OSEANOLOGI DAN LIMNOLOGI DI INDONESIA

Online ISSN: 2477-328X

Akreditasi RISTEKDIKTI No. 21/E/KPT/2018

<http://oldi.lipi.go.id>

Evaluasi Rehabilitasi Riparian Sungai Ranggeh dengan Menggunakan Indikator Komunitas Makrozoobentos

Jojok Sudarso¹, Imroatushshoolikhah¹, Aiman Ibrahim¹, Siti Aisyah¹, dan Laela Sari¹

¹Pusat Penelitian Limnologi LIPI, Jl. Raya Jakarta bogor km 46, Cibinong, 16911

E-mail: yoyo@limnologi.lipi.go.id

Submitted 14 April 2020. Reviewed 26 May 2020. Accepted 2 July 2020.

DOI: [10.14203/oldi.2020.v5i2.311](https://doi.org/10.14203/oldi.2020.v5i2.311)

Abstrak

Makrozoobentos merupakan salah satu biota akuatik yang sering digunakan untuk menilai kesehatan ekosistem sungai. Evaluasi rehabilitasi riparian dengan indikator makrozoobentos telah umum digunakan di beberapa negara. Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi dampak program rehabilitasi riparian sungai Ranggeh dan mengetahui parameter lingkungan yang memengaruhi komunitas makrozoobentos di Sungai Ranggeh. Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari hingga September 2019. Pengambilan organisme makrozoobentos dilakukan dengan menggunakan *hess sampler* dengan luas area tersampling 0,2 m². Evaluasi kemudian dilakukan dua bulan setelah rehabilitasi riparian selesai. Setelah rehabilitasi riparian dilakukan, terdapat perubahan pada metrik biologi jumlah taksa, kelimpahan, dan jumlah taksa Ephemeroptera, Plecoptera, dan Trichoptera (EPT). Metrik jumlah taksa dan EPT meningkat setelah direhabilitasi, namun kelimpahannya sedikit menurun. Metrik jumlah taksa berkorelasi positif terhadap parameter konduktivitas ($r = 0,8$) dan korelasi negatif dengan turbiditas ($r = -0,91$) dan pH ($r = -0,77$). Metrik EPT berkorelasi negatif dengan parameter turbiditas ($r = -0,76$) dan % *embeddedness* (-0,94). Metrik kelimpahan total tidak sensitif terhadap parameter yang diukur dalam penelitian ini. Metrik biologi jumlah taksa dan EPT dapat digunakan dalam menilai dampak rehabilitasi habitat ekosistem sungai.

Kata Kunci: Makrozoobentos, Sungai Ranggeh, evaluasi, EPT, rehabilitasi.

Abstract

Evaluation of Riparian Rehabilitation in River River Using the Macrozoobenthos Community Indicator. Macrozoobenthos organism is one of aquatic biota which is often used to assess the river ecosystem health. The evaluation of riparian habitat rehabilitation using benthic macroinvertebrates has been commonly used in many countries. The purposes of this study were to evaluate the impact of Ranggeh river riparian rehabilitation and to determine environmental parameters that influenced benthic macroinvertebrate communities in Ranggeh River. This research was conducted from February to September 2019. Benthic macroinvertebrate samples were collected using Hess Sampler in a 0.2 m² sampling area. This evaluation was carried out after two months since the rehabilitation of riparian habitat completed. The results showed that rehabilitation of the riparian habitat has changed the community, in the aspects of biological metrics of taxa number, abundance, and taxa numbers of Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera (EPT). Furthermore, the taxa number and EPT metrics increased after habitat rehabilitation, however the abundance decreased slightly. In addition, the taxa number metric was positively correlated with conductivity parameter ($r = 0.8$),

but negatively correlated to turbidity ($r = -0.91$) and pH ($r = -0.77$). Meanwhile, the EPT metric was negatively correlated with turbidity parameters ($r = -0.76$) and % *embeddedness* ($r = -0.94$). The total abundance metric was not sensitive to the parameters measured in this study. Meanwhile, biological metrics for taxa number and EPT can be used to assess rehabilitation success of river ecosystem habitats.

Keyword: Benthic macroinvertebrates, river, evaluation, EPT, rehabilitation.

Pendahuluan

Zona riparian memiliki peran yang sangat penting bagi ekosistem akuatik. Zona riparian dapat didefinisikan sebagai zona peralihan antara ekosistem terestrial dan akuatik yang secara teratur dipengaruhi oleh air tawar. Biasanya zona tersebut memanjang dari bagian tepi sungai hingga menuju ke arah hulu. Karakteristik dari zona tersebut adalah adanya dominansi tumbuhan yang mampu beradaptasi dengan lingkungan basah. Beberapa fungsi penting dari zona riparian antara lain: habitat bagi banyak flora dan fauna, sumber energi untuk biota akuatik melalui masukan materi organik *allochthonous*, barier untuk mencegah banjir, erosi, maupun sedimentasi ke perairan, penyerap dan penyimpan air permukaan, dan merupakan filter alami dari nutrisi (N, P, Si, Ca, dan Mg) maupun bahan polutan lainnya. Sebagai contoh: kemampuan zona riparian untuk menahan nitrogen (TN) dari input lingkungan terestrial ke badan sungai dapat mencapai 67-89%. Mengingat peran penting dari zona tersebut ke lingkungan, maka zona tersebut perlu dijaga kelestariannya dari aktivitas antropogenik (Decamps et al., 2009; NRC, 2002).

Sungai Ranggeh termasuk dalam kategori sungai kecil dengan *inlet* dari Danau Maninjau. Sungai tersebut memiliki panjang sekitar 5,9 km dari hulu hingga muara serta merupakan salah satu jalur ruaya ikan asli danau (misal: *Rasbora maninjau*, *Gobioplerus brachypterus*, *Tor* sp.). Saat ini, kondisi riparian Sungai Ranggeh relatif terbuka dan banyak mengalami gangguan akibat longsor dan erosi saat musim hujan tiba. Banyak materi tanah yang tergerus dan mengendap di dasar sungai, sehingga habitat di dasar sungai cenderung homogen oleh sedimen halus (pasir) (Yustiawati et al., 2019). Oleh sebab itu, diperlukan upaya rehabilitasi riparian Sungai Ranggeh guna mencegah longsor maupun meningkatkan heterogenitas habitat di dasar sungai. Menurut Hines & Hershey (2011) dan Miller et al. (2010), secara umum tujuan dari rehabilitasi habitat sungai yaitu: meningkatkan heterogenitas habitat maupun kandungan oksigen terlarut, meningkatkan diversitas, kelimpahan, dan biomassa organisme akuatik melalui peningkatan

hidrolik dan ketersediaan makanan. Salah satu bentuk rehabilitasi habitat sungai yaitu: pengaturan batu di dasar sungai yang disesuaikan dengan morfologi sungai (misalnya: jeram, lubuk, dan *meander*) (Hines & Hershey, 2011). Sebagai upaya dalam rehabilitasi habitat riparian di Sungai Ranggeh, maka akan dilakukan pemasangan kawat bronjong dan pemasangan batu didasar sungai guna mempertahankan diversitas biota Sungai Ranggeh.

Organisme makrozoobentos sering digunakan sebagai indikator untuk memantau kualitas perairan akibat pencemaran, sedimentasi (Maneechan & Prommi, 2015), maupun evaluasi suksesnya rehabilitasi habitat (Besacier-Monbertrand et al., 2014; Miller et al., 2010). Organisme tersebut memiliki beberapa keunggulan dibandingkan biota lainnya antara lain: sifatnya yang relatif menetap, siklus hidup yang relatif panjang, sensitivitas yang bervariasi (sensitif hingga toleran), mampu mencerminkan perubahan spasial maupun temporal di perairan, dan memiliki peran penting dalam rantai makanan (trofik) (Spänhoff & Arle, 2007; Chessman, 2003; Barbour et al., 1999; Reice & Wohlenberg, 1993).

Serangga akuatik merupakan salah satu komponen dari komunitas makrozoobentos memiliki peran dalam dinamika ekologi ekosistem sungai dan secara luas dimanfaatkan sebagai bioindikator perairan (Stoyanova et al., 2014). Dari sekian banyak metrik biologi yang melibatkan serangga sebagai indikator, metrik jumlah taksa Ephemeroptera, Plecoptera, dan Trichoptera (EPT) paling sering dipilih untuk mengategorikan status gangguan pada ekosistem akuatik. Ketiga taksa tersebut relatif sensitif terhadap adanya perubahan kualitas air dan habitat di perairan. Pada beberapa kasus, dampak dari aktivitas antropogenik di sekitar sungai dapat menyebabkan perubahan pada jumlah taksa EPT. Oleh sebab itu kemunculan dari tiga taksa hewan tersebut biasanya mencerminkan kondisi perairan yang baik (minimnya gangguan pada ekosistem akuatik) (Hamid & Rawi, 2017; Stoyanova et al., 2014; Besacier-Monbertrand et al., 2014; Hamid & Rawi, 2011). Karena sensitivitas dari metrik biologi EPT ini yang baik terhadap adanya

gangguan ekologi di perairan, maka pada penelitian ini akan digunakan untuk evaluasi kegiatan rehabilitasi Sungai Ranggeh.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi dampak dari program rehabilitasi riparian di Sungai Ranggeh terhadap komunitas makrozoobentos dan mengetahui parameter lingkungan yang memengaruhi komunitas makrozoobentos di sungai tersebut.

Metodologi

Deskripsi lokasi penelitian

Penelitian ini dilakukan di lima titik stasiun pengambilan sampel (Gambar 1). Stasiun situs rujukan (SR1) merupakan bagian hulu Sungai Ranggeh yang mewakili daerah dengan gangguan aktivitas antropogenik (pertanian) ringan dan berlokasi dekat dengan hutan. Stasiun 2 (SR2) merupakan lokasi yang mewakili daerah pertanian. Stasiun 3 (SR3) merupakan daerah campuran antara pemukiman penduduk dan pertanian. Stasiun 4 (SR4) dan 5 (SR5) merupakan bagian hilir dari sungai Ranggeh yang mewakili daerah pertanian dan pemukiman dekat dengan Danau Maninjau dan merupakan target rehabilitasi habitat riparian. Deskripsi masing-

masing stasiun pengamatan ditampilkan dalam Tabel 1.

Desain penelitian

Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan pendekatan survei *ex post facto*. Dasar sistematika penelitian adalah evaluasi struktur komunitas makrozoobentos sebelum dan setelah dilakukan rehabilitasi habitat riparian. Rehabilitasi riparian Sungai Ranggeh dilakukan dengan memasang kawat bronjong yang diisi dengan batu di bagian pinggir sungai dan penanaman batu berukuran bongkah/*cobble* (6,5 cm-25 cm) di dasar sungai tempat pemasangan kawat bronjong. Pemasangan kawat bronjong tidak dilakukan di semua bagian tepi sungai, namun diprioritaskan hanya pada area yang rawan longsor. Ukuran kawat bronjong yang dipasang menyesuaikan dengan luas daerah yang terkena dampak oleh erosi. Kawat bronjong berukuran 40 m x 1 m x 1 m dipasang di stasiun SR4, sedangkan di stasiun SR5 berukuran 20 m x 1 m x 1 m. Jumlah total kawat bronjong yang diperlukan sebanyak 30 lembar. Pelaksanaan rehabilitasi riparian dilakukan di awal bulan Juni 2020, sedangkan evaluasi dampak baru dilakukan di bulan Juli dan Agustus 2020.

Gambar 1. Titik pengambilan sampel untuk penilaian komunitas makrozoobentos dan kualitas air di Sungai Ranggeh.

Figure 1. Sampling sites for analyzing macrozoobenthic assemblages and water qualities in Ranggeh River.

Tabel 1. Karakteristik habitat di setiap titik sampling.
Table 1. Habitat characteristics at each of sampling sites.

No	Station	Characteristics
1	SR1	It is an upstream part of the Ranggeh River, with an altitude of 810 m above sea level. The right side of the river is a rice fields and the left side is a forest. This site is a source of irrigation for rice fields in the downstream. Water velocity is an average of 0.18 m ³ / Sec. Substrates are dominated by large and small rocks. Water is clear with low stresses from agricultures.
2	SR2	This site is $\pm$ 500 meter below the SR1 with an altitude of 625 above sea level. The average water velocity is 0.04 m ³ /Sec. There are many large and small rocks on the right and left of the river. The water looks murky due to the impact of agricultural activities.
3	SR3	This site is near the bridge, approximately 700 meter from SR1 with a height of 530 m above sea level. The velocity is about 0,006 m ³ /Sec. There are many sandbanks in some places. The right side is residential areas while the left side is rice fields. The river is often dry following irrigation regulation.
4	SR4	This site is about 5300 m from SR1 with a height of 450 m above sea level. The width of river is about 1.2 m with the water velocity of 0.03 m ³ /Sec. The right and left of the river are rice fields. Tree trunks sink and block the flow of the river. The water is relatively clear. Substrates are dominated by sand. The edge of the river is a former landslide.
5	SR5	This site is about 5700 m from SR1 with an altitude of 449 m above sea level. The water velocity is approximately 0.04 m ³ /Sec. The left and right sides of the river are rice fields. Marks of landslides are visible on the right and left bank. There are many sandbanks with small rocks.

Teknik pengambilan contoh

Sampling dilakukan pada bulan Februari hingga Agustus 2019. Sampling pada bulan Februari dan Maret mewakili stasiun yang belum direhabilitasi habitat ripariannya, sedangkan sampling pada bulan Juli dan Agustus mewakili stasiun yang sudah direhabilitasi (SR4.2 dan SR5.2).

Pengukuran kondisi kualitas air Sungai Ranggeh dilakukan secara langsung di setiap stasiun pengamatan dengan menggunakan alat *Water Quality Checker* (WQC) Horiba U-50. Parameter yang diukur secara langsung di lapangan antara lain: oksigen terlarut (DO), pH, suhu, konduktivitas, total padatan terlarut (TDS), dan turbiditas. Pengukuran dilakukan sebanyak

tiga kali ulangan. Lebar Sungai Ranggeh selama penelitian relatif kecil ($\pm$ 1 m), sehingga pengambilan sampel air untuk analisis nutrien (Total Nitrogen dan Total Fosfor) dilakukan di bagian tengah sungai. Sampel air yang dibutuhkan untuk analisis TN dan TP sebanyak 250 ml. Analisis parameter total fosfor (TP) dan total nitrogen (TN) dilakukan di laboratorium Puslit Limnologi-LIPI dengan menggunakan alat spektrofotometer. Pengukuran TN dilakukan dengan menggunakan metode *brucine* (TN), sedangkan TP dilakukan dengan menggunakan analisis *ammonium molybdate* (APHA, 2005). Analisis % pasir dilakukan dengan mengambil 500 g sampel sedimen menggunakan sekop kecil. Persentase pasir di sedimen ditentukan dengan

menggunakan metode *granulometry*. Pemisahan pasir dilakukan dengan menggunakan saringan bertingkat (ukuran pori dari 2 mm - 0,063 mm) (Gee & Bauder, 1986). Penilaian persentase banyaknya batu yang tertanam di dasar sungai (% *embeddedness*) dilakukan secara kualitatif di masing masing stasiun pengamatan.

Di setiap stasiun pengamatan, pengambilan sampel makrozoobentos dilakukan sebanyak tiga kali (pinggir kiri, tengah, dan pinggir kanan) dan dikomposit menjadi satu sampel (luas area 0,2 m²). Pengambilan organisme makrozoobentos dilakukan dengan menggunakan alat *Hess Sampler* berdiameter 30 cm dengan ukuran pori 0,5 mm. Substrat di dalam area *Hess sampler* diaduk dengan tangan dan batu yang ada di dalam, disikat dengan sikat gigi agar organisme makrozoobentos dapat hanyut dan tertahan dalam saringan. Sampel dimasukkan dalam botol plastik yang bervolume 250 ml, kemudian diawetkan dengan menggunakan larutan alkohol 96%. Proses sortir dan identifikasi dilakukan di laboratorium Puslit Limnologi-LIPI. Sortir organisme makrozoobentos dilakukan di bawah mikroskop stereo dengan pembesaran 80x. Identifikasi makrozoobentos diusahakan hingga tingkat genus dengan menggunakan kunci identifikasi Merritt & Cummins (2019) dan Thorp & Covich (1991).

Analisis Data

Kesamaan struktur komunitas makrozoobentos antara situs rujukan, situs uji sebelum dan sesudah rehabilitasi dievaluasi dengan menggunakan rumus koefisien persen kesamaan (*similarity*) dari Czekanowski (1909) sebagai berikut:

$$PSC_{ij} = 200 \frac{\sum_{k=1}^n \min(X_{ik}, X_{jk})}{\sum_{k=1}^n (X_{ik} + X_{jk})}$$

Keterangan:

PSC_{ij} = Koefisien persen kesamaan

$\min$ = Nilai minimal dari kedua nilai X_i dan X_j .

i dan j = menunjukkan dua baris (kasus) dari matriks data.

k = menunjukkan kolom (variabel).

X_{ik} = data dalam kolom ke k baris ke i .

n = jumlah total variabel.

Penghitungan koefisien persen kesamaan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak MVSP versi 3.22 (Kovach, 2010).

Evaluasi rehabilitasi riparian dilakukan dengan menggunakan metrik biologi yang meliputi jumlah taksa, kelimpahan total, dan jumlah taksa EPT. Analisis korelasi *pearson product moment* digunakan untuk melihat sensitivitas metrik biologi dengan parameter

kualitas air Sungai Ranggeh. Analisis korelasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak STATISTICA versi 10 (Statsoft, 2011).

Hasil

Hasil rerata pengukuran kualitas air sebelum dan sesudah direhabilitasi menunjukkan parameter kualitas air menuju ke hilir yang cenderung meningkat (TDS, konduktivitas, suhu, turbiditas, TN, TP), kecuali % pasir, pH, dan % *embeddedness* yang cenderung menurun (Tabel 2). Setelah dilakukan rehabilitasi, parameter TDS, TN, dan konduktivitas meningkat. Bahkan TDS cenderung meningkat secara drastis hampir 1,5 kali lipat dari sebelum dilakukan rehabilitasi (4.1 dan 5.1). Namun, % *embeddedness* cenderung menurun karena penambahan substrat batu di dasar perairan.

Hasil analisis jumlah taksa dan kelimpahan organisme makrozoobentos dari hulu (SR1) hingga hilir (SR5) adanya penambahan jumlah taksa makrozoobentos di lokasi yang telah direhabilitasi, yaitu SR4.2 dan SR5.2 (Gambar 2). Pada stasiun 4 terjadi penambahan 8 taksa (SR4.1 ke SR4.2), dan di stasiun 5 terjadi penambahan 5 taksa (SR5.1 ke 5.2). Rerata kelimpahan di stasiun 4 cenderung meningkat dari 116 individu/m² (SR4.1) menjadi 135 individu/m² (SR4.2), namun sebaliknya di stasiun cenderung menurun 251 individu/m² (SR5.1) menjadi 145 individu/m² (SR5.2).

Komposisi organisme makrozoobentos di Sungai Ranggeh menunjukkan adanya tujuh ordo insekta, cacing Oligochaeta, Hirudinida, dan Gastropoda (Lampiran 1). Rehabilitasi habitat menambah jenis makrozoobentos yang ditemukan, terutama dari golongan insekta (Plecoptera, Ephemeroptera, Trichoptera, Lepidoptera, Coleoptera, dan Hemiptera). Namun, jumlah jenis pada taksa Diptera dan Oligochaeta cenderung berkurang. Kondisi ini akan memengaruhi pada rendahnya persen kesamaan komunitas makrozoobentos antara sebelum dengan sesudah direhabilitasi (Tabel 3). Keberadaan taksa insekta sensitif seperti Ephemeroptera, Plecoptera, dan Trichoptera (EPT) di stasiun SR4.2 dan SR5.2 merupakan sinyal positif akan berhasilnya program rehabilitasi habitat yang dilakukan. Setelah dilakukan rehabilitasi, struktur komunitas makrozoobentos penyusun stasiun 4.2 dan 5.2 cenderung sama, yang ditunjukkan oleh hasil analisis koefisien kesamaan sebesar 63,8%

Tabel 2. Rerata hasil pengukuran kualitas fisika dan kimia air Sungai Ranggeh. SR4.1 dan SR5.1 adalah stasiun sebelum rehabilitasi, sedangkan SR4.2 dan SR5.2 adalah stasiun setelah rehabilitasi (rerata $\pm$ SD).

Table 2. Average measurement of physical and chemical water qualities at Ranggeh River. SR4.1 and SR5.1 are sites before rehabilitation, while SR4.2 and SR5.2 are sites after rehabilitation (mean $\pm$ SD).

Parameters	Sampling Sites						
	SR1	SR2	SR3	SR4.1	SR 4.2	SR 5.1	SR5.2
TDS (mg/l)	42.2 $\pm$ 4	77.1 $\pm$ 3	78.7 $\pm$ 10	82.1 $\pm$ 14	123$\pm$1.4	80 $\pm$ 15	130$\pm$0.7
pH	7.8 $\pm$ 0.5	7.8 $\pm$ 0.6	7.9 $\pm$ 0.6	7.2 $\pm$ 0.1	7.1 $\pm$ 0.2	7.5 $\pm$ 0.1	7.1 $\pm$ 0.2
DO (mg/l)	8.2 $\pm$ 0.6	7.9 $\pm$ 0.5	6.5 $\pm$ 1.7	6.1 $\pm$ 1.1	6.4 $\pm$ 0.2	6.1 $\pm$ 0.6	6.4 $\pm$ 0.01
Conductivity (mS/cm)	0.098 $\pm$ 0.03	0.101 $\pm$ 0.03	0.117 $\pm$ 0.02	0.130 $\pm$ 0.05	0.189	0.128 $\pm$ 0.05	0.189 $\pm$ 0.02
Turbidity(NTU)	9 $\pm$ 5.6	52.9 $\pm$ 10.	168.5 $\pm$ 30	76.9 $\pm$ 11.	16.3	79.8 $\pm$ 15.	18
Temperature ($^{\circ}$ C)	21.5 $\pm$ 0.34	23.6 $\pm$ 1.2	24.8 $\pm$ 2.1	27.1 $\pm$ 0.7	27.6 $\pm$ 0.5	27.8 $\pm$ 1.4	27.4 $\pm$ 0.1
TN (mg/l)	0.54 $\pm$ 0.4	0.68 $\pm$ 0.3	1.12 $\pm$ 0.6	0.46 $\pm$ 0.2	0.69 $\pm$ 0.18	0.41 $\pm$ 0.01	0.96 $\pm$ 0.32
TP (mg/l)	0.05 $\pm$ 0.05	0.07 $\pm$ 0.05	0.08 $\pm$ 0.02	0.05 $\pm$ 0.02	0.07 $\pm$ 0.03	0.06 $\pm$ 0.02	0.08 $\pm$ 0.05
% Sand	92,2 $\pm$ 0.28	85,8 $\pm$ 6.2	84,6	91,7 $\pm$ 0.9	91,5 $\pm$ 0.14	91,7 $\pm$ 1.0	91,5 $\pm$ 0.1
% Embeddedness	20	30	60	50	35	55	40

Gambar 2. Jumlah taksa dan kelimpahan organisme makrozoobentos sebelum (SR4.1 dan SR5.1) dan setelah rehabilitasi riparian (SR4.2 dan SR5.2).

Figure 2. Number of taxa and abundance of benthic macroinvertebrates before (SR4.1 and SR5.1) and after riparian rehabilitation (SR4.2 and SR5.2).

Tabel 3. Matriks persen kesamaan dari komunitas makrozoobentos sebelum (SR4.1 dan SR5.1) dan sesudah direhabilitasi (SR4.2 dan SR5.2).

Table 3. Percentage of similarity matrix of the benthic macroinvertebrate communities in the riparian river before (SR4.1 and SR5.1) and after rehabilitation (SR4.2 and SR5.2).

	Sampling Sites						
	SR1	SR2	SR3	SR 4.1	SR4.2	SR5.1	SR5.2
SR1	100						
SR2	61,224	100					
SR3	6,897	7,692	100				
SR4.1	11,538	16,327	0	100			
SR4.2	36,667	45,614	5,405	33,333	100		
SR5.1	21,818	26,923	12,5	76,364	41,27	100	
SR5.2	22,951	34,483	5,263	39,344	63,8	53,125	100

Jumlah taksa EPT sebelum dan sesudah rehabilitasi riparian menunjukkan peningkatan yang signifikan (Gambar 3). Di stasiun SR4.1 terjadi peningkatan jumlah taksa EPT hingga 10 kali lipat (SR4.2) dan di stasiun SR5.1 terjadi peningkatan dua kali lipat (SR5.2). Jumlah taksa

EPT di stasiun SR 4.2 dan SR5.2 setelah direhabilitasi mendekati jumlah taksa EPT di bagian Hulu sebagai kontrol (SR1) maupun SR2 yang mencerminkan pengaruh dari aktivitas pertanian masih minim.

Gambar 3. Jumlah taksa EPT sebelum dan sesudah restorasi riparian di Sungai Ranggeh. Keterangan SR4.2 dan SR5.2 setelah direhabilitasi habitatnya.

Figure 3. Number of EPT taxa before and after riparian restoration in the Ranggeh River. Remarks SR4.2 and SR5.2 after the habitat rehabilitation.

Hasil analisis korelasi *pearson product moment* antara metrik biologi dengan parameter lingkungan yang diukur menunjukkan adanya sensitivitas metrik biologi jumlah taksa dan EPT (Tabel 4). Metrik jumlah taksa berkorelasi positif terhadap parameter konduktivitas ($r = 0,8$) dan korelasi negatif dengan turbiditas ($r = -0,91$) dan

pH ($r = -0,77$). Metrik biologi EPT berkorelasi negatif dengan parameter turbiditas ($r = -0,76$) dan % *embeddedness* ($r = -0,94$). Metrik kelimpahan total tidak menunjukkan adanya korelasi terhadap parameter yang diukur dalam penelitian ini.

Tabel 4. Korelasi *pearson product moment* antara metrik biologi dengan parameter lingkungan.
 Table 4. Pearson product moment correlation between biological metrics with environmental parameters.

Parameters	Taxa Number	Abundance	EPT
TDS	0,46	0,25	0,07
pH	-0,77	-0,56	0,01
DO	-0,10	-0,42	0,52
Conductivity	-0,80	0,50	0,27
Turbidity	-0,91	-0,47	-0,76
Temperature	0,40	0,60	-0,45
TN	-0,47	-0,62	0,02
TP	-0,51	-0,27	-0,19
% Sand	-0,14	0,07	-0,45
% Embeddedness	-0,47	0,08	-0,94

Pembahasan

Paska rehabilitasi riparian di Sungai Ranggeh menunjukkan adanya perubahan kualitas air yang cukup mencolok, khususnya pada parameter TDS, TN, konduktivitas, dan TP. Konsentrasi TN dan TP di Sungai Ranggeh memiliki kisaran rerata sebesar (0,69 – 0,96 mg/l) dan (0,07– 0,08 mg/l) paska rehabilitasi. Peningkatan parameter tersebut di atas dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain: 1). Selama pengerjaan penguatan pinggir sungai dengan kawat bronjong melibatkan proses *clearing* vegetasi riparian. Adanya proses pembusukan sisa *clearing* vegetasi riparian dapat meningkatkan kandungan nutrisi di perairan. Ekawati (2005) menyebutkan kandungan N dari proses pembusukan jerami mencapai 0,8-1,0%. Juwitanti et al. (2013) menunjukkan kandungan nitrat dan fosfat dari pembusukan daun eceng gondok sebesar 1,599 –2,053 mg/l dan 0,025 – 0,099 mg/l.2). Awal musim kemarau terjadi di bulan Juli dan Agustus yang berakibat pada debit sungai yang berkurang. Kondisi ini akan berpengaruh pada tingginya parameter TDS, konduktivitas, TN, dan TP di perairan. Adanya dominasi aktivitas pertanian maupun pemukiman penduduk di stasiun SR3 hingga SR5 berkontribusi dalam memberikan pengayaan nutrisi ke Sungai Ranggeh. Yanti (2017) menunjukkan kandungan TN dan TP di Sungai Kahayan yang didominasi oleh pertanian dan perkebunan dapat mencapai 1.53 mg/l dan 1,45 mg/l. Hanafi & Purnama (2012) menyebutkan kandungan TN dan TP di saluran air yang belum terpolusi oleh aktivitas antropogenik (hutan)

biasanya kurang dari 0,55 mg/l dan 0,04 mg/l, sedangkan daerah yang sudah terpolusi bisa melebihi 0,67 mg/l (TN) dan 0,28 mg/l (TP). Penggunaan pupuk dapat meningkatkan konsentrasi TN dan TP di sungai akibat pelindian (Frame & Reiter 2013). Kandungan N di pupuk urea bisa mencapai 46% (Saragih et al., 2013), sedangkan P di pupuk SP 36 sebesar 36% (Kasno 2009). Penggunaan deterjen dan limbah pemukiman penduduk juga berkontribusi dalam meningkatkan TN, TP, konduktivitas, dan TDS di sungai. Putri et al. (2014) menyebutkan senyawa fosfat dalam bentuk tripolifosfat merupakan komponen penting penyusun deterjen bubuk. Limbah organik dari feses dan urin manusia dapat menyumbang N sebesar 10-20 % dan P sebesar 20-50% di feses dan 65% di urin.

Nilai parameter turbiditas di stasiun SR1 hingga SR5 memiliki kisaran yang luas (2-230 NTU). Sampling pada kondisi sebelum rehabilitasi dilakukan pada musim hujan (bulan Februari dan Maret). Air *run off* membawa materi tersuspensi ke saluran sungai yang berdampak langsung pada tingginya parameter turbiditas dibandingkan saat musim kemarau (Agustus dan September). Quinn et al. (1992) menyebutkan nilai turbiditas di atas 23 NTU mampu menurunkan kekayaan taksa dan kepadatan sebagian besar organisme makrozoobentos. Dalam tabel 3 juga menunjukkan adanya korelasi negatif antara jumlah taksa dengan parameter turbiditas ($r = -0,91$). Partikel tersuspensi dapat memberikan dampak negatif bagi biota akuatik antara lain: menghalangi organ respirasi, merusak habitat pemijahan, menutupi substrat untuk mendapatkan makanan, menurunkan kandungan

oksigen terlarut di ruang *interstitial* sedimen, dan mengganggu perkembangan telur (Jones et al., 2012; Kemp et al., 2011). Dengan kondisi seperti itu, maka parameter turbiditas berpotensi sebagai ancaman bagi kehidupan makrozoobentos di Sungai Ranggeh.

Hasil pengukuran TN dan TP di Sungai Ranggeh menunjukkan kisaran berturut-turut 0.46-1.12 mg/l dan 0,05-0,08 mg/l. Di stasiun SR4 dan SR5 konsentrasi TN dan TP setelah dilakukan rehabilitasi cenderung meningkat hingga 0.96 mg/l dan 0.08 mg/l bila dibandingkan dengan kondisi sebelum rehabilitasi. Konsentrasi TN berkaitan dengan toleransi makrozoobentos. Ashton et al. (2013) menyebutkan makrozoobentos yang hidup di perairan dengan TN 1,68 mg/l dikategorikan sebagai organisme sensitif, sedangkan apabila TN > 1,68 mg/l termasuk organisme toleran. Berdasarkan pendapat peneliti tersebut secara umum makrozoobentos yang hidup di Sungai Ranggeh masih didominasi oleh taksa yang sensitif terhadap parameter TN. Sultana et al. (2019) menunjukkan kekayaan taksa makrozoobentos yang tinggi di Sungai Torrens (72 taksa) dan Onkaparinga (74 taksa) dengan konsentrasi TN berturut turut 4,450 mg/l dan 5,6 mg/l, serta TP 0,87 mg/l dan 0,56 mg/l. Barlow-Busch et al. (2006) menyebutkan pengayaan TP oleh aktivitas antropogenik di perairan > 30 µg P/l secara signifikan mampu meningkatkan biomassa alga bentik di sungai. Dari nilai konsentrasi TP tersebut di atas, maka memungkinkan tercukupinya biomassa alga dari Sungai Ranggeh sebagai sumber pakan alami bagi makrozoobentos.

Metrik kelimpahan dan jumlah taksa makrozoobentos dari hulu (SR1) hingga hilir (SR5) cenderung meningkat. Kondisi ini mungkin erat kaitannya dengan suhu air yang semakin ke hilir semakin meningkat. Ruzickova et al. (2017) menyebutkan pengaruh suhu air pada *epilithon* yang bersifat *thermophilic* akan meningkatkan biomassa, kekayaan taksa, dan diversitasnya di suhu 25-30 °C, dan akan menurun ketika suhu melebihi 30 °C. Berdasarkan suhu air di Sungai Ranggeh maka *epilithon* di sungai tersebut masih sesuai untuk tumbuh secara maksimal.

Persentase banyaknya batu yang tertanam di dasar sungai (*embeddedness*) dapat menurunkan jumlah taksa dan EPT dari makrozoobentos di Sungai Ranggeh. *Embeddedness* substrat dihasilkan dari endapan sedimen yang mengisi ruang *interstitial* di antara batuan dan dapat mengubah kualitas habitat (Jun

et al. 2011). Metrik biologi kekayaan taksa berkorelasi negatif dengan pH ($r = -0,77$), konduktivitas ($r = -0,8$), dan turbiditas ($r = -0,91$). Metrik EPT berkorelasi negatif dengan parameter turbiditas ($r = -0,76$) dan % *embeddedness* ($r = -0,94$). Metrik biologi EPT menunjukkan lebih stabil dan lebih sensitif dalam mendeteksi gangguan pada ekosistem lotik daripada kekayaan taksa (Brabec et al., 2004). Penelitian Jun et al. (2011) di Sungai Song dan Odae, Korea menunjukkan hal yang serupa yaitu adanya korelasi negatif antara parameter turbiditas dengan EPT ($r = 0,57$). Hamid & Rawi (2011) menyebutkan nilai EPT di Sungai Terai Malaysia cenderung rendah ketika % *embeddedness* di sungai mencapai 50-75%. Kekayaan taksa serangga air akan cenderung rendah ketika substrat dasar *flat* homogen, karena menyulitkan hewan tersebut untuk menempel dan ketersediaan materi organik yang rendah sebagai pakan. Kompleksitas fisik substrat yang memiliki permukaan kasar dapat digunakan untuk membantu melekatnya organisme makrozoobentos dan bertahan dari kuatnya arus air (Molukwu et al., 2014). Ruang *interstitial* di antara batuan dapat berfungsi sebagai tempat untuk berlindung maupun mencari makan bagi banyak makrozoobentos. Sedimentasi yang terjadi di sungai akan mengisi ruang *interstitial* yang berakibat pada rendahnya kandungan oksigen pada habitat tersebut (Jones et al., 2012).

Fluktuasi kelimpahan organisme makrozoobentos di Sungai Ranggeh setelah dilakukan rehabilitasi menunjukkan pola yang berbeda antara SR4.2 dan SR5.2 (Gambar 2). Namun pada pola tersebut masih terlihat kelimpahan makrozoobentos di stasiun yang sama setelah direhabilitasi masih lebih tinggi dibandingkan sebelum direhabilitasi. Kondisi ini kemungkinan disebabkan oleh masih terbatasnya waktu untuk terjadinya rekolonisasi organisme makrozoobentos secara maksimal (pengamatan hanya 2 bulan). Biasanya waktu suksesi dari komunitas makrozoobentos akan terlihat lebih jelas setelah 1 tahun dan selama tidak ada gangguan ekstrim lainnya (pencemaran maupun perusakan habitat oleh sedimentasi). Miller et al. (2010) menyebutkan restorasi habitat setelah 1 tahun memiliki pengaruh positif yang signifikan pada jumlah kekayaan taksa maupun kelimpahan makrozoobentos. Pada area habitat sungai yang telah dilakukan rehabilitasi, terdapat peningkatan rerata jumlah kekayaan taksa makrozoobentos sebesar 14,2 % dan peningkatan kelimpahan sebesar 28%.

Metrik persen kesamaan menunjukkan perubahan pada struktur komunitas sebelum dan setelah direhabilitasi (stasiun SR4 dan SR5). Adanya penambahan substrat berupa batu bongkah/*cobble* diduga meningkatkan jumlah taksa dari makrozoobentos. Setelah dilakukan rehabilitasi mulai muncul makrozoobentos yang biasa berasosiasi dengan batu seperti: Trichoptera (*Ceratopsyche*, *Cheumatopsyche*, *Macrostemum*), Ephemeroptera (*Plat-baetis*, *Baetis*, *Caenis*), dan Plecoptera (*Neoperla*). Kondisi ini merupakan sinyal positif dari sisi konservasi, karena keberadaan hewan EPT umumnya sensitif terhadap pencemaran, sedimentasi maupun gangguan lainnya pada ekosistem akuatik (Cobo et al., 2017). Bhandari et al. (2018) menyebutkan batu ukuran *cobble* dan *pebble* memiliki substrat yang lebih stabil guna mendapat makanan, perlindungan dari predator, maupun pengaruh fisik hidrolika (misal: kuatnya arus). Oleh sebab itu, keanekaragaman makrozoobentos tertinggi terdapat pada batu ukuran *cobble*. Molokwu et al. (2014) menyebutkan larva serangga famili Ephemeroptera (Caenidae), Trichoptera (Hydropsychidae), dan Plecoptera (Perlidae) memiliki preferensi untuk berasosiasi dengan substrat batu. Cacing Oligochaeta dan larva Diptera Chironomidae memiliki preferensi untuk hidup di sedimen (Cesar & Henry, 2017).

Metrik biologi EPT dan jumlah taksa biasa digunakan untuk menyusun kriteria biologi maupun penilaian gangguan pada ekosistem akuatik. Penelitian ini menunjukkan adanya korelasi positif antara jumlah taksa dengan konduktivitas. Nilai konduktivitas menunjukkan kemampuan suatu larutan untuk menghantarkan arus listrik. Besarnya nilai konduktivitas ini biasanya erat kaitan dengan pencemaran (Arlindia & Afdal, 2015). Banyaknya ion yang terkandung dalam larutan dipengaruhi oleh mineral maupun padatan terlarut di dalamnya (Irwan & Afdal, 2016). Semakin ke arah hilir nilai konduktivitas cenderung meningkat akibat masukan air permukaan, limbah pertanian maupun perumahan, dan pelarutan mineral batuan dari badan sungai (Arlindia & Afdal, 2015). Selama kandungan ion yang terkandung di perairan masih dapat ditoleransi oleh biota makrozoobentos, maka ada kemungkinan jumlah taksa dari hewan tersebut dapat meningkat seperti yang terjadi di Sungai Ranggeh. Nilai konduktivitas kurang dari 0,3 mS/cm dapat melindungi sebagian besar kehidupan biota akuatik di Sungai Appalachian tengah (US-EPA, 2017). Benetti et al. (2012) menunjukkan nilai konduktivitas 0,186 mS/cm

berkorelasi negatif dengan kekayaan taksa. Karena sebagian besar hasil pengukuran konduktivitas masih dibawah 0,186 mS/cm kecuali di SR 4.2 dan 5.2 (0,189 mS/cm), maka masih memungkinkan makrozoobentos mampu beradaptasi dengan baik yang ditandai dengan jumlah taksa yang meningkat ke arah hilir.

Pengaruh pH pada kehidupan makrozoobentos memiliki peran penting dalam pengaturan pertukaran ion, respirasi, dan absorpsi kalsium untuk perkembangan *eksoskeleton* (Anonymous, 2004). Penelitian ini menunjukkan korelasi positif antara jumlah taksa makrozoobentos dengan parameter pH ($r = 0,77$). Penelitian Kulberg (1992) menunjukkan adanya korelasi positif jumlah taksa makrozoobentos dengan pH ($r^2 = 0.492$) dan warna air asam humat ($p < 0,05$). Namun untuk metrik kelimpahan memiliki korelasi yang lemah. Nilai pH $< 5,5$ dapat menurunkan secara drastis jumlah taksa makrozoobentos. Nilai pH air antara 6,5-9 dapat mendukung kehidupan sebagian besar hewan akuatik dalam jangka waktu yang relatif panjang (Anonymous, 2004). Nilai pH Sungai Ranggeh yang berkisar 6,9-8,6 masih mendukung kehidupan makrozoobentos.

Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan antara lain bahwa evaluasi rehabilitasi habitat Sungai Ranggeh dengan indikator organisme makrozoobentos dapat mencerminkan adanya perubahan struktur komunitas berupa peningkatan jumlah taksa makrozoobentos dan EPT, namun untuk kelimpahannya relatif berfluktuasi setelah dilakukan rehabilitasi. Beberapa organisme yang tergolong sensitif seperti: Ephemeroptera, Plecoptera, dan Trichoptera mulai menunjukkan adanya kolonisasi sehingga mampu meningkatkan jumlah taksa secara keseluruhan. Beberapa faktor lingkungan penting seperti pH, turbiditas, konduktivitas, dan % *embeddedness* berkontribusi dalam memengaruhi metrik biologi dari struktur komunitas (jumlah taksa dan EPT). Implikasi dari rehabilitasi habitat ini dapat menciptakan fungsional *feeding location* baru yang belum ada sebelumnya pada lokasi yang dilakukan rehabilitasi.

Persantunan

Ucapan terima kasih kami tujukan pada sdr. Aan Dianto yang telah membantu dalam pembuatan peta lokasi sampling. Tak lupa penulis

ucapkan terima kasih pada pemerintah yang telah mendanai kegiatan penelitian ini melalui skema program Prioritas Nasional: Pengelolaan Danau Maninjau Berbasis Daya Dukung Ekosistem Guna Mendukung Sektor Perikanan dan Pariwisata di Danau Maninjau tahun 2019.

Daftar Pustaka

- APHA. (2005). *Standard methods for the examination of water and waste water*. in: A.D Eaton, L.S Clesceri, M.A.H. Franson, E.W. Rice, A.E Greenberg (eds): American public health association. American water work association and water environmental federation Inc. Volume 5. New York. 1220 pp.
- Anonymous. (2004). *pH Requirements of freshwater aquatic life*, Robertson-Bryan Inc.13 pp.
- Arlindia, I., & Afdal. (2015). Analisis pencemaran Danau Maninjau dari nilai TDS dan konduktivitas listrik. *Jurnal Fisika Unan*,4 (4), 324-331.
- Ashton, M.J., Morgan, R.P., &Stranko, S. (2014). Relations between macroinvertebrates, nutrients, and water quality criteria in Wadeable streams of Maryland, USA. *Environ. Monit. Assess.*186, 1167–1182.
- Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D., &Stribling, J.B. (1999). *Rapid bioassessment protocols for use in streams and Wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish*, Second edition, EPA 841-B-99-002. US-EPA. Office of Water Washington D.C.
- Barlow-Busch, L., Baulch, H.M.,&Taylor, W.D. (2006). Phosphate uptake by seston and epilithon in the Grand River, southern Ontario. *Aquatic Sciences*,68(2),181-192.
- Benetti, C.J., Pérez-Bilbao, A., &Garrido, J. (2012). Macroinvertebrates as Indicators of Water Quality in Running Waters: 10 Years of Research in Rivers with Different Degrees of Anthropogenic Impacts. In: Voudouris (eds). *Ecological Water Quality–Water Treatment and Reuse*, InTech. China. 95-122.
- Bhandari, B., Tachamo Shah, R.D., &Sharma, S. (2018). Status, distribution and habitat specificity of benthic macroinvertebrates: A case Study in five tributaries of Buddhiganga River in Western Nepal. *Journal of Institute of Science and Technology* ,23,69-75.
- Besacier-Monbertrand, A.L., Paillexa, A., &Castella, B.E. (2014). Short-term impacts of lateral hydrological connectivity restoration on aquatic macroinvertebrates. *River Res. Applic.* 30, 557–570.
- Brabec, K., Zahradkova, S., Nemejcova, D., Paril, J., Kokeš, P., &Jarkovsk, J. (2004). Assessment of organic pollution effect considering differences between lotic and lentic stream habitats. *Hydrobiologia*, 516, 331–346.
- Cesar, D.A.S.,& Henry, R. (2017). Is similar the distribution of Chironomidae (Diptera) and Oligochaeta (Annelida, Clitellata) in a river and a lateral fluvial area? *Acta Limnologica Brasiliensia* 29 (6). <http://doi.org/10.1590/S2179-975x1217>
- Chessman, B. (2003). Signal 2 – A Scoring System for macroinvertebrate (water bug) in Australian River, Monitoring river health initiative technical report no 31, Commonwealth in Australia. Canberra. 32pp.
- Cobo, R.J., Everaert, G., Iñiguez-Vela, X., Córdova-Vela, G., Díaz-Granda, C., Cisneros, F., Nopens, I., &Goethals, P.L.M. (2017). A Methodology to model environmental preferences of ept taxa in the Machangara River Basin (Ecuador). *Water*, 195(9), 1–31. <https://doi.org/10.3390/w9030195>
- Czekanowski, J. (1909). Zur differential-diagnose der neander-talgruppe, korrespbl. *Dt. Ges. Anthropol.* 40,44-47.
- Decamps, H., Naiman, R.J., &McClain, M.E. (2009). Riparian zones, in: Likens G.E. (eds). *Encyclopedia of Inland Waters*, Elsevier, USA. 396-403.
- Ekawati, I. (2005). Mineralisasi nitrogen pada pengomposan jerami. *Jurnal AGRI-TEK*.5(2): 1-3.
- Frame, H., & Reiter, M.S. (2013). Enhanced efficiency fertilizer materials: Nitrogen stabilizer. Petersburg: Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Gee, G.W.,& Bauder, J.W. (1986). Particle size analysis, in: Klute A. (eds). *Methods of Soil Analysis (Part 1). Physical and mineralogical methods*. second edition. American Society of Agronomy, Agronomy Monograph 9 (1), Madison, Wisconsin, 1188pp.
- Hamid, S.A.,& Rawi, C.S. (2017). Application of aquatic insects (Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera) in water quality

- assessment of Malaysian Headwater. *Tropical Life Sciences Research*, 28(2), 143–162.
- Hamid, S.A., & Rawi, C.S. (2011). Influence of substrate embeddedness and canopy cover on the distribution of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT) in tropical rivers, Aquatic Insects: *International Journal of Freshwater Entomology*, 33(4), 281–292.
- Hanafi, S., & Purnama, J. (2012). Konsentrasi nutrien di saluran pembuangan Kota Makassar: Sebuah survei awal. *Jurnal Sainsmat*, 1(1), 68–78.
- Hines, S.L., & Hershey, A.E. (2011). Do channel restoration structures promote ammonium uptake and improve macroinvertebrate-based water quality classification in urban streams? *Inland Waters*, 1, 133–145.
- Irwan, F., & Afdal. (2016). Analisis hubungan konduktivitas listrik dengan total dissolved solid (tds) dan temperatur pada beberapa jenis air. *Jurnal Fisika Unand*, 5(1): 85–93.
- Jones, J.I., Murphy, J.F., Collins, A.L., Sear, D.A., Naden, P.S., & Armitage, P.D. (2012). The impact of fine sediment on macroinvertebrates. *River Research and Application*, 28, 1055–1071.
- Jun, Y.C., Kim, N., Kwon, S., Han, S., Hwang, I., Park, J., Won, D., Byun, M., Kong, H., Lee, J., & Hwang, S. (2011). Effects of land use on benthic macroinvertebrate communities: Comparison of two mountain streams in Korea. *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology*, 47, 35–49.
- Juwitanti, E., Ain, C., & Soedarsono, P. (2013). Kandungan nitrat dan fosfat air pada proses pembusukan eceng gondok (*Eichhornia* Sp.), *Diponegoro Journal of Maquares*, 2, 46–52.
- Kasno, A. (2009). *Jenis dan sifat pupuk anorganik*. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- Kemp, P., Sear, D., Collins, A., Naden, P., & Jones, I. (2011). The Impacts of fine sediment on riverine fish. *Hydrological Processes*, 25, 1800–1821.
- Kovach, W.L., (2010). *MVSP - A MultiVariate Statistical Package for Windows, ver. 3.2*. Kovach Computing Services. Pentraeth, Wales. U.K.
- Kuliberg, A. (1992). Benthic macroinvertebrate community structure in 20 streams of varying pH and humic content. *Environmental Pollution*, 78, 103–106.
- Maneechan, W., & Prommi, T.O. (2015). Diversity and distribution of aquatic insects in streams of the Mae Klong watershed, Western Thailand. *Psyche A Journal of Entomology*, 2015(2), 1–7, <http://doi.org/10.1155/2015/912451>
- Merritt, R.W., & Cummins, K.W. (2019). *An introduction of the aquatic insects of North America*, 5th Edition. Kendall Hunt Publishing Company. Dubuque. Iowa. 1498 pp.
- Miller, S.W., Budy, P., & Schmidt, J.C. (2010). Quantifying macroinvertebrate responses to in-stream habitat restoration: applications of meta-analysis to river restoration. *Restoration Ecology*, 18(1), 8–19.
- Molokwu, N.D., Pedro, G., Bradshaw, T., Blake, A., Hennessey, C., & Merten, E. (2014). Effects of substrate on the benthic macroinvertebrate community: an experimental approach. *Ecological Engineering*, 73, 109–114.
- National Research Council (NRC). 2002. *Riparian Areas: Functions and Strategies for Management*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/10327>
- Quinn, J.M., Davies-Colley, R.J., Hickey, C.W., Vickers, M.L., & Ryan, P.A. (1992). Effects of clay discharges on streams. 2. Benthic invertebrates. *Hydrobiologia*, 248, 235–247.
- Reice, S.R., & Wohlenberg, M., (1993). Monitoring freshwater benthic macroinvertebrates and benthic processes: measure for assessment of ecosystem health, in D. Rosenberg & V.H. Resh (Eds): *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*, Chapman & Hall. New York. 287–305 hal.
- Ruzickova, S., Weisssova, V., Uher, B., & Helesic, J. (2017). Macroinvertebrate herbivores and epilithon algae community of a stream affected by mineralized heated mining water inflow. *Ann. Limnol- Int. J. Lim.*, 53(2017), 189–201.
- Putri, F.D.M., Wisyastuti, E., & Christiani. (2014). Hubungan perbandingan total nitrogen dan total fosfor dengan kelimpahan chrysophyta di perairan Waduk Panglima Besar Soedirman, Banjarnegara. *Scripta Biologica*, 1(1), 196–101.
- Saragih, D., Hamim, H., & Nurmauli, N. (2013). Pengaruh dosis dan waktu aplikasi pupuk urea dalam meningkatkan pertumbuhan dan

- hasil jagung pioneer 27. *J. Agrotek Tropik*, 1(1), 50-54.
- Spänhoff, B., & Arle, J. (2007). Setting attainable goals of stream habitat restoration from a macroinvertebrate view. *Restoration Ecology*, 15, 317–320.
- StatSoft.Inc. (2011). STATISTICA (data analysis software system), version 10. www.statsoft.com.
- Stoyanova, T., Vidinova, Y., & Tyufekchieva, V. (2014). Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera as indicators for ecological quality of the Luda Reka River, Southwest Bulgaria. *Acta Zoologica Bulgarica*, 66(2), 255-260.
- Sultana, J., Recknagel, F., Tibby, J., & Maxwell, S. (2019). Comparison of water quality thresholds for macroinvertebrates in two Mediterranean catchments quantified by the inferential techniques TITAN and HEA. *Ecological Indicators*, 101, 867–877.
- Thorp, J.H., & Covich, A.P. (1991). *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates*. Academic Press. Inc. New York.
- US-EPA. (2017), Water Quality 101. Retrieved from <https://ace-project.org/water-quality-101/>.
- Yanti, E.V. (2017). Dinamika musiman kualitas air di daerah Sungai Kahayan Kalimantan Tengah. *Ziraa'ah*, 42(2), 107-118.
- Yustiawati, Syawal, M., & Aisyah, S., (2019). Pengukuran kondisi fisika dan kimia Sungai Ranggeh dalam rangka pengelolaan perikanan di Danau Maninjau. Prosiding Pertemuan Ilmu Lingkungan Nasional Universitas Padjadjaran.

Lampiran

Lampiran 1. Komposisi komunitas makrozoobentos di Sungai Ranggeh (keterangan 1 = ada, 0 = tidak ada).

Appendix 1. Composition of macrozoobenthic communities in the Ranggeh River. (annotation 1 = present, 0 = absent)

Taksa	Ordo	Sampling Sites						
		SR 1	SR 2	SR 3	SR 4.1	SR 4.2	SR 5.1	SR 5.2
<i>Neoperla</i> sp.	Plecoptera	1	1	0	0	1	0	0
<i>Indonemoura</i>	Plecoptera	1	0	0	0	0	0	0
<i>Amphinemura</i>	Plecoptera	1	1	0	0	0	0	0
<i>Ceratopsyche cf ventura</i>	Trichoptera	1	1	1	0	1	1	1
<i>Hydropsyche</i> sp.	Trichoptera	1	1	0	0	0	0	0
<i>Cheumatopsyche</i>	Trichoptera	1	1	0	0	1	0	1
Genus 1 (undescribed)	Trichoptera	1	0	0	0	0	0	0
<i>Hydromanicus</i>	Trichoptera	0	1	0	0	0	0	0
<i>Macrostemum</i>	Trichoptera	0	0	0	0	1	0	1
<i>Diplectrona</i>	Trichoptera	0	0	0	0	0	0	1
<i>Agapetus</i>	Trichoptera	1	1	0	0	1	0	0
<i>Tinodes</i>	Trichoptera	1	0	0	0	0	0	0
<i>Lepidostoma cf hirtum</i>	Trichoptera	1	1	0	0	0	0	0
<i>Brachycentrus</i>	Trichoptera	0	1	0	0	0	0	0
<i>Wormaldia</i> sp.	Trichoptera	0	0	0	0	0	0	1
<i>Hydroptila</i>	Trichoptera	0	0	0	0	1	0	0
<i>Erotesis</i>	Trichoptera	0	0	0	0	1	0	1
<i>Oecetis</i>	Trichoptera	0	0	0	0	0	0	1
cf. <i>Notoperata</i>	Trichoptera	0	0	0	0	0	0	1
<i>Eoophyla</i>	Lepidoptera	1	1	0	0	1	0	1
<i>Eoophyla</i> sp 1	Lepidoptera	0	0	0	0	1	0	1
<i>Hydrobasileus</i> sp.	Odonata	1	0	0	0	0	0	0
cf <i>Zyxomma</i>	Odonata	0	1	0	0	0	0	0
<i>Anax cf geogius</i>	Odonata	1	0	0	0	0	0	0
<i>Macromia</i>	Odonata	1	0	0	0	0	0	0
cf. <i>Erpetogomphus</i>	Odonata	0	0	1	0	0	0	0
<i>Platybaetis gagadjuensis</i>	Ephemeroptera	1	1	0	0	1	1	1
<i>Baetis</i> sp.	Ephemeroptera	1	1	0	1	1	1	1
<i>Tricorythodes</i>	Ephemeroptera	1	0	0	0	0	0	0
<i>Caenis</i>	Ephemeroptera	0	1	0	0	1	0	1
<i>Simsonia longipes</i>	Coleoptera	1	1	0	0	0	0	0
<i>Simsonia leai</i>	Coleoptera	0	0	0	0	1	0	1
<i>Stenelmis</i>	Coleoptera	1	0	0	0	1	0	0
cf. <i>Ancyronyx</i>	Coleoptera	0	0	0	0	1	0	0
<i>Microcylloepus</i>	Coleoptera	0	1	0	0	1	0	1
<i>Zaitsevia</i>	Coleoptera	0	1	0	0	1	0	0
<i>Elmormorphus</i> sp.	Coleoptera	1	1	0	0	1	0	0
<i>Cercyon</i> sp.	Coleoptera	1	0	0	0	0	0	0
<i>Berosus</i> sp.	Coleoptera	1	0	0	0	0	1	0

<i>Tropisternus</i>	Coleoptera	0	0	0	0	1	0	0
<i>Laccobius</i>	Coleoptera	0	0	0	0	0	0	1
<i>Helophorus</i> sp.	Coleoptera	1	0	0	0	0	0	0
<i>Gyretes</i> sp.	Coleoptera	0	0	0	0	1	0	0
<i>Prosimulium</i>	Diptera	1	1	0	0	0	0	0
<i>Greniera</i>	Diptera	0	1	0	1	0	1	0
<i>Simulium</i>	Diptera	0	0	0	0	1	1	1
<i>Monopelopia</i>	Diptera	1	1	0	1	1	1	1
Tanypodinae 1	Diptera	0	0	0	1	0	1	0
<i>Procladius</i>	Diptera	0	0	0	1	0	0	0
<i>Polypedilum</i>	Diptera	1	1	0	1	1	1	1
<i>Cryptochironomus</i>	Diptera	0	0	0	1	1	1	1
<i>Tanytarsus</i>	Diptera	0	0	0	1	1	1	1
<i>Rheotanytarsus</i>	Diptera	0	0	0	1	0	1	0
<i>Eukeifferiella</i>	Diptera	0	0	0	1	0	1	0
<i>Orthocladius</i>	Diptera	0	0	0	1	1	1	1
<i>Nanocladius</i>	Diptera	0	0	0	1	1	1	1
<i>Parakiefferiella</i>	Diptera	0	0	0	1	1	1	1
Orthocladinae 1	Diptera	0	0	0	1	0	1	1
Orthocladinae 2	Diptera	0	0	0	1	0	1	1
<i>Rheocricotopus</i>	Diptera	0	0	0	0	0	1	1
Orthocladinae 3	Diptera	0	1	0	0	0	1	1
<i>Chironomus</i>	Diptera	0	0	0	1	1	1	1
Tanytarsini 1	Diptera	0	0	0	1	1	1	1
<i>Dicranota</i>	Diptera	0	0	0	0	1	0	0
<i>Eloeophila</i> Rondani,1856	Diptera	0	0	0	0	1	0	0
Limonidae sp 1	Diptera	0	0	0	0	0	0	1
<i>Psychoda</i>	Diptera	0	0	0	0	0	0	1
Megadrile	Oligochaeta	0	0	0	1	0	0	0
<i>Pristina synclites</i>	Oligochaeta	0	0	0	1	0	1	0
<i>Pristina menoni</i>	Oligochaeta	0	0	0	1	0	0	0
<i>Dero (dero) digitata</i>	Oligochaeta	0	0	0	1	0	1	0
<i>Dero(Aulophorus) flabelliger</i>	Oligochaeta	0	0	0	1	0	1	0
<i>Allonais inequalis</i>	Oligochaeta	0	0	0	1	0	1	0
<i>Nais communis</i>	Oligochaeta	0	0	0	1	0	0	0
cf. <i>Placobdella</i>	Hirudinida	0	0	0	0	0	1	0
<i>Erpobdellidae</i> 1	Hirudinida	0	0	0	0	1	0	0
<i>Micronecta</i>	Hemiptera	0	0	0	1	0	1	0
<i>Ragovelia</i>	Hemiptera	0	0	0	0	1	0	1
<i>Pelocoris femoratus</i>	Hemiptera	0	0	0	0	0	0	1
<i>Physa</i> sp.	Gastropoda	0	0	0	1	0	0	0
<i>Lymnaea</i>	Gastropoda	0	0	1	0	0	1	0
<i>Gyraulus</i> cf. <i>laevis</i>	Gastropoda	0	0	0	0	0	0	1