

**KEANEAKARAGAMAN MAKROZOOBENTOS SEBAGAI
BIOINDIKATOR KUALITAS AIR DI KALI PACAL, KABUPATEN
BOJONEGORO**

SKRIPSI



**UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A**

Disusun Oleh:

**ALIM AULIA HANA
NIM: H01219001**

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
2023**

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Alim Aulia Hana

NIM : H01219001

Program Studi : Biologi

Angkatan : 2019

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul "KEANEKARAGAMAN MAKROZOOBENTOS SEBAGAI BIOINDIKATOR KUALITAS AIR DI KALI PACAL, KABUPATEN BOJONEGORO". Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 05 Juli 2023

Yang menyatakan,



(Alim Aulia Hana)

NIM. H01219001

HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING

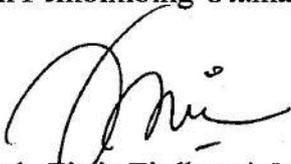
Skripsi

Keanekaragaman Makrozoobentos sebagai
Bioindikator Kualitas Air di Kali Pacal, Kabupaten Bojonegoro

Diajukan oleh:
Alim Aulia Hana
NIM: H01219001

Telah diperiksa dan disetujui
di Surabaya, 21 Juni 2023

Dosen Pembimbing Utama



Nirmala Rizkia Firdhausi, M.Si.

NIP. 198506252011012010

Dosen Pembimbing Pendamping



Saiful Bahri, M.Si.

NIP. 198804202018011002

PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI

Skripsi Alim Aulia Hana ini telah dipertahankan
di depan tim penguji skripsi
di Surabaya, 05 Juli 2023

Mengesahkan,
Dewan Penguji

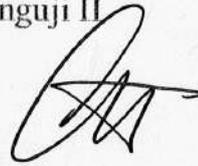
Penguji I



Nirmala Fitria Firdhausi, M.Si.

NIP. 198506252011012010

Penguji II



Saiful Bahri, M.Si.

NIP. 198804202018011002

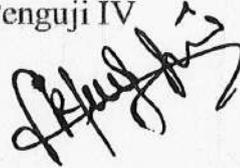
Penguji III



Hanik Faizah, M.Si.

NUP. 201409019

Penguji IV



Saiku Rokhim, M.KKK.

NIP. 198612212014031001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Ampel Surabaya



Dr. A. Saepul Hamdani, M.Pd.

NIP. 196507312000031002



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Alim Aulia Hana
NIM : H01219001
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Biologi
E-mail address : alimauliahak@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

Skripsi Tesis Desertasi Lain-lain (.....)
yang berjudul :

KEANEKARAGAMAN MAKROZOOBENTOS SEBAGAI BIOINDIKATOR KUALITAS AIR DI KALI PACAL, KABUPATEN BOJONEGORO

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 20 Juli 2023

Penulis

(Alim Aulia Hana)

ABSTRAK

KEANEKARAGAMAN MAKROZOOBENTOS BIOINDIKATOR KUALITAS AIR DI KALI PACAL, KABUPATEN BOJONEGORO

Air merupakan suatu unsur yang memiliki peran vital dalam keberlangsungan kehidupan makhluk hidup yang ada di muka bumi. Sungai merupakan salah satu ekosistem perairan yang berhubungan secara langsung dengan aktivitas manusia. Pada ekosistem sungai terdapat bermacam-macam organisme perairan salah satunya adalah makrozoobentos yang dijadikan sebagai bioindikator. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas air menggunakan bioindikator makrozoobentos di Kali Pacal, Kabupaten Bojonegoro. Jenis penelitian yang dilakukan adalah deskriptif eksploratif. Penelitian dilakukan pada bulan Februari – Maret 2023 dengan membagi lokasi penelitian menjadi tiga stasiun dengan berbagai habitat, data yang diperoleh kemudian diidentifikasi dan dianalisis menggunakan indeks Shannon-Wiener, indeks kemerataan (E), indeks dominansi (D), dan *Family Biotic Index*. Berdasarkan hasil pengamatan didapatkan 8 spesies makrozoobentos dengan dua spesies terbanyak yaitu *Pleurocera* dan *Tubifex*. Indeks keanekaragaman tertinggi terdapat pada stasiun 1 sebesar $H' = 1,20$. Indeks kemerataan tertinggi pada stasiun 1 $E = 0,67$. Indeks dominansi tertinggi pada stasiun 3 $D = 0,90$. *Family Biotic Index* tertinggi pada stasiun 1 $FBI = 7,89$ yang menunjukkan bahwa perairan pada stasiun tersebut tercemar berat oleh bahan organik.

Kata kunci: Makrozoobentos, Bioindikator, Kualitas Air, Kali Pacal, *Family Biotic Index*, *Pleurocera*, *Tubifex*

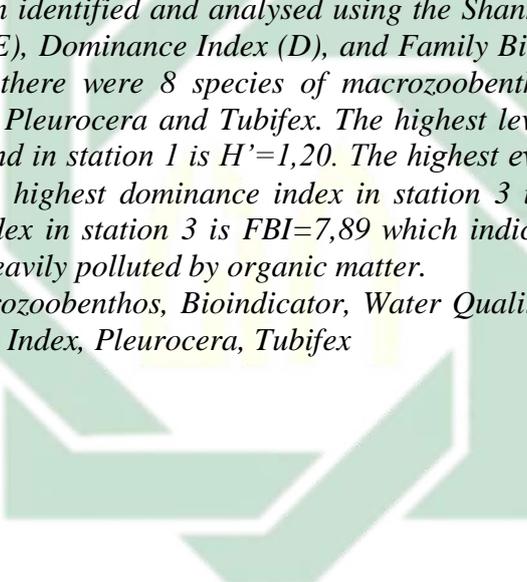
UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

ABSTRACT

BIODIVERSITY OF MAKROZOOBENTOS AS WATER QUALITY BIOINDICATOR IN PACAL RIVER, BOJONEGORO REGENCY

Water is an element that has a vital role in the survival of living things on earth. The river is one of the aquatic ecosystems that is directly related to human activities. In the river ecosystem there are various aquatic organisms, one of which is macrozoobenthos which is used as a bioindicator. This study aims to determine the water quality using macrozoobenthos bioindicators in Pacal River, Bojonegoro Regency. The type of research used in descriptive exploratory sampling method. The research was conducted in February – March 2023 by dividing the location into three stations with various habitat types, the data obtained was then identified and analysed using the Shannon-Wiener Index (H'), Evenness Index (E), Dominance Index (D), and Family Biotic Index (FBI). Based the observation, there were 8 species of macrozoobenthos with the two most species of being Pleurocera and Tubifex. The highest level of macrozoobenthos diversity was found in station 1 is $H'=1,20$. The highest evenness index in station 1 is $E=0,67$. The highest dominance index in station 3 is $D=0,90$. The highest Family Biotic Index in station 3 is $FBI=7,89$ which indicates that the waters at that station are heavily polluted by organic matter.

Key words: *Macrozoobenthos, Bioindicator, Water Quality, Pacal River, Family Biotic Index, Pleurocera, Tubifex*



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Persetujuan Pembimbing	ii
Halaman Pengesahan Tim Penguji Skripsi	iii
Pernyataan Keaslian	iv
Halaman Motto	v
Halaman Persembahan	vi
Abstrak	vii
Abstract	viii
Kata Pengantar	ix
Daftar Isi	x
Daftar Tabel	xi
Daftar Gambar	xii
Daftar Lampiran	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
2.3 Tujuan Penelitian	8
2.4 Manfaat Penelitian	8
2.5 Batasan Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Keanekaragaman	10
2.2 Kualitas Air	11
2.3 Bioindikator	12
2.4 Makrozoobentos	14
2.5 Keanekaragaman	30
2.6 Kali Pacal	33
BAB III METODE PENELITIAN	35
3.1 Metode Penelitian	35
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	35
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	39
3.4 Prosedur Penelitian	39
3.5 Analisis Data	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1 Hasil Identifikasi Spesimen Makrozoobentos	48
4.2 Indeks Keanekaragaman, Dominansi, dan Kemerataan	58
4.3 Family Biotic Index	69
BAB V PENUTUP	74
5.1 Simpulan	74
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas.....	12
Tabel 2.2 Kelompok Makanan Fungsional Makrozoobentos	16
Tabel 2.3 Ukuran Partikel Sedimen Skala Wenworth	27
Tabel 2.4 Contoh Penelitian Terdahulu Menggunakan <i>Family Biotic Index</i>	29
Tabel 3.1 Lokasi Penelitian	37
Tabel 3.2 Waktu Penelitian	38
Tabel 3.3 Perekam Data	41
Tabel 3.4 Pemeriksaan Kesehatan Habitat Sungai	42
Tabel 3.5 Tingkat Pencemaran Berdasarkan <i>Family Biotic Index</i>	47
Tabel 4.1 Hasil Pengamatan Makrozoobentos di Kali Pacal	48
Tabel 4.2 Hasil Indeks Keanekaragaman di Kali Pacal	59
Tabel 4.3 Hasil Indeks Kemerataan di Kali Pacal	62
Tabel 4.4 Hasil Indeks Dominansi di Kali Pacal.....	63
Tabel 4.5 Parameter Fisika Kimia Lingkungan di Kali Pacal.....	67
Tabel 4.6 Hasil <i>Family Biotic Index</i> di Kali Pacal	70



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kelompok Utama Makrozoobentos	17
Gambar 2.2 Oligochaeta.....	18
Gambar 2.3 Hirudinea.....	19
Gambar 2.4 Ephemeroptera.....	20
Gambar 2.5 Plecoptera	20
Gambar 2.6 Tricoptera	21
Gambar 2.7 Odonata	22
Gambar 2.8 Coleoptera	22
Gambar 2.9 Hydracarina	23
Gambar 2.10 Crustacea	24
Gambar 2.11 Gastropoda	24
Gambar 2.12 Nematoda	25
Gambar 2.13 Kali Pacal	33
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian di Kali Pacal	36
Gambar 4.1 <i>Hydropsyche</i>	49
Gambar 4.2 <i>Diamesa</i>	50
Gambar 4.3 <i>Baetis</i>	52
Gambar 4.4 <i>Psychoda</i>	53
Gambar 4.5 <i>Atherix</i>	54
Gambar 4.6 <i>Pleurocera</i>	56
Gambar 4.7 <i>Parathelphusa convexa</i>	56
Gambar 4.8 <i>Tubifex</i>	58

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Kegiatan Penelitian	85
Lampiran 2 Hasil Analisis Data	86
Lampiran 3 Skor Pemeriksaan Kesehatan Habtat Sungai.....	87



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan suatu unsur yang memiliki peran vital dalam keberlangsungan kehidupan makhluk hidup yang ada di muka bumi. Manusia, hewan, dan tumbuhan semuanya memerlukan air demi memenuhi kebutuhan. Keseluruhan jumlah dari 40 juta mil kubik air yang ada di bumi, baik yang berada di permukaan bumi maupun di dalam bumi ternyata hanya 0,5% yang dapat digunakan secara langsung. Sisanya air laut dengan jumlah 97% dan salju dengan jumlah 2,5%. Jumlah air yang tersedia untuk berbagai kebutuhan terus menurun secara kualitatif maupun kuantitatif, sedangkan kebutuhan manusia terhadap air bersih cenderung meningkat sehingga pengelolaan sumber daya air sangat diperlukan (Putra dan Mairizki, 2019).

Salah satu sumber air di bumi yang dapat dimanfaatkan adalah sungai. Sungai menjadi penyedia air paling utama setelah sumur bagi manusia. Sungai merupakan sistem perairan air tawar yang penting bagi seluruh makhluk hidup agar dapat melangsungkan kehidupan. Sungai dikenal dengan salah satu ekosistem perairan darat yang berhubungan secara langsung dengan aktivitas manusia. Sungai berfungsi sebagai habitat suatu organisme dan sumber air minum berbagai makhluk hidup (Desmawati dkk, 2019).

Kualitas air yang menurun dan jumlah ketersediaan air yang semakin berkurang dipengaruhi oleh aktivitas sehari-hari manusia. Sesuai dengan firman Allah SWT dalam QS Ar-Rum ayat 41 yang berbunyi:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ
يَرْجِعُونَ (٤١)

Artinya: “Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah SWT merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).” (Q.S: Ar-Rum (30) ayat 41)”.

Tafsir Al Mishbah menjelaskan tentang ayat di atas bahwa Allah SWT berkenan untuk memberi hukuman kepada manusia di dunia terhadap perlakuan yang mereka lakukan, agar manusia tidak bermaksiat dengan merusak alam sekitar (Shihab, 2002). Kerusakan alam yang diakibatkan oleh manusia pada suatu saat dampaknya akan dirasakan kembali oleh manusia tersebut. Kerusakan alam yang dilakukan oleh manusia sangatlah banyak contohnya yang pada akhirnya diturunkan azab berupa bencana alam. Manusia mulai sadar akan kelalaiannya dalam menjaga alam dan mulai melindungi alam seiring dengan banyaknya bencana yang terjadi di sekitar mereka (Departemen Agama, 2010).

Ayat tersebut menjelaskan kerusakan yang dimaksud yaitu kerusakan keanekaragaman di daratan dan lautan, selain itu kerusakan tersebut juga mengacu pada tercemarnya perairan. Perairan yang tercemar dapat terjadi akibat berbagai aktivitas manusia meliputi kegiatan industri, perkembangan teknologi, dan kegiatan sehari-hari (Alfionita dkk, 2019).

Salah satu lingkungan yang seringkali tercemar oleh kegiatan manusia adalah sungai. Pencemaran dapat terjadi akibat berbagai jenis kegiatan manusia di sekitar area sungai. Pencemaran air pada ekosistem sungai dapat menyebabkan penurunan kualitas air yang disertai dengan perubahan kondisi fisika, kimia, dan biologis sungai. Pencemaran air berakibat menurunkan kualitas air sekaligus produktivitas sumber daya air tersebut (Santoso dan Sutanto, 2021).

Biomonitoring terhadap kualitas air pada ekosistem sungai sangat penting dilakukan untuk mengontrol, mengatur, dan melestarikan sumber daya alam penting yang ada pada ekosistem tersebut. Penentuan tingkat pencemaran dari ekosistem perairan yaitu melalui karakteristik sifat kimia, biologi, dan fisika dari air tersebut (Widiyanto dan Sulistiyarsi, 2016). Pada beberapa kondisi dapat terjadi perubahan ekologi sungai sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut menggunakan biota akuatik seperti makrozoobentos. Pengukuran parameter fisika kimia pada perairan sungai berperan penting karena parameter tersebut memiliki korelasi dengan parameter biologi yaitu mempengaruhi kehidupan organisme yang tinggal perairan di sungai (Salim dkk, 2017).

Bioindikator merupakan kelompok organisme yang keberadaannya dan perilakunya memiliki korelasi dengan kondisi lingkungan. Bioindikator berfungsi untuk menilai kualitas lingkungan dan mendeteksi perubahan lingkungan baik positif maupun negatif serta dampaknya bagi manusia. Beberapa contoh bioindikator antara lain mikroba, hewan, dan tumbuhan.

Melalui pemanfaatan bioindikator kita dapat memprediksi keadaan suatu ekosistem serta tingkat pencemarannya (Parmar dkk, 2016).

Salah satu indeks biotik yang digunakan dalam menentukan status kualitas perairan air tawar yaitu *Family Biotic Index* (FBI). Tingkat pencemaran suatu perairan air tawar dapat diukur menggunakan nilai *Family Biotic Index* tanpa harus dilakukan pengukuran kandungan senyawa organik pada perairan tersebut. Indeks FBI mengategorikan status mutu suatu perairan menjadi tujuh kategori antara lain; tidak tercemar, tercemar ringan, tercemar sedang, tercemar kritis, tercemar berat, tercemar sangat berat, dan tercemar ekstrim (Mandaville, 2002). *Family Biotic Index* digunakan untuk penelitian mengenai makrozoobentos di ekosistem air tawar. Indeks ini diukur berdasarkan kemampuan toleransi makrozoobentos terhadap paparan polutan bahan organik. Nilai toleransinya berkisar antara 0 -10 yang nilainya akan semakin meningkat seiring dengan penurunan kualitas perairan yang didiami oleh makrozoobentos tersebut. *Family Biotic Index* sangat diperlukan saat biomonitoring dengan mengklasifikasikan setiap markozoobentos yang ditemukan (Hilsenhoff, 1988 ., Nurtjahyani dkk, 2022).

Organisme akuatik yang habitatnya berada di sungai antara lain tumbuhan air, plankton, bentos, perifiton, dan ikan. Kondisi lingkungan habitat biota air sangat mempengaruhi ekosistem sungai (Abidin, 2018). Bentos diklasifikasikan berdasarkan ukurannya antara lain 1) Makrobentos ukurannya lebih dari 1.0 mm; 2) Meiobentos ukurannya antara 0.1 – 1 mm; 3) Mikrobentos berukuran kurang dari 0.1 mm. Makrozoobentos adalah organisme yang ukurannya dapat mencapai 3 – 5 mm pada pertumbuhan

maksimalnya (Octavina dkk, 2019). Makrozoobentos digunakan sebagai bioindikator untuk menilai kualitas ekosistem air. Makrozoobentos merupakan organisme yang sangat peka terhadap perubahan lingkungan habitatnya dan mempengaruhi kelimpahannya di ekosistem tersebut. Hal ini membuat makrozoobentos seringkali digunakan sebagai indikator tingkat pencemaran suatu ekosistem air. Makrozoobentos merupakan organisme yang hidup di dasar perairan dengan mobilitas yang rendah atau pergerakannya lambat dan menetap serta daur hidupnya lama sehingga makrozoobentos dapat merespon kondisi habitatnya secara berkelanjutan (Mason, 1993 ., Setiawan, 2010 ., Mushthofa dkk, 2014).

Berdasarkan habitatnya bentos dibagi menjadi dua yaitu epifauna dan infauna. Epifauna yaitu bentos yang hidup diatas substrat perairan. Infauna yaitu bentos yang hidup didalam substrat perairan. Makrozoobentos pada ekosistem perairan berfungsi sebagai pengurai materi organik yang jatuh kedalam dasar perairan. Makrozoobentos juga berperan dalam proses merubah limbah organik menjadi sumber makanannya atau dapat disebut dengan penetralan lingkungan sehingga kondisi perairan menjadi stabil. (Moreno dkk, 2009 ., Desmawati dkk, 2019).

Faktor lingkungan biotik dan abiotik mempengaruhi komunitas makrozoobentos. Pengaruh faktor lingkungan abiotik berbeda-beda tergantung pada tiap spesies karena masing-masing spesies makrozoobentos memiliki variasi adaptasi dan daya toleransi terhadap perubahan faktor lingkungan. Makrozoobentos seringkali dimanfaatkan untuk menganalisis kualitas pada perairan sungai karena memiliki keuntungan dibandingkan

bioindikator yang lain seperti tersebar luas pada perairan, memiliki sifat menetap, peka terhadap pencemaran, siklus hidup yang panjang, dan metode analisis data yang telah dikembangkan. (Rosenberg dan Resh, 1993 ., Rahayu dkk, 2015).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Rahayu dan Fanni (2022) bahwa keanekaragaman makrozoobentos di Sungai Bengawan Solo didapati 6 kelas gastropoda, 1 kelas bivalvia, 1 kelas crustacea, 1 kelas malacostraca, 1 kelas clitella, dari 10 jenis makrozoobentos. Pada semua stasiun yang diteliti memiliki hasil indeks keanekaragaman yang rendah dan parameter fisika-kimia yang menunjukkan kualitas perairan tersebut buruk, sehingga dapat diketahui bahwa indeks keanekaragaman memiliki korelasi dengan parameter fisika-kimia perairan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Akbar dkk, (2022) ditemukan tiga filum makrozoobentos di Situ Petengan yaitu Moluska, Annelida, dan Arthropoda. *Family Biotic Index* pada setiap stasiun di Situ Petengan menunjukkan dalam kondisi yang tidak baik. *Pomae canaliculate* merupakan makrozoobentos dari filum Moluska yang paling banyak ditemukan pada setiap stasiun dan spesies ini memiliki nilai toleransi *Family Biotic Index* yang rendah. Setiap jenis makrozoobentos yang ditemukan pada suatu perairan dapat mencerminkan kondisi lingkungan tersebut.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Purba dan Fitrihidajati (2021) di Sungai Sadar diketahui terdapat korelasi antara makrozoobentos dan logam berat timbal (Pb). Hasil uji logam berat pada sedimen masih dibawah baku

mutu yaitu sebesar 17mg/Kg. Sedimen yang mengandung logam Pb memiliki tekstur halus dan berpasir serta memiliki konsentrasi oksigen yang relatif besar. Sedimen merupakan faktor penting terhadap keberadaan makrozoobentos. Makrozoobentos dapat berfungsi untuk mengakumulasi limbah logam berat timbal dan berperan dalam memperbaiki struktur sedimen.

Salah satu sungai yang memiliki kondisi perairan yang tercemar di Bojonegoro adalah Kali Pacal. Menurut data Badan Pusat Statistik (2015) Kali Pacal merupakan sungai dengan panjang \pm 66 km yang menjadi sungai terpanjang di Kabupaten Bojonegoro. Pemanfaatan utama aliran Kali Pacal yang dilakukan oleh masyarakat sekitar sungai yaitu sebagai sumber irigasi sawah. Kondisi Kali Pacal sangat memprihatinkan karena pada beberapa titik sungai terdapat sampah yang menumpuk khususnya limbah rumah tangga, limbah peternakan, dan limbah pertanian. Penelitian mengenai kualitas air pada sungai di Kabupaten Bojonegoro masih sedikit antara lain Sungai Kalitidu, Sungai Bengawan Solo dan Sungai Kedung Bajul. Hingga saat ini penelitian kualitas air di Kali Pacal belum tersedia. Oleh karena itu sangat penting dilakukan penelitian agar dapat mengetahui tingkat pencemaran air sungai yang diakibatkan oleh aktivitas masyarakat sekitar Kali Pacal menggunakan indikator biologi berupa keanekaragaman makrozoobentos dan *Family Biotic Index*. Berdasarkan latar belakang tersebut maka penelitian yang berjudul “Keanekaragaman Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Air di Kali Pacal Kabupaten Bojonegoro” ini perlu dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

- a. Apa saja genus makrozoobentos yang ditemukan di Kali Pacal, Kabupaten Bojonegoro?
- b. Bagaimana indeks keanekaragaman, dominansi, dan keseragaman makrozoobentos di Kali Pacal, Kabupaten Bojonegoro?
- c. Bagaimana kualitas air Kali Pacal, Kabupaten Bojonegoro, berdasarkan *Family Biotic Index*?

1.3 Tujuan Penelitian

- a. Mengetahui genus makrozoobentos yang ditemukan di Kali Pacal, Kabupaten Bojonegoro
- b. Mengetahui indeks keanekaragaman, dominansi, dan keseragaman makrozoobentos di Kali Pacal, Kabupaten Bojonegoro
- c. Mengetahui kualitas air Kali Pacal, Kabupaten Bojonegoro, berdasarkan *Family Biotic Index*

1.4 Manfaat Penelitian

- a. Memberikan informasi terkait keberadaan makrozoobentos pada wilayah Kali Pacal Kabupaten Bojonegoro yang bertindak sebagai bioindikator perairan.
- b. Memberikan informasi kepada masyarakat untuk senantiasa menjaga lingkungan terutama di wilayah sungai.
- c. Menjadi salah satu bahan referensi terkait bioindikator kualitas perairan yang dapat digunakan oleh berbagai pihak masyarakat umum, peneliti, maupun pemerintah

1.5 Batasan Penelitian

- a. Objek yang diteliti hanya organisme akuatik makrozoobentos pada dasar perairan atau substrat
- b. Penelitian ini hanya dilakukan di Kali Pacal, Kabupaten Bojonegoro
- c. Identifikasi spesimen makrozoobentos dilakukan menggunakan buku identifikasi berdasarkan pengamatan morfologi



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air

Air merupakan salah satu karunia yang diberikan oleh Allah SWT agar dapat dimanfaatkan sebaik mungkin sekaligus menjaga kemurnian air untuk keberlangsungan makhluk hidup di bumi. Namun, seringkali manusia lalai dalam menjaga lingkungan yang berdampak pada penurunan kualitas air dan ketersediannya. Sesuai dengan firman Allah SWT dalam Al-Qur'an surah Al-A'raf (7) ayat 56 sebagai berikut:

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

Artinya: *“Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, setelah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya beserta perasaan takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik”* (Q.S: Al A'raf (7) ayat 56)

Tafsir Ibnu Katsir mengenai surah Al-A'raf ayat 56 adalah Allah memerintahkan manusia untuk meninggalkan perbuatan yang tercela dalam hal ini tentang perbuatan yang menyebabkan kerusakan lingkungan. Hal ini dapat menyebabkan *mudlorot* atau kerugian sendiri untuk manusia. Oleh karena itu manusia harus menjaga sumber daya air dan senantiasa bersyukur atas air yang diturunkan oleh Allah SWT. Rasulullah SAW telah memberikan tuntunan kepada manusia agar senantiasa menghemat penggunaan air dan menjaga lingkungan sekitar.

2. 2 Kualitas Air

Aktivitas manusia seperti penggunaan lahan, kegiatan pertanian, peternakan, industri, dan pemukiman dapat mempengaruhi kualitas air pada ekosistem sungai sehingga terjadi pencemaran air. Terjadinya pencemaran air di ekosistem sungai mengakibatkan rusaknya ekosistem perairan sehingga diperlukan pengawasan terhadap kualitas air. Parameter yang digunakan dalam pemantauan kualitas air yaitu kimia, fisika, dan biologi (Ranisavlejevic dan Zerajic, 2017).

Parameter fisika merupakan parameter yang dapat diamati dengan melihat perubahan sifat fisik pada air yaitu berupa suhu, warna, cahaya, kecerahan, total padatan tersuspensi (TSS), dan total padatan terlarut (TDS). Parameter kimia air merupakan parameter yang pengukurannya menggunakan hasil reaksi kimia di dalam air contohnya pertukaran ion terlarut dalam air. Parameter biologi merupakan organisme perairan yang tinggal di dalam air dan hidup bersama, organisme ini dapat berupa hewan maupun tumbuhan (Tim BSE, 2014).

Suatu perairan dapat dikatakan tercemar apabila tidak memenuhi baku mutu standar. Penurunan kualitas air sungai berpengaruh terhadap organisme perairan yang tinggal pada habitat tersebut dan masyarakat sekitar yang memanfaatkan air sungai. Penurunan kualitas air sungai dapat ditandai dengan beberapa faktor seperti warna, bau, transparansi, dan suhu (Dakhova dkk., 2021). Kualitas air didasarkan pada baku mutu kualitas air yang sesuai dengan kategori sungai berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas

Parameter	Satuan	Kelas			
		I	II	III	IV
pH		6-9	6-9	6-9	5-9
Suhu	°C	Devisiasi 3	Devisiasi 3	Devisiasi 3	Devisiasi 5
BOD	mg/L	2	3	6	12
COD	mg/L	10	25	40	80
TSS	mg/L	40	50	100	400
Minyak-Lemak	ug/L	1000	1000	1000	-
Total Coliform	Jml/100 ml	1000	5000	10000	10000

Sumber : Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021

Keterangan:

Klasifikasi mutu air yang sudah ditetapkan dapat dibagi menjadi 4 kelas:

1. **Kelas I** : Air yang digunakan untuk air minum, dan kebutuhan lain yang membutuhkan kualitas air sesuai dengan kegunaan tersebut.
2. **Kelas II** : Air yang digunakan untuk prasarana/sarana hiburan air, budidaya ikan air tawar, perternakan, tanaman, dan kebutuhan lain yang membutuhkan kualitas air sesuai dengan kegunaan tersebut.
3. **Kelas III** : Air yang digunakan untuk budidaya ikan air tawar, perternakan, dan kebutuhan lain yang membutuhkan kualitas air sesuai dengan kegunaan tersebut.
4. **Kelas IV** : Air yang digunakan untuk pengairan tanaman dan kebutuhan lain yang membutuhkan kualitas air sesuai dengan kegunaan tersebut.

2. 3 Bioindikator

Bioindikator merupakan organisme atau sekelompok spesies yang dapat digunakan untuk mengukur atau mencerminkan keadaan suatu lingkungan biotik atau abiotik, perubahan kondisi lingkungan pada habitat, dan ekosistem, dan indikator keanekaragaman dalam suatu lingkungan.

Bioindikator menunjukkan toleransi dan sensitivitas suatu spesies terhadap kondisi lingkungan sehingga dapat digunakan untuk menilai kondisi lingkungan (Parmar dkk, 2016).

Pemilihan spesies bioindikator yang tepat merupakan hal yang penting agar didapatkan hasil pemantauan kualitas lingkungan yang akurat. Spesies bioindikator yang digunakan harus memiliki kepekaan terhadap perubahan ekosistem yang diakibatkan berbagai faktor seperti perubahan lingkungan dan polutan. Organisme bioindikator yang digunakan harus mudah diidentifikasi atau memiliki buku pedoman identifikasinya, tersebar luas, dan fase kehidupan yang diketahui, memiliki peran penting di ekosistem, dan mempunyai respon terhadap kontaminan (Russo dkk., 2021).

Organisme bioindikator akuatik berhubungan dengan kondisi lingkungan yang berubah sesuai keadaan lingkungan sekitar yang disebabkan kegiatan manusia seperti kegiatan industri, dan pembuangan limbah ke perairan (Alaiaieh dkk, 2019). Bioindikator atau biomonitoring sering digunakan dalam kegiatan pemantauan perubahan kondisi kimiawi di lingkungan terutama pada cabang ilmu biologi ekotoksikologi (Siddig dkk, 2016). Proses biologis merupakan aspek utama bioindikator dalam menilai kualitas lingkungan dan perubahan bertahap kondisi lingkungan. Mayoritas bioindikator lingkungan yang digunakan yaitu makroinvertebrata, protozoa, dan alga (Okoye dkk, 2021).

2.4 Makrozoobentos

Bentos merupakan organisme yang hidupnya menetap, menempel, dan merayap pada substrat dasar perairan. Jenis substrat yang menjadi habitat bentos bermacam-macam seperti substrat yang berpasir, berlumpur, batuan, pecahan karang, bahkan sampah organik yang terdapat pada dasar perairan. (Kikuzawa dkk, 2020). Bentos memiliki komunitas yang meliputi bakteri, hewan, dan tumbuhan yang berasal dari rantai makanan yang tidak sama (Rossi dkk, 2017).

Makrozoobentos merupakan hewan tanpa tulang belakang yang menghabiskan hampir setengah dari fase hidupnya di dasar perairan atau substrat (Obot dkk, 2014). Makrozoobentos dapat dimanfaatkan menjadi bioindikator kualitas perairan.. Makrozoobentos memegang peranan yang sangat penting dalam siklus nutrisi di perairan dengan melalui rantai makanan dan membantu memecah berbagai macam senyawa organik yang terdapat di perairan (Darmarini dkk, 2021). Makrozoobentos menjadi bioindikator yang efektif karena sensitif terhadap pencemaran bahan organik di perairan (Musonge dkk, 2020).

Makrozoobentos seringkali dikategorikan dalam makroinvertebrata. Mayoritas spesies ini memiliki hubungan dengan permukaan dasar sungai atau permukaan dasar perairan lainnya yang tenang, bukan organisme perairan yang sebagian besar waktunya untuk bergerak. Karena memiliki kebiasaan untuk tinggal di dasar perairan, sehingga disebut makroinvertebrata. Makroinvertebrata merupakan invertebrata yang memiliki ukuran cukup besar sehingga dapat diamati tanpa menggunakan alat bantu

seperti lup. Makrozoobentos ini mencakup banyak spesies dari berbagai filum seperti plathelminthes, nematoda, invertebrata, moluska, dan arthropoda (Oscoz dkk, 2011).

2. 4.1 Klasifikasi Makrozoobentos

Bentos berdasarkan produktivitasnya dibagi menjadi dua yaitu fitobentos berupa tumbuhan dan zoobentos berupa hewan (Dwirastina, 2008). Sedangkan berdasarkan ukuran, menurut Bett (2013) pembagian bentos sesuai ukurannya yaitu :

1. Mesobentos, kelompok bentos yang memiliki ukuran antara 0,1 mm hingga 1 mm. Mesobentos biasanya hidup pada substrat dasar berpasir atau berlumpur. Contohnya yaitu *Mollusca*, dan *Crustacea*.
2. Mikrobentos, kelompok bentos yang memiliki ukuran kurang dari 0,1 mm. Mikrobentos merupakan bentos yang termasuk dalam golongan hewan paling kecil. Contohnya yaitu *Ciliata*.
3. Makrobentos, kelompok bentos yang memiliki ukuran lebih dari 1 mm. Makrozoobentos termasuk hewan terbesar dalam kelompok bentos.

Keberadaan substrat merupakan hal yang penting bagi organisme makrozoobentos. Kandungan organik yang melimpah pada substrat dapat meningkatkan produktivitas pertumbuhan makrozoobentos, karena kandungan organik inilah yang menjadi sumber makanan makrozoobentos. Jenis substrat dan jumlah kandungan pada substrat mempengaruhi pertumbuhan makrozoobentos karena setiap spesiesnya memiliki tingkat toleransi yang berbeda (Harahap dkk, 2018).

Berdasarkan tempat hidupnya, bentos dapat dikategorikan menjadi dua yaitu epifauna dan infauna (Octavina dkk, 2018):

1. Infauna merupakan kelompok bentos yang hidup di dalam substrat dengan cara menggali lubang di dasar perairan. Mayoritas dapat ditemukan pada substrat lunak.
2. Epifauna merupakan kelompok bentos yang hidup pada permukaan substrat. Kelompok ini dapat dijumpai pada berbagai jenis substrat, memiliki pergerakan yang lambat pada substrat lunak namun dapat menempel, dan berkembang lebih baik pada substrat keras.

Makrozoobentos mendapatkan sumber makanannya dengan memakan organisme perairan yang lebih kecil dan tumbuhan yang melekat pada substrat. Makrozoobentos sebagai organisme yang habitatnya (Ridita dan Shafique, 2019). Menurut Merritt dkk (2017) Berdasarkan cara makan makrozoobentos diklasifikasikan menjadi delapan kelompok makanan fungsional dalam tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Kelompok makanan fungsional makrozoobentos

Kelompok Makan	Mekanisme makan	Sumber makanan dominan	Contoh taksa	Ukuran Makanan (mm)
<i>Shredders detritivores</i>	Herbivora – mengunyah	Jaringan vaskular tanaman hidrofit	Trichoptera: Phyganeidae, Leptoceridae	>1
<i>Shredders herbivores</i>	Detritivora – mengunyah, menggerak kayu, dan mencungkil	Jaringan vaskular dan batang tanaman yang membusuk – Pengurai bahan organik kasar	Plecoptera: Peltoperlidae, Nemouridae Diptera: Tipulidae Trichoptera: Limnephilidae, Lepidostomatidae Crustacea: Amphipoda	

<i>Collectors</i>		Pengurai bahan organik halus	
<i>Filtering collectors</i>	Detritivora – menyaring atau mensuspensi makanan		Trichoptera: Hydropsychidae <1 Diptera: Simuliidae
<i>Gathering collectors</i>	Detritivora – mengumpulkan endapan sedimen		Ephemeroptera: Ephemeridae Diptera: Chironomidae
<i>Scrapers</i>	Herbivora – pengikis rumput yang mengandung mineral dan bahan organik		Trichoptera: Glossosomatidae <1 Coleoptera: Psephenidae Ephemeroptera: Heptageniidae
<i>Piercer-herbivores</i>	Herbivora – menghisap isi sel alga		Trichoptera: Hydroptilidae <1
<i>Predator</i>	Karnivora – Menyerang mangsa, menembus jaringan dan sel serta menghisap fluida	Jaringan hewan	Hemiptera: Belostomidae, Naucoridae >1

Sumber : Merritt dkk, 2017



Gambar 2.1 Kelompok Utama Makrozoobentos (Oscoz dkk, 2011); (a) dan (b) Oligochaeta; (c) Hirudinea; (d) Insekta; (e) Hydracarina; (f) Crustacea; (g) Gastropoda; dan (h) Nematoda.

2. 4.2.1 Oligochaeta



Gambar 2.2 Oligochaeta (Sumber : Oscoz dkk, 2011).

Oligochaeta merupakan hewan yang tersebar di air tawar, air laut, dan daratan. Oligochaeta memiliki ukuran yang bermacam-macam (dari 1 mm hingga 150 mm). Tubuhnya memiliki banyak segmen dengan bentuk tubuh yang memanjang simetris bilateral. Setiap segmen mempunyai empat chaetae kecuali segmen pertama. Chaetae merupakan bulu pada permukaan tubuh Oligochaeta. Bentuk dan jumlah chaetae pada Oligochaeta sangat bermacam-macam antar spesiesnya sehingga berguna dalam ilmu taksonomi. Beberapa taksa mungkin tidak memiliki chaetae pada beberapa segmen atau bahkan semua segmen tapi hal ini tidak biasa terjadi (Oscoz dkk, 2011). Famili Oligochaeta yang sering ditemui yaitu Naididae, Enchytraeidae, Haplotaxidae, Lumbriculidae, dan Lumbricidae. Beberapa spesies dari Oligochaeta dapat bertahan pada kondisi lingkungan tercemar oleh zat organik dan rendah oksigen. Oligochaeta berperan dalam bioturbasi atau aktivitas yang menyebabkan perubahan letak sedimen yang terakumulasi di sungai. Melalui aktivitas menggali, bergerak, bernafas, makan dan ekskresi, Oligochaeta memediasi proses fisika-kimia antara sedimen dan air (Ruvusofa dkk, 2017).

2. 4.1.2 Hirudinea

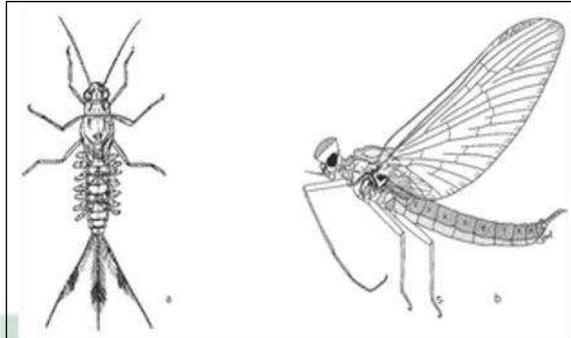


Gambar 2.3 Hirudinea (Sumber: Oscoz dkk, 2011).

Kelas Hirudinea merupakan organisme lintah yang berasal dari filum Annelida dan kelas Clitellata. Hirudinea memiliki tubuh yang segmentasinya berotot dan terdapat pengisap pada kedua ujung tubuhnya. Tubuh Hirudinea memiliki 34 segmen yang terdiri dari enam untuk kepala, tiga untuk praklinis, empat untuk clitellum, 11 pada badannya, tiga pada daerah anus, dan tujuh untuk posterior. Pengisap anterior terdapat pada sekeliling mulut dan bentuknya bervariasi sedangkan pengisap posterior memiliki bentuk yang mencolok (Oscoz dkk, 2011). Lintah memiliki lima famili yang telah teridentifikasi antara lain; Glossiphoniidae, Erpobdellidae, Piscicolidae, Haemopidae, dan Hirudinidae. Lintah dapat dikategorikan sebagai predator maupun parasit. Hirudinea biasa tinggal pada perairan air tawar, jenis substrat yang berlumpur, air mengalir, dan perairan dengan vegetasi subur (Ruvusofa dkk, 2017).

2. 4.1.3 Insekta

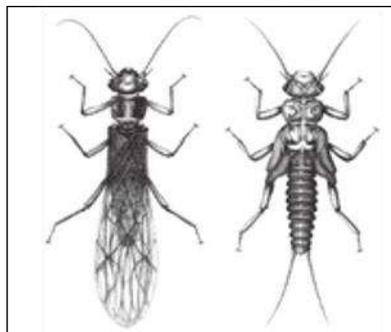
a. Ephemeroptera



Gambar 2.4 Ephemeroptera (Sumber: Ruvusofa dkk, 2017).

Ordo Ephemeroptera merupakan lalat capung yang termasuk dalam salah satu jenis serangga paling tua dan memiliki sekitar 3200 jenis. Habitat nimfanya berupa perairan mengalir dan ada beberapa taksa yang tinggal pada perairan tergenang. Nimfa lalat capung berkontribusi penting dalam ekosistem perairan karena menjadi makanan bagi ikan dan predator lainnya. Nimfa lalat capung berkontribusi sangat penting dalam menilai kualitas air suatu perairan air tawar. Bentuk yang dimiliki nimfa berbeda-beda mengikuti adaptasi lingkungannya (Ruvusofa dkk, 2017).

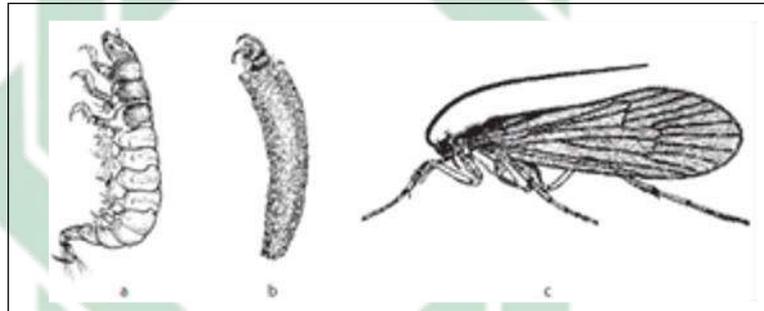
b. Plecoptera



Gambar 2.5 Plecoptera (Sumber: Ruvusofa dkk, 2017).

Ordo Plecoptera merupakan lalat batu yang termasuk dalam ordo serangga yang berjumlah sekitar 3.500 spesies. Plecoptera tinggal pada perairan mengalir. Lalat batu umumnya tidak memiliki sayap dan bukan penerbang yang handal. Fase larva dan dewasa memiliki pasangan *cerci* yang nampak dari ujung perut. Makanan larvanya berupa bahan organik. Lama perkembangan larva yaitu selama 14 tahun, sehingga dapat digunakan sebagai bioindikator perairan mengalir (Ruvusofa dkk, 2017).

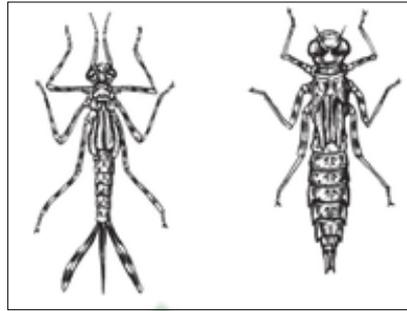
c. Tricoptera



Gambar 2.6 Tricoptera (Sumber: Ruvusofa dkk, 2017).

Ordo Tricoptera memiliki 18 famili dengan jumlah sekitar 15.000 spesies. Tricoptera sering dijumpai pada perairan mengalir. Tricoptera termasuk dalam serangga yang memiliki metamorphosis sempurna karena terdapat fase kepompong dalam perkembangannya. Fase dewasa ordo ini memiliki kemiripan dengan kupu-kupu yang membedakan terdapat rambut yang menutupi sayapnya. Pada bagian ujung tubuh larva terdapat proleg perut dengan cakar anal, berfungsi agar dapat beradaptasi pada arus air yang kuat. Ordo ini memiliki lima hingga tujuh tahap perkembangan siklus hidup selama satu tahun. Tricoptera memiliki kelenja sutra yang terletak pada ujung labium larva yang berfungsi untuk menghasilkan jaring. Jaring halus digunakan untuk mendapatkan partikel makanan (Ruvusofa dkk, 2017).

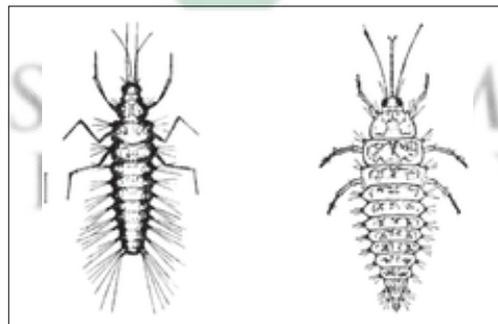
d. Odonata



Gambar 2.7 Odonata (Sumber: Ruvusofa dkk, 2017).

Odonata merupakan ordo jenis serangga tua yang melewati fase hemimetabola. Odonata dibagi menjadi tiga subordo yaitu Anisoptera, Anisozygoptera, dan Zygoptera. Ciri khusus saat fase larva yaitu memiliki labium seperti topeng atau masker. Labium yang berbentuk seperti topeng pada larva ini berfungsi untuk menangkap mangsa dengan cara diperpanjang. Odonata menjadi predator utama pada perairan air tawar (Ruvusofa dkk, 2017).

e. Coleoptera

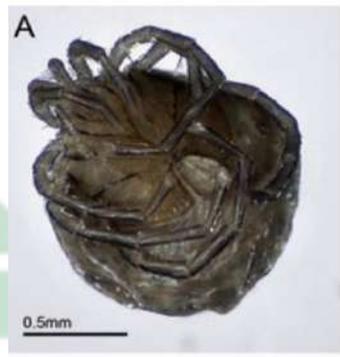


Gambar 2.8 Coleoptera (Sumber: Ruvusofa dkk, 2017).

Ordo Coleoptera merupakan salah satu ordo terbesar serangga yang memiliki 12.500 spesies di seluruh dunia dan spesies baru masih sering ditemukan. Tubuh Coleoptera dibagi menjadi tiga yaitu kepala, dada, dan perut. Kepala Coleoptera memiliki struktur keras dan berbagai ukuran.

Antena pada Coleoptera berfungsi sebagai organ penciuman dan mendeteksi kondisi sekitar. Mulut larva pada ordo Coleoptera digunakan sebagai alat untuk menggigit dan mengunyah. Coleoptera mengalami metamorfosis sempurna yang fase hidupnya telur, larva, kepompong, dan dewasa. Coleoptera bernapas dengan beberapa cara yaitu (1) udara melewati spirakel, (2) membuat lubang pada tanaman perairan yang memiliki batang berongga, (3) menarik udara permukaan dengan memanfaatkan organ siphon, (4) udara disimpan sebagai plastron (Ruvusofa dkk, 2017).

2. 4.1.4 Hydracarina

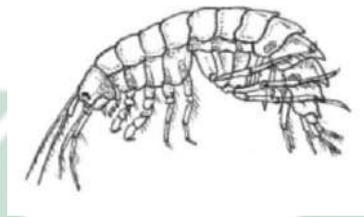


Gambar 2.9 Hydracarina (Sumber: Oscoz dkk, 2011).

Hydracarina merupakan hewan sejenis tungau yang dapat ditemukan pada perairan. Hydracarina memiliki ukuran sangat kecil yang berkisar antara (1 – 5 mm). Umumnya mereka terlihat berbentuk bulat beberapa milimeter dari ukurannya. Hydracarina memiliki tegumen yang lembut dengan pelat sklerotisasi sekunder yang dapat menutupi seluruh tubuh. Tubuhnya dibagi menjadi dua bagian utama yaitu daerah anterior atau gnathosoma (mulut dan organ sensorik) dan daerah posterior atau idiosoma yang dihasilkan dari penggabungan cephalotorax dan abdomen. Hydracarina dapat ditemukan pada berbagai jenis perairan seperti; air tawar, air asin, perairan sementara,

dan perairan permanen. Pada umumnya hewan ini menunjukkan kekayaan spesies yang tinggi di sungai, dengan biasanya antara 20 spesies di sungai kecil dan 50 spesies di sungai besar (Oscoz dkk, 2011).

2. 4.1.5 Crustacea



Gambar 2.10 Crustacea (Sumber: Ruvusofa dkk, 2017)

Crustacea merupakan kelompok invertebrata yang memiliki 67.000 spesies. Kebanyakan crustacea adalah organisme akuatik di perairan laut, dan hanya beberapa kelompok yang berhabitat di air tawar. Crustacea memiliki ciri khusus yang membedakan dengan arthropoda lain yaitu memiliki dua pasang antena dan lebih dari empat pasang anggota badan *biramous*. Eksoskeleton pada Crustacea akan berganti saat tumbuh (Ruvusofa dkk, 2017).

2. 4.1.6 Gastropoda



Gambar 2.11 Gastropoda (Sumber: Oscoz dkk, 2011).

Gastropoda merupakan hewan yang tersebar pada berbagai ekosistem seperti ekosistem air tawar, dan ekosistem laut. Gastropoda yang hidup pada perairan tawar pada umumnya merupakan herbivora yang sebagian besar makanannya lumut dan algae, namun ada beberapa jenis gastropoda karnivora dengan memanfaatkan gigi radula untuk melumpuhkan mangsa. Salah satu kemampuan gastropoda adalah menempel pada bagian bawah batu maupun dibalik batu. Gastropoda hidup dengan cara mengubur diri dan menetap pada substrat di dasar perairan sungai (Hecca dkk, 2017). Gastropoda makan dengan cara menggunakan radula. Organ radula ini cukup spesial karena ditutupi oleh gigi kecil (dentikula). Radula menjadi komponen penting dalam morfologi untuk identifikasi spesies. Gastropoda hidup pada air mengalir yang memiliki kadar oksigen tinggi. Contoh spesies gastropoda yaitu *Bythinella austriaca*, *Ancylus fluviatilis*, dan *Orderix labiata* (Oscoz dkk, 2011).

2. 4.1.7 Nematoda



Gambar 2.12 Nematoda (Sumber: Oscoz dkk, 2011).

Nematoda merupakan cacing berbentuk silinder yang tidak bersegmen. Nematoda menjadi salah satu filum yang dengan keanekaragaman yang tinggi dan tersebar pada semua jenis habitat di seluruh dunia. Nematoda dapat

beradaptasi pada lingkungan lautan, air tawar, dan daratan. Jenis interaksi yang dimiliki nematoda sangat beragam mulai dari parasitisme hingga hidup bebas. Nematoda air tawar merupakan hewan kecil dengan ukuran antara 0,2 mm hingga 8 mm, memiliki tubuh filiform dengan margin anterior terpotong atau membulat dan ujung posterior filiform atau membulat dan biasanya hidup bebas. Nematoda tidak berpigmen sehingga jika diamati menggunakan kaca pembesar maka terlihat seperti cacing kecil, semitransparan dan sedikit melengkung. Nematoda dapat terlihat melingkar apabila memiliki bentuk tubuh yang panjang dan tipis. Nematoda menunjukkan simetri bilateral, dengan dorsal, dan ventral samping (Oscoz dkk, 2011).

2. 4.2 Habitat Makrozoobentos

Suhu merupakan salah satu faktor ekologi yang sangat penting. Makrozoobentos hidup dalam rentang suhu tertentu dan mempengaruhi struktur komunitasnya. Pengaruh suhu terhadap makrozoobentos antara lain; pola kemunculan, reproduksi, metabolisme, dan ukuran makrozoobentos. Karakteristik jenis substrat memiliki dampak yang signifikan sebagai habitat dari makrozoobentos di ekosistem sungai. Makrozoobentos melakukan segala aktivitasnya di dasar sedimen (Kolyuchkina dkk, 2020).

Makrozoobentos melangsungkan kehidupannya dengan kondisi lingkungan tertentu. Temperatur optimal bagi makrozoobentos yaitu 20 – 30 derajat celcius. Nilai pH optimalnya yaitu antara 7 – 8,5 karena makrozoobentos merupakan organisme yang sensitif terhadap perubahan pH. Kadar nilai oksigen terlarut yang sesuai pada makrozoobentos minimumnya 5

mg/l dan menyesuaikan karakteristik makrozoobentos, tingkat pencemaran, suhu air, dan lainnya. Keanekaragaman makrozoobentos juga dipengaruhi oleh kedalaman suatu perairan. Perairan yang semakin dalam maka semakin sedikit pula jumlah makrozoobentos yang tinggal karena hanya ada sedikit makrozoobentos yang dapat bertahan pada kondisi perairan yang dalam (Ridwan dkk, 2016).

Kerapatan dan keanekaragaman makroinvertebrata memiliki korelasi langsung dengan variasi jenis substrat. Endapan sedimen yang mengisi ruang pori pada substrat dapat mengurangi luas habitat yang ditempati oleh makroinvertebrata. Kandungan sedimen yang meningkat sebanyak 12-17% dapat mengurangi populasi invertebrata sebanyak 16-40%. Habitat yang arusnya deras, terdapat batuan, vegetasi tepi sungai, dan terdapat partikel organik berupa daun jatuh serta materi terlarut lainnya merupakan habitat yang diminati oleh makrozoobentos (Tjokrokusumo, 2008).

Ukuran partikel sedimen dapat dianalisis menggunakan *Skala Wentworth* sebagai berikut (Pipkin, 1997 ., Hartanto, 2018):

Tabel 2.3 Ukuran Partikel Sedimen *Skala Wentworth*

Nama Butir	Diameter Butir (mm)
Bongkah	>256
Berangkal	64 – 256
Kerakal	4 – 64
Kerikil	2 – 4
Pasir Sangat Kasar	1 – 2
Pasir Kasar	0,5 -1
Pasir Menengah	0,25 – 0,5
Pasir Halus	0,125 – 0,25
Pasir Sangat Halus	0,0625 – 0,25
Lanau	0,004 – 0,625
Lempung	< 0,004

Sumber: Pipkin, 1997

2. 4.3 Peran Makrozoobentos Sebagai Bioindikator

Makrozoobentos sangat berkontribusi pada ekosistem perairan air tawar, proses pengolahan material organik, dan proses mineralisasi pada endapan perairan. Komunitas makrozoobentos juga memiliki kontribusi yang signifikan dalam rantai makanan organisme akuatik (Sinha dan Prakash, 2016). Makrozoobentos pada umumnya bertindak sebagai bioindikator dalam memantau kualitas mutu air pada suatu perairan, penyebab utama penurunan kualitas air adalah polutan materi organik. (Lidkk, 2019). Makrozoobentos memiliki mobilitas yang rendah dan memiliki kepekaan terhadap pencemaran lingkungan sehingga dibuat penghitungan indeks biotik menggunakan organisme makrozoobentos, salah satu indeks biotik yang sering digunakan adalah *Family Biotic Index* (FBI). Skor toleransi mulai dari 0 diberikan kepada makrozoobentos yang tidak toleran terhadap limbah organik, sedangkan skor toleransi 10 diberikan kepada makrozoobentos yang toleran terhadap limbah organik (Mandaville, 2002).

Makroinvertebrata merupakan kelompok organisme yang paling banyak digunakan sebagai bioindikator. Makroinvertebrata memiliki banyak keunggulan sebagai bioindikator antara lain; (1) sebagian besar organisme makroinvertebrata memiliki tingkat mobilitas yang terbatas sehingga dapat digunakan sebagai cerminan kondisi suatu ekosistem; (2) siklus hidup yang dimiliki makroinvertebrata cenderung panjang sehingga dapat diketahui karakteristiknya merupakan hasil yang didapat dari waktu sebelumnya; (3) makroinvertebrata mudah ditemukan pada sebagian besar perairan dan teknik samplingnya mudah; (4) proses sampling makroinvertebrata tidak berdampak

besar terhadap organisme perairan yang lain; (5) makroinvertebrata memiliki taksonomi yang teridentifikasi dengan baik; (6) makroinvertebrata memiliki tingkat sensitifitas berbeda terhadap jenis pencemaran yang berbeda (7) makroinvertebrata memiliki kelompok dan tingkat trofik yang berbeda, sehingga makroinvertebrata dapat bereaksi terhadap perubahan kondisi lingkungan yang ekstrim; (8) identifikasi makroinvertebrata hingga ke tingkat famili tergolong mudah (Oscoz dkk, 2011).

Terdapat penelitian terdahulu yang menggunakan makrozoobentos sebagai bioindikator kualitas perairan air tawar dan *Family Biotic Index* sebagai metode indeks biotik yang menentukan kualitas perairan tersebut. Berikut beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini:

Tabel 2.4 Contoh penelitian terdahulu menggunakan *Family Biotic Index*

No	Nama Penulis	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
1.	Putra, R.A., Melani, W.R dan Suryanti, A.	2020	Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Perairan di Senggarang Besar Kota Tanjung Pinang	Hasil penelitian menunjukkan nilai <i>Family Biotic Index</i> Makrozoobentos pada ketiga lokasi pengamatan sebesar 5,6 – 7,12. Nilai <i>Family Biotic Index</i> tertinggi terdapat pada stasiun 1 dan stasiun 3 yaitu sebesar 7,12 dan 7 yang menunjukkan kategori kualitas air tercemar sangat buruk. Pada stasiun 2 nilai <i>Family Biotic Index</i> sebesar 5,6 pada kategori tercemar kritis. Semakin besar nilai FBI maka semakin buruk kualitas perairannya.
2.	Armita, D ., Amanah, H.A ., dan Amrullah, S.H	2021	Struktur Makrozoobentos pada Saluran Mata Air Langlang dengan Vegetasi Riparian yang Berbeda di	Hasil penelitian menunjukkan nilai FBI pada stasiun 1 sebesar 4,19 dengan kategori sangat bagus. Pada stasiun 2 nilai FBI nya sebesar 4,5 dengan kategori bagus. Family yang

- Desa Ngenep, Kabupaten Malang, Jawa Timur paling banyak dijumpai adalah Hydropsychidae yang berasal dari ordo Tricoptera. Vegetasi riparian pada stasiun 1 lebih baik dibandingkan stasiun 2 dilihat dari persentasi jenis tumbuhan baik pohon, semak, dan herba.
3. Widhiandari, P.F.A., Watiniasih, N.L., dan Pebriani, D.A.A., 2021 Bioindikator Makrozoobentos dalam Penentuan Kualitas Perairan di Tukad Mati Badung, Bali Hasil penelitian menunjukkan nilai FBI pada stasiun 1 sebesar 6,32, stasiun 2 sebesar 6,31, dan stasiun 3 sebesar 6,25. Hasil pada ketiga stasiun berada pada kategori kualitas air agak buruk dan terpopulasi banyak. Family Thiaridae merupakan family yang paling banyak dijumpai pada perairan Tukad Mati. Famili makrozoobentos yang tinggal pada nilai toleransi FBI sebesar 6 cenderung agak tahan pada perubahan kondisi lingkungan.

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

2. 5 Keanekaragaman

Keanekaragaman adalah komunitas yang mempunyai karakteristik yang berbeda dengan komunitas yang lain. Keanekaragaman hayati merupakan karakteristik yang dimiliki pada suatu komunitas di lingkungan. Semakin beragam komponen biotik pada lingkungan tersebut maka semakin tinggi keanekaragaman hayati pada lingkungan tersebut (Baderan, 2016) Keanekaragaman hayati dibagi menjadi tiga bagian antara lain; keanekaragaman genetik, spesies, dan komunitas (Ludwig dan Reynolds, 1988., Nahlunnisa dkk., 2016).

Jumlah spesies dalam suatu ekosistem dan kelimpahan setiap spesies tersebut merupakan aspek utama dalam keanekaragaman. Semakin sedikit

jumlah spesies dan variasi setiap spesies atau terdapat satu individu yang lebih banyak dalam ekosistem maka semakin rendah tingkat keanekaragaman pada ekosistem tersebut. Apabila semakin banyak jumlah spesies dan variasi spesies, atau tidak terdapat spesies yang mendominasi maka semakin tinggi tingkat keanekaragamannya (Fandani dkk, 2018).

Keanekaragaman spesies memiliki dua komponen yaitu kekayaan spesies dan kelimpahan relative. Sehingga kelimpahan spesies pada suatu ekosistem dipengaruhi oleh keanekaragaman spesies tersebut. Keanekaragaman spesies juga dapat digunakan sebagai karakteristik ekologi yang dapat diukur pada organisme biologi tingkat komunitas (Campbell, 2010 ., Humaira dan Maulida, 2022). Keanekaragaman spesies dapat diambil dengan menandai jumlah spesies di lokasi tertentu atau sebagian kecil dari total spesies yang ada. Hubungan ini dapat dinyatakan dengan angka untuk menentukan indeks keanekaragaman jumlah spesies yang ada pada suatu ekosistem (Sumarmi, 2018).

Keanekaragaman hayati yang hilang dalam suatu ekosistem dapat menurunkan fungsi ekosistem bahkan mengakibatkan rusaknya ekosistem tersebut (Putra dan Utami, 2020). Berikut tolak ukur nilai Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener (Afifatur, 2021):

1. Keanekaragaman rendah ($H' < 1,0$)
2. Keanekaragaman sedang ($1,0 < H' < 3,0$)
3. Keanekaragaman tinggi ($H' > 3,0$)

Keanekaragaman telah dijelaskan di dalam Al-Qur'an, yaitu pada surah An-Nur (24) ayat 45:

وَاللَّهُ خَلَقَ كُلَّ دَابَّةٍ مِّن مَّاءٍ فَمِنْهُمْ مَّن يَمْشِي عَلَى بَطْنِهِ وَمِنْهُمْ مَّن يَمْشِي عَلَى رِجْلَيْنِ وَمِنْهُمْ مَّن يَمْشِي عَلَى أَرْبَعٍ يَخْلُقُ اللَّهُ مَا يَشَاءُ إِنَّ اللَّهَ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ (٤٥)

Artinya: “Dan Allah telah menciptakan semua jenis hewan dari air, maka sebagian dari hewan itu ada yang berjalan di atas perutnya dan sebagian berjalan dengan dua kaki sedang sebagian (yang lain) berjalan dengan empat kaki. Allah menciptakan apa yang dikehendaki-Nya, sesungguhnya Allah Maha Kuasa atas segala sesuatu.” (Q.S An-Nur (24) ayat 45)

Tafsir Ibnu Katsir menjelaskan Allah menyebutkan kekuasaannya maha sempurna dari kerajaannya yang maha agung dengan menciptakan berbagai jenis makhluk dalam bentuk rupa, warna, dan gerak-gerik yang berbeda dari satu unsur yang sama yaitu air (Abdullah, 1994). Ayat ini menjelaskan bahwa Allah menciptakan makhluk hidup baik yang hidup di darat, air, maupun udara dengan berbagai jenis, sifat, warna, dan kemampuannya. Ada binatang serangga, ada kuda yang berlari, ada ular yang menjakar, dan ada monyet yang memanjat. Hal ini sesuai dengan ayat tersebut yang menunjukkan bahwa Allah adalah maha kuasa atas segala sesuatu.

Ayat tersebut menjelaskan bahwa semua makhluk hidup sama-sama diciptakan dari air akan tetapi memiliki bentuk yang berbeda-beda. Air merupakan sumber kehidupan yang mencakup sebagian besar struktur tubuh dari makhluk hidup. Para mufassir mendeskripsikan makna air dalam ayat tersebut merupakan sperma yang merupakan salah satu faktor genetik yang mempengaruhi keanekaragaman spesies (Irmawati, 2016 ., Hendiari dkk, 2020).

2. 6 Kali Pacal



Gambar 2.13 Kali Pacal

Sungai merupakan wilayah yang memiliki posisi lebih rendah daripada dataran sekitarnya dan mengalirkan air tawar menuju rawa, laut, danau, atau bertemu sungai lainnya. Sungai merupakan salah satu ekosistem perairan yang memiliki penting bagi keberlangsungan hidup manusia dan berbagai jenis organisme (Rahmawati dkk, 2017). Perairan sungai merupakan suatu ekosistem tempat organisme berinteraksi langsung dengan lingkungan. Perairan sungai dibagi menjadi tiga yaitu hulu, tengah, dan hilir. Zona sempadan pada bagian hulu biasanya terdapat pada daerah pegunungan dengan keanekaragaman tumbuhan yang tinggi. Zona ini berfungsi sebagai kawasan konservasi sehingga menjamin stok air, menjaga kualitas air, mencegah terjadinya banjir, dan erosi (Dahlan dkk, 2021).

Kali Pacal merupakan salah satu anak sungai dari Sungai Bengawan Solo yang berada di Kabupaten Bojonegoro. Aliran Kali Pacal ini sepanjang \pm 66 km dan menjadi sungai terpanjang di Kabupaten Bojonegoro. Kali Pacal

melewati beberapa Kecamatan antara lain: Kecamatan Temayang, Kecamatan Sukosewu, Kecamatan Sumberejo, Kecamatan Kanor, Kecamatan Baureno, Kecamatan Kepohbaru, Kecamatan Kapas, Kecamatan Sugihwaras, Kecamatan Kapas, dan Kecamatan Balen. Kali Pacal memiliki ekosistem perairan mengalir dan berada di area pedesaan. Kali Pacal cukup terkenal di Bojonegoro karena aliran sungai ini berperan penting untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari masyarakat khususnya kebutuhan irigasi pertanian masyarakat pedesaan sehingga produktifitas pertanian semakin meningkat dari masa ke masa. Untuk mengoptimalkan hasil pertanian maka pemerintah setempat melakukan Optimasi Tata Kelola Irigasi dengan memanfaatkan Kali Pacal secara maksimal. Kali Pacal saat ini memiliki kondisi lingkungan yang tercemar, hal ini diketahui dengan masih banyak ditemukan sampah menumpuk pada beberapa lokasi sungai. Kurangnya kesadaran masyarakat sekitar menjadi penyebab tercemarnya Kali Pacal.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif dengan menggunakan metode *purposive sampling*. Pengambilan data menggunakan metode eksplorasi yaitu pengambilan sampel secara langsung pada lokasi penelitian. Jenis penelitian deskriptif kuantitatif digunakan karena data yang digunakan meliputi morfologi spesimen, jumlah spesimen dan indentifikasi makrozoobentos. Data spesies dianalisis dengan menggunakan indeks keanekaragaman, indeks dominansi, indeks keseragaman dan *Family Biotic Index*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

a. Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan bertempat pada sekitar kawasan aliran Kali Pacal Kabupaten Bojonegoro. Sepanjang aliran sungai memiliki kondisi lingkungan yang berbeda. Penentuan stasiun dibagi menjadi tiga yaitu berdasarkan pembagian hulu, tengah, dan hilir. Stasiun 1 memiliki ciri-ciri aliran sungai deras, dasar sungai berpasir, sedikit berlumpur, terdapat batuan kecil hingga sedang dan terletak dekat dengan pemukiman. Stasiun 1 terletak di Desa Kedungsumber, Kecamatan Temayang, Kabupaten Bojonegoro. Titik koordinat stasiun 1 yaitu 7°20'57"S, 111°53'54"E. Stasiun 2 memiliki ciri-ciri aliran sungai deras, dasar sungai berlumpur, terdapat batuan berukuran sedang, dan terletak dekat dengan pertanian.

Stasiun 2 terletak di Desa Semenkidul, Kecamatan Sukosewu, Kabupaten Bojonegoro. Titik koordinat stasiun 2 yaitu $7^{\circ}15'01''S$, $111^{\circ}56'19''E$. Stasiun 3 memiliki ciri-ciri aliran sungai deras, dasar sungai berlumpur, terdapat batuan berukuran sedang, dan terletak dengan pemukiman dan peternakan. Stasiun 3 terletak di Desa Bogo, Kecamatan Kapas, Kabupaten Bojonegoro. Titik koordinat stasiun 3 yaitu $7^{\circ}09'45''S$, $111^{\circ}56'15''E$.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian di Kali Pacal, Kabupaten Bojonegoro
Sumber: Google Earth, 2023

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

Tabel 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian	Deskripsi Wilayah
<p data-bbox="411 320 815 353">Stasiun 1 (Kali Pacal bagian hulu)</p> <p data-bbox="469 376 758 409">7°20'57"S, 111°53'54"E</p> 	<p data-bbox="895 320 1369 506">Aliran sungai deras, dasar sungai berpasir, sedikit berlumpur, terdapat batuan kecil hingga sedang dan terletak dekat dengan pemukiman.</p>
<p data-bbox="400 1066 826 1099">Stasiun 2 (Kali Pacal bagian tengah)</p> <p data-bbox="469 1122 758 1155">7°15'01"S, 111°56'19"E</p> 	<p data-bbox="895 1066 1369 1350">Aliran sungai deras, dasar sungai berlumpur, terdapat bebatuan berukuran sedang, dan terletak dekat dengan pertanian. Area stasiun ini dimanfaatkan sebagai irigasi sawah oleh masyarakat setempat.</p>

Stasiun 3 (Kali Pacal Bagian Hilir)
7°09'45"S, 111°56'15"E



Aliran sungai tidak begitu deras, dasar sungai berlumpur, terdapat batuan berukuran sedang, dan terletak dekat dengan pemukiman dan peternakan.

b. Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan bulan Februari sampai Maret 2023. Pengambilan data dilakukan antara pukul 08.00 – 12.00 WIB.

Tabel 3.2 Waktu Penelitian

No	Kegiatan	Bulan (Tahun 2022-2023)														
		8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7			
1	Persiapan	■														
2	Pembuatan Proposal Skripsi		■	■	■	■										
3	Seminar Proposal					■										
4	Pengambilan Data							■	■	■						
5	Analisis Data								■	■	■					
6	Pembuatan Draft Skripsi									■	■	■	■			
7	Sidang Skripsi															■

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

3.3 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain; ayakan dengan ukuran mata jaring 18 mesh untuk mengambil sampel makrozoobentos, sekop untuk mengambil substrat di dasar sungai, sikat untuk mengambil makrozoobentos yang menempel pada substrat, botol vial untuk menyimpan sampel makrozoobentos, TDS meter untuk mengukur total padatan terlarut pada sampel air, Termometer untuk mengukur suhu pada sampel air, pH meter, DO kit untuk mengukur kadar oksigen dalam air, secchi disk untuk mengukur kekeruhan air, nampan plastik, pinset, GPS (*Global Poitioning System*), alat tulis, buku identifikasi, kertas label, kertas milimeter blok, kamera, dan mikroskop stereo. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain; alkohol 70% untuk mengawetkan sampel makrozoobentos, sampel air, dan sampel makrozoobentos yang didapatkan.

3.4 Prosedur Penelitian

a. Studi Pendahuluan

Penentuan titik stasiun menggunakan metode *purposive sampling* yaitu berdasarkan kondisi lingkungan, lokasi perairan, jenis substrat dasar sungai, dan aktivitas masyarakat sekitar sungai. Stasiun 1 merupakan kawasan hulu sehingga tingkat pencemarannya masih sedikit. Stasiun 2 merupakan kawasan yang sudah dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar sebagai irigasi dan telah tercemar khususnya oleh limbah persawahan. Stasiun 3 merupakan kawasan hilir yang sudah tercemar oleh limbah rumah tangga dan peternakan karena terletak pada pemukiman padat penduduk.

b. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan secara *purposive sampling* sebanyak 3 kali ulangan pada setiap stasiun dalam 3 minggu. Setiap stasiun menggunakan 3 titik dengan pembagian kiri, tengah, dan kanan sungai. Pengambilan sampel dilakukan pada titik sampling dalam area yang telah ditentukan menggunakan plot berukuran 1 x 1 m. Substrat dasar berupa pasir, lumpur dan batuan kerikil diambil dengan sekop hingga kedalaman ± 20 cm sebanyak 5 kali sesuai Cahyani dkk (2022) kemudian substrat diayak menggunakan ayakan berukuran 18 mesh. Spesimen makrozoobentos disortir menggunakan tangan (*hand sorting*) sesuai metode Rizka dkk (2016). Makrozoobentos yang menempel pada bebatuan diambil dengan cara dilakukan penyikatan agar dapat memisahkan makrozoobentos dengan bebatuan tersebut. Setelah itu spesimen makrozoobentos dimasukkan ke dalam botol vial yang telah diisi dengan alkohol 70% untuk pengawetan sesuai Machrizal dkk (2020). Selanjutnya botol vial diberi kertas label agar sampel tidak tertukar pada setiap stasiun dan ulangan.

c. Identifikasi Spesimen Makrozoobentos

Spesimen makrozoobentos yang ditemukan diidentifikasi menggunakan mikroskop stereo di Laboratorium Ekologi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya. Identifikasi spesimen makrozoobentos dilakukan hingga ke tingkat genus. Dicatat ciri-ciri morfologi dan dicocokkan dengan literatur dari (Ozcok dkk 2011),

(Whelan dan Strong, 2015), dan (Ruvusofa dkk 2017). Jumlah spesimen yang ditemukan dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Perekam data

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

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

d. Pengukuran Parameter Fisika-Kimia Air

Perlakuan pengambilan sampel air dalam pengujian sifat fisika-kimia air dilakukan di pagi hari sebelum pengambilan sampel makrozoobentos. Pengukuran parameter suhu dilakukan menggunakan bantuan alat termometer yaitu dengan cara memasukkan ujung bawah termometer ke dalam sampel air tanpa menyentuh dasar wadah sampel tersebut. Pengukuran parameter pH air menggunakan bantuan alat pH meter yaitu dengan cara menekan tombol on pada pH meter lalu masukkan pH meter ke dalam wadah yang berisi sampel air yang diuji. Parameter TDS (*Total Dissolved Solid*) menggunakan bantuan alat TDS meter yaitu dengan cara menekan tombol on hingga panel TDS meter menunjukkan angka 0000 lalu celupkan ujung TDS meter pada sampel air yang diuji, dan Parameter DO (*Density Oxygen*) menggunakan bantuan alat DO kit yaitu dengan cara memasukkan air sampel pada botol sampel lalu ditetesi dengan buret dan oksigen teralrut dan hasil perubahan warnanya dicocokkan menggunakan kartu kolorimetri. Parameter kecerahan air menggunakan sacchi disk yaitu dengan cara menurunkan secchi disk pada perairan secara pelan-pelan hingga tidak terlihat lalu tali tersebut ditandai dengan karet gelang dan diukur panjang tali kemudian dicatat sebagai D1.

Secchi disk dimasukkan ke perairan kembali hingga tidak terlihat kemudian ditarik secara pelan-pelan hingga tampak lalu diberi tanda dan dihitung panjang tali tersebut kemudian dicatat sebagai D2.

e. Kesehatan Habitat Sungai dan Bantarannya

Pemeriksaan kesehatan habitat sungai meliputi kondisi substrat, vegetasi bantaran sungai, dasar sungai, modifikasi sungai, tingkat sedimentasi, dan aktivitas manusia di sekitar sungai. Pengamatan habitat dilakukan pada jarak pandang radius 100 meter dan meliputi gambaran umum habitat yang diamati. Pemberian skor terhadap setiap parameter habitat yang diamati dapat dilihat pada tabel 3.4 sebagai berikut:

Tabel 3.4 Pemeriksaan Kesehatan Habitat Sungai

No	Parameter	Skor			Skor
		1	2	3	
1.	Apakah terdapat pengalihan air?	Bendungan dan jenis pengalihan air yang lain tidak terdapat pada sungai atau memiliki efek minimal. Jumlah air dan jenis substrat pada sungai dipengaruhi musim	Air mengisi 25-75% aliran sungai dan jenis substrat berpasir banyak ditemukan	Sangat sedikit air dalam aliran sungai. Sebagian besar air terletak pada kubangan	
2.	Apakah terdapat perubahan saluran akibat substrat yang dikeruk?	Tidak terdapat pengerukan sungai	Perubahan saluran terjadi secara luas, dan 20 – 50% jangkauan sungai disalurkan dan terganggu. Pengerukan mempengaruhi ~ 1% habitat	Tepi sungai ditopang dengan bronjong atau semen. >50% aliran sungai terganggu. Pengerukan mempengaruhi >1% habitat	
3	Bagaimana kondisi tebing sungai bagian kiri?	Sungai stabil. Bekas erosi pada tebing sungai tidak terdapat atau minimal. <5	Sungai cukup tidak stabil. 30 – 60% tepi sungai terkena erosi. Tepi	Sungai tidak stabil. Area sungai banyak yang terkikis. 60 – 100% tepi	

		– 30% sungai terkena dampak oleh erosi	sungai memiliki kemungkinan terkena erosi lebih tinggi saat musim penghujan	sungai memiliki bekas erosi.
4	Bagaimana kondisi tebing sungai bagian kanan?	Sungai stabil. Bekas erosi pada tebing sungai tidak terdapat atau minimal. <5 – 30% sungai terkena dampak oleh erosi	Sungai cukup tidak stabil. 30 – 60% tepi sungai terkena erosi. Tepi sungai memiliki kemungkinan terkena erosi lebih tinggi saat musim penghujan	Sungai tidak stabil. Area sungai banyak yang terkikis. 60 – 100% tepi sungai memiliki bekas erosi.
5	Bagaimana kondisi vegetasi yang melindungi tepi sungai bagian kiri?	>90% dari tepi sungai dan zona sempadan sungai tertutup oleh vegetasi asli, berupa pepohonan, tumbuhan semak belukar, atau tanaman tidak berkayu. Gangguan vegetative melalui penggembalaan, pembukaan lahan, perkebunan pohon, atau pertanian minimal (<5%) atau tidak ada. >50% tanaman dibiarkan tumbuh secara alami.	50 – 90% dari tepi permukaan sepanjang aliran sungai tertutup oleh vegetasi asli. Beberapa gangguan terhadap vegetasi asli terlihat jelas dengan bercak-bercak tanah gundul atau vegetasi yang dipotong meliputi 5 – 10%	<50% dari tepi sungai permukaan ditutupi oleh vegetasi. Terganggunya vegetasi sungai sangat tinggi, setidaknya 70% vegetasi telah dihilangkan seperti ditebang, diganti dengan pertanian, penggembalaan atau perkebunan pohon (>10%)
6.	Bagaimana kondisi vegetasi yang melindungi tepi sungai bagian kanan?	>90% dari tepi sungai dan zona sempadan sungai tertutup oleh vegetasi asli, berupa pepohonan, tumbuhan semak belukar,	50 – 90% dari tepi permukaan sepanjang aliran sungai tertutup oleh vegetasi asli. Beberapa gangguan	<50% dari tepi sungai permukaan ditutupi oleh vegetasi. Terganggunya vegetasi sungai sangat tinggi, setidaknya 70%

	atau tanaman tidak berkayu. Gangguan vegetative melalui penggembalaan, pembukaan lahan, perkebunan pohon, atau pertanian minimal (<5%) atau tidak ada. >50% tanaman dibiarkan tumbuh secara alami.	terhadap vegetasi asli terlihat jelas dengan bercak-bercak tanah gundul atau vegetasi yang dipotong meliputi 5 – 10%	vegetasi telah dihilangkan seperti ditebang, diganti dengan pertanian, penggembalaan atau perkebunan pohon (>10%)
7. Seberapa luas vegetasi riparian tepi sungai bagian kiri?	Lebar sempadan sungai lebih dari 15 meter. Aktivitas manusia tidak berdampak pada zona riparian.	Lebar sempadan sungai 6-15 meter dan aktivitas manusia berdampak pada zona riparian	Lebar sempadan sungai kurang dari 6 meter dan tidak terdapat tumbuhan alami di sempadan akibat tingginya aktivitas manusia
8. Seberapa luas vegetasi riparian tepi sungai bagian kanan?	Lebar sempadan sungai lebih dari 15 meter dan aktivitas manusia tidak berdampak pada zona riparian	Lebar sempadan sungai 6-15 meter dan aktivitas manusia berdampak pada zona riparian	Lebar sempadan sungai kurang dari 6 meter dan tidak terdapat tumbuhan alami di sempadan akibat tingginya aktivitas manusia
9. Seberapa besar tingkat fluktuasi air?	Diskusi dengan masyarakat setempat menunjukkan bahwa air sungai hanya berfluktuasi secara musiman dari fenomena alam, seperti curah hujan	Diskusi dengan masyarakat setempat menunjukkan bahwa air sungai berfluktuasi sesekali (<1 per bulan) dari pengalihan air dari hulu tetapi tidak pernah > 20cm	Diskusi dengan masyarakat setempat menunjukkan bahwa air sungai berfluktuasi setiap hari hingga mingguan, terkadang fluktuasi mencapai 1 m.
10. Apa saja aktivitas manusia pada lokasi	Sedikit bukti adanya aktivitas manusia. Seperti sedikit atau	Terdapat aktivitas manusia (<5%)	Terdapat aktivitas manusia (>5%) berupa

sekitar sungai? Seberapa luas jarak aktivitas tersebut?	bahkan terdapat pertanian, penggembalaan, pembuangan limbah, atau sampah rumah tangga, kegiatan berperahu, dll.	tidak pertanian, pertambangan, penggembalaan hewan, pembuangan limbah rumah tangga, aktivitas berperahu, dan lain lain	pertanian, pertambangan, penggembalaan hewan, pembuangan limbah rumah tangga, aktivitas berperahu, dan lain lain
--	---	--	--

Sumber: Resh dkk, 2010

3.5 Analisis Data

Data yang didapatkan saat penelitian kemudian diidentifikasi dan dianalisis menggunakan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H'), indeks dominansi, indeks keseragaman dan *Family Biotic Index*.

3.5.1 Indeks Keanekaragaman

Penghitungan tingkat keanekaragaman spesies berdasarkan rumus Indeks Shannon-Wiener di bawah ini :

$$H' = -\sum ni/N \ln ni/N$$

Keterangan:

H' = Indeks Keanekaragaman

ni = Jumlah individu suatu spesies

N = Jumlah individu seluruh spesies

3.5.2 Indeks Dominansi

Penghitungan tingkat dominansi berdasarkan rumus Indeks Simpson dengan rumus (Arfiati dkk, 2019) di bawah ini:

$$D = \sum (ni/N)^2$$

Keterangan:

D = Dominansi

ni = Jumlah individu suatu spesies

N = Jumlah individu seluruh spesies

3.5.3 Indeks Keseragaman

Penghitungan tingkat keseragaman berdasarkan rumus Evennes-Indeks dengan rumus (Odum, 1971 .) di bawah ini:

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

Keterangan:

E = Indeks Keseragaman

H' = Indeks Keanekaragaman

S = Jumlah Spesies

3.5.4 Family Biotic Index

Family Biotic Index (FBI) adalah salah satu metode indeks biotik yang sering digunakan dalam melakukan penilaian pada status perairan dengan menggunakan indikator berupa keberadaan dari makroinvertebrata berdasarkan familinya (Rustiasih dkk, 2018). Kualitas perairan dapat diukur dengan rumus penghitungan metode FBI (Hilsenhoff, 1988) dibawah ini:

$$FBI = \frac{\sum n_i \times t_i}{\sum N}$$

Keterangan:

FBI = *Family Biotic Index*

N = Jumlah total famili

t_i = Nilai toleransi famili

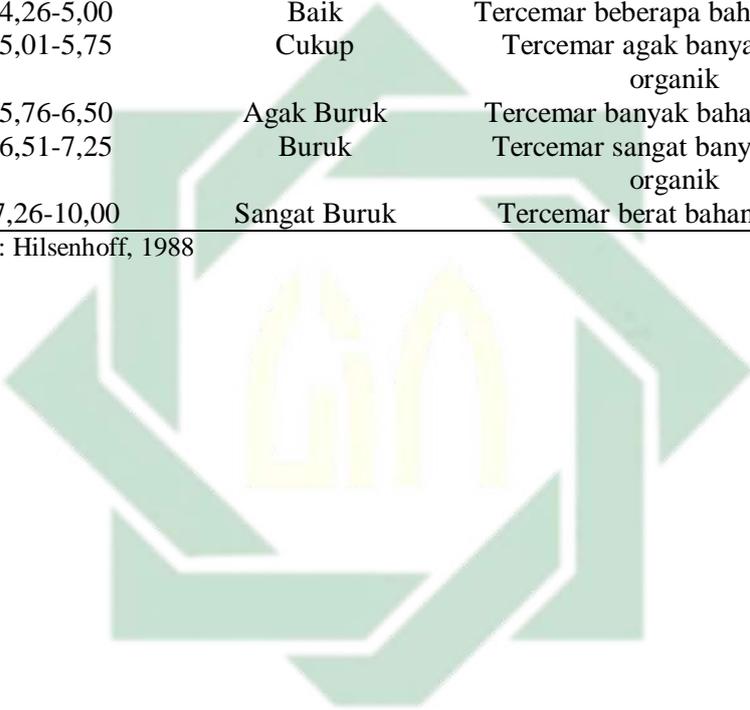
n_i = Jumlah individu famili

Dapat dilihat pada tabel derajat pencemaran yang berada di perairan dengan berdasarkan nilai FBI yang telah didapatkan.

Tabel 3.5 Tingkat Pencemaran Berdasarkan *Family Biotic Indeks* (FBI)

Nilai <i>Family Biotic Index</i>	Klasifikasi	Tingkat Pencemaran
0,00-3,75	Sangat Baik	Tidak tercemar bahan organik
3,76-4,25	Baik Sekali	Sedikit tercemar bahan organik
4,26-5,00	Baik	Tercemar beberapa bahan organik
5,01-5,75	Cukup	Tercemar agak banyak bahan organik
5,76-6,50	Agak Buruk	Tercemar banyak bahan organik
6,51-7,25	Buruk	Tercemar sangat banyak bahan organik
7,26-10,00	Sangat Buruk	Tercemar berat bahan organik

Sumber: Hilsenhoff, 1988



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Identifikasi Spesimen Makrozoobentos

Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan di Kali Pacal, Kabupaten Bojonegoro pada tanggal 23 Februari 2023 sampai 17 Maret 2023 maka diperoleh makrozoobentos dengan jumlah total 294 individu yang terdiri 6 Ordo dengan 8 spesies. Hasil dari identifikasi diketahui jumlah spesies yang paling banyak ditemukan yaitu spesies *Pleurocera* sp dengan jumlah 144 individu yang dijumpai pada stasiun 1 dan 2. Pada stasiun 3 spesies yang paling banyak dijumpai adalah *Tubifex* sp dengan jumlah 53 individu. Spesies yang ditemukan dalam jumlah sedikit antara lain: *Atherix* sp, *Baetis* sp, dan *Parathelphusa convexa*.

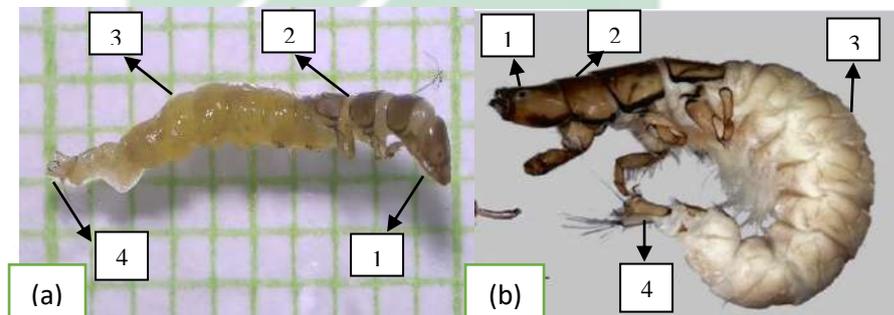
Tabel 4.1 Hasil Pengamatan Makrozoobentos di Kali Pacal

No	Ordo	Famili	Spesies	Stasiun		
				I	II	III
1	Clitellata	Tubificidae	<i>Tubifex</i> sp	0	0	53
2	Decapoda	Gecarcinucidae	<i>Parathelphusa convexa</i>	0	2	3
3	Diptera	Psychodidae	<i>Psychoda</i> sp	17	15	0
4	Diptera	Chironomidae	<i>Diamesa</i> sp	21	14	0
5	Diptera	Athrecidae	<i>Atherix</i> sp	1	0	0
6	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetis</i> sp	2	4	0
7	Neotaenioglae	Pleuroceridae	<i>Pleurocera</i> sp	75	69	0
8	Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i> sp	12	6	0
	Jumlah			128	110	56

(Dokumentasi Pribadi, 2023)

Identifikasi spesimen makrozoobentos yang terdapat di Kali Pacal, Bojonegoro dilakukan hingga tingkat genus berdasarkan morfologinya menggunakan buku literatur dari Oscoz dkk (2011), Ruvusofa dkk (2017), Whelan dan Strong (2015), dan Susilo dkk (2010) di Laboratorium Taksonomi UIN Sunan Ampel Surabaya. Berikut deskripsi morfologi dan klasifikasi setiap spesimen makrozoobentos yang ditemukan:

a) *Hydropsyche* sp



Gambar 4.1 a) *Hydropsyche* sp; 1) Kepala; 2) Thorax; 3) Abdomen; 4) Ekor
Sumber: a) Dokumen Pribadi (2023); b) Gambar literatur Oscoz dkk (2011).

Spesimen ini memiliki panjang 10 mm. Terdapat tiga segmen thorax dan pada bagian punggung yang ditutup oleh lempengan tersklerotisasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1. Spesimen ini memiliki tiga pasang kaki yang terletak pada ketiga ruas thorax, diikuti dengan abdomen berwarna putih tulang yang berjumlah 8 ruas dan terdapat ekor yang bercabang dua. Berdasarkan ciri-ciri morfologi tersebut, spesimen ini memiliki kemiripan dengan morfologi yang dimiliki oleh famili Hydropsychidae. Ciri khusus yang dimiliki dari famili Hydropsychidae adalah ketiga segmen thorax yang diselubungi lapisan berwarna hijau kecoklatan (Oscoz dkk, 2011).

Famili Hydropsychidae merupakan sekelompok organisme *caddisflies* tanpa selubung yang mencari makan menggunakan jaring. Famili ini dapat ditemukan pada habitat yang memiliki perairan mengalir dan memiliki toleransi terhadap pencemaran secara organik yang dapat memberi nutrisi dalam jumlah tinggi. Hydropsychidae bergerak dengan cara menggunakan merangkak menggunakan kaki dan cakar dan dapat mengambang. Spesies ini biasanya tinggal pada bawah bebatuan. *Hydropsyche* sp memiliki warna hijau, pucat atau coklat (Ruvusofa, 2017).

Klasifikasi *Hydropsyche* sp sebagai berikut (Pictet, 1834):

Kingdom : Animalia

Filum : Arthropoda

Kelas : Insecta

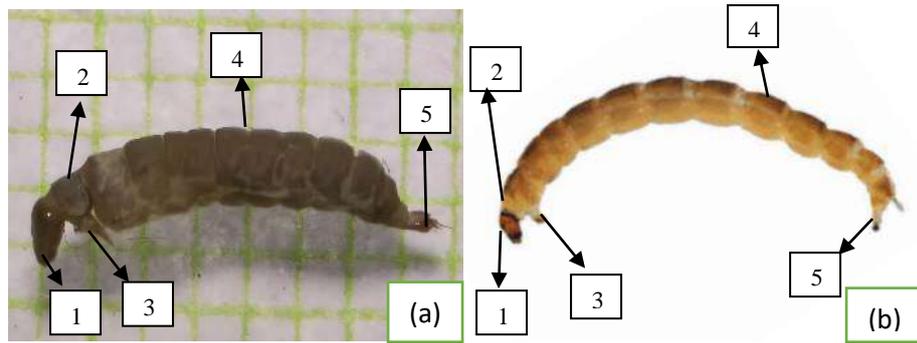
Ordo : Trichoptera

Famili : Hydropsychidae

Genus : *Hydropsyche*

Spesies : *Hydropsyche* sp

b) *Diamesa* sp



Gambar 4.2 a) *Diamesa* sp; 1) Kepala; 2) Toraks; 3) Prolegs; 4) Abdomen; 5) Ekor
Sumber: a) Dokumen Pribadi, (2023); b) Gambar literatur Ruvusofa dkk, (2017)

Spesimen ini mempunyai panjang 8 mm, bentuk tubuhnya panjang ramping silindris, ukuran kepalanya tergolong kecil dibandingkan tubuhnya, mempunyai prolegs yang jika dilihat nampak menyatu dengan toraks dekat kepala, serta sepasang prolegs lain pada bagian ujung abdomen. Spesimen ini memiliki warna gelap kecoklatan. Berdasarkan ciri-ciri morfologi tersebut, maka spesimen ini memiliki kemiripan dengan famili Chironomidae. Famili Chironomidae memiliki karakteristik khusus berupa tubuhnya silindris dan mempunyai dua prolegs, prolegs pertama terdapat pada area toraks dan prolegs kedua terdapat pada area anal (Oscoz dkk, 2011).

Larva dari famili Chironomidae dikategorikan dalam kelompok makan pengumpul, predator, penyaring, pengikis, dan penghancur. Larva ini sering dijumpai pada vegetasi perairan, substrat berpasir, dibalik bebatuan sungai dan dasar danau berlumpur. Larva ini terdistribusi secara global dan dapat ditemukan pada semua habitat akuatik dan semiakuatik. *Diamesa* merupakan salah satu spesies dari famili Chironomidae yang dapat beradaptasi pada kondisi lingkungan sedikit tercemar (Ruvusofa dkk, 2017).

Klasifikasi *Diamesa* sp sebagai berikut (Meigen, 1835):

Kingdom : Animalia

Filum : Arthropoda

Kelas : Insecta

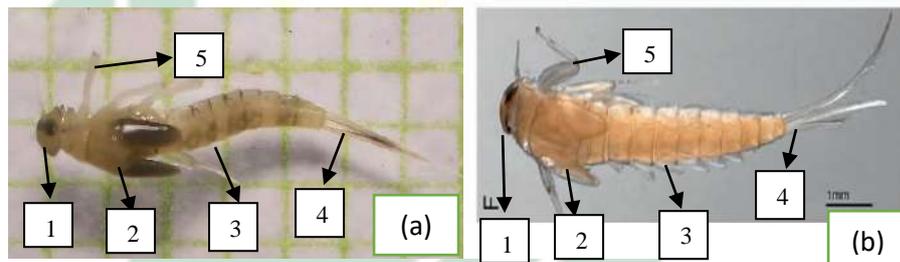
Ordo : Diptera

Famili : Chironomidae

Genus : *Diamesa*

Spesies : *Diamesa* sp

c) *Baetis* sp



Gambar 4.3 a) *Baetis* sp; 1) Kepala; 2) Insang; 3) Abdomen; 4) Ekor; 5) Kaki

Sumber: a) Dokumen Pribadi (2023); b) Gambar literatur Oscoz dkk (2011)

Spesimen ini mempunyai panjang 8 mm dengan bentuk tubuh yang runcing ke bawah, memiliki sembilan segmen abdomen, tubuhnya berwarna coklat pucat, mata yang berjumlah sepasang, insang berbentuk daun di kedua sisi abdomen, kaki tiga pasang, antena pada spesimen ini lebih panjang dibandingkan kepalanya, dan terdapat ekor yang bercabang tiga. Berdasarkan ciri-ciri morfologi tersebut, maka spesimen ini memiliki kemiripan dengan famili Baetidae.

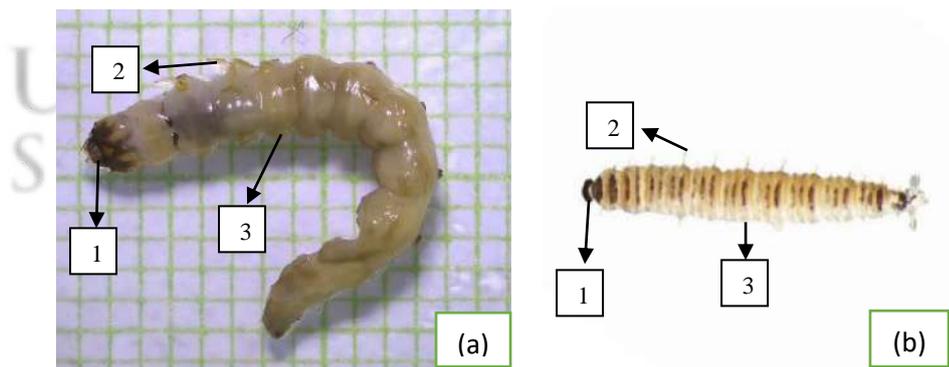
Menurut Ruvusofa dkk (2017), Famili Baetidae ukuran tubuhnya berkisar antara 5-9 mm. Tubuhnya yang memiliki bentuk fusiform berfungsi agar

spesies dari famili ini dapat berenang untuk melawan arus dalam waktu singkat. Terdapat ekor yang jumlahnya tiga. Pada bagian abdomennya terdapat insang (*gills*). Sehingga dapat diketahui bahwa spesies ini merupakan *Baetis* sp.

Klasifikasi *Baetis* sp sebagai berikut (Leach, 1815):

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

d) *Psychoda* sp



Gambar 4.4 a) *Psychoda* sp; 1) Cephalothorax; 2) Kaki; 3) Abdomen

Sumber: a) Dokumen Pribadi (2023); b) Gambar literatur Ruvusofa dkk (2017)

Spesimen ini mempunyai bentuk tubuh dorsoventral pipih dengan bentuk silindris. Bagian kepalanya tereduksi dengan bagian toraks. Spesimen ini

memiliki tubuh yang terdiri dari 11 segmen dan berwarna coklat. Terdapat sifon pada akhir segmen yang berfungsi untuk membantu pernapasan. Berdasarkan ciri-ciri morfologi tersebut, maka spesimen ini memiliki kemiripan dengan famili Psychodidae. Menurut Griffith dan Kaufman (2018) Larva *Psychoda* sp menyerupai larva nyamuk, memiliki bentuk ramping, memiliki warna putih hingga coklat krem dengan bentuk kepala yang berbeda, bagian mulutnya berkembang dengan baik dan sifon terlihat jelas. Tubuhnya terdiri dari 11 segmen dan pada dua segmen terakhirnya terdapat sifon pernapasan berpasangan yang dilindungi oleh empat papilia trakea. Pada bagian belakang (dorsum) segmen larva kedua, terdapat dua sifon penapasan tambahan yang dianggap tidak berfungsi. *Psychoda* sp dapat menggunakan sifon untuk bertahan dalam kondisi rendah oksigen.

Klasifikasi *Psychoda* sp sebagai berikut (Latreille, 1979):

Kingdom : Animalia

Filum : Arthropoda

Kelas : Insecta

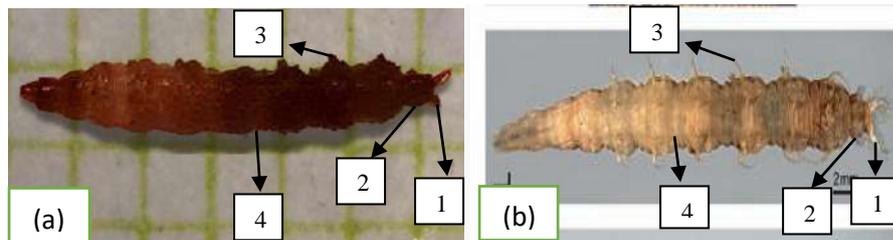
Ordo : Diptera

Famili : Psychodidae

Genus : *Psychoda*

Spesies : *Psychoda* sp

e) *Atherix* sp



Gambar 4.5 a) *Atherix* sp; 1) Antena; 2) Cephalothorax; 3) Kaki; 4) Abdomen
Sumber: a) Dokumen Pribadi (2023); b) Gambar literatur Oscoz dkk (2011)

Spesimen ini memiliki panjang 10 mm dengan ciri bentuk tubuh memanjang silindris dengan warna gelap kecoklatan. Terdapat dua rumbai yang melekat pada ujung abdomen. Spesimen ini dapat merenggangkan bagian kepalanya. Pada setiap abdomen terdapat kaki berpasangan. Berdasarkan ciri-ciri morfologi tersebut, maka spesimen ini memiliki kemiripan dengan famili Athericidae. Menurut Oscoz dkk (2011), larva dari famili Athericidae mempunyai tubuh dorsoventral, kakinya berpasangan terletak pada segmen perut, bagian kepalanya dapat ditarik ke dalam thoraks, dan terdapat sepasang antena kecil. Athericidae mempunyai kemampuan mengeluarkan racun pada bagian kanal untuk mendapatkan makanannya. Famili ini mudah ditemukan pada semua jenis lingkungan perairan.

Klasifikasi *Atherix* sp sebagai berikut (Meigen, 1803).

- Kingdom : Animalia
- Filum : Arthropoda
- Kelas : Insecta
- Ordo : Diptera
- Famili : Athericidae

Genus : *Atherix*

Spesies : *Atherix* sp

f) *Pleurocera* sp



Gambar 4.6 a) *Pleurocera* sp;

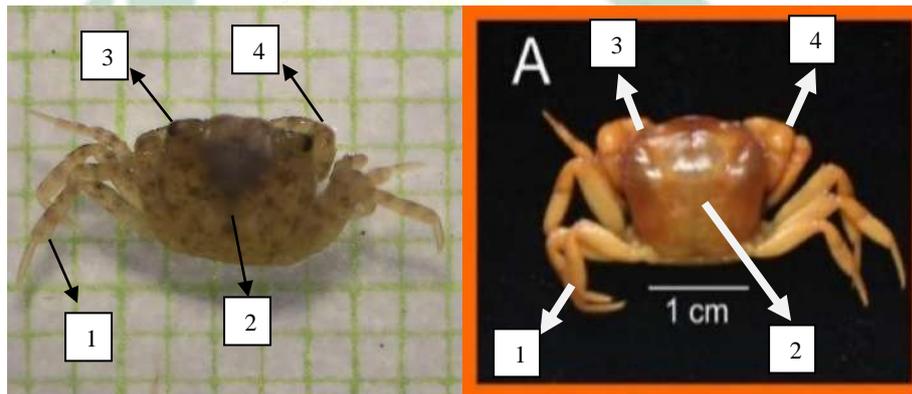
Sumber: a) Dokumen Pribadi (2023); b) Gambar literatur Whelan dan Strong (2015)

Spesimen ini memiliki cangkang memanjang dengan corak hitam kecoklatan, permukaan cangkangnya halus, memiliki apeks tumpul dengan lekuk sifon yang agak lebar. Berdasarkan ciri-ciri morfologi tersebut, maka spesimen ini memiliki kemiripan dengan spesies *Pleurocera* sp. Menurut Whelan dan Strong (2015), *Pleurocera* sp memiliki cangkang yang bentuknya kerucut dengan lubang kanalikulata yang sangat kuat dan tipis. Sinus lebih tipis dengan tingkat perkembangan yang lebih lambat pada fase sebelum dewasa, ulir pertama agak cembung dengan ujung tajam dan menonjol pada ulir bagian tengah, sambungan apikal pada utas berikutnya hampir rapuh, kurva akhir tidak memiliki pahat spiral. *Pleurocera* sp memiliki ukiran aksial *opisthocryt* halus garis pertumbuhan, garis spiral berwarna hitam kecoklatan bisa terlihat atau tidak, periostracum berwarna coklat muda hingga gelap tertutupi oleh warna abu-abu atau hitam.

Klasifikasi *Pleurocera* sp sebagai berikut (Latreille, 1797)

Kingdom : Animalia
Filum : Mollusca
Kelas : Gastropoda
Ordo : Neotaenioglossa
Famili : Pleuroceridae
Genus : *Pleurocera*
Spesies : *Pleurocera* sp

g) *Parathelphusa convexa*



Gambar 4.7 a) *Parathelphusa convexa*; 1) Kaki; 2) Karapas; 3) Mata; 4) Capit
Sumber: a) Dokumen Pribadi (2023); b) Gambar literatur Susilo dkk (2020)

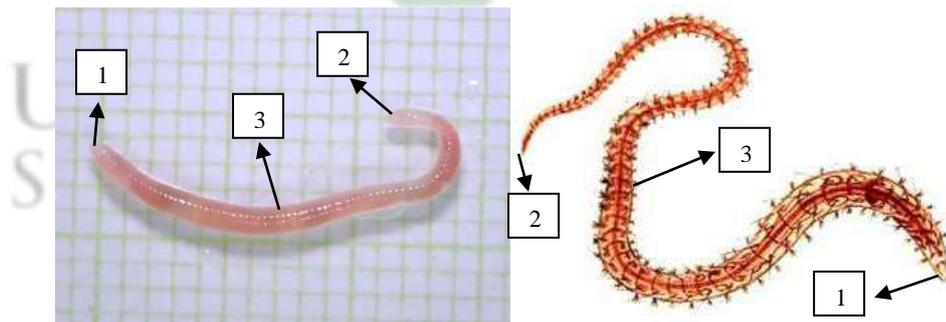
Spesimen ini memiliki sepasang mata yang ukurannya relatif kecil, memiliki warna coklat dengan bintik-bintik pada bagian karapas, kakinya empat pasang dengan warna lebih terang dengan bintik yang sama. Karapasnya berbentuk trapesium dengan permukaan yang cembung. Berdasarkan ciri-ciri morfologi tersebut, maka spesimen ini memiliki kemiripan dengan spesies *Parathelphusa convexa*. *Parathelphusa convexa* merupakan jenis kepiting yang dapat ditemukan dibalik bebatuan pada

perairan sungai yang dangkal. Perut pada individu jantan berbentuk seperti huruf T. Kepiting ini menghabiskan banyak waktunya pada tempat lembab di daerah riparian, tepi sungai, dan terkadang di dalam air (Eprilurahman dkk, 2015).

Klasifikasi *Parathelphusa convexa* sebagai berikut (De Man, 1879):

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda
Kelas : Malacostraca
Ordo : Decapoda
Famili : Gecarcinucidae
Genus : *Parathelphusa*
Spesies : *Parathelphusa convexa*

h) *Tubifex*



Gambar 4.8 a) *Tubifex*; 1) Kepala; 2) Anus; 3) Setae

Sumber: a) Dokumen Pribadi (2023); b) Gambar literatur Baikol (2010)

Spesimen ini memiliki panjang antara 10-30 mm. Tubuh cacing ini sangat ramping, bulat, dan terdiri dari 30-60 segmen. Spesimen ini memiliki kulit yang terlihat transparan apabila dilihat dari mikroskop. Warna tubuhnya

kemerah-merahan karena pada tubuhnya banyak mengandung hemoglobin. Tubuh cacing ini memiliki sekat-sekat kecil teratur. Berdasarkan ciri-ciri morfologi tersebut, maka spesimen ini memiliki kemiripan dengan famili Tubificidae.

Famili Tubificidae merupakan salah satu kelompok hewan cacing-cacingan atau dalam taksonomi digolongkan pada kelompok oligochaeta. Hewan ini pada umumnya dikenal sebagai cacing sutra yang hidup secara berkelompok. *Tubifex* sp memiliki tubuh yang terdiri dari dua lapis otot yang melingkar sepanjang tubuhnya. Terdapat saluran pencernaan yang nampak seperti celah kecil dari mulut menuju anus. Cacing ini umumnya hidup secara berkoloni dan berhabitat di lumpur pada dasar perairan. Cacing ini melakukan pernapasan dengan cara menggerakkan tubuhnya secara bolak-balik untuk memicu terjadinya sirkulasi air sehingga cacing sutra dapat memperoleh oksigen melalui permukaan tubuhnya (Darillia dkk, 2022).

Klasifikasi *Tubifex* sp sebagai berikut (Lamarck, 1816):

Kingdom : Animalia

Filum : Annelida

Kelas : Oligochaeta

Ordo : Clitellata

Famili : Tubificidae

Genus : *Tubifex*

Spesies : *Tubifex* sp

4.2 Indeks Keanekaragaman, Kemerataan, dan Dominansi

4.2.1 Indeks Keanekaragaman

Berdasarkan data yang telah diperoleh selama pengamatan maka dilakukan analisis data berupa indeks keanekaragaman dari 3 stasiun di Kali Pacal, Kabupaten Bojonegoro. Hasil analisis data ditunjukkan seperti tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Hasil Indeks Keanekaragaman di Kali Pacal

No	Stasiun	H'	Keterangan
1	Stasiun 1 (daerah hulu)	1,20	Sedang
2	Stasiun 2 (daerah tengah)	1,17	Sedang
3	Stasiun 3 (daerah hilir)	0,20	Rendah

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

Indeks keanekaragaman dianalisis menggunakan indeks keanekaragaman *Shannon-Wiener*. Hasil perhitungan analisis menunjukkan indeks keanekaragaman makrozoobentos di Kali Pacal, Bojonegoro. Berdasarkan data pada tabel 4.2 hasil indeks keanekaragaman tertinggi terdapat pada stasiun 1 dengan nilai ($H'=1,20$). Menurut Shannon Wiener (1963) dikategorikan pada tingkat keanekaragaman sedang ($1 < H' < 3$) dengan jumlah 129 individu dari 6 spesies. Stasiun ini terletak di daerah dataran tinggi yang memiliki jenis substrat batuan serta pasir, perairan mengalir, terdapat tutupan pohon pada kedua sisi, serta belum banyak terdapat pemukiman namun masih terdapat aktivitas manusia di sekitar sungai namun terdapat aliran selokan yang dibuang ke sungai. Menurut He dkk (2020), menyatakan bahwa daerah dataran tinggi dapat membatasi persebaran sebagian besar jenis makrozoobentos karena temperatur yang rendah dan sumber makanan yang

terbatas. Pada daerah dengan dataran rendah mengalami perubahan morfologi sungai, jenis vegetasi di sekitar sungai, dan kondisi lingkungan yang berdampak pada makrozoobentos. Kondisi lingkungan yang terdapat pada stasiun 1 menunjukkan bahwa aliran ini masih dalam kondisi yang baik sehingga indeks keanekaragamannya lebih tinggi dibandingkan stasiun yang lain.

Nilai indeks keanekaragaman *Shannon-Wiener* terendah terdapat pada stasiun 3 ($H' = 0,20$). Menurut Shannon Wiener (1963) dikategorikan pada tingkat keanekaragaman rendah ($H' > 1$) dengan jumlah 56 individu dari 2 spesies. Nilai indeks keanekaragaman yang rendah dipengaruhi oleh jenis substrat, tinggi rendahnya jumlah spesies, dan ketersediaan pakan. Stasiun 3 merupakan lokasi yang dekat dengan pemukiman sehingga aktivitas manusia pada area ini cenderung tinggi seperti terdapat aktivitas rumah tangga dan peternakan. Hidayah dan Ambarwati (2020) menjelaskan bahwa perbedaan karakteristik pada setiap stasiun dapat mempengaruhi nilai indeks keanekaragaman. Perbedaan kondisi tingkat pencemaran suatu perairan dapat disebabkan oleh aktivitas antropogenik pada sekitar lokasi penelitian. Aktivitas peternakan merupakan salah satu sumber pencemaran yang memberikan dampak signifikan terhadap kualitas air dan tanah. Limbah peternakan dapat menimbulkan polutan bahan organik dan nutrisi sehingga meningkatkan nilai padatan tidak terlarut yang berdampak pada keruhnya air (Chazanah dkk, 2020).

Analisis indeks keanekaragaman (H') digunakan agar dapat mengetahui tingkat kestabilan suatu ekosistem, jika suatu ekosistem memiliki indeks

keanekaragaman tinggi maka ekosistem tersebut stabil sedangkan area yang memiliki indeks keanekaragaman rendah maka ekosistem tersebut tidak stabil (Fachrul, 2007). Jumlah spesies dan individu yang tinggal pada ekosistem tersebut dapat mempengaruhi tinggi rendahnya indeks keanekaragaman pada suatu ekosistem (Mokodompit dkk, 2022).

4.2.2 Indeks Kemerataan

Berdasarkan data yang telah diperoleh selama pengamatan maka dilakukan analisis data berupa indeks kemerataan dari 3 stasiun di Kali Pacal, Kabupaten Bojonegoro. Hasil analisis data ditunjukkan seperti tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Hasil Indeks Kemerataan di Kali Pacal

No	Stasiun	S	ln S	E	Keterangan
1	Stasiun 1 (daerah hulu)	6	1,79	0,67	Cukup Merata
2	Stasiun 2 (daerah tengah)	6	1,79	0,66	Cukup Merata
3	Stasiun 3 (daerah hilir)	2	0,69	0,30	Tidak Merata

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

Indeks kemerataan dianalisis menggunakan indeks kemerataan *Simpson*. Hasil yang didapatkan memiliki korelasi positif dengan indeks keanekaragaman, stasiun 1 memiliki indeks kemerataan tertinggi dengan nilai ($E=0,67$) yang masuk pada kategori cukup merata. Stasiun 3 memiliki indeks kemerataan terendah ($E=0,30$) yang masuk pada kategori tidak merata. Nilai indeks keanekaragaman dan indeks kemerataan memiliki korelasi positif, Hal ini sesuai dengan pernyataan Magurran (2004) bahwa nilai indeks kemerataan berbanding lurus dengan nilai indeks keanekaragaman sehingga apabila nilai keanekaragaman semakin tinggi maka nilai kemerataan semakin meningkat.

Menurut Virgiawan dkk (2015) Kemerataan merupakan pembagian secara merata jumlah individu dari setiap spesies pada suatu ekosistem, dari penjelasan tersebut dapat didefinisikan bahwa suatu area yang memiliki indeks kemerataan tinggi maka pada area tersebut terdapat sumber daya alam yang melimpah dan mendukung keberlangsungan hidup organisme yang berhabitat pada area tersebut seperti makrozoobentos yang lebih banyak ditemukan pada stasiun 1 dan 2 dengan lokasi yang memiliki sungai mengalir, vegetasi pada sekitar sungai, dan jenis substrat berpasir dan bebatuan.

4.2.3 Indeks Dominansi

Berdasarkan data yang telah diperoleh selama pengamatan maka dilakukan analisis data berupa indeks dominansi dari 3 stasiun di Kali Pacal, Kabupaten Bojonegoro. Hasil analisis data ditunjukkan seperti tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Hasil Indeks Dominansi di Kali Pacal

No	Stasiun	Indeks Dominansi	Keterangan
1	Stasiun 1 (daerah hulu)	0,40	Rendah, tidak ada spesies dominan
2	Stasiun 2 (daerah tengah)	0,43	Rendah, tidak ada spesies dominan
3	Stasiun 3 (daerah hilir)	0,89	Tinggi, terdapat spesies dominan

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

Indeks dominansi digunakan untuk mengetahui jenis-jenis makrozoobentos yang dominan pada suatu ekosistem (Suharto, 2017). Nilai indeks dominansi berkisar antara 0 – 1, dimana semakin kecil nilai indeks dominansi maka tidak terdapat spesies yang mendominasi pada ekosistem

tersebut, sebaliknya apabila semakin besar nilai indeks dominansi maka menunjukkan bahwa terdapat dominansi dari spesies tertentu (Odum, 1993). Stasiun 1 memiliki nilai indeks dominansi terendah ($D=0,39$) kemudian stasiun 2 memiliki nilai indeks dominansi sebesar ($D=0,42$) menurut Odum (1993) kedua stasiun ini masuk pada kategori indeks dominansi rendah sedangkan indeks dominansi pada stasiun 3 ($0,84$) masuk pada kategori dominansi tinggi.

Stasiun 1 memiliki indeks dominansi terendah ($D=0,39$) dengan kategori rendah. Karakteristik stasiun ini terdapat perairan mengalir, substrat berupa pasir dengan sedikit lumpur, dan terdapat banyak bebatuan. Jenis makrozoobentos yang banyak ditemukan pada stasiun 1 merupakan *Pleurocera* sp dari kelas Gastropoda yaitu sebanyak 75 individu. Hal ini sesuai dengan pernyataan dari Wiedarti dkk (2014) bahwa *Pleurocera* sp merupakan organisme dari kelompok gastropoda yang cenderung menyukai habitat dengan substrat yang berbatu dengan substrat dasar pasir dan berlumpur. Stasiun 1 juga masih memiliki banyak vegetasi pada sekitar sungai sehingga kebutuhan pakan dari gastropoda tercukupi. Gastropoda yang hidup pada perairan tawar pada umumnya merupakan herbivora yang sebagian besar makanannya lumut dan algae (Hecca dkk, 2017). Jenis substrat dan jumlah kandungan pada substrat mempengaruhi pertumbuhan makrozoobentos karena setiap spesiesnya memiliki tingkat toleransi yang berbeda (Harahap dkk, 2018).

Stasiun 3 memiliki nilai indeks dominansi tertinggi ($D=0,84$) karena pada lokasi ini hanya ditemukan dua spesies yaitu *Tubifex* sp dan *Parathelphusa*

Convexa. Spesies yang mendominasi stasiun 3 adalah *Tubifex* sp sebanyak 53 individu yang merupakan spesies dari kelompok Oligochaeta. Stasiun 3 memiliki karakteristik perairan tenang, jenis substrat berlumpur dimana cacing ini dapat hidup atau toleran terhadap lingkungan perairan yang tercemar polutan organik seperti limbah peternakan yang terdapat pada sekitar area stasiun 3, kandungan pada polutan organik ini menjadi makanan bagi makrozoobentos khususnya *Tubifex* sp sehingga populasi spesies ini melimpah (Arumdani dkk, 2022).

Makrozoobentos berperan sebagai bioindikator kualitas air hal ini dikarenakan setiap famili makrozoobentos memiliki nilai toleransi yang berbeda terhadap pencemaran. Makrozoobentos dapat menjadi bioindikator karena hampir setengah dari fase hidupnya berada di dasar perairan atau substrat (Obot dkk, 2014). Makrozoobentos memegang peranan yang sangat penting dalam siklus nutrisi di perairan dengan melalui rantai makanan dan membantu memecah berbagai macam senyawa organik yang terdapat di perairan (Darmarini dkk, 2021). Stasiun 3 merupakan perairan sungai dengan arus tenang namun memiliki substrat berlumpur sehingga air di sungai tersebut keruh. Kondisi di sekitar stasiun juga mempengaruhi seperti terdapat banyak limbah sampah plastik atau limbah rumah tangga diakibatkan lokasinya yang dekat dengan pemukiman penduduk.

Suatu ekosistem perairan sungai dapat dikatakan baik apabila populasi makrozoobentos yang memiliki toleransi rendah terhadap pencemaran air ditemukan dalam jumlah yang banyak dan beranekaragam. Keseimbangan ekosistem ini dapat menciptakan proses rantai makanan yang baik di

dalamnya. Keseimbangan ekosistem berdasarkan perspektif islam telah dijelaskan oleh Allah dalam Al-Qur'an QS. Al-Qasash ayat 77 berbunyi:

وَأَتَّبِعْ فِيمَا ءَاتَاكَ اللَّهُ الدَّارَ الْآخِرَةَ وَلَا تَنْسَ نَصِيبَكَ مِنَ الدُّنْيَا وَأَحْسِنَ كَمَا أَحْسَنَ اللَّهُ إِلَيْكَ وَلَا تَبْغِ الْفَسَادَ فِي الْأَرْضِ إِنَّ اللَّهَ لَا يُحِبُّ الْمُفْسِدِينَ (٧٧)

Artinya: “Dan carilah (pahala) negeri akhirat dengan apa yang telah dianugerahkan Allah kepadamu, tetapi janganlah kamu lupakan bagianmu di dunia dan berbuatbaiklah (kepada orang lain) sebagaimana Allah telah berbuat baik kepadamu, dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi. Sungguh, Allah tidak menyukai orang yang berbuat kerusakan” (Q.S Al-Qasash (28) ayat 77).

Ayat diatas menjelaskan bahwa Allah SWT telah menciptakan bumi dengan sebaik-baiknya dalam keadaan seimbang, dengan memberi sebuah peringatan kepada kita sebagai makhluk ciptaannya agar senantiasa berbuat baik kepada sesama. Menurut tafsir Al-Misbah, Shihab (2009) “Manfaatkan sebagian kekayaan dan karunia yang telah diberikan oleh Allah kepadamu pada jalan kebaikan dan menjadi amal baik untuk bekal di akhirat. Nikmatilah segala sesuatu yang halal di dunia yang telah Allah berikan. Berbuat baiklah kepada sesama hamba Allah sebagaimana Allah berbuat baik kepadamu dengan segala nikmat yang telah diberikan. Dan janganlah kamu membuat kerusakan di bumi dengan melanggar batas-batas Allah. Sesungguhnya Allah tidak meridai orang-orang yang merusak dengan perbuatan tercela tersebut. Pada kata *أَحْسِنَ* *ahsin* yang memiliki arti hasan atau baik bertujuan yaitu mencakup segala sesuatu yang dikerjakan dengan kebaikan mulai dari lingkungan sekitar, tumbuhan, hewan, manusia, baik orang lain maupun diri sendiri. Hal ini dapat disimpulkan bahwa kita sebagai makhluk ciptaan Allah harus senantiasa berbuat baik kepada sesama makhluk hidup termasuk

manjaga alam sekitar seperti ekosistem perairan dengan cara menjaga kebersihan sungai yang menjadi habitat makrozoobentos.

Berdasarkan pengukuran parameter fisika dan kimia pada air Kali Pacal, Bojonegoro, didapatkan nilai dari setiap stasiun pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.5 Parameter Fisika Kimia Lingkungan

No	Faktor Abiotik	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3
1	Suhu (°C)	28,4	27,8	28,6
2	pH	7,8	7,5	7,9
3	DO (mgO /L)	4,57	3,31	3,05
4	TDS (mg/L)	336	357	413
5	Kecerahan (cm)	45	30	22

Sumber: Dokumen Pribadi, 2023

Hasil pengukuran parameter fisika-kimia lingkungan perairan di Kali Pacal yang dilaksanakan pada bulan Februari – Maret 2023. Berdasarkan data pengukuran parameter fisika-kimia pada tabel 4.5 maka secara keseluruhan perairan tersebut masih memenuhi baku mutu perairan sesuai dengan kategori sungai berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 yang tertera pada tabel 2.1.

Hasil pengukuran suhu air di Kali Pacal berkisar antara 27,8 – 28,6°C, dengan suhu terendah terdapat pada stasiun 2 dan suhu tertinggi pada stasiun 3. Secara keseluruhan suhu air pada seluruh stasiun di Kali Pacal tergolong optimal. Suhu yang baik organisme perairan berkisar antara 25 – 30°C optimalnya pada suhu 27°C (Ruswahyuni, 2010). Suhu perairan mempengaruhi laju pertumbuhan, mortalitas, dan persebaran makrozoobentos. Peningkatan suhu yang terlalu tinggi pada ekosistem perairan dapat menyebabkan penurunan populasi makrozoobentos, selain itu

peningkatan suhu juga mempengaruhi kadar oksigen terlarut pada perairan, mempercepat laju metabolisme, dan respirasi organisme perairan (Pamuji dkk, 2015).

Hasil pengukuran parameter tingkat keasaman (pH) berkisar antara 7,5 – 7,9. Secara keseluruhan pH pada seluruh stasiun masih tergolong optimal. Menurut Fagbayide dan Abulude (2018), jumlah pH optimal pada air sungai berkisar antara 6,5 sampai 8,5. Nilai pH pada perairan sungai sangat berpengaruh terhadap makrozoobentos yang dapat bertahan hidup pada perairan tersebut. Nilai pH tertinggi pada stasiun 3 merupakan area dekat dengan peternakan yaitu sebesar 7,9 pada stasiun ini makrozoobentos yang ditemukan hanya dua spesies. Hal ini dapat disebabkan oleh limbah peternakan yang masuk pada aliran sungai sehingga zat organik dan anorganik yang bersifat toksik menyebabkan peningkatan nilai pH (Sinambela dan Sipayung, 2015). Derajat keasaman (pH) yang tinggi dan melebihi batas toleransi dapat menyebabkan penurunan jumlah individu makrozoobentos (Agustiningsih, 2012).

Hasil pengukuran parameter DO di Kali Pacal, berkisar antara 2,84 – 4,57 mg/L. Secara keseluruhan nilai DO pada setiap stasiun masih memenuhi standar jumlah optimal, hanya stasiun 3 yang memiliki jumlah DO terlalu rendah. Nilai DO yang dapat menunjang kehidupan organisme perairan berkisar antara 3 – 6 mg/L (Gupta dkk, 2017). Stasiun 3 yang didominasi oleh spesies *Tubifex* sp dikarenakan organisme ini tahan terhadap perairan tercemar dan menjadi salah satu spesies indikator dicirikan dengan oksigen terlarut rendah (Fisesa dkk, 2014). Tingginya nilai DO pada stasiun 1 dan 2

disebabkan karena stasiun ini memiliki jenis perairan mengalir. Menurut Pasingi dkk (2014) perairan mengalir memiliki nilai kandungan oksigen terlarut yang lebih tinggi disebabkan pergerakan air dapat membuat terjadinya difusi oksigen dari udara ke air. Nilai DO juga dipengaruhi oleh jumlah intensitas cahaya yang masuk ke dalam perairan agar dapat terjadi proses fotosintesis oleh organisme autotrof. Konsentrasi oksigen dapat meningkat seiring dengan penurunan suhu pada perairan (Fadilla dkk, 2021). Parameter DO digunakan sebagai tolak ukur kualitas suatu perairan, semakin tinggi nilai DO maka semakin baik kualitas perairan tersebut (Prahutama, 2013).

Hasil pengukuran parameter TDS berkisar antara 336 – 413 ppm. Nilai tertinggi pada stasiun 3 dan terendah pada stasiun 1. Nilai TDS pada seluruh stasiun cenderung masih dalam batas. TDS merupakan parameter yang menunjukkan jumlah konsentrasi padatan terlarut seperti bahan anorganik maupun organik seperti nitrat, natrium, kalsium, magnesium, dan karbonat (Rusni, 2019). Nilai TDS pada stasiun 3 cenderung tinggi dibandingkan stasiun yang lain karena berada pada daerah pemukiman dan terdapat aktivitas peternakan. Hal ini sesuai dengan Fadilla dkk (2021) menyatakan bahwa kadar TDS yang tinggi dapat dipengaruhi oleh aktivitas masyarakat sekitar pada aliran sungai seperti pembuangan limbah pertanian, peternakan, dan rumah tangga. Stasiun 3 yang didominasi oleh spesies *Tubifex* sp disebabkan oleh tingginya konsentrasi TDS pada aliran tersebut. *Tubifex* sp dapat tumbuh dengan baik dan mendominasi pada perairan yang memiliki konsentrasi TDS yang tinggi (Husnah dkk, 2007).

Hasil pengukuran parameter kecerahan berkisar antara 22 – 45 cm. Nilai tertinggi terdapat pada stasiun 1 dan terendah pada stasiun 3. Semakin tinggi nilai parameter kecerahan air menunjukkan daya tembus cahaya matahari yang masuk ke dalam perairan. Parameter kecerahan digunakan untuk menyatakan sebagian dari cahaya matahari yang menembus ke air. Jumlah cahaya matahari yang masuk ke dalam perairan sangat penting karena digunakan oleh organisme autotrof seperti alga dan fitoplankton agar dapat melakukan fotosintesis (Saragi, 2021). Nilai kecerahan perairan merupakan cerminan dari banyaknya bahan-bahan yang tersuspensi pada perairan seperti tanah liat, debu, plankton, zat organik, dan organisme renik (Fisesa dkk, 2014).

4.3 Family Biotic Index

Family Biotic Index digunakan untuk mengetahui tingkat toleransi terhadap pencemaran dari setiap famili makrozoobentos yang ditemukan pada ketiga stasiun sehingga dapat diketahui tingkat pencemaran pada stasiun yang diteliti. Nilai toleransi *Family Biotic Index* dari setiap famili yang ditemukan ditunjukkan pada tabel 4.5 sebagai berikut:

Tabel 4.6 Hasil *Family Biotic Index* di Kali Pacal

No	Stasiun	<i>Family Biotic Index</i>	Keterangan
1	Stasiun 1 (daerah hulu)	5,74	Tercemar agak banyak bahan organik
2	Stasiun 2 (daerah tengah)	6,32	Tercemar banyak bahan organik
3	Stasiun 3 (daerah hilir)	7,89	Tercemar berat bahan organik

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

Berdasarkan tabel 4.8 nilai *Family Biotic Index* makrozoobentos pada seluruh stasiun berkisar antara 5,74 – 7,89. Stasiun 1 memiliki nilai FBI terendah dengan nilai 5,74 yang masuk pada kategori kualitas air cukup dengan tingkat pencemaran tercemar agak banyak bahan organik. Stasiun 2 memiliki nilai FBI sebesar 6,32 yang masuk pada kategori kualitas air agak buruk dengan tingkat pencemaran tercemar banyak bahan organik. Stasiun 3 memiliki nilai FBI tertinggi dengan nilai 7,89 yang masuk pada kategori kualitas air sangat buruk dengan tingkat pencemaran tercemar berat bahan organik.

Stasiun 1 dan 2 didominasi makrozoobentos dari kelas gastropoda karena memiliki toleransi yang baik dengan kondisi perairan tercemar hingga tercemar berat (Dwitawati dkk, 2015). Nilai *Family Biotic Index* yang rendah pada stasiun 1 dikarenakan pada lokasi ini ditemukan famili makrozoobentos yang memiliki tingkat toleransi yang rendah seperti Athericidae dengan nilai toleransi 2, Rhyacophlidae dengan nilai toleransi 0, dan Baetidae dengan nilai toleransi 4. Tingkat pencemaran suatu perairan dapat diukur menggunakan nilai *Family Biotic Index* tanpa harus dilakukan pengukuran kandungan senyawa organik pada perairan tersebut. Semakin tinggi nilai FBI pada suatu perairan maka semakin menurun pula kualitas perairan tersebut (Hilsenhoff, 1988). Skor toleransi mulai dari 0 diberikan kepada makrozoobentos yang tidak toleran terhadap limbah organik, sedangkan skor toleransi 10 diberikan kepada makrozoobentos yang toleran terhadap limbah organik (Mandaville, 2002).

Salah satu makrozoobentos yang ditemukan pada stasiun 1 adalah *Baetis* yang berasal dari famili Baetidae. *Baetis* merupakan makrozoobentos yang berasal dari Ordo Ephemeroptera yang umumnya sensitif terhadap pencemaran (Febriantoro dkk, 2014). Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Nangin dkk (2015) bahwa anggota Genus *Baetis* dapat ditemukan pada sungai dengan substrat batuan yang belum tercemar dan dapat menjadi bioindikator bahwa perairan tersebut bersih. Genus *Baetis* menyukai habitat perairan yang memiliki suhu rendah, Hal ini sesuai dengan parameter suhu yang dimiliki oleh stasiun 1 dengan suhu 28,4°C yang dapat dilihat pada tabel 4.4. *Baetis* sp merupakan spesies yang berasal dari Famili Baetidae yang memiliki nilai toleransi pencemaran sebesar 4 sehingga tidak dapat tinggal pada kondisi lingkungan yang tercemar (Hilsenhoff, 1988).

Makrozoobentos merupakan hewan yang memiliki kepekaan terhadap perubahan kondisi lingkungan, sehingga apabila suatu perairan tercemar maka hanya ada beberapa jenis makrozoobentos yang toleran terhadap pencemaran tersebut seperti yang ditemukan pada stasiun 3 yaitu *Tubifex* sp dan *Parathelphusa* convexa. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Arumdani dkk (2022) yang menyatakan bahwa *Tubifex* sp memiliki jumlah yang melimpah pada lokasi yang memiliki kandungan bahan organik yang tinggi dengan tipe substrat berlumpur, dalam hal ini limbah peternakan merupakan salah satu sumber bahan organik yang merupakan makanan bagi *Tubifex* sp. *Tubifex* memiliki nilai toleransi pencemaran sebesar 8 sehingga dapat dijumpai pada kondisi lingkungan yang tercemar (Hilsenhoff, 1988).

Keberadaan makrozoobentos yang memiliki berbagai macam spesies kita sebagai manusia harus menjaga dan melestarikan habitat yang ada agar generasi selanjutnya dapat mempelajari dan menambah ilmu pengetahuan tentang alam yang telah diciptakan oleh Allah SWT. Dan Allah SWT telah menciptakan segala bentuk dan ciri-ciri binatang berdasarkan kelompok dan habitat yang sesuai seperti dijelaskan dalam QS. Al-An'am ayat 38 berbunyi:

وَمَا مِنْ دَابَّةٍ فِي الْأَرْضِ وَلَا طَائِرٍ يَطِيرُ بِجَنَاحَيْهِ إِلَّا أُمَمٌ أَمْثَلُكُمْ مَا فَرَّطْنَا فِي
الْكِتَابِ مِنْ شَيْءٍ ثُمَّ إِلَىٰ رَبِّهِمْ يُحْشَرُونَ (٣٨)

Artinya: "Dan tiadalah binatang-binatang yang ada di bumi dan burung-burung yang terbang dengan kedua sayapnya, melainkan umat (juga) seperti kamu. Tidak ada sesuatu pun yang kami luputkan didalam kitab, kemudian kepada tuhan mereka dikumpulkan" (Q.S Al An'am (6) ayat 38).

Dari ayat yang telah dijelaskan diatas bahwa Allah SWT menciptakan binatang yang ada dimuka bumi berdasarkan kelompok dan habitatnya seperti makrozoobentos yang hidup secara berkelompok maupun individu pada substrat permukaan dasar perairan. Menurut Tafsir Al Misbah, Shihab (2009) menjelaskan bahwa bukti paling kuat atas segala kekuasaan, kasih sayang, dan kebijaksanaan Allah adalah bahwa Dia menciptakan segala sesuatu. Tidak ada binatang yang melata di bumi atau burung yang terbang di langit kecuali atas izin Allah, kemudian Allah memberi ciri khusus dan cara hidup tersendiri. Makhluk hidup dikelompokkan menurut keluarga-keluarga yang mempunyai ciri genetik, tugas, dan tabiat sendiri. Dalam ayat ini terdapat petunjuk tentang perbedaan bentuk dan cara hidup antar makhluk-makhluk hidup itu, suatu ketentuan yang berlaku pada manusia dan makhluk hidup yang lain.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

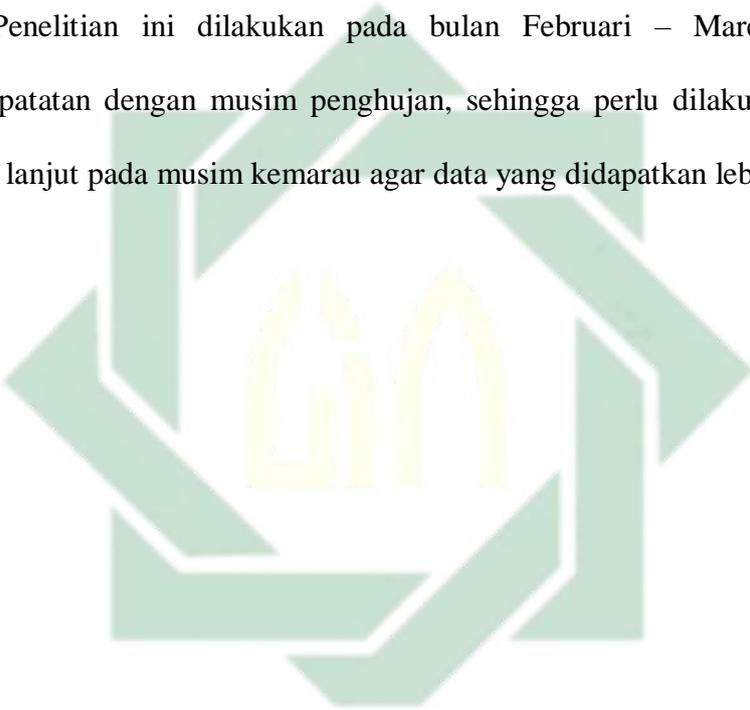
Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap keanekaragaman makrozoobentos sebagai bioindikator kualitas air di Kali Pacal, Kabupaten Bojonegoro, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

- a. Genus makrozoobentos yang ditemukan di Kali Pacal, Kabupaten Bojonegoro antara lain *Psychoda* pada stasiun 1 dan 2, *Diamesa* pada stasiun 1 dan 2, *Atherix* pada stasiun 1, *Baetis* pada stasiun 1 dan 2, *Pleurocera* pada stasiun 1 dan 2, *Rhyacophila* pada stasiun 1 dan 2, *Parathelphusa convexa* pada stasiun 2 dan 3, dan *Tubifex* sp pada stasiun 3.
- b. Berdasarkan hasil analisis data Indeks Keanekaragaman *Shannon-Wiener* pada lokasi penelitian tergolong sedang yaitu $1 < H' < 3$, dengan nilai indeks keanekaragaman tertinggi pada stasiun 1 dengan nilai $H' = 1,20$ dan terendah pada stasiun 3 dengan nilai $H' = 0,20$. Hasil analisis data Indeks Kemerataan pada lokasi penelitian masuk pada kategori cukup merata dengan nilai $E = 0,66$. Jenis makrozoobentos yang mendominasi adalah *Pleurocera* dengan jumlah 149 individu yang ditemukan pada stasiun 1 dan 2.
- c. Berdasarkan hasil analisis data menggunakan *Family Biotic Index* pada stasiun 1 menunjukkan nilai FBI terendah (5,74) yang berarti

kualitas air cukup dengan tingkat pencemaran tercemar agak banyak bahan organik. Hasil nilai FBI tertinggi terdapat pada stasiun 3 (7,89) yang masuk pada kategori kualitas air sangat buruk dengan tingkat pencemaran tercemar berat bahan organik.

5.2 Saran

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari – Maret 2023 yang bertepatan dengan musim penghujan, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada musim kemarau agar data yang didapatkan lebih lengkap.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z. 2018. Studi Keanekaragaman Dan Struktur Komunitas Perifiton Di Perairan Sungai Coban Rondo Malang. *Jurnal Teknologi Terapan: G-Tech*, 1(2): 93–97. <https://doi.org/10.33379/gtech.v1i2.275>
- Afifatur, M. 2021. Keanekaragaman Makrozoobentos Sebagai Bioindikator Kualitas Air Di Kali Pelayaran Kabupaten Sidoarjo. *Environmental Pollution Journal*. 1(3): 255–262.
- Agustiningsih, D., Sasongko, S.B., dan Sudarno. 2012. Analisis Kualitas Air dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Blukar Kabupaten Kendal. *Jurnal PRESIPETASI*. 9(2): 64-71.
- Akbar, R. T. M., Yuni, S., Ana, W., dan Tri, C. 2022. Keanekaragaman dan Kelimpahan Makrozoobentos Sebagai Bioindikator Kualitas Air di Situ Patengan, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. *Biosaintropis* 8(1): 74–86. <https://doi.org/10.33474/e-jbst.v8i1.509>
- Alaiaieh, S. H., Khafaga, A. F., El-Hack, M. D. A., Al-Gabri, N. A., Abukhalil, M. H., Alfwuaires, M. A., Bin-Jumah, M., Alkahtani, S., Abdel-Daim, M. M., Aleya, L., dan Abdelnour, S. 2019. *Spirulina platensis* ameliorates the sub chronic toxicities of lead in rabbits via anti-oxidative, anti-inflammatory, and immune stimulatory properties. *Science Of Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134879>
- Alfionita, A. N. A., Patang, P., & Kaseng, E. S. 2019. Pengaruh Eutrofikasi Terhadap Kualitas Air Di Sungai Jeneberang. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian* 5(1):9-23. <https://doi.org/10.26858/jptp.v5i1.8190>
- Arfiati, D., Herawati, E. Y., Buwono, N. R., Firdaus, A., Winarno, M. S., dan Puspitasari, A. W. 2019. Struktur Komunitas Makrozoobentos pada Ekosistem Lamun di Paciran, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur. *Journal of Fisheries and Marine Research*. 3(1): 1–7.
- Armita, D., Amanah, H. Al, dan Amrullah, S. H. 2021. Struktur Komunitas Makrozoobentos Pada Saluran Mata Air Langlang dengan Vegetasi Riparian Yang Berbeda di Desa Ngenep, Kabupaten Malang, Jawa Timur. *Teknosains : Media Informasi Sains Dan Teknologi*. 15(2): 181–189.

- Arumdani, N., Purwanto, E., dan Budijono. 2022. Relationship of Organik Pollutant with Abundance of *Tubifex* sp. on Sail River Pekanbaru City. *Berkala Perikanan Terubuk*. 50(1): 1459 - 1466.
- Baderan, D. W. K. 2016. Keanekaragaman Jenis Tumbuhan Mangrove di Kawasan Pesisir Tabulo Selatan, Kabupaten Bualemo ,Provinsi Gorontalo. *The Diversity of Mangrove in Coastal Area of South Tabulo Bualemo , Gorontalo Regency*. 41–44.
- Bett, B. J. (2013). Characteristic benthic size spectra : potential sampling artefacts. *Marine Ecology Progress Series*. 487: 1–6.
- Blakely, T. J., Harding, J. S., & Hans, S. E. 2014. The SingScore: a macroinvertebrate biotic index for assessing the health of Sinms and canals. *Nature*. 62(5629), 540–548.
- Cahyani, N. P. L. B., Suryani, S. A. M. P., dan Kawan, I. M. P. 2022. Keanekaragaman Makrozoobenthos Pada Ekosistem Mangrove Alami di Ekowisata Nelayan Wanasari Tuban, Bali. *Gema Agro*. 27(2): 70-78.
- Chazanah, N., Muntalif, B.S., Rahmayani, R.A., dan Sudjono, P. Macrozoobenthos Distribution as a Bioindicator of Water Quality in the Upstream of the Citarum River. *Journal of Ecological Engineering*. 21(3): 10-17.
- Dakhova, O. O., Khuchunaev, B. M., Kerefova, Z. M., Uzdenova, A. B., Gergokova, Z. Z., Gedueva, M. M., Cherkesov, A. A., & Georkova, A. Z. 2021. Assessment of the ecological state of surface waters (using the Baksan River as an example). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 867(1): 1–6.
- Darillia, N.R., Afifah, N.K., Khasanah, N., dan Najikhah,S. 2022. Manfaat Cacing Sutra (*Tubifex* sp) di Jembatan Kartini Sebagai Larva Pakan Ikan. *SNSE*. 1(1);35- 39.
- Darmarini, A. S., Wardiatno, Y., Pratono, T., Soewardi, K., & Zainuri, M. 2021. The community structure of intertidal macrozoobenthos on muddy substrate in Lubuk The community structure of intertidal macrozoobenthos on muddy substrate in Lubuk Damar , Aceh Tamiang , Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 744: 1-9.

- Departemen Agama. 2010. *Penciptaan Bumi Dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains*
- Desmawati, I., Adany, A., dan Java, A. 2019. *Studi Awal Makrozoobentos di Kawasan Wisata Surabaya*. 8(2): 19-22.
- DR Abdullah Bin Muhammad Bin Abdurrahman Bin Ishaq Al-Sheikh. 1994. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 6* (p. 113).
- Dwirastina, M. 2008. Teknik Pengambilan Makrozoobentos di Daerah Pulau Payung, Sungai Musi, Sumatera Selatan. *Buletin Teknik Litkayasa Sumber Daya Dan Penangkapan*. 7(2): 39-41.
- Dwitawati, D.A., Sulistyarsi, A., dan Widiyanto, J. 2015. Biomonitoring Kualitas Air Sungai Gandong dengan Bioindikator Makroinvertebrata Sebagai Bahan Petunjuk Praktikum Pada Pokok Bahasan Pencemaran Lingkungan SMP Kelas VII. *Jurnal Florea*. 2(1): 41-46.
- Eprilurahman, R., Baskoro, W.T., dan Trijoko. 2015. Keanekaragaman Jenis Kepiting (Decapoda: Brachyura) di Sungai Opak, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Biogenesis*. 3(2): 100-108.
- Fadilla, R.N., Melani, W.R., dan Apriadi, T. 2021. Makrozoobentos Sebagai Bioindikator Kualitas Air di Perairan di Desa Pengujian Kabupaten Bintan. *Habitus Aqua Journal*. 2(2): 83-94.
- Fagbayide, S.D., dan Abulude, F.O. 2018. Effect of Human Activites on Water Quality Assesment of Ala River in Akure, Ondo State, Nigeria. *World Journal of Enviromental Research*. 8(1): 37-44.
- Fandani, H.S ., Mallomasang, S.N ., dan Nengahkorja. 2018. Keanekaragaman Jenis Anggrek Pada Beberapa Penangkapan di Desa Ampera dan Desa Karunia Kecamatan Palolo Kabupaten Sigi. *Jurnal Warta Rimba*. 6(3): 14-20.
- Fisesa, E.D., Setyobudiandi, I., dan Krisanti, M. 2014. Kondisi Perairan dan Struktur Komunitas Makrozoobentos di Sungai Belumai Deli Serdang Provinsi Sumatra Utara. *Depik*. 3(1): 1-9.
- Griffith, B.T., dan Kaufman, J.G. 2018. Drain Fly *Psychoda* spp. (Insecta: Diptera: Psychodidae). *EDIS*: 1-4.
- Gupta, N., Pandev, P., dan Hussain, J. Effect of Physicochemical and Biological

- Parameters on the Quality of River Water of Narmada, Madhya Pradesh, India. *National Water Research Center*. 1-13.
- Harahap, A., Barus, T. A., Mulya, M. B., dan Ilyas, S. 2018. Macrozoobenthos Diversity as Bioindicator of Water Quality in the Bilah river, Rantauprapat. *Journal of Physics: Conference Series*. 1116 (5): 1-5.
- Hartanto, B. 2018. Menganalisa Kualitas Perairan Melalui Kandungan Karbonat Pada Sedimen Dasar Muara Sungai Serang Kulonprogo. *Majalah Ilmiah Bahari Jogja*. 16(2): 98–118.
- Hendiari, I. G. A. D., Sartimbul, A., Arthana, I. W., dan Kartika, G. R. A. 2020. *Acta Aquatica. Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*. 7(1): 28–36.
- Hidayah, N., dan Ambarwati, R. Keanekaragaman dan Kemelimpahan Bivalvia di Zona Intertidal Pantai Boom, Tuban. *LenteraBio*. 9(2): 90-98
- Hilsenhoff, W.L. 1988. Rapid Fields Assesment of Organic Pollution with a Family-Level Biotic Index. *Journal of the North American Benthological Society*. 7(1): 65-68
- Humaira, R. J., dan Maulida, S. Al. 2021. Keanekaragaman Jenis Plankton di Perairan Kawasan Alam Iboih Kota Sabang. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*. 132–136
- Husnah., Prianto, E., dan Aida, S.N. 2007. Kualitas Perairan Sungai Musi Bagian Hilir Ditinjau Dari Karakteristik Fisika-Kimia dan Struktur Komunitas Makrozoobenthos. *Jurnal Literatur Perikanan*. 13(3):167-177
- Kikuzawa, Y. P., Soon, C., Ng, L., Toh, T. C., dan Sam, S. Q. 2020. Diversity of Subtidal Benthic and Hard Coral Communities on Sloping and Vertical Seawalls in Singapore Diversity of Subtidal Benthic and Hard Coral Communities on Sloping and Vertical Seawalls in Singapore. *Marine Biodiversity*. 50(95): 1–14. <https://doi.org/10.1007/s12526-020-01118-z>
- Kolyuchkina, G. A., Syomin, V. L., Grigorenko, K. S., Basin, A. B., dan Lyubimov, I. V. 2020. The Role of Abiotic Environmental Factors in the Vertical Distribution of Macrozoobenthos at the Northeastern Black Sea Coast. *Biology Bulletin*. 47(9): 1126–1141.
- Li, K., Liu, X., dan Wu, X. 2019. Temporal and spatial changes in macrozoobenthos diversity in. *Ecology and Evolution*. 9(11): 6353–6365.

<https://doi.org/10.1002/ece3.5207>

- Machrizal, R., Khairul, dan Dimenta, R. H. 2020. Keanekaragaman Makrozoobentos pada Ekosistem Lamun di Perairan Natal Sumatera Utara. *Fisheries Journal*. 3(1), 56–67.
- Magurran, A.E. 1988 *Ecological Diversity and its Measurements*, Croom Helm Ltd, London.
- Mandaville, S. M. 2002. *Benthic Macroinvertebrates in Taxa Tolerance Values , Metrics , and Protocols*.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W., dan Berg, M. B. 2017. Trophic Relationships of Macroinvertebrates. In *Methods in Stream Ecology* (Issue 3). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416558-8.00020-2>.
- Mokodompit, R., Kandowanko, N.Y., dan Hamidun, M.S. 2022, Keanekaragaman Tumbuhan di Kampus Universitas Negeri Gorontalo Kecamatan Tilong Kabila Kabupaten Bone Bolango. *Biosfer*. 7(1): 75 - 80.
- Mushthofa, A., Rudiyantri, S., dan Muskanonfola, M. R. 2014. Analisis Struktur Komunitas Makrozoobentos Sebagai Bioindikator Kualitas Perairan Sungai Wedung Kabupaten Demak. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*. 3(1): 81–88. <https://doi.org/10.14710/marj.v3i1.4289>
- Musonge, P. L. S., Boets, P., Lock, K., Naomi, M., Ambarita, D., Anne, M., Forio, E., dan Goethals, P. L. M. 2020. Rwenzori Score (RS): A Benthic Macroinvertebrate Index for Biomonitoring Rivers and Streams in the Rwenzori Region , Uganda. *Sustainability*. 12(24), 1–18.
- Nahlunnisa, H., Zuhud, E. A. M., dan Yanto, D. A. N. 2016. Keanekaragaman Spesies Tumbuhan di Areal Nilai Konservasi Tinggi (NKT) Perkebunan Kelapa Sawit Provinsi Riau (The Diversity of Plant Species in High Conservation Value Area of Oil Palm Plantation in Riau Province). *Media Konservasi*. 21(1): 91–98.
- Nangin, S. R., Langoy, M. L., dan Katili, D. Y. 2015. Makrozoobentos Sebagai Indikator Biologis dalam Menentukan Kualitas Air Sungai Suhuyon Sulawesi Utara. *Jurnal MIPA*. 4(2): 165-168.
- Nurtjahyani, S. D., Oktafitria, D., Sriwulan, ., Arifin, A. Z., Pambudi, A. Y., dan Purnomo, E. 2022. Identification and Analysis of Macrozoobentos in The

- Reclamation Land Area of Lime Mining. *Advances in Tropical Biodiversity and Environmental Sciences* 6(2): 45-49.
- Obot, O. I., Ekpo, I. E., dan Esau, E. F. 2014. Physico-chemical parameters and macro-benthos of Ediene Stream , Akwa Ibom State , Nigeria. *American Journal of Biology and Life Sciences*. 2(5): 112–121.
- Octavina, C., Dewiyanti, I., Nurfadillah, N., Ulfah, M., Razi, N. M., Sakinah, R., dan Agustiar, M. 2019. Community structure of macrozoobenthos in Lamnyong River, Aceh Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 348(1): 1-6.
- Octavina, C., Purnawar, S., dan Manik, A. S. 2018. Study of the Macrozoobenthos Community Structure in the Mangrove Ecosystem Gampong Gosong Telaga , Aceh Singkil district. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 216.
- Okoye, C. O., Echude, D., Chiejina, C. O., Okoye, C., Eze, M. N., dan Ezeonyejiaku, C. D. 2021. Macroinvertebrates as Bioindicators of Water Quality Assessment in a Tropical Stream. *International Journal of Aquatic Science*. 12 (02): 3552–3561.
- Oscoz, J., Galicia, D., & Miranda, R. (2011). *Identification Guide of Freshwater Macroinvertebrates of Spain*.
- Pamuji, A., Muskananfolo, M.R., dan A'in. C. 2015. Pengaruh Sedimentasi Terhadap Kelimpahan Makrozoobentos di Muara Sungai Betahwalang Kabupaten Demak. *Jurnal Saintek Perikanan*. 10(2): 129-135.
- Parmar, T. K., Rawtani, D., dan Agrawal, Y. K. 2016. Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution. *Frontiers in Life Science*. 9(2): 110–118. <https://doi.org/10.1080/21553769.2016.1162753>.
- Pasingi, N., Pratiwi, N.T., dan Krisanti, M. 2014. Kualitas Perairan Sungai Cileungsi Bagian Hulu Berdasarkan Kondisi Fisik-Kimia. *Depik*. 3(1): 56-64.
- Pratiwi, C.W dan Mirwan, M. 2022. Penggunaan Makrozoobentos Sebagai *Bioassessment*. *Jurnal Envirous*. 3(1): 10-18.
- Purba, N. C., dan Fitrihidajati, H. 2021. Kualitas Perairan Sungai Sadar di Kabupaten Mojokerto Berdasarkan Indeks Keanekaragaman

- Makrozoobentos dan Kadar Logam Berat (Pb) Quality Of Sadar Rivers Waters in Mojokerto Regency Based on Macrozoobenthic Diversity Index and Heavy Metal (Pb) Content. *LenteraBio*, 10(2016): 292–301.
- Putra, A. Y., dan Mairizki, F. 2019. Analisis Warna, Derajat Keasaman dan Kadar Logam Besi Air Tanah Kecamatan Kubu Babussalam, Rokan Hilir, Riau. *Jurnal Katalisator*. 4(1): 9-14. <https://doi.org/10.22216/jk.v4i1.4024>
- Putra, R. A., Melani, W. R., dan Suryanti, A. 2020. Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Perairan di Senggarang Besar Kota Tanjungpinang Macrozoobentos as a Bioindicator of Water Quality in Senggarang Besar , Tanjungpinang City. *Jurnal Akuatiklestari*. 4(1): 20–27.
- Putra, I. L. I., dan Utami, L.B. 2020. Keanekaragaman Serangga Pengunjung Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum annum* L.) di Wiyoro, Bantul. *Journal of Biology and Applied Biology*. 3(2): 85-92.
- Rahayu, A. P., dan Fanni, N. A. 2022. Study Of Macrozoobentos Diversity In The Secondary Flow Of The Bengawan Solo River. *Advances in Tropical Biodiversity and Environmental Sciences* 6(1): 22-28.
- Rahayu, D. M., Yoga, G. P., Effendi, H., dan Wardiatno, Y. 2015. Penggunaan Makrozoobentos Sebagai Indikator Status Perairan Hulu Sungai Cisadane, Bogor (The Use of Macrozoobenthos as Indicator of Up-Stream Segment of Cisadane River, Bogor). *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)* 20(1): 1–8. journal.ipb.ac.id/index.php/JIPI
- Ranisavlejevic, I. M., dan S.A Zerajic. 2017. Comparison of different models of water quality index in the assessment of surface water quality. *International Journal Of Environmental Science and Technology*. 15(3): 665–674. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1426-8>
- Ridita, H., dan Shafique, M. 2019. *Plenitude of Macrozoobenthos in Connection to Base Soil Textural Types and Water Profundity In aquaculture Lakes* . 15(1): 11–18.
- Ridwan, M., Fathoni, R., Fatihah, I., dan Pangestu, D. A. 2016. Struktur Komunitas Makrozoobenthos di Empat Muara Sungai Cagar Alam Pulau Dua, Serang, Banten. *Al-Kauniyah: Jurnal Biologi*. 9(1): 57–65.
- Rizka, S., Muchlisin, Z. A., Akyun, Q., Fadli, N., Dewiyati, I., & Halim, A. 2016.

- Komunitas Makrozoobentos di Perairan Estuaria Rawa Gambut Tripa Provinsi Aceh. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan Dan Perikanan Unsyiah*. 1(1): 134 – 145.
- Rossi, S., Bramanti, L., dan Gori, A. 2017. An Overview of the Animal Forests of the World. *Marine Animal Forest: The Ecology of Benthic Biodiversity Hotspot*. 1–28. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17001-5>.
- Ruswahyuni. 2010. Populasi dan Keanekaragaman Hewan Makrozoobentos Pada Perairan Tertutup dan Terbuka di Teluk Awur, Jepara. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. 2(1): 11-20.
- Russo, D., Salinas-ramos, V. B., Ancillotto, L., Cistrone, L., Smeraldo, S., dan Bosso, L. 2021. Do We Need to Use Bats as Bioindicators? *Biology* 10(8): 1–15.
- Rustiasih, E., Arthana, I. W., dan Sari, A. H. W. 2018. Keanekaragaman dan Kelimpahan Makroinvertebrata Sebagai Biomonitoring Kualitas Perairan Tukad Badung, Bali. *Current Trends in Aquatic Science* 1(1) 16-23. <https://doi.org/10.24843/ctas.2018.v01.i01.p03>
- Ruvusofa, A., P, B., dan Bulankova E. 2017. *Benthic Invertebrates and Their Habitats*.
- Santoso, T., & Sutanto, A. 2021. Perbedaan Keanekaragaman Makrobentos Sebagai Indikator Biologi Penentuan Kualitas Air Di Area Perkotaan Dan Di Pedesaan Lampung. *BioloVA* 2(2): 144–150.
- Saragi, J.F. 2021. Sosialisasi Pembuatan dan Penggunaan Secchi Disk. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*.
- Shihab, Q. 2002. *TAFSIR AL-MISHBAH*.
- Siddig, A. A. H., Ellison, A. M., Ochs, A., Villar-leeman, C., dan Lau, M. K. 2016. How do ecologists select and use indicator species to monitor ecological change? Insights from 14 years of publication in Ecological Indicators. *Ecological Indicators*. 60: 223–230.
- Sinambila, M., dan Sipayung, M. 2015. Makrozoobentos Dengan Parameter Fisika dan Kimia di Perairan Sungai Babura Kabupaten Deli Serdang. *Jurnal Biosains*. 1(2): 44-50.
- Sinha, M., & Prakash, S. 2016. Macrozoobenthos diversity of Khyra Mandir Taal

- , a wetland of district Gonda , U . P . India. *International Journal of Fauna and Biological Studies* 3(6): 53–55.
- Sinuraya, S. 2022. Hubungan Nilai Indeks Penting (INP) dari Beberapa Makrozoobentos Dengan Parameter Lingkungan di Sungai Maruni Manokwari, Papua Barat. *Prosiding Seminar Nasional MIPA*. 186–192. <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- Sumarmi, S. 2018. Keanekaragaman Jenis Capung (Odonata) di Desa Nibung Kecamatan Salimbau Kapuas Hulu. *Piper*. 14(26): 253–266.
- Tjokrokusumo, S. W. 2008. Pengaruh Sedimentasi dan Turbidity Pada Jejaring Makanan Ekosistem Air Mengalir (LOTIK). *Jurnal Hidrosfir Indonesia*. 3(3): 137–148.
- Whelan, N.V., dan Strong, E.S. 2015. Morphology, Molecules and Taxonomy: Extreme Incongruence in Pleurocerids (Gastropoda, Cerithioidea, Pleuroceridae). *Royal Swedish Academy of Sciences*. 45(1): 62-87.
- Widhiandari, P. F. A., Watiniasih, N. L., & Pebriani, D. A. A. 2021. Bioindikator Makrozoobentos dalam Penentuan Kualitas Perairan di Tukad Mati Badung, Bali. *Current Trends in Aquatic Science* 4(1): 49–56.
- Virgiawan, C., Hindun, I., dan Sukarsono. 2015. Studi Keanekaragaman Capung (Odonata) sebagai Bioindikator Kualitas Air Sungai Brantas Batu - Malang dan Sumber Belajar Biologi. *Jurnal Pendidikan Biologi*. 1:427-431.
- Wiedarti, S ., Hardiyanti, D., Darda, I.R. 2014. Keanekaragaman Makrozoobentos di Sungai Ciliwung. *Ekologia*. 14(1): 13-20.