

Penggunaan Makrozoobentos Dalam Penilaian Kualitas Perairan Sungai *Inlet* Danau Maninjau, Sumatera Utara

Aiman Ibrahim*, Jajok Sudarso, Imroatusshoolikhah, Reliana Lumban Toruan, Laela Sari

Pusat Riset Limnologi-Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN);

ABSTRAK

Danau Maninjau yang terletak di Provinsi Sumatera Barat telah ditetapkan sebagai salah satu danau prioritas nasional diantara 15 danau lainnya. Kondisi kualitas air Danau Maninjau salah satunya dipengaruhi oleh kondisi kualitas air dari sungai-sungai yang bermuara di danau tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi kualitas air sungai *inlet* Danau Maninjau dengan menggunakan bioindikator makrozoobentos. Penelitian dilakukan pada bulan Juni dan Agustus 2019 di empat sungai *inlet* Danau Maninjau yang meliputi Sungai Koto Kaciak, Kurambik, Kularian, dan Ranggeh Bayur. Pengambilan sampel makrozoobentos dilakukan di segmen hulu, tengah, dan hilir dengan menggunakan *kick net* pada substrat berbatu dan berpasir, serta pengeruk Ekman pada substrat berlumpur. Berdasarkan hasil penelitian, ditemukan makrozoobentos di keempat sungai *inlet* dengan kisaran 5-25 famili dan 4-10 ordo yang tergolong ke dalam delapan kelas meliputi Insekta, Clitellata, Malacostraca, Bivalvia, Gastropoda, Polychaeta, Hirudinea, dan Turbellaria. Hasil analisis korelasi Spearman antara metrik biologi dengan *Water Quality Index* (WQI) menunjukkan bahwa metrik SIGNAL, EPT, dan LQI memiliki korelasi yang sangat kuat dengan nilai $r > 0,7$ ($p < 0,01$). Metrik SIGNAL dengan korelasi tertinggi ($r = 0,752$) menunjukkan kondisi perairan sungai *inlet* Danau Maninjau yang tercemar ringan hingga berat. Metrik SIGNAL, EPT, dan LQI dapat diaplikasikan untuk melengkapi penilaian parameter fisik kimiawi perairan sungai *inlet* Danau Maninjau.

Kata kunci: Danau Maninjau, makrozoobentos, metrik biologi, sungai *inlet*.

ABSTRACT

Lake Maninjau which is located in West Sumatra Province has been designated as one of the national priority lakes among 15 other lakes. Water quality conditions of Lake Maninjau is influenced by the condition of the water quality of the streams that flow into the lake. The present study aimed to determine the condition of the water quality of the inlet stream of Lake Maninjau by using macrozoobenthos as bioindicators. This study was conducted in June and August 2019 in four inlet streams of Lake Maninjau including the Koto Kaciak, Kurambik, Kularian, and Ranggeh Bayur streams. A sampling of macrozoobenthos was carried out in the upstream, middle, and downstream using Surber nets on rocky and sandy substrates, and Ekman Grab on muddy substrates. Based on the results of this study, macrozoobenthos were found in the four inlet streams with a range of 5-25 families and 4-10 orders and classified into eight classes including Insects, Clitellata, Malacostraca, Bivalvia, Gastropods, Polychaeta, Hirudinea, and Turbellaria. The results of the Spearman correlation analysis between biological metrics and the Water Quality Index (WQI) show that the SIGNAL, EPT, and LQI metrics have a very strong correlation with r values > 0.7 ($p < 0.01$). The SIGNAL metric has the highest correlation ($r = 0.752$) indicates the inlet streams of Lake Maninjau which are lightly to heavily polluted. Metrics of macrozoobenthos communities such as SIGNAL, EPT, and LQI can be applied to complete the assessment of the physicochemical parameters of inlet streams of Lake Maninjau.

Keywords: Lake Maninjau, macrozoobenthos, biological metrics, inlet streams.

Citation: Ibrahim, A., Sudarso, J., Imroatusshoolikhah, I., Toruan, R.L., Sari, L. (2021). Penggunaan Makrozoobentos Dalam Penilaian Kualitas Perairan Sungai *Inlet* Danau Maninjau, Sumatera Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(3), 649-660, doi:10.14710/jil.19.3.649-660

1. Latar Belakang

Ekosistem sungai di wilayah tropis memiliki keragaman biota yang tinggi dengan kemampuan hidup sesuai sumber daya makanan dan habitat spesifik. Kondisi sungai tersebut dipengaruhi oleh keragaman wilayah, tipe habitat, biota, dan komunitas sekitarnya (Ramirez et al., 2008). Sungai merupakan ekosistem perairan lotik yang memiliki peran bagi keberlangsungan kehidupan manusia dan organisme

lainnya. Berbagai aktivitas pemanfaatan oleh manusia turut mempengaruhi kondisi perairan sungai, di samping faktor alami seperti erosi, pelindian, dan pelapukan (Khatri & Tyagi, 2015).

Perubahan habitat fisik dan berbagai jenis pencemaran di perairan sungai dapat menimbulkan dampak yang signifikan terhadap perubahan komunitas biota termasuk makrozoobentos (Selvakumar et al., 2010). Pola perubahan struktur komunitas fauna makrozoobentos disebabkan

* Penulis korespondensi: aiman@limnologi.lipi.go.id

peningkatan nutrisi inorganik, beban organik, perubahan substrat, dan pencemaran kimia toksik (APHA, 2012). Perairan sungai yang sehat akan memiliki spesies yang bervariasi dan bersifat sensitif, sedangkan perairan yang telah mengalami pencemaran atau tekanan hidrologis ditandai dengan sedikitnya spesies yang hadir dan bersifat toleran (Selvakumar et al., 2010; Emeka et al., 2020).

Makrozoobentos umumnya ditemukan di perairan sungai atau danau yang berperan penting dalam transfer material organik melalui jaring makanan (Hauer & Resh, 2017). Penggunaan makrozoobentos dalam mengevaluasi kesehatan badan air memiliki keuntungan diantaranya makrozoobentos tersebar luas di perairan, mobilitas relatif rendah, mudah dikoleksi, dan memiliki sensitivitas yang berbeda terhadap pencemaran (Etemi et al., 2020; Aazami et al., 2015).

Bioasesmen menggunakan fauna makrobentos di Indonesia belum dikembangkan secara optimal, padahal keberadaannya di wilayah tropis lebih beragam dibandingkan di wilayah beriklim subtropis (Sudarso & Wardiatno, 2015). Asesmen kualitas perairan di Indonesia masih terbatas pada parameter fisik kimiawi sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan. Adapun asesmen biologis yang terbatas pada parameter bakteri Coliform tidak dapat merepresentasikan tekanan kumulatif (Boonsoong et al., 2009).

Danau Maninjau merupakan salah satu danau prioritas nasional yang terletak di Kabupaten Agam, Provinsi Sumatera Barat. Perairan Danau Maninjau memiliki fungsi strategis dengan tingkat pencemaran yang tinggi (Endah & Nadjib, 2017). Sebanyak 88

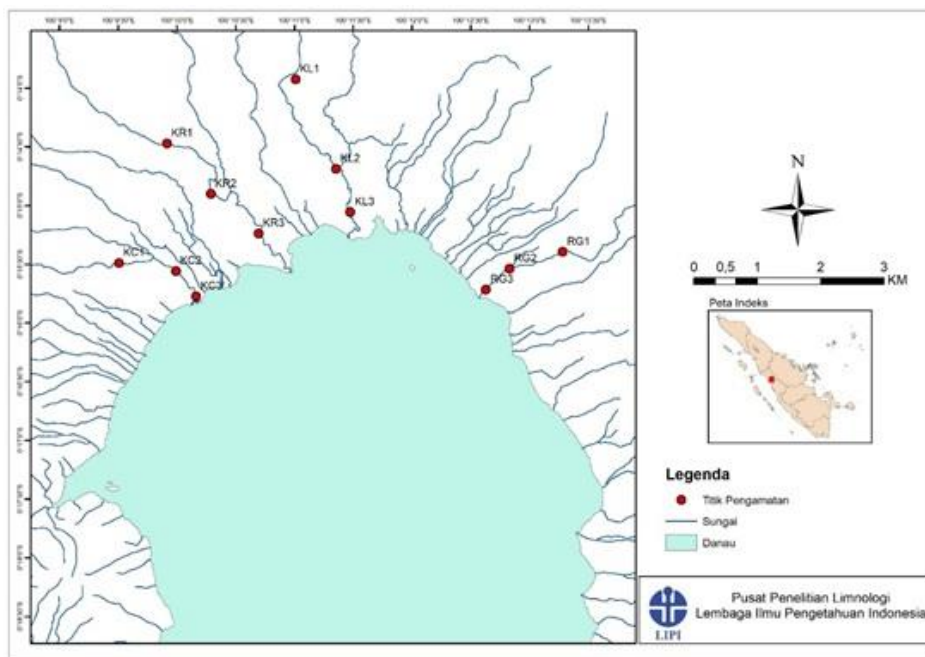
sungai baik berukuran besar maupun kecil bermuara ke Danau Maninjau dan umumnya bersifat periodik (Nontji, 2016). Kondisi kualitas air dari sungai-sungai tersebut akan mempengaruhi kondisi perairan danau di samping aktivitas pemanfaatan perairan danau maupun area di sekitarnya.

Seiring peningkatan aktivitas antropogenik yang menghasilkan limbah di lingkungan perairan, maka diperlukan metode yang efisien untuk menilai kondisi aktual atau tingkat perubahannya. Penilaian kondisi perairan dapat dilakukan secara biologis yang relatif mudah dan murah dengan menggunakan bioindikator makrozoobentos. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi kualitas air sungai *inlet* Danau Maninjau berdasarkan bioindikator makrozoobentos. Hasil penelitian diharapkan dapat mendukung upaya monitoring dan evaluasi pengelolaan perairan Danau Maninjau sebagai danau prioritas nasional.

2. Metode Penelitian

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni dan Agustus 2019 di empat sungai *inlet* Danau Maninjau yang meliputi Sungai Koto Kaciak, Kurambik, Kularian, dan Ranggeh Bayur (Gambar 1). Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah GPS, *water quality checker*, dan *cool box*. Bahan yang digunakan adalah formalin 4-5 % dan alkohol 70 % untuk pengawetan makrozoobentos.



Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian (Suryono et al., 2020)

2.2. Pengumpulan Data Paramater Lingkungan

Pengukuran parameter lingkungan dilakukan dengan cara *insitu* yaitu mengambil contoh air pada masing-masing stasiun pengamatan. Parameter lingkungan yang diukur meliputi suhu perairan, turbiditas, TDS, pH, dan oksigen terlarut,

2.3. Pengumpulan Data Makrozoobentos

Pengambilan sampel makrozoobentos di bagian hulu dan tengah sungai dilakukan dengan menggunakan *kick net* sepanjang 1 meter sebanyak tiga kali ulangan dikompositkan. Adapun pengambilan sampel makrozoobentos di bagian hilir sungai dilakukan dengan menggunakan pengeruk Ekman (15 cm x 15 cm) sebanyak tiga kali ulangan dikompositkan. Sampel disaring menggunakan saringan Tyller berukuran 30 mesh, dimasukkan ke dalam kantong plastik, dan ditambahkan formalin 4-5 %. Identifikasi makrozoobentos dilakukan di Laboratorium Pusat Penelitian Limnologi LIPI dengan menggunakan mikroskop stereo yang mengacu pada buku Merrit & Cummins (2019), Yule & Sen (2004), Epler (2001), dan beberapa sumber buku lainnya.

2.4. Analisis Data

Data yang diperoleh dideskripsikan secara kuantitatif. Data parameter kualitas perairan yang meliputi oksigen terlarut, turbiditas, dan total padatan terlarut digunakan dalam perhitungan *Water Quality Index* (WQI) berdasarkan Pesce & Wunderlin (2000) dan Simões et al. (2008).

$$WQI = \frac{C_{DO} + C_{Turb} + C_{TDS}}{3} \quad (1)$$

Indeks-indeks struktur komunitas makrozoobentos yang dihitung meliputi indeks keanekaragaman Shannon-Winner (Shannon, 1948; Magurran, 2004; Yazdian et al., 2014), indeks kemerataan Pielou (Pielou, 1966; Magurran 2004; Custodio et al., 2018), dan indeks dominansi Simpson (Simpson, 1949; Magurran, 2004; Custodio et al., 2018).

$$H = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i \quad (2)$$

$$E = \frac{H}{H_{max}} = \frac{H}{\ln S} \quad (3)$$

$$D = \sum p_i^2 \quad (4)$$

Tabel 1. Kriteria Kualitas Perairan Berdasarkan WQI

Nilai WQI	Kriteria
>80-100	Sangat Baik
>60-80	Baik
>40-60	Sedang
>20-40	Buruk
0-20	Sangat Buruk

Sumber: Fullazaky et al., 2010

Tingkat kemiripan atau kesamaan komunitas makrozoobentos pada segmen hulu, tengah, dan hilir sungai digunakan Indeks Similaritas Bray-Curtis dan clustering (Sommerfield, 2008) menggunakan software MVSP 3.22.

$$S_{jk} = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^p |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum_{i=1}^p |y_{ij} + y_{ik}|} \right\} \quad (5)$$

Kriteria kualitas perairan sungai ditentukan berdasarkan metrik biologi meliputi indeks Ephemeroptera, Plecoptera, dan Trichoptera (EPT) (Bode et al., 1991), *Stream Invertebrate Grade Number - Average Level* (SIGNAL) (Gooderham & Tsyrlin, 2002; Chessman, 1995), *Biological Monitoring Working Part-Average Score Per Taxon* (BMWP-ASPT) (Extence et al., 1987), *Lincoln Quality Index* (LQI) (Extence et al., 1987), dan *Family Biotic Index* (FBI) (Hilsenhoff, 1988). Analisis korelasi Spearman dilakukan menggunakan program SPSS untuk mengetahui tingkat korelasi antara WQI dengan beberapa metrik biologi.

Indeks EPT = jumlah taksa dari ordo Ephemeroptera, Plecoptera, dan Trichoptera

$$I_{SIGNAL} = \frac{\sum t_i}{n} \quad (6)$$

$$BMWP-ASPT = \frac{\text{skor BMWP}}{n} \quad (7)$$

Tabel 2. Kriteria Nilai Indeks Keanekaragaman, Kemerataan, dan Dominansi

Indeks	Nilai Kisaran	Kriteria
keanekaragaman	H < 1	Rendah
	1 < H < 3	Sedang
	H > 3	Tinggi
kemerataan	E < 0,4	Rendah
	0,4 < E < 0,6	Sedang
	E > 0,6	Tinggi
dominansi	D ≤ 0,5	Rendah
	0,5 < D ≤ 0,75	Sedang
	0,75 < D ≤ 1	Tinggi

Sumber: Welch, 1992 dalam Ochieng et al., 2021; Putri et al., 2021; Junita, 2020

Tabel 3. Kriteria Kondisi Perairan Berdasarkan Metrik EPT

Jumlah EPT	Kriteria
> 10	Belum terganggu
6-10	Gangguan ringan
2-5	Gangguan sedang
0-1	Gangguan berat

Sumber: Bode et al., 1991

Tabel 4. Kriteria Kualitas Perairan Berdasarkan Metrik SIGNAL dan ASPT

Nilai SIGNAL dan ASPT	Kriteria
> 6	Tidak tercemar
5-6	Tercemar ringan
4-5	Tercemar sedang
4 <	Tercemar berat

Sumber: Gooderham dan Tsyrlin. 2002; Mandaville, 2002

Tabel 5. Nilai Normalisasi BMWP dan ASPT Pada Habitat *Riffle* and *Pool*

Nilai BMWP		Rating X	Nilai ASPT		Rating Y
Habitat <i>Riffle</i>	Habitat <i>Pool</i>		Habitat <i>Riffle</i>	Habitat <i>Pool</i>	
≥ 151	≥ 121	7	≥ 6,0	≥ 5,0	7
121-150	101-120	6	5,5-5,9	4,5-4,9	6
91-120	81-100	5	5,1-5,4	4,1-4,4	5
61-90	51-80	4	4,6-5,0	3,6-4,0	4
31-60	25-50	3	3,6-4,5	3,1-3,5	3
15-30	10-24	2	2,6-3,5	2,1-3,0	2
0-14	0-9	1	0-2,5	0-2,0	1

Sumber: *Extence et al., 1987*

Tabel 6. Kriteria Kualitas Perairan Berdasarkan Metrik LQI

Nilai OQR	LQI	Kriteria
≥ 6	A++	Ekselen
5,5	A+	Ekselen
5	A	Ekselen
4,5	B	Baik
4	C	Baik
3,5	D	Sedang
3	E	Sedang
2,5	F	Buruk
2	G	Buruk
1,5	H	Sangat Buruk
1	I	Sangat Buruk

Sumber: *Extence et al., 1987*

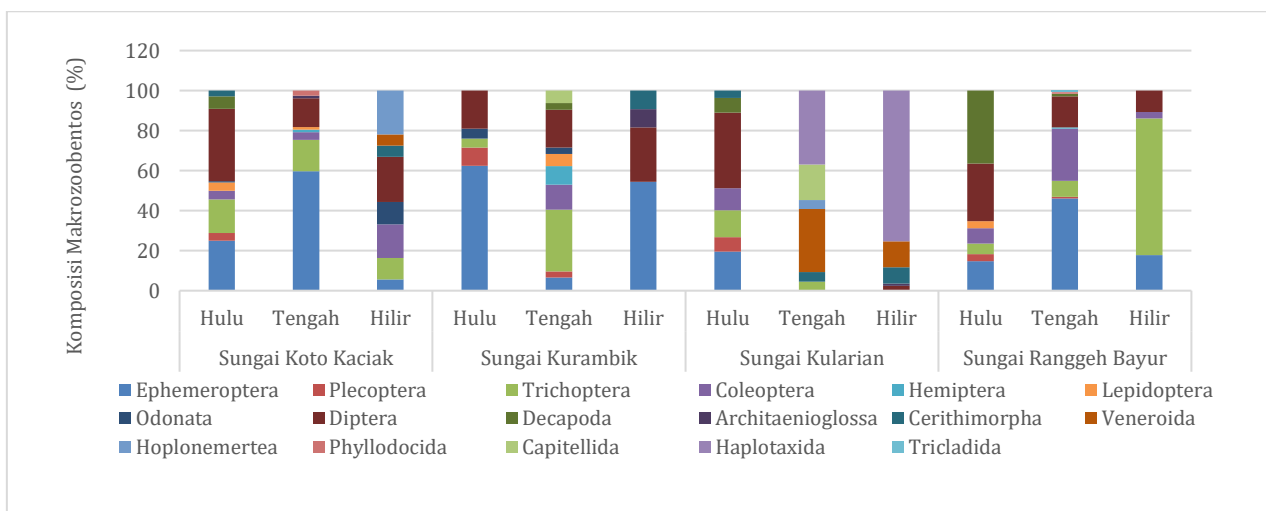
Tabel 7. Kriteria Kualitas Perairan Berdasarkan Metrik FBI

Nilai FBI	Kriteria
0-3,75	Ekselen
3,76-4,25	Sangat Baik
4,26-5,00	Baik
5,01-5,75	Sedang
5,76-6,50	Cukup Buruk
6,51-7,25	Buruk
7,26-10	Sangat Buruk

Sumber: *Hilsenhoff, 1988*

$$\text{Overall Quality Rating (OQR)} = (X+Y) \quad (8)$$

$$\text{FBI} = \frac{\sum n_i t_i}{N} \quad (9)$$



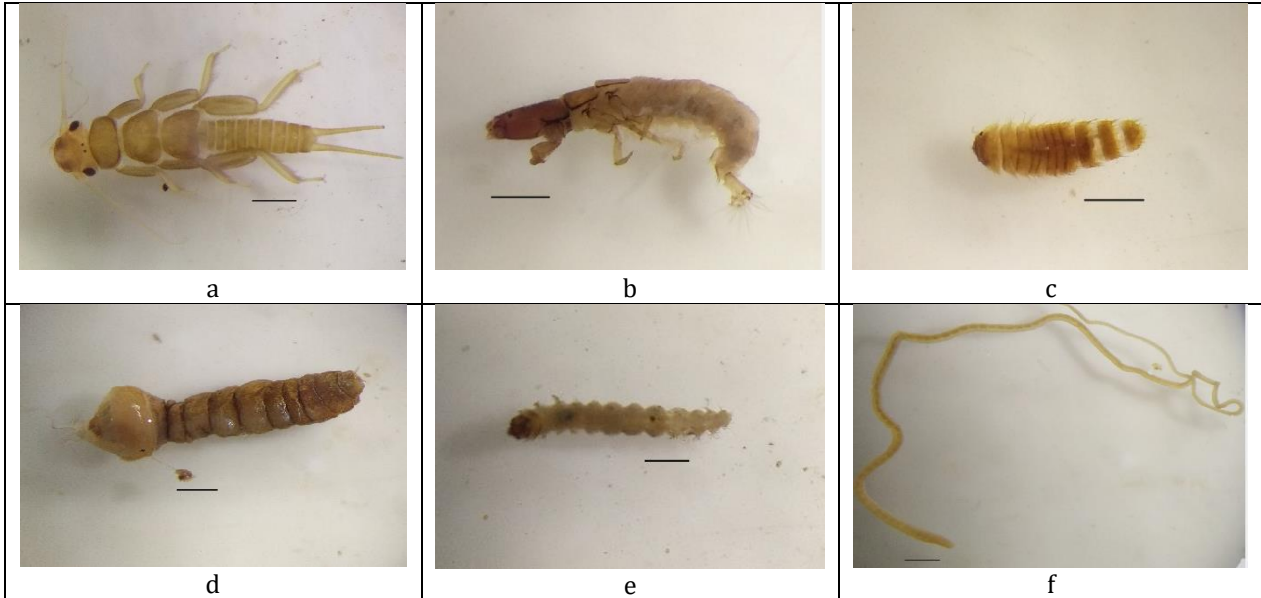
Gambar 2 Komposisi Makrozoobentos di Sungai *Inlet* Danau Maninjau Selama Pengamatan

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Komunitas Makrozoobentos

Komposisi makrozoobentos selama pengamatan di keempat sungai *inlet* Danau Maninjau diperlihatkan pada Gambar 2. Secara keseluruhan, makrozoobentos yang ditemukan selama pengamatan berkisar 5-25 famili dan 4-10 ordo yang tergolong ke dalam delapan kelas meliputi Insekta, Clitellata, Malacostraca, Bivalvia, Gastropoda, Polychaeta, Hirudinea, dan Turbellaria. Jumlah ordo tertinggi sebanyak 10 ordo ditemukan di Sungai Kurambik segmen tengah, sedangkan jumlah ordo terendah sebanyak 4 ordo ditemukan di Sungai Kurambik dan Ranggeh Bayur bagian hilir.

Sungai Koto Kaciak segmen hulu dan hilir didominasi oleh ordo Diptera dengan komposisi masing-masing sebesar 36,25% dan 22,47%. Adapun Sungai Koto Kaciak segmen tengah didominasi ordo Ephemeroptera dengan komposisi 59,74%. Sungai Kurambik segmen hulu dan hilir didominasi oleh ordo Ephemeroptera dengan komposisi masing-masing sebesar 62,50% dan 54,42%. Adapun Sungai Kurambik segmen tengah didominasi Trichoptera dengan komposisi 30,93%. Sungai Kularian segmen hulu didominasi Diptera 37,80%, sedangkan pada segmen tengah dan hilir didominasi Haplotaenidia dari subkelas Oligochaeta dengan komposisi masing-masing 36,95% dan 75,29%. Sungai Ranggeh Bayur pada bagian hulu, tengah, dan hilir masing-masing didominasi oleh Decapoda, Ephemeroptera, dan Trichoptera dengan komposisi masing-masing sebesar 36,52%; 46,12%; dan 68,44%.



Gambar 3 Contoh Makrozoobentos di Sungai *Inlet* Danau Maninjau Selama Pengamatan (skala garis 1 mm): a. Famili Perlidae (Plecoptera) b. Famili Hydropsychidae (Trichoptera) c. Famili Scirtidae (Coleoptera) d. Famili Limoniidae (Diptera) e. Famili Pyralidae (Lepidoptera) f. Famili Tubificidae (Haplotaenida)

Sungai Koto Kaciak segmen hulu dan hilir didominasi oleh ordo Diptera dengan komposisi masing-masing sebesar 36,25% dan 22,47 %. Adapun Sungai Koto Kaciak segmen tengah didominasi ordo Ephemeroptera dengan komposisi 59,74%. Sungai Kurambik segmen hulu dan hilir didominasi oleh ordo Ephemeroptera dengan komposisi masing-masing sebesar 62,50% dan 54,42 %. Adapun Sungai Kurambik segmen tengah didominasi Trichoptera dengan komposisi 30,93%. Sungai Kularian segmen hulu didominasi Diptera 37,80%, sedangkan pada segmen tengah dan hilir didominasi Haplotaenida dari subkelas Oligochaeta dengan komposisi masing-masing 36,95% dan 75,29%. Sungai Ranggeh Bayur pada bagian hulu, tengah, dan hilir masing-masing didominasi oleh Decapoda, Ephemeroptera, dan Trichoptera dengan komposisi masing-masing sebesar 36,52%; 46,12%; dan 68,44%.

Secara keseluruhan, ordo Ephemeroptera, Plecoptera, dan Trichoptera (EPT) memiliki komposisi tertinggi di Sungai Koto Kaciak hulu dan tengah, Sungai Kurambik hulu hingga hilir, Sungai Kularian hulu, dan Sungai Ranggeh Bayur tengah dan hilir. Hal ini diduga berhubungan dengan keberadaan substrat batuan di lokasi tersebut. Molokwu et al. (2014) menjelaskan bahwa taksa dari kelompok EPT memiliki preferensi untuk berasosiasi dengan substrat batuan. Sudarso et al. (2021) menyatakan bahwa menurunnya jumlah taksa EPT di Sungai Ranggeh dipengaruhi oleh berkurangnya jumlah batuan yang tertanam di dasar sungai. Batuan ini dapat berperan sebagai tempat berlindung dan pencarian makan bagi makrozoobentos.

Ordo EPT jarang ditemukan di Sungai Kularian tengah dan hilir. Kehadirannya digantikan oleh ordo Haplotaenida dari subkelas Oligochaeta. Hal ini diduga

berhubungan nilai turbiditas yang tinggi dan substrat yang berupa pasir berlumpur. Quinn et al. (1992) menjelaskan bahwa nilai turbiditas yang melebihi 23 NTU dapat menurunkan kekayaan dan kepadatan taksa dari fauna makrozoobentos. Cacing Oligochaeta juga menunjukkan kecenderungan berlimpah di Sungai Ranggeh dengan habitat pasir berlumpur serta nilai turbiditas yang tinggi sebagaimana dilaporkan Sudarso & Imroatusshoolikhah (2020). Van Haaren & Soors (2013) menjelaskan bahwa cacing Oligochaeta pada umumnya berasosiasi dengan substrat lumpur maupun pasir di dasar perairan.

Kehadiran ordo Diptera yang cukup melimpah di beberapa segmen dari sungai-sungai yang diamati umumnya didominasi oleh famili Chironomidae. Kelompok Chironomidae memiliki beberapa spesies sensitif hingga toleran terhadap perubahan lingkungan sehingga dapat ditemukan dari habitat *pristine* hingga habitat tercemar (Nicasio & Juen, 2015; Lencioni et al., 2012; Epler, 2001).

Gambar 4 memperlihatkan nilai indeks keanekaragaman Shannon Wiener (H'), kemerataan (E), dan dominansi (D) makrozoobentos pada level famili selama pengamatan. Nilai indeks Shannon Wiener selama pengamatan berkisar antara 0.77--2.06 dengan kriteria keanekaragaman rendah hingga sedang. Nilai indeks terendah diperoleh Sungai Ranggeh hilir dan nilai tertinggi diperoleh Sungai Koto Kaciak hulu. Secara keseluruhan nilai indeks Shannon Wiener di keempat sungai *inlet* cenderung menurun dari segmen hulu hingga hilir. Hal ini dipengaruhi oleh jumlah famili dan distribusi individu dari famili yang ditemukan.

Nilai indeks kemerataan (E) makrozoobentos selama pengamatan menunjukkan kisaran 0,63—0,98. Nilai terendah diperoleh Sungai Ranggeh Bayur hilir,

sedangkan nilai tertinggi diperoleh Sungai Koto Kaciak hilir. Nilai indeks kemerataan menunjukkan peningkatan dari hulu ke hilir di Sungai Koto Kaciak. Sebaliknya, nilai indeks kemerataan menurun dari hulu ke hilir di tiga sungai meliputi Sungai Kurambik, Kularian, dan Ranggeh Bayur. Nilai indeks kemerataan yang diperoleh hasil pengamatan termasuk kategori kemerataan tinggi ($E > 0,6$) yang mengindikasikan bahwa distribusi individu dari famili yang ditemukan cenderung merata.

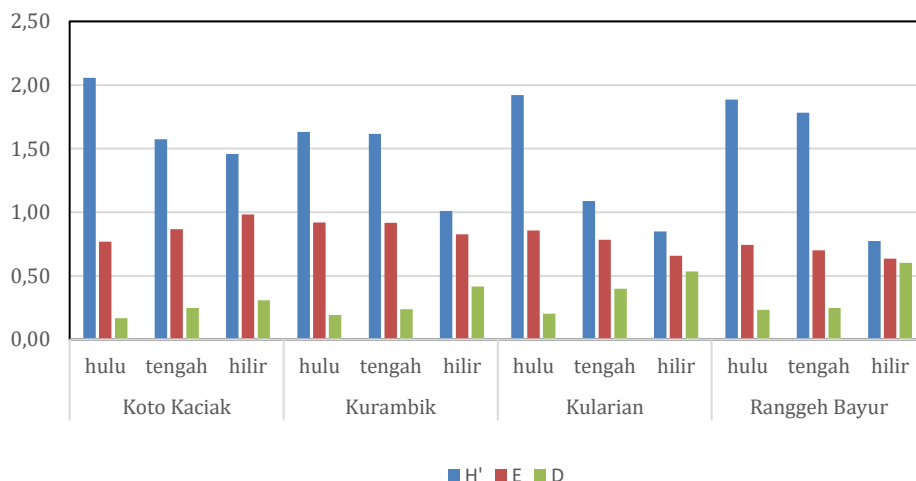
Nilai indeks dominansi selama pengamatan berkisar antara 0,17-0,60 yang menunjukkan kategori dominansi rendah hingga sedang. Nilai indeks dominansi di keempat sungai *inlet* cenderung meningkat dari hulu ke arah hilir. Hal ini dipengaruhi oleh kekayaan taksa dan distribusi individu dari famili yang ditemukan. Indeks dominansi menunjukkan perbedaan daya adaptasi dari taksa makrozoobentos (Oktarina & Syamsudin, 2015).

Gambar 5 menunjukkan hasil kluster komunitas makrozoobentos di empat sungai yaitu (a) Sungai Koto Kaciak, (b) Sungai Kularian, (c) Sungai Kurambik, dan (d) Sungai Ranggeh Bayur. Berdasarkan analisis kluster Bray-Curtis, dendrogram (a) menunjukkan bahwa tingkat kesamaan makroinvertebrata di Sungai Koto Kaciak $> 64\%$. Komposisi komunitas makrozoobentos di bagian hilir sungai tersebut memiliki kesamaan yang lebih dekat dengan komunitas di sungai bagian tengah. Pola yang sama juga terlihat pada dendrogram yang menggambarkan bahwa komunitas makrozoobentos di Sungai Kularian

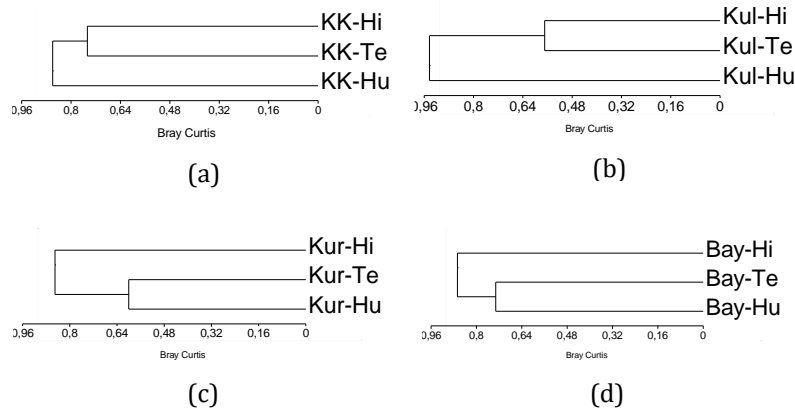
bagian tengah memiliki tingkat kesamaan yang lebih dekat dengan di bagian tengah dengan indeks similaritas $< 64\%$.

Sementara itu, pola kluster yang berbeda terlihat pada dendrogram (c) dan (d). Pada Dendrogram (c), dapat diamati bahwa komunitas makrozoobentos pada bagian hulu Sungai Kurambik memiliki tingkat kesamaan yang lebih dekat dengan di bagian tengah. Indeks similaritas berkisar antara 60%-80%. Adapun dendrogram (d), menggambarkan bahwa komunitas makrozoobentos di bagian hulu memiliki kesamaan terdekat dengan di bagian tengah. Dari keempat sungai tersebut, komunitas makrozoobentos antara hulu dan hilir di Sungai Koto Kaciak dan Sungai Ranggeh Bayur, memiliki tingkat kesamaan yang lebih besar dibandingkan di Sungai Kularian dan Sungai Kurambik.

Indeks Bray-Curtis digunakan untuk melihat tingkat kesamaan komunitas baik itu kesamaan jenis taksa yang hadir maupun jumlah individu yang ditemukan di habitat keempat sungai. Adanya kesamaan komunitas antara hulu dengan tengah yang terlihat pada sungai Kurambik dan Sungai Ranggeh Bayur dapat dipengaruhi oleh banyak faktor lingkungan di habitatnya (e.g kualitas air, sempadan sungai, penggunaan lahan sekitar, substrat penyusun dasar sungai, transfer materi, dll) pada ruas bagian hulu dan ruas bagian tengah. Begitu juga kesamaan antar komunitas pada bagian tengah dan hilir di Sungai Koto Kaciak dan dan di Sungai Kularian, disebabkan adanya kemiripan dari faktor lingkungan pendukungnya.



Gambar 4 Nilai Indeks Shannon Wiener (H'), Kemerataan (E), dan Dominansi (D) dari Makrozoobentos di Sungai *Inlet* Danau Maninjau Selama Pengamatan



Gambar 5 Dendrogram kesamaan komunitas makrozoobentos. Keterangan: KK-Hu= Sungai Koto Kacik Hulu, KK-Hi= S. Koto Kacik hilir, KK-Te= S. Koto Kacik bagian tengah, Kul-Hu= S. Kularian hulu, Kul-Te= S. Kularian tengah, Kul-Hi= S. Kularian hilir, Kur-Hu= S. Kurambik hulu, Kur-Te= S. Kurambik tengah, Kur-Hi= S. Kurambik hilir, Bay-Hi= S. Ranggeh Bayur hulu, Bay-Te= S. Ranggeh Bayur tengah, dan Bay-Hi= S. Ranggeh Bayur hilir.

Tabel 8. Kondisi Perairan Sungai *Inlet* Danau Maninjau Berdasarkan Metrik EPT

Lokasi	Stasiun	EPT	Kriteria
Koto Kaciak	hulu	7	gangguan ringan
	tengah	3	gangguan sedang
	hilir	2	gangguan sedang
Kurambik	hulu	4	gangguan sedang
	tengah	3	gangguan sedang
	hilir	1	gangguan berat
Kularian	hulu	5	gangguan sedang
	tengah	1	gangguan berat
	hilir	0	gangguan berat
Ranggeh Bayur	hulu	6	gangguan ringan
	tengah	7	gangguan ringan
	hilir	2	gangguan sedang

3.2. Kualitas Perairan Berdasarkan Metrik Biologi

3.2.1 EPT

Nilai dan tingkat gangguan ekologi sungai *inlet* Danau Maninjau diperlihatkan pada Tabel 8. Berdasarkan metrik EPT, sungai *inlet* yang diamati menunjukkan kondisi gangguan ringan hingga berat dengan nilai kisaran 0-7. Segmen hulu keempat sungai menunjukkan kondisi gangguan ringan hingga sedang, segmen tengah menunjukkan kondisi gangguan ringan hingga berat, segmen hilir menunjukkan gangguan sedang hingga berat. Jumlah taksa EPT hasil pengamatan cenderung mengalami penurunan dari arah hulu ke hilir. Hal ini sejalan dengan penelitian Diantari et al. (2017) di Sungai Jangkok. Metrik EPT telah digunakan pula oleh Rahayu (2015) dalam mengevaluasi perairan hulu Sungai Cisadane. Sudarso et al. (2021) menyatakan bahwa metrik EPT merupakan metrik yang unggul dalam merepresentasikan gangguan ekologi di Sungai Ranggeh. Menurut Malvandi et al. (2021), ordo EPT sangat sensitif terhadap kontaminasi sehingga nilai indeks EPT akan meningkat sejalan dengan penurunan

tingkat kontaminasi. Brabec et al. (2004) menyatakan bahwa metrik EPT lebih sensitif dalam mendeteksi gangguan pada ekosistem lotik dibandingkan kekayaan taksa.

3.2.2 SIGNAL

Metrik SIGNAL merupakan metrik biologi tingkat famili yang diadopsi dari metrik BMWP-ASPT dan mulai diaplikasikan di Sungai Hawkesbury-Nepean, Australia (Chessman, 1995). Metrik ini mengkalkulasi rasio antara skor taksa makrozoobentos berdasarkan sensitivitasnya terhadap pencemaran dengan jumlah taksa. Makrozoobentos diberikan skor dari kisaran 1 (paling toleran) hingga 10 (paling sensitif). Metrik SIGNAL dapat memberikan indikasi jenis pencemaran dan faktor fisik kimawi yang mempengaruhi komunitas makrozoobentos. Skor SIGNAL yang tinggi dapat mengindikasikan tingginya nilai parameter DO, rendahnya kadar nutrien dan turbiditas atau rendahnya tingkat pencemaran perairan (Chessman, 2003).

Berdasarkan metrik SIGNAL, sungai *inlet* yang diamati menunjukkan kondisi tercemar ringan hingga tercemar berat dengan nilai kisaran 3,04-5,99 (Tabel 9). Segmen hulu keempat sungai menunjukkan kondisi tercemar ringan, sedangkan segmen tengah dan hilir menunjukkan kondisi tercemar ringan hingga berat. Metrik SIGNAL telah digunakan pula oleh Rahayu (2015) dalam mengevaluasi perairan hulu sungai Cisadane dengan kondisi tercemar ringan hingga sedang (4,72 - 5,31).

Makrozoobentos yang ditemukan selama pengamatan memiliki skor SIGNAL tinggi atau sensitivitas tinggi meliputi Perlidae, Baetiscidae, Heptagenidae, Leptophlebiidae, dan Elmidae. Adapun

taksa lainnya memiliki toleransi tinggi yang meliputi Pyralidae, Chironomidae, Oligochaeta, Hirudinea, dan Polychaeta.

3.2.3 BMWP-ASPT

Metrik BMWP-ASPT merupakan pengembangan metrik BMWP yang diinisiasi pada tahun 1970 di Inggris untuk menilai kualitas perairan sungai. Metrik tersebut dihitung sebagai rasio antara skor BMWP dengan jumlah taksa yang ditemukan dan memiliki skor BMWP (Armitage et al., 1983). Taksa makrozoobentos memiliki skor 1-10 dengan skor terendah merepresentasikan toleransi yang tinggi terhadap penurunan kadar oksigen akibat pencemaran organik (Kumara dan Maiti, 2020; Ruiz-Picos et al., 2017). Skor ASPT yang tinggi mengindikasikan kondisi baik yang mengandung sejumlah besar taksa dengan skor tinggi atau taksa sensitif (Armitage et al., 1983).

Berdasarkan metrik BMWP-ASPT, sungai *inlet* Danau Maninjau menunjukkan kondisi tercemar berat hingga tidak tercemar dengan nilai kisaran 1,25--6,50 (Tabel 9). Segmen hulu keempat sungai menunjukkan kondisi tidak tercemar hingga tercemar ringan, sedangkan segmen tengah menunjukkan kondisi tidak tercemar hingga tercemar berat. Segmen hilir sungai menunjukkan kondisi tercemar ringan hingga

tercemar berat. Metrik BMWP-ASPT telah digunakan pula untuk mengevaluasi kualitas perairan sungai diantaranya oleh Handayani et al. (2001), Rahman (2017), Rais et al. (2019), Dewi & Wardhana (2020), dan Tawati et al. (2020).

3.2.4 LQI

Berdasarkan metrik LQI, sungai *inlet* Danau Maninjau menunjukkan kondisi sangat baik (A) hingga sangat buruk (I) seperti ditunjukkan Tabel 9. Segmen hulu keempat sungai menunjukkan kondisi baik hingga ekselen, sedangkan segmen tengah menunjukkan kondisi ekselen hingga buruk. Adapun segmen hilir menunjukkan kondisi sedang hingga sangat buruk.

Metrik LQI telah digunakan oleh Muntalif (2008) dan Chazanah (2016) dalam mengevaluasi perairan hulu Sungai Citarum dengan kriteria sangat baik hingga sangat buruk. Arman et al. (2013) juga melaporkan kondisi Sungai Mengkibol, Malaysia yang tergolong baik sesuai nilai metrik LQI. Metrik LQI merupakan penggabungan dari nilai BMWP dan ASPT yang sudah dinormalisasi untuk menghasilkan nilai indeks tunggal. *Grade* huruf dari LQI yang semakin awal menunjukkan kondisi perairan yang semakin baik.

Tabel 9. Kualitas Perairan Sungai *Inlet* Danau Maninjau Berdasarkan Metrik SIGNAL, BMWP-ASPT, dan LQI

Lokasi	Stasiun	SIGNAL	Kriteria	BMWP-ASPT	Kriteria	LQI	Kriteria
Koto Kaciak	hulu	5,61	tercemar ringan	6,03	tidak tercemar	B	Baik
	tengah	4,19	tercemar sedang	6,33	tidak tercemar	B	Baik
	hilir	3,93	tercemar berat	5,20	tercemar ringan	E	Sedang
Kurambik	hulu	5,99	tercemar ringan	6,50	tidak tercemar	A	Ekselen
	tengah	4,59	tercemar sedang	4,71	tercemar sedang	E	Sedang
	hilir	3,75	tercemar berat	5,25	tercemar ringan	E	Sedang
Kularian	hulu	5,36	tercemar ringan	6,06	tidak tercemar	B	Baik
	tengah	3,17	tercemar berat	3,00	tercemar berat	F	Buruk
	hilir	3,04	tercemar berat	1,25	tercemar berat	I	Sangat Buruk
Ranggeh Bayur	hulu	5,46	tercemar ringan	5,78	tercemar ringan	B	Baik
	tengah	5,09	tercemar ringan	6,29	tidak tercemar	A	Ekselen
	hilir	5,20	tercemar ringan	4,75	tercemar sedang	F	Buruk

Tabel 10. Kualitas Perairan Sungai *Inlet* Danau Maninjau Berdasarkan Metrik FBI

Lokasi	Stasiun	FBI	Kriteria
Koto Kaciak	hulu	5.48	sedang
	tengah	4.96	baik
	hilir	7.45	sangat buruk
Kurambik	hulu	4.95	baik
	tengah	5.31	sedang
	hilir	5.22	sedang
Kularian	hulu	5.73	sedang
	tengah	6.78	buruk
	hilir	8.00	sangat buruk
Ranggeh Bayur	hulu	5.83	cukup buruk
	tengah	5.88	cukup buruk
	hilir	4.43	baik

3.2.5 FBI

Metrik FBI pertama kali digunakan oleh Hilsenhoff (1988) untuk penilaian kualitas Sungai Wisconsin, Amerika Utara. Metrik ini dikalkulasi berdasarkan tingkat sensitivitas atau toleransi dari famili makrozoobentos terhadap pencemaran. Nilai FBI yang semakin besar menunjukkan kriteria kualitas perairan yang semakin buruk.

Keempat sungai *inlet* yang diamati menunjukkan kondisi kualitas ekselen hingga sangat buruk dengan nilai kisaran 4,43-8,00 (Tabel 10). Segmen hulu keempat sungai menunjukkan kondisi cukup buruk hingga baik, sedangkan segmen tengah menunjukkan kondisi kualitas buruk hingga baik. Adapun kondisi

segmen hilir menunjukkan kondisi sangat buruk hingga baik. Metrik FBI telah digunakan pula untuk mengevaluasi kualitas perairan sungai diantaranya oleh Zaman et al. (2021), Rustiasih et al. (2018), Rachman et al. (2016), dan Nugrahaningrum et al. (2016).

3.3. Kualitas Perairan Berdasarkan Water Quality Index (WQI)

Perairan sungai *inlet* Danau Maninjau menunjukkan kualitas sedang hingga sangat baik berdasarkan nilai WQI yang berkisar 57 hingga 88 (Tabel 11). Segmen hulu dan tengah di keempat sungai yang diamati menunjukkan kondisi perairan dengan kualitas baik hingga sangat baik. Sebaliknya, segmen hilir menunjukkan kualitas sedang hingga baik. Nilai WQI terendah sebesar 57 dengan kategori kualitas sedang diperoleh Sungai Kularian pada segmen hilir. Kondisi tersebut diduga berhubungan dengan arus air yang relatif lambat dan akumulasi pencemar dari pemukiman penduduk dan areal pertanian pada segmen tengah.

WQI dapat digunakan sebagai *tools* dalam menilai tren atau perubahan kualitas air secara spasial dan temporal serta peruntukannya (Kannel, 2007). WQI berdasarkan tiga parameter (DO, turbiditas, dan TDS) telah digunakan Pesce dan Wunderlin (2000) yang menunjukkan kemiripan pola dengan hasil perhitungan WQI berdasarkan 20 parameter. Penggunaan WQI berdasarkan parameter tertentu atau parameter kunci dapat membantu penilaian kualitas perairan secara fisik kimiawi dengan biaya yang efektif

3.4. Korelasi Metrik Biologi dan Water Quality Index (WQI)

Tabel 12 memperlihatkan hasil analisis korelasi Spearman antara nilai metrik biologi dan nilai WQI. Koefisien korelasi yang tinggi diperoleh metrik EPT, SIGNAL, dan LQI dengan nilai $r > 0,7$. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga metrik memiliki tingkat korelasi yang sangat kuat dengan WQI di sungai *inlet* Danau Maninjau.

Sudarso et al. (2021) melaporkan bahwa metrik EPT merupakan metrik superior dalam merepresentasikan gangguan ekologi di Sungai Ranggeh. Surtikanti (2017) melaporkan bahwa metrik SIGNAL memiliki korelasi sangat kuat ($r > 0,70$) dengan Indeks Kimia Fisika (IKF) dalam mengevaluasi kualitas perairan Sungai Cikapundung. Metrik SIGNAL menunjukkan korelasi yang kuat ($r > 0,5$) dengan variabel lingkungan dalam menilai gangguan ekologi di perairan Sungai Ciliwung sebagaimana dilaporkan Sudarso et al. (2013).

Tabel 11. Kualitas Perairan Sungai *Inlet* Danau Maninjau Berdasarkan WQI

Lokasi	Stasiun	WQI	Kriteria
Koto Kaciak	hulu	82	sangat baik
	tengah	78	baik
	hilir	78	baik
Kurambik	hulu	88	sangat baik
	tengah	88	sangat baik
	hilir	77	baik
Kularian	hulu	85	sangat baik
	tengah	63	baik
	hilir	57	sedang
Ranggeh Bayur	hulu	80	baik
	tengah	80	baik
	hilir	68	baik

Tabel 12. Korelasi Metrik Biologi dan WQI

	WQI	p
EPT	0,740	0.006
SIGNAL	0,752	0.005
BMWP-ASPT	0,591	0.043
LQI	0,731	0.007
FBI	-0,274	0.388

Hasil penelitian Muntalif (2008) menunjukkan bahwa nilai LQI memiliki korelasi sangat kuat dengan IKF ($r = 0,97$) dalam menilai kondisi perairan hulu Sungai Citarum. Metrik FBI yang umumnya digunakan dalam bioasesmen perairan di Indonesia tampaknya tidak sesuai untuk diaplikasikan di sungai *inlet* yang diamati. Hal ini disebabkan korelasinya dengan WQI yang tidak signifikan ($p > 0,05$) seperti diperlihatkan pada Tabel 12.

Metrik biologi yang digunakan untuk penilaian kualitas perairan umumnya didasarkan pada hasil identifikasi fauna makrobentos pada tingkat famili. Selain dianggap lebih mudah dalam penentuannya, hal tersebut juga dianggap memadai dan menghasilkan korelasi yang tinggi dengan metrik pencemaran organik (Sandin & Hering, 2004; Furse et al., 1984). Kondisi perairan menunjukkan kriteria berbeda berdasarkan metrik biologi yang digunakan dalam penelitian ini. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan keakuratan metrik dalam hubungannya dengan jumlah taksa dan nilai toleransi taksa yang diberikan, selain perbedaan kondisi lingkungan (Maknuun et al., 2021; Wimbaningrum et al., 2016).

4. Kesimpulan

Makrozoobentos yang ditemukan di sungai *inlet* Danau Maninjau berkisar 5-25 famili dan 4-10 ordo yang tergolong ke dalam delapan kelas meliputi Insekta, Clitellata, Malacostraca, Bivalvia, Gastropoda, Polychaeta, Hirudinea, dan Turbellaria. Metrik SIGNAL, EPT, dan LQI merupakan metrik yang unggul dalam merepresentasikan kondisi perairan sungai berdasarkan korelasinya dengan WQI. Metrik SIGNAL dengan korelasi tertinggi ($r = 0,752$) menunjukkan kondisi perairan sungai *inlet* Danau Maninjau yang tercemar ringan hingga berat.

NOMENKLATUR

C_{DO}	nilai normalisasi parameter DO
C_{TDS}	nilai normalisasi parameter TDS
C_{Turb}	nilai normalisasi parameter turbiditas
D	indeks dominansi Simpson
E	indeks pemerataan Pielou
H	indeks keanekaragaman Shannon Wiener
I_{SIGNAL}	indeks SIGNAL
N	jumlah total individu
n	jumlah taksa
n_i	jumlah individu taksa ke-i
p_i	kelimpahan relatif dari famili ke-i
S	jumlah total famili
S_{jk}	indeks similaritas antara sampel j dan k (%)
t_i	nilai toleransi taksa ke-i
X	nilai normalisasi BMWP
Y	nilai normalisasi ASPT
y_{ij}	jumlah taksa ke- i dalam kolom j
y_{ik}	jumlah taksa ke- i dalam kolom k

DAFTAR PUSTAKA

- Aazami, J., A. Esmaili-Sari, A. Abdoli, H. Sohrabi, P.J. Van den Brink. 2015. Monitoring and assessment of water health quality in the Tajan River, Iran using physicochemical, fish and macroinvertebrates indices. *Journal of Environmental Health Science & Engineering* 13(1): 29.
- APHA. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington D.C. (US). American Public.
- Arman, N.Z., Salmiati, M.I. Mohd Said, S. Azman. 2013. Anthropogenic influences on aquatic life community and water quality status in Mengkibol River, Kluang, Johor, Malaysia. *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation* 8 (3): 151-160.
- Armitage, P.D., D. Moss, J.F. Wright, M.T. Furse. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrate over a wide range of unpolluted running water sites. *Water Research* 6(3): 333-347.
- Brabec K., S. Zahradvkova, D. Nemejcova, J. Paril, P. Kokeš, J. Jarkovsk. 2004. Assessment of organic pollution effect considering differences between lotic and lentic stream habitats. *Hydrobiologia* 516: 331-346.
- Bode, R.W., M.A. Novak, L.E. Abele. 1991. Quality Assurance Work Plan For Biological Stream Monitoring in New York State. Albany, New York. NYS Department of Environmental Conservation.
- Boonsoong, B., N. Sangpradub, M.T. Barbour. 2009. Development of rapid bioassessment approaches using benthic macroinvertebrates for Thai streams. *Environment Monitoring Assessment* 155(1-4): 129-147.
- Chazanah, N., B.S. Muntalif, G. Suantika, P. Sudjono. 2016. River Water Quality Assessment Using Benthic Macroinvertebrates in Citarum Upstream Indonesia. 4th Asian Academic Society International Conference (AASIC).
- Chessman, B.C. 2003. SIGNAL 2.iv - A scoring system for macroinvertebrates (water bugs) in Australian Rivers User Manual. Canberra. Department of the Environment and Heritage.
- Chessman, B.C. 1995. Rapid Assessment of Rivers Using Macroinvertebrates: A Procedure Based on Habitat-Specific Sampling, Family Level Identification and Biotic Index. *Australian Journal of Ecology* 20 (1): 122-129.
- Custodio, M., F. Chanamé, S. Pizarro, D. Cruz. 2018. Quality of the aquatic environment and diversity of benthic macroinvertebrates of high Andean wetlands of the Junin region, Peru. *The Egyptian Journal of Aquatic Research* 44(3): 195—202.
- Dewi, S.D.K., W. Wardhana. 2020. Water quality assessment of Saluran Tarum Barat, West Java, based on biological monitoring working party-average score per taxon (BMWP-ASPT). *IOP Conference Series Earth and Environmental Science* 481:012073.
- Diantari, N.P.R. Reny, A. Hilman, R. I. Suci, S. I Wayan. 2017. Keanekaragaman serangga Ephemeroptera, Plecoptera, dan Trichoptera sebagai bioindikator kualitas perairan di Sungai Jangkok, Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Entomologi Indonesia* Vol. 14 No. 3.
- Emeka, U.J., U.H. Sylvanus, U.B. Akuoma, D.S. Nane. 2020. Benthic macroinvertebrates diversity and physical-chemical parameters as indicators of the water qualities of Ntawogba Creek Port Harcourt Nigeria. *American Journal of Chemical and Biochemical Engineering* 4(1):8-17.
- Endah, H.N., M. Nadjib. 2017. Pemanfaatan dan peran komunitas lokal dalam pelestarian Danau Maninjau. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan* Vol. 25 No. 1: 55-67.
- Epler, J.H. 2001. Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina. North Carolina. Department of Environment and Natural Resource.
- Etemi, F.Z., P. Bytyci, M. Ismaili, O. Fetoshi, P. Ymeri, A. Shala-Abazi, N. Muja-Bajraktari, M. Czikkely. 2020. The use of macroinvertebrate based biotic indices and diversity indices to evaluate the water quality of Lepenci river basin in Kosovo. *Journal of Environmental Science and Health Part A* 55(6): 748-758.
- Extence, C.A., A.J. Bates, W.J. Forbes, P.J. Barham. 1987. Biologically based water-quality management. *Environmental Pollution* 45: 221-236.
- Gooderham, J., E. Tsyrlin. 2002. The Waterbug Book: A guide to the Freshwater Macroinvertebrates of Temperate Australia. Australia. CSIRO Publishing.
- Handayani, S., S. Bambang, Marsoedi. 2001. Penentuan status kualitas perairan Sungai Brantas hulu dengan biomonitoring makrozoobentos: tinjauan pencemaran dari bahan organik. *Biosain* 1(1): 30-38.
- Hauer, F.R., V.H. Resh. 2017. Macroinvertebrates. In: *Methods in Stream Ecology*. Vol. 1 (Third edition): Ecosystem structure. Hauer, F. R., G.A. Lamberti (eds). New York. Academic Press.
- Fullazaky, M.A., T.W. Seong, M.I.M Masirin. 2010. Assessment of water quality status for the Selangor River in Malaysia. *Water Air and Soil Pollution* 205(1): 63-77.
- Furse, M. T., D. Moss, J.F. Wright, J. F., P.D. Armitage. 1984. The influence of seasonal and taxonomic factors on the ordination and classification of running-water sites in Great Britain and the prediction of their macroinvertebrate communities. *Freshwater Biology* 14(3): 257-280.
- Hilsenhoff, W.L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a Family-Level Biotic Index. *Journal of the North American Benthological Society* 7(1): 65-68.

- Junita, D.R., A. Sartimbul, L. Gustiantini, Sahudin. 2020. Study of microfauna foraminifera as bioindicator for coral reef condition in Tambelan Island, Riau Island Province. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 429 (012005).
- Khatri, N., S. Tyagi. 2015. Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas. *Front Life Sci* 8(1) :23–39.
- Kumari, P., S.K. Maiti. 2020. Bioassessment in the aquatic ecosystems of highly urbanized agglomeration in India: An application of physicochemical and macroinvertebrate-based indices. *Ecological Indicators* 111 (106053).
- Lencioni, V., L. Marziali, B. Rossaro. 2012. Chironomids as bioindicators of environmental quality in mountain springs. *Freshwater Science* 31(2): 525—541.
- Magurran, A.E. 2004. *Measuring biological diversity*. Oxford. Blackwell Publishing.
- Maknuun, L., M. Krisanti, Y. Wardiatno. 2021. Sensitivitas dan kelayakan indeks biotik menggunakan makrovertebrata untuk menentukan status kesehatan sungai. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*. Vol. 26 No. 1: 151-158.
- Malvandi, H., R. Moghanizade, A. Abdoli. 2021. The use of biological indices and diversity indices to evaluate water quality of rivers in Mashhad, Iran. *Biologia* 76:959–971.
- Mandaville, S.M. 2002. *Benthic macroinvertebrates in freshwaters - taxa tolerance values, metrics, and protocols*. Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax, Nova Scotia.
- Mason, C.F. 1991. *Biology of freshwater pollution*. Second edition. New York. Longman Scientific and Technical.
- Merritt, R.W., K.W. Cummins. 2019. *An introduction of the aquatic insects of North America*, 5 Ed. Kendall Hunt Publishing Company. Dubuque. Iowa.
- Molokwu, N.D, P.G. Vaz, T. Bradshaw, A. Blake, C. Hennessey, E. Merten. 2014. Effects of substrate on the benthic macroinvertebrate community: an experimen tal approach. *Ecological Engineering* 73: 109-114.
- Muntalif, B.S., K. Ratnawati, S. Bahri. 2008. Bioassessment menggunakan makroinvertebrata bentuk untuk penentuan kualitas air Sungai Citarum hulu. *Purifikasi* Vol. 9 No. 1: 49-60.
- Nicasio, G., L. Juen. 2015. Chironomids as indicators in freshwater ecosystems: an assessment of the literature. *Insect Conserv Divers* 8(5): 393–403.
- Nontji, A. 2016. *Danau – danau Alami Nusantara*. Jakarta. LIPI Press.
- Nugrahaningrum, A., M.F. Harianja, H. Nugroho, R.C.H. Soesilohadi. 2016. Macroinvertebrate diversity role in water quality assessment of Winongo and Gajah Wong rivers, Yogyakarta, Indonesia. *BONOROWO WETLANDS* Vol. 7 No. 1 Halaman 31-37.
- Ochieng, H., W.P. Gandhi, G. Magezi, J. Okot-Okumu, R. Odong. 2021. Diversity of benthic macroinvertebrates in anthropogenically disturbed Aturukuku River, Eastern Uganda. *African Zoology* 56 (2): 1-19.
- Odum, E.P. 1993. *Dasar-dasar ekologi*. Edisi ke-3. Yogyakarta. Gadjah Mada University Press.
- Oktarina, A., T.S. Syamsudin. 2015. Keanekaragaman dan distribusi makrozoobentos di perairan lotik dan lentik Kawasan Kampus Institut Teknologi Bandung, Jatinangor Sumedang, Jawa Barat. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia* Vol. 1 No. 2 Halaman 227-235.
- Pesce, S.F., D.A. Wunderlin. 2000. Use of water quality indices to verify the impact of Argentina on Suquia River. *Water Research* 34(11): 2915-2926.
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology* 13: 131-144.
- Putri, N., B. Afriyansyah, R. M. Marwoto. 2021. Kepadatan bivalvia di kawasan estuaria mangrove Perpat dan Bunting Belinyu, Bangka. *Jurnal Kelautan Tropis* Vol. 24 No. 1 Halaman 123-132.
- Quinn, J.M., R.J. Davies-Colley, C.W. Hickey, M.L. Vickers, P.A. Ryan. 1992. Effects of clay discharges on streams. 2. Benthic invertebrates. *Hydrobiologia* 248: 235–247.
- Rachman, H., A. Priyono, Y. Wardiatno. 2016. Makrozoobentos sebagai bioindikator kualitas air sungai di Sub DAS Ciliwung Hulu. *Media Konservasi* Vol. 21 No. 3 Halaman 261-269.
- Rahayu, D.M., G.P. Yoga, H. Effendi, Y. Wardiatno. 2018. Penggunaan Makrozoobentos sebagai indikator status perairan hulu Sungai Cisdane, Bogor. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)* Vol. 20 No. 1: 1-8.
- Rahman, A. 2017. Penggunaan indeks BMWP-ASPT dan parameter fisika-kimia untuk menentukan status kualitas Sungai Besar Kota Banjarbaru. *Biodidaktika* Vol. 12 No. 1 Halaman 7—16.
- Rais, A., A. Afandhi, B. Prasetya. 2019. Water quality analysis on tertiary channels using macroinvertebrate in Songka Sub-District, Palopo City. *J-PAL* Vol. 10 No. 1 Halaman 9-13.
- Ramírez, A., C. M. Pringle, K.M. Wantzen. 2008. Tropical stream conservation. Pages 285–304 in D. Dudgeon and C. Cressa (editors). *Aquatic ecosystems: tropical stream ecology*. London UK. Elsevier Science.
- Rodriguez, P., T.B. Reynoldson. 2011. *The pollution biology of aquatic oligochaetes*. Springer.
- Ruiz-Picos, R.A., J.E. Sedeño-Díaz, E. López-López. 2017. Calibrating and validating the Biomonitoring Working Party (BMWP) index for the bioassessment of water quality in neotropical streams, water quality, Hlanganani Tutu, IntechOpen,
- Rustiasih, E., A. I Wayan, A.H.W Sari. 2018. Keanekaragaman dan kelimpahan makroinvertebrata sebagai biomonitoring kualitas perairan Tukad Badung, Bali. *Current Trends in Aquatic Science I(1)*: 16-23.
- Sandin, L., D. Hering. 2004. Comparing macroinvertebrate indices to detect organic pollution across Europe: A contribution to the EC Water Framework Directive intercalibration. *Hydrobiologia* 516: 55–68.
- Selvakumar, A., T. Oconnor, S. Struck. 2010. Role of stream restoration on improving benthic macroinvertebrates and in-stream water quality in an urban watershed: case study. *Journal of Environmental Engineering* 136(1):127-139.
- Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal* 27(30): 379–423.
- Simoes, S.D.S., A.B. Moreira, M.C. Bisinori, S.M.N. Gimenez, M.J.S Yabe. 2008. Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. *Ecological indicator* 8:476 -484.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163: 688.

- Sommerfield, P. 2008. Identification of the Bray-Curtis similarity index: Comment on Yoshioka. *Marine Ecology Progress Series* 372: 303-306.
- Sudarso, Y., T. Suryono, G.P. Yoga, O. Samir, Imroatushshoolikhah, A. Ibrahim. 2021. The impact of anthropogenic activities on benthic macroinvertebrates community in the Ranggeh River. *Journal of Ecological Engineering* 22(5): 179-190.
- Sudarso, J., Imroatushshoolikhah. 2020. Keberadaan cacing oligochaeta di Sungai Ranggeh, *inlet* Danau Maninjau, Sumatera Barat. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan ke-IV MLI 2019*. Bogor, Indonesia.
- Sudarso, J., Y. Wardianto. 2015. Penilaian status mutu sungai dengan indikator makrozoobentos. Bogor. Pena Nusantara.
- Sudarso, J., Y. Wardiatno, D.D. Setiyanto, W. Anggraitoningsih. 2013. Pengaruh aktivitas antropogenik di Sungai Ciliwung terhadap komunitas larva trichoptera. *Jurnal Manusia dan Lingkungan* Vol. 20 No.1 Halaman 68-83.
- Surtikanti, H.K. 2017. Uncertainty result of biotic index in analysing the water. quality of Cikapundung River catchment area, Bandung. *AIP Conference* 1848 (1): 020003.
- Suryono, T., O. Samir, J. Sudarso. 2020. Status perairan dan penilaian habitat sungai-sungai yang bermuara ke Danau Maninjau. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan ke-IV MLI 2019*. Bogor, Indonesia.
- Tawati, F., Y. Risjani, M.S. Djati, B. Yanuwadi. 2020. Assessment of water quality using benthic macroinvertebrate along Sumber Maron River, District of Gondanglegi Kulon, East Java-Malang, Indonesia. *The Journal of Experimental Life Science* 1(1): 12-19.
- Van Haaren, T., J. Soors. 2013. *Aquatic oligochaetes of the Netherlands and Belgium*. Utrecht. KNNV Publishing.
- Wimbaningrum, R, S. Indriyani, C. Retnaningdyah, E. Arisoelaningsih. 2016. Monitoring water quality using biotic indices of benthic macroinvertebrates along surface water ecosystems in some tourism areas in East Java, Indonesia. *Journal of Indonesian Tourism and Development Studies* 4 (2): 81-90.
- Yazdian, H., N. Jaafarzadeh, B. Zahraie. 2014. Relationship between benthic macroinvertebrate bio-indices and physicochemical parameters of water: a tool for water resources managers. *Journal of Environmental Health Science & Engineering* 12(1): 30.
- Yule C.M., Y.H. Sen. 2004. *Freshwater invertebrates of the Malaysian region*. Malaysia. Academy Science.
- Zaman, M.N., Komariah, Sunarto. 2021. Biological water quality of Gajah Wong River, Yogyakarta City, Indonesia *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 824 (012035).