

Kepelbagaian Makroinvertebrat Bentik Di Sungai Jeriau, Bukit Fraser, Pahang, Malaysia

(Diversity of Benthic Macroinvertebrates in Sungai Jeriau, Bukit Fraser, Pahang, Malaysia)

HASYA SHAZWANI HASNORAMRI, LAU HOR YUE & AHMAD, A.K.*

*Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar, Fakulti Sains dan Teknologi,
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

Diserahkan: 29 September 2021/Diterima: 10 Februari 2022

ABSTRAK

Sungai Jeriau ialah sungai yang tidak terganggu oleh aktiviti antropogen dan dipercayai mempunyai kualiti air yang baik serta kepelbagaian biologi akuatik yang tinggi. Oleh itu suatu kajian telah dijalankan untuk menilai kualiti air dan kepelbagaian komuniti makroinvertebrat bentik di sungai tersebut serta mengenal pasti makroinvertebrat bentik yang berpotensi sebagai penunjuk biologi di ekosistem tanah tinggi. Persampelan telah dilakukan pada bulan April 2020 dan sebanyak sembilan stesen telah disampel yang mewakili Sungai Jeriau dan salah satu anak sungai yang bersambung dengan Sg. Jeriau. Makroinvertebrat bentik disampel menggunakan jaring Surber dan pengukuran *in-situ* kualiti air telah dilakukan untuk parameter kekonduksian, pepejal terlarut (TDS), pH, halaju air, suhu dan oksigen terlarut (DO) menggunakan meter YSI 885. Berdasarkan kepada piawaian kualiti air kebangsaan (NWQS), Sungai Jeriau didapati mempunyai kualiti air yang baik dan berada dalam kelas I untuk semua parameter yang dikaji. Ujian Kruskal-Wallis menunjukkan kebanyakan parameter kualiti air berbeza dengan bermakna di antara stesen persampelan ($p < 0.05$, $\alpha = 0.05$) kecuali parameter suhu. Sejumlah 3085 individu makroinvertebrat bentik yang terdiri daripada 1 filum, 2 kelas, 8 order dan 52 famili telah direkodkan di kawasan kajian. Kawasan kajian didominasi oleh famili Elmidae dan Scirtidae (Order: Coleoptera), Baetidae dan Heptageniidae (Order: Ephemeroptera), Hydropsychidae dan Perlidae (Order: Trichoptera) diikuti oleh Tipulidae, Chironomidae dan Simuliidae (Order: Diptera). Purata nilai Indeks Kepelbagaian Shannon (H') adalah 2.56 ± 0.17 , Indeks Keseragaman Pielou (J) (0.76 ± 0.09), Indeks Kekayaan Margalef, D_{Mg} (4.99 ± 1.72) dan Indeks Reciprocal Berger-Parker (4.54 ± 1.51) yang menunjukkan kualiti ekosistem di antara sederhana tertekan dan baik. Nilai kepelbagaian Shannon rendah disebabkan oleh pendominasian oleh beberapa famili seperti di atas dan pengiraan dilakukan pada aras hirarki taksonomi yang tinggi iaitu famili. Variasi kelimpahan makroinvertebrat bentik di kawasan kajian adalah besar iaitu lebih daripada 70%, dan ujian CCA menunjukkan kekonduksian, suhu dan oksigen terlarut mempunyai pengaruh terhadap famili Elmidae, Chironomidae dan Baetidae. Ujian Monte Carlo menunjukkan terdapat variasi yang signifikan pada paksi-1 CCA ($p < 0.05$) bagi parameter kekonduksian dan oksigen terlarut. Hasil kajian menunjukkan Sg. Jeriau menampung kepelbagaian yang tinggi dan famili Elmidae, Chironomidae dan Baetidae berpotensi sebagai penunjuk biologi ekosistem sungai tanah tinggi.

Kata kunci: Ekosistem sungai; indeks kepelbagaian; pemantauan biologi

ABSTRACT

Sungai Jeriau is a pristine river and is not significantly affected by anthropogenic activities. This river is therefore predicted to have good water quality and support high aquatic diversity. A study was undertaken to determine the water quality status and benthic macroinvertebrate diversity as well as to identify potential benthic macroinvertebrates as biological indicators of highland ecosystems. Sampling was undertaken in April of 2020 and nine sampling stations were sampled to represent Sg. Jeriau and one of its tributaries. Benthic macroinvertebrates were sampled using a Surber sampler and *in-situ* measurements were undertaken for water conductivity, dissolved solids, pH, river velocity, river water temperature and dissolved oxygen using YSI 885 meter. In regard to the National Water Quality Standard (NWQS), Sg. Jeriau is in good shape and classified as Class I based on every parameter. A Kruskal-Wallis test demonstrated that the majority of water quality values between stations differ significantly ($p < 0.05$, $\alpha = 0.05$) except water temperature,

which was constant between stations. A total of 3085 benthic macroinvertebrates that consists of 1 phylum, 2 classes, 8 orders and 52 families were recorded. The studied river was dominated by Elmidae and Scirtidae (Order: Coleoptera), Baetidae and Heptageniidae (order: Ephemeroptera), Hydropsychidae and Perlidae (order: Trichoptera) followed by Tipulidae, Chironomidae and Simuliidae (order: Diptera). Shannon diversity index average was 2.56 ± 0.17 . Pielou evenness index (0.76 ± 0.09), Margalef richness index (4.99 ± 1.72) and reciprocal Berger-Parker index (4.54 ± 1.51) indicated that the ecosystem was between fair to good quality. The Shannon diversity value was slightly low due to a high dominance by the above-mentioned families as well as calculations made at the family level. Benthic invertebrates exhibited high variation (70%) and CCA analysis demonstrated that conductivity, water temperature and dissolved oxygen had significant influence on Elmidae, Chironomidae and Baetidae. Monte Carlo tests exhibited significant variation in axis 1 of the CCA analysis ($p < 0.05$) for conductivity and dissolved oxygen. These results demonstrates that Sg. Jeriau supports high Elmidae, Chironomidae and Baetidae and these families have high potential as good biological indicators for highland ecosystems.

Keywords: Biological monitoring; diversity index; river ecosystem

PENGENALAN

Malaysia sebagai salah sebuah negara tropika mempunyai kepelbagaian biologi yang sangat tinggi dalam ekosistem akuatik terutamanya makroinvertebrat bentik (Yule & Yong 2004). Walau bagaimanapun, kepelbagaian biologi akuatik di Malaysia kurang diterokai, terutamanya ekosistem tanah tinggi. Beberapa kajian makroinvertebrat bentik di ekosistem tanah tinggi di Malaysia telah dilakukan oleh Ahmad et al. (2021), Che Salmah et al. (2014), Satar et al. (2018), Tan dan Beh (2015); Makroinvertebrat bentik merupakan organisma yang mendiami permukaan dasar substrat iaitu sedimen, serpihan daun, kayu, makrofit dan alga di kawasan ekosistem air tawar yang merupakan mangsa dan pemangsa peringkat rendah dalam jalinan makanan akuatik. Makroinvertebrat bentik penghancur dan pengumpul merupakan komponen utama pada bahagian hulu sungai termasuk sungai tanah tinggi.

Selain daripada memainkan peranan dalam jalinan makanan akuatik, makroinvertebrat bentik juga telah dikenal pasti berpotensi digunakan sebagai agen dalam program pemantauan biologi ekosistem akuatik (Patang et al. 2018). Penilaian kualiti persekitaran boleh dilakukan menggunakan informasi taburan, kepelbagaian dan kepadatan dalam ekosistem. Selain daripada itu, informasi kehadiran dan ketiadaan makroinvertebrat bentik pada ekosistem tersebut juga boleh digunakan dalam program pemantauan (Ahmad et al. 2013). Hubungan makroinvertebrat bentik – persekitaran sangat berguna, tetapi kekurangan data asas biologi makroinvertebrat bentik menyukarkan penilaian ini. Antara kajian pemantauan biologi menggunakan makroinvertebrat bentik adalah seperti Firmiano et al. (2021), Jacks et al. (2021) dan Yorulmaz dan Ertaş (2021).

Malaysia mempunyai banyak ekosistem tanah tinggi yang terletak sejajar dengan banjaran Titiwangsa

seperti di Bukit Fraser, Tanah Tinggi Cameron dan Tanah Tinggi Genting. Setiap ekosistem mempunyai basin yang tersendiri yang terdiri daripada saluran sungai yang kompleks. Beberapa kajian terdahulu menunjukkan ekosistem tanah tinggi juga mempunyai kepelbagaian yang tinggi tetapi kurang dikaji (Ridzuan et al. 2017; Tan & Beh 2015).

Sungai Jeriau di Bukit Fraser, Pahang merupakan sungai semula jadi yang masih tidak terganggu secara major oleh aktiviti artopogen. Berkonsepkan ekopelancongan, Bukit Fraser mengekalkan ciri semula jadi masih mempunyai kualiti ekosistem yang baik. Berdasarkan laporan kualiti air sungai yang dikeluarkan oleh Piawaian Kualiti Air Kebangsaan (NWQS) Malaysia, Sungai Jeriau dikelaskan sebagai sungai bersih oleh Abdullah et al. (2015) dalam kajian mereka pada beberapa sungai di Bukit Fraser termasuk Sg. Jeriau. Namun begitu, kepelbagaian makroinvertebrat bentik di ekosistem sungai semula jadi tanah tinggi masih kurang dikaji dan kurangnya maklumat kepelbagaian makroinvertebrat. Kajian ini bertujuan untuk menghasilkan informasi kepelbagaian biotik makroinvertebrat bentik khususnya di Sungai Jeriau dan menentukan taksa yang berpotensi sebagai penunjuk biologi ekosistem tanah tinggi. Maklumat yang terhasil boleh digunakan dalam program pemantauan sungai pada masa depan.

BAHAN DAN KAEDAH

KAWASAN KAJIAN

Bukit Fraser yang terletak di negeri Pahang merupakan tanah tinggi yang terkenal di Malaysia sebagai pusat peranginan selain Tanah Tinggi Cameron dan Tanah Tinggi Genting. Ketinggiannya antara 1000-1800 m dari aras laut (Musthafa & Abdullah 2019), menjadikan ia sebuah tempat peranginan yang bersuhu sejuk sepanjang

tahun iaitu 18-20 °C. Kawasan Bukit Fraser menerima hujan tahunan sebanyak 3230 mm dan lembap sepanjang tahun. Sungai Jeriau iaitu sungai utama pula mengalir melalui lingkungan Titiwangsa dengan ketinggian 1,448 m dari atas paras laut dan membentuk basin yang tersendiri dengan beberapa anak sungai. Disebabkan kedudukan pada jajaran Titiwangsa, Sungai Jeriau mempunyai teduhan kanopi antara 80 dan 90%. Sungai

Jeriau mengalir dan membentuk Air Terjun Jeriau di Taman Eko Rimba Jeriau yang terletak berhampiran Pusat Penyelidikan Bukit Fraser Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM). Terdapat beberapa anak sungai yang mengalir membentuk Sg. Jeriau. Kajian ini dilakukan di Sg. Jeriau dan salah satu anak Sg. Jeriau (tiada nama). Jadual 1 menunjukkan koordinat untuk setiap stesen persampelan.

JADUAL 1. Koordinasi stesen persampelan Sungai Jeriau dan anak sungai

Sungai	Stesen	Latitud	Longitud
Sg. Jeriau	1	3°43.6750' U	101°42.6980' T
	2	3°43.6260' U	101°42.7090' T
	3	3°43.5770' U	101°42.8010' T
	4	3°43.5140' U	101°42.8120' T
Anak Sg. Jeriau	5	3°43.5850' U	101°43.0350' T
	6	3°43.5910' U	101°43.0200' T
	7	3°43.5970' U	101°43.0280' T
	8	3°43.6370' U	101°42.8920' T
	9	3°43.6280' N	101°42.8650' E

PERSAMPELAN DAN ANALISIS

Kaedah persampelan dan analisis makroinvertebrat benthik dilakukan menurut prosedur APHA (1995) untuk bahagian persampelan biologi, manakala analisis kualiti air dilakukan menurut kaedah Hach (2007). Perincian untuk persampelan dan analisis adalah seperti berikut.

MAKROINVERTEBRAT BENTIK

Sejumlah 9 stesen persampelan telah dipilih iaitu 4 pada Sungai Jeriau mewakili 400 m jajaran sungai dan 5 stesen (500 m jajaran) pada anak Sungai Jeriau (tiada nama). Persampelan dilakukan secara rawak pada setiap lokasi yang telah dipilih menggunakan jaring Surber (330 × 310 mm) yang sesuai untuk sungai cetek dan berarus laju seperti Sg. Jeriau. Sebanyak 3 replikasi sampel diambil pada setiap stesen persampelan. Selepas persampelan, sampel dibilas beberapa kali untuk mengeluarkan kotoran dan objek besar seperti daun, debris dan batu kecil. Sampel yang terkumpul seterusnya diawet sementara menggunakan etanol (70% kepekatan). Sebelum pengecaman dilakukan di makmal, sampel makroinvertebrat benthik dinyah awet menggunakan

air paip dan individu makroinvertebrat benthik yang ditemui dikutip dan dicamkan sebelum diawet kekal menggunakan etanol (90% kepekatan). Pengecaman sampel makroinvertebrat dilakukan menggunakan rujukan Brinkhurst et al. (1971). Disebabkan kekunci untuk benthik makroinvertebrat di kawasan Asia yang terhad, pengecaman hanya dilakukan pada aras famili.

SAMPEL AIR

Pengukuran *in situ* telah dilakukan untuk parameter kekonduksian, pepejal terlarut (TDS), pH, halaju air, suhu dan oksigen terlarut (DO) menggunakan meter YSI 556 yang telah dikalibrasi pada aras laut (± 760 mmHg). Oleh itu, pembetulan kepekatan oksigen terlarut mengikut altitud telah dilakukan bagi data kepekatan oksigen terlarut yang dicerap. Ini disebabkan keterlarutan oksigen ke dalam jasad air dipengaruhi oleh aras ketinggian sungai. Sebanyak tiga replikasi bacaan diambil pada setiap stesen persampelan. Piawai kualiti air kebangsaan (NWQS) yang telah dikeluarkan oleh Jabatan Alam Sekitar Malaysia digunakan untuk tujuan pengelasan sungai kajian.

ANALISIS DATA

Perisian SPSS (IBM) ver. 19 telah digunakan untuk analisis deskriptif dan inferensi. Ujian Kruskal-Wallis telah digunakan untuk menentukan variasi parameter kualiti air sepanjang kawasan kajian. Ujian korelasi Pearson telah digunakan untuk ujian perhubungan antara parameter kualiti air sungai kajian dengan kelimpahan dan kepelbagaian makroinvertebrat. Indeks kepelbagaian Shannon, indeks keseragaman Pielou, indeks dominan Berger-Parker dan indeks kekayaan Margalef telah digunakan untuk menganggarkan keseimbangan ekosistem berasaskan kepada taburan dan kekayaan spesies/taksa makroinvertebrat. Analisis korelasi berganda dilakukan untuk menilai potensi peranan makroinvertebrat benthik sebagai penunjuk biologi. Analisis kanonikal (CCA) dilakukan untuk menilai kekuatan pengaruh parameter kualiti air dalam mempengaruhi spesies/taksa makroinvertebrat dan juga menentukan spesies/taksa yang berpotensi sebagai penunjuk biologi menggunakan perisian Environmental Communities Analysis (ECOM ver.2). Kesemua analisis dilakukan menggunakan selang keyakinan 95% ($\alpha=0.05$).

HASIL DAN PERBINCANGAN

KUALITI AIR

Memandangkan Sungai Jeriau dikategorikan sebagai

sungai tanah tinggi, purata suhu yang dicerap adalah lebih rendah daripada kebanyakan sungai utama di kawasan tanah rendah. Julat suhu purata kawasan kajian adalah antara 20.2 ± 0.1 sehingga 22.0 ± 0.1 . Pengaruh hutan simpan yang menaungi sungai ini memberikan keseragaman suhu jasad air sungai. Sungai Jeriau telah dibangunkan sebagai sungai rekreasi berbanding dengan anak sungai yang lebih dinaungi oleh kanopi hutan. Hasil kajian jelas menunjukkan suhu jasad air anak sungai lebih rendah daripada sungai utama (Sg. Jeriau) (Jadual 2).

Kesemua parameter lain juga menunjukkan Sungai Jeriau dan anak sungainya mempunyai kualiti air yang sangat baik. Kandungan oksigen terlarut melebihi 9 mg/L, keasidan air yang hampir neutral (± 7) dan kekonduksian air yang rendah menggambarkan ciri semula jadi sesuatu sungai. Kajian yang dijalankan di Tanah Tinggi Cameron juga memperlihatkan kandungan oksigen terlarut yang tinggi (> 7 mg/L) yang merupakan aras semula jadi bagi kebanyakan sungai bersih (Tan & Beh 2015). Kajian oleh Abdullah et al. (2015) sekitar Banjaran Bukit Fraser juga mendapati kualiti air sungai termasuk Sg. Jeriau adalah sangat baik. Kajian mereka pada tiga sungai di sekitar banjaran di Bukit Fraser menunjukkan tiada perubahan ketara kualiti dalam tempoh tahun (2005-2015) termasuk Sg. Jeriau. Lapan daripada sembilan stesen kajian beliau pada tiga sungai berbeza menunjukkan kualiti air kategori bersih menurut indeks WQI.

JADUAL 2. Kualiti air Sungai Jeriau dan anak Sungai Jeriau

Parameter	Stesen Persampelan								
	Stn. 1	Stn. 2	Stn.3	Stn.4	Stn.5	Stn.6	Stn.7	Stn.8	Stn.9
Suhu (°C)	21.3±0.2	22.0±0.1	21.1±0.1	21.5±0.2	20.0±0.3	20.6±0.1	20.2±0.3	20.2±0.1	20.6±0.1
pH	6.55±0.09	6.41±0.12	6.50±0.04	6.57±0.08	6.64±0.02	6.61±0.01	7.02±0.02	6.31±0.05	6.35±0.02
Oksigen terlarut (mg/L)	9.6±0.10	10.1±0.30	9.75±0.06	9.80±0.13	9.20±0.10	9.06±0.15	9.41±0.12	9.17±0.16	9.92±0.15
Kekonduksian (µS/cm)	44.8±1.52	46.1±2.00	47.9±1.09	46.1±1.20	36.3±1.13	37.6±2.22	37.7±5.20	37.3±2.46	35.9±2.41
Jumlah Pepejal Terlarut (mg/L)	32.0±0.11	33.5±0.16	34.0±0.20	32.0±0.11	26.2±0.91	26.9±0.56	27.1±0.11	26.7±0.21	26.0±0.19
Altitud (m)	1112	1026	1026	1007	956	1007	1154	969	949
Halaju Arus (m/s)	0.1±0.10	0.2±0.13	0.21±0.09	0.56±0.11	0.18±0.10	0.21±0.15	0.24±0.10	0.30±0.14	0.24±0.11

Kajian ini merujuk kepada piawai kualiti air kebangsaan (NWQS), yang menunjukkan kesemua parameter kualiti air yang dikaji mengkelaskan Sungai Jeriau dan anak sungai dalam kelas I. Ujian Kruskal-Wallis menunjukkan bahawa kebanyakan parameter kualiti air berbeza dengan nyata di sepanjang stesen persampelan ($p < 0.05$, $\alpha = 0.05$) kecuali parameter TDS dan suhu. Perbezaan tersebut dikesan disebabkan oleh nilai sisihan piawai yang kecil. Walaupun berbeza dengan bermakna, kesemua stesen persampelan mempunyai kualiti air dalam julat kelas I iaitu sangat bersih. Hasil awal kajian menunjukkan makroinvertebrat yang dapat dicamkan dalam kajian ini merupakan sama ada taksa sensitif kepada pencemaran mahupun taksa tahan pencemaran kerana kedua kategori ini akan dapat hidup pada ekosistem yang bersih.

MAKROINVERTEBRAT BENTIK

Sejumlah 3085 individu makroinvertebrat benthik yang terdiri daripada 1 filum (Arthropoda), 2 kelas, 8 order dan 52 famili telah dicamkan di sepanjang kawasan kajian di Sungai Jeriau (Jadual 3). Order yang direkodkan di

kawasan kajian adalah Coleoptera, Decapoda, Diptera, Ephemeroptera, Lepidoptera, Odonata, Plecoptera dan Trichoptera. Diptera merupakan order paling dominan dan menyumbang 13% daripada keseluruhan individu dan 5 order (Diptera, Ephemeroptera, Coeloptera, Plecoptera dan Odonata) menyumbang 86% daripada keseluruhan sampel (Rajah 1). Hasil kajian menunjukkan Order Diptera mendominasi ekosistem kajian, tetapi bukan order yang mempunyai famili yang terbanyak. Kesemua order yang ditemui mempunyai bilangan famili yang hampir sama (4 hingga 11) dan Trichoptera didapati mempunyai kekayaan famili yang tertinggi. Diptera mempunyai kepadatan benthik makroinvertebrat tertinggi (1104 ind.) kerana didominasi oleh tiga famili iaitu Chironomidae, Simuliidae dan Tipulidae. Simuliidae merupakan famili yang sangat beradaptasi dengan air bersih dan berarus laju kerana mampu melekatkan diri menggunakan lingkaran kuku kecil di bahagian posterior. Chironomidae dilaporkan tersebar dengan meluas merangkumi habitat tanah rendah, tanah tinggi, habitat ekstrim, habitat tercemar dan habitat bersih (Ahmad et al. 2008; Al-Shami et al. 2010).

JADUAL 3. Komposisi makroinvertebrat benthik mengikut stesen persampelan

Famili	Stesen								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Elmidae	56	25	125	71	3	5	7	35	27
Hydropilidae	3	2	4	1	0	0	0	0	3
Lampyridae	0	0	0	0	0	4	0	5	4
Lepidostomatidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Psephenidae	1	0	2	0	4	3	1	0	0
Ptilodactylidae	0	0	0	0	0	0	0	2	0
Gyrinidae	1	1	2	0	0	0	0	0	0
Scirtidae	8	13	12	6	0	16	37	29	14
Parathelphusidae	0	0	0	0	15	5	9	19	10
Arthericidae	6	3	11	5	6	3	6	11	8
Ceratopogonidae	1	3	5	5	0	0	0	0	0
Chironomidae	22	15	173	155	2	7	9	6	7
Corydalidae	3	0	1	0	0	0	0	0	0
Empididae	1	0	1	0	1	0	0	0	0
Simuliidae	5	0	9	41	32	20	67	137	143
Tabanidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Tipulidae	13	1	8	18	15	25	54	19	20
Baetidae	55	18	74	57	8	12	16	36	27
Caenidae	2	1	3	2	0	2	0	0	1
Ephemeridae	2	1	0	1	0	0	1	8	3

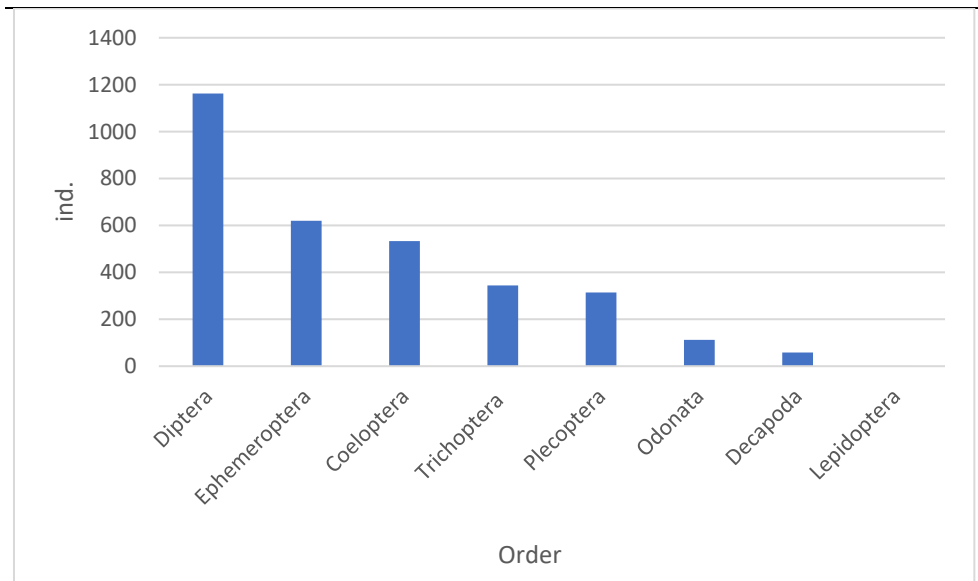
Ephemerellidae	0	1	3	2	0	0	0	0	0
Euthyplociidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Heptageniidae	7	29	12	28	3	9	2	5	14
Leptophlebiidae	4	22	7	23	19	10	12	15	14
Neoephemeridae	1	4	6	13	0	0	0	0	0
Potamanthidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Teloganodidae	2	4	8	9	0	0	0	0	0
Crambidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Amphipterygidae	0	1	0	1	1	0	0	0	0
Aeshnidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Calopterygidae	1	0	0	1	0	2	0	0	6
Cordulegastridae	0	2	3	0	2	2	2	1	4
Libellulidae	8	0	0	1	0	0	0	0	0
Corduliidae	0	2	2	3	0	0	0	0	0
Euphaeidae	2	2	4	1	0	0	0	0	0
Gomphidae	4	2	12	2	3	0	0	5	1
Devattidae	0	0	0	0	7	8	3	4	5
Nemouridae	3	9	19	51	1	0	1	2	10
Perlidae	26	16	25	12	22	11	21	45	32
Peltoperlidae	0	0	2	1	0	0	0	4	0
Leuctridae	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Calamoceratidae	0	0	0	0	0	1	1	11	15
Dipseudopsidae	9	1	2	0	8	3	16	1	3
Limnacentropodidae	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Leptoceridae	0	1	4	0	0	0	0	0	0
Ecnomidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Helicopsychidae	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Hydropsychidae	32	29	49	21	9	8	20	47	33
Philopotamidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Stenopsychidae	4	3	1	0	0	2	0	0	0
Polycentropodidae	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Brachycentridae	2	0	2	0	0	0	0	0	0

Perbandingan secara ruwang menunjukkan tiada perbezaan ketara pendominasian dan kekayaan taksa. Famili yang dominan kekal dengan komposisi tinggi sepanjang kawasan kajian. Komposisi makroinvertebrat bentik bervariasi di antara stesen persampelan bukan kerana kesan pendominasian tetapi kerana komposisi famili yang dominan didapati hampir seragam antara stesen persampelan. Kehadiran dan ketidakhadiran famili yang lain menentukan variasi tersebut (Rajah 2). Hasil ujian ANOVA satu hala menunjukkan komposisi makroinvertebrat bentik berbeza dengan signifikan antara stesen kajian ($p=0.02$, $\alpha=0.05$). Ciri habitat

yang bervariasi menyebabkan makroinvertebrat bentik berbeza antara stesen kajian dan hasil yang sama juga diperoleh oleh kajian kepelbagaian makroinvertebrat bentik di Air Terjun Lata Kinjang, Cenderiang, Perak yang dilakukan oleh Satar et al. (2018).

INDEKS KEPELBAGAIAN DAN BIOTIK

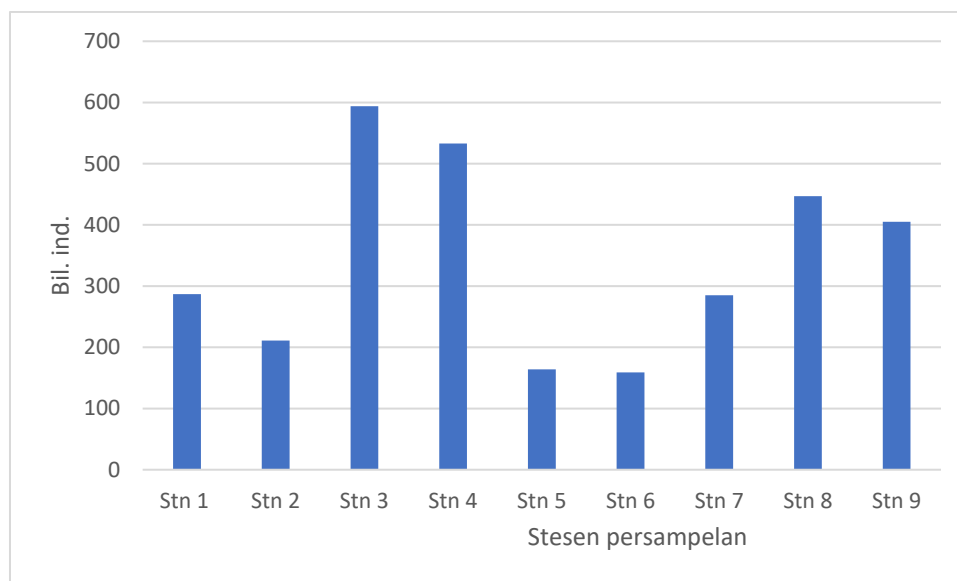
Data makroinvertebrat bentik telah diguna pakai untuk menjana nilai indeks kepelbagaian (Jadual 4). Indeks kepelbagaian mampu memperlihatkan kualiti ekosistem berdasarkan kepada ciri kepadatan dan kekayaan taksa.



RAJAH 1. Komposisi order makroinvertebrat bentik di Sungai Jeriau dan anak sungai

Kajian ini menggunakan aras famili kerana lebih mudah untuk program pemantauan biologi. Berdasarkan kepada indeks kepelbagaian Shannon, kawasan kajian boleh dikategorikan sebagai sederhana tertekan iaitu dengan nilai purata 2.56 ± 0.17 . Menurut Türkmen dan Kazanci (2010), apabila nilai H' mencapai 3.0, struktur ekosistem yang dikaji adalah stabil dan seimbang manakala bagi kawasan kajian yang mempunyai nilai H' kurang daripada 1.0 menunjukkan bahawa sungai kajian mengalami penurunan kualiti ekosistem dan berlaku degradasi terhadap struktur habitat. Pengiraan indeks pada aras famili memberikan penilaian yang lebih

rendah berbanding dengan aras spesies sepertimana skala indeks asal dihasilkan. Oleh demikian, kualiti ekosistem Sg. Jeriau adalah semestinya lebih baik berbanding dengan nilai kiraan dalam Jadual 4. Kepelbagaian makroinvertebrat bentik adalah sangat seragam antara stesen persampelan dan kesemuanya melebihi nilai 2 bagi indeks kepelbagaian Shannon. Nilai keseragaman Pielou (J) menunjukkan keseragaman yang sangat tinggi iaitu berjulat 0.61 hingga 0.91. Hanya stesen 3 dan 4 sahaja mempunyai nilai keseragaman yang rendah kerana terdapat kelimpahan beberapa famili pada stesen ini (Jadual 3).



RAJAH 2. Komposisi famili makroinvertebrat bentik di Sungai Jeriau dan anak sungai

JADUAL 4. Nilai indeks kepelbagaian dan biotik setiap stesen persampelan di Sg Jeriau, Bukit Fraser

Stn.	Indeks Shannon (H')	Indeks Margalef ($D_{Mg'}$)	Indeks Berger-Parker (1/d)	Indeks Pielou (J)	Indeks BMWP	Indeks FBI	Indeks EPT
1	2.56	6.67	5.32	0.70	144	3.4	19
2	2.75	5.40	7.41	0.80	137	4.2	15
3	2.44	5.78	3.47	0.67	151	4.0	20
4	2.46	8.42	3.48	0.61	132	3.4	16
5	2.66	4.12	4.91	0.86	69	2.8	8
6	2.82	4.14	6.04	0.91	66	2.4	9
7	2.29	3.18	4.21	0.78	76	3.0	9
8	2.42	3.44	3.23	0.78	84	3.5	10
9	2.45	3.83	2.80	0.77	104	2.8	11
Purata	2.56±0.17	4.99±1.72	4.54±1.51	0.76±0.09	107±34.37	3.27±0.59	13.0±4.59

Famili Elmidae, Chironomidae dan Heptageniidae dominan dan mempunyai kelimpahan yang lebih tinggi pada stesen 3 dan 4. Kedua-dua stesen ini bukanlah mempunyai kelimpahan tertinggi, sebaliknya terdapat pendominasian famili tertentu. Indeks kedominan reciprocal Berger-Parker menunjukkan stesen persampelan 2 mempunyai pendominasian yang paling rendah. Ini ditunjukkan dengan kelimpahan yang lebih rendah berbanding stesen persampelan lain oleh famili Elmidae, Heptageniidae dan Hydropsychidae. Indeks kepelbagaian ini mampu memperlihatkan sebaran, komposisi dan famili yang berpotensi sebagai penunjuk biologi untuk ekosistem Sg. Jeriau. Terdapat beberapa famili yang menunjukkan sebaran yang sangat baik dan hadir dengan komposisi yang tinggi pada semua stesen persampelan.

Indeks biotik BMWP, Family Biotic Index dan EPT yang dihitung menunjukkan ekosistem Sg. Jeriau berada antara kategori baik dan sangat baik (Jadual 4). Keputusan ini agak berlainan dengan indeks kepelbagaian kerana pengiraan indeks kepelbagaian dihitung pada aras famili dan berlaku kedominasian yang menjadikan indeks ini kurang tepat untuk menilai ciri sebenar ekosistem Sg. Jeriau.

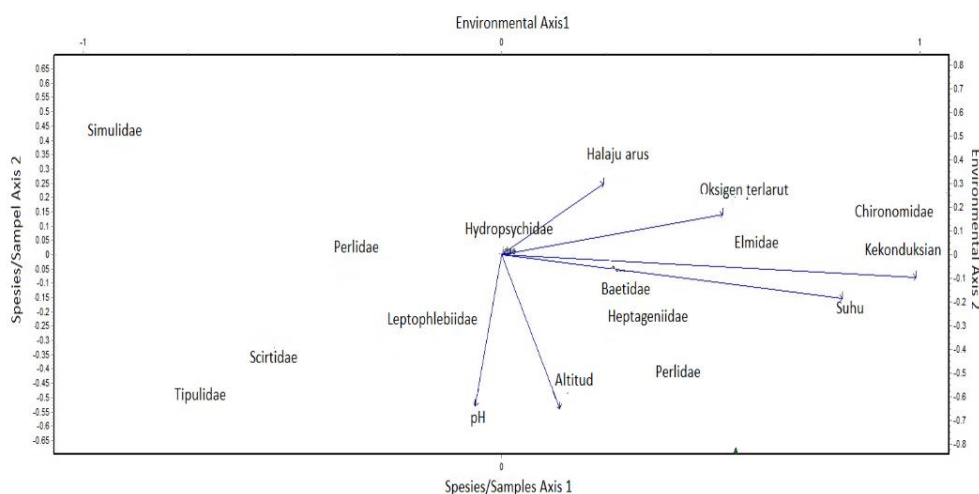
PENUNJUK BIOLOGI

Kajian ini telah menemukan sejumlah 52 famili di Sg. Jeriau dan setiap famili menunjukkan tabiat sebaran dan

kelimpahan yang berbeza. Walau bagaimanapun, terdapat sebahagian famili yang memperlihatkan sebaran yang menyeluruh dengan kelimpahan yang tinggi (Jadual 3). Famili yang memperlihatkan kesesuaian dengan kualiti air dan habitat berpotensi sebagai penunjuk biologi untuk ekosistem tertentu. Sebanyak 10 famili menunjukkan kelimpahan yang tinggi pada semua stesen berbanding famili lain. Kualiti air Sg. Jeriau adalah baik dan famili yang mendominasi menunjukkan kesesuaian dengan ekosistem tersebut. Keceragaman kualiti air menyebabkan kesukaran untuk melihat pengaruh kualiti air terhadap famili yang ditemui. Merujuk kepada skor indeks BMWP, kesemua famili yang dominan mempunyai skor melebihi 5 menunjukkan famili yang sensitif kepada pencemaran organik kecuali Chironomidae. Walaupun Chironomidae diketahui sangat tahan kepada pencemaran organik, namun antara lebih daripada 10000 spesies yang telah dikenal pasti (Cranston 2004), terdapat juga spesies yang sensitif kepada pencemaran dan menghuni ekosistem bersih (Kutty & Ibrahim 2015; Nurhafizah-Azwa et al. 2018; Siti Hafizah 2017). Genus *Polypedilum* spp. daripada famili Chironomidae sebagai contohnya telah dikenal pasti sebagai penunjuk biologi yang baik untuk ekosistem bersih di beberapa sungai di Janda Baik, Pahang (Kutty & Ibrahim 2015). Pengecaman pada aras spesies sangat penting dilakukan untuk memastikan spesies sebenar yang merupakan penunjuk biologi yang baik untuk ekosistem bersih.

Ujian korelasi berganda spesies-parameter kualiti air menunjukkan nilai eigen bagi kedua paksi masing-masing 0.33 dan 0.07 dengan jumlah varian lebih daripada 70%. Nilai varian yang besar menunjukkan potensi pengaruh kualiti air. Ujian CCA pada 10 famili paling dominan menunjukkan pengaruh kekonduksian air

dan oksigen terlarut terhadap komuniti makroinvertebrat (Rajah 3). Keputusan yang sama juga diperoleh oleh Harun et al. (2015) dalam kajian mereka di lembangan Sg. Kinabatangan Sabah. Mereka mendapati TDS menunjukkan pengaruh terhadap famili Naucoridae, Macrovellidae dan Nymphomyidae.



RAJAH 3. Plot CCA menunjukkan pengaruh parameter kualiti air terhadap famili dominan

Ujian Monte Carlo bagi plot CCA (1000 ujian) menunjukkan terdapat pengaruh parameter kualiti air terhadap makroinvertebrat pada paksi 1 sahaja dengan nilai $p < 0.05$ dan varian 60.11% (Jadual 5). Ujian korelasi Pearson menunjukkan kekonduksian (0.990), oksigen terlarut (0.53) dan suhu air (0.82) mempengaruhi famili

Chironomidae, Elmidae, Baetidae. Suhu mempunyai kesan negatif kepada makroinvertebrat kerana suhu yang lebih rendah meningkatkan keterlarutan oksigen terlarut yang sangat penting kepada makroinvertebrat yang sensitif (Hauer & Hill 2007).

JADUAL 5. Nilai eigen dan varian bagi paksi pertama untuk plot CCA makroinvertebrat bentik dan parameter kualiti air Sg. Jeriau

Parameter	Paksi – 1
Suhu (°C)	0.815
pH	-0.062
Oksigen terlarut (mg/L)	0.528
Kekonduksian ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0.990
Altitud (m)	0.139
Halaju arus (m/s)	0.244
Nilai Eigen	0.3316
%Varian	60.11
Σ Varian	60.11
Korelasi berganda Spesies – skor parameter kualiti air	0.987

Penelitian secara terperinci menunjukkan terdapat pengaruh sebahagian parameter kualiti air terhadap famili maroinvertebrat benthik secara khusus (Jadual 6). Ini menunjukkan famili tertentu masih dipengaruhi oleh kualiti air selain daripada ciri fizikal sungai seperti kelebaran, jenis makanan tersedia, kedalaman dan halaju arus. Hasil kajian yang sama ditunjukkan oleh

Aweng et al. (2014), Nor Zaiha et al. (2015) dan Sharifah Aisyah et al. (2014) iaitu faktor persekitaran memainkan peranan besar bersama dengan kualiti air. Kajian lanjutan boleh dilakukan untuk menentukan pengaruh kualiti air dan habitat secara serentak dengan membentuk satu formula gabungan faktor terhadap makroinvertebrat.

JADUAL 6. Pekali korelasi Pearson parameter kualiti air terhadap makroinvertebrat benthik

	Suhu	pH	Oksigen terlarut	Kekonduksian	Altitud	Halaju Arus
Elmidae	0.46	0.28	0.42	0.77	0.05	0.22
Scirtidae	-0.36	0.32	-0.25	-0.34	0.42	-0.01
Chironomidae	0.44	-0.05	0.37	0.73	0.01	0.53
Simulidae	-0.54	-0.28	-0.13	-0.65	-0.39	0.25
Tipulidae	-0.59	0.01	-0.43	-0.54	0.50	0.00
Baetidae	0.44	-0.27	0.37	0.73	0.13	0.26
Heptageniidae	0.85	-0.38	0.76	0.62	-0.19	0.52
Leptophlebiidae	0.17	-0.14	0.25	-0.03	-0.45	0.60
Perlidae	-0.43	-0.46	-0.15	-0.34	-0.24	-0.18
Hydropsychidae	0.20	-0.55	0.36	0.37	-0.04	-0.04

KESIMPULAN

Sungai Jeriau mempunyai kualiti air yang baik dan menampung kekayaan taksa dan komposisi makroinvertebrat. Beberapa famili seperti Elmidae, Simulidae, Chironomidae dan Baetidae mendominasi sepanjang kawasan kajian dan menunjukkan kebergantungan kepada kepekatan oksigen terlarut, suhu dan kekonduksian air. Hubungan komuniti makroinvertebrat dengan fungsi ekosistem sangat kompleks dan memerlukan data yang banyak dan berskala besar untuk dinilai. Walau bagaimanapun, hasil kajian penting sebagai kajian awalan kepelbagaian makroinvertebrat benthik di Sg. Jeriau iaitu salah satu sungai kategori tanah tinggi.

PENGHARGAAN

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar, Fakulti Sains dan Teknologi Universiti Kebangsaan Malaysia kerana menyokong penyelidikan dengan kemudahan makmal penyelidikan.

RUJUKAN

- Abdullah, M.P., Khalik, W.M.A.W.M. & Idris, M.I. 2015. Water quality of the Raub-Fraser's Hill Corridor. Dlm. *Prosiding SESKORFRA (19 – 20 Mei 2015). Kelab Danau Golf, UKM, Bangi Selangor*. pp. 104-108.
- Ahmad, A.K., Hafizah, A. & Aisyah, S.O.S. 2021. Chironomidae (Order: Diptera) diversity in relation to water quality of highland rivers at Cameron Highlands, Malaysia. *Journal of Environmental Biology* 42(3): 824-831.
- 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, A.K., Idris, A.B., Othman, M.S., Salwana, H. & Hamisah, H. 2008. A preliminary survey of chironomids diversity at headwater of Langat River, Selangor. *Serangga* 13(1-2): 1-18.
- Al-Shami, S.A., Rawi, C.S.M., Hassan Ahmad, A. & Nor, S.A.M. 2010. Distribution of Chironomidae (Insecta: Diptera) in polluted rivers of the Juru River Basin, Penang, Malaysia. *Journal of Environmental Sciences* 22(11): 1718-1727.

- APHA. 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th ed. Washington, DC: American Public Health Association.
- Aweng, E.R., Sharifah Aisyah, S.O., Ahmad Abas, K., Ahmad Fadli, A.S., Azrinaaini, M.Y. & Liyana, A.A. 2014. Influence of water quality index (WQI) on biotic indices of benthic macroinvertebrate at Highland Rivers in Kelantan and Pahang. *Jurnal Teknologi* 72(5): 5-8.
- Brinkhurst, R.O. 1971. *A Guide for the Identification of British Aquatic Oligochaeta*. Ambleside & Westmorland: Freshwater Biological Association.
- Che Salmah, M.R., Al-Shami, S.A., Abu Hassan, A., Madrus, M.R. & Nurul Huda, A. 2014. Distribution of detritivores in tropical forest streams of peninsular Malaysia: Role of temperature, canopy cover and altitude variability. *International Journal of Biometeorology* 58(5): 679-690.
- Cranston, P.S. 2004. Insecta: Diptera, Chironomidae. Dlm. *The Freshwater Invertebrates of Malaysia and Singapore, Malaysia*, disunting oleh Yule, C.M. & Yong, H.S. Academy of Science. hlm. 711-735.
- Firmiano, K.R., Castro, D.M., Linares, M.S. & Callisto, M. 2021. Functional responses of aquatic invertebrates to anthropogenic stressors in riparian zones of Neotropical savanna streams. *Science of the Total Environment* 753: 141865.
- Hach 2007. DR 2800 *Spectrophotometer Procedures Manual*. 2nd ed. USA: Hach company.
- Harun, S., Al-Shami, S.A., Dambul, R., Mohamed, M. & Abdullah, M.H. 2015. Water quality and aquatic insects study at the lower Kinabatangan River Catchment, Sabah: In response to Weak La Niña Event. *Sains Malaysiana* 44(4): 545-558.
- Hauer, F.R. & Hill, W.R. 2007. Temperature, light and oxygen. Dlm. *Methods in Stream Ecology*. 2nd ed., edited by Hauer, F.R. & Lamberti, G.A. San Diego: Academic Press/Elsevier. pp. 103-117.
- Jacks, F., Milošević, D., Watson, V., Beazley, K.F. & Medeiros, A.S. 2021. Bioassessment of the ecological integrity of freshwater ecosystems using aquatic macroinvertebrates: The case of Sable Island National Park Reserve, Canada. *Environmental Monitoring and Assessment* 193(5): 257.
- Kutty, A.A. & Ibrahim, H. 2015. Potensi Chironomidae sebagai penunjuk biologi di sungai rekreasi terpilih Janda Baik, Pahang, Semenanjung Malaysia. *Serangga* 23(2): 1-13.
- Musthafa, M.M. & Abdullah, F. 2019. Beetles species richness along environmental gradients at montane ecosystem in Fraser's Hill, Peninsular Malaysia. *Sains Malaysiana* 48(7): 1395-1407.
- Nor Zaiha, A., Mohd Ismid, M.S. & Salmiati. 2015. Temporal distribution of benthic macroinvertebrate communities from tropical forest stream in gunung pulai recreational forest, Johor, Peninsular Malaysia. *Sains Malaysiana* 44(9): 1223-1228.
- Patang, F., Soegianto, A. & Hariyanto, S. 2018. Benthic macroinvertebrates diversity as bioindicator of water quality of some rivers in East Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Ecology* 2018: 1-12.
- Ridzuan, D.S., Md. Rawi, C.S., Hamid, S.A. & Al-Shami, S.A. 2017. Determination of food sources and trophic position in Malaysian tropical highland streams using carbon and nitrogen stable isotopes. *Acta Ecologica Sinica* 37(2): 97-104.
- Satar, N.A.A., Kutty, A.A. & Ibrahim, H. 2018. Biodiversity of benthic macroinvertebrates in Air Terjun Lata Kinjang, Chenderiang, Perak, Malaysia. *Serangga* 23(1): 99-111.
- Sharifah Aisyah, S.O., Aweng, R.R., Ahmad Fadli, A.S. & Azrinaaini, M.Y. 2014. Benthic macroinvertebrates composition and distribution at Sungai Dawai and Sungai Dekong in Lojing Highland, Gua Musang, Kelantan. *Jurnal Teknologi* 68(3): 125-131.
- Siti Hafizah, A. 2017. *Kepelbagaian Chironomidae di sungai-sungai tanah tinggi terpilih, Malaysia*. Universiti Kebangsaan Malaysia. Tesis Sarjana (Tidak Diterbitkan).
- Tan, K.W. & Beh, W.C. 2015. Water quality monitoring using biological indicators in Cameron Highlands Malaysia. *Journal of Sustainable Development* 8(3): 28.
- Türkmen, G. & Kazancı, N. 2010. Applications of various biodiversity indices to benthic macroinvertebrate assemblages in streams of a national park in Turkey. *Review of Hydrobiologia* 3(2): 111-125.
- Yorulmaz, B. & Ertaş, A. 2021. Water quality assessment of Selendi Stream and comparative performance of the indices based on benthic macroinvertebrates and physicochemical parameters. *Biologia* 76(9): 2599-2607.
- Yule, C.M. & Yong, H.S. 2004. *Freshwater Invertebrates of the Malaysian Region*. Academy of Sciences Malaysia.

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