

**KEANEKARAGAMAN MAKROZOOBENTOS SEBAGAI
BIOINDIKATOR KUALITAS AIR DI KALI JARAK KECAMATAN
WONOSALAM KABUPATEN JOMBANG**

TESIS

**Oleh :
HERNANDA AFRA HANIYYAH
NIM. 200602210016**



**PROGRAM STUDI MAGISTER BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022**

**KEANEKARAGAMAN MAKROZOOBENTOS SEBAGAI
BIOINDIKATOR KUALITAS AIR DI KALI JARAK KECAMATAN
WONOSALAM KABUPATEN JOMBANG**

TESIS

**Oleh:
HERNANDA AFRA HANIYYAH
NIM. 200602210016**

**diajukan Kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Magister Sains (M.Si)**




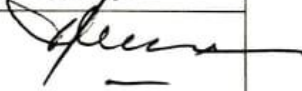
**PROGRAM STUDI MAGISTER BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022**

**KEANEKARAGAMAN MAKROZOOBENTOS SEBAGAI
BIOINDIKATOR KUALITAS AIR DI KALI JARAK KECAMATAN
WONOSALAM KABUPATEN JOMBANG**

TESIS

**Oleh:
HERNANDA AFRA HANIYYAH
NIM. 200602210016**

**telah dipertahankan
di depan Dewan Penguji Tesis dan dinyatakan diterima sebagai
salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Sains (M.Si.)
Tanggal: _____ 2022**

Ketua Penguji	Prof. Dr. Drh. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si. NIP. 197109192000032001	
Anggota Penguji 1	Prof. Dr. Retno Susilowati, M.Si. NIP. 19671113 199402 2 001	
Anggota Penguji 2	Dr. Dwi Suheriyanto, M.P. NIP. 19740325 200312 1 001	
Anggota Penguji 3	Dr. Eko Budi Minarno, M.Pd. NIP. 196301141999031001	

**Mengesahkan,
Ketua Program Studi Magister Biologi
DIN Maulana Malik Ibrahim Malang**



**Prof. Dr. Drh. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si.
NIP. 197109192000032001**

**KEANEKARAGAMAN MAKROZOOBENTOS DI KALI JARAK
KECAMATAN WONOSALAM KABUPATEN JOMBANG**

TESIS

Oleh:
HERNANDA AFRA HANIYYAH
NIM. 200602210016

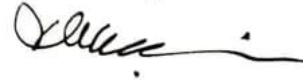
telah diperiksa dan disetujui untuk diuji
tanggal: 22 Juni 2022

Pembimbing I



Dr. Dwi Spherivanto, M.P.
NIP.19740325 200312 1 001

Pembimbing II



Dr. Eko Budi Minarno, M.Pd.
NIP. 196301141999031001

Mengetahui,
Ketua Program Studi Magister Biologi

Prof. Dr. Drh. Dayyatul Muchtaromah, M.Si.
NIP. 197109192000032001

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, kupersembahkan kepada Allah Subhanahu Wata'ala atas rahmat dan nikmat sehingga saya bisa menyelesaikan tugas akhir dengan baik.

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk :

Kedua orang tua saya, Bapak Heru Cahyono dan Ibu Miftakhul Rohana yang telah memberi dukungan dan do'a yang tak terhenti, terimakasih telah bersabar dalam memenuhi hak saya untuk belajar hingga mendapat gelar sarjana ini.

Adikku Hervian Falahul Hanif dan segenap keluarga besar yang selalu menghiburku dan memberikan motivasi.

Tim sampling makrozoobentos Luthfi Ainul Azizah dan Intan Syafinas, beserta seluruh sahabat Biologi 2017 dan Magister Biologi 2020 yang membantu mewujudkan tugas akhir ini.

Serta pihak-pihak yang tidak dapat disebutkan seluruhnya, terimakasih atas segala doa, dukungan, kebersamaan, dan semangatnya.

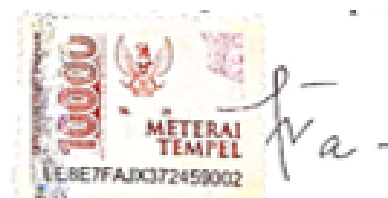
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIHAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hernanda Afra Haniyyah
NIM : 200602210016
Program Studi : Magister Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Keanekaragaman Makrozoobenthos sebagai Bioindikator
Kualitas Air di Kali Jarak Kecamatan Wonosalam
Kabupaten Jombang

menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan, dan/atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan dan/atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan tesis ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 29 Juni 2022
yang membuat pernyataan,



Hernanda Afra Haniyyah
NIM. 200602210016

HALAMAN PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS

Tesis ini tidak dipublikasikan namun terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Daftar pustaka diperkenankan untuk dicatat, tetapi pengutipan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai kebiasaan ilmiah untuk menyebutkannya.

MOTTO

Kesabaran itu menolong segala pekerjaan

Keanekaragaman Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Air di Kali Jarak Kecamatan Wonosalam Kabupaten Jombang

Hernanda Afra Haniyyah, Dwi Suheriyanto, Eko Budi Minarno

Program Studi Magister Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

ABSTRAK

Makrozoobentos adalah golongan hewan bentos makroskopis sebagai organisme kunci dalam jaring-jaring makanan dan berperan sebagai pendegradasi bahan organik, sehingga penting bagi ekosistem. Kali Jarak di Kecamatan Wonosalam Kabupaten Jombang adalah habitat bagi makrozoobentos. Penelitian keanekaragaman makrozoobentos penting dilakukan sebab Kali Jarak yang berada di merupakan bagian hulu dari aliran sungai-sungai yang menuju ke Jombang dan sekitarnya, sehingga kualitas aliran sungainya harus senantiasa terjaga dan terpantau. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui indeks keanekaragaman dan indeks dominansi makrozoobentos, nilai parameter fisika-kimia air, korelasi parameter fisika-kimia air dengan keanekaragaman makrozoobentos, serta mengidentifikasi kualitas air menggunakan metode BMWP-ASPT. Penelitian ini termasuk jenis deskriptif eksploratif. Obyek penelitian adalah makrozoobentos di dasar perairan dan batuan dalam plot. Pengambilan obyek penelitian dilakukan dengan metode *purposive sampling* dengan 3 kali ulangan. Lokasi penelitian terbagi menjadi 3 stasiun. Analisis data dilakukan dengan aplikasi PAST 4.03. Hasil penelitian menunjukkan 19 genus makrozoobentos dengan nilai indeks keanekaragaman stasiun 1=1,666, stasiun 2=1,703, dan stasiun 3=1,191. Nilai indeks dominansi stasiun 1=0,277, stasiun 2=0,278, dan stasiun 3= 0,427. 3. Skor BMWP keseluruhan stasiun 58,33, stasiun 1= 62, stasiun 2=66, dan stasiun 3=47. Skor ASPT keseluruhan stasiun 6,3 stasiun 1= 6,2, stasiun 2=6, dan stasiun 3=6,7, seluruhnya menunjukkan status perairan sangat baik. Parameter fisika-kimia air di seluruh stasiun masih tergolong baik dan dapat digunakan untuk pengairan tanaman. Suhu berkaitan dengan Austrotinodes dan Macrelmis, pH dan debit berkaitan dengan Baetis, arus berkaitan dengan Dicranota, BOD berkaitan dengan Prodiamesa dan Rhitrogena, dan COD berkaitan dengan Euphaea.

Kata kunci : ASPT-BMWP, bioindikator, Kali Jarak, keanekaragaman, makrozoobentos

Macrozoobenthos Diversity as a Bioindicator of Water Quality in Kali Jarak, Wonosalam District, Jombang Regency

Hernanda Afra Haniyyah, Dwi Suheriyanto, Eko Budi Minarno

Master of Biology Study Program, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang

ABSTRACT

Macrozoobenthos is a macroscopic benthic animal group as a key organism in food webs and acts as a degrading agent for organic matter, so it's important for the ecosystem. Kali Distance in Wonosalam District, Jombang Regency is a habitat for macrozoobenthos. Research on the diversity of macrozoobenthos is important because Kali Distance which is located in the upstream part of the rivers leading to Jombang and its surroundings, so that the quality of the river flow must always be maintained and monitored. The purpose of this study was to determine the diversity index and dominance index of macrozoobenthos, the value of water physico-chemical parameters, correlation of water physico-chemical parameters with macrozoobenthos diversity, and to identify water quality using the BMWP-ASPT method. This research is a descriptive exploratory type. The research objects are macrozoobenthos at the bottom of the waters and rocks in the plot. The research object was taken by purposive sampling method with 3 replications. The research location is divided into 3 stations. Data analysis was carried out using the PAST 4.03 application. The results showed 19 genera of macrozoobenthos with a diversity index value of station 1=1,666, station 2=1,703, and station 3=1,191. The dominance index value of station 1 = 0.277, station 2 = 0.278, and station 3 = 0.427. The overall BMWP score is 58.33, station 1 = 62, station 2 = 66, and station 3 = 47. The ASPT score for all stations is 6.3, station 1 = 6.2, station 2 = 6, and station 3 = 6.7, all of which indicate the waters is very good. The physico-chemical parameters of water in all stations are still quite good and can be used for crop irrigation. Temperature is related to *Austrotinodes* and *Macrelmis*, pH and discharge is related to *Baetis*, current is related to *Dicranota*, BOD is related to *Prodiamesa* and *Rhitrogena*, and COD is related to *Euphaea*.

Keywords: ASPT-BMWP, bioindicator, diversity, Kali Jarak, macrozoobenthos.

تنوع Macrozoobenthos كمؤشر حيوي لجودة المياه في
Jombang Regency ، Wonosalam مقاطعة ، Kali Jarak

هيرناندا عفرا هنية ، دوي سويريانتو ، إيكو بودي مينارنو

برنامج دراسة ماجستير الأحياء ، كلية العلوم والتكنولوجيا ، مولانا مالك إبراهيم الدولة الإسلامية جامعة
مالانج

نبذة مختصرة

تعد القاع الكبيرة من الحيوانات القاعية العيانية ككائن حي رئيسي في شبكات الغذاء وتعمل كعامل مهين للمواد
Jombang ، Wonosalam في منطقة Kali Distance. العضوية ، لذلك فهي مهمة للنظام البيئي
Regency بعد البحث عن تنوع أسماك الزوايا الكبيرة أمرًا مهمًا لأن macrozoobenthos هي موطن ل
والمناطق المحيطة بها ، Jombang التي تقع في الجزء العلوي من الأنهار المؤدية إلى Kali Distance
بحيث يجب الحفاظ على جودة تدفق النهر ومراقبتها دائمًا. كان الغرض من هذه الدراسة هو تحديد مؤشر
التنوع ومؤشر الهيمنة للقناة الكبيرة ، وقيمة المعلمات الفيزيائية والكيميائية للماء ، وربط المعلمات الفيزيائية
هذا البحث هو BMWP-ASPT والكيميائية للماء بتنوع القاع الكبير ، وتحديد جودة المياه باستخدام طريقة
نوع استكشافي وصفي. كائنات البحث عبارة عن قعر كبير في قاع المياه والصخور في قطعة الأرض. تم اخذ
موضوع البحث بطريقة الاعتيان الهادف بثلاث مكررات. ينقسم موقع البحث إلى 3 محطات. تم إجراء تحليل
أظهرت النتائج أن 19 جنسًا من القلاع الكبيرة ذات قيمة مؤشر PAST 4.03 البيانات باستخدام تطبيق
التنوع للمحطة 1 = 1,666 والمحطة 2 = 1,703 والمحطة 3 = 1,191. قيمة مؤشر الهيمنة للمحطة 1 =
للمحطات هي BMWP 0.277 والمحطة 2 = 0.278 والمحطة 3 = 0.427. النتيجة الإجمالية لبرنامج
لجميع المحطات هي 6.3 ASPT 58.33 والمحطة 1 = 62 والمحطة 2 = 66 والمحطة 3 = 47. درجة
، والمحطة 1 = 6.2 ، والمحطة 2 = 6 ، والمحطة 3 = 6.7 ، وكلها تشير إلى أن حالة المياه جيدة جدًا. لا
تزال المعلمات الفيزيائية والكيميائية للمياه في جميع المحطات جيدة جدًا ويمكن استخدامها لري المحاصيل.
Baetis ، ويرتبط الأس الهيدروجيني والتفرغ بـ Macrelmis و Austrotinodes ترتبط درجة الحرارة بـ
بـ COD ، ويرتبط Rhitrogena و Prodiamesa بـ BOD ، ويرتبط Dicranota ، ويرتبط التيار بـ
Euphaea.

الكلمات المفتاحية: مؤشر حيوي ، أوقات المسافة ، التنوع ، الزوايا الكبيرة ASPT-BMWP

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Bimillahirrohmanirohim, puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wata'ala atas limpahan rahmat, hidayat dan karunia-Nya hingga penulis diberikan kekuatan, kesempatan, dan kemudahan untuk menyelesaikan penelitian yang berjudul “Keanekaragaman Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Air di Kali Jarak Kecamatan Wonosalam Kabupaten Jombang” ini sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Sains di Program Studi Magister Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

Shalawat dan salam semoga selalu tercurahkan untuk Baginda Nabi Muhammad Shallallahu alaihi wasallam, seluruh keluarga, sahabat, serta seluruh umatnya sampai akhir zaman. Penulis menyadari bahwasannya dalam proses penyusunan tesis ini tidak terlepas dari kendala, namun kerja keras serta motivasi dari segala pihak turut memperlancar kemajuan penyusunan tesis ini. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A., selaku Rektor UIN Maulana Malik Ibrahim Malang dan seluruh jajarannya.
2. Dr. Sri Harini, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Maulana Malik Ibrahim Malang dan seluruh jajarannya.
3. Prof. Dr. drh. Hj. Bayyinatul Muchtaromah, M. Si. selaku Ketua Program Studi Magister Biologi Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. Dwi Suheriyanto, M.P. selaku Dosen Pembimbing I dan dosen wali Program Magister Biologi yang telah membimbing penulis sepanjang perjalanan studi.
5. Dr. Eko Budi Minarno, M. Pd. selaku Dosen Pembimbing II dari Program Magister Biologi yang sudah memberikan waktu dan arahan untuk membimbing hingga penulis mampu menyelesaikan tesis ini.
6. Prof. Dr. drh. Hj. Bayyinatul Muchtaromah, M. Si. dan Prof. Prof. Dr. Hj. Retno Susilowati, M.Si. selaku Dosen Penguj tesis dari Program Magister Biologi Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Seluruh Bapak dan Ibu dosen pengampu mata kuliah yang selama ini telah mengajarkan pengetahuan dan banyak hal bermanfaat lainnya selama perkuliahan, beserta seluruh staf Program Magister Biologi.
8. Kedua orang tua tercinta Bapak Heru Cahyono dan Ibu Miftakhul Rohana yang tiada hentinya selalu mendoakan dan memberikan support, serta para saudara yang tanpa bosan memberi semangat dan do'a selama ini untuk penulis.
9. Seluruh teman angkatan Magister Biologi 2020 yang selama ini telah memberikan motivasi dan kenangan tak mungkin terlupakan.
10. Serta segala pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis, yang memberikan do'a, dukungan, saran, dan bantuan pemikiran hingga tesis ini dapat selesai disusun dengan baik.

Penulis dengan rendah hati berharap semoga Allah SWT membalas segala bantuan dan dukungannya. Penulis berharap semoga tesis ini bermanfaat memperbanyak khasanah ilmu pengetahuan dan menjadi inspirasi peneliti lainnya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, Juni 2022
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUNG.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN.....	vi
HALAMAN PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI.....	vii
MOTTO.....	viii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	x
ملخص البحث.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Rumusan masalah.....	8
1.3. Tujuan penelitian.....	9
1.4. Manfaat penelitian.....	9
1.5. Batasan masalah.....	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1 Makrozoobentos.....	11
2.1.1 Makrozoobentos dalam perspektif Qur'an dan Sains.....	11
2.1.2 Klasifikasi makrozoobentos.....	13
2.1.3 Habitat makrozoobentos.....	23
2.1.4 Peran makrozoobentos sebagai indikator biologi.....	24
2.2 Keanekaragaman.....	26
2.3 Bioindikator.....	28
2.3.1 Definisi bioindikator.....	28
2.3.2 Kriteria bioindikator.....	29
2.3.3 Keunggulan bioindikator.....	30
2.4 Indeks biotik ASPT-BMWP.....	31
2.5 Sungai.....	34
2.5.1 Definisi sungai.....	34
2.5.2 Klasifikasi sungai.....	35
2.5.3 Pemanfaatan sungai.....	36
2.5.4 Parameter fisik-kimia sungai.....	38
2.5.5 Baku mutu air sungai.....	45
2.5.6 Pencemaran sungai.....	47
2.6 Deskripsi wilayah penelitian.....	48
2.7 Kerangka konsep penelitian.....	49

BAB III METODE PENELITIAN	50
3.1 Jenis penelitian	50
3.2 Waktu dan tempat.....	50
3.3 Alat dan bahan.....	50
3.4 Prosedur Penelitian.....	51
3.4.1 Studi pendahuluan	51
3.4.2 Pengambilan spesimen makrozoobentos dan sampel air	54
3.4.3 Identifikasi spesimen makrozoobentos	54
3.4.4 Pengukuran parameter fisika-kimia air	55
3.5 Analisis data	55
3.5.1 Indeks keanekaragaman	55
3.5.2 Indeks dominansi	56
3.5.3 Indeks biotik BMWP-ASPT	56
3.5.4 Analisis korelasi	58
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	 59
4.1 Hasil identifikasi spesimen makrozoobentos.....	59
4.2 Indeks keanekaragaman makrozoobentos.....	87
4.3 Indeks Biotik BMWP-ASPT.....	91
4.4 Parameter fisika-kimia air sungai	93
4.4 Korelasi keanekaragaman makrozoobentos dengan parameter fisika-kimia air sungai.....	98
4.5 Tinjauan hasil penelitian dalam perspektif Al-Qur'an	99
 BAB V PENUTUP.....	 102
5.1 Kesimpulan	102
5.2 Saran	103
 DAFTAR PUSTAKA	 104
LAMPIRAN.....	112

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Kelompok utama makrozoobentos.....	16
2.2 Morfologi Ephemeroptera.....	18
2.3 Morfologi Plecoptera.....	19
2.4 Morfologi Tricoptera.....	20
2.5 Morfologi Odonata.....	20
2.6 Morfologi Coleoptera.....	21
3.1 Peta lokasi penelitian.....	31
3.2 Foto lokasi penelitian.....	32
4.1 Genus <i>Prodiamesa</i>	59
4.2 Genus <i>Diamesa</i>	60
4.3 Genus <i>Dicranota</i>	62
4.4 Genus <i>Atherix</i>	63
4.5 Genus <i>Chrysopilus</i>	65
4.6 Genus <i>Rhitrogena</i>	66
4.7 Genus <i>Ecdyonurus</i>	67
4.8 Genus <i>Baetis</i>	69
4.9 Genus <i>Platybaetis</i>	70
4.10 Genus <i>Perlodes</i>	71
4.11 Genus <i>Hydropsyche</i>	72
4.12 Genus <i>Austrotinodes</i>	74
4.13 Genus <i>Ecnomus</i>	75
4.14 Genus <i>Chimarrhodella</i>	76
4.15 Genus <i>Polyplectropus</i>	78
4.16 Genus <i>Polycentropus</i>	79
4.17 Genus <i>Euphaea</i>	80
4.18 Genus <i>Macrelmis</i>	82
4.19 Genus <i>Dugesia</i>	83
4.20 Grafik triplot CCA.....	98
4.21 Clustering dendogram stasiun penelitian.....	99

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Kelompok makan fungsional makrozoobentos	15
2.2 Baku mutu air sungai menurut PP No. 22 Th. 2021	46
3.1 Deskripsi stasiun pengamatan	51
3.2 Perekam data	54
3.3 Skor BMWP	56
4.1 Jumlah genus makrozoobentos	85
4.2 Nilai indeks keanekaragaman dan indeks dominansi.....	87
4.3 Nilai Skor BMWP dan ASPT	91
4.4 Hasil pengukuran parameter fisika-kimia air.....	93

BAB I PENDAHULUAN

1. 1 Latar belakang

Makrozoobentos merupakan makhluk hidup ciptaan Allah Subhanahu Wata'ala yang beranekaragam dan memiliki berbagai peran dalam ekosistem. Allah Subhanahu Wata'ala secara tersirat menyebutkan kekuasaan, hikmah, dan ciptaan-Nya yang sangat teratur di bumi beserta apa yang ada di dalam dan di atasnya, dalam Al-Qur'an Surat Ar Ra'd ayat 3 berikut :

وَهُوَ الَّذِي مَدَّ الْأَرْضَ وَجَعَلَ فِيهَا رُوسِيًّا وَأَنْهَرًا وَمِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ جَعَلَ فِيهَا
رَوْحَيْنِ أَنْتَنِينِ يُغَشِّي اللَّيْلَ النَّهَارَ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ۝ ۳

Artinya :

“ Dan Dialah Tuhan yang membentangkan bumi dan menjadikan gunung-gunung dan sungai-sungai padanya. Dan menjadikan padanya semua buah-buahan berpasang-pasangan, Allah menutupkan malam kepada siang. Sesungguhnya pada yang demikian itu terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang memikirkan “ (QS: Ar-Ra'd [13]: 3).

Ayat tersebut menunjukkan fenomena-fenomena yang di dalamnya terdapat tanda-tanda dan ayat-ayat kebesaran bagi orang-orang yang berpikir akan nikmat dan pemberian Allah Subhanahu Wata'ala. Tafsir Al-Misbah dalam Shihab (2002) mengartikan tumbuh-tumbuhan dan buah-buahan ini semuanya disiram dengan air yang sama dan tumbuh di atas tanah yang sama, namun berbeda-beda dalam bentuk, warna, ukuran, dan rasanya. Tidak hanya terbatas pada tumbuh-tumbuhan, namun juga pada seluruh ciptaan Allah Subhanahu Wata'ala, salah satunya makrozoobentos yang beranekaragam. Terdapat tanda-tanda kebesaran bagi orang yang sadar dan berakal dalam perbedaan dan variasi ini, berupa indikasi-indikasi terbesar terhadap Pencipta yang berkehendak mengkombinasikan, membedakan, dan meragamkan hal-hal ini.

Air sangat penting dalam kehidupan karena merupakan salah satu zat dasar dalam pembentukan lingkungan hidup. Pentingnya air sebagai sumber daya alam dalam kehidupan manusia dan organisme lainnya di muka bumi secara implisit telah dikemukakan dalam Al-Qur'an surah al-Anbiya ayat 30 berikut :

أَوَلَمْ يَرَ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَاهُمَا^ط وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ ٣٠

Artinya :

“Dan Apakah orang-orang yang kafir tidak melihat bahwa langit dan bumi itu dahulu keduanya adalah suatu yang padu, lalu Kami pisahkan keduanya. dan Kami ciptakan dari air seluruh sesuatu yang hidup. Maka Mengapa mereka tidak juga beriman?” (QS: Al-Anbiya [21]: 30)

Secara umum, ayat tersebut menjelaskan tentang semua proses penciptaan langit dan bumi, serta air sebagai asal kehidupan. Secara tersirat menurut Tafsir Al-Misbah dalam Shihab (2002) diartikan dengan *Dan Kami jadikan dari air yang tercurah dari langit, yang terdapat di dalam bumi dan yang terpancar dalam bentuk sperma segala sesuatu hidup*. Ada yang memahaminya sebagai segala yang hidup memerlukan air atau pemeliharaan seluruh kehidupan adalah dengan air, atau Kami jadikan dari cairan yang terpancar dari *shulbi* (sperma) segala yang hidup yakni dari jenis binatang. Selain binatang, menurut Tafsir As Sa'di (2002) Allah mengingatkan kepada manusia segala sesuatu yang terlihat merupakan ciptaannya dijadikan dari air. Makhluk-makhluk tersebut ada yang berjalan seperti ular, seperti manusia, seperti burung, dan seperti hewan ternak. Perbedaan yang muncul pada berbagai makhluk hidup menunjukkan kehendak dan kekuasaan Allah yang adil pada seluruh makhluk-Nya.

Ayat tersebut menjelaskan bahwa air mencakup sebagian besar struktur tubuh makhluk hidup. Tanpa keberadaan air yang merupakan sumber kehidupan maka tidak ada penciptaan makhluk hidup. Berdasarkan sudut pandang sains

mahluk hidup yang tercipta dari air merujuk pada mikroorganisme. Namun para mufassir menganggap bahwa makna air dalam ayat tersebut adalah sperma. Seperti hewan dan manusia yang tercipta dari sperma (Yunanda, 2018). Kekuasaan Allah tersebut juga dapat dilihat dari banyaknya jenis hewan air salah satunya makrozoobentos. Berdasarkan Aminullah (2017), berbagai penafsiran mengenai ayat ini meyakinkan bahwa air sangat diperlukan. Harus diperhatikan sebagai komponen yang sangat penting, maka pemakaian air harus dapat membawa kegunaan yang sesuai dengan apa yang dibutuhkan. Proses hubungan ini dapat diartikan sebagai interaksi, mengingat perilaku pemakaian air sesuai dengan kepentingannya adalah bentuk interaksi yang tepat dalam menghubungkan manusia dengan air. Jadi, dapat diambil kesimpulan bahwa air merupakan komponen esensial, karena jika tidak ada air, keberlangsungan hidup tidak mampu dipertahankan, seperti yang termaksud dalam kandungan surah al-Anbiya` ayat 30.

Sumber daya air dibutuhkan untuk menopang aktivitas vital manusia seperti nutrisi, respirasi, sirkulasi, ekskresi, dan reproduksi. Keberadaan air mempengaruhi ketersediaan pasokan makanan, kesehatan, dan standar hidup masyarakat. Sumber daya air juga menciptakan lingkungan yang produktif untuk semua makhluk hidup, habitat bagi berbagai flora dan fauna, serta berkontribusi signifikan terhadap hidrologi dan siklus kimia (Kilic, 2020). Air membentuk suatu ekosistem bersama dengan substansi biotik dan abiotik lain, salah satunya adalah ekosistem perairan lotik. Ekosistem lotik memiliki air yang bergerak mengalir, sebagai faktor pembatas bagi makhluk hidup yang tinggal di dalamnya (Abidin, 2018).

Salah satu sumber air di bumi yang dapat dimanfaatkan adalah sungai, namun sungai sebagai perairan lotik (mengalir) mudah terdampak pencemaran dari

beragam kegiatan masyarakat yang dilakukan di sekitar daerah aliran sungai (DAS) tersebut. Pencemaran tersebut menyebabkan penurunan kesehatan manusia terutama yang tinggal di sepanjang sempadan sungai yang sehari-hari menggunakan sungai tersebut. Pencemaran ini juga merusak kehidupan ekosistem sungai, sehingga keberadaan biota – biota sungai semakin menurun jumlahnya (Arnop dkk., 2019). Hal ini diakibatkan salah satunya oleh penurunan oksigen terlarut (DO) yang digunakan untuk menguraikan bahan pencemar organik (Dirisu *et al.*, 2018). Pencemaran air selain menyebabkan penurunan persediaan air minum, juga mengancam kehidupan semua makhluk hidup di air.. Air yang terkontaminasi polutan kimia terbawa ke tempat yang berbeda melalui siklus hidrologi, mengancam keseimbangan ekologi dan kesehatan (Kilic, 2020).

Kecamatan Wonosalam adalah salah satu kecamatan di Kabupaten Jombang, Jawa Timur. Sungai di kecamatan tersebut merupakan bagian hulu dari aliran sungai-sungai yang menuju ke daerah Jombang dan sekitarnya, karena posisinya di lereng Gunung Anjasmoro. Kualitas aliran sungai di Wonosalam sebagai bagian hulu harus senantiasa terjaga supaya tetap mengalirkan air yang layak guna untuk keperluan manusia dan makhluk hidup lain di bagian hilir (Firdhausi dkk., 2019). Salah satu sungai yang melintasi Kecamatan Wonosalam yakni Kali Jarak, yang memiliki panjang totalnya 12,8 KM dengan hulu berasal dari klaster Pegunungan Argowayang, dan hilir menyatu dengan Kali Pakel. Sungai ini dimanfaatkan oleh masyarakat setempat untuk irigasi, perikanan, hingga pariwisata (Dinas PUPR Kab. Jombang, 2021). Selain itu, aktivitas sehari-hari seperti mandi, mencuci, dan berenang juga masih ditemui. Kegiatan masyarakat tersebut memerlukan setidaknya kualitas air kelas II, menurut klasifikasi mutu air dalam

Pergub Jatim No. 61 Th. 2010 bahwa kelas II dapat digunakan untuk sarana / prasarana hiburan air, peternakan, budidaya ikan air tawar, pengairan tanaman, dan / atau kebutuhan lain yang memerlukan kualitas air setara dengan keperluan di atas.

Ekosistem sungai berfungsi sebagai tempat hidup bagi organisme akuatik, terdiri dari tumbuhan air atau makrofit, organisme bentik, perifiton, plankton, hingga ikan (Abidin, 2018). Organisme bentik dari golongan hewan makroskopis disebut makrozoobentos. Makrozoobentos merupakan makroinvertebrata yang sebagian atau seluruh siklus hidupnya berada di dasar perairan (Izmiarti, 2021). Makroinvertebrata adalah objek penelitian dari upaya pemantauan biologis karena memiliki beragam spesies, kosmopolitan, menetap atau sesil, berumur panjang, dan sering bereaksi kuat sehingga dapat memprediksi pengaruh manusia pada ekosistem perairan. Kelompok hewan ini juga merespon stress dan mengintegrasikan efek dari tekanan lingkungan, baik jangka pendek maupun jangka panjang (Ghosh & Bishwash, 2015).

Invertebrata bentik seperti nimfa *stonefly*, *mayfly*, larva *caddisfly*, gastropoda, bivalvia, krustasea, *rattailed maggot*, dan lainnya mampu mengubah dan memperantarai daur material organik pada suatu badan air (Fatima *et al.*, 2017). Organisme bentik memegang peranan penting dalam rantai makanan pada ekosistem perairan sebagai konsumen yang selanjutnya akan dimakan oleh tingkatan trofik yang lebih tinggi. Makrozoobentos yang bersifat *shredder* dan *detritivor* dapat mencacah material organik dari yang berukuran besar menjadi potongan yang lebih kecil, sehingga mempermudah mikroba untuk menguraikannya menjadi nutrisi yang dibutuhkan oleh produsen (Izmiarti, 2021).

Komposisi dan kelimpahan makrozoobentos yang sangat peka dapat dipengaruhi perubahan perairan yang ditempatinya, sehingga hewan ini sering dijadikan sebagai indikator ekologi. Organisme ini memiliki keunggulan sebagai bioindikator yang sebagian besar memiliki mobilitas terbatas sehingga mencerminkan karakteristik lokal dari daerah sampel (Oscoz *et al.*, 2011). Penelitian keanekaragaman makroinvertebrata sungai di Wonosalam sebelumnya telah dilakukan di Sungai Seloatap oleh Mahardika dkk. (2020), diketahui kondisi perairan berdasarkan keragaman makroinvertebrata tergolong tercemar ringan hingga berat. Nilai keanekaragaman tertinggi $H' = 3,3$ (tercemar ringan) pada titik 1 dikarenakan terletak di daerah jarang pemukiman maupun peternakan, serta sempadan sungai ditumbuhi vegetasi. Nilai keanekaragaman paling rendah sebesar $H' = 1,43$ (tercemar berat) pada titik 2 dikarenakan terletak di daerah pemukiman cukup padat dan peternakan sapi perah yang menyumbang debit dan beban organik. Rentan atau tidaknya suatu ekosistem terhadap gangguan, serta stabilitasnya terhadap perubahan, dapat diketahui dari nilai keanekaragaman yang diperoleh (Husamah & Rahardjanto, 2019).

Penilaian mutu air secara biologis memiliki lebih banyak keuntungan daripada penilaian kimia karena sesuai dengan kondisi terkini suatu organisme, bahkan pada konsentrasi polutan sangat rendah. Keuntungan lainnya yakni dapat digunakan pada skala seluler hingga ekosistem. Perhitungan keragaman makhluk hidup dengan mempertimbangkan kelompok-kelompok tertentu dalam kaitannya dengan tingkat pencemaran dapat dilakukan dengan indeks biotik (Husamah & Rahardjanto, 2019). Salah satu indeks biotik yang umum digunakan yaitu *Biological Monitoring Working Party-Average Score Per Taxon* (BMWP-ASPT)

yang mengelompokkan biota bentik menjadi 10 tingkatan berdasarkan kemampuan merespon polusi. Indeks tersebut juga menunjukkan korelasi yang lebih besar dengan parameter kualitas air daripada indeks kekayaan dan keanekaragaman (Bawa *et al.*, 2018). BMWP menyederhanakan pemrosesan identifikasi sampel dengan membatasi hanya 83 kelompok keluarga. Meskipun BMWP tidak memberikan skor total yang jelas, seperti halnya indeks Chandler dan sistem skor biotik lainnya, hal ini dapat diatasi menggunakan ASPT sampai batas tertentu yang merupakan jumlah skor individu (Gray, 2017).

Metode BMWP-ASPT telah diterapkan dalam banyak penelitian, salah satunya dilakukan oleh Darajat dkk. (2020) pada empat mata air di Wana Wiyata Kawasan Wisata Widya Karya, Desa Cowek, Pasuruan. Mata air Alang-Alang dan Sumber Sempol menunjukkan kategori kualitas air tidak tercemar dengan nilai indeks ASPT lebih dari 6. Hal ini dikarenakan pada kedua mata air tersebut ditemukan keluarga makrozoobentos yang tidak toleran dari kontaminasi seperti Psephenidae, Heptageniidae, dan Gerridae. Kelompok tidak toleran ini rentan terhadap perubahan lingkungan, sehingga hanya mampu bertahan di perairan yang masih baik atau belum tercemar. Mata air Demplot dan Sumber Bendo masuk dalam kategori kualitas air tercemar ringan, yaitu memiliki nilai antara 5-6.

Kehidupan makhluk hidup tidak terlepas dari pengaruh lingkungan. Kenakeragaman juga dipengaruhi lingkungan antara lain parameter kimia dan fisik perairan seperti suhu, salinitas, oksigen terlarut, pH, dan substrat dasar perairan. Pengamatan kondisi fisik (jenis substrat) dan kimia (kandungan bahan organik) terkait dengan struktur komunitas makrozoobentos sangat penting untuk dilakukan (Aisyah *et al.*, 2020). Hal tersebut karena substrat berbatu serta memiliki nutrien

atau masukan partikel organik menimbulkan jenis makrozoobentos ditemukan dalam jumlah tinggi, sedangkan substrat dasar berpasir lembut dan berlumpur diprediksikan kurang sesuai dengan makrozoobentos (Oktarina & Syamsudin, 2017). Dengan demikian, maka pengukuran faktor lingkungan itu penting dilakukan.

Sampai saat ini, informasi untuk keanekaragaman makrozoobentos sungai di Kali Jarak sebagai bioindikator melalui metode indeks biotik belum tersedia. Padahal jika dilakukan penelitian lebih lanjut dengan faktor fisika-kimia air dapat dianalisis korelasinya sehingga memberikan informasi kualitas air sungai. Oleh karena itu, perlunya dilakukan penelitian ini dalam rangka mengetahui terjadi atau tidaknya pencemaran akibat kegiatan masyarakat sekitar Kali Jarak menggunakan parameter biologi berupa tingkat keanekaragaman makrozoobentos dan nilai indeks biotik BMWP-ASPT. Berdasarkan latar belakang di atas, maka penelitian yang berjudul “Keanekaragaman Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Air di Kali Jarak Kecamatan Wonosalam Kabupaten Jombang” ini penting untuk dilakukan.

1.2 Rumusan masalah

Masalah yang ada dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Apa saja genus makrozoobentos yang ditemukan di Kali Jarak, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang?
2. Berapa indeks keanekaragaman dan indeks dominansi makrozoobentos di Kali Jarak, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang?

3. Bagaimana kualitas air di Kali Jarak, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang, berdasarkan makrozoobentos menggunakan metode *Biological Monitoring Working Party Average Score Per Taxon*?
4. Berapa nilai parameter fisika-kimia air di Kali Jarak, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang?
5. Bagaimana korelasi antara parameter fisika-kimia air dengan keanekaragaman makrozoobentos di Kali Jarak, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang?

1.3 Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui genus makrozoobentos yang ditemukan di Kali Jarak, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang.
2. Mengetahui indeks keanekaragaman dan indeks dominansi makrozoobentos di Kali Jarak, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang.
3. Mengidentifikasi kualitas air di Kali Jarak, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang, berdasarkan makrozoobentos menggunakan metode *Biological Monitoring Working Party Average Score Per Taxon*.
4. Mengetahui nilai parameter fisika-kimia air di Kali Jarak, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang.
5. Mengetahui korelasi antara parameter fisika-kimia air dengan keanekaragaman makrozoobentos di Kali Jarak, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang.

1.4 Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi tentang peranan makrozoobentos sebagai indikator kualitas perairan yang berkaitan dengan parameter fisika-kimia di Kali Jarak, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang.
2. Memberikan informasi berdasarkan kondisi makrozoobentos di aliran Kali Jarak, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang agar masyarakat bertindak bijak dalam pemanfaatan sungai.
3. Memberikan inspirasi untuk diadakan penelitian lanjut mengenai potensi organisme akuatik sebagai bioindikator kualitas perairan sungai lainnya.

1. 5 Batasan masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Objek yang digunakan adalah makrozoobentos di dasar perairan dan batuan dalam plot yang terperangkap pada ayakan.
2. Parameter penelitian meliputi indeks keanekafragaman, indeks dominansi, indeks biotik, dan faktor fisika-kimia meliputi suhu, pH, kecepatan arus, DO (*dissolved oxygen*), COD (*chemical oxygen demand*), BOD (*biological oxygen demand*), TDS (*total dissolved solid*), TSS (*total suspended solid*), dan debit.
3. Indeks biotik mengikuti tipe gabungan ASPT-BMWP dengan skoring menurut Bartram & Balance (1996).
4. Identifikasi spesimen makrozoobentos dilakukan berdasarkan pengamatan morfologi hingga tingkat genus.
5. Pengamatan dilaksanakan pada bulan Maret 2022 bertepatan dengan musim penghujan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2. 1 Makrozoobentos

2. 1. 1 Makrozoobentos dalam perspektif Al-Qur'an dan Sains

Makrozoobentos yang teridentifikasi pada ekosistem perairan memiliki genus yang beranekaragam. Setiap genus memiliki karakteristik yang berbeda dari genus lainnya. Keanekaragaman tersebut pada secara garis besar disebutkan dari Al-Qur'an surah al-Fathir ayat 28 di bawah ini:

وَمِنَ النَّاسِ وَالْدَّوَابِّ وَالْأَنْعَامِ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهُ كَذَلِكَ إِنَّمَا يَخْشَى اللَّهَ مِنْ عِبَادِهِ الْعُلَمَاءُ
إِنَّ اللَّهَ عَزِيزٌ غَفُورٌ ۲۸

Artinya :

“ dan demikian (juga) di antara manusia, hewan-hewan melata dan hewan-hewan ternak ada yang bermacam-macam warnanya (dan jenisnya). Sesungguhnya yang takut kepada Allah dari hamba-hamba-Nya, hanyalah orang-orang berilmu. Sesungguhnya Allah Maha Perkasa lagi Maha Pengampun.” (QS: Al-Fathir [35]: 28)

Menurut tafsir Ibnu Katsir dalam al-Khalidi (2017), *makhluk bergerak yang bernyawa dan hewan-hewan ternak, ada yang bermacam-macam warnanya (dan jenisnya)* menunjukkan Allah Subhanahu Wata'ala menciptakan binatang dengan warna yang bermacam-macam. *Dawab* adalah setiap hewan yang berjalan dengan kaki. Kata *an'am* yang jatuh setelahnya diathaf-kan padanya, termasuk dalam pengertian *'athaf* khas pada *'am*: dan binatang-binatang memiliki warna yang bermacam-macam. Demikian juga hewan melata dan hewan ternak beraneka ragam warnanya, walaupun masih tergolong satu jenis. Satu jenis hewan ada yang mempunyai warna kulit beraneka ragam, di antaranya ada yang berwarna blonde dan warna-warna lainnya.

Al-Qur'an hanya menggambarkan keanekaragaman makhluk hidup, baik flora maupun fauna dalam garis besar. Orang-orang yang berilmu akan mengembangkan tanda-tanda yang disebutkan dalam al-Qur'an menjadi sains dengan integrasi. Al-Qur'an dari sisi ontologis menjabarkan keanekaragaman hayati merupakan anugerah pemberian Allah Subhanahu Wata'ala yang harus disyukuri kehadirannya oleh umat manusia, serta dimanfaatkan sebaik mungkin. Selain itu, keanekaragaman perlu dipelajari hikmah dan kegunaan sesungguhnya untuk manusia, karena segala ciptaan tidak dijadikan dengan sia-sia (Mustaqim, 2013).

Pemanfaatan ciptaan Allah Subhanahu Wata'ala, termasuk makrozoobentos sebagai indikator kualitas air, secara implisit telah disebutkan dalam firman-Nya surah Ali Imran ayat 190-191 sebagai berikut:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِأُولِي الْأَلْبَابِ ۚ
الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ
رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَطْلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ۚ

Artinya:

"Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal (190). (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): "Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka (191)" (QS: Ali Imran [3]: 190-191)

Menurut tafsir Al Mishbah dalam Shihab (2002), sesungguhnya dalam segala penciptaan mengundang manusia untuk berpikir. Kejadian benda-benda angkasa seperti matahari, bulan, jutaan gugusan bintang dalam pengaturan sistem kerja langit, serta perputaran bumi dan porosnya, terdapat tanda-tanda kemahakuasaan Allah Subhanahu Wata'ala bagi *ulul albab*. Kata *al-albab* adalah bentuk jamak dari *lubb* yaitu saripati sesuatu. Ulul Albab adalah orang-orang yang

memiliki akal yang murni, yang tidak diselubungi kabut ide yang dapat melahirkan kerancuan dalam berpikir. Renungan mereka tentang fenomena alam raya akan dapat sampai kepada bukti yang sangat nyata tentang keesaan dan kekuasaan Allah Subhanahu Wata'ala, selanjutnya berkata sebagai kesimpulan: “*Robbana ma khalaqta hadza bathilan* (Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan alam raya dan segala isinya ini dengan sia-sia, tanpa tujuan yang haq)”.

Kestabilan dan kedinamisasian dalam lingkungan terletak pada upaya mengelola dan melestarikan komponen lingkungan hidup, kemudian melanjutkannya dengan melihat apa kaitan kemanfaatannya pada populasi lain, pengelolaan dan kelestarian lingkungan hidup erat hubungannya dengan mendudukan keseluruhan komponen lingkungan hidup secara kodrati ini merupakan salah satu tujuan penciptaan dalam Islam sebab Allah Subhanahu Wata'ala menciptakan sesuatu dengan tujuan (Ibrahim, 2016). Faktor biologis dapat menunjukkan adanya keseimbangan atau ketidakseimbangan lingkungan bagi orang-orang berakal yang disebutkan dalam surah Ali Imran ayat 190-191 di atas. Pengamatan spesies-spesies bioindikator melalui indeks biotik menunjukkan manfaat makrozoobentos untuk memantau mutu perairan, menunjukkan tiada ciptaan Allah Subhanahu Wata'ala yang sia-sia.

2. 1. 2 Klasifikasi makrozoobentos

Bentos adalah makhluk yang tipe hidupnya sesil, merayap, maupun menggali lubang di substrat dasar perairan. Tempat hidup bentos meliputi lumpur, pasir, batuan, pecahan karang, hingga karang mati. Berdasarkan tempat hidupnya, bentos dapat digolongkan menjadi infauna dan epifauna (Fachrul, 2007):

- a. Infauna (hidup dalam substrat). Kelompok ini melimpah di zona subtidal dan biasanya dominan dalam komunitas substrat lunak.
- b. Epifauna (hidup pada permukaan substrat). Kelompok ini melimpah di zona intertidal dan bisa dijumpai di berbagai jenis substrat. Pergerakannya lebih lambat di permukaan sedimen lunak, namun mampu melekat dan perkembangannya lebih baik di substrat keras.

Bentos dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis, yakni Zoobentos termasuk hewan dan Fitobentos yang terdiri dari tumbuhan (Fatima *et al.*, 2017). Sedangkan bentos berdasarkan ukurannya diklasifikasikan ke dalam tiga kategori yakni makrozoobentos, mesobentos, serta mikrozoobentos (Fachrul, 2007):

- a. Makrozoobentos, berupa bentos berukuran lebih besar dari 1,0 mm, misalnya moluska.
- b. Mesobentos, berupa bentos berukuran dengan kisaran 0,1-1,0 mm, misalnya *cnidaria*
- c. Mikrobentos, berupa bentos berukuran lebih kecil dari 0,1 mm.

Makrozoobentos adalah golongan hewan bentos makroskopis yang berperan penting sebagai organisme kunci dalam jaring-jaring makanan, serta pendegradasi bahan organik ekosistem akuatik (Arfiati dkk., 2019). Makrozoobentos sering digolongkan dalam makroinvertebrata. Sebagian besar spesies ini berkaitan dengan permukaan dasar sungai atau permukaan lainnya yang stabil, bukan spesies yang sebagian besar waktunya berenang bebas. Karena kecenderungan untuk menghuni bagian dasar, umumnya disebut makroinvertebrata bentik. Makroinvertebrata dalam arti luas adalah invertebrata berukuran cukup besar, bisa diamati tanpa lensa pembesar. Kelompok ini mencakup banyak spesies

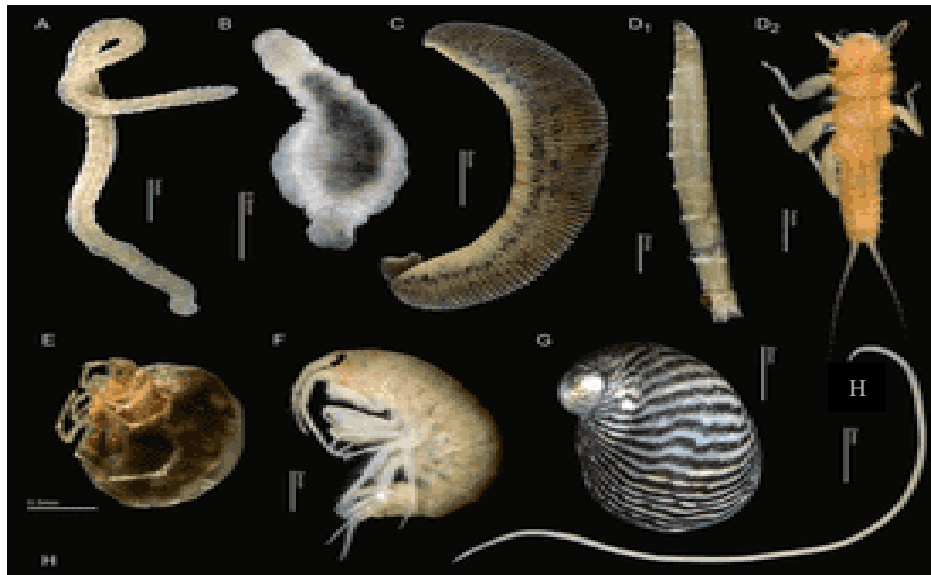
dari filum berbeda, seperti annelida, moluska, plathelminthes, nematoda, dan arthropoda (terutama serangga)(Oscoz *et al.*, 2011).

Adapun makrozoobentos berdasarkan cara makan dikategorikan menjadi lima kelompok makanan fungsional dalam tabel 2.1 (Kumar & Vyas, 2014). Klasifikasi makrozoobentos berdasarkan taksonominya dapat dibagi menjadi beberapa kelompok utama seperti pada gambar 2.1.

Tabel 2.1. Kelompok makan fungsional makrozoobentos

Kelompok makan	Mekanisme makan	Sumber makanan dominan	Ukuran makanan
<i>Shredders</i>	Memamah kotoran, jaringan tanaman hidup, atau serpihan kayu	Materi organik kasar (CPOM) – jaringan tumbuhan yang terurai	>1,0 mm
<i>Filtering collectors</i>	Menyaring partikel terlarut dari badan air	Materi organik halus (FPOM) – partikel terdekomposisi, alga, bakteri, feses	0,01-1,0 mm
<i>Gathering collector</i>	Mencerna endapan sedimen atau mengumpulkan partikel yang terlepas dari endapan	Materi organik halus (FPOM) – partikel terdekomposisi, alga, bakteri, feses	0,05-1,0 mm
<i>Scraper/ Grazer</i>	Menggerus permukaan batu, kayu, atau batang tumbuhan air	Perifiton termasuk alga non-filamen, mikroflora, fauna, dan feses	0,01-1,0 mm
<i>Predator</i>	Menangkap dan menelan mangsa, menghisap cairan tubuh	Mangsa hewan hidup	>0.5 mm

Sumber: Kumar & Vyas (2014)



Gambar 2.1. Kelompok utama makrozoobentos (Oscoz *et al.*, 2011). (a) dan (b) Oligochaeta, (c) Hirudinea, (d) Insekta, (e) Hydracarina, (f) Crustacea, (g) Gastropoda, dan (h) Nematoda.

2. 1. 2. 1 Oligochaeta

Oligochaeta adalah subkelas dari filum annelida. Oligochaeta memiliki segmentasi tubuh dengan sedikit *chaetae* atau "bulu" pada permukaan luar tubuh. Oligochaeta perairan memiliki ukuran bervariasi (1-150 mm) dan memiliki bentuk tubuh memanjang simetris bilateral yang terbagi menjadi banyak segmen, seperti gambar 2.1 (a) dan (b). Tiap segmen memiliki empat *chaetae* selain segmen pertama. Oligochaeta dewasa memiliki satu lapis penebalan kelenjar (*klitellum*) di daerah genital. Kepompong dikeluarkan dari *klitellum* setelah kopulasi di mana pembuahan telur terjadi dan telur yang dibuahi berkembang secara internal. Famili yang paling dikenal adalah Naididae, Enchytraeidae, Haplotaxidae, Lumbriculidae, dan Lumbricidae. Beberapa spesies bisa bertahan di lingkungan rendah konsentrasi oksigen dan tercemar berat secara organik (Rufusova *et al.*, 2017). Oligochaeta air tawar berperan dalam bioturbasi sedimen yang terakumulasi di danau dan sungai.

Melalui aktivitas menggali, makan, pergerakan, pernapasan, dan ekskresinya, cacing ini memediasi proses fisik dan kimia antara sedimen dengan air (Oscoz *et al.*, 2011).

2. 1. 2. 2 Hirudinea

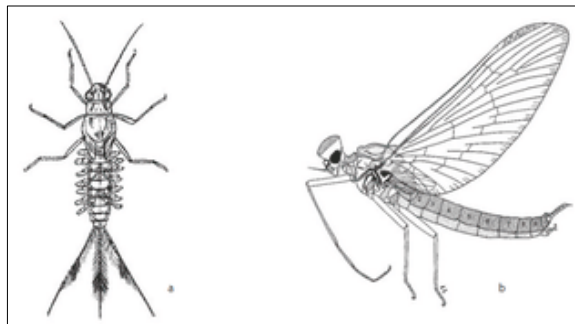
Kelas Hirudinea umumnya digolongkan dalam filum Annelida, atau sebagai subkelas dari kelas Clitellata, dengan Oligochaeta menjadi subclass lainnya. Tubuhnya tersegmentasi berotot dan kontraktil, serta memiliki pengisap di kedua ujungnya seperti gambar 2.1 (c). Pengisap anterior memfasilitasi perlekatan pada ikan, dan dengan menggunakan kedua pengisap mereka dapat bergerak menuju insang atau dasar sirip tempatnya mengisap darah, dan memiliki belalai yang dapat diselipkan ke mangsanya saat makan (Oscoz *et al.*, 2011). Lima famili lintah yang diidentifikasi yakni Glossiphoniidae, Erpobdellidae, Piscicolidae, Haemopidae, dan Hirudinidae. Lintah tidak memiliki seta dan segmentasi eksternal tubuhnya tidak sesuai dengan segmentasi organ internalnya. Lintah dapat berupa predator atau parasit. Sebagian besar anggotanya hidup di air tawar, sementara beberapa dapat ditemukan di lingkungan terestrial dan lautan. Habitat yang sesuai adalah kolam air tawar berlumpur dan aliran dengan vegetasi air yang tumbuh subur (Rufusova *et al.*, 2017).

2. 1. 2. 3 Insecta

a. Ephemeroptera

Ordo Ephemeroptera (lalat capung) adalah salah satu serangga tertua, terdiri dari sekitar 3.200 jenis. Nimfanya menghuni perairan mengalir; namun beberapa taksa lebih menyukai perairan tergenang. Fase dewasa hidup dalam waktu yang singkat (beberapa jam atau hari) hanya untuk bereproduksi. Fase dewasa ini

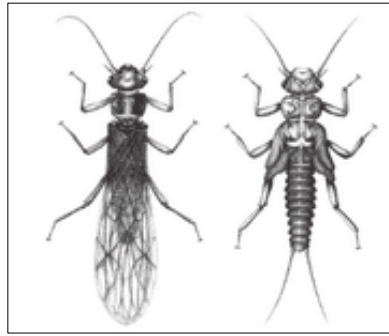
berkerumun di atas air. Nimfa lalat capung adalah makanan penting untuk ikan dan predator yang lebih besar dari invertebrata air. Nimfa lalat capung merupakan bioindikator yang sangat berguna, oleh karena itu merupakan kelompok penting untuk pemantauan air tawar. Nimfanya memiliki bentuk yang berbeda menurut adaptasi lingkungannya, seperti gambar 2.2 (Rufusova *et al.*, 2017).



Gambar 2.2. Morfologi Ephemeroptera (Rufusova *et al.*, 2017). (a) nimfa dan (b) dewasa.

b. Plecoptera

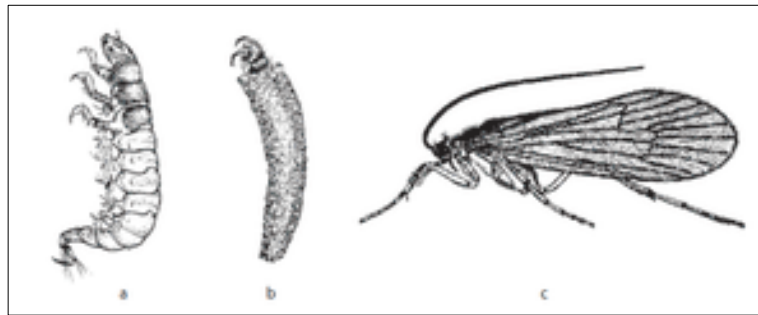
Ordo plecopetera (lalat batu) adalah ordo kecil serangga hemimetabola dengan jumlah kira-kira 3.500 spesies. Ordo ini tidak ditemukan di perairan tergenang. Lalat batu umumnya bukan penerbang yang kuat dan beberapa tanpa sayap. Larva dan dewasa memiliki pasangan *cerci* menonjol dari ujung perut seperti gambar 2.3. Larvanya memakan makanan bahan organik dan beberapa predator (Perlidae, Perlodidae, Chloroperlidae). Perkembangan larvanya mencapai 14 tahun, sehingga sesuai untuk indikator perairan mengalir (Rufusova *et al.*, 2017).



Gambar 2.3. Morfologi Plecoptera (Rufusova *et al.*, 2017). (a) nimfa dan (b) dewasa.

c. Tricoptera

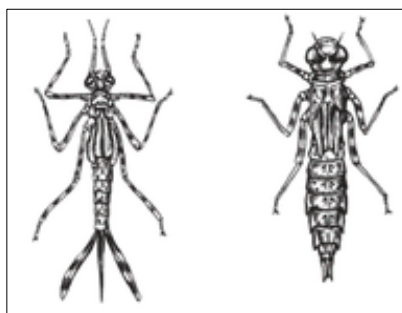
Ordo Tricoptera atau lalat kadis ini mencakup lebih dari 15.000 spesies, terbagi menjadi 18 famili. Taksa yang paling umum ditemukan di perairan yang mengalir. Ordo ini termasuk serangga yang bermetamorfosis sempurna, yakni memiliki fase kepompong dalam perkembangannya. Fase dewasa mirip kupu-kupu, namun sayapnya tertutupi rambut, seperti pada gambar 2.4. Ujung tubuh larva memiliki proleg perut dengan cakar anal, sebagai adaptasi terhadap arus air yang kuat. Terdapat 5-7 tahap perkembangan (instar) dalam siklus hidup satu tahun. Ujung labium larva memiliki kelenjar sutra untuk menghasilkan jaring atau sebagai lem untuk konstruksi selubung. Jaring halus dipasang pada kotak untuk menangkap partikel makanan. Larva instar terakhir dari jenis yang hidup bebas membangun wadah kepompong khusus, umumnya terbuat dari serpihan sutra dan pasir atau batu, dan yang disemen dengan kuat ke substrat (Rufusova *et al.*, 2017).



Gambar 2.4. Morfologi Tricoptera (Rufusova *et al.*, 2017). (a) larva tanpa selubung, (b) larva berselubung, dan (c) dewasa.

d. Odonata

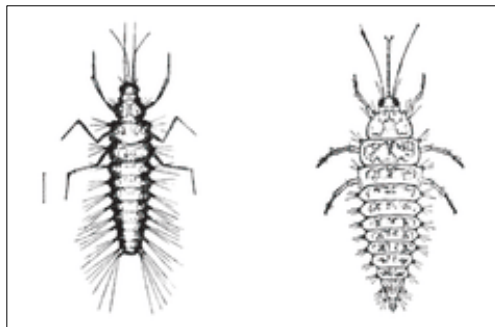
Ordo Odonata terdiri dari tiga subordo yakni: Anisoptera, Zygoptera, dan Anisozygoptera. Odonata adalah ordo serangga tua yang mengalami hemimetabola. semua larva memiliki ciri modifikasi labium seperti topeng atau masker. Larvanya menangkap mangsa dengan topeng yang dapat diperpanjang, yang terlipat di bawah kepala dan dada. Odonata menjadi predator utama jaring trofik air tawar (Rufusova *et al.*, 2017).



Gambar 2.5. Morfologi Larva Odonata (Rufusova *et al.*, 2017). .

e. Coleoptera

Coleoptera adalah ordo besar serangga, sebagian anggotanya terestrial. Namun sekitar 12.500 anggotanya di seluruh dunia masih tergolong spesies akuatik. Mulut larva digunakan untuk menggigit, dengan mandibula dan maksila digunakan untuk menahan dan mengunyah. Ada yang tidak berkaki dan ada yang memiliki 3 pasang kaki bersendi pada dada. Kumbang air bernafas dengan berbagai cara: menggunakan spirakel atau insang (Gyrinidae), melubangi tanaman terendam yang batangnya berongga (Chrysomelidae), menggunakan siphon yang terletak di ujung perut untuk menarik udara permukaan (Dytiscidae), hingga menyimpan udara serta sebagai plastron (lapisan tipis oksigen di sekitar perut (Dryopidae, Elmidae). (Rufusova *et al.*, 2017).



Gambar 2.6. Morfologi Larva Coleoptera (Rufusova *et al.*, 2017). .

2. 1. 2. 4 Crustacea

Crustacea adalah kelompok invertebrata yang terdiri dari sekitar 67.000 spesies di seluruh dunia. Kebanyakan crustasea adalah hewan akuatik laut, namun sedikit kelompok di habitat air tawar. Cirinya yang dapat dibedakan dari kelompok

arthropoda yang lain yakni memiliki dua pasang antena dan lebih dari empat pasang anggota badan *biramous*, seperti pada gambar 2.1 (f). Crustacea memiliki eksoskeleton yang akan berganti ketika tumbuh (Rufusova *et al.*, 2017). Crustasea dekapoda hidup dengan menggali lubang dengan beberapa tujuan tertentu, seperti persembunyian dari predator, perlindungan dari kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan terkait stabilitas lingkungan mikro, pergantian kulit, perkawinan, inkubasi telur atau juvenil, penyediaan makanan. Menggali lubang juga menjadi akses crustasea menuju genangan air atau kondisi lembap bagi spesies semi-terrestrial (Pratiwi, 2001).

2. 1. 2. 5 Gastropoda

Moluska yang sering ditemukan di perairan sungai adalah gastropoda. Gastropoda merupakan kelas yang memiliki jumlah anggota tertinggi dan paling sesuai dengan berbagai habitat. Umumnya gastropoda air tawar adalah herbivora, sebagian besar pemakan umut dan alga, tetapi ada juga yang karnivora. Gastropoda memiliki kemampuan untuk menempel di bawah atau di balik batu, juga hidup di sungai dengan cara mengubur di substrat dan dasar perairan yang memiliki sifat menetap (Hecca *et al.*, 2017). Kelas gastropoda biasanya dijumpai pada substrat yang beragam baik substrat keras maupun berpasir karena lebih mudah beradaptasi daripada kelas yang lain (Arfiati dkk., 2019). Gastropoda mempunyai daya tahan tubuh serta penyesuaian cangkang yang keras seperti pada gambar 2.1 (g), membuatnya lebih mampu beradaptasi sehingga kelimpahannya juga relatif tinggi pada substrat batuan. Karena spesiesnya yang lebih banyak serta sebagian besar merupakan epifauna yang bergerak lambat, gastropoda tidak sukar dijumpai sehingga menyebabkan persentase Gastropoda cukup tinggi. Celah cangkang

Gastropoda tertutup rapat oleh operkulumnya. Untuk meniasati kehilangan air, kelompok ini dapat memasuki cangkang kemudian menutup operkulumnya (Fajri, 2013).

2. 1. 3 Habitat makrozoobentos

Kerapatan dan keragaman makroinvertebrata memiliki hubungan secara langsung dengan keragaman substrat. Adanya endapan sedimen akan mengisi ruang pori di antara partikel kasar pada substrat, sehingga mengurangi ketersediaan habitat tempat hidup makroinvertebrata. Sedimen yang mengisi ruang pori-pori akan menimbulkan barrier sedimen yang bersifat impermeable terhadap kandungan oksigen *hyporheic*, disebabkan penghambatan sirkulasi air di antara pori-pori partikel. Peningkatan kandungan sedimen berukuran halus sejumlah 12-17 % dapat diasosiasikan dengan pengurangan total kelimpahan invertebrata sejumlah 16-40 %. Struktur komunitas insekta dapat berubah dengan adanya sedimentasi pada dasar substrat. Insekta yang memungkinkan untuk membuat habitat lubang merupakan organisme yang toleran dengan rendahnya tingkat kandungan oksigen. Adanya pergeseran dalam komunitas makroinvertebrata benthik ditandai oleh peningkatan komposisi genera toleran debu (*silt*) seperti *mayflies* dari jenis *Tricorythodes*. Pergeseran ini teramati pada konsentrasi sedimen tersuspensi kira-kira 53 mg/L (Tjokrokusumo, 2008).

Habitat yang berarus deras dan berbatu memiliki vegetasi tepi sungai serta nutrien atau masukan partikel organik seperti sobekan daun serta materi terlarut lainnya. Keadaan ini menimbulkan jenis makrozoobentos ditemukan dalam jumlah tinggi. Komunitas makrozoobentos diprediksikan tidak terlalu menyukai kondisi habitat dengan substrat dasar berpasir lembut dan cukup berlumpur. Partikel

tersuspensi berupa *fine particulate organic matters* (FPOM) dapat diubah menjadi bahan terlarut/*dissolved organic matters* (DOM) oleh mikroba akuatik (misalnya fungi dan bakteri). Selanjutnya DOM digunakan organisme autotrof (misalnya makrofit dan ganggang) yang melekat pada substrat dasar. Adapun organisme autotrof tersebut berperan sebagai sumber nutrisi untuk kelompok makan bersifat *grazer*, yakni mengikis permukaan substrat dasar. Keberadaan *grazer* sangat penting dalam rantai makanan, karena menunjang makrozoobentos lainnya yang pola mencari makanannya *collector* (pengumpul) (Oktarina & Syamsudin, 2017).

2. 1. 4 Peran makrozoobentos sebagai indikator biologi

Makrozoobentos mempunyai kontribusi yang sangat penting dalam fungsi ekosistem, daur material organik, serta proses mineralisasi pada endapan perairan. Selain itu juga berkontribusi pada perpindahan energi dalam rantai makanan (Sharma *et al.*, 2013). Organisme ini umumnya dimanfaatkan sebagai bioindikator untuk memantau penurunan mutu perairan, utamanya yang diakibatkan oleh polutan materi organik. Penurunan kualitas ekosistem spasial ataupun temporal mungkin sekali dijelaskan oleh organisme ini (Oktarina & Syamsudin, 2017). Invertebrata benthik mengubah dan mengangkut nutrisi dari satu bagian badan air ke badan air lain, serta mempengaruhi siklus nutrisi. Invertebrata ini mencerna bahan organik seperti serasah daun dan detritus, menyajikan sumber makanan untuk organisme akuatik yang lebih tinggi seperti ikan, serta membentuk hubungan dasar antara bahan organik dan hewan air tingkat tinggi dalam jaring makanan (Fatima *et al.*, 2017).

Peningkatan kekayaan spesies umumnya dikaitkan dengan komunitas benthik perairan mengalir di berbagai wilayah dan, mungkin terkait dengan

peningkatan heterogenitas lingkungan, kandungan bahan organik, aliran hidrobion dari daerah sungai, serta peningkatan kelimpahan makroinvertebrata. Penurunan keanekaragaman hayati mungkin tidak hanya karena peningkatan polusi antropogenik, tetapi juga perubahan biotik alami dan kondisi abiotik. Apabila tidak ditemukan spesies Plecoptera (paling sensitif terhadap polusi) menunjukkan kualitas habitat yang buruk kondisi di perairan. Faktor penting spasial distribusi makrozoobentos adalah jenis sedimen paling bawah, tetapi aspek ini tidak diperhitungkan dalam metode perhitungan dan rekomendasi untuk menggunakan indeks biotik (Yanygina, 2017).

Makhluk hidup atau sekumpulan makhluk hidup yang keberadaannya mampu menjelaskan keadaan suatu lingkungan disebut bioindikator. Makroinvertebrata benthik merupakan golongan organisme yang umum dipakai untuk meninjau kualitas sungai. EPT merupakan singkatan dari ordo *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, dan *Trichoptera* yang dapat dipakai untuk menilai status perairan. Makroinvertebrata EPT sangat peka untuk merespon perubahan keadaan ekosistem sungai. Ordo tersebut bisa bertahan dalam keadaan perairan yang sehat dan bebas cemaran. Pencemaran yang masuk ke perairan, meskipun hanya sedikit, mampu menyebabkan populasi EPT berkurang (Firdhausi dkk., 2019).

Makroinvertebrata adalah salah satu kelompok organisme yang paling banyak digunakan dalam indikator biologis. Organisme ini memiliki keunggulan sebagai bioindikator yang dapat diringkas sebagai berikut: (1) sebagian besar memiliki mobilitas terbatas sehingga mencerminkan karakteristik lokal dari daerah sampel; (2) umumnya memiliki siklus hidup yang cukup panjang dan oleh karena

itu karakteristiknya merupakan hasil dari waktu sebelumnya; (3) dapat ditemukan di sebagian besar habitat perairan, berlimpah dan relatif mudah ditangkap; (4) pengambilan sampel berdampak minimal terhadap biota yang tinggal di sana; (5) taksonominya relatif terdefinisi dengan baik; (6) memiliki kepekaan yang berbeda terhadap polutan yang berbeda, bereaksi cepat dengan tanggapan bertahap; (7) karena adanya perbedaan kelompok hewan dan tingkat trofik, kemungkinan salah satu organisme ini bereaksi dalam menghadapi perubahan lingkungan yang tinggi; dan (8) penentuan taksonomi sampai tingkat famili menjadi indikator kondisi lingkungan yang dapat diandalkan (Oscoz *et al.*, 2011).

2. 2 Keanekaragaman

Konsep keanekaragaman yang sering digunakan di seluruh spektrum disiplin ilmu, termasuk ekologi, didefinisikan sebagai ukuran kisaran dan distribusi suatu komponen dalam populasi tertentu (Xu *et al.*, 2020). Dua aspek utama dalam keanekaragaman meliputi jumlah spesies dalam komunitas dan kelimpahan tiap-tiap spesies tersebut. Oleh karena itu semakin kecil jumlah spesies dan variasi jumlah masing-masing spesies, atau terdapat keberadaan individu yang lebih banyak, maka dapat dikatakan semakin kecil keanekaragaman suatu ekosistem tersebut. Begitu pula kebalikannya, semakin banyak jumlah dan variasi jumlah masing-masing spesies, serta tanpa adanya spesies dominan, dapat dikatakan makin tinggi tingkat keanekaragaman (Tis'in, 2017).

Keanekaragaman dapat dijelaskan dalam 3 tingkatan. Keanekaragaman alfa (α) menunjukkan kekayaan spesies pada tingkat komunitas individu, sedangkan keanekaragaman beta (β) menunjukkan tingkat peralihan spesies antara dua komunitas yang berdampingan. Keanekaragaman gamma (γ) mewakili jumlah

spesies di beberapa komunitas yang berdampingan, dan pada tingkat lanskap. Keanekaragaman alfa (α) pada dasarnya dapat dipelajari untuk dua karakteristik terpentingnya yakni dominasi dan keanekaragaman (Thukral *et al.*, 2019).

Indeks Shannon menyajikan karakteristik yang baik dan dapat digunakan secara luas daripada keseluruhan indeks tingkat keanekaragaman lainnya. Simpson mengembangkan indeks pertama yang menunjukkan kemungkinan dua individu yang dipilih secara acak berasosiasi dengan spesies yang sama. Jika suatu sistem terdiri dari informasi yang terkonsentrasi pada satu atau beberapa spesies, yaitu jika satu atau beberapa spesies memiliki jumlah individu maksimum, maka sistem tersebut memiliki lebih banyak dominasi. Sebaliknya, jika suatu sistem kurang lebih sama di antara spesiesnya, yaitu jumlah individu dari spesies yang berbeda sama atau hampir sama, terdapat lebih banyak keanekaragaman (Thukral *et al.*, 2019). Indeks keanekaragaman (H') Shannon-Wiener memiliki kisaran nilai tertentu, yaitu : $H' < 1$ (keanekaragaman rendah), $1 < H' < 3$ (keanekaragaman sedang), dan $H' > 3$ (keanekaragaman tinggi) (Sulaeman *et al.*, 2020). Indeks dominasi Simpson memberikan bobot yang relatif kecil pada taksa yang jarang ditemui dan bobot lebih pada taksa yang melimpah. Nilainya berkisar dari 0 (keanekaragaman rendah) hingga maksimum $1 - 1/s$, di mana s adalah jumlah takson (Ghosh & Bishwash, 2015). Indeks dominansi dengan kisaran 0-0,5 menandakan tidak ada jenis yang mendominasi, sedangkan kisaran 0,5-1 mengindikasikan adanya jenis tertentu yang mendominasi (Desinawati dkk., 2018).

2. 3 Bioindikator

2.3.1 Definisi bioindikator

Bioindikator dapat didefinisikan sebagai spesies atau kelompok spesies yang dapat mencerminkan keadaan lingkungan abiotik atau biotik, mewakili dampak perubahan lingkungan pada habitat, komunitas atau ekosistem, dan indikator keragaman taksa atau seluruh keragaman dalam suatu area. Bioindikator menunjukkan sensitivitas dan/atau toleransi terhadap kondisi lingkungan sehingga memungkinkan untuk digunakan sebagai alat penilai kondisi lingkungan. Bioindikator memandang bahwa kehadiran, ketidakhadiran, dan/atau tingkah lakunya sangat erat terkait dengan status lingkungan tertentu sehingga dapat digunakan sebagai indikator (Husamah & Rahardjanto, 2019).

Bioindikator adalah organisme (atau bagian dari organisme atau komunitas organisme) yang berisi informasi tentang kualitas lingkungan (atau bagian dari lingkungan). Taksa indikator (indikator ekologis) adalah spesies yang diketahui sensitif terhadap proses atau polutan yang mengarah pada perubahan keanekaragaman hayati dan diambil sebagai pengganti komunitas yang lebih besar dan bertindak sebagai pengukur kondisi suatu habitat, komunitas, atau ekosistem tertentu. Spesies atau kelompok spesies ini sering dianggap sebagai pengganti keanekaragaman kelompok lain yang mungkin lebih sulit diidentifikasi dalam bidang penelitian keanekaragaman hayati. Spesies seperti itu juga disebut indikator keanekaragaman hayati (Markert *et al.*, 2003).

Bioindikator mengacu pada semua sumber reaksi biotik dan abiotik terhadap perubahan ekologis, digunakan untuk mendeteksi perubahan alam sekitar serta untuk menunjukkan dampak negatif atau positif. Bioindikator juga dapat

mendeteksi perubahan lingkungan karena adanya polutan yang dapat mempengaruhi keanekaragaman hayati lingkungan, serta spesies yang ada di dalamnya. Kondisi lingkungan secara efektif dipantau dengan penggunaan spesies bioindikator karena ketahanannya terhadap variabilitas ekologi (Schneider *et al.*, 2010)

2.3.2 Kriteria bioindikator

Pemilihan spesies bioindikator yang sesuai merupakan kunci dalam mengembangkan program pemantauan yang efektif. Spesies bioindikator harus peka terhadap perubahan ekosistem sebagai akibat dari perubahan lingkungan dan adanya polutan dengan reaksi yang berbeda sepanjang gradien polusi. Efek ini dapat bermanifestasi dengan perubahan keanekaragaman hayati, efek pada struktur komunitas, atau efek subletal (respons biokimia pada organ), dan hadir tidaknya dalam ekosistem. Organisme bioindikator juga harus mudah diidentifikasi, didistribusikan secara luas; memiliki riwayat dan biologi tahap kehidupan yang terdokumentasi dengan baik; relatif menetap; kemampuan untuk memberikan sinyal peringatan dini; memiliki peran kunci dalam ekosistem; dan memiliki respons homogen yang dapat diprediksi terhadap kontaminan (Dalu & Wasserman, 2021).

Bioindikator yang dapat digunakan untuk memantau keadaan polusi di suatu tempat sebaiknya memenuhi kriteria sebagai berikut (Husamah & Rahardjanto, 2019):

1. Organisme yang dijadikan sebagai bioindikator memiliki kisaran toleransi yang sempit terhadap perubahan lingkungan.

2. Organisme yang dijadikan sebagai bioindikator memiliki kebiasaan hidup menetap di suatu tempat atau pemencarannya terbatas.
3. Organisme yang dijadikan sebagai bioindikator mudah dilakukan pengambilan sampel dan merupakan organisme yang umum dijumpai di lokasi pengamatan.
4. Akumulasi dari polutan tidak mengakibatkan kematian pada organisme yang dijadikan sebagai bioindikator.
5. Organisme yang dijadikan sebagai bioindikator lebih disukai yang berumur panjang, sehingga dapat diperoleh individu contoh dari berbagai stadium atau dari berbagai tingkatan umur.

2.3.3 Keunggulan bioindikator

Bioindikator terkadang lebih dapat dipercaya daripada indikator kimia, karena bioindikator menambahkan komponen temporal yang sesuai dengan rentang kehidupan atau waktu tinggal suatu organisme dalam sistem tertentu. Sebaliknya, banyak pengukuran kimia dan fisik hanya mencirikan kondisi pada saat pengambilan sampel, meningkatkan kemungkinan hilangnya pulsa polutan sporadis. Rentang toleransi bioindikator memberikan gambaran tingkat polutan yang bermakna secara biologis sebagai alternatif kontaminan pada konsentrasi yang sangat rendah. Efek kontaminan tidak langsung sangat sulit diperoleh dari pengukuran kimia atau fisik dalam kasus bioakumulasi. Bioindikator dapat digunakan pada berbagai skala, dari seluler hingga tingkat ekosistem, untuk mengevaluasi kesehatan ekosistem tertentu (Husamah & Rahardjanto, 2019).

Pemantauan lengkap seluruh area dimungkinkan dengan bioindikator, yang menunjukkan berbagai sistem kehidupan dengan data sederhana. Lingkungan membuat spesies indikator sensitif terhadap perubahannya, sedangkan deteksi

ekosistem dengan menilai insentif yang efisien dari satu populasi diyakini lebih berguna dan lebih murah. Kondisi stres jangka pendek atau peristiwa jangka panjang memprediksi situasi dan perubahan di masa depan dengan mengidentifikasi variasi spesies indikator (Asif *et al.*, 2018). Keuntungan terkait penggunaan bioindikator sebagai berikut (Parmar *et al.*, 2016) :

- a. Dampak biologis dapat ditentukan.
- b. Untuk memantau dampak sinergis dan antagonis dari berbagai polutan pada makhluk hidup.
- c. Diagnosis tahap awal serta efek berbahaya dari racun bagi tanaman, serta manusia, dapat dipantau.
- d. Dapat dengan mudah dihitung, karena prevalensinya.
- e. Alternatif yang layak secara ekonomi jika dibandingkan dengan sistem pengukuran khusus lainnya.

2.4. Indeks biotik ASPT-BMWP

Indeks biotik merupakan nilai dalam bentuk skoring yang dibuat atas dasar tingkat toleransi organisme atau kelompok organisme terhadap cemaran. Indeks tersebut juga memperhitungkan keragaman organisme dengan mempertimbangkan kelompok-kelompok tertentu dalam kaitannya dengan tingkat pencemaran (Husamah & Rahardjanto, 2019). Indeks biotik adalah kombinasi kelimpahan relatif berdasarkan kelompok tertentu yang sensitif terhadap satu indeks atau skor. Beberapa indeks biotik yang umum digunakan adalah (1) Trent Biotic Index, (2) Extended Biotic Index, (3) Chandler's Score System (4) *Biological Monitoring Working Party Score* (BMWP), (5) *Average Score per Taxon*, dan (6) Indeks Biotik Hilsenhoff. Di antara semua indeks, BMWP dan turunannya secara luas

direkomendasikan oleh *Water Framework Directive* dan banyak digunakan di negara-negara Eropa (Patra *et al.*, 2022).

Pendekatan indeks biotik telah diadopsi oleh para ahli ekologi yang menilai efek polusi organik pada makroinvertebrates bentik di habitat air tawar. Salah satu indeks yang digunakan dalam penilaian pencemaran organik dalam sistem air tawar adalah skor EPT. Lalat capung (Ephemeroptera), lalat batu (Plecoptera) dan lalat capung (Trichoptera) relatif sensitif terhadap pengayaan organik, sedangkan chironomid umumnya tidak sensitif terhadap polusi organik. Skor EPT memanfaatkan langsung sensitivitas relatif ini pada tingkat taksonomi tinggi ini untuk membuat indeks biotik polusi organik. Indeks biotik lain untuk penilaian polusi organik pada makroinvertebrata bentik di air tawar adalah Trent Biotic Index (TBI). Seperti EPT, TBI tidak memperhitungkan kelimpahan. Berikutnya dikembangkan Indeks biotik Chandler, selanjutnya digantikan *Biological Monitoring Working Party* (BMWP), yang dikembangkan di Inggris pada 1970-an. Skor BMWP tidak mencoba memasukkan data kelimpahan, namun taksa makroinvertebrata bentik masih diberi peringkat menurut kepekaannya terhadap polusi organik dengan skor yang sesuai dari 10 (sensitif) hingga 1 (tidak sensitif), yang dijumlahkan untuk memberikan skor total (Rainbow, 2018).

Para peneliti telah menggunakan berbagai indeks yang sebagian besar didasarkan pada indeks *Biological Monitoring Working Party* (BMWP). Sistem BMWP mempertimbangkan sensitivitas invertebrata terhadap polusi; keluarga diberi skor antara 1 dan 10 sesuai. Skor BMWP adalah jumlah nilai untuk semua keluarga yang ada dalam sampel. Nilai yang lebih besar dari 100 dikaitkan dengan sungai yang bersih, sedangkan nilai sungai yang sangat tercemar adalah kurang dari

10. Sensitivitas rata-rata famili organisme yang ada dikenal sebagai Skor Rata-Rata Per Takson (*Average Score Per Taxon/ASPT*) dan dapat ditentukan dengan membagi Skor BMWP dengan jumlah taksa yang ada. Skor ASPT yang tinggi dianggap sebagai indikasi situs bersih yang mengandung sejumlah besar taksa dengan skor tinggi (Arslan *et al.*, 2016). Untuk menyederhanakan pemrosesan identifikasi sampel dibatasi hanya 83 kelompok keluarga. Skor diberikan untuk keberadaan setiap kelompok famili kunci (terlepas dari jumlah spesies dalam famili atau kelimpahannya), yang kemudian dijumlahkan. Seperti halnya indeks Chandler, dan sistem skor biotik lainnya, kelemahan utama BMWP adalah bahwa indeks tersebut tidak memberikan skor total yang jelas, tetapi skor total variabel yang bergantung pada keragaman. Ini dapat diatasi sampai batas tertentu dengan menggunakan ASPT di mana itu adalah jumlah skor individu (Gray, 2017).

Sistem BMWP telah diterapkan ke berbagai aliran di seluruh Eropa, tetapi evaluasi kinerjanya sedikit. ASPT kurang dipengaruhi oleh musim dibandingkan dengan BMWP, menunjukkan pengambilan sampel di setiap musim akan memberikan nilai ASPT yang konsisten. ASPT juga terbukti lebih independen dari ukuran sampel daripada skor BMWP, menyiratkan bahwa lebih banyak informasi dapat diperoleh dengan sedikit usaha. Ditemukan bahwa korelasi antara indeks dengan parameter kimia lebih tinggi dengan skor rata-rata (ASPT) dibandingkan dengan skor total (BMWP). BMWP/ASPT lebih unggul daripada indeks lainnya karena indeks tersebut sedikit dipengaruhi oleh ukuran sampel dan ternyata sederhana untuk dihitung dan memerlukan tingkat keahlian taksonomi yang terbatas. Baru-baru ini ditemukan bahwa BMWP, ASPT dan BMWP revisi, ASPT memiliki korelasi positif dengan persentase saturasi oksigen, aliran air dan PH.

Indeks tersebut menunjukkan korelasi yang lebih besar dengan parameter kualitas air daripada indeks kekayaan dan keanekaragaman. Adopsi indeks biotik di wilayah yang berbeda memerlukan modifikasi sebelumnya sesuai dengan lingkungan kondisi atau jenis polusi (Bawa *et al.*, 2018).

2. 5 Sungai

2.5.1 Definisi sungai

Kali dapat diartikan sebagai sungai, yakni aliran air yang besar (biasanya buatan alam) (Badan Pengembangan dan Pembinaan Bahasa, 2020). Sungai didefinisikan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 20 Tahun 2021 sebagai aliran atau tampungan air yang terbentuk alami maupun buatan berupa jaringan pengairan serta airnya, diawali dari hulu hingga muara, tepi kanan dan kirinya dibatasi dengan garis sempadan. Sungai adalah wilayah permukaan bumi yang posisinya lebih rendah daripada wilayah di sekitarnya dan mengalirkan air tawar menuju danau, rawa, laut, atau pertemuan dengan sungai lainnya. Sungai merupakan salah satu sumber air sebagai fitur alami dan integritas ekologis dengan fungsi yang sangat dibutuhkan bagi kehidupan dan keberlangsungan hidup manusia (Latuamury, 2020).

Sungai mencakup perairan yang mengalir dengan ukuran yang sangat bervariasi. Air yang mengalir dapat diurutkan berdasarkan ukuran yang mencakup debit, daerah tangkapan air, dan panjang saluran. Sepanjang kontinum dari aliran hulu ke sungai besar terdapat gradien kemiringan, lebar, dan kedalaman saluran. Gradien ideal dalam geomorfologi menjadi dasar untuk memahami struktur dan fungsi sungai. Misalnya, lebar saluran sungai yang lebih besar mengurangi pentingnya input riparian, sementara kedalaman yang lebih besar mengurangi

pengaruh proses bentik. Sungai dalam pengaturan alaminya menunjukkan geomorfologi kompleks yang menimbulkan variasi bentuk dan fungsi, serta menyediakan habitat yang beragam untuk biota air (Likens, 2010).

2.5.2 Klasifikasi sungai

Sungai pada umumnya digolongkan dalam beberapa bagian, bermula dari sumber mata air yang mengalir ke anak sungai. Beberapa anak sungai kemudian bergabung membentuk aliran sungai utama. Ujung sungai tempat sungai menyatu dengan laut disebut muara. Sungai-sungai di wilayah hulu (pegunungan) memiliki kemiringan terjal (*steep slope*), aliran sungai mengalir kuat (*stream power*) dan umumnya cepat, curah hujan tinggi, terjadi erosi yang disebabkan longsoran tebing, penampang sungai berbentuk V dan dasar sungai berupa bebatuan besar, kerikil, dan pasir. Pada zona transisi bentuk penampang sungai berubah dari huruf V menjadi U. dengan kemiringan dasar sungai $< 2\%$, berangsur-angsur melandai, mengalami perubahan debit aliran, substrat dasar sungai relatif lebih halus daripada daerah hulu. Karakteristik sungai di wilayah hilir memiliki kemiringan relatif landai hingga mendekati nol. Bentuk sungai berpola meander, proses agradasi (sedimentasi) lebih dominan, periode banjir relatif lebih lama, serta substrat dasar sungai lebih halus daripada daerah peralihan maupun hulu (Latuamury, 2020).

Klasifikasi berdasarkan luas DAS (Daerah Aliran Sungai) dan lebarnya digolongkan sebagai berikut (Heinrich & Hergt, 1999):

- a. Kali kecil dari mata air: memiliki luas DAS 0-2 km², lebar sungai 0-1 m.
- b. Kali kecil: memiliki luas DAS 2-50 km², lebar sungai 1-3 m.
- c. Sungai kecil: memiliki luas DAS 50-300 km², lebar sungai 3-10 m.
- d. Sungai besar: memiliki luas DAS lebih dari 300 km², lebar sungai >10 m.

2.5.3 Pemanfaatan sungai

Sebagai sumber air, sungai dimanfaatkan oleh masyarakat untuk berbagai keperluan dan kegiatan, seperti rumah tangga, industri, pertanian, sumber daya mineral dan penggunaan lainnya (Abidin, 2018). Pemanfaatan aliran sungai yang dapat dikendalikan untuk keperluan manusia antara lain: (1) Pembangunan bendungan untuk mengatur aliran sungai, cadangan air, dan memproduksi energi, (2) Pendirian tanggul untuk mengantisipasi aliran sungai melebihi batas dataran banjir, (3) Pembuatan kanal penghubung sungai-sungai untuk menyalurkan air dan sistem navigasi, (4) Modifikasi atau pelurusan badan sungai sungai untuk meningkatkan navigasi dan aliran rata-rata sungai (Latuamury, 2020).

Pembangunan sungai beserta sempadannya mengacu pada Peraturan Pemerintah nomor 38 tahun 2011 Pasal 18 sampai dengan pasal 33, sebagai bagian dari pengelolaan sumber daya air dan pemanfaatannya. Ada banyak kegunaan sungai, antara lain kebutuhan domestik, pertanian, sanitasi lingkungan, kegiatan industri, rekreasi, olahraga, transportasi, pertahanan, budidaya, dan pembangkit listrik. Penggunaan sungai harus selalu melindungi keanekaragaman hayati, menjaga karakteristik dan adat masyarakat sekitar, serta tidak merusak ekosistem maupun mengganggu aliran sungai. Prinsip dalam penggunaan sungai adalah mengutamakan pemenuhan kepentingan pokok masyarakat, melakukan kegiatan pertanian melalui sistem pengairan yang ada, dan memiliki alokasi untuk menjaga aliran sungai (Juwono & Subagiyo, 2019).

Kebutuhan air untuk berbagai keperluan rumah tangga termasuk mandi, minum, memasak, mencuci, dan kebersihan. Konsumsi air berkorelasi signifikan dengan ukuran rumah tangga dan usia kepala rumah tangga. Menurut catatan Bank

Dunia, setengah dari populasi dunia tinggal di daerah pedesaan dengan penggunaan air dominan domestik. Rumah tangga pedesaan menggunakan air untuk keperluan dalam ruangan meliputi konsumsi (minum) serta kebersihan (mandi, cuci, dan pembersihan), sedangkan kegiatan di luar ruangan meliputi mencuci kendaraan, air ternak, taman, dan pembersihan halaman (Ogunbode & Ifabiyi, 2017).

Penyediaan air bersih untuk peternakan juga sangat penting untuk pemeliharaan fungsi vital dan produksi. Air juga digunakan dalam kegiatan tidak langsung yang meliputi: pembersihan hewan, penampungan, pencucian dan persiapan pakan ternak, penyembelihan, pengolahan produk hewan, dan penyamakan kulit. Namun, kebutuhan untuk minum dan layanan lainnya hanya 0,6% dari air tawar yang digunakan dalam pertanian (Cristina, 2019). Peternakan besar menimbulkan ancaman yang lebih tinggi terhadap lingkungan daripada peternakan kecil karena konsentrasi ternak yang lebih besar di satu area. Karena aktivitas pertanian, sejumlah besar bahan biogenik seperti nitrogen dan fosfor, memasuki ekosistem air dan merusak lingkungan dengan menyebabkan eutrofikasi air permukaan (Česonienė *et al.*, 2019).

Sungai merupakan bagian dari lingkungan alam yang dimanfaatkan untuk kegiatan pariwisata dan rekreasi. Kegiatan ini berperan pada kesejahteraan ekonomi, fisik, dan mental manusia, sehingga sungai harus digunakan secara berkelanjutan antar generasi. Berkenaan dengan tujuan alam, digunakan istilah 'ekowisata', mengacu pada definisi perjalanan yang bertanggung jawab di mana pengunjung menyadari dan memperhitungkan efek dari tindakannya, baik pada budaya tuan rumah dan lingkungan. Pemanfaatan destinasi pariwisata yang berkelanjutan seperti sungai sedemikian rupa sehingga kebutuhan wisatawan saat

ini terpenuhi sambil melindungi dan meningkatkan peluang bagi wisatawan masa depan (Musa, 2014).

Sungai menghasilkan bahan yang terdiri dari mineral-mineral padat yang sesuai untuk konstruksi, sehingga sungai juga menjadi sumber utama pasir dan kerikil. Penambangan pasir digunakan sebagai istilah umum yang mencakup penambangan agregat sungai dari berbagai ukuran partikelnya. Namun, kegiatan ini mendapat perhatian media global yang meningkat karena persepsi dampak lingkungan dan sosial yang negatif. Dampak penambangan pasir di sungai dapat bersifat langsung atau tidak langsung. Dampak langsung berimbas terhadap dampak ekosistem, seperti akibat pemindahan habitat dataran banjir. Dampak tidak langsung berkaitan dengan perubahan ekosistem fisik sungai akibat ekstraksi pasir. Misalnya, pemindahan material dari sungai dapat mengubah saluran, hidrolis sungai, atau endapan sedimen yang dapat mengubah distribusi habitat dan fungsi ekosistem (Koehnken *et al.*, 2020).

2. 5. 4 Parameter fisik-kimia sungai

Sebagai tempat berlangsungnya kehidupan organisme perairan, air termasuk salah satu aspek penting yang harus diperhatikan, baik parameter fisik, kimia, maupun biologi. Parameter fisik berupa parameter yang dapat teramati akibat perubahan sifat fisik air, seperti suhu, cahaya, warna, kekeruhan, kecerahan, total padatan tersuspensi (TSS), total padatan terlarut (TDS), dan salinitas air. Sementara itu, parameter kimiawi air adalah parameter air yang dapat diukur sebagai hasil reaksi kimia di dalam air (misalnya, pertukaran ion terlarut dalam air). Parameter biologi adalah organisme akuatik yang ditemui dalam air dan hidup

bersama, baik berukuran mulai dari mikro hingga makro, maupun jenis tumbuhan dengan hewan. (Tim BSE, 2014).

Parameter fisika yang dapat diukur secara fisik akan mempengaruhi kehidupan organisme akuatik, antara lain:

a. Suhu

Suhu dalam hal ini didefinisikan sebagai ukuran panas atau dinginnya suatu perairan. Sebaran suhu di atmosfer berkaitan erat dengan radiasi matahari, sehingga menyebabkan adanya perubahan suhu setiap waktu (Fadholi, 2013). Suhu menjadi salah satu faktor ekologi yang paling erat dengan garis lintang, ketinggian, musim, dan jarak aliran dari mata air atau sumbernya (Hussain & Pandit, 2012). Suhu dapat mempengaruhi laju reaksi kimia serta tatanan kehidupan dalam perairan, baik pada benda padat maupun gas (Susanto, 2015). Suhu berperan penting terhadap karakteristik fisik dan kimia lingkungan perairan, mempengaruhi laju fiksasi CO₂ oleh fitoplankton (produktivitas primer), dan kelarutan gas seperti O₂, CO₂ dan NH₄⁺ yang pada saat tertentu akan mempengaruhi semua organisme akuatik (Gawad & Abdel-Aal, 2018). Suhu yang optimum bagi kehidupan makrozoobentos yaitu berkisar 20– 30 °C. Nilai kisaran ini mampu mendukung proses metabolisme organisme yang hidup di dalamnya (Ridwan dkk., 2016). Jika suhu badan air masih kurang dari *lethal temperature* yaitu 35-40 ° C untuk organisme bentik, maka dapat dikatakan suhu tersebut normal dan tidak akan membahayakan kehidupan organisme akuatik (Irwan dkk., 2017). Kenaikan suhu sebesar 3 °C dapat mengakibatkan penurunan 10–43% dalam kelimpahan makroinvertebrata di sungai dataran tinggi (Jacobus dkk., 2019)

b. Kecepatan arus

Kecepatan arus dan debit air dapat dipengaruhi oleh topografi, sedimentasi, curah hujan, sampah, atau hal-hal lainnya dalam aliran air (Herawati dkk., 2020). Arus yang deras dapat mengikis kandungan nutrisi dan mengurangi suplai makanan bagi biota akuatik (Sulaeman *et al.*, 2020). Kecepatan arus sungai dapat dibagi dalam 5 kategori yakni: sungai berarus sangat cepat (memiliki kecepatan di atas 1 m/s), sungai berarus cepat (memiliki kecepatan sekitar 0,5 hingga 1 m/s), sungai berarus sedang (memiliki kecepatan sekitar 0,25 hingga 0,5 m/s), sungai berarus lambat (memiliki kecepatan sekitar 0,1 hingga 0,25 m/s), dan sungai berarus lambat (memiliki kecepatan di bawah 0,1 m/s). Makhluk hidup yang bersifat bentos lebih sering dijumpai pada perairan dengan arus kuat, serta memiliki siklus metabolisme yang lebih cepat dibandingkan makhluk hidup pada perairan dengan arus lemah (Ratih dkk., 2015). Banyak komunitas bentik berbeda dari kerabatnya di air yang tenang dalam adaptasinya terhadap air yang mengalir secara konstan. Hewan-hewan pegunungan sungai dapat dikodifikasikan sejumlah karakteristik anatomisnya (bentuk tubuh yang rata di bagian dorsoventral, organ perekat, atau cakar khusus) yang dianggap sebagai adaptasi terhadap kehidupan di perairan yang deras (Hussain & Pandit, 2012).

c. *Total dissolved solid* (TDS)

TDS menunjukkan kandungan garam anorganik dan beberapa senyawa organik yang terlarut di suatu perairan. Perubahan konsentrasi TDS dalam air secara alamiah umumnya diakibatkan oleh buangan industri, kenaikan curah hujan, atau masuknya air laut ke perairan tawar (intrusi) (Ibrahim dkk., 2020). Sumber utama TDS di perairan berasal dari limbah pertanian, rumah tangga, dan industri.

Beberapa sumber alami total padatan terlarut berawal dari pelapukan batuan dan pelarutan tanah. Zat kimia dapat berupa kation, anion, molekul, atau agregat dari ribuan molekul. Unsur kimia yang umum dijumpai adalah kalsium, fosfat, nitrat, kalium, natrium, dan klorida. Tinggi rendahnya konsentrasi TDS bisa dikaitkan dengan *input* berupa padatan total, dengan padatan tersuspensi sebagai bentuk utamanya (Irwan dkk., 2017). Distribusi invertebrata air tawar banyak dikaitkan dengan konsentrasi TDS dalam aliran air, biasanya diukur sebagai konduktivitas listrik (EC). Pola ini mungkin disebabkan oleh pengaturan ion dan keseimbangan air, yang dengan demikian dapat mempengaruhi keadaan invertebrata. Beberapa studi lapangan telah mengaitkan hilangnya keanekaragaman hayati dengan peningkatan TDS yang disebabkan oleh aktivitas manusia, terutama di sungai dengan konduktivitas alami yang rendah. Peningkatan aliran konduktivitas di atas 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dapat mengakibatkan eliminasi 5% taksa makroinvertebrata sungai. (Olson & Hawkins, 2017).

d. *Total suspended solid (TSS)*

TSS adalah adalah total residu padat yang disaring melalui filter, yang ukuran partikelnya lebih kecil dari $2\mu\text{m}$ atau melebihi ukuran partikel koloid. Kenaikan parameter padatan tersuspensi yang besar dapat diduga karena erosi tanah akibat hujan deras. TSS akan menimbulkan kekeruhan pada perairan karena padatan tidak akan larut atau mengendap dengan segera (Sastrawijaya, 2000). TSS dengan nilai yang tinggi dapat diakibatkan oleh masuknya partikel tersuspensi berupa mikroorganisme atau non-organisme. TSS tersusun dari partikel-partikel yang ukurannya lebih kecil dan beratnya lebih ringan dibanding sedimen, misalnya tanah liat, sel-sel mikroba, bahan-bahan organik tertentu, dan sebagainya (Oktarina

& Syamsudin, 2017). Meningkatnya kadar TSS dapat menyebabkan turunya kelimpahan Individu pada suatu perairan, juga menurunnya keanekaragaman makrozoobentos pada suatu perairan. Padatan tersuspensi memiliki pengaruh yang beragam, hal ini tergantung pada sifat kimia alamiah dari bahan tersuspensi, khususnya bahan toksik. Zat padat tanpa bagian toksis yang nyata seperti contohnya tanah liat menyebabkan angka kematian yang tinggi pada hewan yang tidak bertulang belakang (Khaeksi dkk., 2015).

e. Debit

Debit aliran adalah jumlah air yang mengalir dalam satuan volume per waktu. Debit aliran tersebut dipengaruhi dengan adanya siklus hidrologi, salah satunya yaitu hujan. Pada musim kemarau besar debit air aliran air menyusut drastis sedangkan pada musim hujan debit aliran akan semakin deras dan dipengaruhi pula oleh tingkat intensitas hujan yang terjadi. Pada intensitas yang rendah, debit aliran kecil sedangkan pada intensitas hujan tinggi, debit aliran akan semakin besar (Fitriyani, 2022). Kelimpahan makroinvertebrata bentos lebih tinggi pada daerah tepi sungai yang beraliran lambat pada kondisi debit air yang rendah. Makroinvertebrata bentos yang hanyut memungkinkan untuk menghindari habitat yang tidak menguntungkan, selain itu merupakan mekanisme penting dalam penyebaran dan rekolonisasi habitat (Leatemia dkk., 2017).

Sedangkan parameter kimia air yang merupakan senyawa hasil reaksi kimia baik organik maupun inorganik yang berada di perairan, antara lain :

a. pH

pH adalah nilai yang menggambarkan ukuran keasaman atau kebasaan dalam air yang menjadi faktor pembatas untuk kehidupan makhluk hidup (Ibrahim

dkk., 2020). Perubahan pH dapat berdampak pada setiap organisme yang berkaitan langsung dengan air. Sebagian besar organisme akuatik akan sensitif terhadap perubahan pH, sedangkan kisaran pH yang optimal bagi organisme air sekitar 7-8,5 (Sulaeman *et al.*, 2020). Penurunan pH air sungai dapat memicu pelepasan logam berat yang bersifat racun bagi organisme akuatik (Hussain & Pandit, 2012). Berbagai proses kimia dan biologi dalam air dapat meningkatkan nilai alkalinitas maupun keasaman. Peningkatan alkali ini disebabkan oleh input limpasan pertanian ke sungai. Adanya aliran sungai membantu menetralkan basa dan asam yang ada di sungai menyebabkan nilai pH di setiap aliran masih signifikan (Oktarina & Syamsudin, 2017). Menurut pH memiliki pengaruh yang besar terhadap kehidupan biota perairan, sehingga sering digunakan sebagai ukuran baik atau buruknya kualitas air sebagai lingkungan hidup. Nilai pH yang mendukung kehidupan makrozoobentos khususnya dari filum Mollusca adalah 5,7 – 8,4. pH yang mencapai tingkat maksimum toleransi sebesar 8.8 menunjukkan faktor pendukung kehidupan makrozoobentos yang rendah (Herawati dkk., 2020).

b. *Dissolved oxygen (DO)*

DO atau oksigen terlarut tergantung pada: suhu, keberadaan tumbuhan fotosintetik, tingkat penetrasi cahaya yang tergantung pada kedalaman dan kekeruhan air, kesadahan aliran air, jumlah bahan organik yang terurai di dalam air, seperti sampah, ganggang mati, atau limbah industri (Sulaeman *et al.*, 2020). Kadar oksigen terlarut sebesar 2 mg/L dalam air dinilai telah mencukupi kebutuhan kehidupan organisme perairan (Ibrahim dkk., 2020). Beberapa faktor yang mempengaruhi kadar DO di perairan sungai adalah difusi oksigen dan kecepatan arus. Oksidasi dapat meningkat tajam ketika terjadi kenaikan suhu dan volume air

limbah bertambah (Herawati dkk., 2020). Kelarutan oksigen sebagian besar dipengaruhi dengan suhu permukaan air secara nonlinier. Faktor lingkungan lainnya yang dapat mempengaruhi jumlah oksigen terlarut di badan air yakni tumbuhan air, tingkat pencemaran organik, kepadatan sebaran fauna, dan pola curah hujan (Dirisu *et al.*, 2018). Oksigen terlarut berkorelasi positif dengan kekayaan makroinvertebrata dalam 3 dari 14 studi, dan berkorelasi negatif dalam 3 studi lainnya. Penelitian fisiologis menunjukkan tentang ketahanan panas makroinvertebrata akuatik dalam sistem teroksigenasi yang berbeda. Dua spesies lalat capung yang bernapas dengan insang dapat menahan suhu yang lebih tinggi ketika ditempatkan di perairan hiperoksik, sedangkan suhu yang lebih rendah sudah mematikan di perairan hipoksia. Perbedaan konsentrasi oksigen secara tidak langsung dipengaruhi oleh perbedaan ketinggian dalam tekanan oksigen (Croijmans dkk., 2021).

c. Chemical oxygen demand (COD)

COD adalah singkatan dari *Chemical Oxygen Demand*, atau kebutuhan oksigen kimia untuk reaksi oksidasi terhadap pelepasan material di dalam air (Prambudy *et al.*, 2019). Kebutuhan oksigen kimiawi menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh oksidan untuk mengoksidasi secara kimiawi bahan organik di dalam air, dalam ppm atau miligram per liter. Bahan organik itu biasanya tidak mengalami biodegradasi yang cepat seperti uji kebutuhan oksigen biokimia selama lima hari, tetapi dapat turut serta menurunkan kualitas air (Kristanto, 2002). Semakin tinggi nilai BOD dan COD yang dalam suatu perairan menandakan semakin banyak bahan organik yang terdapat pada badan air (Susanto, 2015). Semakin tinggi nilai COD, semakin rendah kualitas air, sehingga korelasi variabel

COD dengan kelimpahan makroinvertebrata benthik adalah negatif dan signifikansi sangat nyata ($p < 0,01$) (Custodio dkk., 2018).

d. *Biological oxygen demand* (BOD)

BOD adalah ukuran jumlah oksigen yang digunakan oleh mikroba dalam air dan dapat menunjukkan konsentrasi bahan organik yang terkandung di dalam perairan. Status pencemaran perairan dapat dievaluasi berdasarkan kandungan nilai BOD₅. Kriteria kualitas air berdasarkan pada BOD₅ dibagi menjadi empat kategori sebagai berikut: < 3 ppm tidak tercemar, 3 – 4 ppm tercemar ringan, 4,9 – 15 ppm tercemar, dan > 15 ppm tercemar berat (Herawati dkk., 2020). Semakin tinggi kadar BOD di perairan sungai mengindikasikan adanya konsentrasi bahan organik yang tinggi, juga terjadi pencemaran akibat pembuangan limbah rumah tangga dan pertanian (Khairul, 2017). Besarnya nilai BOD ditentukan oleh aktivitas organisme pengurai seperti bakteri dalam menguraikan bahan organik. Selain itu, limbah domestik dan industri yang masuk ke badan air juga dapat mempengaruhi nilai BOD (Sulaeman *et al.*, 2020). Semakin tinggi nilai BOD₅, semakin rendah kualitas air, sehingga korelasi variabel BOD₅ dengan kelimpahan makroinvertebrata benthik adalah negatif (Custodio dkk., 2018).

2.5.5 Baku mutu air sungai

Baku mutu air menurut PP RI No. 22 Th. 2021 didefinisikan sebagai batas ukuran atau kandungan organisme, zat, energi, atau komponen yang sudah ada atau harus ada di dalam air dan / atau unsur pencemar yang dapat ditoleransi. Melalui baku mutu air, kualitas suatu badan air bisa digolongkan ke dalam kategori tertentu menurut tingkat pencemarannya, baik menurut baku mutu yang ditetapkan, maupun telah tercemar sampai taraf tertentu, seperti pencemaran ringan, sedang, atau parah

(Arnop dkk., 2019). Klasifikasi mutu air dalam Pergub Jatim No. 61 Th. 2010 digolongkan dalam 4 kelas air:

- a. kelas I, dapat digunakan sebagai air baku untuk air minum, dan / atau kebutuhan lain yang memerlukan kualitas air setara dengan keperluan di atas;
- b. kelas II, dapat digunakan untuk sarana / prasarana hiburan air, peternakan, budidaya ikan air tawar, pengairan tanaman, dan / atau kebutuhan lain yang memerlukan kualitas air setara dengan keperluan di atas;
- c. kelas III, dapat digunakan untuk peternakan, budidaya ikan air tawar, pengairan tanaman, dan / atau kebutuhan lain yang memerlukan kualitas air setara dengan keperluan di atas;
- d. kelas IV, dapat digunakan untuk pengairan tanaman dan / atau keperluan lain, dan kualitas airnya harus sesuai dengan tujuan tersebut.

Batasan ukuran parameter kualitas perairan tiap kelas air disebutkan dalam Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 mengenai Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran dalam tabel 2.2. berikut:

Tabel 2.2. Baku Mutu Air Sungai menurut PP No. 22 Th. 2021

Parameter	Satuan	Baku Mutu			
		I	II	III	IV
Suhu	⁰ C	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Dev 3
pH	-	6-9	6-9	6-9	6-9
DO	mg/L	6	4	3	1
COD	mg/L	10	25	40	80
BOD	mg/L	2	3	6	12
TDS	mg/L	1000	1000	1000	2000
TSS	mg/L	40	50	100	400

2. 5. 6 Pencemaran sungai

Pencemaran adalah terjadinya tatanan lingkungan yang berubah karena adanya komponen asing atau benda yang masuk ke lingkungan tersebut. (Tis'in, 2017). Pencemaran air menurut PP RI No. 22 Th. 2021 adalah aktivitas manusia yang menyebabkan organisme, zat, energi, dan / atau komponen lain masuk ke dalam badan air sehingga melebihi baku mutu air yang ditentukan. Sampah, buangan cair, dan polutan lain semisal pestisida, pupuk, pemakaian detergen untuk senyawa pembersih, pemakaian bahan pembungkus yang menghasilkan banyak limbah, dan sebagainya dapat menyebabkan pencemaran air. Air yang tercemar oleh limbah organik menjadi tempat yang subur untuk perkembangbiakan mikroorganisme, termasuk mikroba patogen (Anisafitri dkk., 2020). Kandungan detergen dalam limbah cair domestik meningkatkan nutrisi, terutama yang tinggi nitrogen dan fosfor, biasanya menyebabkan eutrofikasi. Bau tidak sedap akibat bahan volatil, gas terlarut, dan hasil samping juga timbul dari pembusukan bahan organik seperti hidrogen sulfida (H_2S). Dampak negatif lain dari limbah domestik yaitu penurunan keragaman biota air karena senyawa B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) yang masuk ke dalam badan air (Sulistia & Septisya, 2019).

Pengertian limbah dalam PP No. 22 Th. 2021 adalah buangan suatu kegiatan dan/atau usaha. Limbah dapat dibedakan ke dalam empat macam berdasarkan karakteristiknya, antara lain: limbah padat, limbah cair, limbah gas/partikulat, serta limbah B3. Air limbah biasanya tersusun atas kadar air 99,9% dan komponen padat 0,1%. Bahan padat ini berupa bahan organik 70% dan anorganik 30% (Pitoyo dkk., 2016).

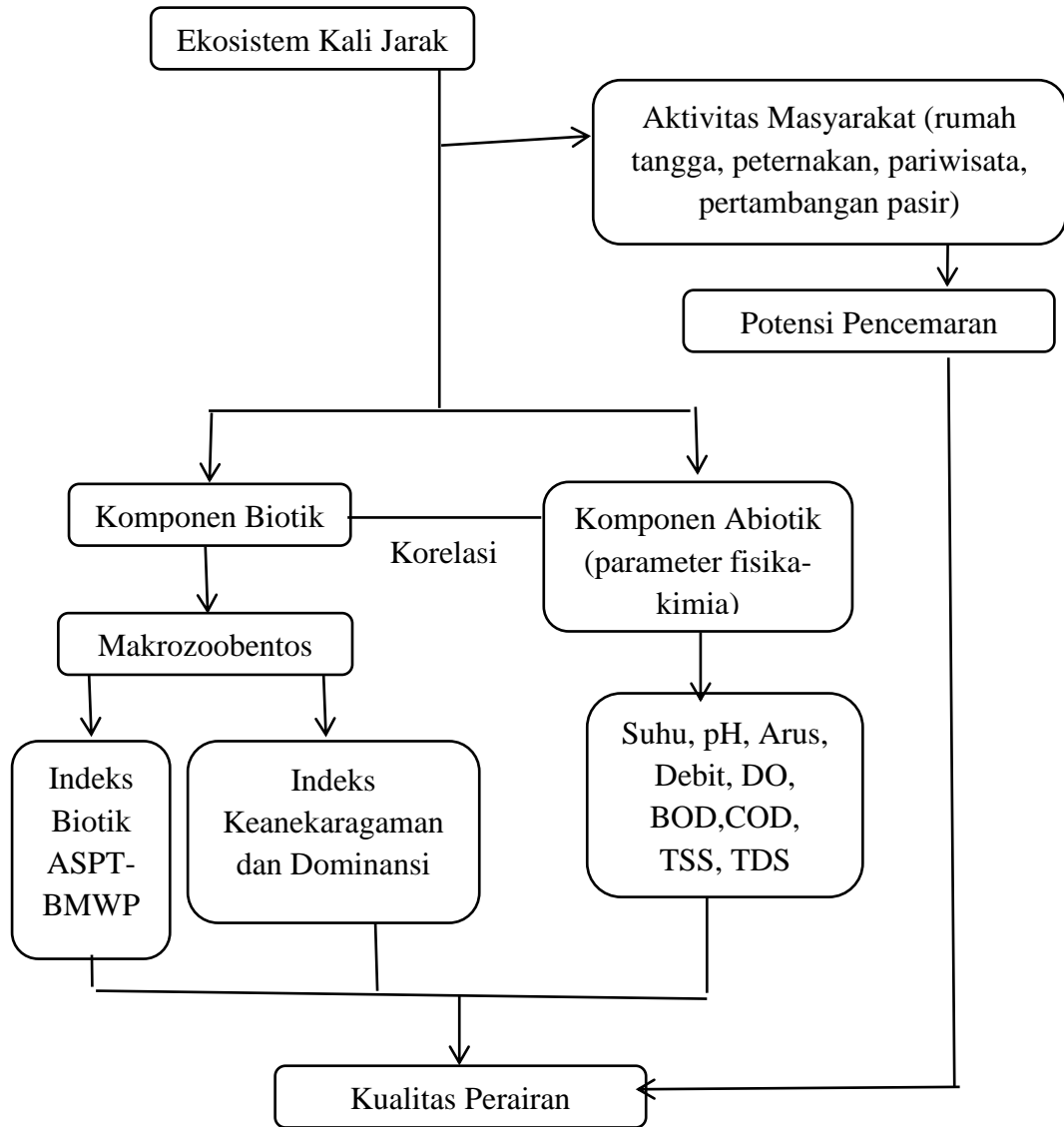
2. 6. Deskripsi wilayah penelitian

Desa Jarak adalah satu dari beberapa desa yang masuk dalam wilayah Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang, yang memiliki area seluas 770.727 Ha yang terbagi menjadi 7 dusun. Berdasarkan posisinya geografisnya, Desa Jarak terletak pada lereng Gunung Arjuna, sehingga berhawa sejuk, dalam kisaran temperatur 25-28 °C. Di sebelah timur terdapat perbatasan dengan Kawasan Perhutani dan TAHURA Raden Suryo (Andilas dkk., 2020). Desa lainnya yang juga menjadi salah satu bagian Kecamatan Wonosalam adalah Desa Wonomerto. Luasan area desa ini 449.178 Hektar. Desa Wonomerto secara geografis terletak di ketinggian ±450 m di atas permukaan laut, serta gradien lahan sebesar 25°. Luas area desa ini 90% digunakan untuk aktivitas bidang pertanian dan perkebunan, dan sedang dikembangkan potensinya melalui konsep desa wisata (Wahyuni & Susilowati, 2020).

Kecamatan Wonosalam menjadi salah satu wilayah pemerintahan di Kabupaten Jombang, Jawa Timur. Karena terletak di lereng Gunung Anjasmoro, sungai di wilayah tersebut merupakan hulu aliran yang mengarah menuju daerah Jombang maupun sekitarnya (Firdhausi dkk., 2019). Kali Jarak merupakan sungai yang melewati memiliki hulu di antara klaster Pegunungan Argowayang, Watu Juadah, dan Gentong Goak, sedangkan hilirnya menyatu dengan Kali Pakel. Sungai ini memiliki panjang total 12,8 KM yang melintasi 4 desa, yaitu Desa Jarak (Kec. Wonosalam), Desa Wonomerto (Kec. Wonosalam), Desa Karang (Kec. Bareng), dan Desa Pakel (Kec. Bareng). Sungai ini dimanfaatkan oleh masyarakat setempat untuk irigasi, perikanan, hingga pariwisata (Dinas PUPR Kab. Jombang, 2021).

Kali Jarak memiliki debit air minimum 2,63 m³/detik dan maksimum 37,19 m³/detik (BPS Kab. Jombang, 2019).

2. 7. Kerangka konsep penelitian



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis penelitian

Penelitian ini termasuk jenis penelitian deskriptif kuantitatif melalui metode eksplorasi. Jenis deskriptif kuantitatif digunakan karena data yang disajikan meliputi jumlah spesimen, karakteristik morfologi spesimen, identifikasi genus makrozoobentos, dan parameter fisika-kimia air. Metode eksplorasi digunakan untuk mengamati secara langsung keanekaragaman makrozoobentos di perairan Kali Jarak, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang.

3.2 Waktu dan tempat

Penelitian akan dilakukan pada bulan Maret-Juni 2022. Sampel diambil dari 3 stasiun dengan kondisi beragam di Kali Jarak, Desa Jarak dan Wonomerto, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang, Jawa Timur. Makrozoobentos diidentifikasi di Laboratorium Optik, Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Sampel air diambil pada pagi hari mengacu pada Asmawati dkk. (2020). Sebagian parameter air diuji secara langsung di stasiun pengambilan sampel, sedangkan parameter lainnya diuji di PT Perum Jasa Tirta 1, Kota Malang.

3.3 Alat dan Bahan

Alat-alat yang dibutuhkan dalam penelitian antara lain ayakan dengan ukuran mata jaring 0,5x0,5 mm, pH meter, termometer, TDS meter, botol flakon, botol gelap, sikat, pinset, sekop, kertas label, nampan, penggaris, meteran, tali, gabus pelampung, kotak styrofoam, *icepack*, *stopwatch*, kamera, GPS, mikroskop, buku identifikasi sampel, serta alat tulis. Bahan-bahan yang dibutuhkan antara lain

alkohol 70% serta sampel identifikasi berupa spesimen makrozoobentos dan sampel air sungai tiap stasiun.

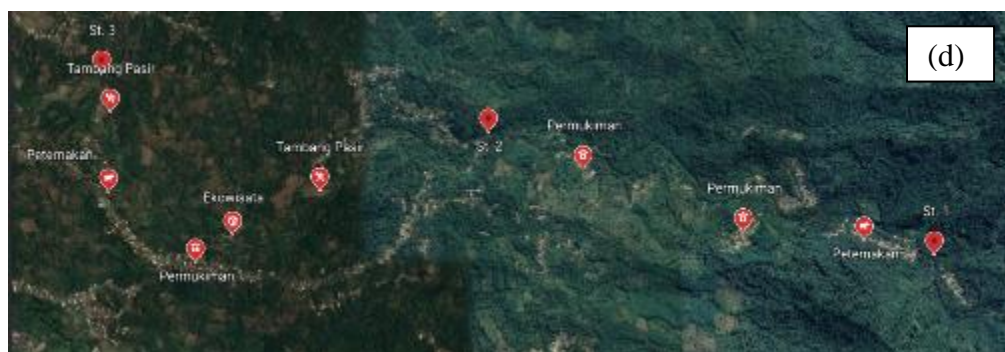
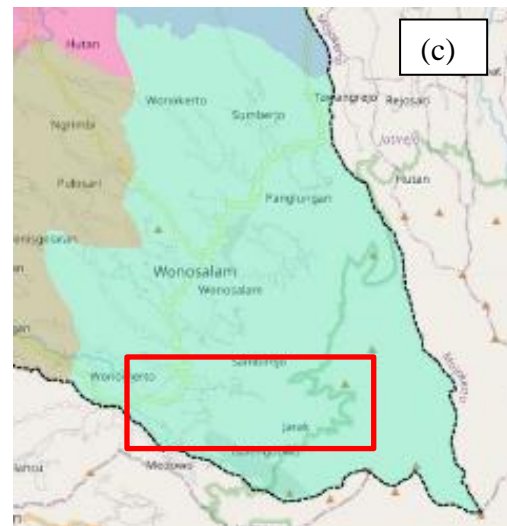
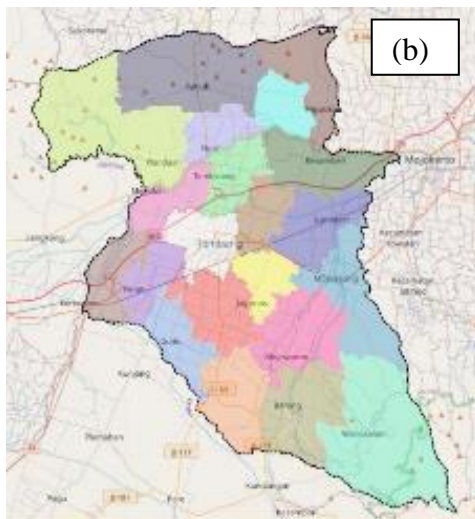
3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Studi Pendahuluan

Titik stasiun ditentukan dengan metode *purpose sampling* berdasarkan kondisi lingkungan, lokasi perairan, substrat dasar perairan, dan kegiatan masyarakat sekitar lokasi. Deskripsi 3 stasiun yang terpilih beserta titik koordinatnya ditampilkan dalam tabel 3.1. Adapun peta lokasi penelitian ditampilkan dalam gambar 3.1 dan foto lokasi penelitian dalam gambar 3.2.

Tabel 3.1. Deskripsi stasiun pengamatan

Stasiun	Deskripsi	Titik Koordinat
I	Dasar berbatu, batuan ukuran besar-sedang, terdapat tutupan pohon di dua sisi, mendekati sumber mata air.	07°44'45.64" LS 112°23'25.18" BT
II	Dasar berkerikil, batuan ukuran sedang-kecil, tutupan pohon di kedua sisi, letak setelah peternakan dan pemukiman	07°44'25.89" LS 112°22'13.55" BT
III	Dasar berkerikil dan berpasir, batuan ukuran sedang-kecil, tidak tertutup pohon, dekat dengan jembatan, letak setelah ekowisata, pertambangan pasir, peternakan, dan permukiman.	07°44'17.27" LS 112°21'05.65" BT



Gambar 3.1. Peta lokasi penelitian. (a) Jawa Timur, (b) Kabupaten Jombang, (c) Kecamatan Wonosalam (jombangkab.go.id, 2022), (d) Stasiun pengamatan (Google Earth, 2022).



Gambar 3.2. Foto lokasi penelitian (Dokumen pribadi, 2022). (a) Stasiun 1, (b) Stasiun 2, dan (c) Stasiun 3.

3.4.2 Pengambilan spesimen makrozoobentos dan sampel air

Pengambilan spesimen dilakukan sebanyak 3 kali ulangan di tiap stasiun. Plot yang digunakan berukuran 1x1 meter. Substrat dasar berupa pasir dan berkerikil diambil dengan sekop lalu diayak menggunakan ayakan. Batuan yang terdapat di plot jaring diambil secara manual dan diletakkan ke nampan. Spesimen yang terperangkap dalam ayakan juga disortir di nampan sesuai metode Ubaid (2019). Selanjutnya spesimen makrozoobentos dipindahkan ke botol flakon berisi alkohol 70% untuk pengawetan sesuai Ibrahim dkk. (2020). Setiap botol flakon diberi label berbeda untuk tiap ulangan dan stasiun. Sampel air diambil di 3 stasiun yang sama dengan spesimen makrozoobentos. Sampel air diletakkan pada botol gelap yang telah diberi label berbeda tiap stasiun. Penyimpanan sampel air hingga pengiriman ke laboratorium mengacu pada metode Musselman (2012), sampel disimpan dengan suhu dingin 39-40 °F (4 °C) tetapi tidak membeku, dalam kotak styrofoam berisi *icepack*.

3.4.3 Identifikasi spesimen makrozoobentos

Spesimen makrozoobentos diamati morfologinya dan didokumentasikan. Untuk spesimen yang berukuran kurang dari 1 cm diamati menggunakan mikroskop. Identifikasi spesimen dilakukan hingga tingkat genus menggunakan buku acuan : Rufusova (2017), Oscoz (2011), dan Gerber (2002). Jumlah spesimen yang ditemukan disajikan pada tabel 3.2. di bawah ini.

Tabel 3.2. Perekam data

No.	Genus	Stasiun I			Stasiun II			Stasiun III		
		U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
1.										
2.										
dst.										

3.4.4 Pengukuran parameter fisika-kimia air

Pengukuran parameter suhu, kecepatan arus, debit, dan TDS dilakukan langsung di tempat. Suhu air diukur menggunakan termometer dan TDS dengan TDS meter. Kecepatan arus diukur berdasarkan metode Desinawati dkk. (2018) dengan menghanyutkan benda (sterofom) yang telah diikat menggunakan tali dengan panjang tertentu. Waktu benda dilepaskan hingga benda berhenti dihitung menggunakan stopwatch. Untuk menentukan kecepatan arus, panjang tali dibagi dengan waktu yang ditunjukkan *stopwatch*. Lebar dan kedalaman sungai diukur menggunakan meteran. Debit air sungai dihitung dengan menggunakan rumus dasar debit air menurut Asdak (1995) yaitu:

$$Q = A.V$$

Keterangan :

Q = Debit air (m³/detik)

A = Luas penampang sungai (lebar sungai/rata-rata kedalaman sungai)(m²)

V = Kecepatan air rata-rata (m/detik)

DO dianalisa dengan metode APHA 4500-O-G-2017, COD dengan metode SNI 6989.2.2009, BOD dengan metode APHA 5210 B-2017, dan TSS dengan metode APHA 2540 D-2017

3.5 Analisis data

3.5.1 Indeks keanekaragaman

Penghitungan tingkat keanekaragaman berdasarkan rumus Indeks Shannon-Wiener dalam Krebs (1985) di bawah ini:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Keterangan :

H' : indeks keanekaragaman Shannon – Wiener

Pi : proporsi spesies ke -i

ln : logaritma Nature

pi : Ni / N (perhitungan total individu suatu spesies/ keseluruhan spesies)

3.5.2 Indeks dominansi

Penghitungan tingkat dominansi dilakukan berdasarkan rumus Indeks

Simpson menurut Odum (1993) di bawah ini:

$$D = \sum \left(\frac{Ni}{N} \right)^2$$

Keterangan :

D : indeks dominansi suatu jenis

Ni : total individu suatu jenis

N : total individu dari semua jenis

3.5.3 Indeks biotik BMWP-ASPT

Sampel dianalisis dengan memberikan skor antara 1 dan 10 untuk masing-masing kelompok atau famili sesuai dengan sensitivitas atau toleransi terhadap pencemaran pada ekosistem perairan sesuai tabel 3.3 (Bartram & Balance, 1996).

Tabel 3.3 Skor BMWP

Skor	Kelompok Organisme
10	Siphonuridae, Heptageniidae, Leptophlebiidae, Ephemerellidae, Potamanthidae, Ephemeridae, Taeniopterygidae, Leuctridae, Capniidae, Perlodidae, Perlidae, Chloroperlidae Aphelocheiridae Phryganeidae, Molannidae, Beraeidae, Odontoceridae, Leptoceridae, Goeridae, Lepidostomatidae, Brachycentridae, Sericostomatidae
8	Astacidae Lestidae, Agriidae, Gomphidae, Cordulegasteridae, Aeshnidae, Corduliidae, Libellulidae, Psychomyiidae (Ecnomidae), Phylopotamidae

Tabel 3.3 Lanjutan

7	Caenidae Nemouridae Rhyacophilidae (Glossosomatidae), Polycentropodidae, Limnephilidae
6	Neritidae, Viviparidae, Ancylidae (Acroloxidae) Hydroptilidae Unionidae Corophiidae, Gammaridae (Crangonyctidae) Platycnemididae, Coenagriidae
5	Mesovelidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Naucoridae, Notonectidae, Pleidae, Corixidae Haliplidae, Hygrobiidae, Dytiscidae (Noteridae), Gyridae, Hydrophilidae (Hydraenidae), Clambidae, Scirtidae, Dryopidae, Elmidae Hydropsychidae Tipulidae, Simuliidae Planariidae (Dogesiidae), Dendrocoelidae
4	Baetidae Sialidae Pisicolidae
3	Valvatidae, Hydrobiidae (Bithyniidae), Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Sphaeriidae Glossiphoniidae, Hirudinidae, Erpobdellidae Asellidae
2	Chironomidae
1	Oligochaeta

Sumber : Bartram & Balance (1996)

Setiap skor untuk setiap keluarga diwakili dalam sampel untuk situs, dijumlahkan untuk menghasilkan skor BMWP. Skor rata-rata per taksa (ASPT) diperoleh dengan membagi skor BMWP dengan jumlah keluarga dalam sampel mengikuti teknik evaluasi Bartram & Balance (1996) di bawah ini:

$$ASPT = \frac{\text{Skor BMWP}}{\text{Jumlah total famili}}$$

Nilai ASPT sesuai dengan kualitas air sebagai berikut (Hansel *et al.*, 2006):

- a. 5 dan di atasnya: sangat baik
- b. 4-4.5: baik
- c. 3-3.5: sedang
- d. 2-2.5: buruk
- e. 1-1.5: sangat kotor

3.5.4 Analisis korelasi

Analisis korelasi keanekaragaman genus makrozoobentos dengan parameter fisika kimia air sungai dilakukan berdasarkan Korelasi Kanonical (*Canonical Correspondence Analysis/CCA*) dengan metode komputersasi aplikasi PAST 4.03.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil identifikasi spesimen makrozoobentos

Spesimen makrozoobentos yang ditemukan di Kali Jarak, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang, diidentifikasi hingga tingkat genus berdasarkan morfologinya. Deskripsi morfologi dan klasifikasi spesimen makrozoobentos dari tiap famili dijelaskan sebagai berikut :

a. Spesimen 1



Gambar 4.1. Genus *Prodiamesa* (a) Foto pengamatan (b) Literatur (Rufusova *et al.*, 2017).

Spesimen 1 ditemukan pada stasiun 1 dan 2 dengan jumlah yang sama. Spesimen ini mempunyai ciri seperti pada gambar 4.1 yakni memiliki tubuh ramping silindris memanjang, kepalanya kecil, memiliki sepasang prolegs yang terlihat menyatu pada toraks dekati kepala, serta sepasang prolegs lain di ujung abdomen. Spesimen ini berwarna kuning kehijauan dengan kepala coklat kemerahan.

Menurut Rufusova, *et al.* (2017), famili Chironomidae adalah famili yang terdistribusi global. Larva dapat ditemukan di hampir semua habitat akuatik dan semiakuatik. Beberapa spesies beradaptasi dengan kondisi yang hampir anoksik dan dominan di perairan yang tercemar. Menurut Oscoz *et al.* (2011), kapsul kepala

larva Chironomidae tidak memiliki tonjolan dan tidak tegak lurus dengan badan. Proleg toraks berpasangan, meskipun kadang-kadang menyatu di pangkal dan sangat berdekatan sehingga mereka mungkin tampak sebagai satu. Larva ini memiliki pola warna yang sangat beragam dan tubuh silinder yang memiliki dua pasang proleg, yang pertama terletak di daerah toraks dan pasangan kedua di daerah anus. Famili ini mencakup semua spektrum trofik, dari *filter feeder* hingga predator, hidup bebas maupun parasitisme. Beberapa spesies menggali substrat, yang lain membangun berbagai jenis selubung pelindung. Banyak spesies lain yang hidup bebas dan bergerak di atas substrat.

Klasifikasi *Prodiamesa* sebagai berikut (GBIF, 2022):

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda
Kelas : Insecta
Ordo : Diptera
Famili : Chironomidae
Genus : *Prodiamesa*

b. Spesimen 2



Gambar 4. 2. Genus *Diamesa* (a) Foto pengamatan (b) Literatur (Rufusova *et al.*, 2017).

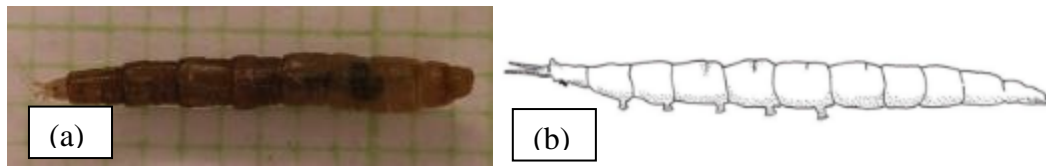
Spesimen 2 yang hanya ditemukan pada stasiun 1 ini mempunyai ciri seperti gambar 4.2. yakni memiliki tubuh ramping silindris, kepalanya kecil, memiliki sepasang prolegs yang terlihat menyatu pada toraks dekati kepala, serta sepasang prolegs lain di ujung abdomen. Spesimen ini berwarna kuning kehijauan dengan kepala coklat kemerahan.

Menurut Oscoz, *et al.* (2011), larva stenothermal dingin dari genus *Diamesa* mendiami kondisi yang keras di sungai gletser. Larva chironomid termasuk dalam kelompok makan pengumpul, penyaring, predator, penghancur, dan pengikis juga. Larva ini paling sering ditemukan di antara serasah bentik dan vegetasi air, juga di kolam, substrat berpasir, habitat snag, resapan higropetrik, dan dasar danau berlumpur. Menurut Rufusova, *et al.* (2017), famili Chironomidae adalah famili yang terdistribusi global. Larva dapat ditemukan di hampir semua habitat akuatik dan semiakuatik. Beberapa spesies beradaptasi dengan kondisi yang hampir anoksik dan dominan di perairan yang tercemar.

Klasifikasi *Diamesa* sebagai berikut (GBIF, 2022):

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda
Kelas : Insecta
Ordo : Diptera
Famili : Chironomidae
Genus : *Diamesa*

d. Spesimen 3



Gambar 4. 3. Genus *Dicranota* (a) Foto pengamatan (b) Literatur (Rufusova *et al.*, 2017).

Spesimen 3 ditemukan pada seluruh stasiun dengan jumlah terbanyak (2 ekor) pada stasiun 2 dan 3. Spesimen ini mempunyai ciri seperti gambar 4.3 yakni bentuk tubuh silindris memanjang dengan 9 segmen, berwarna kuning kecoklatan, terdapat 5 pasang pseudopodia, dan adanya spirakel bercabang di segmen abdomen terakhir.

Menurut Rufusova, *et al.* (2017), *Dicranota* dengan 5 pseudopodia berpasangan adalah larva dari famili Pediciidae dengan kapsul kepala yang menyatu dengan kuat dan beberapa segmen perut memiliki pseudopoda. Larva dari genus *Dicranota* adalah predator utama tungau, oligochaetes, dan larva serangga. Larva ini terdapat di semua jenis perairan yang mengalir dan tenang yang tidak terlalu tercemar. Menurut Oscoz *et al.* (2011), larva dari famili ini bersifat hemicephalic dan metapneustic, dengan kapsul cephalic yang cukup memanjang. Mandibula relatif tipis dan runcing (khas spesies karnivora), dan palpi rahang atas memiliki ukuran yang sama atau sedikit lebih kecil dari mandibula. Umumnya memiliki lima pasang proleg (beberapa spesies memiliki empat pasang proleg atau bantalan penggerak). Ujung abdomen menonjol menjadi dua lobus yang mengandung beberapa setae. Hidup di lumut air dan substrat berpasir, kerikil, atau kerikil dengan endapan daun tempat mereka mencari mangsa.

Klasifikasi *Dicranota* sebagai berikut (GBIF, 2022):

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda
Kelas : Insecta
Ordo : Diptera
Famili : Pediciidae
Genus : *Dicranota*

e. Spesimen 4



Gambar 4. 4. Genus *Atherix* (a) Foto pengamatan (b) Literatur (Gerber & Gabriel, 2002).

Spesimen 4 yang hanya ditemukan pada stasiun 2 ini mempunyai ciri seperti gambar 4.4 yakni bentuk tubuh memanjang silindris berwarna coklat. Bagian kepalanya dapat ditarik dan diregangkan. Ujung abdomen bercabang menjadi dua rumbai yang berlekatan. Tiap segmen abdomen memiliki kaki berpasangan.

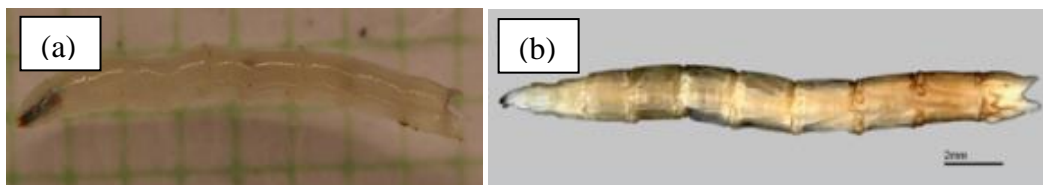
Menurut Oscoz *et al.* (2011), larva Athericidae memiliki tubuh dorsoventral agak memipih. Kapsul *cephalic* dapat ditarik sepenuhnya ke dalam toraks. Antena kecil dan bercabang tiga di bagian apikal, memiliki kanal untuk menyuntikkan racun untuk melumpuhkan mangsanya dalam beberapa detik. Segmen toraks

hingga perut memiliki sepasang setae yang dapat bercabang. Athericidae dapat ditemukan di hampir semua lingkungan perairan. Posisi larva ini berada pada substrat dengan proyeksi trakea belakang lebih menonjol ke permukaan substrat. Karena perilaku hidupnya yang khas, famili ini adalah indikator yang baik dari stabilitas substrat dan biasanya tidak muncul di sungai dengan kemiringan lebih dari 30%. Dalam Rufusova *et al.* (2017), Athericidae memiliki larva predator yang kuat dengan robust kapsul kepala tidak lengkap, kaki berpasangan ada di segmen perut, dan tuberkel lateral-dorsolateral pada segmen perut. Larva instar terakhir meninggalkan air untuk menjadi kepompong. Oleh karena itu, famili ini menjadi indikator yang baik dari debit permanen.

Klasifikasi *Atherix* sebagai berikut (GBIF, 2022):

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda
Kelas : Insecta
Ordo : Diptera
Famili : Athericidae
Genus : *Atherix*

g. Spesimen 5



Gambar 4. 5. Genus *Chrysopilus* (a) Foto pengamatan (b) Literatur (Oscoz *et al.*, 2011).

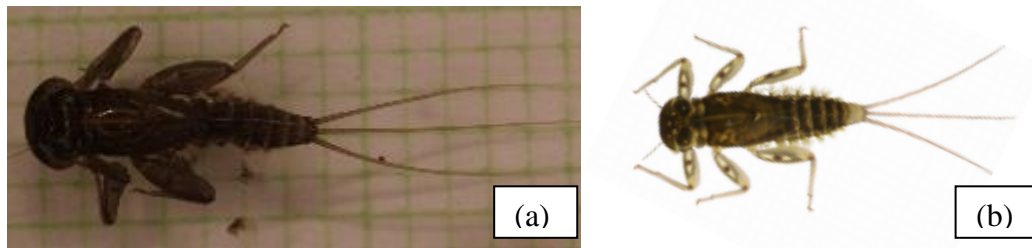
Spesimen 5 yang hanya ditemukan pada stasiun 2 ini mempunyai ciri seperti gambar 4.5 yaitu memiliki tubuh berbentuk silindris berwarna putih, kepala meruncing, pada segmen abdomen terdapat proleg berpasangan, serta bagian abdomen terakhir menjadi 4 lobus.

Menurut Oscoz, *et al.* (2011). Larva famili Rhagionidae ini memiliki ciri tubuh silindris tanpa kepala yang jelas, dengan berkas ventral pada segmen abdomen seperti gambar. Mandibula berbentuk segitiga dan berkembang baik. Larva ini memiliki dua alur membujur lateral sepanjang seluruh tubuh. Segmen abdomen terakhir memiliki empat lobus yang berdiferensiasi, dua dorsal dan dua ventral. Lobus Rhagionidae agak berdaun dan membatasi atrium pernapasan. Dalam Santos & Carmo (2016) larva Rhagionidae merupakan predator. Serangga dewasa dari *Chrysopilus* memangsa serangga lain. Ukuran spesies berkisar dari kecil hingga sedang (4–20 mm). Fase dewasa adalah lalat berukuran sedang, yang biasanya ditemukan pada vegetasi terlindung, sering lembab, hutan terbuka, atau hutan di dataran tinggi dan pegunungan.

Klasifikasi *Chrysopilus* sebagai berikut (GBIF, 2022):

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda
Kelas : Insecta
Ordo : Diptera
Famili : Rhagionidae
Genus : *Chrysopilus*

h. Spesimen 6



Gambar 4. 6. Genus *Rhitrogena* (a) Foto pengamatan (b) Literatur (Sartori & Brittain., 2015).

Spesimen 6 ditemukan pada seluruh stasiun dengan jumlah terbanyak (20 ekor) pada stasiun 2. Spesimen ini mempunyai ciri seperti gambar 4.6 yakni memiliki kepala mendekati oval yang lebih lebar daripada panjang kepala, terdapat bantalan sayap, kaki pipih, cerci bercabang menjadi 3, mata hitam besar, serta warna coklat kehitaman.

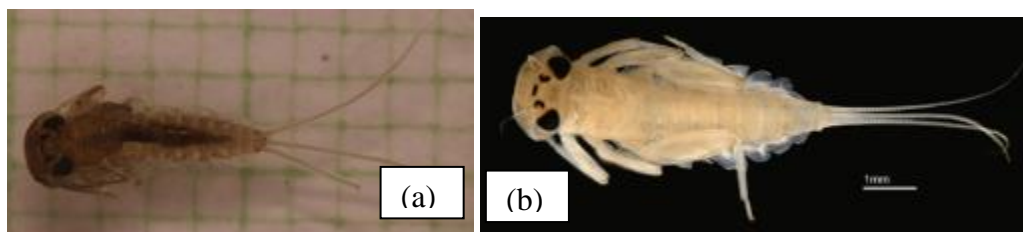
Menurut Oscoz *et al.* (2011), bentuk kepala kepala *Rhitrogena* tidak subtriangular (lebih sub-elips atau sub-trapesium), lebih lebar daripada panjangnya, tibia kaki pertama tanpa setae panjang di tepi anteriornya, hanya beberapa setae pendek di tepi posteriornya. Terdapat bantalan sayap, tiga filamen ekor (cerci). Sepasang insang trakea abdomen lateral pertama berukuran besar dan saling bertemu di bawah tubuh. Ukuran tubuhnya berkisar 8-12 mm. Menurut Rufusova, *et al.* (2017), larva dari genus *Rhithrogena* dicirikan oleh lembaran ventral yang dibentuk oleh sepasang insang perut yang pertama. Larva Heptageniidae dicirikan oleh tubuh rata dengan dua hingga tiga filamen ekor. Heptageniidae ditemukan perairan yang mengalir jernih dari pegunungan tinggi hingga dataran rendah

Klasifikasi *Rhitrogena* sebagai berikut (GBIF, 2022):

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda

Kelas : Insecta
Ordo : Ephemeroptera
Famili : Heptageniidae
Genus : *Rhitrogena*

i. Spesimen 7



Gambar 4. 7. Genus *Ecdyonurus* (a) Foto pengamatan (b) Literatur (Oscoz *et al.*, 2011).

Spesimen 7 ditemukan pada stasiun 1 dan 2 dengan jumlah terbanyak(7 ekor) pada stasiun 1. Spesimen ini mempunyai ciri seperti gambar 4.7 yakni memiliki kepala mendekati subtrapesium yang lebih lebar daripada panjang kepala, terdapat bantalan sayap, kaki silindris, cerci bercabang menjadi 3, mata hitam besar, serta warna putih kecoklatan.

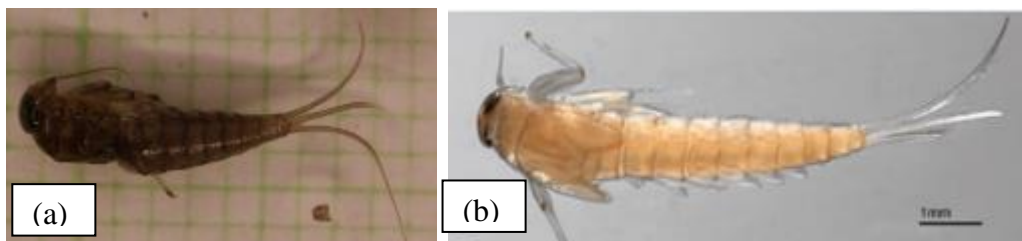
Menurut Rufusova *et al.* (2017), larva dari genus *Ecdyonurus* dapat dikenali dengan adanya ekstensi pronotal yang besar dan menonjol ke belakang. Menurut Oscoz, *et al.* (2011). kepalanya tidak subtriangular (lebih sub-elips atau sub-trapesium), lebih lebar daripada panjangnya, tibia kaki pertama tanpa setae panjang di tepi anteriornya, hanya beberapa setae pendek di tepi posteriornya. Terdapat bantalan sayap; tiga filamen ekor (cerci), memiliki insang trakea perut lateral, serta pronotum dengan proyeksi ke belakang. Ukuran tubuhnya 8-15 mm. Heptageniidae

adalah hewan dengan tubuh yang pipih dan lebar, kepala subelips atau trapesium dengan mata berada di bagian dorsal. Labial dan maksila palpi 2 segmen.. Beberapa spesies bahkan menunjukkan adaptasi (seperti tujuh pasang insang pipih pada abdomen membentuk pengisap ventral atau sisi dengan kepadatan setae yang lebih tinggi) yang membantu menghindari sapuan arus. Heptageniidae merupakan sejenis lalat capung *rheophilic*, terkait dengan substrat berbatu sungai pegunungan dan sungai hulu. Morfologinya sesuai untuk hidup di daerah substrat partikel kasar (seperti batu dan substrat kerikil). Selain itu Heptageniidae sangat toleran terhadap suhu rendah dan memiliki kebutuhan oksigen yang tinggi. Makanannya berupa ganggang dan mikroorganisme yang dijumpai di atas batu. Semua karakteristik tersebut membuat kehadiran famili ini sebagai indikator kualitas perairan yang baik.

Klasifikasi *Ecdyonurus* sebagai berikut (GBIF, 2022):

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda
Kelas : Insecta
Ordo : Ephemeroptera
Famili : Heptageniidae
Genus : *Ecdyonurus*

k. Spesimen 8



Gambar 4. 8. Genus *Baetis* (a) Foto pengamatan (b) Literatur (Oscoz *et al.*, 2011).

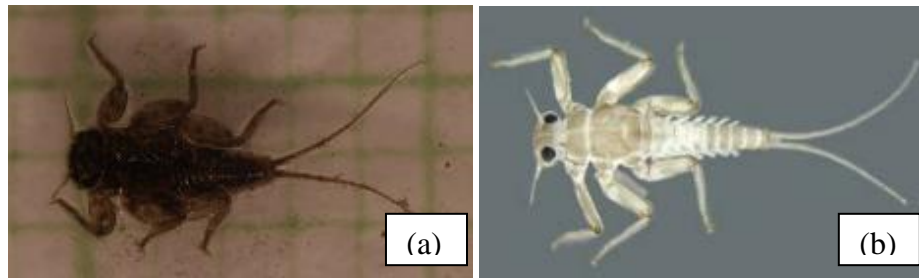
Spesimen 8 ditemukan pada seluruh stasiun dengan jumlah terbanyak (46 ekor) pada stasiun 3. Spesimen ini mempunyai ciri seperti gambar 4.8 yakni badan berbentuk gelendong kecil, ujung posterior segmen abdomen terakhir tidak meruncing, antena panjang, insang berbentuk daun di kedua sisi abdomen, dan memiliki cerci bercabang 3.

Menurut Oscoz, *et al.* (2011), spesimen ini memiliki ciri tubuh fusiform/torpedo, mata dorsolateral, dan antena lebih panjang dari kepala. Labrum berbentuk persegi empat. Lobus labium memiliki ujung membulat dan terdapat tujuh pasangan insang abdomen. Bagian ekor bercabang menjadi 3. Menurut Rufusova, *et al.* (2017), famili Baetidae menghuni habitat lotik maupun lentik. Beberapa memakan partikulat bahan organik, sementara lainnya adalah *grazer* dan pengikis biofilm. Ukuran tubuhnya berkisar antara 5-9 mm.. Famili ini tidak memiliki duri posterolateral pada segmen perut terakhir

Klasifikasi *Baetis* sebagai berikut (GBIF, 2022):

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda
Kelas : Insecta
Ordo : Ephemeroptera
Famili : Baetidae
Genus : *Baetis*

1. Spesimen 9



Gambar 4. 9. Genus *Platybaetis* (a) Foto pengamatan (b) Literatur (Webb & Suter, 2011).

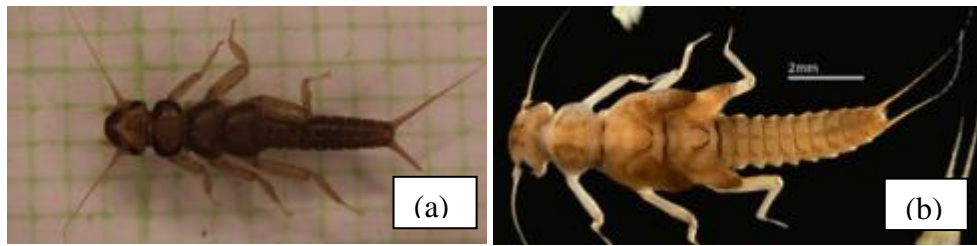
Spesimen 9 ditemukan pada stasiun 1 dan 2 dengan jumlah terbanyak pada stasiun 1 (72 ekor). Spesimen ini mempunyai ciri seperti gambar 4.9 yakni yakni badan berbentuk gelendong pipih, ujung posterior segmen abdomen terakhir tidak meruncing, antena panjang, insang berbentuk daun di kedua sisi abdomen, dan memiliki cerci bercabang 3.

Menurut Oscoz *et al.* (2011), Baetidae dapat ditemukan di semua jenis aliran, baik di mengalir atau tergenang (danau serta kolam). Famili ini lebih menyukai substrat kerikil atau pasir. Bentuk tubuh fusiform membantu berenang melawan arus dalam interval pendek. Beberapa spesies tidak dapat mentoleransi polusi, namun beberapa spesies menunjukkan tingkat toleransi yang lebih tinggi.

Klasifikasi *Platybaetis* sebagai berikut (GBIF, 2022):

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda
Kelas : Insecta
Ordo : Ephemeroptera
Famili : Baetidae
Genus : *Platybaetis*

n. Spesimen 10



Gambar 4. 10. Genus *Perlodes* (a) Foto pengamatan (b) Literatur (Oscoz *et al.*, 2011).

Spesimen 10 ditemukan pada seluruh stasiun dengan jumlah terbanyak (15 ekor) pada stasiun 3. Spesimen ini mempunyai ciri seperti gambar 4.10 yakni memiliki tubuh bagian atas yang tersegmentasi dengan jelas, terdapat dua cerci/ekor dan antena yang panjang serta, namun tanpa insang. Warnanya coklat atau hitam dengan kuning.

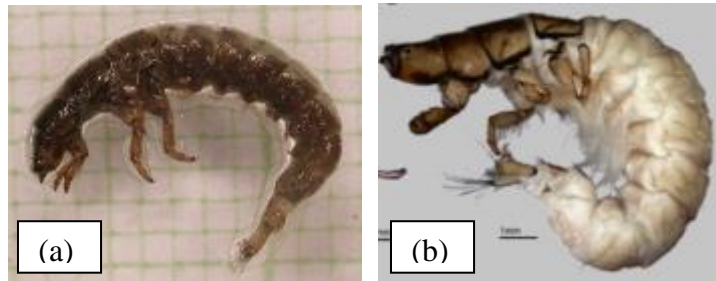
Menurut Rufusova *et al* (2017), lalat batu dari famili Perlodidae tidak memiliki insang bercabang dari pangkal kaki dan hidup di pegunungan atau sungai temporal. Menurut Oscoz *et al.* (2011), spesimen ini memiliki ciri tubuh memanjang dan silindris berwarna kuning kecoklatan. Terdapat pola yang spesifik, tanpa insang trakea toraks atau abdomen seperti gambar Segmen tarsal I dan II pendek, sedangkan segmen III panjang. Pteropthecae (terutama pteropthecae belakang) agak menyimpang dan berbentuk segitiga. Famili ini hidup di mata air (rhithron) serta perairan yang relatif tenang (potamon). Spesies yang hidup sementara di habitat ini mengembangkan adaptasi seperti perkembangan embrio yang panjang (dengan atau tanpa diapause).

Klasifikasi *Perlodes* sebagai berikut (GBIF, 2022):

Kingdom : Animalia

Filum : Arthropoda
Kelas : Insecta
Ordo : Plecoptera
Famili : Perlodidae
Genus : *Perlodes*

o. Spesimen 11



Gambar 4. 11. Genus *Hydropsyche* (a) Foto pengamatan (b) Literatur (Oscoz *et al.*, 2011).

Spesimen 11 ditemukan pada seluruh stasiun dengan jumlah terbanyak (44 ekor) pada stasiun 2. Spesimen ini mempunyai ciri seperti gambar 4.11 yakni ketiga segmen toraks di bagian punggung tertutupi oleh lempengan tersklerotisasi, bagian abdomen silindris dan ramping. Dua segmen toraks terakhir memiliki insang ventral bercabang, dan banyak setae di setiap proleg anal. Cakar pada bagian anal berbentuk kait.

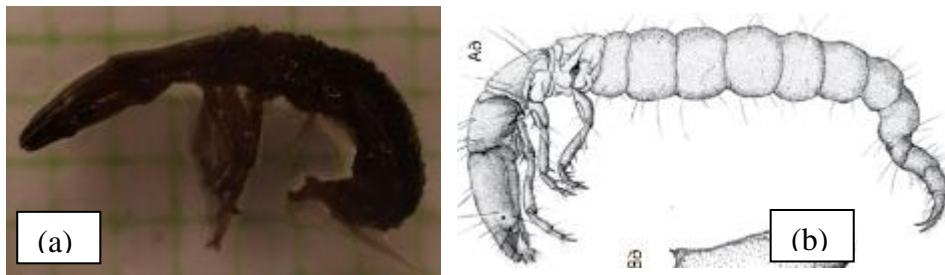
Menurut Rufusova *et al.* (2017), famili Hydropsychidae adalah kelompok *caddisflies* tanpa selubung yang menangkap makanan mereka dalam jaring. Famili ini berada di perairan yang mengalir, yang mungkin tercemar secara organik, memberi nutrisi dalam jumlah tinggi. Dalam Gerber & Gabriel (2002), Hydropsychidae bergerak merangkak menggunakan kaki dan cakar di segmen

terakhir, juga mampu mengambang dalam posisi vertikal saat perutnya dijentikkan. Habitatnya di bawah batu, tinggal di tempat perlindungan yang terbuat dari butiran pasir pada sungai yang mengalir deras. Warnanya pucat, hijau, atau coklat.

Klasifikasi *Hydropsyche* sebagai berikut (GBIF, 2022):

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda
Kelas : Insecta
Ordo : Trichoptera
Famili : Hydropsychidae
Genus : *Hydropsyche*

p. Spesimen 12



Gambar 4. 12. Genus *Austrotinodes* (a) Foto pengamatan (b) Literatur (Springer, 2010).

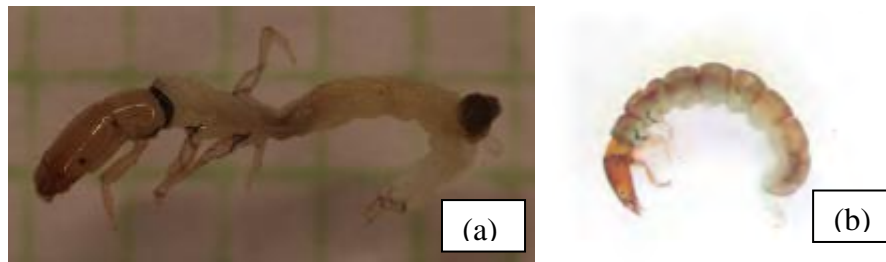
Spesimen 12 yang hanya ditemukan pada stasiun 3 ini mempunyai ciri seperti gambar 4.12. yakni memiliki ciri tubuh memipih secara dorsoventral dengan penyempitan yang nyata antara segmen abdomen. Hanya bagian pronotumnya yang mengalami sklerotisasi. Terdapat insang, kesembilan segmen perut memiliki sklerit dorsal, dan bagian anal dilengkapi dengan cakar.

Menurut Oscoz, *et al.* (2011), ketiga segmen toraks bagian punggung pada Ecnomidae ditutupi oleh pelat sclerotized. Trochantin prothorax panjang dan runcing. Semua kaki memiliki ukuran yang sama. Tidak memiliki insang, tetapi memiliki pinggiran lateral setae yang tebal. Larva Ecnomidae membuat tabung sutra dan butiran pasir halus terbuka di kedua ujungnya, yang melekat pada batu, kayu, atau vegetasi terendam. Ecnomidae adalah *trichopterans-stenotermus* hangat pada dataran rendah dan danau. Namun beberapa juga ditemukan pada mata air yang lebih tinggi. Famili ini juga lebih menyukai habitat lentik dengan substrat bervariasi, mulai dari batu hingga sedimen halus atau sedimen yang berasosiasi dengan bahan organik (algae, makrofit, atau kayu). Menurut Gerber & Gabriel (2002) tingkah laku Ecnomidae merayap dan mengapung di permukaan saat merasa terganggu. Habitatnya pada terowongan sutra di bawah batu dan hulu sungai.

Klasifikasi *Austrotinodes* sebagai berikut (GBIF, 2022):

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda
Kelas : Insecta
Ordo : Trichoptera
Famili : Ecnomidae
Genus : *Austrotinodes*

q. Spesimen 13



Gambar 4. 13. Genus *Ecnomus* (a) Foto pengamatan (b) Literatur (Gerber & Gabriel, 2002).

Spesimen 13 yang hanya ditemukan pada stasiun 2 ini mempunyai ciri seperti gambar 4.13 yakni tubuh lunak dan halus tanpa insang di sisi samping. Warnanya abu-abu dengan kebiruan atau hijau. Kepala berwarna oranye kekuningan dan terdapat segmen khas di belakang kepala.

Menurut Oscoz, *et al.* (2011), ketiga segmen toraks bagian punggung pada Ecnomidae ditutupi oleh pelat sclerotized. Trochantin prothorax panjang dan runcing. Semua kaki memiliki ukuran yang sama. Tidak memiliki insang, tetapi memiliki pinggir lateral setae yang tebal. Larva Ecnomidae membuat tabung sutra dan butiran pasir halus terbuka di kedua ujungnya, yang melekat pada batu, kayu, atau vegetasi terendam. Ecnomidae adalah *trichopterans-stenotermus* hangat pada dataran rendah dan danau. Namun beberapa juga ditemukan pada mata air yang lebih tinggi. Famili ini juga lebih menyukai habitat lentik dengan substrat bervariasi, mulai dari batu hingga sedimen halus atau sedimen yang berasosiasi dengan bahan organik (algae, makrofit, atau kayu). Menurut Gerber & Gabriel (2002) tingkah laku Ecnomidae merayap dan mengapung di permukaan saat merasa terganggu. Habitatnya pada terowongan sutra di bawah batu dan hulu sungai.

Klasifikasi *Ecnomus* sebagai berikut (GBIF, 2022):

Kingdom : Animalia

Filum : Arthropoda
Kelas : Insecta
Ordo : Trichoptera
Famili : Ecnomidae
Genus : *Ecnomus*

r. Spesimen 14



Gambar 4. 14. Genus *Chymarrodella* (a) Foto pengamatan (b) Literatur (Gerber & Gabriel, 2002).

Spesimen 14 yang hanya ditemukan pada stasiun 1 ini mempunyai ciri seperti gambar 4.14 yakni memiliki tubuh yang lunak berwarna cerah, tidak ada insang di sisi tubuhnya, kepala besar berwarna coklat dengan mulut yang berkembang dengan baik.

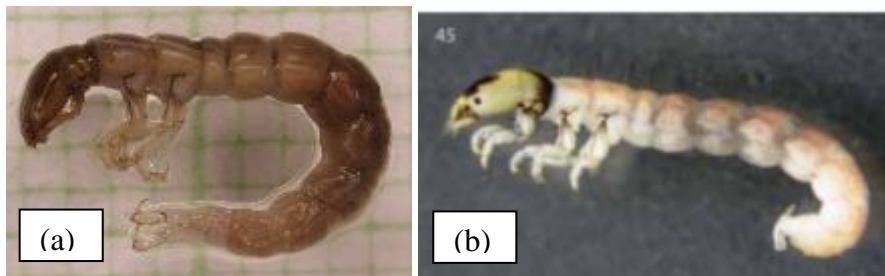
Menurut Oscoz *et al.* (2011), Philopotamidae adalah larva trichopteran yang tidak membentuk cangkang, dengan tubuh yang agak pipih di bagian dorsoventral. Kepalanya memanjang berwarna oranye, coklat muda atau kekuningan, tanpa tanda atau makula dari sisipan otot. Antena pendek, terletak di ujung anterior kepala. Mandibula tidak simetris. Labrumnya bermembran dan berbentuk T, dengan tepi anterior bersilia. Abdomen berwarna keputihan dan tidak memiliki insang, berakhir dengan cakar anal yang pendek dan kokoh. Philopotamidae hidup terutama di hulu

sungai dengan air dingin dan kaya oksigen, di daerah berbatu dan blok kecil. Sebagian besar spesies terutama rheophilic, tetapi ada beberapa spesies potamophilic juga. Secara umum takson dianggap memiliki kebutuhan oksigen yang tinggi dan oleh karena itu keberadaannya dikaitkan dengan kualitas perairan yang baik.

Klasifikasi *Chimarrodella* sebagai berikut (GBIF, 2022):

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda
Kelas : Insecta
Ordo : Trichoptera
Famili : Philopotamidae
Genus : *Chimarrodella*

t. Spesimen 15



Gambar 4. 15. Genus *Polypetropus* (a) Foto pengamatan (b) Literatur (Springer, 2010).

Spesimen 15 yang hanya ditemukan pada stasiun 1 ini mempunyai ciri seperti gambar 4.15 yaitu bertubuh lebar, segmen pertama di belakang kepala mengeras, memiliki pola khas di kepala, serta tubuh berwarna kecoklatan. 2 buah cakar pada bagian anal berbentuk kait.

Menurut Oscoz *et al.* (2011), seluruh tubuh memiliki lebar yang kira-kira sama, yang membuat kepala tampak lebih lebar daripada bagian tubuh lainnya. Warna kepala mereka sangat khas: kekuningan dengan pola bintik-bintik gelap. Hanya pronotum yang mengalami sklerotisasi. Tidak memiliki insang perut, tetapi memiliki insang anal. Cakar pada kakinya ramping dan melengkung, hampir sepanjang tarsi. Proleg anal cukup panjang dan memiliki dua segmen dengan ukuran yang sama. Spesies Polycentropodidae hidup di perairan tenang dengan kecepatan rendah, dengan substrat kerikil dan batu, baik di sungai maupun danau. Spesies dari famili ini adalah karnivora, dan mereka memutar jaring sutra yang menempel pada substrat. Jaring terlihat seperti kantong yang mengumpulkan mangsa hidup yang secara pasif diseret oleh arus, tetapi juga dapat bertindak sebagai jerat. Famili ini adalah organisme yang tidak mentolerir penurunan tingkat oksigen terlarut, yang menjadikannya indikator kualitas perairan yang relatif baik.

Klasifikasi *Polypectropus* sebagai berikut (GBIF, 2022):

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda
Kelas : Insecta
Ordo : Trichoptera
Famili : Polycentropodidae
Genus : *Polypectropus*

u. Spesimen 16



Gambar 4. 16. Genus *Polycentropus* (a) Foto pengamatan (b) Literatur (Springer, 2010).

Spesimen 16 yang hanya ditemukan pada stasiun 2 ini mempunyai ciri seperti gambar 4.16. yaitu bertubuh lebar, kepala berwarna kuning, segmen pertama di belakang kepala mengeras, serta tubuh berwarna kecoklatan. 2 buah cakar pada bagian anal berbentuk kait.

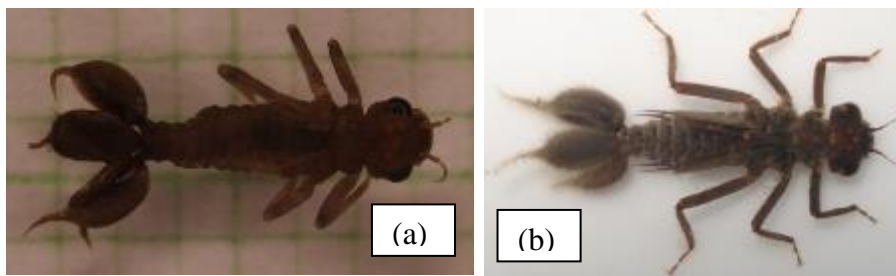
Menurut Oscoz *et al.* (2011), seluruh tubuh memiliki lebar yang kira-kira sama, yang membuat kepala tampak lebih lebar daripada bagian tubuh lainnya. Warna kepala mereka sangat khas: kekuningan dengan pola bintik-bintik gelap. Hanya pronotum yang mengalami sklerotisasi, margin posterior tidak berwarna hitam. Tidak memiliki insang perut, tetapi memiliki insang anal. Cakar pada kakinya ramping dan melengkung, hampir sepanjang tarsi. Proleg anal cukup panjang dan memiliki dua segmen dengan ukuran yang sama. Spesies Polycentropodidae hidup di perairan tenang dengan kecepatan rendah, dengan substrat kerikil dan batu, baik di sungai maupun danau. Spesies dari famili ini adalah karnivora, dan mereka memutar jaring sutra yang menempel pada substrat. Jaring terlihat seperti kantong yang mengumpulkan mangsa hidup yang secara pasif diseret oleh arus, tetapi juga dapat bertindak sebagai jerat. Famili ini adalah

organisme yang tidak mentolerir penurunan tingkat oksigen terlarut, yang menjadikannya indikator kualitas perairan yang relatif baik.

Klasifikasi *Polycentropus* sebagai berikut (GBIF, 2022):

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda
Kelas : Insecta
Ordo : Trichoptera
Famili : Polycentropodidae
Genus : *Polycentropus*

v. Spesimen 17



Gambar 4. 17. Genus *Euphaea* (a) Foto pengamatan (b) Literatur (Xu, 2017).

Spesimen 17 ditemukan pada stasiun 1 dan 2 dengan jumlah yang sama (1 ekor). Spesimen ini mempunyai ciri seperti gambar 4.17 yaitu tubuh pendek dan padat. 3 pasang kakinya terlihat kokoh, dengan rambut-rambut halus pada sisi samping abdomen. Warna tubuh coklat. Terdapat tiga insang pendek yang menggelembung pada ujung anal.

Menurut Saha & Gaikwad (2015), Platycnemidae ditemukan di tumbuhan herba dan vegetasi tepi sungai. Spesies jantan memiliki mata berwarna hitam di sisi

atas. Sisi bawah berwarna kehijauan dengan garis tengah hitam. Thoraksnya berwarna hitam perunggu dengan garis kuning halus. Kaki berwarna oranye kekuningan cerah. Sayap transparan dengan pterostigma coklat. Abdomen atas berwarna hitam kecoklatan. Segmen 3-6 dengan garis pucat di sepanjang sisi dan sebuah cincin putih kehijauan pucat di ujung setiap segmen. Spesies betina memiliki mata dengan tudung coklat. Thoraksnya memiliki dasar warna coklat dengan garis-garis hitam di atas mirip dengan jantan. Kakinya kecoklatan. Sayap transparan dengan bercak sayap coklat pucat. Bagian punggung berwarna coklat. Setengah dari segmen ke-8 dan seluruh ruas ke-9 hingga ke-10 berwarna putih kecoklatan pucat.

Klasifikasi *Euphaea* sebagai berikut (GBIF, 2022):

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda
Kelas : Insecta
Ordo : Odonata
Famili : Platycnemididae
Genus : *Euphaea*

w. Spesimen 18



Gambar 4. 18. Genus *Macrelmis* (a) Foto pengamatan (b) Literatur (Segura *et al.*, 2011).

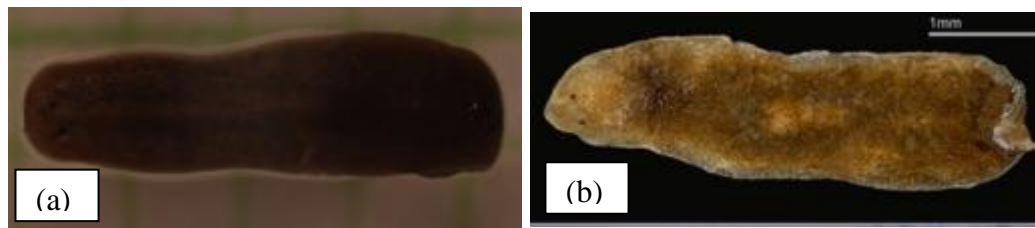
Spesimen 18 yang hanya ditemukan pada stasiun 3 ini mempunyai ciri seperti gambar 4.18 yaitu bentuk tubuh silindris memanjang, semua segmen tubuh mengeras, memiliki 3 pasang kaki kecil pada abdomen yang mendekati kepala, serta adanya jumbai insang anal. Warnanya coklat gelap kemerahan.

Menurut Oscoz *et al.* (2011), Elmidae dewasa memiliki tubuh memanjang atau oval, hitam atau kecoklatan, kadang-kadang dengan tanda atau garis kemerahan atau kecoklatan. Permukaan dorsum tidak berbulu dan permukaan ventral telah memodifikasi setae untuk menyerap oksigen dari air, membentuk plastron pernapasan. Ukuran tubuh bervariasi antara 1 dan 10 mm. Abdomen memiliki sembilan segmen. Hidup terutama di lingkungan lotik, biasanya dengan air yang teroksigenasi dengan baik, jernih dan bersih, serta menyukai dasar batu dengan arus yang kuat.

Klasifikasi *Macrelmis* sebagai berikut (GBIF, 2022):

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda
Kelas : Insecta
Ordo : Coleoptera
Famili : Elmidae
Genus : *Macrelmis*

x. Spesimen 19



Gambar 4. 19. Genus *Dugesia* (a) Foto pengamatan (b) Literatur (Oscoz, *et al.*, 2011).

Spesimen 19 yang hanya ditemukan pada stasiun 1 ini mempunyai ciri seperti gambar 4.19 yakni berbentuk cacing memanjang dengan tubuh pipih tanpa segmentasi. Kepalanya berbentuk seperti panah ketika memanjang dan membulat ketika memendek dengan 2 bintik mata.

Menurut Oscoz *et al* (2011), Dugesiiidae tidak tersegmentasi dan berukuran biasanya kecil (antara 1 dan 2 cm) yang merupakan cacing pipih air tawar hidup bebas. Karakteristik eksternal utama mereka adalah kepala segitiga (kadang-kadang bulat) dengan dua mata di tengah, meskipun kadang-kadang mereka dapat menunjukkan mata supernumerary. Dugesiiidae adalah keluarga cacing pipih air tawar yang tersebar di seluruh dunia, dari mata air kecil hingga sungai dan danau besar. Hewan-hewan ini rentan terhadap kekeringan dan mereka bergantung pada badan air tawar terus menerus untuk bertahan hidup. Mereka cenderung berkumpul di bawah bebatuan, vegetasi air, atau dedaunan. Populasi dugesiids aseksual berkembang biak dengan pembelahan melintang. Populasi yang hanya bereproduksi dengan cara ini biasanya tidak memiliki organ reproduksi. Menurut Rufusova *et al.* (2017), *Dugesia gonocephala* dapat ditemukan hampir di semua

aliran sungai bawah tanah, memiliki kepala segitiga dengan dua mata. Sedangkan *Dugesia tigrina* memiliki kepala segitiga dan dua mata dan tubuh berbintik-bintik.

Klasifikasi *Dugesia* sebagai berikut (GBIF, 2022):

Kingdom : Animalia
Filum : Platyhelminthes
Kelas : Turbellaria
Ordo : Tricladida
Famili : Dugesidae
Genus : *Dugesia*

Terdapat total 160 ekor spesimen dengan 13 genus pada stasiun 1, 95 ekor spesimen dengan 13 genus pada stasiun 2, dan 75 ekor spesimen dengan 7 genus pada stasiun 3. Jumlah makrozoobentos ditunjukkan pada tabel 4.1. Genus yang makrozoobentos ditemukan mendominasi di stasiun 1 yakni *Platybaetis* sebanyak 72 ekor. Genus ini melimpah menurut Kubendran *et al* (2021) karena memiliki jangkauan distribusi ketinggian yang luas (30–275 m) dan toleransi terhadap polusi organik ringan. *Platybaetis* melimpah pada aliran suhu air sedang (21°C pada saat pengambilan sampel) dan terutama kerikil dan di dasar sungai. Lokasinya ini tertutup rapat dengan kanopi vegetasi riparian.:

Genus yang ditemukan cenderung lebih banyak di stasiun 2 yakni *Hydropsyche*, sebanyak 44 ekor. Genus ini melimpah karena sifatnya yang toleran, sesuai Gerber & Gabriel (2002) bahwa Famili Hydropsychidae memiliki tingkat toleransi yang tinggi terhadap pencemaran. Menurut Rufusova *et al.* (2017), Hydropsychidae sebagai *filter feeder* berada di perairan yang mengalir, yang mungkin tercemar

secara organik, sehingga menyediakan makanan dalam jumlah tinggi. Adapun menurut Ficsor & Csabai (2021), larva famili Hydropsychidae tersebar luas hampir di seluruh bagian sungai, mulai dari hulu hingga sungai besar. Namun setiap bagian sungai dicirikan oleh spesies yang berbeda dan kombinasinya. Larva genus ini biasanya menempati substrat dasar yang keras dari berbagai jenis dan ukuran partikel. Peningkatan debit air rata-rata tahunan, penurunan kecepatan arus, atau penurunan ukuran butir sedimen dasar, akan mempengaruhi perbedaan spesies. Hal ini karena respirasi yang bergantung pada suhu atau perilaku membangun jaring yang berbeda dari tiap spesies.

Tabel 4.1 Jumlah genus makrozoobentos

No	Ordo	Famili	Genus	I	II	III
1	Diptera	Chironomidae	<i>Prodiamesa</i>	1	1	0
2	Diptera	Chironomidae	<i>Diamesa</i>	1	0	0
3	Diptera	Pediciidae	<i>Dicranota</i>	1	2	2
4	Diptera	Athericidae	<i>Atherix</i>	0	1	0
5	Diptera	Rhagionidae	<i>Chrysopilus</i>	0	3	0
6	Ephemeroptera	Heptageniidae	<i>Rhitrogena</i>	13	20	2
7	Ephemeroptera	Heptageniidae	<i>Ecdyonurus</i>	7	1	0
8	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetis</i>	2	9	46
9	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Platybaetis</i>	72	1	0
10	Plecoptera	Perlodidae	<i>Perlodes</i>	6	8	15
11	Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i>	14	44	7
12	Trichoptera	Ecnomidae	<i>Austrotinodes</i>	0	0	2
13	Trichoptera	Ecnomidae	<i>Ecnomus</i>	0	1	0
14	Trichoptera	Philopotamidae	<i>Chimarrhodella</i>	3	0	0
15	Trichoptera	Polycentropodidae	<i>Polyplectropus</i>	1	0	0
16	Trichoptera	Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i>	0	3	0
17	Odonata	Platycnemididae	<i>Euphaea</i>	1	1	0
18	Coleoptera	Elmidae	<i>Macrelmis</i>	0	0	1
19	Tricladida	Dugesiiidae	<i>Dugesia</i>	38	0	0
	Jumlah			160	95	75

Genus *Baetis* ditemukan cenderung lebih banyak di stasiun 3 sebanyak 46 ekor. Genus ini melimpah pada kondisi yang sesuai untuk kelangsungan hidup larva *Baetis* menurut penelitian Suhaila *et al* (2017) seperti keberadaan tumbuhan air dan jenis substrat yang sesuai seperti kerikil dan pasir. Kelimpahan tinggi *Baetis* sp. di sungai tertentu sering menunjukkan kualitas parameter air yang baik. Parameter kimia dominan yang mempengaruhi kelimpahan dan distribusi *Baetis* sp. adalah suhu air. Kelimpahan *B. gombaki*, *B. ideii*, *B. lepidus* dan *B. minutus* akan meningkat jika suhu air meningkat. Temuan dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa keempat spesies *Baetis* toleran terhadap perubahan suhu air (24°C hingga 27°C) dan hanya bertahan dalam konsentrasi oksigen terlarut yang besar (85% sampai 98%).

Terdapat beberapa famili yang cenderung banyak ditemukan di stasiun tertentu saja, hal ini dikarenakan perbedaan genetik antar famili yang menentukan toleransi makhluk hidup terhadap lingkungan. Hal ini sesuai dengan Terhorst & Coffroth (2022), bahwa sifat respons spesies terhadap perubahan antropogenik mungkin bergantung pada tingkat variasi genetik dalam sifat-sifat di antara individu-individu dalam suatu spesies. Banyak bukti menunjukkan bahwa respons ekologis terhadap perubahan lingkungan dipengaruhi oleh tingkat variasi genetik dalam suatu populasi dan bahwa variasi dalam spesies dapat sama pentingnya untuk menentukan hasil ekologis sebagai variasi antar spesies. Manfaat keragaman genetik dapat berasal dari komplementaritas, dengan genotipe individu yang lebih toleran terhadap perubahan lingkungan.

4. 2 Indeks keanekaragaman makrozoobentos

Berdasarkan data jumlah famili makrozoobentos yang telah diidentifikasi, didapatkan nilai indeks keanekaragaman Shannon Wiener (H') dan indeks dominansi Simpson (D) sebagai berikut pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai indeks keanekaragaman dan dominansi

Nilai Indeks	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Kumulatif
Keanekaragaman (H')	1,666	1,703	1,191	1,52
Dominansi (D)	0,277	0,278	0,427	0,327

Keterangan :

Stasiun 1 : Mendekati sumber mata air.

Stasiun 2 : Setelah peternakan dan pemukiman

Stasiun 3 : Setelah ekowisata, pertambangan pasir, peternakan, dan permukiman.

Nilai indeks keanekaragaman kumulatif berupa rata-rata jumlah seluruh stasiun sebesar 1,52, menurut Sulaeman *et al.* (2020) menunjukkan tingkat keanekaragaman tergolong sedang ($1 < H' < 3$). Nilai indeks dominansi kumulatif sebesar 0,327 menunjukkan adanya dominansi tingkat rendah dari genus tertentu. Indeks keanekaragaman tiap stasiun yang paling tinggi ke paling rendah secara berturut-turut yakni stasiun 2, 1, dan 3. Nilai tersebut berbanding terbalik dengan nilai indeks dominansi pada 3 stasiun.

Menurut Abidin (2018), nilai indeks H' yang tinggi menunjukkan kemungkinan daerah tersebut kaya akan unsur hara dan tinggi nilai produktifitas. Adapun menurut Arfiati dkk. (2019), indeks keseragaman yang tinggi menunjukkan individu yang ditemukan memiliki persebaran komposisi yang tinggi dan merata. Hal ini mengindikasikan komunitas dengan pertumbuhan dan perkembangan yang stabil, ekosistemnya mempunyai keanekaragaman yang tinggi tanpa dominansi

spesies organisme tertentu. Organisme yang hidup di lingkungan yang kondisinya baik ditunjukkan oleh indeks dominansi yang rendah.

Hal ini sesuai dengan pernyataan Thukral *et al* (2019) bahwa ketika nilai dominansi meningkat, maka nilai keanekaragamannya berkurang. Perubahan keanekaragaman pada habitat yang disebabkan oleh gangguan alogenisik dan polutan dapat dievaluasi menggunakan indeks biotik atau keanekaragaman. Adanya eutrofikasi dapat meningkatkan dominansi salah satu atau beberapa spesies. Adapun menurut Ulkhaq dkk. (2016), indeks dominansi tergolong sedang diduga karena penelitian dilakukan pada musim pancaroba, sehingga suhu perairan masih berfluktuasi dan mempengaruhi jumlah makrozoobentos. Semakin rendah dominansi berakibat semakin sedikitnya jenis spesies di suatu perairan.

Stasiun 1 memiliki nilai indeks keanekaragaman $H' = 1,666$. Menurut Sulaeman *et al.* (2020) tingkat keanekaragaman tersebut tergolong sedang ($1 < H' < 3$). Nilai indeks dominansi $D = 0,277$ menandakan hanya sedikit genus yang mendominasi. Stasiun ini memiliki substrat dasar berbatu, batuan ukuran besar-sedang, terdapat tutupan pohon di dua sisi, dan mendekati sumber mata air. Aliran ini belum banyak melalui pemukiman sehingga masih bersih tanpa adanya cemaran sampah atau limbah. Menurut He *et al.* (2020), habitat di daerah dataran tinggi dapat membatasi distribusi sebagian besar spesies generalis karena suhunya yang rendah dan sumber makanan terbatas. Lingkungan seperti ini juga membatasi aktivitas manusia, sehingga adanya korelasi negatif yang signifikan antara penggunaan lahan terkait manusia dan ketinggian. Daerah dataran tinggi dengan vegetasi lebih rapat dan sedikit dampak aktivitas manusia dapat mendukung lebih banyak keanekaragaman spesies daripada daerah dataran rendah. Pada daerah

dataran yang lebih rendah terdapat perubahan vegetasi riparian, morfologi sungai, dan kondisi lingkungan (misalnya tutupan kanopi, kualitas air, komposisi substrat) yang berdampak pada makroinvertebrata.

Stasiun 2 dengan nilai indeks keanekaragaman tertinggi sebesar $H' = 1,703$ menurut Sulaeman *et al.* (2020) digolongkan dalam tingkat keanekaragaman sedang ($1 < H' < 3$). Nilai indeks dominansi $D = 0,278$ menandakan adanya dominansi rendah dari suatu genus. Stasiun ini memiliki substrat dasar berkerikil, terdapat batuan ukuran besar-kecil, dengan tutupan pohon bambu di kedua sisi. Letaknya aliran sungainya setelah peternakan dan pemukiman penduduk. Menurut Chazanah dkk. (2017), perbedaan status kualitas sungai bisa disebabkan oleh aktivitas antropogenik sekitar titik penelitian. Kegiatan peternakan menghasilkan limbah ke badan air yang menyebabkan kualitas sungai menurun, yang dapat ditinjau baik secara visual maupun bau. Limbah ini menimbulkan polutan bahan organik dan nutrisi, sehingga memiliki nilai TSS cukup tinggi. Selain aliran dari limbah peternakan, limbah dari kegiatan rumah tangga juga menambah cemaran. Begitu pula menurut Cesoniene *et al.* (2019), salah satu sumber pencemaran yang paling berbahaya adalah peternakan yang limbah produksinya berdampak negatif terhadap kualitas tanah dan air. Alasan utamanya adalah pengolahan air limbah yang tidak memadai karena buangan langsung dialirkan menuju sungai, pupuk kandang yang sudah terlalu lama, manajemen teknologi, dan mengabaikan persyaratan lingkungan. Peternakan sapi diperkirakan sebagai *point source* (sumber titik) di periode musim dingin, dan *diffuse source* (sumber menyebar) dimusim panas. Kepadatan ternak juga berdampak pada lingkungan, karena konsentrasi 240

ternak dalam 1 km² telah menyebabkan pertumbuhan alga yang berlebihan di sungai dan danau.

Stasiun 3 memiliki nilai indeks keanekaragaman terendah ($H' = 1,191$). Menurut Sulaeman *et al.* (2020) digolongkan dalam tingkat keanekaragaman tergolong sedang ($H' < 1$). Nilai indeks dominansi tertinggi ($D = 0,427$) dibandingkan stasiun lainnya, menandakan adanya genus yang mendominasi dengan tingkatan sedang. Stasiun ini memiliki substrat dasar berpasir, terdapat batuan berukuran besar hingga sedang, tidak tertutup naungan pohon secara langsung, dan dekat dengan jembatan. Letaknya setelah ekowisata, pertambangan pasir, peternakan, dan permukiman penduduk. Dijumpai banyak sampah plastik yang tersangkut batuan dan timbunan dedaunan yang terbawa arus dari aliran sebelumnya. Menurut Chazanah dkk. (2017), perubahan ekosistem sungai diakibatkan aktivitas manusia pada sungai antara lain berupa pembuatan tanggul, pengerukan dasar sungai dan danau, pelurusan aliran berliku, dan penggunaan lahan tanah untuk kegiatan pertanian, peternakan, maupun domestik.

Penambangan pasir menurut Arsyad (2020) menimbulkan dampak fisik seperti air penurunan kualitas, destabilisasi aliran dan bantaran sungai, serta perubahan bentuk saluran dan kedalaman sungai. Sedimentasi pada hilir dan kerusakan infrastruktur publik juga merupakan dampak negatif dari kegiatan penambangan pasir ini. Menurut Koehnken *et al.* (2020), kegiatan penambangan pasir ini merupakan salah satu dari banyak tekanan yang mempengaruhi ekosistem sungai, di mana keanekaragaman hayati sudah menurun dengan cepat. Sedangkan kegiatan pariwisata dalam Bhadula (2014). telah diidentifikasi sebagai sumber utama tekanan lingkungan karena aktivitas yang dihasilkan wisatawan. Penataan

kembali lingkungan secara permanen yang dilakukan oleh berbagai kegiatan konstruksi dan penggantian lingkungan alam dengan lingkungan binaan baru, baik dari segi spesies hayati maupun kondisi fisik yang ada di kawasan tersebut. Dampak lingkungan menyangkut kegiatan rekreasi meliputi pemadatan tanah, erosi, dan perubahan tutupan tumbuhan maupun keanekaragaman jenis spesies.

4.3 Indeks Biotik BMWP-ASPT

Berdasarkan analisis masing-masing famili sesuai dengan sensitivitas atau toleransi terhadap pencemaran pada ekosistem perairan, didapatkan nilai skor indeks biotik BMWP-ASPT sebagai berikut pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Nilai Skor BMWP dan ASPT

Nilai Indeks	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Kumulatif
BMWP	62	66	47	58,33
ASPT	6,2	6	6,7	6,3

Nilai ASPT kumulatif berupa rata-rata jumlah seluruh stasiun sebesar 6,3 menurut kisaran Hansel *et al.* (2006) berada pada status perairan sangat baik (>5). Nilai ASPT tiap stasiun yang paling tinggi ke paling rendah secara berturut-turut yakni stasiun 2, 1, dan 3. Nilai ASPT tiap stasiun berada pada kisaran 6-6,7 yang berarti bahwa kondisi perairan ini menurut kisaran Hansel *et al.* (2006) berada pada status perairan sangat baik (>5). Seluruh stasiun memiliki status perairan sangat baik dengan adanya famili yang mempunyai skor paling tinggi (10) yaitu Heptageniidae dan Perlodidae, merujuk pada tabel 3.3. Dalam Oscoz *et al.* (2011), Heptageniidae sangat toleran terhadap suhu rendah namun memiliki kebutuhan oksigen yang tinggi. Makanannya berupa ganggang dan mikroorganisme yang

dijumpai di atas batu. Semua karakteristik tersebut membuat kehadiran famili ini sebagai indikator kualitas perairan yang baik. Adapun Perlodidae menurut Rahmawati & Retnaningdyah (2015) merupakan famili yang dapat ditemukan pada perairan oligotrofik (miskin unsur hara tetapi kaya oksigen) dan sensitif terhadap pencemaran.

Kondisi stasiun ditunjukkan dengan nilai ASPT secara berurutan dari yang terendah yaitu 2, 1, dan 3. Hal ini agak bertentangan dengan data pengamatan Rahman (2017), dimana dari bagian hulu sampai stasiun bagian hilir nilai indeks BMWP-ASPT mengalami penurunan. Semakin rendah nilai BMWP-ASPT maka kualitas air semakin menurun. Hal ini dikarenakan pada daerah hulu sungai aktifitas domestik relatif rendah sedangkan bagian tengah dan hilir sangat tinggi, di mana terdapat hubungan yang erat antara tingkat pencemaran dengan keberadaan organisme. Secara tidak langsung, pembuangan limbah domestik dalam jumlah berlebih diperairan akan mengakibatkan pencemaran. Apabila dihubungkan antara parameter satu dengan parameter lainnya maka akan saling berhubungan. Misalnya kadar DO akan mempengaruhi jenis famili apa yang dapat bertahan hidup pada ketiga stasiun tersebut, yakni Heptageniidae dan Perlodidae. Berdasarkan data pengamatan yang diperoleh, maka perlu adanya pengelolaan dalam memantau kualitas air Kali Jarak dan dilakukan konservasi lebih lanjut agar biota air tetap terjaga ekosistemnya dalam kondisi yang sudah baik.

4. 4 Parameter fisika-kimia air sungai

Berdasarkan pengukuran parameter fisika dan kimia air sungai, baik secara langsung maupun pengujian laboratorium, didapatkan nilai dari tiap stasiun pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4. Hasil pengukuran parameter fisika-kimia air

No.	Parameter	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3
1	Suhu (⁰ C)	23,1	22,7	24,6
2	pH	6,91	7,03	7,24
3	Kecepatan arus (m/s)	0,75	1,04	1,16
4	DO (mg O ₂ /L)	6,2	6,2	6,2
5	COD (mg/L)	19,9	20,04	19,72
6	BOD (mg/L)	6,61	6,78	6,58
7	TDS (mg/L)	0,43	0,46	0,45
8	TSS (mg/L)	5,9	6,7	6,6
9	Debit (m ³ /s)	1,93	2,63	3,61

Suhu air di Kali Jarak berkisar antara 22,7–24,6 °C, dengan suhu terendah pada stasiun 2 dan suhu tertinggi pada stasiun 3. Secara keseluruhan suhu air masih memenuhi baku mutu air sungai menurut PP No. 22 Tahun 2021, yakni dalam kisaran 20-26 °C (deviasi 3), di mana suhu udara normal 23°C di lokasi pengamatan. Perbedaan suhu di sepanjang aliran sungai dapat disebabkan oleh faktor cuaca dan intensitas matahari. Selain itu, ketinggian geografis dan tutupan kanopi pohon juga mempengaruhi. Semakin rendah letak stasiun, sungai akan semakin melebar sehingga tutupan vegetasi berkurang, serta intensitas cahaya semakin tinggi. Sesuai dengan penelitian Sulaeman *et al.* (2020), faktor penyebab perbedaan hasil pengukuran suhu antara lain intensitas cahaya matahari, pertukaran suhu antara air dan udara, ketinggian geografis, adanya naungan dari pepohonan yang tumbuh di tepi sungai.

Hasil pengukuran pH air Kali Jarak yang didapatkan berkisar antara 6,91-7,24. Nilai tertinggi pada stasiun 3 dan paling rendah pada stasiun 1. Nilai pH tersebut memenuhi baku mutu air sungai menurut PP No. 22 Tahun 2021, yakni dalam kisaran 6-9, sehingga masih aman bagi kelangsungan hidup biota perairan.

Dalam Fagbayide & Abulude (2018), tingkat pH air sungai dalam batas optimal WHO di antara 6,5 dan 8,5. Nilai pH lebih rendah dari 6,5 dianggap terlalu asam untuk konsumsi manusia yang dapat mengakibatkan masalah kesehatan seperti asidosis. Sedangkan nilai pH lebih besar dari 8,5 juga dianggap terlalu basa untuk konsumsi manusia. Adapun menurut Sulaeman *et al.* (2020), setiap organisme memiliki batas toleransi pH yang berbeda. Perubahan tersebut dapat berdampak pada setiap organisme yang bersinggungan langsung dengan air, salah satunya adalah makrozoobentos. Kebanyakan organisme akuatik akan sensitif terhadap perubahan pH, dengan kisaran pH yang optimal adalah sekitar 7 - 8,5.

Kecepatan arus sungai yang didapatkan berkisar antara 0,75-1,16 m/det, sehingga tergolong dalam sungai berarus cepat hingga sangat cepat menurut Ratih dkk. (2015), bahwa sungai berarus cepat memiliki kecepatan sekitas 0,5 hingga 1 m/s, sedangkan berarus sangat cepat memiliki kecepatan di atas 1 m/s. Stasiun 3 memiliki kecepatan arus tertinggi diduga karena pengukuran dilakukan pada bagian tengah sungai tidak terdapat batuan besar. Sedangkan pada stasiun lainnya terdapat batuan besar yang menghalangi dan memecah aliran air sungai. Menurut penelitian Jiwaningrat & Dibyosaputro (2017), adanya perbedaan kecepatan arus di tiap stasiun disebabkan oleh faktor struktur batuan dan adanya hujan dengan intensitas kecil sebelum pengambilan data, sehingga jumlah debit air mengalami peningkatan.

Hasil pengukuran DO di Kali Jarak memiliki nilai yang konstan di seluruh stasiun yakni 6,2 mg/L, namun seluruhnya masih memenuhi baku mutu air sungai menurut PP No. 22 Tahun 2021 untuk kelas air I dengan batas minimum 6 mg/L. Nilai DO masih menunjang kehidupan biota air, sesuai pernyataan Gupta *et al.* (2017), bahwa untuk memastikan kehidupan akuatik yang lebih baik, DO harus

berkisar antara 4 hingga 6 mg/L. Adapun menurut Sulaeman *et al.* (2020), konsentrasi oksigen terlarut bergantung pada suhu, keberadaan organisme fotosintetik, tingkat penetrasi cahaya yang tergantung pada kedalaman dan kekeruhan air, kesadahan aliran air, dan jumlah bahan organik (sampah, ganggang mati, atau limbah industri) yang terdegradasi di air.

Hasil pengukuran COD yang didapatkan berkisar antara 19,72 – 20,04 mg/L. Nilai COD tertinggi pada stasiun 2 dan paling rendah pada stasiun 3. Nilai COD pada seluruh stasiun masih memenuhi baku mutu air sungai menurut PP No. 22 Tahun 2021 untuk kelas air II dengan batas maksimal 25 mg/L. Secara keseluruhan nilai COD masih lebih tinggi daripada BOD, sesuai pernyataan Djoharam *et al.* (2018), bahwa senyawa organik mampu dioksidasi oleh mikroorganisme menjadi CO₂ serta H₂O, menghasilkan nilai COD yang lebih besar daripada BOD dalam satu badan air. Senyawa-senyawa yang tidak teroksidasi oleh reaksi biologi dan mikroba akan teroksidasi dalam pengujian COD. Sama halnya menurut Prambudy *et al.* (2019), pada umumnya nilai COD diperoleh dari hasil pengujian karena jumlah senyawa kimia yang dapat dioksidasi secara kimia lebih besar daripada oksidasi biologis. Adanya kegiatan pembuangan limbah dapat menambah beban pencemaran COD.

Hasil pengukuran BOD yang didapatkan berkisar antara 6,58 – 6,78 mg/L. Nilai BOD tertinggi pada stasiun 2 dan paling rendah pada stasiun 3. Nilai BOD pada ketiga stasiun hanya memenuhi baku mutu air sungai menurut PP No. 22 Tahun 2021 untuk kelas air IV dengan batas maksimal 12 mg/L. Stasiun 2 memiliki nilai sebesar 6,58 karena letaknya setelah peternakan yang diduga menghasilkan banyak limbah organik. Sesuai dengan pernyataan Sulaeman *et al.* (2020),

konsentrasi BOD yang tinggi mencerminkan tingginya bahan organik yang dapat didegradasi secara biologis. Besarnya nilai BOD ditentukan oleh aktivitas organisme pengurai seperti bakteri dalam menguraikan bahan organik. Selain itu, limbah domestik dan industri yang masuk ke badan air juga dapat mempengaruhi nilai BOD. Adapun menurut Fagbayide & Abulude (2018), bahwa BOD yang tinggi menunjukkan polusi organik dan lebih sedikit oksigen untuk mendukung kehidupan. Meskipun tidak benar-benar menunjukkan kualitas air, tetapi berpotensi untuk mengurangi oksigen dalam perairan.

Nilai TDS yang didapatkan berkisar antara 0,43 - 0,46 mg/L. Nilai tertinggi pada stasiun 2 dan paling rendah pada stasiun 1. Nilai TDS pada seluruh stasiun masih memenuhi baku mutu air sungai menurut PP No. 22 Tahun 2021 untuk kelas air I dengan batas maksimal 1000 mg/L. Namun secara keseluruhan nilai TDS masih menunjukkan sungai dalam kualitas baik. Sesuai pernyataan Sukmawati & Rusni (2019), TDS dalam air menunjukkan konsentrasi garam anorganik dan bahan organik seperti karbonat, nitrat, natrium, kalsium, magnesium, dan klorida. Parameter ini mungkin juga menunjukkan kontaminasi limbah dan pertumbuhan plankton yang cepat. Adapun menurut Gupta *et al.* (2017), Nilai TDS menunjukkan keberadaan bahan kimia organik sintetis, yang bahkan dalam konsentrasi kecil memberikan rasa, bau, dan warna yang mengganggu bagi ikan dan tanaman air. Hal ini mungkin disebabkan oleh pembuangan limbah dan aktivitas antropogenik di sepanjang tepi sungai.

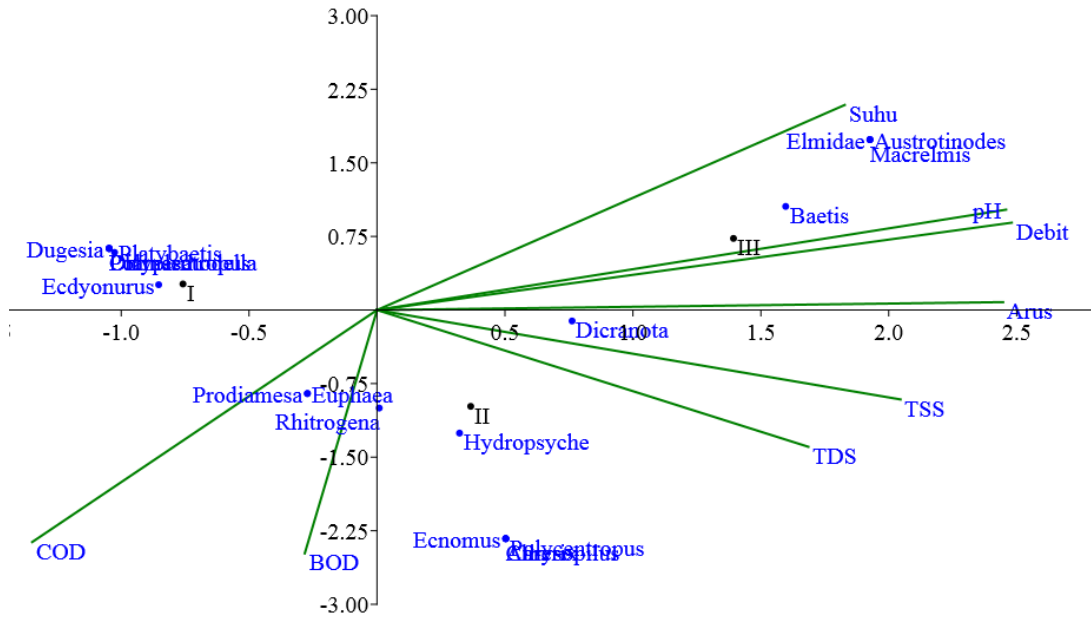
Nilai TSS yang didapatkan berkisar antara 5,9 – 6,7 mg/L. Nilai tertinggi pada stasiun 2 dan paling rendah pada stasiun 1. Nilai TSS pada seluruh stasiun masih memenuhi baku mutu air sungai menurut PP No. 22 Tahun 2021 untuk kelas

air I dengan batas maksimal 40 mg/L. Namun secara keseluruhan nilai TSS masih menunjukkan sungai dalam kualitas baik. Sesuai pernyataan Yonar dkk. (2021) nilai TSS <20 mg/L termasuk dalam golongan 1, yang berarti jernih. Kisaran TSS dalam perairan dapat menjadi indikator sedimentasi pada suatu perairan yang memiliki kadar TSS yang tinggi cenderung akan mengalami sedimentasi yang tinggi pula.

Debit air sungai yang didapatkan berkisar antara 1,93-3,61 m³/det. Debit tertinggi pada stasiun 3 dan paling rendah pada stasiun 1. Debit air semakin tinggi ke arah hulu dikarenakan luas penampang sungai semakin melebar. Hal ini sesuai dengan Fitriyani (2022) bahwa faktor meteorologi (intensitas hujan, durasi hujan, distribusi curah hujan) dan karakteristik daerah DAS (luas dan bentuk das, topografi, dan tata guna lahan) mempengaruhi debit air. Intensitas hujan sebelum pengambilan sampel air berpengaruh pada debit maupun volume limpasan.

4. 5 Korelasi keanekaragaman makrozoobentos dengan parameter fisika-kimia air sungai

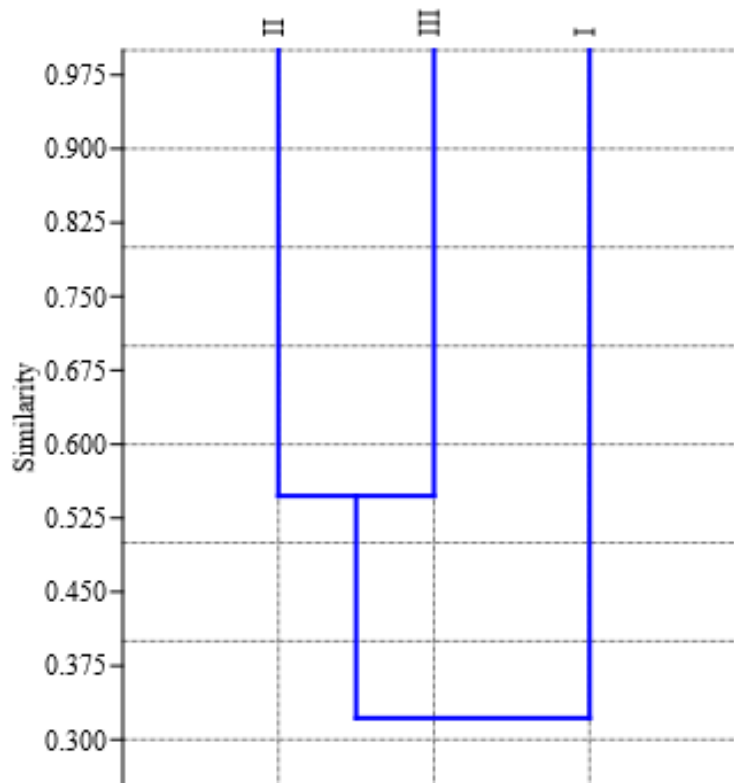
Berdasarkan data jumlah genus makrozoobentos dan hasil pengukuran parameter fisika-kimia air sungai, didapatkan hasil Korelasi Kanonikal (*Canonical Correspondence Analysis/CCA*) antara keduanya pada gambar 4.20 berikut.



Gambar 4. 20. Grafik triplot CCA genus makrozoobentos dan fisika-kimia air Kali Jarak

Analisis CCA yang dilakukan menggunakan aplikasi PAST 4.03 merupakan analisis dengan dua variabel. Menurut Hertika, dkk (2020) disebutkan bahwa dua variabel berupa variabel terikat dan variabel bebas. Variabel bebas yaitu pH, suhu, debit, arus, TSS, TDS, BOD, dan COD, sedangkan pada variabel terikat berupa genus makrozoobentos. Gambar 4.20 menampilkan suhu berkaitan dengan genus *Austrotinodes* dan *Macrelmis*, pH dan debit berkaitan dengan genus *Baetis*, arus berkaitan dengan genus *Dicranota*, BOD berkaitan dengan genus *Prodiamesa* dan *Rhitrogena*, dan COD berkaitan dengan genus *Euphaea*. Stasiun 1 memiliki karakteristik yang sesuai dengan genus *Dugesia*, *Platybaetis*, *Ecdyonurus*, dan *Chimarrhodella*. Stasiun 2 banyak dijumpai genus *Hydropsyche*, sedangkan stasiun 3 banyak dijumpai genus *Baetis*. Berdasarkan analisis clustering pada gambar 4.21, dapat disimpulkan bahwa stasiun 2 dan 3 memiliki persamaan yang lebih banyak

dengan indeks similiaritas Morisita sebesar 0,548. Stasiun 1 dan 2 memiliki indeks similiaritas Morisita sebesar 0,385, sedangkan antara stasiun 1 dan 3 hanya 0,259.



Gambar 4. 21. Clustering dendogram stasiun penelitian

4. 5 Tinjauan hasil penelitian dalam Perspektif Al-Qur'an

Keanekaragaman makrozoobentos seluruh stasiun Kali Jarak tergolong sedang, menunjukkan perubahan keanekaragaman hayati yang mungkin tidak hanya karena peningkatan polusi antropogenik, tetapi juga perubahan biotik alami dan kondisi abiotik. Adapun nilai indeks biotik yang menunjukkan status perairan sangat baik, menandakan perubahan yang terjadi tidak sampai merusak lingkungan. Kualitas perairan yang masih sangat baik ini tentunya perlu senantiasa dikelola dan dipantau agar biota air tetap terjaga ekosistemnya sehingga tidak sampai terjadi

kerusakan. Kegiatan manusia di sepanjang aliran sungai telah memberikan dampak, baik yang secara langsung berpotensi merusak ekosistem perairan. Pentingnya konservasi untuk akan rusaknya ekosistem yang masih baik sebagai hasil aktivitas manusia telah secara tersirat disebutkan pada Al-Qur'an surat al-A'raf ayat 56 berikut :

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ ٥٦

Artinya :

“ dan janganlah kamu melakukan kerusakan di muka bumi, setelah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat dengan orang-orang yang berbuat baik.” (QS: Al-A'raf [7]: 56)

Tafsir Ibnu Al-Misbah dalam Shihab (2002) menyatakan: *dan janganlah kamu membuat kerusakan di bumi, sesudah perbaikannya yang dilakukan oleh Allah dan atau siapapun.* Ayat ini melarang pengerusakan di bumi sebagai salah satu bentuk pelampauan batas. Alam raya telah diciptakan Allah Allah Subhanahu Wata'ala dalam keadaan baik, bahkan memerintahkan hamba-hamba-Nya untuk memperbaikinya. Salah satu bentuk perbaikan yang dilakukan Allah, adalah dengan mengutus para nabi untuk meluruskan kehidupan masyarakat yang kacau Merusak setelah diperbaiki jauh lebih buruk daripada merusaknya sebelum diperbaiki, atau pada saat telah buruk. Oleh karenanya, ayat ini secara tegas menggarisbawahi larangan tersebut, walaupun tentunya memperparah kerusakan atau merusak yang baik juga amat tercela. Penjelasan ayat tersebut dalam konteks ekologi menurut Mustakim (2017), bahwa adanya larangan untuk merusak lingkungan, sebagai salah satu perilaku yang melampaui batas. Alam semesta telah dijadikan Allah Subhanahu Wata'ala dengan kondisi harmonis, padu, dan mencukupi keperluan

hidup makhluk-Nya. Lalu umat manusia diperintahkan untuk senantiasa memperbaikinya.

Berkaitan dengan pendapat Mustaqim (2013), al-Qur'an mengharuskan manusia sebagai khalifah di bumi untuk melestarikan lingkungan. Trilogi hubungan Tuhan sebagai Sang Pencipta, manusia selaku khalifah, dan alam untuk tempat melaksanakan tugas kekhalifahan harus dijalankan berlandaskan tatanan etika untuk memperkecil kemunculan bencana alam. Lain halnya dengan hubungan manusia dan lingkungan yang lebih condong ke tujuan eksploitatif dan destruktif, dapat dikatakan memicu kepunahan makhluk hidup termasuk manusia itu sendiri. Merusak keanekaragaman hayati artinya sama dengan mengabaikan ayat-ayat Tuhan di muka bumi ini. Sebaliknya, melestarikan dan menjaganya menunjukkan salah satu indikator ketakwaan hamba berkaitan dengan keanekaragaman hayati.

Makrozoobentos peka terhadap perubahan lingkungan perairan yang ditempatinya sehingga akan berpengaruh terhadap komposisi dan kelimpahannya, karena itu hewan ini sering dijadikan sebagai indikator ekologi di suatu perairan dikarenakan cara hidup, ukuran tubuh, dan perbedaan kisaran toleransi tiap spesies di dalam lingkungan perairan. Spesies yang toleran beradaptasi dengan baik terhadap perubahan kondisi lingkungan dan sering menjadi dominan di lokasi yang terganggu. Perbedaan antar kelompok makrozoobentos merupakan salah satu bentuk kekuasaan Allah, dalam sabda Rasul *Ihktilafu ummati rahmah* yang artinya '*Perbedaan (yang terjadi) pada umatku merupakan sebuah rahmat (kasih sayang dari Allah)*', Menurut Chirzin (2011) seperti halnya perbedaan bahasa dan warna kulit pada manusia padahal bersumber dari asal-usul yang sama, merupakan tanda kebesaran dan kekuasaan Allah subhanahu wata'ala, namun dasar kesatuannya

tetap tidak berubah. Mereka merasakan dalam cara yang sama dan sama-sama di bawah perlindungan Tuhan. Faktor genetislah yang menjadikan tumbuh-tumbuhan, hewan, dan manusia tetap memiliki ciri khasnya dan tidak berubah hanya karena habitat dan makanannya.

BAB V PENUTUP

5. 1 Kesimpulan

Kesimpulan dalam penelitian ini adalah :

1. Spesimen yang didapatkan 330 ekor terdiri dari 19 genus, yaitu : *Prodiamesa*, *Diamesa*, *Dicranota*, *Atherix*, *Chrysopilus*, *Rhitrogena*, *Ecdyonurus*, *Baetis*, *Platybaetis*, *Perlodes*, *Hydropsyche*, *Austrotinodes*, *Ecnomus*, *Chimarrhodella*, *Polyplectropus*, *Polycentropus*, *Euphaea*, *Macrelmis*, dan *Dugesia*.
2. Nilai indeks keanekaragaman pada Kali Jarak secara keseluruhan 1,52 (sedang), stasiun 1 = 1,666 (sedang), stasiun 2 = 1,703 (sedang), dan stasiun 3 = 1,191 (sedang). Nilai indeks dominansi keseluruhan stasiun = 0,327 (rendah), stasiun 1 = 0,277 (rendah), stasiun 2 = 0,278 (rendah), dan stasiun 3 = 0,427 (sedang).
3. Skor BMWP keseluruhan stasiun 58,33, stasiun 1= 62, stasiun 2=66, dan stasiun 3=47. Skor ASPT keseluruhan stasiun 6,3 stasiun 1= 6,2, stasiun 2=6, dan stasiun 3=6,7, seluruhnya menunjukkan status perairan sangat baik (>5).
4. Nilai faktor abiotik berupa parameter fisika-kimia air di seluruh stasiun masih tergolong baik dan dapat digunakan untuk pengairan tanaman dan keperluan lain sesuai dengan tujuan tersebut.
5. Hasil CCA menunjukkan suhu berkaitan dengan *Austrotinodes* dan *Macrelmis*, pH dan debit berkaitan dengan *Baetis*, arus berkaitan dengan *Dicranota*, BOD berkaitan dengan *Prodiamesa* dan *Rhitrogena*, dan COD berkaitan dengan genus *Euphaea*.

5.2 Saran

Saran dalam penelitian ini adalah :

1. Perlu ditambahkan parameter kimia air seperti fosfat, amonia, dan nitrat untuk mengetahui kandungan zat hara perairan.
2. Perlu dilaksanakan penelitian serupa dengan musim yang berbeda untuk makrozoobentos dengan hidup menahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z. 2018. Studi Keanekaragaman dan Struktur Komunitas Perifiton di Perairan Sungai Coban Rondo Malang. *G-Tech Jurnal Teknologi Terapan*. 1(2).
- Aisyah, S., Soedarso, J., Satya, A. , & Syawal, M. 2020. Relationship between the surface sediment substrate characteristic with the abundance of macrozoobenthos in River Ranggeh, West of Sumatra. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 535.
- al-Khalidi, S. A. F. 2017. *Mudah Tafsir Ibnu Katsir: Shahih, Sistematis, lengkap*. Magfirah Pustaka, Jakarta.
- Aminullah, M. 2017. *Interaksi Manusia dengan Air dalam Perspektif AlQuran (Tinjauan Alamtologi Dalam Komunikasi)*. Pascasarjana Universitas Islam Negeri Sumatera Utara. Medan. Disertasi.
- Andilas, D. D., S. Wijaya, R. Setiawan, & A. Juniwati. 2020. Pemetaan Potensi Wisata dan Perencanaan Pengembangan Desa Jarak Kec. Wonosalam, Kab. Jombang. *Jurnal Ilmiah Pariwisata*.25(3).
- Anisafitri, J., Khairuddin, & D. A. C.. 2020. Analisis Total Coliform sebagai Indikator Pencemaran Air pada Sungai Unus Lombok. *J. Pijar MIPA*. 15(3).
- Arfiati, D., E. Y. Herawati, N. & R. Buwono. 2019. Struktur komunitas makrozoobentos pada ekosistem lamun di Paciran, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur. *Journal of Fisheries and Marine Research* 3(1).
- Arnop, O., Budiyanto, & Rustama. 2019. Kajian Evaluasi Mutu Sungai Nelas dengan Metode Storet dan Indeks Pencemaran. *NATURALIS – Jurnal Penelitian Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 8(1).
- Arslan, N., Salur, A., Kalyoncu, H., Mercan, D., Barişik, B., & Odabaşı, D. A. 2016. The use of BMWP and ASPT indices for evaluation of water quality according to macroinvertebrates in Küçük Menderes River (Turkey). *Biologia*, 71(1).
- Arsyad, Rukmana, D., Salman, D. & Alimuddin, I. 2020. Impact of sand mining on the changes of morphological and physical dynamics in Sa'dang River, Pinrang District, Indonesia. *J. Degrade. Min. Land Manage*. 8(1): 2451-2460
- Asdak, C. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Asif, N., Malik, M., & Chaudhry, F. N. 2018. A review of on environmental pollution bioindicators. *Pollution*: 4(1).
- Asmawati, H., Haeruddin, H., & Sulardiono, B. 2020. Analisis Status Mutu Air Sungai Siangker Berdasarkan Indeks Kualitas Air. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*. 8(4):275-282.
- As Sa'di, AR. 2002. *Taisirul Karim Ar-Rahman fii Tafsir Al-Kalam Al-Mannan*. Beirut: Resalah Publisher
- Badan Pengembangan dan Pembinaan Bahasa. 2020. KBBI Daring. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia. Diakses dari <https://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/kali> pada tanggal 3 Maret 2021.

- Badan Pusat Statistik Kabupaten Jombang. 2019. *Nama Panjang dan Debit Air Sungai di Kabupaten Jombang, 2019*. Diakses dari <https://jombangkab.bps.go.id/statictable/2020/03/03/5407/nama-panjang-dan-debit-air-sungai-di-kabupaten-jombang-2019.html> pada tanggal 27 Februari 2021.
- Bartram, J., & Ballance, R. (Eds.). 1996. *Water quality monitoring: a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes*. CRC Press.
- Bawa, U., Muhammad, I. A., & Ibrahim, H. 2018. Assessment of water quality using biological monitoring working party (BMWP) and average score per taxon (ASPT) score at Kanye and Magaga dams, Kano. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 11(2).
- Bhadula, S. 2014. Impact of Touristic Activities on Water Quality of Sahashtradhara Stream, Dehradun. *International Journal of ChemTech Research*. 6. 213-221.
- Česonienė, L., Dapkiene, M., & Sileikiene, D. 2019. The impact of livestock farming activity on the quality of surface water. *Environmental Science and Pollution Research*. 26(2): 32678–32686.
- Chazanah, N., Sudjono, P., Hasby, F., & Suantika, G. 2017. Macrozoobentos Distribution as a Bioindicator of Water Quality in the Upstream of the Citarum River. *Journal of Ecological Engineering*. 21(3):10–17
- Chirzin, M. 2011. Keanekaragaman dalam al-Qur'an. *Tsaqafah*, 7(1), 51-68.
- Cristina, E. M. 2019. *Importance of Fresh Water for Livestock. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier, New York.
- Croijmans, L., De Jong, J. F., & Prins, H. H. T. 2021. Oxygen is a better predictor of macroinvertebrate richness than temperature—a systematic review. *Environ. Res. Lett.* 16(2).
- Custodio, M., Chanamé, F., Pizarro, S., & Cruz, D. 2018. Quality of the aquatic environment and diversity of benthic macroinvertebrates of high Andean wetlands of the Junín region, Peru. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*. 44(3): 195–202.
- Dalu, T., & Wasserman, R. J. (Eds.). 2021. *Fundamentals of Tropical Freshwater Wetlands: From Ecology to Conservation Management*. Belanda: Elsevier Science.
- Darojat, M. K., Kurniawan, N., & Retnaningdyah, C. 2020. Evaluation of Water Quality Based on Macrozoobenthos as a Bioindicator in the Four Springs of Wana Wiyata Widya Karya Tourism Area, Cowek Village, Purwodadi District, Pasuruan Regency. *Journal of Indonesian Tourism and Development Studies*, 8(1).
- Desinawati, D., Adi, W., & Utami, E. 2018. Struktur Komunitas Makrozoobentos di Sungai Pakil Kabupaten Bangka. *Akuatik: Jurnal Sumberdaya Perairan*.12(2):54-63.
- Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Jombang. 2021.
- Dirisu, A., J. O. Olomukoro, & T. O. T. Imoobe. 2018. Limnochemical Characterization of Lotic and Lentic Ecosystems in Agbede Wetlands. *Turk. J. Fish. Aquat. Sci.* 18: 585-595.
- Djoharam, V., Riani, E., & Yani, M. 2018. Analisis Kualitas Air dan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Pesanggrahan di Wilayah Provinsi

- DKI Jakarta. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 8(1): 127-133.
- Fachrul, M.F. 2007. *Metode Sampling Bioekologi*. Bumi Aksara. Jakarta.
- Fadholi, A. 2013. Studi Pengaruh Suhu dan Tekanan Udara terhadap Operasi Penerbangan di Bandara H.A.S Hananjoeddin Buluh Tumbang Belitung Periode 1980-2010. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya*. 3(1).
- Fagbayide, S. D., & F. O. Abulude. 2018. Effects of human activities on water quality assessment of Ala River in Akure, Ondo State, Nigeria. *World Journal of Environmental Research*. 8(1). 37-44
- Fatima, M., Ahmad U., Bhat B.N., Hassan T., & Parveen S. 2017. Benthos Composition and Abundance in Lentic Ecosystems. *J Fisheries Livest Prod*. 5(3).
- Ficsór, M., & Csabai, Z. 2021. Longitudinal zonation of larval Hydropsyche (Trichoptera: Hydropsychidae): abiotic environmental factors and biotic interactions behind the downstream sequence of Central European species. *Hydrobiologia* 848, 3371–3388.
- Firdhausi, N., A. Wismaningsih, & K. Irianto. 2019. Pengenalan Makroinvertebrata Bentik sebagai Bioindikator Pencemaran Perairan Sungai pada Siswa di Wonosalam, Mojokerto, Jawa Timur. *Agrokreatif*. 5(3): 210-215.
- Fitriyani, N. P. V. 2022. Analisis Debit Air di Daerah Aliran Sungai (DAS). *Jurnal Ilmu Teknik*, 2(2).
- Gawad, S.S.A. & E.I. Abdel-Aal. 2018. Impact of flood cycle on phytoplankton and the macro invertebrates associated with *Myriophyllum spicatum* in lake Nasser khors (Egypt). *J. Biol. Sci.*, 18: 51-67.
- Gerber, A. & M.J.M. Gabriel. 2002. *Aquatic Invertebrates of South African Rivers*. Institute of Water Quality Study. Pretoria.
- Ghosh, D. D. & Biswas, J. 2015. Macroinvertebrate diversity indices: A quantitative bioassessment of ecological health status of an oxbow lake in Eastern India. *J Adv Environ Health Res*. 3(2)
- Global Biodiversity Information Facility (GBIF). Diakses dari <https://www.gbif.org> pada tanggal 14 Juni 2022.
- Gray, N. 2017. *Water Science and Technology: An Introduction*. CRC Press.
- Gupta, N., Pandey, P., & Hussain, J. 2017. Effect of physicochemical and biological parameters on the quality of river water of Narmada, Madhya Pradesh, India. *Water Science*. 31(1).
- Hansel, C., Nacua, S., Seronay, R., Gorospe, M., Gorospe-Villarino, A., Poblete, T., Fletcher, F., Freire, M., Culminas, K., Grace, D., Bacaltos, G., Mohagan, A., Roa, E., Gay, H., Roscom, B., & Wilson, Hew. 2006. *Assessing the Headwaters of Layawan River: Linkage Between the Terrestrial and Aquatic Ecosystems in Mt. Malindang, Misamis Occidental*. Biodiversity Research Programme (BRP) for Development in Mindanao: Focus on Mt. Malindang and Environs. SEAMEO SEARCA, College, Laguna.
- He, F., Wu, N., Dong, X., & Tang, T. 2020. Elevation, aspect, and local environment jointly determine diatom and macroinvertebrate diversity in the Cangshan Mountain, Southwest China. *Ecological Indicators*. 108.

- Hecca, D., Hidayat, S., & Dewiyeti, S. 2017. Diversity of Water Environment Gastropoda in a Empayang-Kasap River in the District Lahat. *BIOVALENTIA: Biological Research Journal*. 3(1). 1-7.
- Heinrich & Hergt. 1999. *Atlas Oekologie*. DeutscheVerlag. Muenchen.
- Herawati, H., Patria,E., Hamdani, H., & Rizal, A. 2020. Macrozoobenthos diversity as a bioindicator for the pollution status of Citarik River, West Java. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 535
- Hertika, A. M. S., Supriatna, Darmawan, A., Nugroho, B. A., Handoko, A.D., Qurniawatri, A. Y., & Prasetyawati, R. A. 2020. *Profil Hemosit Susuh Kura (Sulcospira testudinaria) Dalam Rangka Menilai Tingkat Pencemaran Perairan di Kawasan Konservasi Badher Bank, Blitar, Jawa Timur* Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya.
- Hussain, Q. & A. K. Pandit. 2012. Macroinvertebrates in streams: A review of some ecological factors. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*. 4 (17): 114-123
- Ibrahim, A., Imroatusshoolikhah, I. Toruan, R., Akhdiana, I, & Lukman, L. 2020. Komunitas makroinvertebrata bentik di perairan Situ Cibuntu, Jawa Barat. *Depik Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*. 9(3): 501-509.
- Ibrahim, S. 2016. Pelestarian Lingkungan Hidup dalam Perspektif Al-Qur'an: Kajian Tafsir Maudu'iy. *Jurnal Ilmiah AL-Jauhari: Jurnal Studi Islam dan Interdisipliner*, 1(1), 109-132.
- Irwan M., Alianto, & Y. T. Toja. 2017. Kondisi Fisik Kimia Air Sungai yang Bermuara di Teluk Sawaibu Kabupaten Manokwari. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*.1(1).
- Izmiarti. 2021. Keanekaragaman Makrozoobentos di Air Terjun Kulu Kubuk, Madobak, Siberut Selatan, Mentawai. *Jurnal Sumberdaya dan Lingkungan Akuatik*. 2(1).
- Jacobus, L. M., Macadam, C. R., & Sartori, M. 2019. Mayflies (Ephemeroptera) and Their Contributions to Ecosystem Services. *Insects*, 10(6), 170.
- Jiwaningrat M., Y., & Dibyosaputro, S. 2017. Interaksi antara Karakteristik Aliran dan Material Dasar pada Proses Penggerusan Sungai Comal Pemalang, Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*. 5(1)
- Juwono, P. T. & A.Subagiyo. 2019. *Integrasi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dengan Wilayah Pesisir*. Universitas Brawijaya Press, Malang
- Khaeksi, I. P., & Muskananfolo, M. R. 2015. Status Pencemaran Sungai Plumbon Ditinjau Dari Aspek Total Padatan Tersuspensi Dan Struktur Komunitas Makrozoobentos. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 4(3), 1-10.
- Kiliç, Z. 2020. The importance of water and conscious use of water. *Int J Hydro*. 4(5):239-241.
- Koehnken, L., Rintoul, M., Goichot, M., Tickner, D., Loftus, A., & Acreman, M. 2020. Impacts of riverine sand mining on freshwater ecosystems: A review of the scientific evidence and guidance for future research. *River Research and Applications*. 36 (10):1-9.
- Krebs. C. J. 1985. *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. Harper & Row Publishers. New York.
- Kristanto, P. 2002. *Ekologi Industri*. Penerbit Andi. Yogyakarta.

- Kubendran, Thangavel & Vasanth, M. & Subramanian, K.A. & Jabeen, Fatima & Sivaramakrishnan, Kg & Mitra, Pallabi. 2021. A new species and new record of the genus *Platybaetis* Miller-Liebenau, 1980 (Ephemeroptera: Baetidae) from Eastern Himalaya, India. *Zootaxa*.
- Kumar, A. & V. Vyas. 2014. Diversity of macrozoobenthos in the selected reach of River Narmada (Central Zone), India. *International Journal of Research in Biological Sciences*. 4(3).
- Latuamury, B. 2020. *Buku Ajar Manajemen DAS Pulau-Pulau Kecil*. Penerbit Deepublish. Yogyakarta.
- Leatemala, S. & Manangkalangi, E. & Lefaan, Paskalina & Peday, Hans & Sembel, Luky. 2017. Benthos Macroinvertebrates as Bioindicator of Water Quality in Nimbai Stream at Manokwari, West Papua. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 22. 25-33.
- Likens, G. 2010. *River Ecosystem Ecology: A Global Perspective*. Elsevier Science, New York.
- Mahardika, E. N.D., M. N. Kusuma, & Musarofa. 2020. Analisa Kualitas Air Sungai dengan Bioindikator Makroinvertebrata di Sungai Galengdowo. *Jurnal Envirotek*. 12(1).
- Markert, B. A., Breure, A. M., & Zechmeister, H. G. (Eds.). 2003. *Bioindicators and biomonitoring*. Oxford: Elsevier.
- Musa, D. 2014. Promoting Sustainable Use of Rivers for Tourism and Recreation in Nigeria. *Journal of Research in National Development*. 12 (2).
- Musselman, R. 2012. *Sampling procedure for lake or stream surface water chemistry*. Rocky Mountain Research Station. Fort Collins
- Mustakim. 2017. Pendidikan Lingkungan Hidup dan Implementasinya dalam Pendidikan Islam. *Journal of Islamic Education (JIE)*. 2(1).
- Mustaqim, A. 2013. Etika Pemanfaatan Keanekaragaman Hayati dalam Perspektif al-Qur'an. *Hermeneutik : Jurnal Ilmu Al-Qur'an dan Tafsir*. 7(2): 389-406.
- Odum, E. P. 1993. *Dasar-dasar Ekologi*. Terjemahan T. Samingan. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Ogunbode, T. & I. Ifabiyi. 2017. Domestic Water Utilization and Its Determinants in the Rural Areas of Oyo State, Nigeria Using Multivariate Analysis. *Asian Research Journal of Arts & Social Sciences*. 3(3): 1-13.
- Oktarina, A. & T.S. Syamsudin. 2017. Komunitas makrozoobentos di ekosistem lotik kawasan kampus Institut Teknologi Bandung, Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 3(2): 175-182
- Olson, J.R. & C.P. Hawkins. 2017. Effects of total dissolved solids on growth and mortality predict distributions of stream macroinvertebrates. *Freshw Biol*. 62: 779-791
- Oscoz, J., Galicia, D., & Miranda R. 2011. *Identification Guide of Freshwater Macroinvertebrates of Spain*. Springer Science. New York.
- Parmar, T. K., Rawtani, D., & Agrawal, Y. K. 2016. Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution. *Frontiers in life science*: 9(2).
- Patra, B. C., Shit, P. K., Bhunia, G. S., & Bhattacharya, M. (Eds.). 2022. *River Health and Ecology in South Asia: Pollution, Restoration, and Conservation*. Springer Nature.

- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 61 Tahun 2010 tentang Penetapan Kelas Air pada Air Sungai.
- Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Pitoyo, P. N. P. dkk. 2016. Kinerja Pengelolaan Limbah Hotel Peserta Proper dan Non Proper di Kabupaten Badung, Provinsi Bali. *Ecotrophic*. 10(1).
- Prambudy, H., Supriyatin, T., & Setiawan, F. 2019. The testing of Chemical Oxygen Demand (COD) and Biological Oxygen Demand (BOD) of river water in Cipager Cirebon. *Journal of Physics: Conference Series*. 1360.
- Pratiwi, R. 2001. The Ecology of Burrowing Decapods (Crustacea). *Oseana*. 26(4): 25-32.
- Rahardjanto, A. & H. Husamah. 2019. *Bioindikator (Teori dan aplikasi dalam biomonitoring)*. Malang: UMMPress
- Rahman, A. 2017. Penggunaan Indeks BMWP-ASPT dan Parameter Fisika-Kimia untuk Menentukan Status Kualitas Sungai Besar Kota Banjarbaru. *Biodidaktika: Jurnal Biologi dan Pembelajarannya*, 12(1).
- Rahmawati, N. N., & Retnaningdyah, C. 2015. Struktur komunitas makroinvertebrata bentos di saluran Mata Air Nyolo Desa ngenep Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang. *Biotropika: Journal of Tropical Biology*, 3(1), 21-26.
- Rainbow, P. S. 2018. *Trace metals in the environment and living organisms: the British Isles as a case study*. Cambridge University Press.
- Ratih, I., Prihanta, W., & Susetyarin, R. E. 2015. Inventarisasi Keanekaragaman Makrozoobentos di Daerah Aliran Sungai Brantas Kecamatan Ngoro Mojokerto sebagai Sumber Belajar Biologi SMA Kelas X. *Jurnal pendidikan biologi indonesia*. 1(2): 158-169.
- Ridwan, M., Fathoni, R., Fatihah, I., & Pangestu, D. A. 2016. Struktur Komunitas Makrozoobentos di Empat Muara Sungai Cagar Alam Pulau Dua, Serang, Banten. *Al-Kauniyah: Jurnal Biologi*, 9(1), 57-65.
- Rufusova, A., Beracko, P., Bulánková, E., Derka, T., Kalaninová, D., Korte, T., & Stloukalová, V. 2017. *Benthic invertebrates and their habitats*. Comenius University in Bratislava. Bratislava.
- Saha, P. D., & Gaikwad, S. M. 2015. Odonata assemblage at a small marshy land in Khadki (Pune city)—An assessment. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 3(1), 53-64.
- Santos, C. M. D., & Carmo, D. D. D. 2016. Family Rhagionidae. *Zootaxa*. 4122(1): 246.
- Sartori, M., & Brittain, J. E. 2015. Order Ephemeroptera. In *Thorp and Covich's freshwater invertebrates (pp. 873-891)*. Academic Press.
- Satrya, D. G., T. S. Kaihatu, & L. Pranata. 2018. Pemberdayaan Masyarakat untuk Menciptakan Desa Ekowisata di Wonosalam, Kabupaten Jombang. *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*. 3(2): 179-184.
- Schneider, M., Hurford, C., & Cowx, I. 2010. *Conservation Monitoring in Freshwater Habitats: A Practical Guide and Case Studies*. Belanda: Springer Netherlands.
- Segura, M. O., Valente-Neto, F., & Fonseca-Gessner, A. A. 2011. Elmidae (Coleoptera, Byrrhoidea) larvae in the state of São Paulo, Brazil: Identification key, new records and distribution. *ZooKeys*, (151), 53.

- Sharma, R., Kumar A., Vyas V. 2013. Diversity of macrozoobenthos in Morand River-A tributary of Ganjal River in Narmada Basin. *Int J Adv Fish Aquat Sci.* 1(1).
- Shihab, M. Quraish. 2002. *Tafsir Al Mishbah : pesan, kesan dan keserasian Al-Qur'an.* Lentera Hati. Jakarta.
- Springer, M. 2010. Capítulo 7: Trichoptera. *Revista de Biología Tropical*, 58, 151-198.
- Suhaila, A. H., Ismail, S. & Hashim, N. A. 2017. Distribution patterns of *Baetis* (Ephemeroptera: Baetidae) as tolerant taxa in freshwater biological monitoring. *Malaysian Applied Biology.* 46. 151-160.
- Sulaeman, D., Nurruhwati, I., Hasan, Z., & Hamdani, H. 2020. Spatial Distribution of Macrozoobenthos as Bioindicators of Organic Material Pollution in the Citanduy River, Cisayong, Tasikmalaya Region, West Java, Indonesia. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research* 9(1): 32-42.
- Sulistia, S., & A. C. Septisya. 2019. Analisis Kualitas Air Limbah Domestik Perkantoran. *JRL.* 12(1).
- Susanto, G. H. 2015. *Pencemaran Lingkungan dan Dampaknya.* Ardana Media. Yogyakarta.
- Terhorst, C. P., & Coffroth, M. A. 2022. Individual variation in growth and physiology of symbionts in response to temperature. *Ecology and Evolution*, 12(6),
- Thukral, A., Bhardwaj, R., Kumar, V. & Sharma, A.. 2019. New indices regarding the dominance and diversity of communities, derived from sample variance and standard deviation. *Heliyon.* 5(10).
- Tim BSE. 2014. *Pengelolaan Kualitas Air.* Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- Tis'in, M. 2017. Keanekaragaman Biota Perairan Sungai (Plankton) di Lapangan Gas Senoro Kabupaten Banggai, Sulawesi Tengah. *J. Agrisains* 18(2).
- Tjokrokusumo, S. Wagiman. 2008. Pengaruh Sedimentasi dan Turbidity pada Jejaring Makanan Ekosistem Air Mengalir (Lotik). *J. Hidrosfir Indonesia.* 3(3).
- Ubaid, Ahmad Robitul. 2019. *Keanekaragaman Makrozoobentos di Perairan Sungai Amprong Kecamatan Poncokusumo Kabupaten Malang.* Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Skripsi.
- Ulkhaq, M., Andriyono, S., Azhar, M., Kencono, H., Nindarwi, D., & Budi, D. 2016. Dominansi dan Diversitas Lamun dan Makrozoobenthos pada Musim Pancaroba di Pantai Bama, Taman Nasional Baluran, Situbondo. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan.* 8. 36-44.
- Wahyuni, D. & Lina S. 2020. Dampak Pengembangan Desa Wisata Terhadap Perekonomian, Sosial Masyarakat Desa Wonomerto Kecamatan Wonosalam Kabupaten Jombang. *Jurnal Manajemen dan Bisnis Dewantara.* 3(1).
- Webb, J. M., & Suter, P. J. 2011. Identification of larvae of Australian Baetidae. *Museum Victoria Science Reports*, (15).

- Xu, Q. H. 2017. The final stadium larva of *Euphaea decorata* Hagen in Selys, 1853, from Fujian, China (Odonata: Zygoptera: Euphaeidae). *Zootaxa*, 4244(4), 595-599.
- Xu, S., Lucas, B., & Chou, T. 2020. Diversity in biology: definitions, quantification and models. *Phys. Biol.* 17.
- Yanygina, L. V. 2017. Macrozoobenthos as an Indicator of the Ecological State of Mountain Watercourses. *Russian Journal of Ecology*. 48(2).
- Yunanda, Rifki. 2018. *Fauna dalam Perspektif Al-Qur'an (Studi Tafsir Ilmi Kemenag LIPI)*. Fakultas Ushuluddin dan Studi Agama, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung. Skripsi.
- Yonar, M. 2021. Dinamika Total Suspended Solid (TSS) Di Sekitar Terumbu Karang Pantai Damas, Trenggalek. *Journal of Marine and Coastal Science* Vol, 10, 1.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. ALAT DAN BAHAN



Ayakan 0,5x0,5 mm



pH meter



Termometer & TDSmeter



Icepack



Meteran



Pipet



Penggaris

LAMPIRAN 2. TABEL REKAM DATA

Genus	st 1			st2			st 3			total		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	st1	st2	st3
Prodiamesa		1			1					1	1	0
Diamesa		1								1	0	0
Dicranota			1		1	1	2			1	2	2
Atherix						1				0	1	0
chrysopilus				3						0	3	0
Rhitrogena	2		11			20		1	1	13	20	2
ecdyonurus			7	1						7	1	0
Baetis			2	4	3	2	12	28	6	2	9	46
Platybaetis		69	3			1				72	1	0
Perlodes		1	5	1	4	3	11	4		6	8	15
hydropsyche	3	10	1	1	12	31	1	3	3	14	44	7
austrotinodes							1	1		0	0	2
ecnomus				1						0	1	0
chimarrhodella	3									3	0	0
polyplectropus		1								1	0	0
polycentropus					3					0	3	0
euphaea	1				1					1	1	0
macrelmis							1			0	0	1
dugesia	29		9							38	0	0
									total	160	95	75

LAMPIRAN 3. PERHITUNGAN INDEKS KEANEKARAGAMAN

Taxa_S	13	13	7
Individuals	160	95	75
Dominance_D	0,2772	0,278	0,4272
Simpson_1-D	0,7228	0,722	0,5728
Shannon_H	1,666	1,703	1,191
Evenness_e^H/S	0,4069	0,4225	0,4699
Brillouin	1,551	1,531	1,072
Menhinick	1,028	1,334	0,8083
Margalef	2,364	2,635	1,39
Equitability_J	0,6495	0,6641	0,6118
Fisher_alpha	3,343	4,073	1,889
Berger-Parker	0,45	0,4632	0,6133
Chao-1	18	20,5	7

LAMPIRAN 4. PERHITUNGAN INDEKS BIOTIK

stasiun	famili	skor	skor BMWP	ASPT
1	chironomidae	2	62	6,2
	pediciidae	5		
	heptagenidae	10		
	baetidae	4		
	perlodidae	10		
	hydropsychidae	5		
	philopotamidae	8		
	polycentropodidae	7		
	platycnemididae	6		
	dugesidae	5		
2	chironomidae	2	66	6
	pediciidae	5		
	athericidae	8		
	rhagionidae	1		
	heptageniidae	10		
	baetidae	4		
	perlodidae	10		
	hydropsychidae	5		
	ecnomidae	8		
	Polycentropodidae	7		
	platycnemididae	6		
3	pediciidae	5	47	6,714286
	heptageniidae	10		
	baetidae	4		
	perlodidae	10		
	hydropsychidae	5		
	ecnomidae	8		
	elmidae	5		

LAMPIRAN 5. UJI KRUSKAL WALLS PARAMETER ABIOTIK


Test for equal means

	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p (same)	
Between groups:	1,100972		0,550484		0,008409	0,9916
Within groups:	1571,2224		65,4673	Permutation p (n=99999)		
Total:	1572,3226	0,9879				
Components of variance (only for random effects):						
Var(group):	-7,21298	Var(error):	65,4673	ICC:	-0,123819	
omega2:	0					
Levene's test for homogeneity of variance, from means		p (same):				0,9954
Levene's test, from medians		p (same):				0,9988
Welch F test in the case of unequal variances: F=0,007901, df=16, p=0,9921						

LAMPIRAN 6. ANALISIS CCA

	Axis 1	Axis 2
Diamesa	-1,05245	0,601941
Dicranota	0,769287	-0,0911239
Atherix	0,540695	-2,32193
Chrysopilus	0,540695	-2,32193
Rhitrogena	0,0271307	-1,00077
Ecdyonurus	-0,853305	0,236457
Baetis	1,58884	1,1016
Platybaetis	-1,03062	0,561888
Hydropsyche	0,344885	-1,24901
Austrotinodes	1,90875	1,79315
Ecnomus	0,540695	-2,32193
Chimarrhodella	-1,05245	0,601941
Polyplectropus	-1,05245	0,601941
Polycentropus	0,540695	-2,32193
Euphaea	-0,255876	-0,859994
Macrelmis	1,90875	1,79315
Dugesia	-1,05245	0,601941
I	-0,761837	0,253271
II	0,392342	-0,975312
III	1,38033	0,752106
pH	0,97988	0,426432
Arus	0,982324	0,0512857
COD	-0,523438	-0,951944
BOD	-0,0946204	-0,989529
TDS	0,687823	-0,541907
TSS	0,828822	-0,346833
Debit	0,989734	0,373721
Prodiamesa	-0,842784	-0,722883

LAMPIRAN 7. HASIL UJI LAB AIR



JASA TIRTA I

LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp.(0341) 551971, Fax. (0341) 551976
 Desa Lengkoeng Kec. Mojoanyar - Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860
 E-mail : laboratoriumjastirta1@yahoo.co.id

Nomor : 12332 S/LL MLG/IV/2022


Halaman 2 dari 2
Page 2 of 2

Uraian Contoh Uji : Stasiun 1
Description of Sample

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sample Method


Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan PJT I Malang
Place of Analysis

Tanggal Analisa : 24 Maret - 08 April 2022
Testing Date(s)



HASIL ANALISA

Result of Analysis

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standar Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	pH	-	6.91	-	SNI 69-6989 11 2004	
2	BOD	mg/L	6.61	-	APHA 5210 B-2017	
3	COD (Spektro)	mg/L	19.90	-	SN 6989.2 2009	
4	Oksigen terlarut	mg O ₂ /L	6.2	-	APHA 4500-O-G-2017	
5	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/l	5.9	-	APHA 2540 D-2017	

*) Standard Baku Mutu sesuai dengan
Threshold Value fully adopted from

Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari Laboratorium Kualitas Air Penun Jasa Tirta I

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Penun Jasta Tirta I

Halaman pertama pada sertifikat atau laporan ini merupakan bagian yang tak terpisahkan dari lembar halaman yang lainnya

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from Water Quality Laboratory of Jasta Tirta I Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasta Tirta I Public Corporation

First page at this certificate or report is can't separately from all pages

Nomor : 12331 S/LL MLG/IV/2022

Halaman 2 dari 2
 Page 2 of 2

Uraian Contoh Uji : Stasiun 2
 Description of Sample
 Metode Pengambilan Contoh Uji :-
 Sample Method
 Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan PJT 1 Malang
 Place of Analysis
 Tanggal Analisa : 24 Maret - 08 April 2022
 Testing Date(s)



HASIL ANALISA

Result of Analysis

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	pH	-	7.03	-	SNI 06-6989.11.2004	
2	BOD	mg/l	6.78	-	APHA 5210 B-2017	
3	COD (Spektro)	mg/l	20.04	-	SNI 6989.2.2009	
4	Oksigen terlarut	mg O ₂ /L	6.2	-	APHA 4500-O-G-2017	
5	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/l	6.7	-	APHA 2540 D-2017	



*) Standard Baku Mutu sesuai dengan
 Threshold Value fully adopted from

Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1
 Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1
 Halaman pertama pada sertifikat atau laporan ini merupakan bagian yang tak terpisahkan dari lembar balaman yang lainnya.
 This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation
 This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation
 First page at this certificate or report is can't separately from all pages

Nomor : 12330 S/LL MLG/IV/2022

Halaman 2 dari 2
 Page 2 of 2

Uraian Contoh Uji : Stasiun 3
Description of Sample
 Metode Pengambilan Contoh Uji :-
Sample Method
 Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan PJT I Malang
Place of Analysis
 Tanggal Analisa : 24 Maret - 08 April 2022
Testing Date(s)



HASIL ANALISA

Result of Analysis

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	pH	-	7.24	-	SNI 06-6989.11.2004	
2	BOD	mg/l	6.58	-	APHA 5210 B-2017	
3	COD (Spektro)	mg/l	19.72	-	SNI 6989.2.2009	
4	Oksigen terlarut	mg O ₂ /l	6.2	-	APHA 4500-O-G-2017	
5	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/l	0.0	-	APHA 2540 D-2017	



*) Standard Baku Mutu sesuai dengan
Threshold Value fully adopted from

Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1
 Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1
 Halaman pertama pada sertifikat atau laporan ini merupakan bagian yang tak terpisahkan dari lembar halaman yang lainnya
This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation
This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation
 First page of this certificate or report is can't separately from all pages

LAMPIRAN 8. BUKTI KONSULTASI



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI MAGISTER BIOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp (0341) 558943, Fax. (0341) 558933

KARTU KONSULTASI TESIS

Nama : Hernanda Afra Haniyyah
 NIM : 200602210016
 Program Studi : S2 Biologi
 Semester : Genap TA 2021/2022
 Pembimbing : Dr. Dwi Suheriyanto, M.P.
 Judul Skripsi : Keanekaragaman Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Air di Kali Jarak Kecamatan Wonosalam Kabupaten Jombang

No	Tanggal	Uraian Materi Konsultasi	Ttd. Pembimbing
1.	20/1/2022	Konsep dan analisis bioindikator	
2.	4/2/2022	Konsultasi proposal	
3.	21/2/2022	Perbaikan proposal	
4.	18/3/2022	Perbaikan metode sampling	
5.	13/6/2022	Analisis CCA	
6.	14/6/2022	Konsultasi laporan hasil	
7.	17/6/2022	Perbaikan laporan tesis	
8.			
9.			
10.			

Pembimbing Tesis,

Dr. Dwi Suheriyanto, M.P.
 NIP.19740325 200312 1 001



Prof. Dr. drh. Bayu Santuluchtaromah, M.Si
 NIP. 197109192000032001



30 KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI MAGISTER BIOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp (0341) 558933, Fax. (0341) 558933

KARTU KONSULTASI TESIS

Nama : Hernanda Afra Haniyyah
NIM : 200602210016
Program Studi : S2 Biologi
Semester : Genap TA 2021/2022
Pembimbing : Dr. Eko Budi Minarno, M.Pd.
Judul Skripsi : Keanekaragaman Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Air di Kali Jarak Kecamatan Wonosalam Kabupaten Jombang

No	Tanggal	Uraian Materi Konsultasi	Ttd. Pembimbing
1.	14/2/2022	Konsultasi proposal	
2.	23/2/2022	Perbaikan proposal	
3.	14/6/2022	Konsultasi laporan hasil	
4.	17/6/2022	Perbaikan tesis	
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

Pembimbing Tesis,

Dr. Eko Budi Minarno, M.Pd.
NIP. 196301141999031001



Prof. Dr. drh. Bayu Sulul Muchtaromah, M.Si
NIP. 197109192000032001
Juni 2022
Magister Studi,