

**KUALITI AIR DAN KEPELBAGAIAN MAKROINVERTEBRAT BENTIK,  
DI SUNGAI DURIAN PERANGIN, PULAU LANGKAWI, KEDAH, MALAYSIA**

**[WATER QUALITY AND DIVERSITY OF BENTIC MACROINVERTEBRATE IN  
DURIAN PERANGIN RIVER, LANGKAWI ISLAND, KEDAH, MALAYSIA]**

**Farah Safiah, A. N., Ahmad, A. K.\* & Nurhafizah-Azwa, S.**

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

*\*Corresponding author: abas@ukm.edu.my*

**ABSTRAK**

Tahap kualiti air dan kepelbagaian makroinvertebrat bentik telah dikenalpasti di Sungai Durian Perangin Pulau Langkawi, Kedah, Malaysia. Sebanyak lima stesen pensampelan dengandua replikasi telah diambil bagi persampelan air dan tiga replikasi bagi pensampelan makroinvertebrat bentik. Parameter kualiti air oksigen terlarut (DO), pH, kelajuan arus, kekonduksian dan suhu diukur secara in situ dengan menggunakan meter YSI 556. Parameter fiziko-kimia seperti permintaan oksigen biokimia ( $BOD_5$ ), permintaan oksigen kimia (COD), ammonia nitrogen ( $NH_3N$ ) dan jumlah pepejal terampai (TSS) telah dianalisis secara ex-situ di makmal. Analisis kualiti air dijalankan dengan merujuk kepada kaedah APHA dan HACH. Pensampelan makroinvertebrat bentik dijalankan menggunakan jaring Surber dan sampel kajian diawet serta dikenalpasti sehingga ke taksa famili. Penilaian kualiti air dijalankan dengan merujuk kepada Standard Kualiti Air Kebangsaan (NWQS) dan Indeks Kualiti Air (WQI). Hasil analisis menunjukkan Sungai Durian Perangin berada dalam kelas I hingga II (NWQS) dan indeks 93 bagi WQI yang membawa maksud kondisi yang baik. Sebanyak 1844 individu makroinvertebrat bentik dengan 30 famili dari sembilan order berjaya dikenalpasti. Order Ephemeroptera mewakili 52% dari keseluruhan sampel dan famili Baetidae dari order yang sama mendominasi sebanyak 33.5% daripada keseluruhan sampel kajian. Skor indeks kepelbagaian Shannon menunjukkan Sungai Durian Perangin berada pada kualiti ekosistem yang bersih dengan nilai indeks di antara 1.39 kepada 2.25. Ujian ANOVA satu hala menunjukkan terdapat perbezaan yang bermakna bagi parameter DO, TSS dan pH ( $p < 0.05$ ) di antara stesen pensampelan. Analisis korelasi-Pearson pula menunjukkan kepelbagaian makroinvertebrat bentik mempunyai hubungan korelasi positif sederhana dengan parameter kualiti air dan ( $r = 0.4$ ,  $p < 0.05$ ). Secara keseluruhannya, terdapat pengaruh faktor kimia air dan fizikal persekitaran terhadap kehadiran makroinvertebrat bentik dalam kajian ini. Analisis CCA menunjukkan pasir mempunyai pengaruh besar terhadap sebaran famili dominan iaitu Baetidae. Kajian ini menunjukkan bahawa dalam ekosistem air yang bersih, pengaruh persekitaran habitat juga perlu diambil kira bagi melihat kepelbagaian sebaran makroinvertebrat bentik.

**Kata kunci:** Kualiti air; penunjuk biologi, indeks kepelbagaian, pemantauan biologi, Malaysia.

### ABSTRACT

Water quality level and benthic macroinvertebrates diversity at Sungai Durian Perangin, Pulau Langkawi, Kedah, Malaysia were identified. Five sampling stations with two replications for water sampling and three replications for benthic macroinvertebrates were taken. Dissolve Oxygen (DO), pH, water velocity, conductivity and temperature were measured *in situ* using YSI 556 meter. Physico-chemical parameters namely biological oxygen demand (BOD<sub>5</sub>), chemical oxygen demand (COD), total suspended solid (TSS) and ammoniacal nitrogen (NH<sub>3</sub>N) were analysed in the laboratory. Water quality analysis was conducted according to APHA and HACH methods. Benthic macroinvertebrates sampling was conducted using Surber net, and samples were preserved and identified to family level. Water quality assessment was conducted based on the national water quality standards (NWQS) and water quality index (WQI). Results show that Sungai Durian Perangin is classified between class I to II (NWQS) and 93 score (WQI score) which exhibits clean ecosystem. A total of 1844 individuals of benthic macroinvertebrates from 30 families of nine orders were successfully identified. Ephemeroptera order represent 52% of the total samples and Baetidae from the Ephemeroptera order dominated 33.5% of the entire samples. Shannon diversity index score demonstrates that Sungai Durian Perangin is in non-stress condition ecosystem with the value range from 1.39 to 2.25. One-way ANOVA test shows DO, TSS and pH are significantly differences between sampling stations ( $p < 0.05$ ,  $\alpha = 0.05$ ). Pearson-correlation test showed macroinvertebrate benthic diversity positively related with water quality ( $r = 0.4$ ,  $p < 0.05$ ). Overall, this study shows there is an influence of chemical and physical factors towards presence of benthic macroinvertebrates. The CCA analysis shows sand substrate has great influence on dominant family (Baetidae). This study reveals that in clean river ecosystem, physical habitat factors must be included in determining diversity and distribution of macroinvertebrate.

**Keywords:** Water quality, biological indicator, diversity indices, biological monitoring.

### PENGENALAN

Penggunaan makroinvertebrat benthik sebagai alat pemantauan biologi bagi menilai tahap kualiti ekosistem dapat digunakan melalui kehadiran organisma tersebut atau berdasarkan kepada kepadatan sesuatu populasi atau spesis (Ahmad et al. 2013). Kaedah ini telah digunakan secara meluas di sesetengah negara membangun seperti Amerika Syarikat, Britain, Jerman, Belanda, Sweden, dan Korea Selatan bertujuan untuk menilai status kesihatan dan ekosistem sungai (Li et al. 2010). Ini kerana penggunaan makroinvertebrat benthik mampu memberi gambaran terhadap respon yang berterusan kepada sebarang jenis tekanan (pencemaran) (Uherek & Pinto Gouveia 2014), kehadirannya dalam pelbagai jenis habitat (Harun et al. 2015) serta mempunyai kepelbagaian kumpulan spesies yang mendiami kawasan air dari pelbagai tahap pencemaran.

Pelbagai kajian ekologi telah menekankan hubungan di antara kualiti air dan makroinvertebrat benthik di Malaysia (Ahmad et al. 2015a; Nurhafizah-Azwa & Ahmad 2018; Yap & Rahim Ismail 2011; Wahizatul et al. 2011). Analisis berkaitan dengan kualiti air dengan makroinvertebrat benthik mempunyai kelebihan yang tersendiri. Sebagai contoh, analisis kualiti air dapat memberikan penilaian yang pantas tentang status kualiti air sungai manakala konsep

biopenunjuk dapat mendedahkan kesihatan ekosistem sungai terhadap respon kepada pencemaran (Azrina et al. 2006; Parr & Mason 2003; Yap & Rahim Ismail 2011). Penggunaan komuniti organisma ini juga berfungsi sebagai penunjuk biologi terhadap kualiti air dan ekosistem sungai tersebut.

Suatu kajian telah dijalankan di Sungai Durian Perangin, Pulau Langkawi bertujuan untuk mengenalpasti tahap kualiti air dan juga mengkaji kepelbagaian makroinvertebrat bentik di sungai yang sama. Kajian ini menggunakan Piawaian Kualiti Air Kebangsaan (NWQS) dan Indeks Kualiti Air (WQI) bagi menilai tahap kualiti air di kawasan tersebut dan dijangka daripada kajian ini dapat diketahui tahap kualiti air dan hubungannya terhadap kepelbagaian organisma makroinvertebrat bentik.

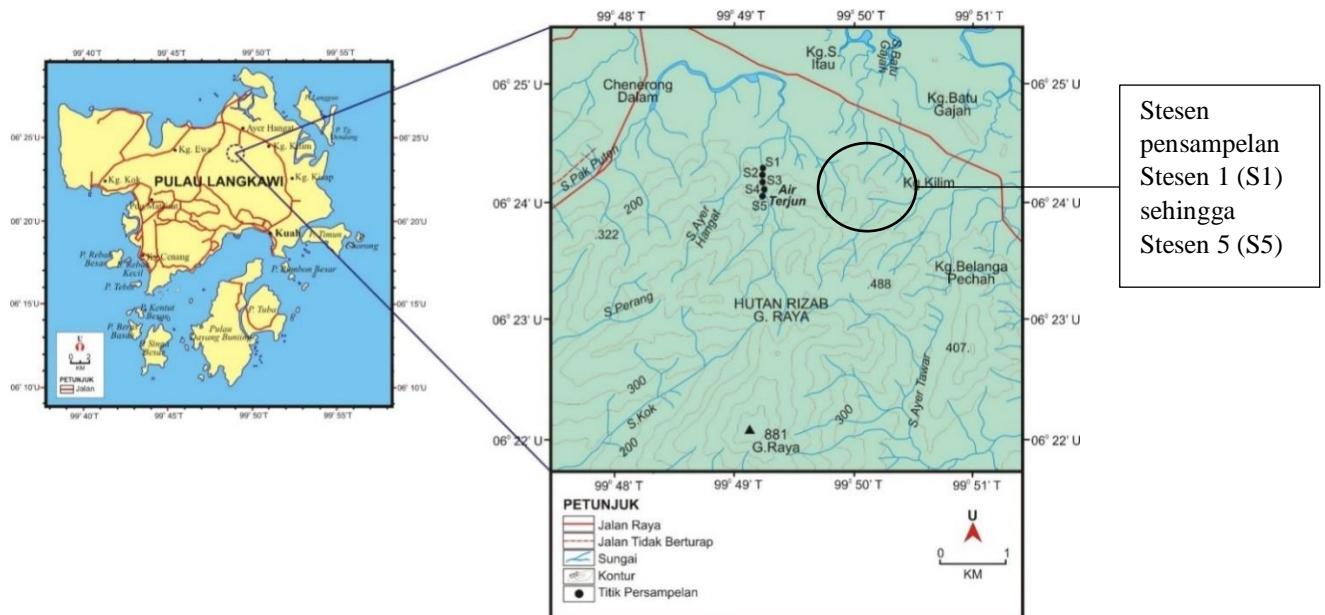
## BAHAN DAN KAEDAH

### Lokasi Kajian

Sungai Durian Perangin adalah sungai yang mendapat aliran air bersih berpunca dari Gunung Raya yang merupakan gunung tertinggi di Pulau Langkawi dengan ketinggian 863 meter dari aras laut. Kedudukannya pada ketinggian ini, menjadikan ia sebagai satu kawasan tarikan pelancong bagi destinasi riadah dan aktiviti-aktiviti rekreasi. Oleh itu, sungai ini telah dipilih sebagai kawasan kajian kerana tergolong dalam kawasan rekreasi yang menggambarkan kawasan kajian adalah tidak tercemar. Lima stesen pensampelan telah dipilih bagi pensampelan air dan juga makroinvertebrat bentik. Koordinat direkodkan di dalam Jadual 1 manakala peta kawasan persampelan diplotkan dalam Rajah 1.

Jadual 1. Koordinat stesen pensampelan di Sungai Durian Perangin

Stesen	Latitud	Longitud
1	N 06 <sup>0</sup> 24' 13.7''	E 09 <sup>0</sup> 49' 12.7''
2	N 06 <sup>0</sup> 24' 13.0''	E 09 <sup>0</sup> 49' 12.6''
3	N 06 <sup>0</sup> 24.1' 2.5''	E 09 <sup>0</sup> 49' 12.6'
4	N 06 <sup>0</sup> 24' 11.7''	E 09 <sup>0</sup> 49' 13.0''
5	N 06 <sup>0</sup> 24' 10.4''	E 09 <sup>0</sup> 49' 12.9''



Rajah 1. Peta stesen pensampelan di Sungai Durian Perangin, Pulau Langkawi, Kedah

### Kaedah Pensampelan

Pensampelan air dan makroinvertebrat benthik telah dijalankan pada 17 Ogos 2016. Kerja lapangan telah dijalankan melibatkan pensampelan air dan makroinvertebrat benthik. Sebanyak dua replikasi sampel air dan tiga replikasi makroinvertebrat benthik telah diambil di setiap stesen pensampelan. Maklumat ciri fizikal turut dicatatkan dalam jadual penilaian habitat seperti litupan kanopi, vegetasi tebing, kelebaran dan kedalaman sungai serta jenis sedimen di setiap stesen pensampelan kerana maklumat ini penting bagi menyokong data biologi dan fiziko-kimia yang dihasilkan.

### Kualiti Air

Pengukuran bagi kualiti air melibatkan dua pendekatan iaitu secara *in situ* dan *ex situ*. Pengukuran parameter *in situ* air adalah oksigen terlarut (DO), konduktiviti, pH, suhu dan halaju arus, menggunakan meter YSI 556 yang telah dikalibrasi dan meter arus bagi mengukur halaju arus sungai tersebut. Manakala pengukuran parameter *ex situ* air dan kaedah yang digunakan pula adalah permintaan oksigen biokimia ( $BOD_5$ ) (eraman lima hari), permintaan oksigen kimia (COD) (penghadaman reaktor), ammoniakal nitrogen ( $NH_3-N$ ) (kaedah Nessler) serta jumlah pepejal terampai (TSS) (kaedah gravimetri). Sampel air diawet menggunakan ais kepada suhu  $-4^{\circ}C$ . Analisis makmal dijalankan mengikut panduan dari APHA (1998) dan HACH (2003). Penentuan Indeks Kualiti Air (WQI) yang telah digunakan merujuk kepada formula dari Jabatan Alam Sekitar (2015) adalah seperti berikut:

$$WQI = (0.22 \times SI_{DO}) + (0.19 \times SI_{BOD}) + (0.16 \times SI_{COD}) + (0.15 \times SI_{AN}) + (0.16 \times SI_{TSS}) + (0.12 \times SI_{pH})$$

SI = Sub-indeks

### Makroinvertebrat Benthik

Makroinvertebrat benthik disampel dengan menggunakan jaring Surber. Pensampelan dijalankan selama tiga hingga lima minit bagi setiap replikasi. Sampel kemudian dimasukkan

ke dalam dulang bagi proses pembersihan dan dimasukkan ke dalam plastik berzip. Sampel diawet menggunakan 70% etanol dan dibawa ke makmal untuk proses selanjutnya.

Proses pengasingan dan pengecaman dijalankan di makmal. Sampel disimpan di dalam botol universal yang mengandungi 70% etanol untuk pengawetan kekal. Proses pengecaman makroinvertebrat benthik dilakukan sehingga ke peringkat famili dan sub famili dengan menggunakan mikroskop stereo. Rujukan yang digunakan adalah (Merritt & Cummins 1996; Sangpradub et al. 2006).

### **Analisis Data**

Data yang diperolehi daripada hasil kualiti air dan makroinvertebrat benthik diteruskan dengan kaedah analisis data yang bersesuaian iaitu Indeks Biotik, Indeks Kepelbagaian dan juga analisis statistik. Menurut Yazdian et al. (2014), Indeks Biotik digunakan bagi meramalkan sambutan ekosistem kepada amalan pengurusan sumber air yang berbeza serta keadaan persekitaran. Nilai dari indeks ini mampu memberi informasi tentang respon organisma terhadap pencemaran jenis organik. Indeks ini merangkumi Indeks *Biological Monitoring Working Party* (BMWP), Indeks *Average Score per Taxon* (ASPT), Indeks *Family Biotic Index* (FBI) dan Indeks *Ephemeroptera, Plecoptera dan Tricoptera* (EPT).

Manakala tujuan penggunaan Indeks Kepelbagaian adalah bagi mengenalpasti kriteria air di suatu kawasan (Kartikasari 2013). Indeks ini termasuklah Indeks Kepelbagaian Shannon ( $H'$ ), Indeks Kesamarataan Pielou ( $J$ ) dan Indeks Kekayaan Margalef ( $D_{Mg}$ ). Berdasarkan kajian yang dijalankan oleh Azrina et al. (2006), indeks kekayaan, indeks kepelbagaian dan indeks kesamarataan memberikan informasi berguna tentang keadaan persekitaran di kawasan habitat organisma yang dikaji.

Analisis statistik yang digunakan dalam kajian ini melibatkan analisis Anova Satu Hala, Korelasi-Pearson dan juga *Canonical Correspondence Analysis* (CCA). Analisis Anova Satu Hala dijalankan bagi melihat perbezaan yang signifikan dan membandingkan antara dua pembolehubah seperti parameter kimia air dan stesen pensampelan (Ahmad et al. 2015a). Statistik Korelasi-Pearson digunakan bagi melihat hubungan antara dua pembolehubah yang dikaji sama ada positif atau negatif dalam unit  $r$ . Nilai negatif satu sehingga satu merupakan penunjuk kepada tahap hubungan. Nilai korelasi menghampiri angka satu menunjukkan kedua-dua pembolehubah tersebut mempunyai hubungan yang positif dan begitu juga sebaliknya terhadap nilai korelasi menghampiri negatif satu

## **HASIL DAN PERBINCANGAN**

### **Kualiti Air**

Purata setiap parameter kualiti airtelah direkodkan pada Jadual 2. Kualiti air Sungai Durian Perangin berada dalam kelas I hingga II berdasarkan Piawaian Kualiti Air Kebangsaan (NWQS). Purata skor indeks kualiti air menunjukkan bahawa kualiti air adalah sangat bersih dan tergolong dalam ciri-ciri kualiti air di hulu sungai (Jabatan Pengairan dan Saliran) . Ini ditunjukkan dengan kandungan DO yang tinggi, BOD<sub>5</sub> dan COD yang rendah serta arus yang laju. Lokasi kawasan kajian yang terletak di kaki Gunung Raya menjadikan kualiti airnya terpelihara selain jauh dari kawasan perbandaran. Nilai DO yang tinggi ini disokong oleh kajian Suratman et al. (2005) yang mana kandungan DO yang lebih baik terdapat di bahagian hulu sungai. Kajian oleh Gandaseca et al. (2011) juga menyatakan bahawa air tawar dan air sejuk berkebolehan untuk memegang lebih oksigen berbanding air suam dan air masin.

Hasil kajian menunjukkan, terdapat perbezaan yang bermakna bagi parameter DO, TSS dan pH menunjukkan wujudnya perbezaan yang bermakna antara stesen persampelan ( $p < 0.05$ ). Walaupun begitu, parameter tersebut tetap berada dalam julat kualiti air kelas I hingga II yang menggambarkan kualiti air adalah bersih dan ekosistem yang sihat serta berfungsi sebagai kawasan hidupan akuatik yang sensitif.

Hasil kajian ini turut disokong melalui kajian yang telah dilakukan oleh (Ahmad et al. 2015a) di Sungai Ikan Hulu Terengganu, Terengganu yang turut menerima aliran air dari puncak bukit yang terdekat mencatatkan nilai kualiti air kelas I hingga II. Kawasan persampelan di Sungai Durian Perangin ini juga turut menerima aliran air dari puncak gunung yang terdekat iaitu Gunung Raya. Terdapat kajian lain mengenai kualiti air di sungai rekreasi yang dijalankan oleh Ahmad et al. (2015b) di Sungai Langat, Selangor yang mencatatkan kualiti air pada kelas I hingga II. Oleh itu, nilai dan kelas kualiti air yang didapati dalam kajian ini mempunyai persamaan dengan sungai-sungai rekreasi yang lain.

### **Makroinvertebrat Bentik**

Terdapat sebanyak 30 famili berada di bawah 9 order daripada 2 kelas bagi keseluruhan sampel makroinvertebrat di kawasan kajian. Kesemua sampel ini berasal dari satu filum iaitu Arthropoda dan sejumlah 1844 individu berjaya dikenalpasti dalam pensampelan di kawasan kajian (Jadual 3).

Menurut kajian (Azrina et al. (2006); Merritt & Cummins 1978), order Ephemeroptera dianggap sensitif terhadap sebarang tekanan persekitaran dan kehadiran order ini menandakan kawasan tersebut adalah bersih. Pendominasian order ini menunjukkan bahawa kawasan pensampelan adalah bebas daripada sebarang tekanan persekitaran. Kelimpahan order yang tinggi serta kehadirannya pada setiap stesen pensampelan adalah kerana larvanya dapat beradaptasi kepada arus sungai yang tenang hingga ke air berarus deras (Che Salmah et al. 2001). Kawasan pensampelan yang mempunyai habitat air yang mengalir (lotik) turut meningkatkan kekayaan taksa pada order ini (Sangpradub et al. 2006). Secara umumnya, kelimpahan order Ephemeroptera yang tinggi biasanya dikaitkan dengan kualiti air yang amat bersih dan kandungan DO yang tinggi (Ahmad et al. 2013).

Baetidae merupakan salah satu famili di dalam order Ephemeroptera yang mendominasi kawasan pensampelan. Ahmad et al (2015a) menyatakan bahawa order Ephemeroptera seperti famili Baetidae merupakan salah satu penunjuk biologi yang baik bagi ekosistem sungai bersih. Menurut Che Salmah et al. 2001, order Ephemeroptera, Plecoptera dan Tricoptera merupakan order yang dicadangkan sebagai komponen biologi bagi program pemantauan biologi bagi mengakses kualiti air terutamanya di kawasan air bersih. Ahmad et al. (2013) menyatakan bahawa kelimpahan order Ephemeroptera yang tinggi biasanya dikaitkan dengan kualiti air yang amat bersih, kerana ia adalah indikator kepada kualiti air bersih dan sensitif.

Jadual 2. Nilai purata parameter kualiti air

Stesen	DO (mg/L)	Halaju Arus (cm/s)	pH	Konduktiviti ( $\mu\text{S/cm}$ )	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	COD	NH <sub>3</sub> N	TSS	WQI	Kelas	Status
Stesen 1	7.83 ± 0.01	0.513 ± 0.01	7.143 ± 0.01	30 ± 0.01	24.7 ± 0.00	0.70 ± 0.20	2.93 ± 1.16	0.043 ± 0.03	6.50 ± 2.46	97.11	I	Bersih
Stesen 2	7.4 ± 0.08	0.193 ± 0.06	7.09 ± 0.00	30 ± 0.00	24.7 ± 0.01	0.93 ± 0.05	5.07 ± 4.32	0.027 ± 0.02	7.00 ± 0.46	95.8	I	Bersih
Stesen 3	7.33 ± 0.01	0.03 ± 0.00	7.07 ± 0.02	29.33 ± 0.02	24.58 ± 0.02	1.44 ± 0.32	12.63 ± 16.36	0.070 ± 0.04	5.97 ± 0.35	93.12	I	Bersih
Stesen 4	7.16 ± 0.07	0.22 ± 0.01	7.06 ± 0.01	29 ± 0.01	24.63 ± 0.06	3.41 ± 2.34	11.57 ± 17.54	0.110 ± 0.06	4.13 ± 2.08	90.91	II	Bersih
Stesen 5	7.87 ± 0.01	0.03 ± 0.01	7.04 ± 0.02	29 ± 0.02	24.58 ± 0.00	1.51 ± 0.12	12.47 ± 16.77	0.073 ± 0.02	2.93 ± 0.31	94.27	I	Bersih

Jadual 3. Kepelbagaian makroinvertebrat bentik di Sungai Durian Perangin, Pulau Langkawi

Filum	Kelas	Order	Famili	Stesen					Jumlah
				S1	S2	S3	S4	S5	
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	55	18	16	12	20	121
			Baetidae	66	115	226	41	169	617
			Caenidae	12	32	1	55	55	155
			Heptageniidae	7	5	16	11	16	55
			Teloganodidae	2	7	1	2	7	19
			Ephemeridae	-	-	-	-	1	1
		Plecoptera	Perlidae	15	8	5	1	6	35
		Tricoptera	Hydropsychiidae	121	4	6	8	3	142
			Philopotamidae	18	-	3	-	1	22

		Leptoceridae	-	1	-	-	-	1
	Coleoptera	Elmidae	53	40	48	17	45	203
		Scirtidae	24	27	17	4	79	151
		Hydrophilidae	4	1	-	-	-	5
		Dytiscidae	1	-	-	-	-	1
		Eulichadidae	1	-	-	-	-	1
		Psephanidae	-	-	1	-	3	4
	Diptera	Chironomidae						
		Subfamily :						
		Orthocladinae	21	9	3	23	32	88
		Tanypodinae	4	21	-	14	36	75
		Chironominae	1	1	-	10	10	22
		Tipulidae	9	13	6	4	9	41
		Athericidae	-	1	-	1	-	2
		Culicidae	-	3	-	-	-	3
		Ceratopogonidae	-	-	-	-	2	2
	Odonata	Libellulidae	-	1	-	-	-	1
		Gomphidae	-	8	3	-	2	13
		Calopterygidae	-	2	-	2	-	4
		Cordulegastridae	-	-	-	1	-	1
	Lepidoptera	Crambidae	1	-	1	-	1	3
		Nocturidae	-	-	-	1	-	1
	Megaloptera	Corydalidae	-	-	1	-	-	1
	Malacostraca	Decapoda						
		Atyidae	3	46	-	3	-	52
		Potamidae	-	1	-	1	-	2
<b>Jumlah</b>			<b>418</b>	<b>364</b>	<b>354</b>	<b>211</b>	<b>497</b>	<b>1,844</b>



Famili Chironomidae adalah famili yang penting kerana julat adaptasi persekitaran famili ini yang luas (Ahmad & Shuhaimi-Othman 2014). Berdasarkan kajian yang sama, subfamili Chironominae adalah subfamili yang dominan di ekosistem tropika. Perkara ini bercanggah dengan kajian ini di mana subfamili Orthoclaadiinae adalah yang dominan. Ashe et al. (1987) melaporkan bahawa subfamili Orthoclaadiinae adalah lebih banyak di kawasan air sejuk dan ini bertepatan dengan kawasan kajian yang mempunyai ciri tersebut kerana kedudukannya terletak di kaki Gunung Raya, Langkawi.

Indeks kepelbagaian dan indeks biotik telah digunakan bagi menilai ekosistem Sungai Durian Perangin (Jadual 4). Berdasarkan perbandingan antara stesen, Stesen 1 mencatatkan nilai terendah (3.60) bagi indeks FBI mencatatkan yang mengklasifikasikan stesen ini berada pada tahap terbaik berbanding stesen – stesen yang lain. Stesen 1 merupakan stesen yang terletak di kawasan hulu sungai dan berdasarkan hasil yang diperolehi, stesen ini belum lagi mengalami penurunan kualiti ekosistem dan hasil ini bertepatan dengan hasil kualiti air (WQI) yang mencatatkan nilai tertinggi (97.11) berbanding stesen – stesen lain.

Jadual 4. Nilai purata Indeks Kepelbagaian dan Indeks Biotik di kawasan kajian

Stesen	Shannon $H'$	Pielou $J$	Margalef $D_{MG}$	BMWP	ASPT	FBI
1	2.17	0.77	2.82	79	4.65	3.60
2	2.25	0.75	3.39	102	5.1	4.19
3	1.39	0.5	2.73	76	4.75	3.63
4	2.07	0.73	3.18	81	4.76	5.44
5	1.98	0.7	2.74	82	4.82	4.12
<b>Purata</b>	<b>1.97±0.34</b>	<b>0.69±0.11</b>	<b>2.97±0.30</b>	<b>84±10.32</b>	<b>4.82±0.17</b>	<b>4.20±0.74</b>

Secara keseluruhannya, indeks kepelbagaian Shannon ( $H'$ ) mencatatkan nilai  $2.25 \pm 0.33$  memberi gambaran bahawa sungai Durian Perangin berada dalam keadaan ekosistem yang bersih. Oleh itu, indeks kepelbagaian Shannon memberikan keputusan yang sama dengan WQI bahawa kawasan pensampelan berada dalam keadaan yang bersih. Namun begitu, nilai purata ini dikira pada aras famili sahaja dan nilai anggaran sebenar adalah lebih tinggi sekiranya diukur pada aras spesies. Bagi indeks keseragaman Pielou ( $J$ ) pula, hasil yang diperolehi menunjukkan bahawa tahap keseragaman taksa adalah agak rendah. Ini berpunca daripada kewujudan ciri pendominasian takson tertentu seperti famili Baetidae. Nilai purata indeks kekayaan Margalef ( $D_{MG}$ ) secara keseluruhan menghampiri nilai tiga ( $2.97 \pm 0.30$ ) dan menggambarkan kekayaan taksa yang agak tinggi di sungai kajian.

Indeks biotik juga memperlihatkan respon organisma terhadap kualiti air dan menyokong data air yang telah dihasilkan. Indeks BMWP<sup>Thailand</sup> telah dikira berdasarkan penskoran oleh Mustow (2002) dan didapati pada julat 76 hingga 102 iaitu mewakili kualiti air tahap sederhana baik hingga baik.

Bagi indeks *Average Score per Taxon* (ASPT) yang dikira, didapati nilai berada pada julat 4.65 hingga 5.1 bagi semua stesen pensampelan. Julat indeks tersebut memberi maksud bahawa kualiti air berada dalam keadaan sederhana tercemar hingga sederhana bersih. Namun demikian, indeks ini tidak sesuai dilakukan di kawasan tropika, kerana ia lebih sesuai

digunakan di negara yang bermusim untuk mengimbangi data yang tidak seimbang diantara musim yang berlaku. Setiap indeks biotik yang dikemukakan adalah khusus bagi sesuatu kawasan geografi (Kalyoncu & Zeybek 2011). Menurut Suhaila et al. 2012, sungai di kawasan tropika dan temperat mempunyai perbezaan daripada pelbagai aspek seperti sejarah evolusi, penerimaan hujan, suhu air dan kepelbagaian hidupan tumbuhan riparian.

Indeks FBI, mencatatkan nilai 4.33 yang menunjukkan bahawa kualiti air di kawasan kajian berada dalam keadaan bersih. Indeks EPT menunjukkan nilai 6.31 yang menggambarkan kualiti air di Sungai Durian Perangin adalah baik. Secara keseluruhannya, keempat-empat indeks biotik yang dikira memberi gambaran bahawa kualiti air di sungai Durian Perangin berada pada tahap sederhana bersih hingga bersih bertepatan dengan NWQS dan WQI.

### Hubungan WQI Dengan Makroinvertebrat Bentik

Ujian korelasi Pearson menunjukkan hubungan WQI terhadap indeks kepelbagaian dan indeks biotik seperti Jadual 5.

Jadual 5. Hasil korelasi WQI terhadap indeks kepelbagaian dan indeks biotik

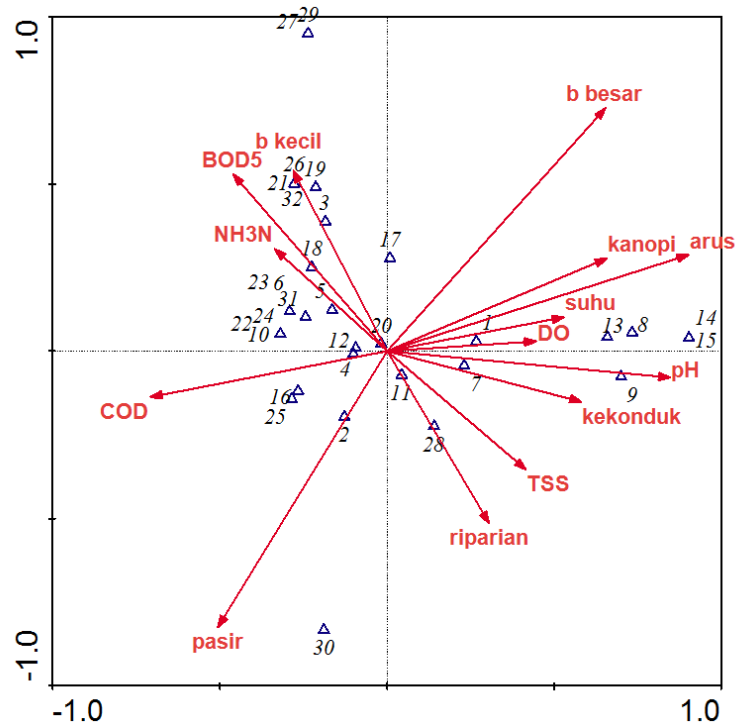
	Shannon	Pielou	Margalef	BMWP	ASPT	FBI	EPT
WQI	0.406	0.384	-0.071	0.329	0.139	0.532	-0.189

Indeks kepelbagaian Shannon berkorelasi dengan WQI menunjukkan hubungan positif yang sederhana ( $r = 0.406$ ,  $p < 0.05$ ). Ini menunjukkan bahawa perkembangan makroinvertebrat bentik dipengaruhi oleh kualiti air (WQI) kerana ekosistem kualiti air yang bersih dapat menampung kepelbagaian makroinvertebrat yang seimbang.

Hasil korelasi menunjukkan bahawa indeks BMWP, ASPT dan FBI mempunyai hubungan positif yang jelas terhadap WQI. Indeks FBI memperlihatkan bahawa kedua-dua pemboleh ubah mempunyai hubungan positif yang sederhana ( $r = 0.532$ ,  $p < 0.05$ ) yang menunjukkan hasil indeks ini adalah saling menyokong dan mempunyai persamaan di antara keduanya.

Hasil ujian korelasi WQI dengan indeks biotik menunjukkan satu hubungan positif yang sederhana. Ini memperlihatkan bahawa makroinvertebrat bentik berpotensi dijadikan penunjuk kepada ekosistem sungai melalui penggunaan indeks-indes biotik.

Berdasarkan Rajah 2, menunjukkan sebahagian besar famili makroinvertebrat bentik dipengaruhi oleh parameter biologi ( $BOD_5$  dan  $NH_3N$ ) dan sebahagian kecil pula oleh faktor fizikal seperti kanopi, halaju arus dan suhu. Baetidae jelas mengemari ciri substrat berpasir yang merupakan habitat utama sungai rekreasi seperti sungai kajian ini. Hasil yang sama juga diperolehi oleh Harrington dan Born (2000) dan Menetrey et al. (2008) yang menyatakan bahawa famili Baetidae mampu bertoleransi dengan kebanyakan tekanan persekitaran dan juga pendedapan atau sedimentasi. Perkara ini turut disokong oleh Jabatan Pengairan dan Saliran (t.th) yang menyatakan sebilangan famili Baetidae yang hidup di dalam pasir.



Rajah 2. CCA di antara kelimpahan makroinvertebrat bentik terhadap faktor fizikal dan faktor kimia di Sungai Durian Perangin, Langkawi.

1- Leptophlebiidae, 2- Baetidae, 3- Caenidae, 4- Heptageniidae, 5- Teloganodidae, 6- Ephemeridae, 7- Perlidae, 8- Hydropsychidae, 9- Philopotamidae, 10- Leptoceridae, 11- Elmidae, 12- Scirtidae, 13- Hydrophilidae, 14- Dytiscidae, 15- Eulichadidae, 16- Psephanidae, 17- Orthocladinae, 18- Tanypodinae, 19- Chironominae, 20- Tipulidae, 21- Athericidae, 22- Culicidae, 23- Ceratopogonidae, 24- Libellulidae, 25- Gomphidae, 26- Calopterygidae, 27- Cordulegastridae, 28- Crambidae, 29- Nocturidae, 30- Corydalidae, 31- Atyidae, 32- Potamidae.

## KESIMPULAN

Sungai Durian Perangin Pulau Langkawi, Kedah berada dalam keadaan bersih bertepatan dengan statusia sebagai sungai rekreasi. Lokasi kajian yang jauh dari sebarang punca pencemaran menjadikan air sungai ini berada dalam kelas I hingga II menurut NWQS dan sangat bersih berdasarkan WQI. Kepelbagaian makroinvertebrat bentik yang tinggi juga menyokong kawasan kajian berada pada ekosistem bersih. Penilaian indeks-indeks ekologi dan biotik menggunakan makroinvertebrat bentik sebagai agenpenilaian memperlihatkan satu persamaan dengan keputusan WQI. Ini menunjukkan bahawa dalam ekosistem kualiti air yang bersih, pengaruh persekitaran habitat juga perlu diambil kira dalam kajian kepelbagaian sebaran makroinvertebrat bentik.

## PENGHARGAAN

Penulis ingin merakamkan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, Jabatan Perkhidmatan Awam (JPA) dan Kementerian Pengajian Tinggi (KPT) di atas bantuan kewangan bagi menjayakan penyelidikan ini.

## RUJUKAN

- Ahmad, A. K., Abd Aziz, Z., Fun, H., Ling, T. & Shuhaimi Othman, M. 2013. Makroinvertebrat bentik sebagai penunjuk biologi di Sungai Kongkoi, Negeri Sembilan, Malaysia. *Sains Malaysiana* 42(5): 605-604.
- Ahmad, A. K. & Shuhaimi-Othman, M. 2014. Chironomid spatial distribution within the upstream of Sungai Langat Catchment. *Sains Malaysiana* 43(11): 1657-1663.
- Ahmad, A. K., Siti Hafizah, A. & Shuhaimi-Othman, M. 2015a. Potensi makroinvertebrat bentik sebagai penunjuk biologi di Sungai Ikan, Hulu Terengganu, Terengganu. *Sains Malaysiana* 44(5): 663-670.
- Ahmad, S., Kutty, A. A., Raji, F. & Saimy, I. S. 2015b. Water quality classification based on water quality index in Sungai Langat, Selangor, Malaysia. *Jurnal Teknologi* 77(30): 139-144.
- APHA. 1998. *Standard Method For Examination of Water and Waste Water*. USA: American Public Health Association.
- Ashe, P., Murray, D. & Reiss, F. 1987. The Zoogeographical distribution of chironomidae (Insecta: Diptera). *Annales de Limnologie* 23: 27-60.
- Azrina, M., Yap, C., Ismail, A. R., Ismail, A. & Tan, S. 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): 337-347.
- Che Salmah, M., Rawi, M., Zs, A. & Ahmad, A. H. 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.
- Gandaseca, S., Rosli, N., Ngayop, J. & Arianto, C. I. 2011. Status of water quality based on the physico-chemical assessment on river water at Wildlife Sanctuary Sibuti Mangrove Forest, Miri Sarawak. *American Journal of Environmental Sciences* 7(3): 269-273.
- HACH. 2003. *DR/2500 Spectrometer Instrument Manual For Use Softwrae*. USA: HACH Chemical Company.
- Harrington, J. & Born, M. 2000. *Measuring the Health of California Streams and Rivers: A Methods Manual for Water Resource Professionals, Citizen Monitors, and Natural Resources Students*. Sacramento, CA: Sustainable Land Stewardship International Institute.
- 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.
- Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS). t.th. *Panduan Penggunaan Makroinvertebrata Untuk Penganggaran Kualiti Air Sungai*. Kuala Lumpur: Jabatan Pengairan dan Saliran.

- Kalyoncu, H. & Zeybek, M. 2011. An application of different biotic and diversity indices for assessing water quality: A case study in the Rivers Ukurca and Isparta (Turkey). *African Journal of Agricultural Research* 6(1): 19-27.
- Kartikasari, D. 2013. Application of water quality and ecology indices of benthic macroinvertebrate to evaluate water quality of tertiary irrigation in Malang District. *Journal of Tropical Life Science* 3(3): 193-201.
- Li, L., Zheng, B. & Lusan Liu, L. 2010. Biomonitoring and bioindicators used for river ecosystems: Definitions, approaches and trends. *Procedia Environmental Sciences* 2: 1510-1524.
- Menetrey, N., Oertli, B., Sartori, M., Wagner, A. & Lachavanne, J. 2008. Eutrophication: Are mayflies (Ephemeroptera) good bioindicators for ponds? *Hydrobiologia* 597(1): 125-135.
- Merritt, R. W. & Cummins, K. W. 1978. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. 441. Dubuque: Kendall Hunt Publishing Company.
- Mustow, S. 2002. Biological monitoring of rivers in Thailand: Use and adaptation of the Bmwp Score. *Hydrobiologia* 479(1): 191-229.
- Nurhafizah-Azwa, S. & Ahmad, A. 2018. Biodiversity of benthic macroinvertebrates in Sungai Kisap, Langkawi, Kedah, Malaysia. *Journal of Tropical Resources and Sustainable Science* 6: 36-40.
- Parr, L. & Mason, C. 2003. Long-term trends in water quality and their impact on macroinvertebrate assemblages in Eutrophic Lowland Rivers. *Water Research* 37(12): 2969-2979.
- Sangpradub, N., Boonsoong, B. & Mekong River Commission, V. 2006. *Identification of Freshwater Invertebrates of The Mekong River and Its Tributaries*. Vientiane, Lao: MRC.
- Suhaila, A. H., Salmah, M. R. C. & Al-Shami, S. A. 2012. Temporal distribution of ephemeroptera, plecoptera and trichoptera (Ept) adults at a tropical forest stream: Response to seasonal variations. *The Environmentalist* 32(1): 28-34.
- Suratman, S., Ali, A. & Ting, L. T. 2005. Penilaian indeks kualiti air di lembangan Sungai Ibai, Terengganu. *Sains Malaysiana* 34(2): 55-59.
- Uherek, C. B. & Pinto Gouveia, F. B. 2014. Biological monitoring using macroinvertebrates as bioindicators of water quality of Maroaga Stream in the Maroaga Cave System, Presidente Figueiredo, Amazon, Brazil. *International Journal of Ecology* 2014: 1-7.
- Wahizatul, A. A., Long, S. H. & 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.

- Yap, C. K. & Rahim Ismail, A. 2011. Relationships 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.
- Yazdian, H., Jaafarzadeh, N. & Zahraie, B. H.2014. Relationship between Benthic Macroinvertebrate Bio- Indices and Physicochemical Parameters of Water: A tool for water resources managers. *Journal of Environmental Health Science and Engineering* 12(1): 30.