mendak, Hulu Terengganu

	Order	Famili	Stesen					Jumlah	
			1	2	3	4	5		
1	Decapoda	Atyidae	-	-	1	-	-	1	
2		Parathelphusidae	-	-	1	-	-	1	
3		Palaemonidae	-	-	1	-	-	1	
4	Coleoptera	Psephenidae	1	3	2	2	2	10	
5		Dytiscidae	-	-	3	-	-	3	
6		Lampyridae	-	1	-	-	-	1	
7		Elmidae	1	-	-	3	-	4	
8	Diptera	Hydrophilidae	-	1	1	-	2	4	
9		Athericidae	-	-	-	1	-	1	
10		Tipulidae	2	3	2	1	1	9	
11		Simulidae	21	8	3	-	-	32	
12		Dixidae	-	1	-	-	-	1	
13		Chironomidae	318	206	172	81	160	1690	
14	Ephemeroptera	Siphonuridae	1	7	18	8	14	48	
15		Ephemerellidae	6	5	5	8	6	30	
16		Baetidae	165	82	55	10	8	320	
17		Caenidae	16	2	7	11	6	42	
18		Heptageniidae	17	12	8	3	3	43	
19	Plecoptera	Leptophlebiidae	23	12	4	1	6	46	
20		Perlidae	14	5	3	1	-	23	
21		Perlodidae	2	-	-	-	-	2	
22		Tricoptera	Hydropsychidae	20	18	25	6	4	73
23			Stenopsychidae	16	21	14	3	5	59
24			Psychomyiidae	-	7	5	-	1	13
25			Leptoceridae	-	-	-	-	1	1
26	Odonata	Polycentropodidae	-	-	1	-	1	2	
27		Phryganeidae	-	-	-	-	1	1	
28		Rhyacopilidae	-	1	-	1	-	2	
29		Euphaeidae	-	-	1	-	-	1	
30		Gomphiidae	1	-	3	-	1	5	
31	Mesogastropoda	Corduliidae	6	2	2	3	1	14	
32		Coenagrionidae	2	-	1	-	-	3	
33		Calopterygidae	-	-	1	-	-	1	
34		Bulimidae	5	5	12	5	2	29	
35	Basommatophora	Pleuroceridae	-	3	1	1	-	5	
36		Thiaridae	2	3	5	-	-	10	
37		Planorbidae	1	-	5	-	-	6	
		Jumlah	640	410	365	149	224	1788	
		Jumlah famili	22	22	29	18	19	37	

Jadual 7 Nilai indeks WQI dan indeks kepelbagaian bagi setiap stesen

Stesen	WQI	Kualiti	$H'$	Kualiti	$J$	Kualiti	$D_{Mg}$	Kualiti
1	95	Bersih	1.67	Sederhana tertekan	0.54	Sederhana	3.25	Baik
2	96	Bersih	1.81	Sederhana tertekan	0.59	Sederhana	3.49	Baik
3	97	Bersih	2.07	Sederhana tertekan	0.61	Sederhana	4.92	Baik
4	96	Bersih	1.86	Sederhana tertekan	0.63	Sederhana	3.59	Baik
5	96	Bersih	1.28	Sederhana tertekan	0.44	Sederhana	3.15	Baik
Purata	96±0.71	Bersih	1.74±0.29	Sederhana tertekan	0.56±0.08	Sederhana	3.68±0.72	Baik

Jadual 8 Nilai indeks biotik bagi setiap stesen

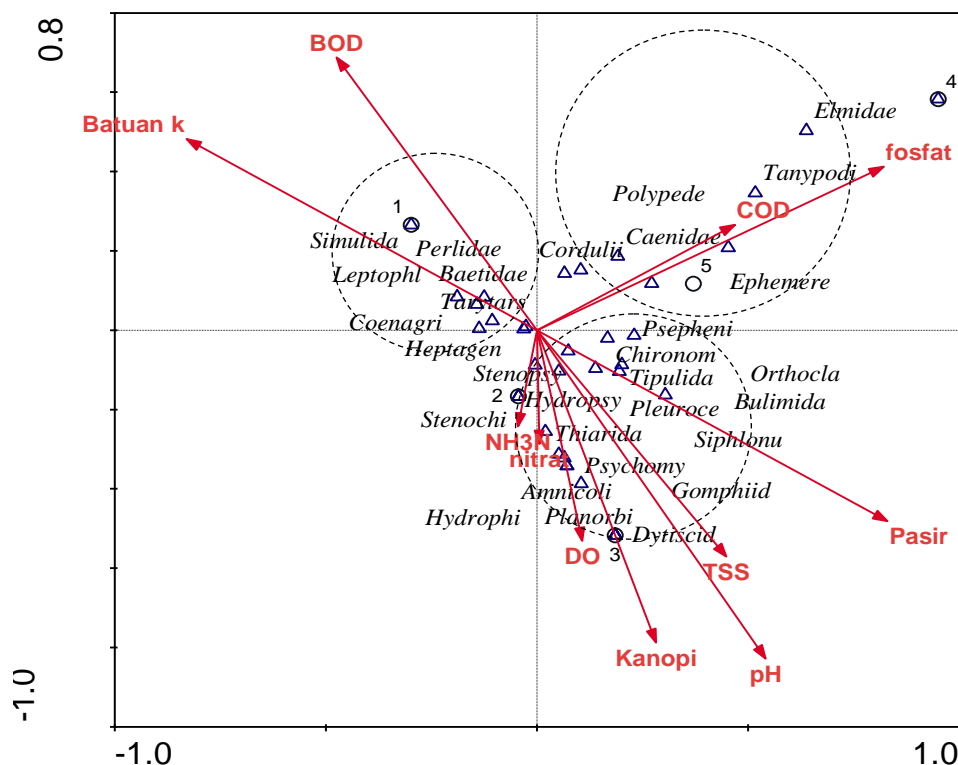
Stesen	BMWP	Kualiti	ASPT	Kualiti	EPT/C	Kualiti	FBI	Kualiti
1	149							
2	141	Baik	6.77	Baik	0.18	Tercemar	1.27	Baik
3	193	Baik	6.71	Baik	0.25	Tercemar	1.44	Baik
4	127	Baik	6.43	Baik	0.84	Tercemar	4.42	Baik
5	130	Baik	6.68	Baik	2.12	Tercemar	11.95	Baik
Purata	148±26.65	Baik	7.22	Baik	1.75	Tercemar	12.06	Baik

### Penunjuk Biologi

Penilaian kualiti air secara fizikal dan kimia menunjukkan kawasan kajian mempunyai kualiti air yang sangat baik, manakala sebahagian indeks kepelbagaian pula menunjukkan hasil yang tidak seiring disebabkan oleh pengaruh pendominasian sesetengah taksa. Analisis kesetaraan kanon (CCA) telah dilakukan untuk melihat hubungan dan pengaruh ciri persekitaran terhadap kelimpahan dan kekayaan famili. Hasil analisis menunjukkan kebanyakan makroinvertebrat tidak dipengaruhi oleh kualiti air dengan jelas (Rajah 2). Ini turut ditemui oleh beberapa kajian yang lain (Nurhafizah-Azwa et al. 2018), menunjukkan perbezaan taburan makroinvertebrat bentik di kawasan kualiti air yang sama, dimana mengakui bahawa mikrohabitat di dalam sesuatu sungai mempengaruhi taburan organism bentik yang bersesuaian dengan morfologi dan fisiologi organism (Arman et al. 2016; Sharifah Aisyah et al. 2017). Keputusan ini juga seiring dengan ujian ANOVA satu hala yang menunjukkan kebanyakan parameter kualiti air tidak berbeza dengan bermakna secara ruang ( $p > 0.05$ ). Beberapa parameter fizikal seperti pH, TSS, kanopi dan substrat batuan kecil (pasir) menunjukkan pengaruh terhadap kebanyakan famili dominan dalam kajian ini seperti Siplonuridae, Hydropsychidae dan Chironomidae. Famili dominan lain seperti Baetidae, Perlidae dan Leptophlebiidae pula lebih terpengaruh dengan substrat kasar dan BOD, manakala Caenidae dan Ephemerelidae pula dipengaruhi oleh COD dan ortofosfat (Rajah 1). Kajian ini mendapati kebanyakan famili mempunyai kecenderungan terhadap sesuatu keadaan yang tertentu. Ini kerana faktor keadaan fizikal dan fisiologi setiap famili memerlukan keperluan habitat yang berbeza, malah setiap famili memainkan peranan yang berbeza terhadap sistem ekologi berdasarkan cara pemakanan mereka. Malah organisma ini telah dibahagikan kepada beberapa kumpulan makanan yang berbeza seperti peragut, pengumpul, penghancur dan pemangsa (Suhailah & Che Salmah 2014).

Ujian korelasi Pearson telah digunakan untuk melihat hubungan setiap indeks yang dianalisis dengan nilai WQI. Hubungan linear yang signifikan menunjukkan kesesuaian penggunaan indeks tersebut dalam menilai kualiti ekosistem. Indeks kualiti air telah mengesahkan bahawa sungai kajian mempunyai kualiti air yang baik. Hasil analisis menunjukkan hanya indeks kekayaan spesies Margalef dan indeks biotik BMWP sahaja yang mempunyai hubungan kuat dengan WQI iaitu masing-masing 80% dan 60% persamaan. Ekosistem yang sihat mampu mempunyai kekayaan spesies yang tinggi dan meningkatkan nilai indeks Margalef, manakala skor yang diberikan pada famili di dalam indeks BMWP juga adalah bersesuaian dengan tahap ketahanan terhadap pencemaran. Ini dibuktikan dengan keputusan yang menunjukkan stesen 3 mempunyai kepelbagaian famili yang terbanyak turut mendapat nilai indeks kualiti air, Margalef dan BMWP yang tertinggi (29 famili; WQI= 97;  $D_{Mg} = 4.92$  dan BMWP = 193).

Ujian pengaruh faktor persekitaran dan parameter kualiti air terhadap kehadiran dan kelimpahan makroinvertebrat bentik menunjukkan di kawasan ekosistem yang bersih, faktor habitat lebih memainkan peranan dalam mempengaruhi makroinvertebrat bentik berbanding dengan parameter kualiti air. Hasil analisis koresponden kanonikal (CCA) menunjukkan ciri fizikal seperti substrat (pasir dan batuan kecil) dan peratusan teduhan (kanopi) mempengaruhi sebahagian besar organisma di kawasan kajian (Rajah 2). Hasil kajian menunjukkan selain daripada parameter kualiti air, ciri habitat persekitaran juga penting di dalam membuat penilaian kualiti ekosistem menggunakan indek ekologi atau indek biotik. Rajah 2 menunjukkan famili Baetidae sangat dipengaruhi oleh substrat berbatuan kecil dan BOD<sub>5</sub>. Terdapat beberapa famili lain yang berkait rapat dengan faktor fizikal habitat, tetapi sebaran dan densiti di kawasan adalah rendah.



Rajah 2 Ujian CCA memperlihatkan pengaruh persekitaran dan kualiti air terhadap makroinvertebrat bentik

### KESIMPULAN

Penggunaan makroinvertebrat bentik dalam penilaian kualiti ekosistem air tawar didapati sangat berpotensi untuk dipraktikkan. Berdasarkan kepada indeks kualiti air, kawasan kajian di Sungai Mendak didapati sangat bersih dan bersesuaian sebagai salah satu sungai rekreasi di Tasik Kenyir, Terengganu. Penggunaan indeks penilaian dan penunjuk biologi untuk penilaian kualiti sungai di kawasan bersih perlu menitik berat faktor faktor kesesuaian dan limitasi indek. Faktor fizikal persekitaran habitat perlu diberi penekanan kerana kehadiran organisma lebih bergantung kepada ciri ini berbanding parameter kualiti air. Ciri kehadiran organisma yang seragam, kepadatan tinggi serta berkait rapat dengan faktor fizikal habitat mencerminkan potensi sebagai penunjuk biologi pada ekosistem bersih. Famili Baetidae merupakan penunjuk biologi yang baik di dalam ekosistem bersih. Kajian lanjutan memperihalkan potensi Baetidae sebagai penunjuk biologi ekosistem bersih sangat baik untuk dilakukan. Famili Chironomidae juga sangat bersesuaian, tetapi disebabkan julat toleransi yang sangat luas, pengkhususan kepada taksonomi yang lebih rendah seperti genus dan spesies perlu dilakukan. Julat toleransi akan menjadi lebih sempit pada aras taksonomi lebih rendah dan boleh memberikan hasil kajian yang lebih tepat.

### PENGHARGAAN

Penulis mengucapkan jutaan terima kasih kepada Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) dan Kementerian Pengajian Tinggi di atas sokongan kewangan FRGS/1/2013/ST03/UKM/02/3(STWN) untuk menjayakan penyelidikan ini.

## RUJUKAN

- Ahmad Badri Mohamad. 1992. *Sumber Alam: Potensi Dan Penerokaannya*. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.
- Ahmad, A.K., Aziz, Z.A., Fun, H.Y., Ling, T.M. & Othman.M.S. 2013. Makroinvertebrat bentik sebagai penunjuk biologi di Sungai Kongkoi, Negeri Sembilan, Malaysia. *Sains Malaysiana* 42 (5): 605-61.
- Arman.H.F., Audrey, A.C.H., Sahana, H. & Kueh, B.H. 2016. Biomonitoring of streams: Using ephemeroptera, plecoptera and trichoptera (ept) in responses to the different types of land use at tabin wildlife reserve (TWR), Lahad Datu, Sabah, Malaysia. *Borneo Science* 37 (1):23-36.
- Aweng, E.R., Sharifah Aisyah, S.O., Ahmad, A.K., Ahmad Fadli, A.S., Azrinaaini, M.Y. & Liyana, A.A. 2015. Influence of Water Quality Index (WQI) on Biotic Indices of Benthic Macroinvertebrate at Highland Rivers in Kelantan and Pahang. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)* 72(5): 5-8.
- Azamuddin, A., Ismail, A., Che Salmah, M.R. & Syafalni. 2012. Integrating biological aspects into river water quality research in Malaysia: An opinion. *OIDA International Journal of Sustainable Development* 4(2):107-121
- Barata, C., Lekumberri, I., Vila-Escalé, M., Prat, N. & Porte, C. 2005. Trace metal concentration, antioxidant enzyme activities and susceptibility to oxidative stress in the Trichoptera larvae *Hydropsyche exocellata* from the Llobregat river basin (Ne Spain). *Aquatic Toxicology* 74(1): 3-19.
- Bilotta, G.S. & Brazier, R.E. 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research* 42(12): 2849-2861.
- Bode, R.W., Novak, M.A. & Abele. L.A. 1997. *Biological Stream Testing*. New York: Department of Environmental Protection.
- Buss, D.F. & Borges, E.L. 2008. Rapid Bioassessment Protocols (RBP) for benthic macroinvertebrates in Brazil: Comparison between sampling techniques and mesh sizes. *Neotropical Entomology* 37(3): 288-95.
- Cairns, J. & Pratt, J.R. 1993. A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. Dlm.Rosenberg, D.M. & Resh, V.H. (pnyt.). *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*, hlm. 11-24. New York: Chapman and Hall.
- Chutter, F.M. 1984. Invertebrate drift in the biological monitoring of water quality. Dlm. Pascoe, D. & Edwards, R.W. (pnyt.). *Freshwater Biological Monitoring*, hlm. 35-43. England: Pergamon Press.
- Gerber, A. & Gabriel, M.J.M. 2002. *Aquatic Invertebrates of South African Rivers Field Guide*. First Edition. Pretoria: Institute for Water Quality Studies, Department of Water Affairs and Forestry.

- Gilberto, N. & Leandro, J. 2015. Chironomids as indicators in freshwater ecosystems: An assessment of the literature. *Insect Conservation and Diversity* 8:393–403.
- HACH. 2003. DR/2500 Spectrometer Instrument Manual for Use Software. USA: Hach Chemical Company.
- Hilsenhoff, W.L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *North American Benthological Society* 7(1): 65-68.
- Iliopoulou-Georgudaki, J., Kantzaris, V., Katharios, P., Kaspiris, P., Georgiadis, T. & Montesantou, B. 2003. An application of different bioindicators for assessing water quality: A case study in the Rivers Alfeios and Pineios (Peloponnisos, Greece). *Ecological Indicators* 2(4): 345-360.
- Jabatan Alam Sekitar. 2001. *Laporan Kualiti Alam Sekeliling*. Kuala Lumpur: Kementerian Sains, Teknologi dan Alam Sekitar.
- Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia. (t.th). *Panduan Penggunaan Makroinvertebrat untuk Penganggaran Kualiti Air Sungai*. Edisi Pertama. Kuala Lumpur: Jabatan Pengairan dan Saliran.
- Jiang, X., Xiong, J., Xie, Z. & Chen, Y. 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.
- Magguran, A.E. 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. New Jersey: Princeton University Press.
- Mereta, S.T., Boets, P., Ambelu Bayih, A., Malu, A., Ephrem, Z., Sisay, A., Endale, H., Yitbarek, M., Jemal, A., De Meester, L. & Goethals, P.L.M. 2012. Analysis of environmental factors determining the abundance and diversity of macroinvertebrate taxa in natural wetlands of southwest Ethiopia. *Ecological Informatics* 7(1): 52-61.
- Merritt, R.W. & Cummin, K. W. 1984. *An Introduction to The Aquatic Insect of North America*. Second Edition. Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Morais, S.S., Molozzi, J., Viana, A.L., Viana, T.H., & Callisto M. 2010. Diversity of larvae of littoral Chironomidae (Diptera: Insecta) and their role as bioindicators in urban reservoirs of different trophic levels. *Brazil Journal Biologi* 70(4):995-1004.
- Noraini Jaafar. 1994. *Kejuruteraan Alam Sekitar*. Edisi kedua. Malaysia: Unit Penerbitan Akademik Penerbitan Akademik, Universiti Teknologi Malaysia.
- Nurhafizah-Azwa, S., Ahmad, A.K., & Hanisah, I. 2018. Biodiversity of Benthic Macroinvertebrates in Air Terjun Lata Kinjang, Chenderiang, Perak, Malaysia. *Serangga* 23(1): 9-111.
- Pauw, N.D., Gabriels, W. & Goethals, P.L.M. 2006. River monitoring and assessment methods based on macroinvertebrates. Dlm. Ziglio, G., Siligardi, M. & Flaim, G. (pnyt.). *Biological Monitoring of Rivers: Applications and Perspectives*, hlm. 113-134.

England: John Wiley & Sons, Ltd.

- Rosenberg, D.M. & Resh, V.H. 1993. *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. New York: Chapman and Hall.
- Sharifah Aisyah, S.O., Aweng, E.R. & Ahmad, A.K. 2017. Influence of Habitat characteristics on the assemblage and distribution of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT) at selected and recreational rivers in Kelantan, Malaysia. *Journal of Fundamental and Applied Sciences* 9(7S): 37-48.
- Suhaila, A.H. & Che Salmah, M.R. 2014. Ecology of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (Insecta) in rivers of the Gunung Jerai forest reserve: Diversity and distribution of functional feeding groups. *Tropical Life Sciences Research* 25 (1): 61–73.
- Suhaila, A.H. & Che Salmah, M.R. 2017. Application of Aquatic Insects (Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera) In Water Quality Assessment of Malaysian Headwater. *Tropical Life Sciences Research* 28(2): 143–162.
- Suhaimi, S., Asmadi, A. & Lo, T.T. 2005. Determination of water quality index at Ibai river basin, Terengganu. *Sains Malaysiana* 34(2): 55-59.
- Thorp, J.J. & Covich, A.P. 1991. *Ecology and classification of North America freshwater invertebrates*. San Deigo Carlifornia: Academic Press Inc.
- 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.
- Wahizatul Afzan, A. & Hoon, A.G. 2016. Aquatic insect communities in relation with water quality of selected tributaries of Tasik Kenyir, Terengganu. *Journal of Sustainability Science and Management* 11(2): 1-10.
- Wahizatul, A., Long, S. & Ahmad, A. 2011. Composition and distribution of aquatic insect communities in relation to water quality in two freshwater streams of Hulu Terengganu, Terengganu. *Journal of Sustainability Science and Management* 6(1): 148-155.
- Yule, C. M., & Yong, H. S. 2004. *Freshwater Invertebrates of the Malaysian Region*. Kuala Lumpur.: Academy of Science Malaysia.