KEANEKARAGAMAN MAKROZOOBENTOS DI KALI BODO DESA NGIJO, KECAMATAN KARANGPLOSO, KABUPATEN MALANG, PROVINSI JAWA TIMUR

SKRIPSI

Oleh:
HAFIZH ROFIIF FAKHRI
NIM.200602110106

PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026

KEANEKARAGAMAN MAKROZOOBENTOS DI KALI BODO DESA NGIJO, KECAMATAN KARANGPLOSO, KABUPATEN MALANG, PROVINSI JAWA TIMUR

SKRIPSI

diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Oleh:
HAFIZH ROFIIF FAKHRI
NIM.200602110106

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

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Hafizh Rofiif Fakhri
NIM : 200602110106
Program Studi : Biologi
Judul Skripsi : KEANEKARAGAMAN MAKROZOOBENTOS DI KALI BODO DESA NGIJO, KECAMATAN KARANGPLOSO, KABUPATEN MALANG, PROVINSI JAWA TIMUR

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 26 Juni 2026 dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Muhammad Asmuni Hasyim M.Si.
NIPPPK. 198705222023211016 (.....)

Pembimbing II : Dr. M. Mukhlis Fahruddin, M.S.I.
NIP. 198211202025211035 (.....)

Tim Penguji : Dr. Eko Budi Minarno, M.Pd.
NIP. 19630114 199903 1 001 (Ketua)(.....)

Fitriyah, M.Si.
NIP. 198607252019032013 (Anggota)(.....)

Mengesahkan
Ketua Program Studi Biologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Retno Susilowati, M.Si.
NIP. 19671113 199402 2 001

HALAMAN PERSEMBAHAN

Assalamualaikum Wr. Wb

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rida-Nya sehingga skripsi berjudul "Keanekaragaman Makrozoobentos di Kali Bodo Desa Ngijo, Kecamatan Karangploso, kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur" ini dapat diselesaikan dengan tepat waktu. Shalawat serta salam senantiasa terlimpah kepada Nabi Muhammad SAW sebagai panutan hidup yang luar biasa. Secara khusus, penulis mempersembahkan pencapaian ini untuk diri penulis sendiri sebagai bentuk penghargaan atas setiap tetes keringat dan semangat pantang menyerah yang selama ini dijaga. Di balik itu, penulis meyakini bahwa proses ini didukung oleh tangan-tangan baik di sekitar penulis. Maka dengan penuh kerendahan hati,

1. Orang tua penulis. Bapak Misto Supriadi dan Ibu Sri Rahayu yang telah mendukung, memotivasi serta mendoakan penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik
2. Teman seperjuangan Biologi B yang saling menyemangati satu sama lain, memberikan informasi, motivasi, membantu, serta selalu ada dalam keadaan susah maupun senang.
3. Teman-teman kontrakan Wawuk and Toretto meliputi Ripki, Abah, Riza, Zidane, Kibul dan Hapijul yang selalu mendukung tiap waktu, memotivasi tiap waktu dan selalu ada ketika susah. Semoga di perjalanan selanjutnya dapat bertemu dalam keadaan sukses.
4. Teman-teman dari masa sekolah meliputi Djorghie, Ihan, Diangga, Arsyi, Fadhil, Afrizal, Adam, Yudi, Cici, Uul dan banyak lagi yang lain yang menemani penulis di kala sedang suntuk dengan pengerjaan skripsi
5. Terakhir, untuk diri sendiri Hafizh Rofiif Fakhri terima kasih telah mampu bertahan hingga akhir dan tidak menyerah di tengah jalan.

MOTTO

Sebuah langkah kecil yang dilakukan setiap hari akan membawa perubahan besar di masa depan.

PERNYATAAN KEASLIAN PENULISAN

Saya yang tertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Hafizh Rofiif Fakhri
NIM	: 200602110106
Program Studi	: Biologi
Fakultas	: Sains dan Teknologi
Judul Penelitian	: Keanekaragaman Makrozoobentos di Kali Bodo Desa Ngijo, Kecamatan Karangploso, kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi akademik maupun hukum atas perbuatan tersebut.

Malang, 31 Juli 2026

METERAI TEMPEL

Hafizh Rofiif Fakhri

NIM. 200602110106

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

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

Keanekaragaman Makrozoobentos di Kali Bodo, Desa Ngijo, Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur

Hafizh Rofiif Fakhri, Muhammad Asmuni Hasyim, Muhammad Mukhlis Fahruddin

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

ABSTRAK

Makrozoobentos merupakan organisme bentik yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan kondisi lingkungan sehingga banyak dimanfaatkan sebagai bioindikator kualitas perairan. Kali Bodo di Desa Ngijo, Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang dipengaruhi oleh berbagai aktivitas antropogenik, seperti permukiman, pertanian, dan kegiatan ekonomi masyarakat yang berpotensi memengaruhi kondisi ekologis sungai. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi genus makrozoobentos, nilai kelimpahan, indeks keanekaragaman, indeks dominansi, parameter fisika-kimia air, dan hubungan parameter fisika-kimia air dengan kelimpahan makrozoobentos. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif dengan metode eksplorasi. Penelitian dilaksanakan di Kali Bodo, Desa Ngijo, Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang. Lokasi penelitian dibagi menjadi tiga stasiun pengamatan yang ditentukan menggunakan metode *purposive sampling* berdasarkan karakteristik lingkungan. Pengambilan sampel makrozoobentos dilakukan menggunakan metode *Surber sampler*, sedangkan pengukuran kualitas air meliputi parameter fisika-kimia, yaitu suhu, pH, *Total Suspended Solid* (TSS), *Total Dissolved Solid* (TDS), *Dissolved Oxygen* (DO), *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), nitrat, dan fosfat. Data penelitian meliputi identifikasi genus makrozoobentos, kelimpahan, indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H'), indeks dominansi Simpson (C), serta parameter fisika-kimia perairan. Analisis data dilakukan secara deskriptif dan korelasional menggunakan uji korelasi Pearson. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ditemukan 12 genus makrozoobentos dengan total 2.591 individu dan nilai kelimpahan sebesar 28.788,89 ind/m². Nilai indeks keanekaragaman (H') pada Stasiun 1, Stasiun 2, dan Stasiun 3 berturut-turut sebesar 1,939 (kategori sedang), 0,848 (kategori rendah), dan 0,491 (kategori rendah), sedangkan nilai indeks dominansi Simpson (C) berturut-turut sebesar 0,1727, 0,6419, dan 0,8165 dengan tingkat dominansi tertinggi terdapat pada Stasiun 3. Parameter suhu, pH, TSS, TDS, DO, dan COD masih memenuhi baku mutu berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021, sedangkan BOD, nitrat, dan fosfat pada beberapa stasiun melebihi baku mutu. Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa beberapa parameter fisika-kimia air memiliki hubungan yang kuat terhadap kelimpahan genus makrozoobentos tertentu.

Kata kunci: makrozoobentos, keanekaragaman, dominansi, kualitas air, Kali Bodo.

Macrozoobenthos Diversity in the Bodo River, Ngijo Village, Karangploso District, Malang Regency, East Java Province

Hafizh Rofiif Fakhri, Muhammad Asmuni Hasyim, Muhammad Mukhlis Fahruddin

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

ABSTRACT

Macrozoobenthos are benthic organisms highly sensitive to changes in environmental conditions, making them widely used as bioindicators of water quality. The Bodo River in Ngijo Village, Karangploso District, Malang Regency, is influenced by various anthropogenic activities such as settlements, agriculture, and local economic endeavors that potentially affect the river's ecological condition. This study aimed to identify macrozoobenthos genera and determine abundance values, diversity indices, dominance indices, physicochemical water parameters, and the relationship between these physicochemical parameters and macrozoobenthos abundance. This was a quantitative descriptive study employing an exploratory method, conducted at the Bodo River in Ngijo Village, Karangploso District, Malang Regency. The study area was divided into three observation stations selected via purposive sampling based on environmental characteristics. Macrozoobenthos samples were collected using the Surber sampler method, while water quality measurements covered physicochemical parameters: temperature, pH, Total Suspended Solids (TSS), Total Dissolved Solids (TDS), Dissolved Oxygen (DO), Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), nitrate, and phosphate. The data included macrozoobenthos genus identification, abundance, the Shannon-Wiener diversity index (H'), the Simpson dominance index (C), and physicochemical water parameters. Data analysis was conducted using descriptive and correlational approaches, specifically the Pearson correlation test. The results revealed the presence of 12 macrozoobenthos genera comprising a total of 2,591 individuals, with an abundance value of 28,788.89 individuals/m². The diversity index (H') values for Station 1, Station 2, and Station 3 were 1.939 (moderate category), 0.848 (low category), and 0.491 (low category), respectively, while the Simpson dominance index (C) values were 0.1727, 0.6419, and 0.8165, respectively, with the highest level of dominance observed at Station 3. Parameters such as temperature, pH, TSS, TDS, DO, and COD remained within the quality standards set by Government Regulation No. 22 of 2021, whereas BOD, nitrate, and phosphate levels at several stations exceeded these standards. Correlation analysis results indicated that certain physicochemical water parameters had a strong relationship with the abundance of specific macrozoobenthos genera.

Keywords: macrozoobenthos, diversity, dominance, water quality, Bodo River.

تنوع Macrozoobenthos في نهر بودو، قرية نجيجو، منطقة كارانجبلوسو، محافظة مالانج، مقاطعة جاوة الشرقية

حافظ رفيع فخري، محمد أسموني هاشم، محمد مخلص فخر الدين

برنامج دراسة الأحياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، الجامعة الإسلامية الحكومية (UIN) مولانا مالك إبراهيم مالانج

خلاصة

تُعد الكائنات الحية القاعية الكبيرة (Makrozoobentos) كائنات قاعية تتمتع بحساسية عالية تجاه التغيرات في الظروف البيئية، ولذلك تُستخدم على نطاق واسع كمؤشرات حيوية لجودة المياه. يتأثر نهر بودو في قرية نجيو، منطقة كارانجبلوسو، مقاطعة مالانج، بمختلف الأنشطة البشرية، مثل المستوطنات والزراعة والأنشطة الاقتصادية للمجتمع المحلي، والتي من المحتمل أن تؤثر على الظروف البيئية للنهر. يهدف هذا البحث إلى تحديد أجناس الكائنات القاعية الكبيرة، ومعدلات وفرتها، ومؤشر التنوع، ومؤشر الهيمنة، والمعلمات الفيزيائية والكيميائية للمياه، والعلاقة بين هذه المعلمات ووفرة الكائنات القاعية الكبيرة. يُعد هذا البحث بحثًا وصفيًّا كميًّا باستخدام المنهج الاستكشافي. أُجري البحث في نهر بودو، قرية نجيجو، منطقة كارانجبلوسو، مقاطعة مالانج. تم تقسيم موقع البحث إلى ثلاث محطات رصد تم تحديدها باستخدام طريقة *العينات الموجهة* بناءً على خصائص البيئة. تم أخذ عينات الكائنات القاعية الكبيرة باستخدام جهاز *«سوربر» (Surber sampler)*، بينما شملت قياسات جودة المياه المعلمات الفيزيائية والكيميائية، وهي: درجة الحرارة، ودرجة الحموضة (pH)، والمواد الصلبة العالقة الإجمالية (TSS)، والمواد الصلبة الذائبة الإجمالية (TDS)، والأكسجين الذائب (DO)، والطلب البيولوجي على الأكسجين (BOD)، والطلب الكيميائي على الأكسجين (COD)، والنترات، والفوسفات. تضمنت بيانات البحث تحديد أجناس الكائنات القاعية الكبيرة، ووفرة هذه الكائنات، ومؤشر التنوع شانون-وينر (H')، ومؤشر هيمنة سيمبسون (C)، بالإضافة إلى المعلمات الفيزيائية والكيميائية للمياه. وأُجري تحليل البيانات بطريقة وصفية وارتباطية باستخدام اختبار ارتباط بيرسون. أظهرت نتائج البحث اكتشاف 12 جنسًا من الكائنات القاعية الكبيرة بإجمالي 2,591 فردًا وقيمة وفرة بلغت 28,788.89 فرد/م². وبلغت قيمة مؤشر التنوع (H') في المحطة 1 والمحطة 2 والمحطة 3 على التوالي 1,939 (فئة متوسطة)، و0,848 (فئة منخفضة)، و0,491 (فئة منخفضة)، بينما بلغت قيم مؤشر هيمنة سيمبسون (C) على التوالي 0,1727 و0,6419 و0,8165، حيث سُجلت أعلى نسبة هيمنة في المحطة 3. لا تزال معايير درجة الحرارة، ودرجة الحموضة (pH)، والمواد العالقة الكلية (TSS)، والمواد الذائبة الكلية (TDS)، والأكسجين المذاب (DO)، والملوثة الكيميائية المقيسة (COD) تستوفي معايير الجودة وفقًا للائحة التنفيذية رقم 22 لعام 2021، في حين تجاوزت مستويات الملوثة البيولوجية المقيسة (BOD) والنترات والفوسفات في بعض المحطات معايير الجودة. أظهرت نتائج تحليل الارتباط أن بعض المعلمات الفيزيائية والكيميائية للمياه ترتبط ارتباطًا وثيقًا بوفرة جنس معين من الكائنات القاعية الكبيرة.

الكلمات المفتاحية: الكائنات القاعية الكبيرة، التنوع، الهيمنة، جودة المياه، نهر بودو.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Bismillahirrohmaanirrohim, segala puji bagi Allah Tuhan semesta alam karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul "Keanekaragaman Makrozoobentos di Kali Bodo, Desa Ngijo, Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur". Shalawat dan salam senantiasa disampaikan kepada Nabi Muhammad saw. yang telah membawa cahaya Islam ditengah gelapnya masa jahiliyah. Berkat bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan terima kasih khususnya kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nurdiana, M.Si., CAHRM., CRMP selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Prof. Dr. Hj. Retno Susilowati, M.Si. selaku Ketua Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Muhammad Asmuni Hasyim M.Si. dan Dr. M Mukhlis Fahruddin, M.Si. selaku pembimbing yang telah membimbing dengan penuh kesabaran dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis sehingga proposal skripsi ini dapat diselesaikan.
5. Dr. Eko Budi Minarno, M.Pd dan Fitriyah, M.Si selaku penguji skripsi yang telah memberikan banyak masukan.
6. Bayu Agung Prahardika, M.Si. dan Maharani Retna Duhita, M.Sc., Ph.D. Med.Sc. selaku dosen wali yang telah memberikan semangat dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik.
7. Seluruh dosen dan laboran di Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan arahan dan masukan kepada penulis dalam melakukan rencana penelitian.
8. Orang tua, kakak, dan seluruh keluarga yang telah memberikan doa, dukungan, dan motivasi kepada penulis.
9. Teman-teman angkatan 2020 serta teman sekelas yang telah mendukung dan memberikan semangat.

Semoga kebaikan yang telah diberikan kepada penulis mendapatkan balasan dari Allah Swt. Skripsi ini ditulis dengan sebaik-baiknya, namun apabila ditemukan adanya kekurangan, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
HALAMAN PENGESAHAN ..... **ii**
HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **iii**
MOTTO ..... **iv**
PERNYATAAN KEASLIAN PENULISAN ..... **v**
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI ..... **vi**
ABSTRAK ..... **vii**
ABSTRACT ..... **viii**
خلاصة ..... **ix**
KATA PENGANTAR ..... **x**
DAFTAR ISI ..... **xi**
DAFTAR TABEL ..... **xiv**
DAFTAR GAMBAR ..... **xv**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xvi**

BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 8
1.3 Tujuan 9
1.4 Manfaat 9
1.5 Batasan Masalah 10

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **11**
2.1 Ekosistem Sungai 11
2.2 Ekosistem Sungai Menurut Pandangan Islam 12
2.3 Ekosistem Kali Bodo 17
2.4 Makrozoobentos 18
2.4.1 Klasifikasi Makrozoobentos 21
2.4.1.1 Kelas Insecta (Serangga Air) 23
2.4.1.2 Kelas Gastropoda (Keong Air) 24
2.4.1.3 Kelas Bivalvia (Kekerangan Air Tawar) 24
2.4.1.4 Kelas Oligochaeta (Cacing Air) 25
2.4.1.5 Kelas Crustacea (Udang dan Amfipoda) 25
2.5 Indeks Kelimpahan 26
2.6 Indeks Keanekaragaman 26
2.7 Indeks Dominansi 29

2.8 Organisme Makrozoobentos sebagai Bioindikator Lingkungan Perairan .. 31
2.9 Baku Mutu Air Sungai 33
2.10 Faktor-Faktor Abiotik yang Mempengaruhi Makrozoobentos..... 37
2.10.1 Suhu 37
2.10.2 Oksigen terlarut (DO) 38
2.10.3 Kebutuhan oksigen biokimia (BOD) 39
2.10.4 Keasaman (pH)..... 40
2.10.5 Nitrat ($NO3$) 42
2.10.6 Fosfat ($PO4$)..... 43
2.10.7 Total padatan tersuspensi dan total padatan terlarut (TSS dan TDS) 44
2.11 Deskripsi Wilayah Penelitian..... 45

BAB III METODE PENELITIAN 48
3.1 Jenis Penelitian 48
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian..... 48
3.3 Alat dan Bahan 48
3.3.1 Alat 48
3.3.2 Bahan 48
3.4 Prosedur Penelitian 49
3.4.1 Studi Pendahuluan 49
3.4.2 Pengambilan Sampel 50
3.4.3 Identifikasi Makrozoobentos..... 51
3.4.4 Pengukuran Faktor Fisika-Kimia Air 52
3.5 Analisis Data..... 53
3.5.1 Indeks Keanekaragaman 53
3.5.2 Indeks Dominansi..... 53
3.5.3 Kelimpahan 54
3.5.3.1 Kelimpahan Individu 54
3.5.3.2 Kelimpahan Relatif 54
3.5.4 Analisis Korelasi 55

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... 57
4.1Genus Makrozoobentos Yang Ditemukan di Kali Bodo 57
4.2 Kelimpahan dan Keanekaragaman Makrozoobentos..... 81
4.2.1 Kelimpahan Makrozoobentos 81
4.2.2 Keanekaragaman Makrozoobentos 88
4.3 Indeks Dominansi Makrozoobentos 92
4.4 Parameter Fisika Kimia Air..... 97
4.5 Indeks Korelasi 101
4.6 Pembahasan Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam 115

BAB V PENUTUP 120
5.1 Kesimpulan..... 120
5.2 Saran..... 121

DAFTAR PUSTAKA..... 123

LAMPIRAN 138

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pengelompokan makrozoobentos berdasarkan tingkat toleransi terhadap beban pencemaran..... 22

Tabel 2.2 Baku mutu air sungai..... 36

Tabel 3.1 Deskripsi Kondisi Stasiun..... 49

Tabel 3.2 Data Makrozoobentos..... 52

Tabel 3.3 Nilai Koefisien Korelasi 55

Tabel 4.1 Jumlah genus makrozoobentos 81

Tabel 4.2 Kelimpahan Total Makrozoobentos 82

Tabel 4.3 Kelimpahan Relatif Makrozoobentos..... 86

Tabel 4.4 Nilai Parameter Fisika Kimia Kali Bodo Desa Ngijo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang..... 97

Tabel 4.5 Nilai korelasi antara makrozoobentos dengan parameter fisika-kimia air 102

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.2 Kelompok utama makrozoobentos 23
Gambar 3.1 Foto lokasi penelitian..... 50
Gambar 3.3 Peta Stasiun Pengamatan 50
Gambar 3.4 Jarak Antar Stasiun 51
Gambar 3.6 Jarak Pengulangan Setiap Sub Stasiun 51
Gambar 4.1 *Genus Euphaea*..... 57
Gambar 4.2 *Genus Onychogomphus* 59
Gambar 4.3 *Genus Vestalis* 61
Gambar 4.4 *Genus Potamonautes* 63
Gambar 4.5 *Genus Hydropsyche* 65
Gambar 4.6 *Genus Chironomus* 67
Gambar 4.7 *Genus Hirudo* 69
Gambar 4.8 *Genus Melanoides* 71
Gambar 4.9 Genus *Melanopsis*..... 73
Gambar 4.10 Genus *Sulcospira* 75
Gambar 4.11 *Genus Hermetia* ..... **Error! Bookmark not defined.**
Gambar 4.12 *Genus Lumbricus* ..... **Error! Bookmark not defined.**
Gambar 4.13 Indeks Keanekaragaman Makrozoobentos 89
Gambar 4.14 Indeks Dominansi Makrozoobentos 93

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Alat dan Bahan..... 138

Lampiran 2 Dokumentasi Kegiatan Penelitian..... 139

Lampiran 3 Hasil perhitungan kelimpahan makrozoobentos menggunakan Excel . 140

Lampiran 4 Hasil perhitungan indeks keanekaragaman makrozoobentos menggunakan Excel 142

Lampiran 5 Hasil perhitungan indeks dominansi makrozoobentos menggunakan Excel 144

Lampiran 6 Hasil perhitungan indeks korelasi menggunakan Past 4.03 146

Lampiran 7 Hasil uji laboratorium kualitas air..... 147

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Makhluk hidup yang tinggal di ekosistem air adalah bagian dari penciptaan Allah SWT yang memiliki peranan dan fungsi yang signifikan dalam mempertahankan keseimbangan lingkungan. Salah satu kelompok organisme yang berkontribusi dalam ekosistem air adalah makrozoobentos. Penciptaan makhluk hidup dijelaskan oleh Allah SWT dalam Al-Qur'an. Antara lain dalam QS. An-Nur ayat 45 sebagai berikut:

وَاللهُ خَلَقَ كُلَّ دَآبَّةٍ مِّنْ مَّآءٍ فَمِنْهُمْ مَّنْ يَّمْشِيْ عَلٰى بَطْنِه وَمِنْهُمْ مَّنْ يَّمْشِيْ عَلٰى رِجْلَيْنِ وَمِنْهُمْ مَّنْ يَّمْشِيْ عَلٰى اَرْبَعٍ يَخْلُقُ اللهُ مَا يَشَآءُ اِنَّ اللهَ عَلٰى كُلِّ شَيْءٍ قَدِيْرٌ

Artinya: *Allah menciptakan semua jenis hewan dari air. Sebagian berjalan dengan perutnya, sebagian berjalan dengan dua kaki, dan sebagian (yang lain) berjalan dengan empat kaki. Allah menciptakan apa yang Dia kehendaki. Sesungguhnya Allah Maha Kuasa atas segala sesuatu.* (QS. An-Nur: 45)

Ayat tersebut mengungkapkan bahwa Allah SWT menciptakan seluruh makhluk hidup dari air dan memberikan kepada masing-masing bentuk serta karakteristik yang berbeda sesuai dengan kehendak-Nya. Sebagian makhluk bergerak dengan perutnya, sebagian berjalan dengan dua kaki, dan sebagian lainnya dengan empat kaki. Shihab (2002) menjelaskan bahwa keragaman tersebut merupakan bukti kebesaran Allah SWT dalam menciptakan kehidupan yang tersusun secara teratur dan harmonis. Keanekaragaman makhluk hidup yang terdapat di alam mencerminkan adanya keseimbangan ekologi yang telah ditetapkan oleh Allah SWT. Dalam konteks ekologi perairan, berbagai organisme yang hidup di dalamnya, termasuk

makrozoobentos, memiliki fungsi ekologis yang saling berkaitan dalam menjaga stabilitas dan keberlangsungan ekosistem.

Makrozoobentos merupakan kelompok organisme yang hidup pada atau berasosiasi dengan substrat dasar perairan dan menjadi bagian penting dalam komunitas ekosistem akuatik. Kelompok ini mencakup berbagai organisme, seperti larva serangga akuatik, Mollusca, Annelida, dan Crustacea, yang menempati berbagai tipe substrat dasar, seperti batu, kerikil, pasir, lumpur, dan bahan organik (Rosenberg & Resh, 1993). Keberadaan dan distribusi makrozoobentos dipengaruhi oleh karakteristik habitat serta kondisi fisika-kimia perairan, sehingga perubahan lingkungan dapat memengaruhi komposisi dan struktur komunitasnya. Pada kelompok serangga akuatik, kondisi habitat berperan penting dalam menentukan distribusi, siklus hidup, dan adaptasi organisme terhadap lingkungannya (Merritt et al., 2019). Keterkaitan yang erat dengan substrat serta responsnya terhadap perubahan kondisi lingkungan menyebabkan makrozoobentos dapat memberikan gambaran mengenai kondisi ekologis suatu perairan. Oleh karena itu, makrozoobentos banyak digunakan dalam kajian ekologi dan pemantauan kondisi lingkungan perairan.

Makrozoobentos memainkan peran yang krusial dalam ekosistem air. Organisme ini berfungsi sebagai pengurai yang mendukung proses pemecahan bahan organik, mempercepat siklus gizi, serta berkontribusi dalam jaring-jaring makanan perairan dengan menjadi sumber pakan bagi berbagai organisme akuatik pada tingkat trofik yang lebih tinggi. (Bonada *et al*., 2006). Selain itu, aktivitas makrozoobentos dalam substrat berkontribusi pada proses aerasi sedimen dan memperbaiki struktur dasar perairan. Menurut Birk *et al*. (2020), perubahan pada komposisi komunitas

makrozoobentos dapat berdampak pada fungsi ekosistem secara keseluruhan karena kelompok organisme ini memiliki hubungan yang erat dengan proses aliran energi dan siklus materi dalam perairan.

Keanekaragaman makrozoobentos menjadi salah satu parameter yang dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi ekologis suatu perairan. Nilai keanekaragaman yang tinggi menunjukkan bahwa komunitas tersusun atas lebih banyak taksa dengan distribusi individu yang relatif beragam, sedangkan nilai keanekaragaman yang rendah dapat menunjukkan adanya tekanan lingkungan yang memengaruhi struktur komunitas. Dalam konsep ekologi, keanekaragaman merupakan salah satu karakteristik penting dalam struktur komunitas dan berkaitan dengan fungsi serta kestabilan ekosistem (Odum & Barrett, 2005). Semakin beragam komunitas organisme dalam suatu habitat, semakin kompleks pula interaksi yang berlangsung di dalam ekosistem tersebut. Oleh karena itu, perubahan keanekaragaman makrozoobentos dapat memberikan informasi mengenai perubahan kondisi habitat dan kualitas ekologis perairan. Dengan demikian, indeks keanekaragaman makrozoobentos dapat digunakan sebagai salah satu parameter biologis dalam mengevaluasi kondisi ekosistem perairan.

Makrozoobentos, selain berperan sebagai elemen vital dalam ekosistem, juga sering dijadikan sebagai bioindikator untuk mengukur kualitas air. Bioindikator merupakan organisme yang karakteristik keberadaan dan komunitasnya dapat memberikan gambaran mengenai kondisi lingkungan perairan. Makrozoobentos sangat potensial digunakan sebagai bioindikator karena memiliki tingkat toleransi yang berbeda terhadap perubahan kondisi lingkungan dan pencemaran. Kelompok organisme yang

sensitif terhadap perubahan kualitas air cenderung ditemukan pada perairan dengan kondisi yang relatif baik, sedangkan organisme yang toleran dapat tetap bertahan pada perairan yang telah mengalami tekanan lingkungan. Oleh sebab itu, perubahan dalam struktur dan keanekaragaman komunitas makrozoobentos dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi ekologis dan kualitas suatu perairan. Harahap et al. (2018) menunjukkan bahwa keanekaragaman makrozoobentos dapat digunakan sebagai bioindikator kualitas air dan memiliki hubungan dengan berbagai parameter fisika-kimia perairan.

Berbagai penelitian tentang keanekaragaman makrozoobentos telah dilakukan di berbagai wilayah Indonesia. Ningrum dan Kuntjoro (2022) di Sungai Brangkal, Mojokerto, menunjukkan bahwa indeks keanekaragaman makrozoobentos dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi kualitas perairan dan tingkat pencemaran sungai. Kahirun *et al.* (2023) menunjukkan bahwa perbedaan penggunaan lahan di sekitar sungai berkaitan dengan perubahan struktur komunitas makroinvertebrata dan kondisi fisika-kimia perairan. Retnaningdyah *et al.* (2023) juga menunjukkan bahwa struktur dan keanekaragaman makroinvertebrata bentik dapat digunakan sebagai bioindikator kualitas air dengan mempertimbangkan kondisi fisika-kimia perairan. Sementara itu, Cortelezzi *et al.* (2020) menunjukkan bahwa *Chironomus calligraphus* cenderung berkaitan dengan kondisi kualitas air yang lebih rendah, terutama pada kondisi oksigen terlarut yang rendah serta BOD dan konduktivitas yang lebih tinggi. Berbagai hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa makrozoobentos dapat digunakan sebagai salah satu kelompok bioindikator untuk mengevaluasi kondisi ekologis dan kualitas suatu perairan.

Walaupun banyak penelitian mengenai makrozoobentos telah dilakukan, sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada penentuan indeks keanekaragaman atau penilaian kualitas air, sedangkan kajian yang menganalisis hubungan antara karakteristik genus makrozoobentos dengan parameter fisika-kimia perairan serta respons ekologisnya terhadap perubahan lingkungan masih relatif terbatas. Penelitian dilakukan di Kali Bodo, Desa Ngijo, Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang sebab dari hasil observasi awal, kawasan sungai terdapat makrozoobentos. Di sisi lain, kawasan tersebut terdapat berbagai aktivitas antropogenik, seperti permukiman, pertanian, dan kegiatan ekonomi masyarakat yang berpotensi memengaruhi kualitas perairan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang tidak hanya mengidentifikasi genus makrozoobentos yang ditemukan, tetapi juga menganalisis kelimpahan, keanekaragaman, dominansi, serta keterkaitannya dengan parameter fisika-kimia air.

Makrozoobentos yang hidup di dasar perairan sungai terdiri atas berbagai genus dengan karakteristik genetik dan ekologis yang berbeda-beda. Perbedaan karakteristik tersebut menyebabkan setiap genus memiliki tingkat toleransi yang tidak sama terhadap perubahan kondisi lingkungan, seperti variasi suhu, pH, kandungan oksigen terlarut, maupun tingkat pencemaran. Menurut Rosenberg dan Resh (1993), perbedaan tingkat toleransi tersebut menyebabkan komposisi komunitas makrozoobentos dapat digunakan sebagai indikator biologis dalam menilai kondisi ekologis suatu perairan. Oleh karena itu, perubahan struktur komunitas makrozoobentos sering kali mencerminkan perubahan kualitas habitat yang terjadi akibat faktor alami maupun aktivitas manusia.

Kemampuan setiap genus dalam beradaptasi terhadap perubahan lingkungan juga menentukan keberlangsungan hidupnya di suatu habitat. Organisme yang memiliki kisaran toleransi lingkungan yang luas umumnya mampu bertahan dan berkembang biak pada berbagai kondisi perairan, sedangkan organisme yang memiliki toleransi sempit hanya dapat ditemukan pada habitat dengan kualitas lingkungan yang masih baik (Bonada *et al*., 2006). Akibatnya, perubahan kondisi lingkungan dapat menyebabkan beberapa genus menjadi lebih dominan, sementara genus yang sensitif mengalami penurunan kelimpahan atau bahkan menghilang. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa identifikasi genus makrozoobentos tidak hanya diperlukan untuk mengetahui komposisi komunitas, tetapi juga untuk memahami respons biologis organisme terhadap perubahan kualitas habitat serta faktor-faktor lingkungan yang memengaruhinya.

Keanekaragaman makrozoobentos berkaitan erat dengan kekayaan taksa dan kelimpahan relatif individu dalam suatu komunitas. Tingkat keanekaragaman tidak hanya ditentukan oleh jumlah genus yang ditemukan, tetapi juga oleh distribusi individu pada masing-masing genus. Magurran (2021) menjelaskan bahwa pengukuran keanekaragaman biologis perlu mempertimbangkan variasi kelimpahan dan komposisi taksa dalam suatu komunitas. Komunitas dengan distribusi individu yang lebih merata antar-taksa cenderung memiliki keanekaragaman yang lebih tinggi, sedangkan dominasi oleh satu atau beberapa taksa dapat menurunkan nilai keanekaragaman. Oleh karena itu, analisis keanekaragaman perlu dipertimbangkan bersama kelimpahan dan dominasi untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai struktur komunitas makrozoobentos.

Keberadaan makrozoobentos dipengaruhi oleh faktor genetik serta faktor lingkungan. Di antara faktor lingkungan yang mempengaruhi adalah suhu, pH, *total suspended solid* (TSS), *total dissolved solid* (TDS), *dissolved oxygen* (DO), *chemical oxygen demand* (COD), *biological oxygen demand* (BOD), nitrat, dan fosfat. Variasi parameter-parameter tersebut dapat memengaruhi kelimpahan, distribusi, serta struktur komunitas makrozoobentos karena setiap genus memiliki tingkat toleransi yang berbeda terhadap perubahan kondisi lingkungan (Manokaran *et al*., 2022; Bonacina *et al*., 2023). Suhu berpengaruh terhadap laju metabolisme dan pertumbuhan organisme, sedangkan pH berdampak pada aktivitas fisiologis serta keseimbangan ion di dalam tubuh organisme. Kandungan oksigen yang terlarut berperan penting dalam proses respirasi, yaitu metabolisme yang menghasilkan energi, sedangkan TSS dan TDS mempengaruhi kualitas habitat dan penetrasi cahaya dalam perairan. Nitrat dan fosfat merupakan unsur hara yang dibutuhkan oleh organisme akuatik dalam jumlah tertentu untuk mendukung produktivitas primer. Namun, apabila konsentrasinya berlebihan, kedua parameter tersebut dapat memicu eutrofikasi yang menyebabkan pertumbuhan alga secara berlebihan, menurunkan kadar oksigen terlarut, serta mengganggu keseimbangan ekosistem perairan. Kondisi tersebut secara tidak langsung dapat memengaruhi kelimpahan, komposisi, dan distribusi komunitas makrozoobentos karena terjadinya perubahan kualitas habitat dan ketersediaan oksigen bagi organisme bentik.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa faktor lingkungan berhubungan erat dengan keberadaan makrozoobentos. Getachew *et al.* (2024) melaporkan bahwa kandungan oksigen terlarut memiliki korelasi positif terhadap keanekaragaman

makroinvertebrata sungai. Sebaliknya, peningkatan bahan organik dan nilai BOD yang tinggi sering kali berkorelasi negatif dengan keberadaan organisme sensitif. Lukhabi *et al.* (2024) menunjukkan bahwa perubahan suhu, pH, dan kandungan nutrien dapat menyebabkan perubahan komposisi komunitas makrozoobentos. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa genus toleran seperti *Chironomus* cenderung meningkat pada perairan dengan kandungan bahan organik tinggi, sedangkan kelompok *Odonata* dan *Trichoptera* lebih banyak ditemukan pada perairan dengan kualitas baik dan kadar oksigen tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi lingkungan berperan dalam menentukan distribusi, kelimpahan, dan keanekaragaman makrozoobentos baik secara langsung maupun tidak langsung.

Berdasarkan penjelasan tersebut, studi berjudul "Keanekaragaman Makrozoobentos di Kali Bodo, Desa Ngijo, Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang" sangat diperlukan untuk memahami susunan genus, jumlah, keragaman, dominasi, serta interaksi antara komunitas makrozoobentos dengan faktor fisika-kimia di perairan. Temuan dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan data ilmiah mengenai keadaan ekologi di Kali Bodo dan menjadi landasan dalam usaha pengelolaan serta pelestarian kualitas lingkungan perairan dengan cara yang berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah dari penelitian ini adalah:

1. Apa sajakah genus dari makrozoobentos yang ditemukan di Kali Bodo Desa Ngijo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang?

2. Berapakah nilai kelimpahan, indeks keanekaragaman, dan indeks dominansi makrozoobentos di Kali Bodo Desa Ngijo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang?
3. Berapakah nilai parameter faktor fisika kimia air di Kali Bodo Desa Ngijo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang?
4. Bagaimanakah korelasi antara faktor fisika kimia air dengan kelimpahan makrozoobentos di Kali Bodo Desa Ngijo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi genus apa saja dari kelompok makrozoobentos yang ditemukan di Kali Bodo.
2. Menghitung nilai kelimpahan, indeks keanekaragaman, dan indeks dominansi makrozoobentos di Kali Bodo.
3. Menentukan nilai parameter faktor fisika kimia air di Kali Bodo Desa Ngijo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang.
4. Mengetahui korelasi antara faktor fisika kimia air dengan kelimpahan makrozoobentos di Kali Bodo Desa Ngijo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang.

1.4 Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Diperolehnya informasi ilmiah tentang genus-genus dari makrozoobentos yang ditemukan di Kali Bodo Desa Ngijo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang.

2. Diperolehnya informasi ilmiah tentang nilai kelimpahan, indeks keanekaragaman, dan indeks dominansi makrozoobentos di Kali Bodo Desa Ngijo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang.
3. Diperolehnya informasi ilmiah tentang nilai parameter faktor fisika kimia air di Kali Bodo Desa Ngijo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang.
4. Diperolehnya informasi ilmiah tentang Mengetahui korelasi antara faktor fisika kimia air dengan kelimpahan makrozoobentos di Kali Bodo Desa Ngijo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Sampel makrozoobentos diambil dari 3 stasiun di Kali Bodo Desa Ngijo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang pada setiap pengulangan.
2. Pengulangan dilakukan sebanyak 3 kali dengan jarak waktu 7 hari.
3. Analisis kualitas air menggunakan parameter fisika (temperatur dan pH), parameter kimia (DO, BOD, COD, TDS, TSS, Fosfat, dan Nitrat).
4. Identifikasi makrozoobentos sampai pada tingkat genus berdasarkan karakteristik morfologi.
5. Analisis data menggunakan penghitungan kelimpahan, indeks keanekaragaman Shannon-Wiener, indeks dominasi simpson dan indeks korelasi.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ekosistem Sungai

Sungai merupakan salah satu elemen kunci dalam sistem hidrologi, memegang peranan vital dalam menjaga keseimbangan antara ekosistem darat dan air. Sungai bertugas sebagai jalur alami untuk mengalirkan air dari tempat tinggi menuju tempat rendah, mengangkut sedimen, nutrisi, dan bahan organik yang mendukung kehidupan berbagai organisme akuatik (Reid et al., 2019). Selain menyediakan habitat bagi beragam spesies, sungai juga berfungsi sebagai jembatan antar-ekosistem serta berperan dalam siklus biogeokimia global. Komponen dan dinamika ekosistem sungai sangat dipengaruhi oleh faktor biotik dan abiotik, termasuk suhu, aliran air, kadar oksigen terlarut, dan jenis substrat di dasar sungai (Albert et al., 2021). Dalam pandangan ekologi, sungai beroperasi sebagai sistem terbuka yang secara aktif menerima energi dan materi dari area tangkapan air di sekitarnya. Proses alami seperti hujan dan limpasan permukaan berkontribusi terhadap masuknya air serta materi dari lingkungan daratan ke sistem sungai, sementara aliran bahan organik dari ekosistem darat turut mendukung proses ekologis di perairan (Demars et al., 2021). Keanekaragaman spesies yang ada di sungai, dari mikroorganisme hingga makrozoobentos, mencerminkan betapa pentingnya sungai sebagai pusat kehidupan serta keseimbangan ekologi. Sungai yang dalam kondisi baik dapat menjadi tanda ekosistem yang stabil dan berfungsi optimal untuk mendukung keanekaragaman hayati.

Namun, pada era modern ini, sungai menghadapi berbagai tekanan antropogenik seperti pembuangan limbah domestik, pertanian intensif, pembangunan infrastruktur, serta penebangan vegetasi riparian. Menurut Tanaka et al. (2021), perubahan penggunaan lahan akibat aktivitas manusia dapat memengaruhi kondisi perairan sungai melalui peningkatan masukan nutrien dan perubahan sifat fisik-kimia perairan. Degradasi lingkungan akibat aktivitas tersebut dapat menyebabkan penurunan kualitas air dan mengganggu fungsi ekologis serta keberlangsungan organisme akuatik yang bergantung pada ekosistem sungai.

Berdasarkan pandangan ilmiah tersebut, dapat disimpulkan bahwa sungai memiliki fungsi yang kompleks dalam mendukung kehidupan. Oleh karena itu, kajian mengenai keanekaragaman organisme yang hidup di dalamnya, seperti makrozoobentos, menjadi sangat penting sebagai salah satu cara memahami kondisi ekologis dan tingkat kesehatan suatu sungai secara menyeluruh.

2.2 Ekosistem Sungai Menurut Pandangan Islam

Air memiliki kedudukan yang sangat fundamental dalam menopang kehidupan di bumi. Hal ini ditegaskan dalam QS. Al-Anbiya ayat 30, yang menyatakan bahwa dari air Allah menciptakan segala sesuatu yang hidup.

اَوَلَمْ يَرَ الَّذِيْنَ كَفَرُوْا اَنَّ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنٰهُمَا ۗ وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاۤءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ ۗ اَفَلَا يُؤْمِنُوْنَ

Artinya: Apakah orang-orang kafir tidak mengetahui bahwa langit dan bumi, keduanya, dahulu menyatu, kemudian Kami memisahkan keduanya dan Kami menjadikan segala sesuatu yang hidup berasal dari air? Maka, tidakkah mereka beriman ?

Tafsir Kementerian Agama Republik Indonesia (Kemenag RI, 2019) menjelaskan bahwa, Ayat ini menjelaskan bahwa air memiliki peran fundamental dalam menopang kehidupan seluruh makhluk hidup dan menjadi sarana penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem alam. Sungai sebagai ekosistem perairan tawar memiliki peran krusial dalam mendistribusikan air, menyediakan habitat bagi berbagai organisme akuatik, serta menjaga hubungan ekologis antara wilayah hulu dan hilir.

Islam Selain menegaskan fungsi air sebagai sumber kehidupan juga memberikan peringatan mengenai larangan merusak lingkungan. Hal ini tercantum dalam QS. Al-A'raf ayat 56 yang menegaskan larangan bagi manusia untuk membuat kerusakan di muka bumi setelah Allah menciptakannya dalam keadaan baik dan seimbang.

وَلَا تُفْسِدُوْا فِى الْاَرْضِ بَعْدَ اِصْلَاحِهَا وَادْعُوْهُ خَوْفًا وَّطَمَعًا ۗ اِنَّ رَحْمَتَ اللّٰهِ قَرِيْبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِيْنَ

Artinya: Janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah diatur dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat dengan orang-orang yang berbuat baik.

Tafsir Kemenag RI (2019) menjelaskan bahwa bentuk kerusakan yang dimaksud meliputi perusakan alam, pencemaran lingkungan, serta tindakan eksploitasi sumber daya yang berlebihan. Ayat ini menegaskan bahwa manusia sebagai khalifah di bumi memiliki tanggung jawab untuk menjaga, mengelola, dan melestarikan lingkungan agar keseimbangan ekosistem yang telah diciptakan Allah SWT tetap terpelihara.

Kedua ayat tersebut memiliki keterkaitan yang erat dengan upaya pelestarian kualitas perairan. Pencemaran sungai akibat limbah domestik, pertanian, dan aktivitas

manusia lainnya dapat menyebabkan terganggunya keseimbangan ekosistem dan menurunnya keanekaragaman organisme perairan, termasuk makrozoobentos. Oleh karena itu, penelitian mengenai keanekaragaman dan struktur komunitas makrozoobentos dapat dipandang sebagai pendekatan ilmiah yang sejalan dengan nilai-nilai Islam dalam upaya melestarikan sumber daya air serta menghindari terjadinya kerusakan lingkungan. Kajian ini menjadi penting sebagai bentuk kontribusi dalam mewujudkan pengelolaan ekosistem sungai yang berkelanjutan, baik dari sisi ekologis maupun etika lingkungan. Dengan demikian, ajaran Islam tidak hanya menempatkan air dan ekosistem sungai sebagai unsur vital bagi kehidupan, tetapi juga memberikan landasan etis dan normatif dalam pengelolaannya. Dalam kajian fiqih lingkungan (*fiqh al-bī'ah*), manusia memiliki kedudukan sebagai *khalifah fi al-ardh* yang bertanggung jawab untuk menjaga kelestarian alam serta mencegah terjadinya kerusakan lingkungan. Konsep ini menekankan bahwa pemanfaatan sumber daya alam, termasuk ekosistem sungai, harus dilakukan secara bertanggung jawab dan berkelanjutan agar keseimbangan ekologis tetap terjaga serta tidak menimbulkan dampak negatif bagi makhluk hidup lainnya.

Prinsip tersebut juga diperkuat oleh sabda Rasulullah SAW yang menyatakan: *"Tidaklah seorang muslim menanam tanaman atau menabur benih, lalu dimakan oleh burung, manusia, atau hewan, melainkan menjadi sedekah baginya"* (HR. Bukhari dan Muslim). Hadits ini menunjukkan bahwa melestarikan dan menjaga lingkungan, termasuk ekosistem perairan dan organisme di dalamnya, merupakan bagian dari amal kebajikan yang bernilai ibadah. Oleh karena itu, penelitian mengenai keanekaragaman makrozoobentos di ekosistem sungai dapat dipandang sebagai wujud tanggung jawab

ilmiah sekaligus moral dalam menjaga keseimbangan alam. Dengan demikian, penelitian mengenai keanekaragaman makrozoobentos di ekosistem sungai tidak hanya memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu ekologi perairan, tetapi juga mendukung implementasi nilai-nilai fiqih lingkungan sebagai landasan etis dalam menjaga kelestarian sumber daya air dan keseimbangan ekosistem secara berkelanjutan.

Konsep pelestarian lingkungan dalam Islam tidak hanya menekankan tanggung jawab manusia sebagai khalifah di bumi, tetapi juga didasarkan pada keyakinan bahwa seluruh ciptaan Allah SWT tersusun dalam tatanan yang harmonis dan seimbang. Keseimbangan tersebut merupakan sunnatullah yang harus dijaga agar fungsi setiap komponen ekosistem tetap berlangsung sebagaimana mestinya. Prinsip ini selaras dengan firman Allah SWT dalam QS. Al-Mulk ayat 3 yang menjelaskan kesempurnaan dan keteraturan ciptaan-Nya sebagai berikut:

الَّذِيْ خَلَقَ سَبْعَ سَمٰوٰتٍ طِبَاقًا مَا تَرٰى فِيْ خَلْقِ الرَّحْمٰنِ مِنْ تَفٰوُتٍ فَارْجِعِ الْبَصَرَ هَلْ تَرٰى مِنْ فُطُوْرٍ

Artinya: *(Dia juga) yang menciptakan tujuh langit berlapis-lapis. Kamu tidak akan melihat pada ciptaan Tuhan Yang Maha Pengasih ketidakseimbangan sedikit pun. Maka, lihatlah sekali lagi! Adakah kamu melihat suatu cela? (QS. Al-Mulk: 3).*

Ayat tersebut mengandung makna bahwa seluruh ciptaan Allah SWT tersusun dalam suatu sistem yang teratur, seimbang, dan saling berkaitan. Dalam konteks ekosistem perairan, keseimbangan tersebut tercermin melalui interaksi antara komponen biotik, termasuk makrozoobentos, dengan faktor lingkungan yang

memengaruhinya. Oleh karena itu, kajian mengenai keanekaragaman makrozoobentos tidak hanya memberikan informasi ilmiah mengenai kondisi ekologis suatu perairan, namun juga menjadi sarana untuk memahami keteraturan, keselarasan, dan keseimbangan ekosistem sebagai bagian dari tanda-tanda kebesaran Allah SWT dalam mengatur alam semesta.

Kondisi tersebut menjadi semakin relevan apabila dikaitkan dengan ekosistem sungai yang berada di sekitar aktivitas manusia. Berbagai kegiatan antropogenik, seperti permukiman, pertanian, serta aktivitas ekonomi masyarakat di sekitar daerah aliran sungai, berpotensi memengaruhi kualitas perairan melalui masuknya bahan pencemar maupun perubahan karakteristik habitat. Perubahan kondisi lingkungan tersebut dapat berdampak pada keseimbangan ekosistem sungai yang ditandai dengan perubahan struktur komunitas organisme akuatik, termasuk makrozoobentos. Oleh karena itu, kajian mengenai keanekaragaman makrozoobentos di Kali Bodo tidak hanya penting sebagai upaya memperoleh informasi mengenai kondisi ekologis perairan, tetapi juga sebagai bentuk evaluasi terhadap keberlangsungan fungsi ekosistem sungai yang perlu dijaga sesuai dengan prinsip-prinsip pelestarian lingkungan dalam Islam.

Berdasarkan uraian tersebut, ekosistem sungai dalam perspektif Islam dipandang sebagai bagian dari ciptaan Allah SWT yang memiliki peranan penting dalam menopang kehidupan serta menjaga keseimbangan alam. Keberadaan sungai tidak hanya dimanfaatkan sebagai sumber air bagi manusia, tetapi juga berfungsi sebagai habitat bagi berbagai organisme yang saling berinteraksi membentuk suatu sistem ekologis yang harmonis. Dalam perspektif *fiqh al-bī'ah*, manusia sebagai

khalifah fi al-ardh bertanggung jawab menjaga kelestarian sungai dan mencegah segala bentuk kerusakan yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistemnya. Tanggung jawab tersebut sejalan dengan prinsip-prinsip Islam yang mengharuskan pemanfaatan sumber daya alam secara bijaksana, bertanggung jawab, dan berkelanjutan demi kemaslahatan seluruh makhluk hidup. Oleh karena itu, upaya menjaga kualitas ekosistem sungai, termasuk keberlangsungan komunitas makrozoobentos sebagai salah satu komponen penting di dalamnya, merupakan implementasi nilai-nilai Islam dalam menjaga amanah Allah SWT terhadap lingkungan hidup. Kajian ini sekaligus menjadi landasan konseptual bagi penelitian mengenai keanekaragaman makrozoobentos di Kali Bodo sebagai salah satu upaya ilmiah untuk mengevaluasi kondisi ekologis sungai serta mendukung pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan sesuai dengan nilai-nilai Islam.

2.3 Ekosistem Kali Bodo

Kali Bodo adalah salah satu aliran anak sungai dari Sungai Brantas yang terletak di Desa Ngijo, Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang. Secara geografis, wilayah ini berada di dataran tinggi dengan karakteristik topografi berbukit yang menjadi daerah tangkapan air penting bagi Kabupaten Malang. Aliran air Kali Bodo bermula dari perbukitan di sekitar Karangploso dan mengalir menuju Sungai Brantas. Kondisi ini menjadikan Kali Bodo berperan dalam sistem hidrologi lokal, terutama dalam mendukung aktivitas pertanian dan kebutuhan air masyarakat.

Perkembangan permukiman dan aktivitas antropogenik di sekitar aliran sungai telah menyebabkan perubahan ekologis yang signifikan. Daerah riparian yang dulunya ditumbuhi vegetasi alami kini banyak beralih fungsi menjadi lahan pertanian dan

perumahan. Akibatnya, terjadi peningkatan laju erosi, sedimentasi, serta masukan material organik dan anorganik ke dalam perairan (Putri *et al*., 2021). Kondisi tersebut berpotensi menurunkan kualitas air dan memengaruhi struktur komunitas biota dasar seperti makrozoobentos.

Morfologi dan substrat dasar sungai juga memengaruhi kestabilan ekosistem Kali Bodo selain faktor antropogenik. Jenis substrat dasar sungai dapat memengaruhi struktur komunitas makrozoobentos karena perbedaan karakteristik substrat dan tingkat pencemaran berhubungan dengan perbedaan komposisi organisme bentik (Muntalif et al., 2023). Substrat yang mengalami akumulasi sedimen halus dan kondisi lingkungan yang terdegradasi cenderung berkaitan dengan dominasi organisme yang lebih toleran, sedangkan berkurangnya organisme sensitif dapat mencerminkan perubahan kondisi habitat dan kualitas perairan (Muntalif et al., 2023). Kajian terhadap kondisi ekologis Kali Bodo melalui pengamatan makrozoobentos sangat relevan, mengingat sungai ini belum banyak dikaji secara mendalam dibandingkan sungai-sungai lain di wilayah Brantas Hulu. Oleh karena itu, studi ini dapat menyajikan gambaran terbaru tentang tingkat keanekaragaman dan kualitas lingkungan di Kali Bodo.

2.4 Makrozoobentos

Makrozoobentos merupakan organisme bentik berukuran relatif besar, umumnya lebih dari 0,5 mm, yang hidup di dasar perairan, baik pada substrat berupa pasir, lumpur, batu, maupun sisa-sisa vegetasi akuatik. Kelompok organisme ini mencakup berbagai taksa, seperti Arthropoda, Mollusca, Annelida, Crustacea, serta kelompok invertebrata lain yang telah beradaptasi dengan kondisi habitat dasar

perairan (Morse *et al*., 2019; Bonacina *et al*., 2023). Makrozoobentos memiliki peranan penting dalam ekosistem sungai karena terlibat dalam proses dekomposisi bahan organik, daur ulang nutrien, serta aliran energi dalam rantai makanan perairan. Selain itu, organisme ini juga menjadi sumber makanan bagi ikan dan berbagai organisme akuatik lainnya, sehingga keberadaannya berkontribusi terhadap kestabilan dan fungsi ekologis ekosistem perairan (Bonacina *et al*., 2023).

Keberadaan dan variasi makrozoobentos dalam suatu perairan sangat dipengaruhi oleh kondisi fisika-kimia lingkungan, seperti suhu, derajat keasaman (pH), kecepatan arus, kandungan oksigen terlarut (DO), serta karakteristik substrat dan ketersediaan nutrien. Perubahan pada parameter-parameter tersebut, terutama akibat pencemaran organik maupun anorganik, dapat memengaruhi struktur komunitas makrozoobentos, baik dari segi kelimpahan, keanekaragaman, maupun komposisi spesies. Organisme yang memiliki toleransi tinggi terhadap pencemaran, seperti anggota famili *Chironomidae* dan *Tubificidae*, cenderung mendominasi perairan yang mengalami penurunan kualitas lingkungan. Sebaliknya, kelompok *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, dan *Trichoptera* (EPT) umumnya hanya ditemukan pada perairan yang memiliki kualitas baik karena lebih sensitif terhadap perubahan kondisi habitat. Oleh karena itu, perubahan komposisi komunitas makrozoobentos banyak dimanfaatkan sebagai indikator biologis dalam mengevaluasi kualitas perairan dan tingkat gangguan ekologis yang terjadi (Eriksen *et al*., 2021; Tampo *et al*., 2021).

Makrozoobentos dapat dikelompokkan berdasarkan tingkat toleransinya terhadap pencemaran menjadi tiga kategori utama: (1) kelompok sensitif, yang hanya dapat hidup di perairan bersih; (2) kelompok toleran sedang, yang mampu hidup pada

perairan dengan tingkat pencemaran ringan; dan (3) kelompok toleran tinggi, yang mampu bertahan di kondisi tercemar berat (Duran, 2006). Perubahan proporsi ketiga kelompok ini dapat digunakan untuk menilai tingkat pencemaran sungai secara biologis, oleh karena itu, komunitas makrozoobentos sering dijadikan bioindikator yang efektif untuk menilai kualitas ekosistem perairan (Bonada *et al*., 2006).

Makrozoobentos juga memiliki peran penting dalam siklus nutrien dan proses dekomposisi bahan organik di ekosistem perairan. Melalui aktivitas makan, penguraian detritus, serta pergerakannya pada substrat dasar, makrozoobentos membantu mempercepat dekomposisi bahan organik, meningkatkan mineralisasi, dan mendukung daur ulang unsur hara yang dapat dimanfaatkan oleh organisme lain. Selain itu, aktivitas bioturbasi yang dilakukan beberapa kelompok makrozoobentos turut memperbaiki sirkulasi sedimen dan memperlancar perpindahan bahan organik serta nutrien dalam ekosistem. Dengan demikian, keberadaan makrozoobentos tidak hanya mencerminkan kondisi lingkungan perairan, tetapi juga berkontribusi dalam menjaga fungsi ekologis dan kestabilan ekosistem sungai (Addo-Bediako, 2021; Demars *et al*., 2021).

Penelitian mengenai makrozoobentos banyak dilakukan di Indonesia pada berbagai ekosistem sungai dan danau untuk menilai kualitas air (Rahmawati dkk., 2021). Hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa keanekaragaman makrozoobentos menurun seiring meningkatnya aktivitas antropogenik seperti limbah domestik, pertanian, dan industri. Oleh karena itu, studi mengenai makrozoobentos di Kali Bodo diharapkan dapat memberikan gambaran awal mengenai kondisi ekologis perairan di wilayah semi-urban Kabupaten Malang yang belum banyak diteliti.

2.4.1 Klasifikasi Makrozoobentos

Makrozoobentos merupakan kelompok hewan bentik yang hidup di dasar perairan, seperti sungai, danau, dan rawa, dengan ukuran tubuh umumnya lebih dari 0,5 mm. Organisme ini memiliki peranan penting dalam ekosistem akuatik sebagai pengurai bahan organik, pendaur ulang unsur hara, serta sumber makanan bagi ikan dan berbagai organisme akuatik lainnya. Selain itu, makrozoobentos banyak dimanfaatkan sebagai bioindikator karena struktur komunitasnya memberikan respons yang sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan dan tekanan antropogenik, sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas perairan. Struktur komunitas dan tingkat keanekaragaman makrozoobentos pada suatu perairan sangat dipengaruhi oleh kondisi fisika-kimia lingkungan serta besarnya tekanan pencemaran yang terjadi di habitat tersebut (Obubu *et al*., 2021; Addo-Bediako, 2021).

Makrozoobentos menunjukkan tingkat toleransi yang berbeda terhadap perubahan kualitas lingkungan, terutama yang berkaitan dengan peningkatan bahan organik, penurunan kadar oksigen terlarut (DO), serta berbagai bentuk pencemaran lainnya. Perbedaan toleransi tersebut menyebabkan perubahan komposisi, kelimpahan, dan dominansi kelompok makrozoobentos seiring dengan meningkatnya tekanan lingkungan. Organisme yang toleran terhadap pencemaran cenderung mendominasi perairan yang telah mengalami degradasi kualitas, sedangkan organisme yang sensitif hanya mampu bertahan pada perairan dengan kondisi lingkungan yang masih baik. Oleh karena itu, makrozoobentos banyak dimanfaatkan sebagai bioindikator dalam

penilaian kualitas air karena perubahan struktur komunitasnya mampu menggambarkan tingkat gangguan ekologis yang terjadi. Berdasarkan tingkat toleransinya terhadap beban pencemaran, makrozoobentos umumnya dikelompokkan ke dalam tiga kategori utama: (Tampo *et al*., 2021; Eriksen *et al*., 2021).

Tabel 2.1 Pengelompokan makrozoobentos berdasarkan tingkat toleransi terhadap beban pencemaran

Tingkat Pencemaran	Indikator Makrozoobentos
Organisme sensitif terhadap pencemaran	*Ephemeroptera*, *Plecoptera*, dan *Trichoptera*
Organisme dengan toleransi sedang	*Gastropoda* seperti *Melanoides tuberculata* dan *Thiara scabra*, serta *Bivalvia* seperti *Corbicula fluminea*.
Organisme toleran terhadap pencemaran	*Oligochaeta* seperti *Tubifex tubifex* dan *Limnodrilus hoffmeisteri*, serta larva *Diptera* seperti *Chironomus sp.*

Makrozoobentos juga dapat diklasifikasikan berdasarkan fungsi ekologisnya dalam ekosistem sungai. Pendekatan ini dikenal sebagai *Functional Feeding Groups* (FFGs), yaitu pengelompokan organisme berdasarkan cara memperoleh dan memanfaatkan sumber makanan, bukan berdasarkan hubungan taksonominya. Pengelompokan tersebut memberikan gambaran mengenai peran makrozoobentos dalam proses ekologis, seperti dekomposisi bahan organik, aliran energi, dan siklus nutrien di ekosistem perairan. Menurut Cummins (2021), makrozoobentos dikelompokkan ke dalam lima kelompok fungsional utama, yaitu *shredders* (pencacah), *collector-gatherers* (pengumpul), *collector-filterers* (penyaring), *scrapers/grazers* (penggembala atau pengikis), dan *predators* (pemangsa). Shredder adalah pemakan bahan organik kasar seperti daun gugur seperti *Plecoptera*. Collector-gatherer adalah

pengumpul partikel organik halus dari dasar perairan seperti *Chironomus sp.* dan *Oligochaeta*. Scraper atau grazer adalah pemakan alga dan biofilm di batuan seperti *Gastropoda*. Filter-feeder adalah penyaring partikel organik tersuspensi di air misalnya *Bivalvia* seperti *Corbicula sp.* Predator, pemangsa organisme lain di dasar sungai misalnya larva *Odonata*. Melalui fungsi ekologis ini, makrozoobentos berperan penting dalam menjaga keseimbangan rantai makanan, proses dekomposisi, serta daur ulang nutrien di dalam ekosistem sungai (Duran, 2006).

Makrozoobentos menurut kelasnya dibagi menjadi beberapa bagian, diantaranya adalah kelas *Insecta*, kelas *Gastropoda*, kelas *Bivalvia*, kelas *Oligochaeta*, dan kelas *Crustacea*.

Gambar 2.1 Kelompok utama makrozoobentos (A) dan (B) Oligochaeta, (C) Hirudinea, (D) Insekta, (E) Hydracarina, (F) Crustacea, (G) Gastropoda, dan (H) Nematoda. (Oscoz et al.,2011)

2.4.1.1 Kelas Insecta (Serangga Air)

Kelas Insecta merupakan kelompok makrozoobentos yang paling beragam dan umum ditemukan di ekosistem sungai. Kelompok ini meliputi berbagai ordo, seperti

Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Coleoptera, dan Diptera. Ephemeroptera, Plecoptera, dan Trichoptera (EPT) dikenal sebagai indikator perairan yang berkualitas baik, sedangkan beberapa anggota Diptera, seperti famili Chironomidae, lebih toleran terhadap pencemaran. Secara ekologis, serangga air berperan sebagai *shredders*, *collectors*, *scrapers*, dan *predator* yang mendukung dekomposisi bahan organik serta aliran energi dalam ekosistem sungai (Cummins, 2021; Ibrahim dkk., 2021).

2.4.1.2 Kelas Gastropoda (Keong Air)

Gastropoda merupakan kelompok makrozoobentos yang memiliki cangkang berbentuk spiral dan bergerak relatif lambat di dasar perairan. Kelompok ini umumnya berperan sebagai *grazer* yang memanfaatkan alga, biofilm, dan detritus pada permukaan batu maupun sedimen sebagai sumber makanan. Beberapa spesies yang sering ditemukan di perairan tawar antara lain *Melanoides tuberculata* dan *Thiara scabra*. Gastropoda memiliki kemampuan adaptasi yang cukup baik terhadap variasi kondisi lingkungan sehingga beberapa spesiesnya masih dapat bertahan pada perairan dengan tingkat tekanan antropogenik sedang, meskipun kelimpahan dan distribusinya tetap dipengaruhi oleh kualitas habitat dan kondisi fisika-kimia perairan (Okumura & Rocha, 2020).

2.4.1.3 Kelas Bivalvia (Kekerangan Air Tawar)

Bivalvia merupakan kelompok makrozoobentos yang memiliki dua cangkang simetris dan memperoleh makanan dengan cara menyaring partikel tersuspensi (*filter feeding*) dari kolom air. Salah satu spesies yang umum ditemukan di perairan tawar adalah *Corbicula fluminea*, yang banyak dijumpai pada sungai dengan arus relatif tenang hingga sedang. Sebagai organisme penyaring, Bivalvia berperan dalam

mengurangi partikel tersuspensi, fitoplankton, dan bahan organik di perairan sehingga berkontribusi terhadap peningkatan kejernihan air dan menjaga keseimbangan ekosistem akuatik. Keberadaan kelompok ini juga sering dikaitkan dengan kondisi habitat yang relatif stabil (Gu *et al*., 2020; Shen *et al*., 2020).

2.4.1.4 Kelas Oligochaeta (Cacing Air)

Oligochaeta merupakan kelompok makrozoobentos yang memiliki tubuh berbentuk silindris dan umumnya hidup pada substrat lumpur atau sedimen halus. Beberapa spesies yang sering dijumpai di perairan tawar adalah *Tubifex tubifex* dan *Limnodrilus hoffmeisteri*. Kelompok ini memiliki toleransi yang tinggi terhadap perairan dengan kandungan bahan organik yang tinggi dan kadar oksigen terlarut yang rendah, sehingga sering mendominasi habitat yang mengalami pencemaran organik. Meskipun demikian, Oligochaeta tetap berperan penting sebagai pengurai bahan organik dan bioturbator yang membantu mempercepat daur ulang nutrien serta menjaga fungsi ekosistem dasar perairan (Pigneret *et al*., 2016; Kong *et al*., 2025).

2.4.1.5 Kelas Crustacea (Udang dan Amfipoda)

Crustacea merupakan kelompok makrozoobentos yang mencakup udang air tawar seperti *Caridina* sp. serta amphipoda seperti *Gammarus* sp. Organisme ini umumnya hidup di dasar sungai dan berperan sebagai *scavenger* maupun detritivor yang memanfaatkan sisa-sisa organisme dan bahan organik sebagai sumber makanan. Keberadaan Crustacea umumnya berkaitan dengan habitat yang masih memiliki kualitas perairan baik, terutama kandungan oksigen terlarut yang cukup tinggi, sehingga kelompok ini sering dimanfaatkan sebagai salah satu indikator kondisi ekologis sungai (Arfianti & Costello, 2021).

2.5 Indeks Kelimpahan

Kelimpahan makrozoobentos menggambarkan jumlah individu yang terdapat pada suatu perairan dan merupakan salah satu parameter biologis yang digunakan untuk menilai produktivitas serta kondisi ekologis ekosistem sungai. Kelimpahan yang tinggi umumnya menunjukkan bahwa habitat masih mampu menyediakan sumber daya yang memadai, seperti bahan organik, oksigen terlarut, dan substrat yang sesuai, sedangkan kelimpahan yang rendah dapat mengindikasikan adanya gangguan lingkungan atau penurunan kualitas habitat (Ibrahim dkk., 2021).

Kelimpahan makrozoobentos dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, antara lain suhu, pH, oksigen terlarut (DO), kecepatan arus, jenis substrat, serta kandungan bahan organik sedimen. Selain faktor alami, aktivitas antropogenik seperti pembuangan limbah domestik, penggunaan pupuk pada lahan pertanian, dan sedimentasi dapat mengubah kondisi habitat sehingga memengaruhi jumlah individu dan struktur komunitas makrozoobentos di suatu perairan (Setyowati dkk., 2024; Rahmawati *et al*., 2021).

Tingginya kelimpahan dari kelompok tertentu dapat menunjukkan tingkat pencemaran tertentu. Misalnya, famili Chironomidae (larva lalat) dan Tubificidae (cacing lumpur) sering mendominasi perairan yang tercemar organik, sedangkan famili Baetidae atau Heptageniidae lebih sering ditemukan di perairan yang jernih dan beroksigen tinggi (Duran, 2006). Oleh karena itu, analisis terhadap kelimpahan makrozoobentos dapat memberikan gambaran awal tentang kondisi ekologis suatu sungai, termasuk tingkat pencemarannya.

2.6 Indeks Keanekaragaman

Indeks keanekaragaman merupakan ukuran yang menggambarkan tingkat variasi jenis organisme serta pemerataan jumlah individu dalam suatu komunitas. Nilai indeks keanekaragaman yang tinggi menunjukkan bahwa suatu ekosistem memiliki struktur komunitas yang beragam, kondisi habitat yang relatif stabil, serta mampu mendukung keberlangsungan hidup berbagai jenis organisme. Sebaliknya, nilai keanekaragaman yang rendah mengindikasikan adanya tekanan lingkungan, seperti pencemaran, perubahan habitat, atau gangguan ekologis lainnya yang menyebabkan hanya spesies tertentu yang mampu bertahan. Tingginya keanekaragaman spesies juga berkontribusi terhadap meningkatnya stabilitas ekosistem karena setiap spesies memiliki respons yang berbeda terhadap perubahan lingkungan sehingga fungsi ekosistem dapat tetap berlangsung (Xu *et al*., 2021).

Keanekaragaman makrozoobentos dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, baik fisik maupun kimia, seperti suhu, derajat keasaman (pH), oksigen terlarut (*dissolved oxygen*/DO), kecepatan arus, jenis substrat, serta kandungan bahan organik. Perairan dengan kualitas lingkungan yang baik umumnya memiliki komunitas makrozoobentos yang lebih beragam dengan distribusi individu yang relatif merata. Sebaliknya, pada perairan yang mengalami penurunan kualitas akibat pencemaran, komunitas makrozoobentos cenderung didominasi oleh spesies yang memiliki toleransi tinggi terhadap kondisi lingkungan yang tertekan (Ibrahim dkk., 2021). Keanekaragaman makrozoobentos juga berperan penting dalam menjaga fungsi ekosistem karena setiap kelompok organisme memiliki peran ekologis yang berbeda, seperti pengurai bahan organik, pemakan detritus, *grazer*, *collector*, maupun predator yang berkontribusi terhadap aliran energi dan daur ulang nutrien dalam ekosistem

sungai (Cummins, 2021). Oleh karena itu, analisis keanekaragaman makrozoobentos tidak hanya memberikan informasi mengenai kualitas perairan, tetapi juga dapat digunakan untuk mengevaluasi stabilitas dan keseimbangan ekosistem secara menyeluruh.

Penelitian yang dilakukan oleh Adharini dan Arumsari (2021) di Sungai Code, Yogyakarta, menunjukkan bahwa struktur komunitas makrozoobentos dipengaruhi oleh kondisi kualitas perairan, terutama kandungan oksigen terlarut, bahan organik, dan karakteristik habitat. Lokasi yang mengalami tekanan aktivitas manusia cenderung memiliki nilai keanekaragaman yang lebih rendah dibandingkan lokasi dengan kondisi habitat yang lebih baik. Temuan tersebut menunjukkan bahwa makrozoobentos memiliki respons yang tinggi terhadap perubahan kondisi lingkungan sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bioindikator dalam penilaian kualitas ekosistem perairan.

Tingkat keanekaragaman makrozoobentos juga berkaitan erat dengan stabilitas ekosistem perairan. Stabilitas ekosistem merupakan kemampuan suatu ekosistem untuk mempertahankan struktur, komposisi, dan fungsi ekologisnya sehingga tetap mampu berfungsi secara normal meskipun mengalami gangguan atau perubahan kondisi lingkungan dalam batas tertentu. Stabilitas tersebut tercermin dari kemampuan ekosistem dalam menjaga keseimbangan interaksi antarorganisme, mempertahankan produktivitas, serta memulihkan diri setelah mengalami tekanan lingkungan (Loreau *et al*., 2021; Xu *et al*., 2021). Komunitas yang memiliki keanekaragaman tinggi umumnya menunjukkan bahwa berbagai peran ekologis dapat dijalankan oleh banyak spesies sehingga interaksi antarorganisme berlangsung secara seimbang. Kondisi tersebut menjadikan ekosistem lebih mampu mempertahankan fungsi ekologisnya, seperti

dekomposisi bahan organik, siklus nutrien, dan aliran energi, meskipun terjadi perubahan kondisi lingkungan dalam batas tertentu. Sebaliknya, rendahnya keanekaragaman menyebabkan komunitas didominasi oleh sedikit spesies, sehingga fungsi ekologis menjadi kurang optimal dan ekosistem lebih rentan terhadap gangguan maupun perubahan lingkungan. Menurut Cardinale *et al*. (2012), tingginya keanekaragaman hayati berperan penting dalam menjaga produktivitas, stabilitas, dan ketahanan ekosistem terhadap berbagai tekanan lingkungan. Oleh karena itu, keanekaragaman makrozoobentos tidak hanya mencerminkan kondisi kualitas perairan, tetapi juga menjadi indikator penting dalam menilai tingkat kestabilan dan keberlanjutan fungsi ekosistem sungai.

2.7 Indeks Dominansi

Indeks dominansi merupakan salah satu parameter ekologi yang digunakan untuk mengetahui tingkat penguasaan suatu spesies dalam komunitas makrozoobentos. Nilai dominansi yang tinggi menunjukkan bahwa satu atau beberapa spesies memiliki jumlah individu yang jauh lebih besar dibandingkan spesies lainnya sehingga struktur komunitas menjadi kurang merata. Kondisi tersebut umumnya terjadi pada perairan yang mengalami tekanan ekologis, sehingga hanya organisme yang memiliki toleransi tinggi terhadap perubahan lingkungan yang mampu bertahan dan berkembang. Sebaliknya, nilai dominansi yang rendah menunjukkan distribusi individu antarspesies yang lebih merata sehingga mencerminkan struktur komunitas yang lebih seimbang, tingkat keanekaragaman yang lebih tinggi, serta kondisi ekosistem yang relatif stabil (Mathers *et al*., 2022; Savić *et al*., 2022). Analisis dominansi banyak digunakan dalam biomonitoring perairan karena perubahan nilai dominansi dapat memberikan gambaran

mengenai tingkat gangguan lingkungan, perubahan kualitas habitat, serta respons komunitas makrozoobentos terhadap tekanan antropogenik (Ruaro *et al*., 2019).

Perairan yang memiliki kualitas baik umumnya tidak menunjukkan dominansi yang mencolok oleh satu jenis tertentu. Komunitas makrozoobentos cenderung tersusun lebih seimbang dengan kehadiran berbagai taksa yang sensitif terhadap perubahan lingkungan, terutama kelompok Ephemeroptera, Plecoptera, dan Trichoptera (EPT), seperti famili Baetidae, Heptageniidae, dan beberapa famili Trichoptera. Keberadaan kelompok EPT dalam jumlah yang relatif tinggi menunjukkan bahwa kondisi habitat masih mampu mendukung kehidupan organisme akuatik secara optimal karena kelompok tersebut umumnya memerlukan perairan dengan kandungan oksigen terlarut yang tinggi, substrat yang stabil, dan tingkat pencemaran yang rendah (Darojat *et al*., 2020; Sudarso dkk., 2020).

Analisis dominansi melengkapi informasi yang diperoleh dari indeks kelimpahan dan indeks keanekaragaman dalam menggambarkan struktur komunitas makrozoobentos. Ketiga indeks tersebut saling melengkapi dalam mengevaluasi kondisi ekologis suatu perairan. Indeks kelimpahan menunjukkan banyaknya individu, indeks keanekaragaman menggambarkan variasi jenis dan pemerataan individu, sedangkan indeks dominansi menunjukkan tingkat penguasaan komunitas oleh spesies tertentu. Oleh karena itu, interpretasi ketiga indeks tersebut secara terpadu, disertai analisis parameter fisika-kimia air, akan menghasilkan penilaian yang lebih komprehensif terhadap kualitas perairan, integritas biologis, dan tingkat gangguan lingkungan yang terjadi (Ruaro *et al*., 2019; Edegbene *et al*., 2019).

Indeks keanekaragaman dan indeks dominansi memiliki hubungan yang saling berkaitan dalam menggambarkan struktur komunitas makrozoobentos. Secara umum, semakin tinggi nilai keanekaragaman suatu komunitas, semakin rendah nilai dominansinya karena individu cenderung tersebar lebih merata pada berbagai spesies. Sebaliknya, apabila suatu komunitas didominasi oleh satu atau beberapa spesies tertentu, maka nilai dominansi akan meningkat dan nilai keanekaragaman cenderung menurun. Hubungan tersebut menunjukkan bahwa distribusi individu yang merata merupakan salah satu indikator penting dari ekosistem yang stabil, sedangkan dominansi yang tinggi sering mengindikasikan adanya tekanan lingkungan yang menyebabkan hanya spesies-spesies tertentu yang mampu bertahan. Menurut Magurran (2004), interpretasi keanekaragaman dan dominansi secara bersamaan memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kondisi komunitas biologis, sehingga keduanya banyak digunakan dalam kajian ekologi perairan untuk mengevaluasi tingkat kestabilan ekosistem dan kualitas lingkungan.

2.8 Organisme Makrozoobentos sebagai Bioindikator Lingkungan Perairan

Konsep bioindikator didasarkan pada kemampuan organisme untuk memberikan respons terhadap perubahan kondisi lingkungan sehingga keberadaan, kelimpahan, maupun struktur komunitasnya dapat digunakan untuk menilai kualitas suatu ekosistem. Makrozoobentos merupakan salah satu kelompok bioindikator yang paling banyak digunakan karena memiliki mobilitas yang rendah, siklus hidup relatif panjang, mudah dikoleksi, serta menunjukkan respons yang berbeda terhadap perubahan kualitas habitat dan pencemaran perairan. Karakteristik tersebut menyebabkan struktur komunitas makrozoobentos mampu merepresentasikan kondisi

lingkungan dalam jangka waktu yang relatif panjang (Tampo *et al*., 2021; Putri *et al*., 2021). Organisme yang sensitif terhadap pencemaran, terutama kelompok Ephemeroptera, Plecoptera, dan Trichoptera (EPT) seperti famili Heptageniidae dan Perlidae, umumnya ditemukan pada perairan yang jernih, kaya oksigen terlarut, dan memiliki kondisi habitat yang baik. Sebaliknya, kelompok yang toleran, seperti famili Tubificidae dan Chironomidae, lebih banyak dijumpai pada perairan dengan kandungan bahan organik tinggi, kadar oksigen terlarut rendah, serta telah mengalami tekanan pencemaran (Sueb, 2021; Abdullah *et al*., 2022).

Makrozoobentos sebagai bioindikator telah diakui secara internasional dan digunakan dalam berbagai sistem penilaian kualitas air, seperti *Biological Monitoring Working Party* (BMWP), *Average Score Per Taxon* (ASPT), dan *Family Biotic Index* (FBI). Indeks-indeks tersebut memanfaatkan perbedaan tingkat toleransi setiap taksa makrozoobentos terhadap pencemaran sehingga mampu menggambarkan kondisi ekologis suatu perairan secara lebih komprehensif dibandingkan pengukuran fisika-kimia sesaat (Maknuun dkk., 2021). Melalui analisis komposisi taksonomi dan nilai indeks biotik, peneliti dapat mengevaluasi status ekologis perairan dengan tingkat akurasi yang tinggi. Pendekatan biomonitoring berbasis makrozoobentos juga dinilai lebih efektif karena mencerminkan respons kumulatif organisme terhadap perubahan kualitas habitat dalam jangka panjang. Selain itu, penggunaan makrozoobentos sebagai bioindikator mendukung pengelolaan ekosistem secara berkelanjutan karena mampu mendeteksi perubahan kondisi lingkungan sejak tahap awal sebelum terjadi kerusakan yang lebih serius (Cid *et al*., 2020). Dengan demikian, studi komunitas

makrozoobentos memiliki nilai strategis dalam pengelolaan sungai, terutama pada wilayah yang mengalami tekanan aktivitas manusia seperti Kali Bodo.

2.9 Baku Mutu Air Sungai

Baku mutu air sungai merupakan ukuran batas atau kadar maksimum unsur, zat, energi, dan/atau komponen lain yang diperbolehkan terdapat dalam air sehingga fungsi perairan tetap terjaga sesuai dengan peruntukannya. Penetapan baku mutu bertujuan untuk melindungi kualitas air, mencegah terjadinya pencemaran, serta menjadi acuan dalam upaya pengendalian dan pemulihan kualitas lingkungan perairan sesuai dengan fungsi ekologisnya (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021). Dalam pengelolaan sumber daya air, baku mutu berfungsi sebagai tolok ukur untuk menentukan status mutu air serta menjadi dasar dalam evaluasi kualitas perairan dan penegakan hukum terhadap kegiatan yang menyebabkan pencemaran lingkungan (Marselina *et al*., 2022; Mutmainah dkk., 2022).

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 mengenai Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, baku mutu air sungai dikelompokkan menjadi 4 kategori berdasarkan fungsinya dan tingkat kebersihannya. Kelas I diperuntukkan bagi air yang dapat digunakan sebagai air baku untuk air minum dan kebutuhan rumah tangga lainnya. Kelas II digunakan untuk kegiatan rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, dan irigasi pertanian. Kelas III digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, dan tanaman yang tidak dikonsumsi secara langsung. Kelas IV digunakan untuk kegiatan pertanian dan keperluan lain yang membutuhkan air dengan kualitas lebih rendah.

Klasifikasi kualitas air berperan dalam menetapkan standar mutu yang harus dipenuhi oleh suatu badan air sesuai dengan peruntukannya. Penentuan status kualitas air sungai dilakukan berdasarkan hasil pengukuran berbagai parameter fisika, kimia, dan biologi. Parameter fisika meliputi suhu, total padatan terlarut (*Total Dissolved Solids*/TDS), dan total padatan tersuspensi (*Total Suspended Solids*/TSS). Parameter kimia mencakup derajat keasaman (pH), oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*/DO), kebutuhan oksigen biokimia (*Biological Oxygen Demand*/BOD), kebutuhan oksigen kimia (*Chemical Oxygen Demand*/COD), nitrat (NO_3^-), dan fosfat (PO_4^{3-}). Sementara itu, parameter biologi meliputi keberadaan bakteri indikator, seperti *Escherichia coli* dan total koliform. Pengukuran berbagai parameter tersebut memberikan gambaran yang komprehensif mengenai kondisi kualitas air serta tingkat pencemaran yang terjadi pada suatu badan perairan (Pemerintah Republik Indonesia, 2021; Supriyanto & Koestoer, 2022).

Pemantauan terhadap parameter-parameter kualitas air dilakukan untuk memastikan bahwa kondisi perairan tetap memenuhi baku mutu sesuai dengan peruntukannya serta untuk mendeteksi adanya indikasi pencemaran sejak dini. Hasil pengukuran setiap parameter kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang berlaku untuk menentukan status mutu air. Apabila terdapat parameter yang melebihi baku mutu, maka kualitas air dapat dikategorikan sebagai memenuhi baku mutu, tercemar ringan, tercemar sedang, atau tercemar berat berdasarkan hasil perhitungan metode penentuan status mutu air, seperti metode Indeks Pencemaran (IP). Klasifikasi tersebut menjadi dasar dalam penyusunan strategi pengendalian pencemaran dan pengelolaan

kualitas air secara berkelanjutan (Pemerintah Republik Indonesia, 2021; Kusumaningtyas dkk., 2022).

Baku mutu air sungai berperan sebagai acuan utama dalam menentukan status kualitas perairan melalui berbagai metode evaluasi, seperti Metode Indeks Pencemaran (IP) dan Metode STORET. Kedua metode tersebut digunakan untuk menilai tingkat penyimpangan kualitas air terhadap baku mutu yang telah ditetapkan dalam peraturan perundang-undangan, sehingga dapat menggambarkan kondisi mutu suatu badan air secara objektif (Pemerintah Republik Indonesia, 2021; Kusumaningtyas dkk., 2022). Hasil penilaian kualitas air memiliki peranan penting dalam pengelolaan ekosistem perairan karena menjadi dasar dalam penyusunan strategi konservasi, pemantauan lingkungan, serta rehabilitasi sungai. Dalam kajian ekologi perairan, khususnya penelitian mengenai keanekaragaman makrozoobentos, informasi mengenai baku mutu air sangat penting karena organisme bentik memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan kondisi lingkungan. Perubahan parameter fisika-kimia, seperti pH, oksigen terlarut (DO), suhu, maupun kandungan bahan organik, dapat memengaruhi komposisi, distribusi, dan kelimpahan komunitas makrozoobentos secara signifikan (Sueb, 2021; Tampo *et al*., 2021). Oleh sebab itu, pengukuran parameter kualitas air menjadi langkah mendasar dalam mengkaji keterkaitan antara kondisi lingkungan perairan dengan struktur komunitas makrozoobentos.

Baku mutu air selain berfungsi sebagai indikator dalam penilaian kualitas lingkungan, juga memiliki peran strategis sebagai instrumen pengendalian pencemaran dan pedoman dalam pengelolaan sumber daya air secara berkelanjutan. Pemenuhan standar kualitas air yang telah ditetapkan diharapkan mampu menjaga fungsi ekologis

sungai sehingga tetap dapat menyediakan sumber daya air yang layak sekaligus mempertahankan perannya sebagai habitat bagi berbagai organisme akuatik. Dengan demikian, penerapan baku mutu air tidak hanya bertujuan melindungi kualitas perairan dari degradasi lingkungan, tetapi juga mendukung keberlangsungan keseimbangan ekosistem sungai dalam jangka panjang. Berikut adalah tabel baku mutu air sungai berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021:

Tabel 2.2 Baku mutu air sungai

Parameter	**Satuan**	**Kelas I**	**Kelas II**	**Kelas III**	**Kelas IV**
Fisika					
Suhu	°C	Deviasi ≤ 3 dari suhu alami	Deviasi ≤ 3 dari suhu alami	Deviasi ≤ 3 dari suhu alami	Deviasi ≤ 3 dari suhu alami
TDS (*Total Dissolved Solid*)	mg/L	1000	1000	1000	2000
TSS (*Total Suspended Solid*)	mg/L	40	50	100	400
Kimia					
pH	-	6–9	6–9	6–9	6–9
DO (*Dissolved Oxygen*)	mg/L	≥ 6	≥ 4	≥ 3	≥ 1
BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)	mg/L	2	3	6	12
COD (*Chemical Oxygen Demand*)	mg/L	10	25	40	80
Nitrat (NO_3^--N)	mg/L	10	10	20	20
Fosfat (PO_4^{3-}-P)	mg/L	0.2	0.2	1	-

(Sumber: PP No. 22 Tahun 2021)

Berdasarkan baku mutu yang telah ditetapkan, perairan yang memiliki nilai parameter fisika-kimia sesuai dengan standar dikategorikan memiliki kualitas yang baik dan mampu mendukung kehidupan organisme akuatik secara optimal. Sebaliknya, apabila satu atau lebih parameter melebihi baku mutu, maka kondisi perairan

menunjukkan adanya indikasi pencemaran yang berpotensi menurunkan kualitas habitat serta memengaruhi struktur komunitas organisme akuatik, termasuk makrozoobentos. Penurunan kualitas air akibat perubahan parameter fisika-kimia dapat menyebabkan berkurangnya keanekaragaman, perubahan komposisi komunitas, serta meningkatnya dominansi organisme yang lebih toleran terhadap pencemaran (Nugraha dkk., 2024; Ernawati dkk., 2023). Dengan demikian, baku mutu air sungai menjadi dasar yang penting dalam penelitian ini karena hasil pengukuran parameter fisika-kimia di Kali Bodo akan dibandingkan dengan nilai baku mutu yang berlaku untuk menentukan tingkat kualitas air serta hubungannya dengan struktur komunitas makrozoobentos.

2.10 Faktor-Faktor Abiotik yang Mempengaruhi Makrozoobentos

Keberadaan dan distribusi makrozoobentos sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor abiotik, seperti suhu, derajat keasaman (pH), oksigen terlarut (DO), kecerahan, serta kandungan nutrien, terutama nitrat dan fosfat. Faktor-faktor tersebut memengaruhi proses fisiologis, pertumbuhan, reproduksi, serta kemampuan adaptasi organisme terhadap kondisi lingkungan. Perubahan pada parameter fisika-kimia perairan dapat menyebabkan perubahan komposisi, distribusi, kelimpahan, dan keanekaragaman komunitas makrozoobentos, sehingga kelompok organisme ini banyak dimanfaatkan sebagai indikator biologis dalam penilaian kualitas perairan (Croijmans *et al*., 2021; Koperski, 2021).

2.10.1 Suhu

Suhu air merupakan salah satu faktor abiotik utama yang memengaruhi aktivitas metabolisme, respirasi, pertumbuhan, reproduksi, serta distribusi

makrozoobentos di ekosistem perairan. Peningkatan suhu menyebabkan laju metabolisme organisme meningkat, tetapi pada saat yang sama menurunkan kelarutan oksigen di dalam air sehingga dapat mengurangi ketersediaan oksigen bagi organisme akuatik. Selain itu, suhu yang tinggi juga mempercepat proses dekomposisi bahan organik sehingga meningkatkan kebutuhan oksigen dalam perairan. Perubahan suhu di luar kisaran toleransi masing-masing spesies dapat mengakibatkan perubahan komposisi komunitas, penurunan keanekaragaman, bahkan hilangnya organisme yang bersifat sensitif terhadap perubahan lingkungan (Bonacina *et al*., 2023; Croijmans *et al*., 2021).

2.10.2 Oksigen terlarut (DO)

Oksigen terlarut (*dissolved oxygen*/DO) merupakan salah satu faktor penting yang mendukung kelangsungan hidup organisme akuatik. Sebagian besar mikroorganisme yang berada di lingkungan perairan membutuhkan oksigen untuk melakukan aktivitas metabolisme, termasuk proses dekomposisi bahan organik yang terdapat dalam perairan. Kandungan oksigen terlarut dalam air berasal dari proses difusi oksigen dari atmosfer ke permukaan perairan serta aktivitas fotosintesis oleh organisme autotrof, seperti alga dan tumbuhan air. Namun, kontribusi oksigen dari fotosintesis tidak selalu tersedia secara kontinu karena organisme fotosintetik juga menggunakan oksigen untuk respirasi ketika intensitas cahaya berkurang atau pada malam hari. Kelarutan oksigen dalam air dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, terutama suhu dan tekanan udara, di mana peningkatan suhu umumnya menyebabkan penurunan kemampuan air dalam melarutkan oksigen (Warlina, 2004).

Konsentrasi oksigen terlarut yang tinggi umumnya tidak menimbulkan gangguan bagi manusia, tetapi sangat menentukan kelangsungan hidup organisme perairan seperti ikan, makrozoobentos, dan biota akuatik lainnya. Setiap spesies memiliki kebutuhan oksigen yang berbeda-beda, tergantung pada ukuran tubuh, tingkat aktivitas, serta karakteristik fisiologisnya. Ketersediaan oksigen yang mencukupi mendukung proses respirasi, pertumbuhan, dan reproduksi organisme akuatik. Sebaliknya, penurunan kadar oksigen terlarut dapat menyebabkan stres fisiologis bahkan kematian pada organisme yang sensitif. Selain itu, keberadaan logam berat dalam konsentrasi tinggi dapat memperburuk kondisi organisme perairan karena mengganggu sistem respirasi dan proses fisiologis lainnya. Oleh sebab itu, kombinasi antara kadar oksigen terlarut yang rendah dan tingginya kandungan logam berat dapat meningkatkan risiko gangguan terhadap kehidupan biota perairan secara signifikan (Effendi, 2003).

2.10.3 Kebutuhan oksigen biokimia (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan parameter yang menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk melakukan penguraian bahan organik dalam suatu perairan melalui aktivitas biologis. Dalam proses dekomposisi, bahan organik akan mengalami pemecahan menjadi senyawa yang lebih sederhana, seperti karbon dioksida dan air. Oksidasi biologis terhadap bahan organik berlangsung secara bertahap serta membutuhkan waktu tertentu hingga proses penguraian berlangsung secara optimal (Warlina, 2004). Oleh sebab itu, nilai BOD menjadi salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas perairan karena dapat

mencerminkan tingkat kandungan bahan organik atau beban pencemar organik yang terdapat di dalam air.

Pengukuran *Biological Oxygen Demand* (BOD) dilakukan dengan menentukan jumlah oksigen yang dimanfaatkan oleh mikroorganisme dalam proses penguraian bahan organik pada kondisi tertentu, umumnya pada suhu inkubasi 20°C. Dalam pengukuran tersebut, kadar oksigen terlarut (*dissolved oxygen*/DO) menjadi parameter utama karena perubahan konsentrasi oksigen dapat menunjukkan aktivitas mikroorganisme dalam memanfaatkan bahan organik yang tersedia (Mahida, 1993). Nilai BOD yang tinggi menunjukkan bahwa kebutuhan oksigen untuk proses dekomposisi semakin besar, yang mengindikasikan tingginya kandungan bahan organik dalam perairan. Sebaliknya, nilai BOD yang rendah menunjukkan jumlah bahan organik yang lebih sedikit sehingga oksigen yang diperlukan untuk proses penguraian juga relatif rendah.

Pada umumnya, pengujian BOD dilakukan selama lima hari atau dikenal sebagai BOD_5 (*Biochemical Oxygen Demand five days*). Periode lima hari dipilih karena berbagai penelitian menunjukkan bahwa dalam rentang waktu tersebut sekitar 70% bahan organik yang mudah terdegradasi telah berhasil diuraikan oleh mikroorganisme. Oleh sebab itu, nilai BOD_5 banyak digunakan sebagai standar dalam pemantauan kualitas air dan evaluasi tingkat pencemaran organik pada suatu badan perairan.

2.10.4 Keasaman (pH)

Derajat keasaman (*pH*) merupakan salah satu parameter kimia yang berperan penting dalam menentukan karakteristik suatu perairan. Pada umumnya, kondisi

perairan yang sesuai untuk mendukung kehidupan organisme akuatik berada pada kisaran pH 6,5–7,5. Nilai pH dapat menunjukkan sifat suatu perairan, baik dalam kondisi asam, netral, maupun basa. Perairan dengan nilai pH yang lebih rendah dari kisaran optimal cenderung memiliki sifat asam, sedangkan nilai pH yang lebih tinggi menunjukkan kondisi basa. Perubahan nilai pH dapat dipengaruhi oleh berbagai aktivitas manusia, salah satunya masuknya limbah industri ke badan perairan, yang berpotensi mengganggu kehidupan organisme akuatik serta kestabilan ekosistem perairan (Warlina, 2004).

Pengukuran nilai pH penting dilakukan karena berbagai proses kimia dan biokimia yang terjadi di lingkungan perairan hanya dapat berlangsung secara optimal pada rentang pH tertentu (Mahida, 1993). Selain itu, pH memiliki pengaruh terhadap keberlangsungan hidup organisme akuatik karena berperan dalam mengatur proses fisiologis, seperti metabolisme, pertumbuhan, dan respirasi. Sebagian besar biota perairan dapat tumbuh dan berkembang secara optimal pada kondisi pH sekitar 7,0–8,5, sedangkan nilai pH yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi dapat menyebabkan gangguan fisiologis, menurunkan kemampuan adaptasi organisme, hingga berpotensi menyebabkan kematian (Barus, 1996). Dengan demikian, kestabilan pH menjadi salah satu faktor penting yang menentukan kualitas lingkungan dan kelayakan habitat bagi organisme perairan.

Tingkat keasaman perairan juga dapat dipengaruhi oleh keberadaan senyawa kimia tertentu. Salah satu contohnya adalah senyawa besi sulfida (FeS), yang apabila teroksidasi akibat kontak dengan udara dan air dapat menghasilkan asam sulfat (H_2SO_4) serta ion besi terlarut. Proses tersebut berpotensi meningkatkan konsentrasi ion

hidrogen dalam perairan sehingga nilai pH menurun dan kondisi perairan menjadi lebih asam (Fardiaz, 1992). Perubahan pH yang terjadi akibat proses alami maupun aktivitas antropogenik perlu mendapat perhatian karena dapat memengaruhi kualitas air serta keberlangsungan komunitas organisme yang hidup di dalamnya.

2.10.5 Nitrat (NO_3)

Nitrat merupakan salah satu wujud nitrogen yang lazim hadir dalam air serta tanah, yang terbentuk khususnya melalui aktivitas mikroorganisme. Tahap pertama dalam proses ini melibatkan bakteri penambat nitrogen yang dapat hidup mandiri atau bersinergi pada bonggol akar tumbuhan polong-polongan. Mikroorganisme ini sanggup mentransformasi nitrogen bebas dari udara menjadi molekul yang bisa dimanfaatkan oleh tumbuhan untuk pembentukan asam amino dan protein. Protein yang tersimpan di dalam jaringan tumbuhan akan berpindah ke tingkatan gizi yang lebih tinggi lewat konsumsi oleh hewan herbivora. Ketika tumbuhan dan hewan mati, material organik yang mengandung protein akan diurai oleh mikroorganisme pengurai menjadi molekul yang lebih simpel, seperti amonia serta amonium. Selanjutnya, melalui proses nitrifikasi, amonia akan dioksidasi menjadi nitrit oleh bakteri spesifik, dan nitrit kemudian dikonversi menjadi nitrat oleh kelompok bakteri lain (Sastrawijaya, 2000).

Keberadaan nitrat di perairan dapat berasal dari berbagai proses alami yang merupakan bagian dari siklus nitrogen. Menurut Sastrawijaya (2000), pembentukan nitrat dalam lingkungan perairan dapat terjadi melalui tiga mekanisme utama, yaitu fiksasi nitrogen akibat aktivitas petir, aktivitas mikroorganisme pengikat nitrogen, dan proses nitrifikasi yang melibatkan bakteri pengoksidasi amonia. Ketiga proses tersebut

berlangsung secara alami tanpa campur tangan manusia. Namun demikian, aktivitas manusia dapat meningkatkan akumulasi nitrat di badan perairan, misalnya melalui masuknya tanah, limbah organik, atau limpasan yang kaya senyawa nitrogen. Kondisi tersebut dapat mempercepat proses nitrifikasi dan menyebabkan peningkatan konsentrasi nitrat di perairan, yang pada tingkat tertentu berpotensi memengaruhi kualitas air dan keseimbangan ekosistem akuatik.

2.10.6 Fosfat (PO_4)

Nitrat merupakan bentuk nitrogen anorganik yang banyak dijumpai di tanah maupun perairan sebagai hasil dari berbagai proses biologis dalam siklus nitrogen. Pembentukannya diawali oleh aktivitas bakteri penambat nitrogen yang hidup bebas di lingkungan atau bersimbiosis dengan tanaman tertentu, terutama kelompok leguminosa. Bakteri tersebut berperan mengubah nitrogen atmosfer menjadi senyawa yang dapat diserap oleh tumbuhan untuk sintesis asam amino dan protein. Senyawa protein yang terbentuk kemudian masuk ke rantai makanan melalui konsumsi oleh hewan. Setelah organisme tumbuhan maupun hewan mengalami kematian, bahan organik yang mengandung nitrogen akan mengalami dekomposisi oleh mikroorganisme pengurai sehingga menghasilkan amonia dan amonium. Selanjutnya, kedua senyawa tersebut mengalami oksidasi secara bertahap melalui proses nitrifikasi, yaitu perubahan amonia menjadi nitrit dan kemudian menjadi nitrat oleh aktivitas bakteri nitrifikasi (Sastrawijaya, 2000).

Kandungan nitrat di perairan pada dasarnya merupakan bagian dari proses alami yang berlangsung dalam siklus nitrogen. Sastrawijaya (2000) menjelaskan bahwa nitrat dapat terbentuk melalui beberapa jalur, antara lain fiksasi nitrogen yang

dipicu oleh aktivitas petir, proses penambatan nitrogen oleh mikroorganisme, serta oksidasi amonia oleh bakteri nitrifikasi. Mekanisme tersebut berlangsung secara alami dan berperan dalam menjaga ketersediaan unsur nitrogen di lingkungan. Meskipun demikian, berbagai aktivitas manusia dapat meningkatkan masukan senyawa nitrogen ke badan air, seperti limpasan lahan pertanian, erosi tanah, maupun pembuangan limbah organik. Bertambahnya pasokan nitrogen tersebut dapat mempercepat proses pembentukan nitrat sehingga konsentrasinya di perairan meningkat. Apabila terjadi secara berlebihan, akumulasi nitrat dapat mengganggu kualitas air dan memengaruhi keseimbangan ekosistem perairan melalui peningkatan produktivitas yang tidak terkendali.

2.10.7 Total padatan tersuspensi dan total padatan terlarut (TSS dan TDS)

Total Suspended Solids (TSS) atau padatan tersuspensi mencakup berbagai partikel yang melayang di dalam kolom air dan tidak larut secara sempurna. Komponen penyusunnya dapat berupa fitoplankton, zooplankton, partikel tanah, lumpur, sisa-sisa organisme, limbah domestik, residu pertanian, hingga buangan industri. Jumlah padatan tersuspensi yang terdapat dalam suatu sampel air menggambarkan akumulasi massa partikel yang terkandung pada volume air tertentu. Semakin tinggi konsentrasi TSS, semakin besar pula tingkat kekeruhan perairan yang dapat memengaruhi penetrasi cahaya dan kondisi habitat organisme akuatik. Konsentrasi TSS umumnya dinyatakan dalam satuan miligram per liter (mg/L) atau part per million (ppm) (Sastrawijaya, 2000).

Total Dissolved Solids (TDS) merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui jumlah total padatan terlarut dalam air, yang meliputi mineral, garam, serta

senyawa organik dalam bentuk ion. Nilai TDS dapat menggambarkan tingkat konsentrasi bahan terlarut yang terdapat pada suatu perairan dan umumnya dinyatakan dalam satuan miligram per liter (mg/L) atau *parts per million* (ppm). Sebagai ilustrasi, nilai TDS sebesar 200 mg/L menunjukkan bahwa dalam setiap satu liter air terdapat sekitar 200 mg material terlarut. Dengan demikian, peningkatan nilai TDS menunjukkan semakin tingginya jumlah zat atau material yang terlarut di dalam badan perairan tersebut (Sastrawijaya, 2000).

2.11 Deskripsi Wilayah Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kali Bodo yang berada di Desa Ngijo, Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur. Desa Ngijo merupakan salah satu dari sembilan desa di Kecamatan Karangploso dengan karakteristik wilayah yang didominasi oleh kawasan permukiman, lahan pertanian, serta berbagai aktivitas ekonomi masyarakat. Menurut Badan Pusat Statistik Kabupaten Malang (2022), Kecamatan Karangploso memiliki luas wilayah sekitar 58,74 km^2 yang terdiri atas kawasan permukiman, sawah, tegalan, perkebunan, dan hutan. Desa Ngijo merupakan desa dengan jumlah penduduk terbesar di Kecamatan Karangploso, yang dipengaruhi oleh perkembangan kawasan permukiman dan kedekatannya dengan Kota Malang. Kondisi tersebut menyebabkan intensitas aktivitas masyarakat di sekitar badan sungai relatif tinggi sehingga berpotensi memberikan tekanan terhadap kualitas lingkungan perairan.

Secara administratif, Desa Ngijo memiliki luas wilayah sekitar 415 ha yang dimanfaatkan untuk kawasan permukiman, lahan pertanian, fasilitas umum, serta kegiatan ekonomi masyarakat. Wilayah ini memiliki kondisi topografi berupa dataran

dengan ketinggian sekitar 525 meter di atas permukaan laut dan didominasi oleh tanah yang relatif subur sehingga sebagian besar lahannya dimanfaatkan sebagai area pertanian. Selain itu, Desa Ngijo berbatasan dengan Desa Ngenep di sebelah utara, Desa Girimoyo di sebelah barat, Desa Ampeldento di sebelah selatan, dan Desa Kepuharjo di sebelah timur. Karakteristik tersebut menyebabkan wilayah ini mengalami perkembangan penggunaan lahan yang cukup dinamis sebagai akibat meningkatnya aktivitas permukiman maupun pertanian.

Kali Bodo merupakan salah satu sungai yang mengalir melintasi wilayah Desa Ngijo dan dimanfaatkan oleh masyarakat untuk berbagai keperluan, antara lain sebagai saluran drainase alami, penerima limpasan permukaan (*runoff*), serta penunjang kegiatan pertanian di sekitarnya. Keberadaan kawasan permukiman, lahan pertanian, dan aktivitas domestik di sepanjang daerah aliran sungai berpotensi meningkatkan masukan bahan organik, sedimen, maupun unsur hara ke dalam badan air. Kondisi tersebut dapat menyebabkan perubahan parameter fisika-kimia perairan, seperti peningkatan *Biological Oxygen Demand* (BOD), nitrat, fosfat, maupun padatan tersuspensi yang pada akhirnya memengaruhi kualitas habitat organisme akuatik.

Secara ekologis, Kali Bodo memiliki karakteristik habitat yang bervariasi, baik dari segi jenis substrat, kecepatan arus, maupun kondisi vegetasi riparian. Variasi kondisi habitat tersebut memungkinkan terbentuknya komunitas makrozoobentos dengan komposisi yang berbeda pada setiap lokasi pengamatan. Menurut Tampo *et al*. (2021), karakteristik habitat dan kualitas fisika-kimia perairan merupakan faktor utama yang menentukan komposisi, distribusi, serta keanekaragaman makrozoobentos,

sehingga kelompok organisme ini banyak digunakan sebagai bioindikator dalam penilaian kualitas ekosistem sungai.

Berdasarkan karakteristik wilayah tersebut, Kali Bodo dipilih sebagai lokasi penelitian karena memiliki variasi kondisi lingkungan yang dipengaruhi oleh aktivitas antropogenik, terutama kawasan permukiman dan pertanian. Variasi kondisi tersebut memberikan peluang untuk mengkaji hubungan antara parameter fisika-kimia perairan dengan struktur komunitas makrozoobentos. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai kondisi ekologis Kali Bodo sekaligus menjadi dasar dalam upaya pengelolaan kualitas perairan dan pelestarian ekosistem sungai secara berkelanjutan.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian deskriptif kuantitatif dengan metode eksplorasi untuk mendeskripsikan tentang hasil tingkat kelimpahan, indeks keanekaragaman, dan indeks dominansi dari makrozoobentos di perairan Kali Bodo.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2025-Juni 2026 dengan tiga kali pengulangan, yaitu pada tanggal 22 April, 28 April dan 4 Mei. Pengambilan sampel dilakukan pada tiga stasiun Kali Bodo. Sampel makrozoobentos diidentifikasi di Laboratorium Optik Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah surber net, pinset, termometer, kertas label, meteran 30 m, kuas kecil, alat tulis, botol plastik, dan mikroskop stereo Nikon digital camera oxm 1200C tipe SMZ 1500, dan nampan plastik.

3.3.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alkohol 70%, akuades, sampel air, dan sampel makrozoobentos.

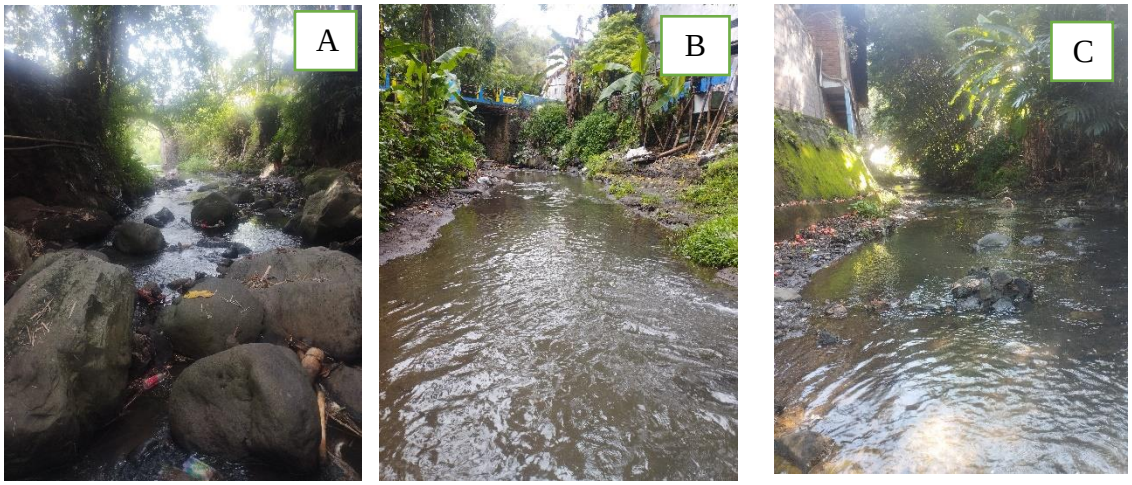
3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Studi Pendahuluan

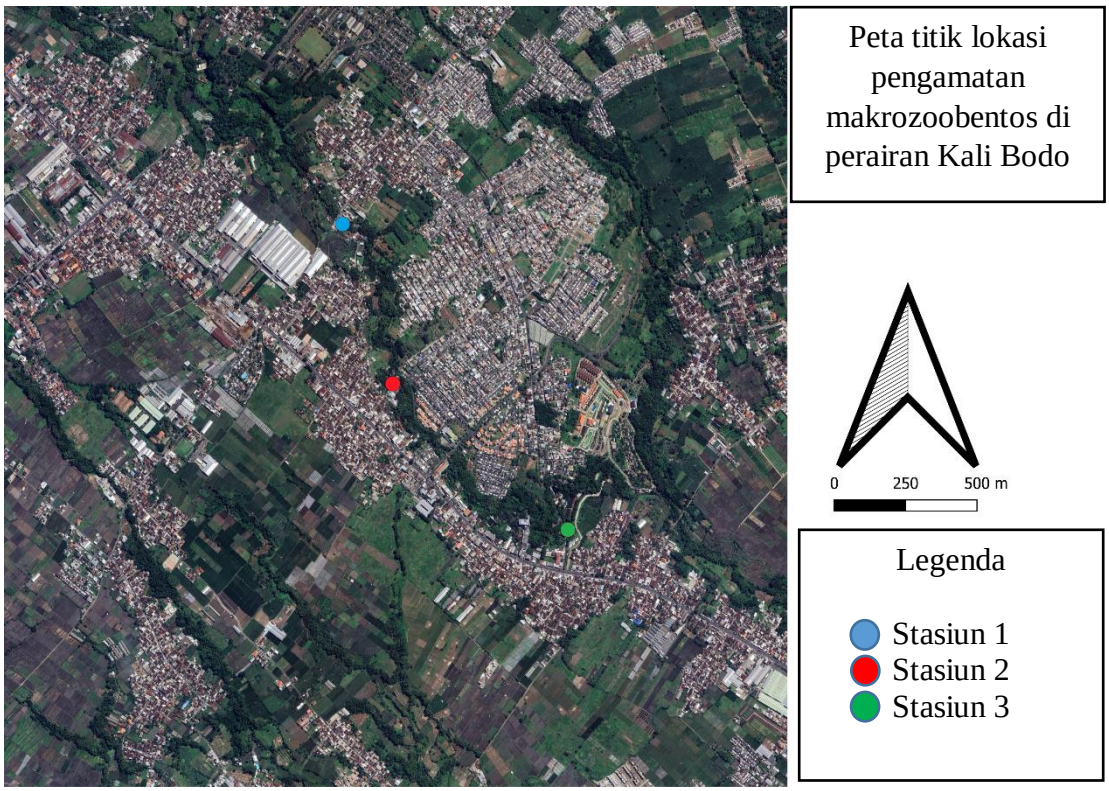
Tahap studi pendahuluan dilakukan untuk memperoleh gambaran umum mengenai kondisi fisik, biologis, dan aktivitas manusia di sekitar Kali Bodo Desa Ngijo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang. Kegiatan meliputi survei lokasi awal, pengamatan topografi, aliran air, jenis substrat dasar sungai, serta penentuan titik-titik pengambilan sampel. Informasi tambahan diperoleh dari data sekunder, seperti laporan lingkungan atau hasil penelitian yang berkaitan dengan kualitas air di wilayah Karangploso sebelumnya. Penentuan stasiun pengambilan sampel dilakukan secara *purposive sampling*, yakni penentuan stasiun melalui pertimbangan kondisi lingkungan yang berbeda dengan stasiun yang lainnya. Deskripsi kondisi stasiun dapat dilihat pada tabel 3.1 dan foto lokasi dan gambar peta dapat dilihat pada gambar 3.1 dan 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Deskripsi Kondisi Stasiun

Stasiun	Titik Koordinat	Deskripsi
1	7°53'38.3"S 112°36'08.9"E	Lokasi jauh dari pemukiman dan aktivitas warga, dasar batuan berukuran sedang-besar
2	7°53'57.6"S 112°36'16.1"E	Lokasi dekat dengan pemukiman warga dan kamar mandi umum, dasar batuan berukuran sedang-besar
3	7°54'11.4"S 112°36'36.7"E	Lokasi dekat dengan tempat pembuangan sampah, tempat cuci mobil, dan pemandian. Dasar berbatu dan pasir



Gambar 3.1 Foto lokasi penelitian. (A) Stasiun I, (B) Stasiun II, (C) Stasiun III.

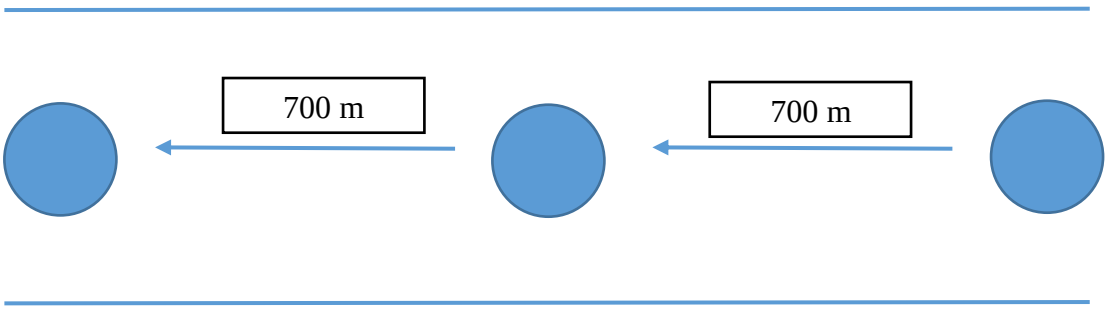


Gambar 3.3 Peta Stasiun Pengamatan

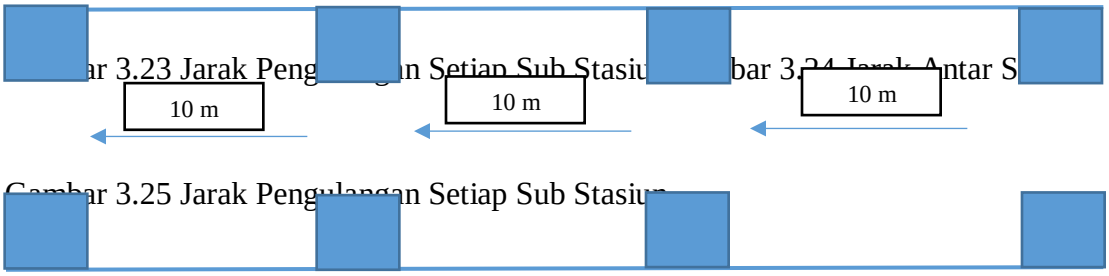
3.4.2 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan di tiga stasiun yang mewakili kondisi lingkungan berbeda. Pengambilan makrozoobentos dilakukan menggunakan Surber net. Substrat di depan jaring diaduk perlahan selama beberapa saat agar organisme dasar terbawa arus masuk ke jaring. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam botol koleksi, diawetkan dengan alkohol 70%, dan diberi label yang mencantumkan kode stasiun, tanggal, dan waktu pengambilan.

Selain itu, pada saat yang sama dilakukan pengukuran parameter fisika-kimia air secara *in situ* (suhu), sedangkan sampel air untuk parameter kimia (BOD, DO, pH, COD, nitrat, fosfat, TSS, dan TDS) dibawa ke laboratorium untuk dianalisis lebih lanjut.



Gambar 3.22 Jarak Antar Stasiun



Gambar 3.23 Jarak Pengulangan Setiap Sub Stasiun

Gambar 3.24 Jarak Antar Stasiun

Gambar 3.25 Jarak Pengulangan Setiap Sub Stasiun

Gambar 3.42 Jarak Pengulangan Setiap Sub Stasiun

Gambar 3.43 Jarak Pengulangan Setiap Sub Stasiun

Gambar 3.44 Jarak Pengulangan Setiap Sub Stasiun

Gambar 3.45 Jarak Pengulangan Setiap Sub Stasiun

Sampel makrozoobentos yang telah disimpan diseleksi dan dikenali di laboratorium menggunakan mikroskop stereo. Proses identifikasi dilakukan sampai tingkat genus dengan memanfaatkan buku kunci identifikasi dan jurnal seperti yang ditulis oleh Gerber & Gabriel (2002), Rufusova *et al* (2017), Xu (2017), Chainthong (2016), Rattanachan (2022), Daniels *et al*. (2021), *Oscoz* et al *(2011),* Geraci *et al* (2020)**,** Rahmadina (2018), *Marwoto (2020)***,** Marwoto (2012), *Sitnikova (2017), Nayak (2024),* Mokolensang (2018), *Mambrasar (2018),* Manangkot, (2023) dan web seperti MolluscaBase (2024) dan GBIF (2024). Setiap genus dicatat jumlah anggotanya untuk menghitung kelimpahan, indeks keanekaragaman (H'), dan indeks dominansi (C). Hasil dari identifikasi disajikan dalam tabel 3.2

Tabel 3.2 Data Makrozoobentos

				Stasiun			
No	Ordo	Famili	Genus	I	II	III	Jumlah (ind)

3.4.4 Pengukuran Faktor Fisika-Kimia Air

Parameter fisika-kimia yang dianalisis dari air mencakup suhu, pH, COD, BOD, DO, TDS, TSS, nitrat, dan fosfat. Suhu air diukur secara langsung di lokasi penelitian penelitian. Proses pengukuran suhu dilakukan di setiap stasiun dengan menggunakan termometer digital yang dimasukkan ke dalam sampel selama sekitar 2 menit atau hingga menunjukkan angka yang stabil. Setelah itu, hasil pengukuran difoto dan dicatat. Untuk parameter fisika-kimia lainnya seperti Derajat Keasaman (pH), DO (Oksigen Terlarut), COD (Kebutuhan Oksigen Kimia), BOD (Kebutuhan Oksigen

Biokimia), TDS, TSS, Fosfat (PO4), dan Nitrat (NO3) diuji di Laboratorium Uji Kualitas Air Perum Jasa Tirta Malang.

3.5 Analisis Data

3.5.1 Indeks Keanekaragaman

Menurut Magurran (2004), indeks keanekaragaman dirumuskan:

H' = -Σ pi Ln pi atau H' = -∑ [(N ni) Ln (N ni)]

Keterangan:

H : indeks keanekaragaman Shannon-Wiener

pi : proporsi spesies ke-i dalam total sampel

ni : jumlah individu dari semua jenis

N : total seluruh individu dari semua jenis

Kategori nilai Indeks Shannon-Wiener memiliki rentang nilai tertentu adalah (Fachrul, 2007):

Jika H'≤ 1 : Keanekaragaman rendah (komunitas biota tidak dalam keadaan stabil atau air tercemar parah).

Jika 1 ≤ H' ≤ 3 : Keanekaragaman sedang (stabilitas komunitas biota berada pada tingkat sedang atau air tercemar sedang).

Jika H' ≥ 3 : Keanekaragaman tinggi (stabilitas komunitas biota dalam keadaan stabil atau air dalam kondisi bersih).

3.5.2 Indeks Dominansi

Indeks dominansi dapat ditentukan dengan menggunakan indeks dominansi Simpson melalui persamaan (Magurran, 2004):

$$C = \sum_{i=1} (\frac{ni}{N})^2$$

Keterangan:

C : Indeks dominansi Simpson

Ni : total individu dari jenis ke-i

N : jumlah keseluruhan individu

C : 0, menunjukkan bahwa tidak ada spesies yang lebih dominan dibandingkan spesies lainnya atau struktur komunitas berada dalam kondisi seimbang.

C : 1, menunjukkan bahwa ada spesies yang lebih dominan daripada spesies lainnya atau struktur komunitas sedang dalam kondisi tidak stabil, akibat dari adanya tekanan ekologis.

3.5.3 Kelimpahan

3.5.3.1 Kelimpahan Individu

Rumus kelimpahan menurut (Kasry *et al*., 2012) sebagai berikut:

$$Y = \frac{10.000xa}{b}$$

Keterangan:

Y : Total Organisme Makrozoobentos (ind/m²)

a : Total individu jenis Makrozoobentos (ind)

b : Luas unit sampel (m²)

3.5.3.2 Kelimpahan Relatif

Kelimpahan relatif dihitung berdasarkan proporsi jumlah individu setiap genus terhadap jumlah seluruh individu (Magurran, 2004), dengan rumus:

$$R = \frac{ni}{N} X\ 100\%$$

Keterangan:

R : Kelimpahan Relatif

ni : Total Individu Setiap Jenis

N : Total Seluruh Individu

3.5.4 Analisis Korelasi

Teknik analisis Korelasi dilakukan dengan memanfaatkan aplikasi PAST 4.03, untuk mengetahui korelasi antara jumlah makrozoobentos dan parameter fisika-kimia dari air sungai. Sesuai dengan Cahyono (2018), angka koefisien korelasi ditunjukkan dalam tabel 3.3

Tabel 3.3 Nilai Koefisien Korelasi

Interval Koefisien Korelasi	**Tingkat Hubungan**
0,00-0,020	Sangat Rendah
0,20-0,40	Rendah
0,40-0,60	Sedang atau Cukup
0,60-0,80	Tinggi
0,80-1,00	Sangat Tinggi

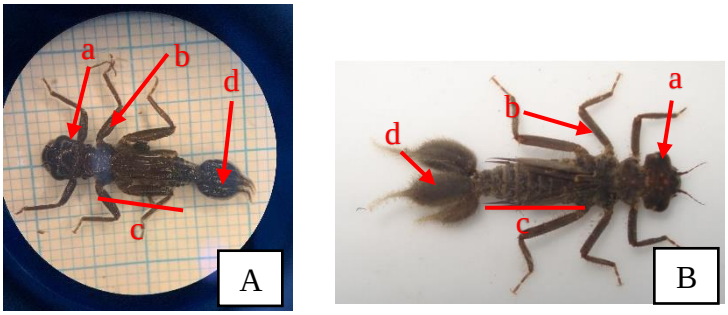
Koefisien korelasi bila positif menunjukkan antara variabel X dengan variabel Y terdapat kesejajaran, kenaikan atau penurunan variabel X akan diikuti dengan kenaikan atau penurunan variable Y. Sebaliknya bila koefisien negatif menunjukkan antara variabel X dengan Y terdapat keterbalikan, kenalikan variabel X akan diikuti dengan penurunan variabel Y dan sebaliknya.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Genus Makrozoobentos Yang Ditemukan di Kali Bodo

Penelitian yang dilaksanakan di Kali Bodo di Desa Ngijo, Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang memperoleh sebanyak 2591 spesimen. Spesimen yang terkumpul diidentifikasi hingga tingkat genus menggunakan ciri morfologinya. Berikut ini adalah ciri-ciri dan klasifikasi dari spesimen makrozoobentos yang telah ditemukan.

1. Spesimen 1



Gambar 4.1 Genus *Euphaea* A. Hasil Penelitian B. Foto literatur (Xu, 2017)
a. Mata, b. Kaki, c. Abdomen, d. Insang

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa spesimen 1 memiliki ciri ciri seperti seperti berwarna coklat, memiliki tiga pasang kaki dan abdomen yang dilengkapi rambut-rambut halus pada sisi sampingnya. Berdasarkan ciri-ciri tersebut spesimen 1 termasuk dalam genus *Euphaea* (Gerber & Gabriel, 2002) seperti gambar 4.1 sehingga menurut Rufusova *et al* (2017) spesimen ini digolongkan genus *Euphaea*.

Klasifikasi spesimen 16 berdasarkan Global Biodveristy Information Facility (GBIF) (2026) sebagai berikut:

Kingdom : Animalia

Filum : arthropoda

Kelas : Insecta

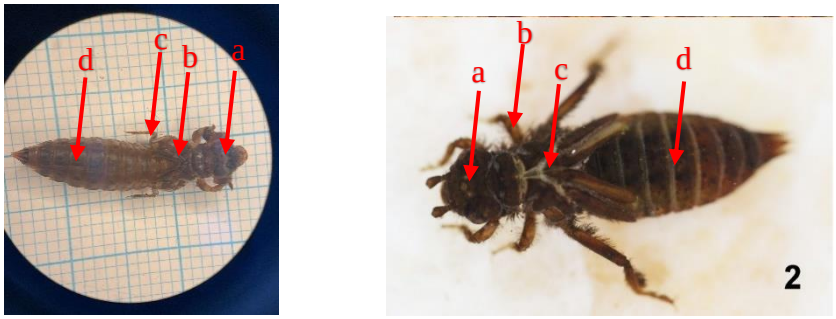
Ordo : Odonata

Famili : Euphaeidae

Genus : *Euphaea*

Euphaea merupakan genus capung jarum dari famili Euphaeidae yang umumnya ditemukan pada sungai berarus deras dengan kualitas air yang baik. Larva genus ini hidup di dasar perairan (bentik) dan biasanya ditemukan di antara batu, kerikil, atau serasah daun pada sungai yang memiliki aliran relatif kuat dan kondisi perairan yang jernih (Reels & Wilson, 2009). Secara morfologi, nimfa Euphaea memiliki tubuh memanjang berwarna cokelat gelap, tiga insang ekor berbentuk lembaran (caudal lamellae), serta kaki ramping yang berfungsi untuk melekat pada substrat. Kelompok Zygoptera diketahui memiliki kebutuhan mikrohabitat yang lebih spesifik dan sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan, sehingga keberadaannya dapat memberikan informasi mengenai kondisi ekologis suatu perairan (Oliveira-Junior et al., 2021). Keberadaan Euphaea dengan demikian dapat menjadi salah satu informasi pendukung mengenai karakteristik habitat perairan, terutama apabila dikaitkan dengan kondisi aliran, kualitas air, dan tingkat gangguan lingkungan.

2. Spesimen 2



Gambar 4.2 Genus *Onychogomphus* A. Hasil Penelitian B. Foto literatur (Chainthong, 2016) a. Kepala, b. Kaki, c. Toraks, d. Abdomen

Hasil pengamatan pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa spesimen 2 memiliki beberapa ciri ciri seperti tubuh berwarna coklat, 3 pasang kaki, kepala lebar, selubung sayap melebar, kaki depan dan tengah sangat melengkung, dan abdomen kurang cembung di bagian dorsal Berdasarkan ciri fisik tersebut menurut Chainthong (2016) spesimen tersebut masuk ke dalam genus *Onychogomphus*.

Klasifikasi spesimen 2 berdasarkan Global Biodveristy Information Facility (GBIF) (2026) adalah:

Kingdom : Animalia

Filum : Arthropoda

Kelas : Insecta

Ordo : Odonata

Famili : Gomphidae

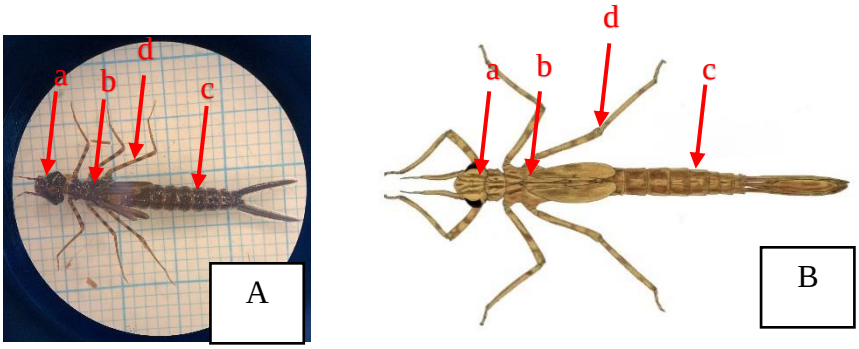
Genus : *Onychogomphus*

Onychogomphus adalah jenis capung dari famili Gomphidae yang kerap ditemukan di sungai yang mengalir lumayan deras sampai sangat deras, terutama dekat daerah dengan dasar sungai berbatu atau berpasir. Nimfa *Onychogomphus* hidup di

dasar sungai sebagai organisme bentik yang aktif mencari makan dan berasosiasi dengan substrat dasar seperti pasir, kerikil, batu, serta serasah. Larva genus ini juga diketahui ditemukan pada bagian sungai dengan aliran relatif cepat dan substrat yang sesuai untuk kehidupan bentik (Novelo-Gutiérrez & Che Salmah, 2013). Kondisi habitat tersebut umumnya berupa perairan yang memiliki aliran baik dan kandungan oksigen yang mendukung kehidupan larva. Dengan demikian, keberadaan *Onychogomphus* dapat memberikan informasi pendukung mengenai karakteristik habitat sungai, terutama apabila dikaitkan dengan kecepatan arus, kondisi substrat, dan kualitas fisika-kimia perairan.

Secara ekologis, *Onychogomphus* berperan sebagai pemangsa penting di lingkungan sungai, baik saat menjadi nimfa maupun saat dewasa. Nimfanya membantu mengatur jumlah organisme kecil di dasar sungai, sedangkan dewasanya berburu berbagai jenis serangga terbang. Genus ini umumnya berasosiasi dengan habitat perairan mengalir, terutama sungai dan aliran dengan substrat berbatu atau berkerikil, serta kondisi habitat yang sesuai untuk perkembangan larvanya (Dijkstra et al., 2020; De Knijf et al., 2024). Perubahan habitat sungai, seperti kanalisasi, pengambilan material dasar sungai, dan pencemaran air, dapat menjadi ancaman terhadap keberadaan jenis-jenis *Onychogomphus* yang bergantung pada habitat perairan mengalir. Kehadiran *Onychogomphus* dapat memberikan informasi mengenai kondisi habitat sungai, terutama dalam kaitannya dengan keberadaan perairan mengalir dan karakteristik habitat yang sesuai bagi perkembangan organisme tersebut (De Knijf et al., 2024).

3. Spesimen 3



Gambar 4.3 Genus *Vestalis* A. Hasil Penelitian B. Foto literatur (Rattanachan, 2022) a. Kepala, b. Toraks, c. Abdomen, d. Kaki

Hasil pengamatan pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa spesimen 3 memiliki beberapa ciri ciri seperti warna coklat tua, memiliki tubuh panjang dan ramping, kepala lebih lebar daripada toraks dan abdomen, memiliki selubung sayap sejajar, memiliki 3 pasang kaki, serta abdomen yang ramping dan silindris. Berdasarkan ciri fisik tersebut menurut Rattanachan (2022) spesimen tersebut masuk ke dalam genus *Vestalis*. Klasifikasi spesimen 3 berdasarkan Global Biodveristy Information Facility (GBIF) (2026) adalah:

Kingdom : Animalia

Filum : Arthropoda

Kelas : Insecta

Ordo : Odonata

Famili : Calopterygidae

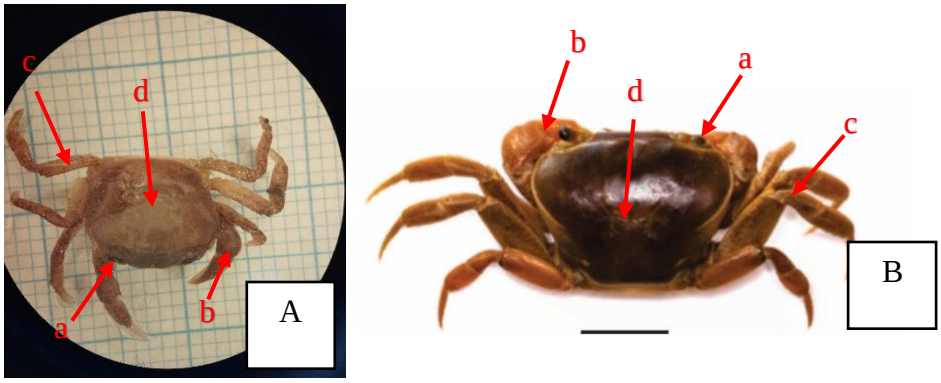
Genus : *Vestalis*

Vestalis merupakan genus capung jarum (damselfly) dari famili Calopterygidae yang banyak ditemukan di daerah sungai, mata air, dan aliran air jernih yang teduh oleh

vegetasi riparian. Genus ini dikenal memiliki tubuh ramping dengan warna metalik hijau, biru, atau kehitaman serta sayap lebar yang khas. Larva *Vestalis* hidup di dasar perairan dan di antara tumbuhan air sebagai predator kecil yang memangsa larva serangga dan organisme akuatik lainnya. Menurut Aswari (2004), genus ini umumnya ditemukan pada habitat perairan mengalir yang memiliki kondisi teduh dan vegetasi di sekitar sungai, sedangkan *Vestalis luctuosa* diketahui memiliki keterkaitan dengan habitat perairan yang teduh.

Secara ekologis, *Vestalis* memiliki fungsi sebagai predator dalam rantai makanan di ekosistem sungai, baik pada tahap larva maupun dewasa. Keberadaannya berkontribusi dalam mengendalikan populasi serangga kecil sehingga membantu menjaga keseimbangan komunitas akuatik dan riparian. Genus ini sering dijadikan sebagai bioindikator karena termasuk kelompok capung jarum (Zygoptera) yang sensitif terhadap perubahan kualitas habitat, terutama kerusakan vegetasi riparian, perubahan karakteristik fisika-kimia perairan, serta penurunan kualitas air. Oleh karena itu, keberadaan *Vestalis* umumnya menunjukkan bahwa kondisi ekosistem sungai masih relatif alami, memiliki vegetasi riparian yang baik, dan mendukung keberlangsungan berbagai organisme akuatik (Miguel *et al*., 2017; Oliveira-Junior *et al*., 2017).

4. spesimen 4



Gambar 4.4 Genus *Potamonautes* A. Hasil penelitian B. Foto Literatur (Daniels *et al*., 2021). a. Mata, b. Capit, c. Kaki, d karapas

Hasil pengamatan pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa spesimen 4 memiliki beberapa ciri ciri seperti memiliki beberapa pasang kaki, di mana pasangan kaki pertama termodifikasi menjadi capit (chelae), Mata terletak pada tangkai pendek di bagian anterior karapas, sedangkan abdomen terlipat di bawah tubuh sebagai ciri khas kelompok kepiting sejati, sehingga menurut Daniels *et al*. (2021) digolongkan sebagai genus *Potamonautes*.

Klasifikasi spesimen 4 menurut Daniels *et al*. (2021) sebagai berikut

Kingdom : Animalia

Filum : Arthropoda

Kelas : Malacostraca

Ordo : Decapoda

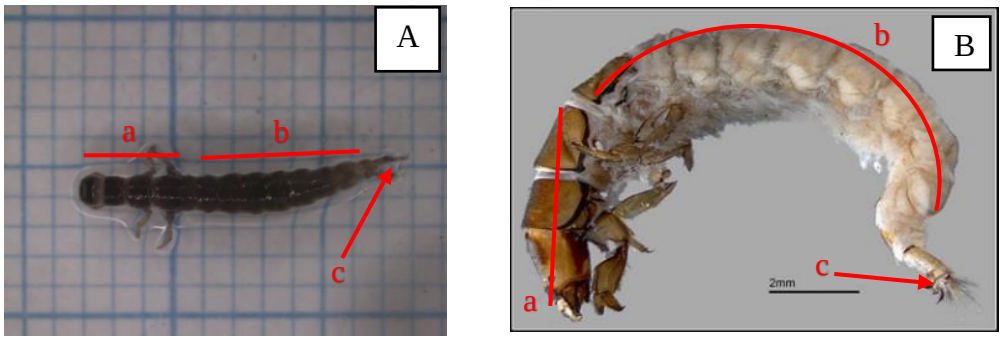
Famili : Potamonautidae

Genus : *Potamonautes*

Potamonautes adalah salah satu jenis kepiting air tawar yang masuk dalam keluarga Potamonautidae dan biasa dijumpai di berbagai lingkungan seperti sungai, rawa, serta danau di daerah tropis. Genus ini berfungsi sebagai hewan dasar perairan yang aktif di dasar air, terutama pada dasar yang terbuat dari batu, pasir, dan endapan lumpur. Umumnya, *Potamonautes* memiliki badan yang dilindungi cangkang kuat berbentuk oval dengan warna bervariasi mulai dari cokelat sampai hijau. Sepasang kaki depan telah berkembang menjadi capit (chelae) yang dipakai untuk beragam keperluan, meliputi menangkap mangsa, menggali dasar, serta menjaga diri dari ancaman. Menurut Daniels et al. (2024), *Potamonautes* merupakan organisme dengan pola makan generalis yang juga memanfaatkan detritus sebagai sumber makanan. Aktivitas makan tersebut berkontribusi terhadap pemecahan bahan organik dan mendukung proses daur ulang nutrien dalam ekosistem perairan.

Secara ekologis, *Potamonautes* dapat beradaptasi dengan berbagai macam kondisi lingkungan air tawar, namun lebih sering terlihat di sungai dengan kualitas air yang baik dan oksigen yang cukup. Genus ini giat mencari makan pada malam hari dan memakai celah batu atau lubang di dasar sebagai tempat bersembunyi. Selain itu, keberadaan *Potamonautes* juga berperan dalam rantai makanan sebagai sumber santapan bagi ikan, burung air, dan predator lainnya. Daniels *et al*. (2021) menerangkan bahwa kemampuan adaptasi dari segi bentuk dan tingkah laku genus ini menjadikannya salah satu kelompok Crustacea yang sangat vital untuk menjaga kestabilan dalam ekosistem air tawar.

5. Spesimen 5



Gambar 4.5 Genus *Hydropsyche* A. Hasil penelitian B. Foto Literatur (Oscoz *et al*., 2011). a. Toraks, b. Abdomen, c. Setae

Hasil pengamatan pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa spesimen 5 memiliki tubuh memanjang dan lunak dengan warna cokelat hingga kehijauan. Bagian kepala dan toraks tampak lebih gelap karena mengalami sklerotisasi, sedangkan abdomen berwarna lebih pucat. Larva ini memiliki tiga pasang kaki torakal, insang bercabang pada abdomen, serta rambut-rambut halus pada bagian kaki depan. Ciri-ciri tersebut sesuai dengan karakter larva famili Hydropsychidae dan genus *Hydropsyche* yang memiliki adaptasi terhadap habitat perairan mengalir, termasuk keberadaan struktur morfologi yang mendukung kehidupan pada substrat berbatu (Merritt et al., 2019; Geraci et al., 2010). Berdasarkan karakter tersebut, spesimen 5 diidentifikasi sebagai genus *Hydropsyche*.

Klasifikasi spesimen 5 berdasarkan Global Biodveristy Information Facility (GBIF) (2026) adalah:

Kingdom : Animalia

Filum : Arthropoda

Kelas : Insecta

Ordo : Trichoptera

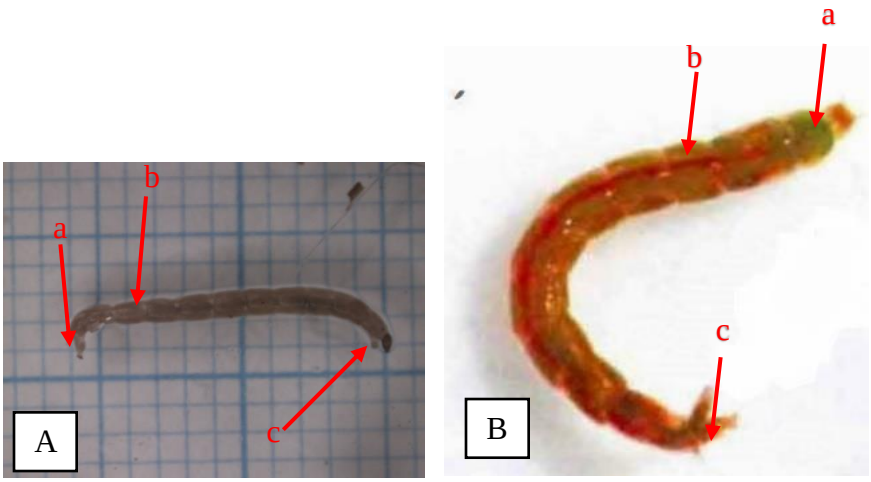
Famili : Hydropsychidae

Genus : *Hydropsyche*

Hydropsyche adalah genus serangga air yang termasuk dalam ordo Trichoptera dan keluarga Hydropsychidae, yang umum ditemukan di sungai yang airnya mengalir cepat dengan dasar berbatu. Larva dari genus ini hidup di dasar air sebagai organisme bentik dan dikenal sebagai "caddisfly penganyam jaring" karena bisa membuat jaring kecil dari sutra untuk menangkap partikel organik yang terbawa arus air. Genus ini memiliki peran penting dalam ekosistem sungai sebagai penjaring makanan yang membantu menyaring bahan organik dan mempertahankan keseimbangan nutrien dalam air (Morse *et al*., 2019).

Secara alami, *Hydropsyche* sering ditemukan pada perairan mengalir dan memiliki keterkaitan erat dengan habitat sungai. Larva genus ini termasuk kelompok Trichoptera yang hidup pada substrat dasar perairan dan memiliki adaptasi morfologis maupun perilaku terhadap lingkungan berarus. Geraci et al. (2010) menunjukkan bahwa *Hydropsyche* merupakan genus yang memiliki karakter morfologi larva yang khas dan tersebar luas pada berbagai wilayah perairan tawar. Adaptasi terhadap habitat sungai memungkinkan larva *Hydropsyche* mempertahankan keberadaannya pada substrat perairan yang mengalami aliran. Oleh karena itu, keberadaan *Hydropsyche* dapat memberikan informasi mengenai karakteristik habitat dan kondisi ekologis suatu sungai, terutama apabila ditemukan bersama kelompok makrozoobentos lainnya.

6. Spesimen 6



Gambar 4.6 Genus *Chironomus* A. Hasil penelitian B. Foto Literatur (Gerber, 2002). a. Anterior, b. Citelum, c. Posterior

Hasil pengamatan pada gambar 4.6 menunjukkan bahwa spesimen 6 memiliki beberapa ciri ciri seperti memiliki tubuh memanjang, lunak, dan bersegmen jelas tanpa kaki sejati pada bagian abdomen. Tubuh berwarna merah dengan panjang sekitar 0,5-1 cm. Berdasarkan ciri fisik tersebut menurut Gerber (2002) spesimen termasuk ke dalam genus *Chironomus*

Klasifikasi spesimen 6 berdasarkan Global Biodveristy Information Facility (GBIF) (2026) adalah:

Kingdom : Animalia

Filum : Arthropoda

Kelas : Insecta

Ordo : Diptera

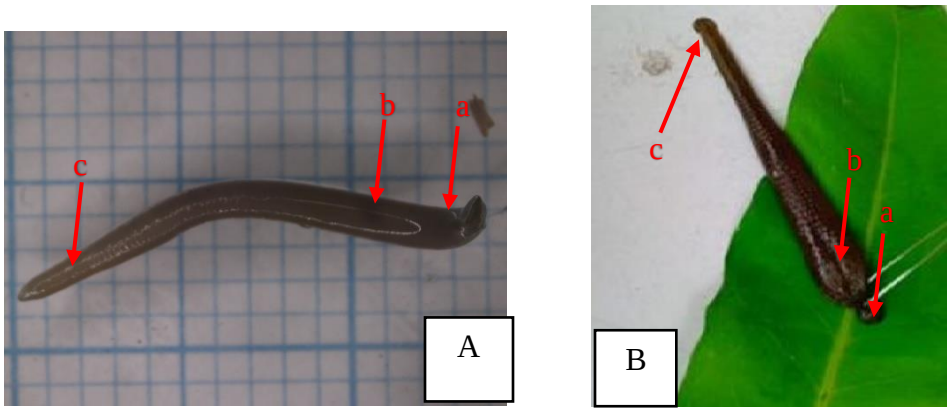
Famili : Chironomidae

Genus : *Chironomus*

Chironomus merupakan genus serangga air dari famili Chironomidae yang umum ditemukan sebagai organisme bentik pada berbagai ekosistem perairan tawar. Larvanya hidup di dalam sedimen dan memanfaatkan bahan organik partikulat sebagai sumber makanan (Politi *et al*., 2021; Banegas & Rocha, 2023). Beberapa larva *Chironomus* memiliki warna merah yang berkaitan dengan keberadaan hemoglobin, sehingga mampu bertahan pada kondisi oksigen terlarut yang rendah (Podder *et al*., 2022). Kemampuan tersebut menyebabkan *Chironomus* dapat ditemukan dengan kelimpahan tinggi pada habitat yang mengalami tekanan lingkungan atau memiliki kandungan bahan organik yang tinggi (Lin *et al*., 2021).

Secara ekologis, *Chironomus* berperan dalam proses penguraian bahan organik dan daur ulang nutrien di ekosistem perairan melalui aktivitas larvanya di dalam sedimen (Politi *et al*., 2021). Larva *Chironomus* juga menjadi bagian penting dalam jaringan makanan karena dimanfaatkan sebagai sumber makanan oleh berbagai organisme akuatik. Menurut Cortelezzi et al. (2020), beberapa taksa Chironomidae, termasuk *Chironomus calligraphus*, cenderung memiliki kelimpahan lebih tinggi pada lokasi dengan kualitas air yang lebih rendah, terutama pada kondisi oksigen terlarut rendah dan beban bahan organik yang lebih tinggi. Kemampuan kelompok ini untuk bertahan pada kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan menyebabkan Chironomidae banyak dimanfaatkan dalam biomonitoring kualitas perairan (Podder *et al*., 2022). Dengan demikian, tingginya kelimpahan *Chironomus* pada suatu lokasi dapat menjadi salah satu indikasi adanya tekanan lingkungan, terutama apabila didukung oleh parameter fisika-kimia perairan lainnya.

7. Spesimen 7



Gambar 4.7 Genus *Hirudo* A. Hasil penelitian B. Foto Literatur (Rahmadina, 2018). a. bintik mata, b. anterior, c. posterior

Hasil pengamatan pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa spesimen 7 memiliki beberapa ciri ciri seperti berbentuk pipih dorsoventral, lunak, dan tersusun atas segmen-segmen yang jelas. Tubuhnya umumnya berwarna hijau kecokelatan hingga hitam dengan garis-garis longitudinal pada bagian dorsal. memiliki dua alat pengisap (*sucker*), yaitu sucker anterior dan sucker posterior. Berdasarkan ciri fisik tersebut menurut (Rahmadina, 2018) spesimen tersebut masuk ke dalam genus *Hirudo*.

Klasifikasi spesimen 7 berdasarkan Global Biodveristy Information Facility (GBIF) (2026) adalah:

Kingdom : Animalia

Filum : Annelida

Kelas : Clitellata

Ordo : Hirudinata

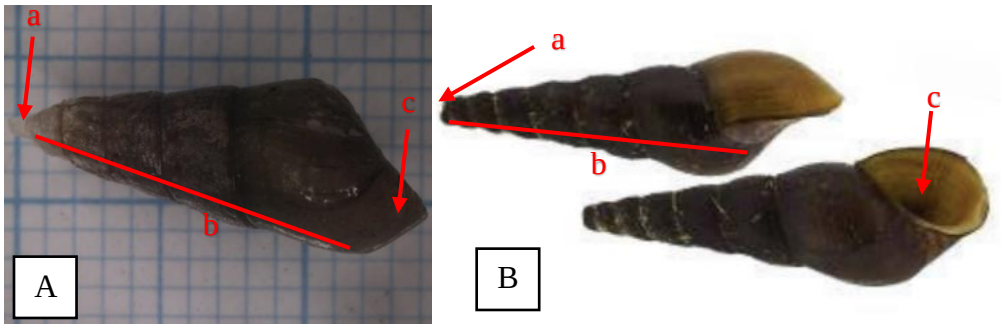
Famili : Hirudinidae

Genus : *Hirudo*

Hirudo adalah genus lintah yang hidup di air tawar dan termasuk dalam famili Hirudinidae, yang umumnya ditemukan di sungai, rawa, dan kolam dengan aliran yang tenang. Mayoritas spesies dalam genus Hirudo dikenal sebagai lintah pengisap darah yang memanfaatkan hewan vertebrata sebagai inang, meskipun karakter ekologis dan pola makan dapat berbeda antarspesies. Berdasarkan penelitian Liuzzo et al. (2025), Hirudo verbana dapat ditemukan pada habitat perairan tawar, terutama pada lingkungan dengan vegetasi yang lebat dan terstruktur serta kondisi hidrologi yang relatif stabil. Habitat tersebut menyediakan tempat berlindung sekaligus mendukung keberadaan organisme yang dapat menjadi inang bagi lintah. Dengan demikian, keberadaan Hirudo pada suatu perairan dapat memberikan informasi mengenai karakteristik habitat, terutama apabila dikaitkan dengan kondisi fisika-kimia dan keberadaan vegetasi perairan.

Secara ekologis, *Hirudo* berperan dalam ekosistem perairan sebagai predator maupun parasit pada organisme tertentu dan dapat menjadi bagian dari jaringan makanan perairan. Genus ini dapat ditemukan pada berbagai habitat perairan tawar dan memanfaatkan substrat maupun vegetasi perairan sebagai tempat berlindung. Selain memiliki peran ekologis, beberapa spesies *Hirudo* juga memiliki nilai medis karena menghasilkan senyawa bioaktif, termasuk hirudin yang memiliki aktivitas antikoagulan dan telah dimanfaatkan dalam pengobatan (Iwama et al., 2021). Keberadaan *Hirudo* pada suatu perairan dapat berkaitan dengan karakteristik habitat tertentu, tetapi interpretasinya sebagai indikator kondisi lingkungan perlu dikaitkan dengan parameter fisika-kimia dan karakteristik habitat lainnya.

8. Spesimen 8



Gambar 4.8 Genus *Melanoides* A. Hasil penelitian B. Foto Literatur (Marwoto, 2020). a. apex, b. cangkang, c. aperture

Hasil pengamatan pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa spesimen 8 memiliki beberapa ciri, yaitu cangkang berbentuk kerucut memanjang (*turreted shell*) dengan jumlah pilinan (*whorl*) yang banyak dan meruncing ke arah apeks. Permukaan cangkang tampak keras dengan garis pertumbuhan yang jelas, berwarna cokelat hingga cokelat kehitaman. Berdasarkan ciri morfologi tersebut, menurut Marwoto (2012), spesimen ini termasuk ke dalam genus *Melanoides*.

Klasifikasi spesimen 8 menurut MolluscaBase (2024) adalah:

Kingdom : Animalia

Filum : Mollusca

Kelas : Gastropoda

Ordo : Cerithioidea

Famili : Thiaridae

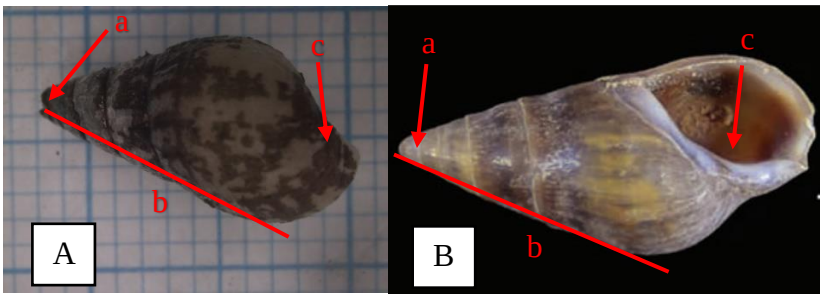
Genus : *Melanoides*

Melanoides merupakan genus siput air tawar yang banyak ditemukan di sungai, danau, saluran irigasi, rawa, maupun kolam pada daerah tropis dan subtropis. Genus ini hidup sebagai organisme bentik yang menempati berbagai tipe substrat, seperti

pasir, lumpur, kerikil, hingga bebatuan. *Melanoides* bersifat detritivor dan grazer dengan memanfaatkan detritus, alga, perifiton, serta biofilm yang tumbuh pada permukaan substrat sebagai sumber makanan utama. Genus ini memiliki kemampuan beradaptasi yang tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan sehingga penyebarannya sangat luas di perairan tawar (Isnaningsih dkk., 2021).

Melanoides memiliki peranan penting dalam ekosistem perairan sebagai pengurai bahan organik dan pemakan perifiton yang membantu menjaga keseimbangan produktivitas primer pada dasar perairan. Aktivitas makan genus ini berkontribusi terhadap proses daur ulang unsur hara dan mempercepat dekomposisi bahan organik di dalam sedimen. Selain itu, *Melanoides* juga menjadi sumber pakan bagi berbagai jenis ikan, udang, dan organisme akuatik lainnya sehingga berperan dalam aliran energi pada ekosistem perairan. Meskipun sering ditemukan pada perairan yang masih baik, genus ini juga diketahui memiliki toleransi yang cukup tinggi terhadap perubahan kualitas lingkungan, termasuk peningkatan bahan organik dan penurunan kadar oksigen terlarut. Oleh karena itu, keberadaan *Melanoides* dapat memberikan informasi mengenai kondisi ekologis suatu perairan, meskipun tingkat sensitivitasnya terhadap pencemaran tidak setinggi beberapa kelompok gastropoda air tawar lainnya (Strong *et al*., 2008; Isnaningsih dkk., 2021).

9. Spesimen 9



Gambar 4.9 Genus *Melanopsis* A. Hasil penelitian B. Foto Literatur (Sitnikova, 2017). a. apex, b. operkulum, c. cangkang

Hasil pengamatan pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa spesimen 9 memiliki beberapa ciri ciri seperti angkang berbentuk kerucut hingga agak oval, terdiri dari 7–9 lingkaran. Spesimen terbesar mencapai tinggi 15 mm dan diameter 7 mm. terdapat motif bercak pada bagian cangkang. Setiap spesies memiliki pola garis berbeda yang melapisi cangkang dari Genus ini. Berdasarkan ciri fisik tersebut menurut (Neubauer, 2013) spesimen tersebut masuk ke dalam genus *Melanopsis*

Klasifikasi spesimen 9 berdasarkan Global Biodveristy Information Facility (GBIF) (2026) adalah:

Kingdom : Animalia

Filum : Arthropoda

Kelas : Gastropoda

Ordo : Mesogastropoda

Famili : Melanopsidae

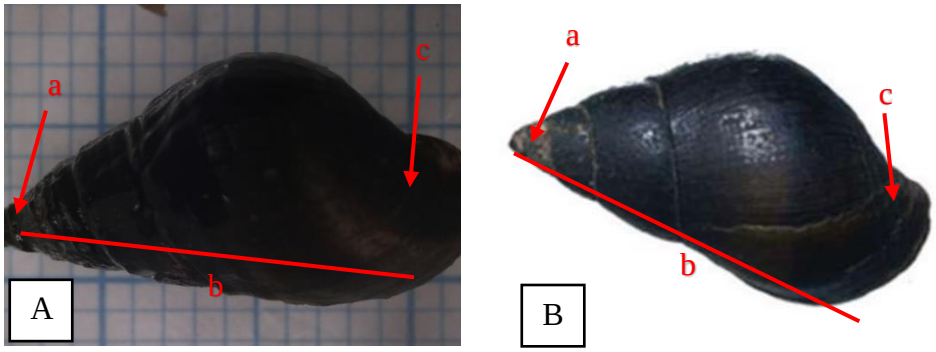
Genus : *Melanopsis*

Melanopsis merupakan genus gastropoda air tawar yang tergolong dalam famili Melanopsidae dan banyak ditemukan pada habitat perairan mengalir, seperti sungai,

mata air, maupun danau yang memiliki arus sedang hingga deras. Organisme ini hidup sebagai bentos dengan menempati substrat berupa batuan, pasir, maupun sedimen berlumpur di dasar perairan. Dalam aktivitas makannya, *Melanopsis* memanfaatkan alga, perifiton, serta sisa-sisa bahan organik yang menempel pada permukaan substrat. Menurut Neubauer et al. (2016), genus *Melanopsis* merupakan kelompok gastropoda air tawar yang memiliki sejarah adaptasi terhadap perubahan kondisi lingkungan perairan, yang tercermin dari keberadaannya pada berbagai habitat air tawar dan persebarannya pada wilayah dengan kondisi iklim yang berbeda. Karakteristik tersebut memungkinkan *Melanopsis* untuk bertahan pada berbagai tipe habitat perairan tawar.

Melanopsis dari aspek ekologis, berperan sebagai organisme pemakan alga (grazer) yang membantu mengontrol pertumbuhan biofilm dan perifiton pada substrat perairan. Aktivitas tersebut berkontribusi dalam menjaga keseimbangan ekosistem dengan mencegah pertumbuhan alga yang berlebihan. Keberadaan genus ini umumnya berkaitan dengan kondisi lingkungan perairan tertentu serta faktor fisika-kimia yang mendukung kehidupannya. Selain itu, beberapa spesies *Melanopsis* diketahui memiliki sensitivitas terhadap perubahan kondisi habitat, sehingga perubahan faktor lingkungan dapat memengaruhi distribusi dan kelimpahannya (Al-Baghdadi, 2024). Dalam jaring-jaring makanan ekosistem akuatik, *Melanopsis* juga berfungsi sebagai sumber pakan bagi berbagai jenis ikan dan organisme perairan lainnya, sehingga turut berperan dalam proses transfer energi antar tingkat trofik.

10. Spesimen 10



Gambar 4.10 Genus *Sulcospira* A. Hasil penelitian B. Foto Literatur (Marwoto , 2012). a. apex, b. cangkang, c. operkulum

Hasil pengamatan pada gambar 4.10 menunjukkan bahwa spesimen 10 memiliki beberapa ciri ciri seperti cangkang berbentuk kerucut memanjang (*turreted shell*) dengan permukaan cangkang yang keras dan beralur spiral jelas. Warna cangkang umumnya cokelat tua hingga kehitaman, aperture atau bukaan cangkang berbentuk oval. Berdasarkan ciri fisik tersebut menurut Marwoto (2012) spesimen tersebut masuk ke dalam genus *Sulcospira*.

Klasifikasi spesimen 10 menurut Hellen (2020) adalah:

Kingdom : Animalia

Filum : Mollusca

Kelas : Gastropoda

Ordo : clade Caenogastropoda

Famili : Pachychilidae

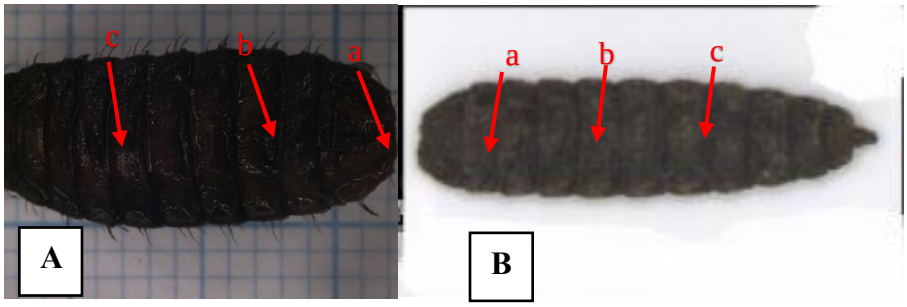
Genus : *Sulcospira*

Sulcospira merupakan genus siput air tawar yang sering ditemukan di sungai, mata air, dan danau berarus sedang hingga deras di wilayah tropis Asia Tenggara.

Sulcospira hidup sebagai organisme bentik yang menempel pada substrat batu, pasir, maupun lumpur, serta berperan sebagai grazer dengan memakan alga, detritus, dan biofilm di permukaan substrat. Menurut Hellen (2020), genus ini memiliki habitat sungai dengan arus tenang atau deras.

Sulcospira memiliki fungsi penting dalam ekosistem perairan, terutama dalam siklus nutrien melalui pola makannya yang memanfaatkan perifiton dan bahan organik yang terdapat pada dasar perairan. Aktivitas makan tersebut berkontribusi terhadap pemanfaatan dan pengolahan bahan organik dalam ekosistem perairan. *Sulcospira* umumnya ditemukan pada habitat perairan tawar, terutama sungai dan aliran air yang menyediakan sumber makanan berupa alga dan bahan organik. Penelitian menunjukkan bahwa *Sulcospira hainanensis* merupakan konsumen bentik yang memanfaatkan perifiton sebagai salah satu sumber makanan utama, sedangkan ketersediaan bahan organik dari lingkungan juga dapat berkontribusi terhadap sumber makanannya (Yeung & Dudgeon, 2014). Selain berperan dalam proses ekologi perairan, *Sulcospira testudinaria* juga menunjukkan respons terhadap perubahan kondisi lingkungan. Penelitian Hertika et al. (2023) menunjukkan bahwa *S. testudinaria* dapat digunakan sebagai organisme biomonitoring pencemaran logam berat melalui respons biomarker metallothionein terhadap paparan Pb, Hg, dan Cd di DAS Brantas. Dengan demikian, genus *Sulcospira* memiliki potensi sebagai salah satu organisme yang dapat digunakan dalam penilaian kondisi ekologis perairan. Di samping berkontribusi pada keseimbangan ekosistem, *Sulcospira* juga menjadi bagian dari jaringan makanan ekosistem perairan sehingga turut berperan dalam aliran energi antar tingkat trofik.

11. Spesimen 11



Gambar 4.11 Genus *Hermetia* A. Hasil penelitian B. Foto Literatur (Nayak, 2024).
a. kepala, b. toraks, c. abdomen

Hasil pengamatan pada gambar 4.11 menunjukkan bahwa spesimen 11 memiliki beberapa ciri ciri seperti memiliki tubuh pipih bersegmen (11 ruas) tanpa kaki. Panjangnya mencapai 20-27 mm dengan lebar 6 mm. Berwarna krem (saat muda) hingga kecokelatan. Kepala berwarna oranye-cokelat dengan mulut pengait (*hook*). Permukaan kulitnya keras, berkerut, dan berbulu. Berdasarkan ciri fisik tersebut menurut Mokolensang (2018) spesimen tersebut masuk ke dalam genus *Hermetia*.

Klasifikasi spesimen 11 berdasarkan Mokolensang (2018) adalah:

Kingdom : Animalia

Filum : Arthropoda

Kelas : Insecta

Ordo : Diptera

Famili : Stratiomyidae

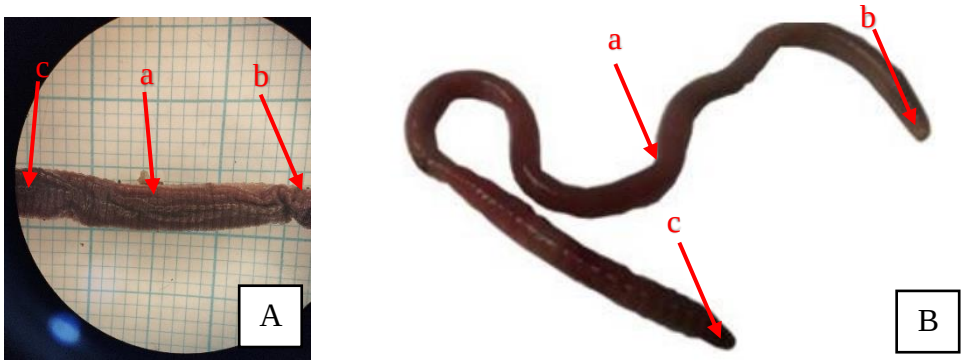
Genus : *Hermetia*

Hermetia illucens merupakan salah satu larva serangga air yang dapat ditemukan sebagai bagian dari komunitas makrozoobentos pada perairan dengan

kandungan bahan organik tinggi. Larva ini memiliki tubuh memanjang, pipih, bersegmen, dan dilapisi kutikula keras berwarna cokelat hingga kehitaman. Habitatnya umumnya berada pada substrat berlumpur, serasah daun, atau sedimen yang kaya detritus di tepian sungai dan perairan tenang. Sebagai makrozoobentos, larva *Hermetia* termasuk kelompok detritivor atau *collector-gatherer* yang memanfaatkan sisa bahan organik sebagai sumber makanan (Gold *et al*., 2020).

Secara ekologis, *Hermetia illucens* memiliki peran krusial dalam dekomposisi dan mineralisasi bahan organik yang terdapat di dasar perairan. Aktivitas makan larva ini mempercepat proses penguraian detritus sehingga unsur hara dapat tersedia kembali bagi organisme lain dalam ekosistem sungai. Larva *H. illucens* memiliki toleransi yang cukup tinggi terhadap habitat yang kaya bahan organik serta mampu berkembang pada substrat dengan kandungan limbah organik yang tinggi karena memiliki efisiensi yang baik dalam mengonversi bahan organik menjadi biomassa (Gold *et al*., 2020). Selain itu, larva ini diketahui mampu bertahan pada kondisi lingkungan dengan kadar oksigen relatif rendah dan tingginya akumulasi bahan organik sehingga sering dijumpai pada habitat yang menerima masukan limbah domestik maupun serasah organik dalam jumlah besar (Gold *et al*., 2018). Kehadirannya dalam komunitas makrozoobentos dapat menjadi indikasi meningkatnya kandungan bahan organik di perairan, meskipun pada saat yang sama organisme ini tetap berkontribusi dalam mempercepat proses daur ulang nutrien melalui aktivitas dekomposisinya (Lalander *et al*., 2019; Gold *et al*., 2020).

12. Spesimen 12



Gambar 4.12 Genus *Lumbricus* A. Hasil penelitian B. Foto Literatur (Mambrasar, 2018). a. Segmen, b. Anterior, c. Posterior

Hasil pengamatan pada gambar 4.12 menunjukkan bahwa spesimen 12 memiliki beberapa ciri ciri seperti bentuk tubuh yang memanjang, silindris, dan meruncing pada kedua ujungnya (anterior dan posterior), Tubuh tersusun atas ratusan segmen yang disebut *anulus*. Setiap segmen dilengkapi rambut-rambut halus yang disebut *seta* untuk membantu pergerakan, penebalan kulit berwarna lebih terang/pucat yang terletak di bagian anterior, umumnya berwarna merah kecokelatan, merah gelap, atau kemerahan, dengan bagian punggung (dorsal) lebih gelap daripada bagian perut (ventral). Berdasarkan ciri fisik tersebut menurut (Manangkot, 2023) spesimen tersebut masuk ke dalam genus *lumbricus*.

Klasifikasi spesimen 11 berdasarkan Global Biodveristy Information Facility (GBIF) (2026) adalah:

Kingdom : Animalia

Filum : Annelida

Kelas : Clitellata

Ordo : Haplotaxida

Famili : Lumbricidae

Genus : *Lumbricus*

Lumbricus merupakan genus cacing dari famili Lumbricidae yang umumnya dikenal sebagai cacing tanah. Organisme ini memiliki tubuh silindris memanjang, lunak, bersegmen, dan berwarna cokelat kemerahan hingga merah tua. Setiap segmen dilengkapi dengan seta halus yang berfungsi membantu pergerakan di dalam tanah maupun substrat yang lembap. Meskipun sebagian besar spesies *Lumbricus* hidup di tanah, beberapa individu dapat ditemukan pada daerah tepian sungai atau substrat berlumpur yang kaya bahan organik dan memiliki kelembapan tinggi. Genus ini bersifat detritivor dengan memanfaatkan serasah tumbuhan, bahan organik yang mengalami dekomposisi, serta mikroorganisme sebagai sumber makanan, sehingga berperan penting dalam proses dekomposisi dan daur ulang unsur hara di lingkungan (Edwards *et al.*, 2011).

Secara ekologis, *Lumbricus* berperan penting dalam proses dekomposisi bahan organik dan daur ulang unsur hara karena aktivitas makannya mempercepat penghancuran serasah serta meningkatkan ketersediaan nutrien bagi organisme lain. Aktivitas penggalian dan pergerakan cacing tanah juga memperbaiki struktur tanah atau sedimen melalui proses bioturbasi, yaitu pencampuran lapisan substrat yang meningkatkan aerasi, porositas, infiltrasi air, dan aktivitas mikroorganisme. Pada ekosistem riparian maupun tepian sungai yang kaya bahan organik, keberadaan *Lumbricus* umumnya berkaitan dengan substrat yang lembap dan kaya detritus,

sehingga berkontribusi dalam menjaga produktivitas dan kestabilan siklus nutrien pada ekosistem darat maupun perairan (Edwards *et al*., 2011).

Jumlah keseluruhan spesimen makrozoobentos yang diperoleh adalah 2591, yang terbagi dalam 12 genus. Di stasiun pertama terdapat 217 spesimen yang berasal dari 11 genus. Sementara itu, di stasiun kedua, terdapat 1215 spesimen dari 9 genus. Di stasiun ketiga tercatat 1159 spesimen yang juga dari 9 genus. Detail lengkap mengenai makrozoobentos dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Jumlah genus makrozoobentos

No	Ordo	Famili	Genus	Stasiun			Jumlah (ind)
				I	II	III	
1	Odonata	Zygoptera	*Euphaea*	1	0	0	1
2		Gomphidae	*Onychogomphus*	5	1	0	6
3		Calopterygidae	*Vestalis*	1	0	0	1
4	Decapoda	Potamonautidae	*Potamonautes*	22	13	9	44
5	Trichoptera	Hydropsychidae	*Hydropsyche*	59	32	21	112
6	Diptera	Chironomidae	*Chironomus*	39	966	1046	2051
7	Hirudinata	Hirudinidae	*Hirudo*	3	17	12	32
8	Cerithioidea	Thiaridae	*Melanoides*	8	50	11	69
9	Mesogastropoda	Melanopsidae	*Melanopsis*	43	37	42	122
10	clade Caenogastropoda	Pachychilidae	*Sulcospira*	23	95	13	131
11	Diptera	Stratiomyidae	*Hermetia*	0	0	1	1
12	Haplotaxida	Lumbricidae	*Lumbricus*	13	4	4	21
		Jumlah		217	1215	1159	2591

4.2 Kelimpahan dan Keanekaragaman Makrozoobentos

4.2.1 Kelimpahan Makrozoobentos

Berdasarkan hasil identifikasi spesimen, selanjutnya dilakukan pengolahan data untuk menentukan total kelimpahan yang disajikan pada tabel 4.2 dan kelimpahan relatif yang ditampilkan pada tabel 4.3

Tabel 4.2 Kelimpahan Total Makrozoobentos

No	Genus	Kelimpahan (ind/m^2)			Kelimpahan total (ind/m^2)
		Stasiun I	Stasiun II	Stasiun III	
1	*Euphaea*	11,11	0,00	0,00	11,11
2	*Onychogomphus*	55,56	11,11	0,00	66,67
3	*Vestalis*	11,11	0,00	0,00	11,11
4	*Potamonautes*	244,44	144,44	100,00	488,88
5	*Hydropsyche*	655,56	355,56	233,33	1244,45
6	*Chironomus*	433,33	10733,33	11622,22	22788,88
7	*Hirudo*	33,33	188,89	133,33	355,55
8	*Melanoides*	88,89	555,56	122,22	766,67
9	*Melanopsis*	477,78	411,11	466,67	1355,56
10	*Sulcospira*	255,56	1055,56	144,44	1455,56
11	*Hermetia*	0,00	0,00	11,11	11,11
12	*Lumbricus*	144,44	44,44	44,44	233,32
	Jumlah	2411,11	13500	12877,78	28788,89

Berdasarkan Tabel 2, total kelimpahan makrozoobentos yang ditemukan pada seluruh stasiun pengamatan sebesar 28.788,89 ind/m² yang terdiri atas 12 genus, yaitu *Euphaea*, *Onychogomphus*, *Vestalis*, *Potamonautes*, *Hydropsyche*, *Chironomus*, *Hirudo*, *Melanoides*, *Melanopsis*, *Sulcospira*, *Hermetia*, dan *Lumbricus*. Kelimpahan total tertinggi ditemukan pada genus *Chironomus* sebesar 22.788,88 ind/m², diikuti oleh *Sulcospira* sebesar 1.455,56 ind/m², *Melanopsis* sebesar 1.355,56 ind/m², dan *Hydropsyche* sebesar 1.244,45 ind/m². Sebaliknya, genus dengan kelimpahan terendah adalah *Euphaea*, *Vestalis*, dan *Hermetia* yang masing-masing hanya memiliki kelimpahan total sebesar 11,11 ind/m². Tingginya kelimpahan *Chironomus* menunjukkan bahwa genus tersebut merupakan kelompok yang paling berhasil beradaptasi terhadap kondisi lingkungan pada lokasi penelitian. Menurut Gao *et al.* (2023), kelompok Chironomidae termasuk makroinvertebrata yang memiliki toleransi

terhadap pencemaran dan dapat ditemukan dengan kelimpahan tinggi pada perairan yang mengalami tekanan kualitas lingkungan.

Kelimpahan *Chironomus* yang sangat tinggi dibandingkan genus lainnya menunjukkan adanya kecenderungan dominasi organisme toleran dalam komunitas makrozoobentos. Larva dari famili Chironomidae diketahui memiliki kemampuan beradaptasi pada habitat yang kaya bahan organik, memiliki kadar oksigen terlarut rendah, serta mengalami fluktuasi kondisi fisika-kimia perairan, sehingga sering mendominasi komunitas bentik pada perairan yang mengalami tekanan lingkungan (Rossaro et al., 2022). Selain itu, larva *Chironomus* memiliki pigmen hemoglobin yang berfungsi meningkatkan efisiensi pengikatan dan penyimpanan oksigen, sehingga memungkinkan organisme ini tetap bertahan pada kondisi hipoksia yang umumnya tidak dapat ditoleransi oleh kelompok makrozoobentos yang lebih sensitif (Rossaro et al., 2022). Komunitas makroinvertebrata bentik dapat digunakan untuk menggambarkan perubahan kualitas lingkungan perairan karena komposisi dan kelimpahan taksa penyusunnya dapat memberikan respons terhadap kondisi lingkungan yang berbeda (Pinto et al., 2021). Oleh karena itu, tingginya kelimpahan *Chironomus* pada penelitian ini dapat menjadi indikasi bahwa kondisi lingkungan di Kali Bodo lebih mendukung perkembangan organisme toleran dibandingkan organisme yang memiliki tingkat sensitivitas tinggi terhadap perubahan kualitas perairan.

Genus *Hydropsyche* yang memiliki kelimpahan total sebesar 1.244,45 ind/m² menunjukkan bahwa sebagian lokasi penelitian masih mampu mendukung keberadaan kelompok Trichoptera. Larva *Hydropsyche* umumnya ditemukan pada sungai yang

mengalir dengan kandungan oksigen terlarut tinggi, arus sedang hingga deras, serta substrat berbatu atau kerikil yang relatif stabil. Oleh karena itu, genus ini sering digunakan sebagai indikator kondisi ekologis perairan yang masih baik karena memiliki toleransi yang lebih rendah terhadap pencemaran dibandingkan kelompok organisme yang lebih toleran, seperti *Chironomidae* (Morse *et al.*, 2019; Houghton, 2021). Selain *Hydropsyche*, ditemukan pula genus *Euphaea*, *Vestalis*, dan *Onychogomphus* yang termasuk dalam ordo *Odonata*. Larva Odonata hidup di perairan dan keberadaannya dipengaruhi oleh kondisi kualitas air serta struktur habitat akuatik dan riparian. Perubahan kondisi lingkungan dapat memengaruhi komposisi dan kelimpahan komunitas Odonata sehingga kelompok ini dapat dimanfaatkan sebagai bioindikator perubahan kualitas ekosistem perairan (Liberato et al., 2024). Namun, rendahnya kelimpahan ketiga genus tersebut menunjukkan bahwa kondisi habitat yang sesuai kemungkinan hanya terdapat pada sebagian lokasi pengamatan.

Kelimpahan yang cukup tinggi juga ditemukan pada genus *Sulcospira***,** *Melanopsis*, dan *Melanoides* yang termasuk kelompok gastropoda air tawar. Gastropoda umumnya memiliki kemampuan beradaptasi terhadap berbagai tipe substrat dan memanfaatkan biofilm, perifiton, detritus, serta bahan organik sebagai sumber makanan utama. Kelimpahan kelompok ini dipengaruhi oleh ketersediaan nutrien, kandungan bahan organik, kondisi substrat, serta parameter fisika-kimia perairan yang mendukung pertumbuhan perifiton sebagai sumber pakan (Strong *et al.*, 2008). Selain itu, keberadaan *Potamonautes* dengan kelimpahan total sebesar 488,88 ind/m² menunjukkan bahwa habitat penelitian masih menyediakan ruang hidup yang sesuai bagi krustase bentik. Kepiting air tawar dari famili Potamonautidae umumnya

menempati habitat sungai yang memiliki substrat berbatu, kerikil, maupun berlumpur yang menyediakan tempat berlindung serta sumber makanan yang memadai. Keberadaannya juga dipengaruhi oleh kualitas habitat dan ketersediaan oksigen terlarut yang cukup untuk mendukung aktivitas hidupnya (Cumberlidge *et al*., 2009). Variasi kelimpahan antar genus tersebut menunjukkan adanya perbedaan kemampuan adaptasi masing-masing organisme terhadap kondisi lingkungan yang terdapat di lokasi penelitian.

Berdasarkan distribusi antar stasiun, total kelimpahan makrozoobentos tertinggi ditemukan pada Stasiun II sebesar 13.500 ind/m², diikuti Stasiun III sebesar 12.877,78 ind/m² dan Stasiun I sebesar 2.411,11 ind/m². Tingginya kelimpahan pada Stasiun II dan III terutama dipengaruhi oleh jumlah individu *Chironomus* yang jauh lebih besar dibandingkan genus lainnya. Tingginya nilai kelimpahan tidak selalu menunjukkan bahwa kondisi lingkungan berada dalam keadaan baik, terutama apabila komunitas didominasi oleh organisme yang memiliki toleransi tinggi terhadap pencemaran. Dominasi organisme toleran umumnya mengindikasikan adanya tekanan lingkungan sehingga hanya kelompok tertentu yang mampu bertahan dan berkembang dengan baik (Kadim et al., 2024). Sebaliknya, struktur komunitas makrozoobentos dapat mengalami perubahan sebagai respons terhadap tekanan lingkungan, baik dari segi komposisi taksa maupun karakteristik fungsional organisme yang menyusunnya (Paiva et al., 2023). Oleh karena itu, interpretasi kelimpahan makrozoobentos perlu dikombinasikan dengan analisis keanekaragaman dan dominansi agar dapat menggambarkan kondisi ekologis perairan secara lebih komprehensif. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur komunitas makrozoobentos di Kali Bodo didominasi oleh

genus toleran, terutama *Chironomus*, yang berkontribusi besar terhadap tingginya kelimpahan total pada lokasi penelitian.

Tabel 4.3 Kelimpahan Relatif Makrozoobentos

		Kelimpahan relatif %		
No	Genus	Stasiun I	Stasiun II	Stasiun III
1	*Euphaea*	0,46	0,00	0,00
2	*Onychogomphus*	2,30	0,08	0,00
3	*Vestalis*	0,46	0,00	0,00
4	*Potamonautes*	10,14	1,07	0,78
5	*Hydropsyche*	27,19	2,63	1,81
6	*Chironomus*	17,97	79,51	90,25
7	*Hirudo*	1,38	1,40	1,04
8	*Melanoides*	3,69	4,12	0,95
9	*Melanopsis*	19,82	3,05	3,62
10	*Sulcospira*	10,60	7,82	1,12
11	*Hermetia*	0,00	0,00	0,09
12	*Lumbricus*	5,99	0,33	0,35
	Jumlah	100	100	100

Berdasarkan Tabel 4. 3, data kelimpahan relatif makrozoobentos menunjukkan variasi komposisi genus di setiap lokasi pengamatan. Di Stasiun I, genus dengan kelimpahan relatif paling tinggi adalah *Hydropsyche* mencapai 27,19%, diikuti oleh *Melanopsis* yang mencatat 19,82% dan *Chironomus* dengan 17,97%. Tingginya kelimpahan Hydropsyche mengindikasikan bahwa kondisi habitat di Stasiun I masih layak untuk mendukung kelompok Trichoptera yang biasanya menyukai aliran air dengan kadar oksigen terlarut yang cukup tinggi serta substrat yang berbatu atau berkerikil (Badajoz *et al*., 2022). Selain itu, adanya *Potamonautes* (10,14%) dan *Sulcospira* (10,60%) dalam banyak jumlah menunjukkan bahwa tersedia sumber pakan dan habitat yang masih mendukung kehidupan berbagai kelompok makrozoobentos. Badajoz *et al*. (2022) menyatakan bahwa distribusi dan kelimpahan relatif makroinvertebrata sangat dipengaruhi oleh kondisi fisika-kimia perairan, terutama

oksigen terlarut serta karakteristik substrat, oleh karena itu, tingginya keberagaman genus di Stasiun I mengindikasikan bahwa ekosistemnya lebih stabil dibandingkan dengan stasiun lainnya.

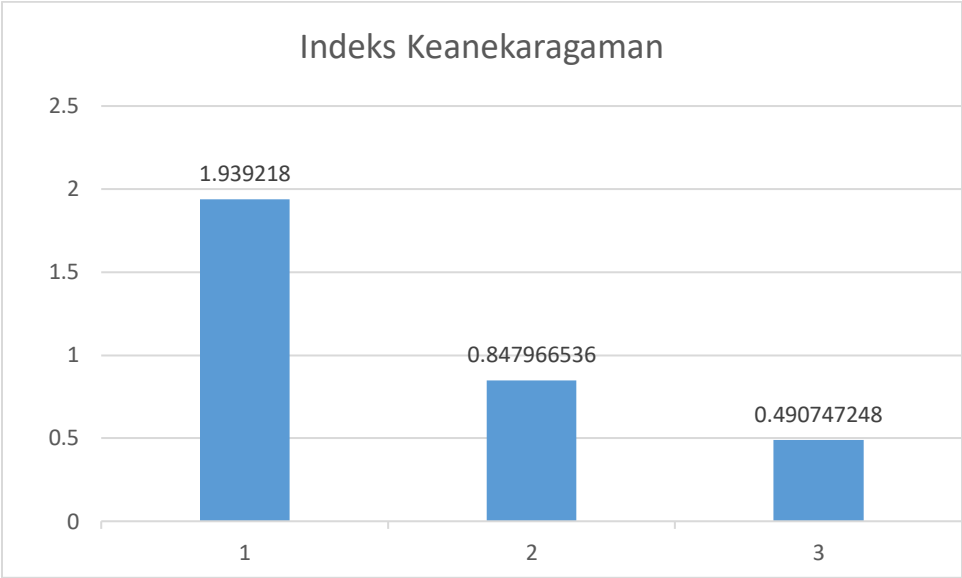
Stasiun II menunjukkan dominasi yang sangat tinggi oleh genus *Chironomus* dengan kelimpahan relatif mencapai 79,51%, sedangkan genus lainnya memiliki proporsi yang jauh lebih rendah, yaitu *Sulcospira* sebesar 7,82%, *Melanoides* sebesar 4,12%, dan *Melanopsis* sebesar 3,05%. Dominasi yang sangat tinggi oleh *Chironomus* menunjukkan adanya tekanan lingkungan yang menyebabkan hanya organisme dengan tingkat toleransi tinggi yang mampu berkembang dengan baik. Larva dari famili *Chironomidae* diketahui memiliki kemampuan beradaptasi terhadap habitat dengan kandungan bahan organik tinggi, sedimentasi, fluktuasi kondisi fisika-kimia, serta kadar oksigen terlarut yang rendah sehingga sering mendominasi komunitas bentik pada perairan yang mengalami gangguan ekologis (Rossaro *et al*., 2022). Peningkatan dominasi Chironomidae umumnya diikuti oleh berkurangnya keberadaan kelompok yang lebih sensitif, seperti Ephemeroptera**,** Plecoptera, dan Trichoptera (EPT), yang memerlukan kondisi habitat dan kualitas air yang lebih baik (Morse *et al*., 2019; Feio *et al*., 2021). Keadaan ini menunjukkan bahwa struktur komunitas di Stasiun II cenderung kurang merata karena sebagian besar individu terkonsentrasi pada satu genus. Dominasi organisme toleran tersebut juga mengindikasikan adanya penurunan kualitas habitat dan berkurangnya stabilitas komunitas makrozoobentos pada stasiun pengamatan tersebut (Rossaro *et al*., 2022).

Tampilan serupa terlihat di Stasiun III, di mana *Chironomus* menunjukkan kelimpahan relatif tertinggi mencapai 90,25%**,** jauh mengungguli genus lain seperti

Melanopsis (3,62%), *Hydropsyche* (1,81%), dan *Sulcospira* (1,12%). Tingginya dominasi *Chironomus* menunjukkan bahwa kondisi lingkungan di Stasiun III lebih mendukung organisme yang toleran terhadap perubahan kualitas air dibandingkan organisme yang sensitif. Larva dari famili Chironomidae diketahui mampu bertahan pada perairan dengan kandungan bahan organik tinggi, konsentrasi oksigen terlarut rendah, serta kondisi habitat yang mengalami tekanan lingkungan karena memiliki adaptasi fisiologis berupa pigmen hemoglobin yang meningkatkan efisiensi pengikatan oksigen (Rossaro *et al*., 2022). Sebaliknya, rendahnya kelimpahan *Hydropsyche*, *Euphaea*, dan *Onychogomphus* mengindikasikan bahwa kondisi habitat kurang mendukung perkembangan kelompok makrozoobentos yang memerlukan kualitas perairan lebih baik. Dominasi satu atau beberapa taksa toleran umumnya mencerminkan rendahnya pemerataan komunitas, berkurangnya keanekaragaman, serta meningkatnya tekanan ekologis pada suatu ekosistem perairan (Birk *et al*., 2020; Feio *et al*., 2021). Dengan demikian, komposisi kelimpahan relatif di Stasiun III menunjukkan adanya kecenderungan dominasi organisme toleran sehingga struktur komunitas makrozoobentos menjadi kurang seimbang dibandingkan dengan Stasiun I.

4.2.2 Keanekaragaman Makrozoobentos

Hasil penelitian yang sudah dilakukan terdiri dari spesimen yang telah dikenali dan kemudian diproses datanya menggunakan indeks Shannon Wiener, yang ditampilkan pada gambar 4.13 sebagai berikut



Gambar 4.13 Indeks Keanekaragaman Makrozoobentos

Berdasarkan perhitungan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H'), didapati bahwa nilai keanekaragaman makrozoobentos di Stasiun 1 adalah 1,939, di Stasiun 2 0,848, dan di Stasiun 3 0,491. Temuan ini menunjukkan bahwa terdapat variasi tingkat keanekaragaman makrozoobentos di Kali Bodo pada setiap titik pengamatan. Stasiun 1 mencatat nilai keanekaragaman tertinggi, sementara Stasiun 3 mencatat nilai terendah. Berdasarkan kriteria indeks Shannon-Wiener, nilai H' pada kisaran 1–3 dikategorikan sebagai keanekaragaman sedang, sedangkan nilai H' < 1 termasuk kategori keanekaragaman rendah (Magurran, 2004). Oleh karena itu, Stasiun 1 tergolong memiliki tingkat keanekaragaman sedang, sedangkan Stasiun 2 dan Stasiun 3 berada pada kategori keanekaragaman rendah. Variasi nilai indeks keanekaragaman tersebut menunjukkan adanya perbedaan kondisi lingkungan di antara stasiun yang memengaruhi komposisi dan struktur komunitas makrozoobentos. Secara umum, nilai keanekaragaman yang lebih tinggi menunjukkan kondisi habitat yang lebih stabil dan

mampu mendukung keberadaan berbagai taksa, sedangkan nilai keanekaragaman yang rendah umumnya berkaitan dengan adanya tekanan lingkungan sehingga hanya organisme tertentu yang mampu bertahan dan mendominasi komunitas (Djunaidi *et al*., 2024).

Nilai indeks keanekaragaman yang relatif tinggi pada Stasiun 1 mengindikasikan bahwa kondisi lingkungan perairan pada lokasi tersebut masih mampu menyediakan habitat yang sesuai bagi berbagai genus makrozoobentos, sehingga komunitas yang terbentuk menjadi lebih beragam dan seimbang. Tingkat keanekaragaman yang tinggi umumnya menunjukkan kondisi habitat yang lebih baik, yang didukung oleh ketersediaan sumber makanan, variasi substrat, serta parameter fisika-kimia perairan yang masih berada dalam kisaran toleransi organisme bentik (Hauer & Lamberti, 2017). Komunitas makrozoobentos dengan tingkat keanekaragaman yang tinggi umumnya mencerminkan kondisi ekosistem yang lebih stabil dan tingkat gangguan lingkungan yang relatif rendah, sehingga berbagai taksa dapat hidup secara bersamaan dalam suatu habitat (Birk *et al*., 2020). Selain itu, ditemukannya kelompok organisme yang lebih sensitif terhadap perubahan lingkungan, seperti Odonata dan Trichoptera, sering dikaitkan dengan kondisi perairan yang memiliki kualitas habitat baik, kandungan oksigen terlarut yang memadai, serta tingkat pencemaran yang relatif rendah (Morse *et al*., 2019). Kondisi habitat yang relatif lebih optimal pada Stasiun 1 diduga berkontribusi terhadap tingginya nilai indeks keanekaragaman makrozoobentos dibandingkan dengan stasiun pengamatan lainnya. Nilai keanekaragaman yang lebih tinggi juga menunjukkan bahwa ekosistem pada lokasi tersebut memiliki tingkat kestabilan yang lebih baik karena interaksi

antarorganisme berlangsung lebih seimbang dan tidak didominasi oleh satu genus tertentu (Cardinale *et al*., 2012).

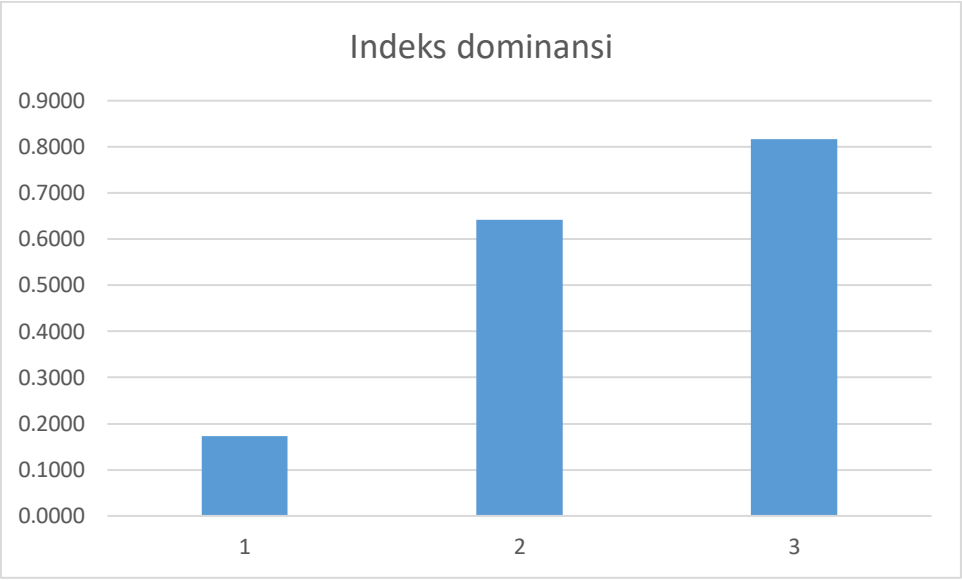
Sebaliknya, rendahnya nilai indeks keanekaragaman pada Stasiun 2 dan terutama Stasiun 3 menunjukkan bahwa komunitas makrozoobentos pada lokasi tersebut cenderung didominasi oleh beberapa genus tertentu. Keanekaragaman makrozoobentos yang rendah umumnya berkaitan dengan adanya tekanan lingkungan yang menyebabkan hanya organisme dengan tingkat toleransi tinggi yang mampu bertahan hidup, sedangkan organisme yang lebih sensitif mengalami penurunan kelimpahan atau bahkan menghilang dari komunitas (Birk *et al*., 2020; Feio *et al*., 2021). Tekanan tersebut dapat berupa perubahan kualitas air, peningkatan kandungan bahan organik, sedimentasi, perubahan karakteristik substrat, maupun aktivitas antropogenik di sekitar perairan yang memengaruhi kondisi habitat bentik (Hauer & Lamberti, 2017). Kondisi tersebut menyebabkan distribusi individu antar genus menjadi tidak merata sehingga nilai indeks keanekaragaman menurun (Magurran, 2004). Hal ini terlihat pada Stasiun 3 yang memiliki nilai H' paling rendah, menunjukkan bahwa struktur komunitas makrozoobentos pada lokasi tersebut kurang stabil dibandingkan stasiun lainnya. Kondisi tersebut sejalan dengan hasil penelitian ini, di mana rendahnya nilai indeks keanekaragaman pada Stasiun 2 dan terutama Stasiun 3 diikuti oleh tingginya dominasi Chironomus, sehingga distribusi individu antar genus menjadi tidak merata dan menyebabkan nilai keanekaragaman lebih rendah dibandingkan Stasiun 1.

Perbedaan nilai keanekaragaman di antara berbagai stasiun menunjukkan bahwa kondisi fisika-kimia air berpengaruh terhadap struktur komunitas

makrozoobentos. Faktor-faktor seperti suhu, pH, oksigen terlarut (DO), total padatan tersuspensi (TSS), total padatan terlarut (TDS), nitrat, dan fosfat merupakan parameter lingkungan yang berperan penting dalam menentukan distribusi, kelimpahan, dan keanekaragaman organisme bentik karena memengaruhi kualitas habitat serta ketersediaan sumber daya bagi makrozoobentos (Hauer & Lamberti, 2017). Perubahan pada parameter-parameter tersebut dapat menyebabkan perubahan komposisi komunitas, mengurangi jumlah taksa yang sensitif, serta meningkatkan dominasi organisme yang lebih toleran terhadap tekanan lingkungan (Birk *et al*., 2020; Feio *et al*., 2021). Keanekaragaman yang rendah pada suatu lokasi sering kali menjadi indikasi awal terjadinya gangguan ekologis atau penurunan kualitas habitat yang berlangsung secara terus-menerus (Magurran, 2004). Oleh karena itu, indeks keanekaragaman makrozoobentos pada penelitian ini dapat digunakan sebagai indikator biologis untuk mengevaluasi kondisi ekologis Kali Bodo. Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi lingkungan di Stasiun 1 lebih mendukung keberadaan berbagai genus makrozoobentos dibandingkan dengan Stasiun 2 dan Stasiun 3 yang memiliki tingkat keanekaragaman lebih rendah.

4.3 Indeks Dominansi Makrozoobentos

Spesimen makrozoobentos hasil penelitian yang telah diidentifikasi selanjutnya dianalisis menggunakan indeks dominansi Simpson untuk mengetahui tingkat dominansi genus pada setiap stasiun pengamatan. Hasil perhitungan indeks dominansi tersebut disajikan pada Gambar 4.14 berikut



Gambar 4.14 Indeks Dominansi Makrozoobentos

Berdasarkan hasil perhitungan indeks dominansi Simpson (C), diperoleh nilai dominansi makrozoobentos sebesar 0,1727 pada Stasiun 1, 0,6419 pada Stasiun 2, dan 0,8165 pada Stasiun 3. Indeks dominansi Simpson digunakan untuk mengukur tingkat penguasaan komunitas oleh satu atau beberapa genus tertentu. Semakin tinggi nilai indeks dan mendekati angka 1, semakin besar tingkat dominansi suatu genus dalam komunitas tersebut. Sebaliknya, nilai indeks yang mendekati 0 menunjukkan bahwa individu dalam komunitas tersebar lebih merata sehingga tidak terdapat genus yang mendominasi secara mencolok (Magurran, 2004). Hasil penelitian memperlihatkan bahwa Stasiun 1 memiliki nilai dominansi paling rendah, sedangkan nilai tertinggi ditemukan pada Stasiun 3. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur komunitas makrozoobentos di Stasiun 1 relatif lebih seimbang dibandingkan dengan Stasiun 2 dan Stasiun 3. Nilai dominansi yang rendah umumnya mencerminkan komunitas yang lebih beragam dan kondisi habitat yang lebih stabil karena sumber daya lingkungan

dimanfaatkan oleh berbagai kelompok organisme secara lebih merata, sedangkan dominansi yang tinggi menunjukkan bahwa hanya sedikit taksa yang mampu mendominasi komunitas akibat adanya tekanan lingkungan atau perubahan kualitas habitat (Magurran & McGill, 2011; Cardinale *et al*., 2012).

Nilai dominansi yang rendah pada Stasiun 1 (0,1727) mengindikasikan bahwa tidak terdapat genus yang mendominasi secara signifikan sehingga distribusi individu antar genus relatif merata. Kondisi tersebut sejalan dengan nilai indeks keanekaragaman yang lebih tinggi pada stasiun yang sama, menunjukkan bahwa komunitas makrozoobentos tersusun atas berbagai genus dengan proporsi individu yang lebih seimbang. Secara umum, hubungan antara indeks dominansi dan indeks keanekaragaman bersifat berlawanan, di mana meningkatnya keanekaragaman akan diikuti oleh menurunnya dominansi karena tidak ada satu taksa yang menguasai komunitas secara mencolok (Magurran, 2004; Magurran & McGill, 2011). Habitat dengan tingkat dominansi yang rendah umumnya memiliki kondisi lingkungan yang lebih baik, didukung oleh ketersediaan sumber makanan, variasi substrat, serta parameter fisika-kimia yang masih mampu menunjang kehidupan berbagai kelompok makrozoobentos (Hauer & Lamberti, 2017). Selain itu, keberadaan kelompok organisme yang sensitif terhadap perubahan lingkungan, seperti Trichoptera dan Odonata, menunjukkan bahwa tekanan lingkungan pada habitat tersebut relatif rendah sehingga komunitas yang terbentuk menjadi lebih beragam dan stabil (Morse *et al*., 2019). Oleh karena itu, Stasiun 1 dapat dikategorikan sebagai lokasi dengan struktur komunitas makrozoobentos yang lebih stabil dibandingkan stasiun lainnya.

Sebaliknya, nilai dominansi pada Stasiun 2 (0,6419) dan Stasiun 3 (0,8165) menunjukkan adanya kecenderungan dominasi oleh satu atau beberapa genus tertentu. Nilai dominansi yang tinggi mengindikasikan bahwa komunitas makrozoobentos tidak tersusun secara merata karena sebagian besar individu terkonsentrasi pada taksa tertentu yang memiliki kemampuan adaptasi lebih baik terhadap kondisi lingkungan setempat (Magurran, 2004). Kondisi tersebut umumnya terjadi ketika habitat mengalami tekanan lingkungan sehingga jumlah organisme yang sensitif menurun, sedangkan organisme yang lebih toleran berkembang dalam jumlah besar dan mendominasi komunitas (Birk *et al*., 2020; Feio *et al*., 2021). Pada penelitian ini, tingginya nilai dominansi di Stasiun 2 dan terutama Stasiun 3 sejalan dengan dominasi genus *Chironomus*, yang dikenal memiliki toleransi tinggi terhadap perubahan kualitas habitat dan peningkatan kandungan bahan organik (Rossaro *et al*., 2022). Oleh karena itu, tingginya nilai dominansi pada kedua stasiun tersebut menunjukkan bahwa kondisi lingkungan cenderung kurang mendukung keberadaan berbagai jenis makrozoobentos dibandingkan dengan Stasiun 1.

Dominansi yang tinggi pada Stasiun 3 menunjukkan bahwa komunitas makrozoobentos mengalami ketidakseimbangan struktur yang lebih besar dibandingkan stasiun lainnya. Nilai dominansi yang tinggi umumnya menunjukkan bahwa komunitas didominasi oleh sedikit taksa yang memiliki kemampuan adaptasi tinggi terhadap kondisi lingkungan tertentu, sedangkan organisme yang lebih sensitif mengalami penurunan kelimpahan atau menghilang dari komunitas (Magurran, 2004; Magurran & McGill, 2011). Kondisi tersebut sering dikaitkan dengan adanya tekanan ekologis yang berlangsung dalam jangka waktu tertentu. Faktor-faktor seperti

peningkatan kandungan bahan organik, sedimentasi, perubahan karakteristik substrat, fluktuasi oksigen terlarut, serta peningkatan konsentrasi nutrien dapat menyebabkan penurunan jumlah taksa sensitif dan meningkatkan dominasi organisme yang lebih toleran terhadap kondisi lingkungan tersebut (Hauer & Lamberti, 2017; Rossaro *et al*., 2022). Selain itu, perubahan penggunaan lahan pada daerah aliran sungai (DAS), seperti alih fungsi lahan, aktivitas pertanian, maupun permukiman, dapat memengaruhi struktur komunitas makrozoobentos melalui perubahan karakteristik habitat serta meningkatnya masukan sedimen dan bahan pencemar ke badan air (Birk *et al*., 2020; Feio *et al*., 2021). Tekanan lingkungan tersebut menyebabkan hanya kelompok organisme dengan toleransi tinggi yang mampu bertahan dan berkembang sehingga nilai dominansi komunitas menjadi semakin tinggi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai indeks dominansi meningkat dari Stasiun 1 ke Stasiun 3. Pola tersebut berbanding terbalik dengan nilai indeks keanekaragaman yang diperoleh pada masing-masing stasiun. Secara umum, komunitas makrozoobentos yang memiliki nilai dominansi rendah dan keanekaragaman tinggi mencerminkan kondisi habitat yang lebih stabil karena individu tersebar lebih merata pada berbagai taksa, sedangkan dominansi yang tinggi menunjukkan bahwa komunitas dikuasai oleh sedikit taksa yang mampu beradaptasi terhadap tekanan lingkungan (Magurran, 2004; Magurran & McGill, 2011). Hubungan tersebut menunjukkan bahwa meningkatnya dominansi umumnya diikuti oleh menurunnya keanekaragaman akibat berkurangnya jumlah organisme sensitif dan meningkatnya proporsi organisme toleran (Cardinale *et al*., 2012; Feio *et al*., 2021). Dengan demikian, rendahnya nilai dominansi pada Stasiun 1 menunjukkan kondisi

habitat yang relatif stabil dan mampu mendukung berbagai genus makrozoobentos, sedangkan tingginya dominansi pada Stasiun 3 mengindikasikan adanya tekanan lingkungan yang menyebabkan komunitas didominasi oleh genus tertentu yang lebih toleran terhadap kondisi perairan setempat. Hasil ini memperkuat penggunaan indeks dominansi sebagai salah satu parameter biologis yang efektif dalam mengevaluasi kondisi ekologis dan kualitas perairan Kali Bodo.

4.4 Parameter Fisika Kimia Air

Hasil uji air dengan parameter fisika-kimia air dari tiga stasiun pengamatan yang telah dilakukan di Kali Bodo ditunjukkan pada tabel 4.4. Nilai fisika-kimia kemudian dihubungkan dengan standar baku mutu air menurut PP No 22 Tahun 2021.

Tabel 4.4 Nilai Parameter Fisika Kimia Kali Bodo Desa Ngijo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang

No	Parameter	Rata-Rata			Baku mutu PP No 22 Tahun 2021			
		Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4
1	Suhu	20,67	20,67	21	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Dev 3
2	pH	7,15	7,3967	7,343	6-9	6-9	6-9	6-9
3	TSS	18,13	18,67	28,8067	40	50	100	400
4	TDS	252	272	281,33	1000	1000	1000	2000
5	DO	6,783	5,603	5,72667	6	4	3	1
6	BOD	6,97	6,7767	6,63	2	3	6	12
7	COD	22,023	22,1367	22,71	10	25	40	80
8	Nitrat	23,473	22,0067	15,8467	10	10	20	20
9	Fosfat	1,315	2,0458	0,757267	0,2	0,2	1	

Berdasarkan Tabel 4.4, hasil pengukuran parameter fisika-kimia air pada tiga stasiun menunjukkan variasi kondisi lingkungan yang berpengaruh terhadap keberadaan dan distribusi makrozoobentos. Suhu perairan berkisar antara 20,67–21°C, yang masih berada pada kisaran optimum bagi kehidupan organisme akuatik,

khususnya makrozoobentos yang sensitif terhadap perubahan temperatur. Menurut Getachew *et al*. (2024), Suhu merupakan salah satu parameter lingkungan yang berperan penting dalam mengendalikan berbagai proses biologis organisme perairan, termasuk metabolisme, pertumbuhan, reproduksi, dan persebarannya. Sementara itu, nilai pH yang terukur pada seluruh stasiun pengamatan berkisar antara 7,15–7,39, sehingga masih berada dalam rentang baku mutu kualitas air yang ditetapkan dalam PP Nomor 22 Tahun 2021, yaitu 6–9. Kisaran pH yang relatif netral tersebut menunjukkan bahwa kondisi perairan masih cukup mendukung berlangsungnya berbagai aktivitas fisiologis makrozoobentos. Nilai pH yang berada dalam batas toleransi organisme akuatik dapat membantu menjaga kestabilan proses metabolisme dan fungsi biologis lainnya. Sebaliknya, perubahan pH yang terlalu asam maupun terlalu basa berpotensi mengganggu proses respirasi, metabolisme, serta mekanisme osmoregulasi organisme bentik sehingga dapat memengaruhi kelangsungan hidup dan distribusinya di perairan (Lukhabi *et al*., 2024). Nilai suhu dan pH yang relatif stabil pada ketiga stasiun mengindikasikan bahwa faktor fisika dasar perairan masih cukup baik untuk mendukung keberlangsungan komunitas makrozoobentos (Koty *et al*., 2024).

Hasil pengukuran *Total Suspended Solid* (TSS) menunjukkan nilai sebesar 18,13 mg/L pada Stasiun 1, 18,67 mg/L pada Stasiun 2, dan 28,81 mg/L pada Stasiun 3. Nilai tersebut masih berada di bawah baku mutu air kelas 1 yang ditetapkan sebesar 40 mg/L. Kondisi ini menunjukkan bahwa jumlah padatan tersuspensi di perairan masih relatif rendah sehingga tingkat kekeruhan belum memberikan dampak yang signifikan terhadap penetrasi cahaya ke dalam badan air. Sementara itu, konsentrasi *Total Dissolved Solid* (TDS) yang diperoleh berkisar antara 252–281,33 mg/L. Nilai

tersebut masih jauh lebih rendah dibandingkan ambang batas baku mutu yang ditetapkan sebesar 1000 mg/L, sehingga mengindikasikan bahwa kandungan zat padat terlarut di perairan masih berada pada tingkat yang aman dan belum memberikan tekanan yang berarti terhadap kualitas habitat perairan. Menurut Adjovu *et al.* (2023), peningkatan TSS dan TDS dapat memengaruhi kualitas habitat bentik melalui perubahan struktur substrat, ketersediaan oksigen, serta efisiensi proses fotosintesis organisme perairan. Nilai TSS dan TDS yang relatif rendah pada lokasi penelitian menunjukkan bahwa tekanan lingkungan akibat padatan tersuspensi maupun terlarut masih tergolong rendah sehingga kondisi habitat masih mampu mendukung keberadaan berbagai genus makrozoobentos (Teristiandi & Yuliana, 2025; Khasanah *et al*., 2024).

Parameter kimia yang berkaitan dengan ketersediaan oksigen terlarut menunjukkan bahwa nilai *Dissolved Oxygen* (DO) pada lokasi penelitian berada pada kisaran 5,60–6,78 mg/L. Konsentrasi DO tertinggi tercatat pada Stasiun 1 dengan nilai 6,783 mg/L, sedangkan konsentrasi terendah ditemukan pada Stasiun 2 sebesar 5,603 mg/L. Kandungan oksigen terlarut yang tinggi umumnya menunjukkan kondisi perairan yang baik karena oksigen diperlukan dalam proses respirasi organisme akuatik. Menurut Lukhabi *et al*. (2024), komunitas makrozoobentos yang beragam umumnya ditemukan pada perairan dengan kadar DO yang tinggi dan stabil. Nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) berkisar antara 6,63–6,97 mg/L, sedangkan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) berkisar antara 22,02–22,71 mg/L. Nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) pada seluruh stasiun pengamatan diketahui telah melampaui batas baku mutu air kelas 2, Sementara itu, nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD)

masih berada di bawah batas baku mutu yang ditetapkan, yaitu 25 mg/L. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perairan mengandung bahan organik dalam jumlah yang relatif tinggi sehingga proses penguraian oleh mikroorganisme membutuhkan oksigen dalam jumlah lebih besar. Meskipun demikian, nilai COD yang masih berada di bawah baku mutu air kelas II menunjukkan bahwa beban pencemar organik di perairan tersebut belum tergolong tinggi, sehingga kondisi kualitas air secara umum masih mampu mendukung fungsi habitat bagi organisme akuatik (Metcalf & Eddy, 2014).

Konsentrasi nitrat yang diperoleh pada lokasi penelitian berkisar antara 15,85–23,47 mg/L. Kandungan nitrat tertinggi ditemukan pada Stasiun 1 dengan nilai 23,47 mg/L, sedangkan konsentrasi terendah terdapat pada Stasiun 3 sebesar 15,85 mg/L. Berdasarkan standar baku mutu yang tercantum dalam PP No. 22 Tahun 2021, kadar nitrat pada Stasiun 1 dan Stasiun 2 telah melebihi ambang batas kelas 3, yaitu sebesar 20 mg/L, sedangkan Stasiun 3 masih berada dalam rentang nilai yang diperbolehkan. Selain itu, hasil pengukuran fosfat menunjukkan kisaran konsentrasi antara 0,76–2,05 mg/L, dengan nilai tertinggi tercatat pada Stasiun 2. Tingginya kandungan nitrat dan fosfat tersebut mengindikasikan adanya peningkatan masukan nutrien ke dalam perairan yang kemungkinan berasal dari aktivitas domestik, aliran permukaan, lahan pertanian, serta proses penguraian bahan organik di sekitar ekosistem perairan. Menurut Getachew *et al*. (2024), peningkatan konsentrasi nutrien dapat memengaruhi struktur komunitas makrozoobentos melalui perubahan produktivitas primer dan akumulasi bahan organik di dasar perairan. Selain itu, peningkatan nitrat dan fosfat dalam jangka panjang dapat mendorong dominansi organisme yang toleran terhadap

kondisi eutrofik sehingga berpotensi menurunkan keseimbangan komunitas makrozoobentos (Lukhabi *et al*., 2024).

Secara umum, kondisi fisika-kimia air di Kali Bodo masih menunjukkan kualitas yang cukup baik berdasarkan parameter suhu, pH, TSS, TDS, DO, dan COD yang sebagian besar masih memenuhi baku mutu perairan. Namun demikian, tingginya nilai BOD, nitrat, dan fosfat pada beberapa stasiun menunjukkan adanya tekanan lingkungan akibat masuknya bahan organik dan nutrien ke dalam badan air. Kondisi tersebut sejalan dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa perubahan parameter fisika-kimia berpengaruh langsung terhadap struktur komunitas makrozoobentos karena organisme bentik memiliki sensitivitas yang berbeda terhadap perubahan kualitas perairan (Teristiandi & Yuliana, 2025; Khasanah *et al*., 2024). Keberadaan genus toleran seperti *Chironomus* yang mendominasi pada beberapa stasiun juga mengindikasikan bahwa genus tersebut toleran terhadap masuknya bahan organic dalam perairan. Oleh karena itu, parameter fisika-kimia air dapat digunakan sebagai faktor yang dapat menjelaskan pola distribusi dan kelimpahan makrozoobentos di Kali Bodo (Koty *et al*., 2024; Putri *et al*., 2024).

4.5 Indeks Korelasi

Berdasarkan hasil pengamatan jumlah makrozoobentos dan pengukuran parameter fisika-kimia perairan sungai, dilakukan analisis korelasi untuk mengetahui hubungan antara kelimpahan makrozoobentos dengan kondisi lingkungan pada tiga stasiun pengamatan. Hasil analisis korelasi antara kelimpahan makrozoobentos dan parameter fisika-kimia perairan disajikan pada Tabel 4.5 sebagai berikut:

Tabel 4.5 Nilai korelasi antara makrozoobentos dengan parameter fisika-kimia air

Genus	Suhu	pH	TSS	TDS	DO	BOD	COD	Nitrat	Fosfat
Euphaea	-0,50	-0,98	-0,54	-0,95	**1,00**	0,90	-0,63	0,65	-0,08
Onychogomphus	-0,65	-0,92	-0,69	-0,99	0,96	0,97	-0,76	0,78	0,11
Vestalis	-0,50	-0,98	-0,54	-0,95	**1,00**	0,90	-0,63	0,65	-0,08
Potamonautes	-0,74	-0,87	-0,77	**-1,00**	0,92	**0,99**	-0,83	0,85	0,23
Hydropsyche	-0,72	-0,88	-0,75	**-1,00**	0,93	**0,99**	-0,82	0,84	0,21
Chironomus	0,56	0,96	0,60	0,97	-0,99	-0,93	0,68	-0,70	0,01
Hirudo	0,16	**0,99**	0,21	0,78	-0,97	-0,69	0,31	-0,34	0,42
Melanoides	-0,44	0,71	-0,40	0,27	-0,63	-0,14	-0,30	0,27	0,87
Melanopsis	0,36	-0,78	0,32	-0,36	0,70	0,23	0,21	-0,18	-0,82
Sulcospira	-0,59	0,58	-0,56	0,09	-0,49	0,03	-0,46	0,44	**0,94**
Hermetia	**1,00**	0,31	**1,00**	0,74	-0,42	-0,82	**0,99**	**-0,98**	-0,82
Lumbricus	-0,50	-0,98	-0,54	-0,95	**1,00**	0,90	-0,63	0,65	-0,08

Berdasarkan hasil analisis korelasi menggunakan aplikasi PAST 4.03, parameter suhu menunjukkan korelasi positif paling kuat dengan Genus *Hermetia* dengan nilai koefisien korelasi sebesar 1,00 yang termasuk dalam kategori korelasi sangat tinggi. Nilai korelasi positif tersebut menunjukkan bahwa peningkatan suhu perairan diikuti dengan peningkatan jumlah individu Genus *Hermetia*, demikian pula sebaliknya, penurunan suhu cenderung berkaitan dengan menurunnya kelimpahan genus tersebut. Kondisi ini menunjukkan bahwa *Hermetia* beradaptasi dengan baik terhadap perubahan suhu perairan, terutama pada habitat yang kaya bahan organik. Larva *Hermetia*, khususnya *Hermetia illucens*, diketahui memiliki toleransi tinggi terhadap lingkungan dengan suhu relatif hangat karena aktivitas metabolismenya meningkat pada kondisi temperatur yang lebih tinggi (Siddiqui *et al*., 2023). Suhu merupakan faktor abiotik utama yang memengaruhi laju metabolisme, pertumbuhan, aktivitas makan, serta distribusi makrozoobentos di ekosistem perairan (Bonacina *et al*., 2023). Peningkatan suhu juga dapat mempercepat proses dekomposisi bahan

organik sehingga menghasilkan substrat yang lebih sesuai bagi organisme detritivor seperti larva *Hermetia* (Bonacina *et al*., 2023). Selain itu, lingkungan dengan suhu lebih tinggi umumnya memiliki aktivitas mikroba yang lebih intensif, sehingga mempercepat pembentukan bahan organik terurai yang menjadi sumber makanan utama larva *Hermetia* (Tambeayuk *et al*., 2023).

Keberadaan genus *Hermetia* yang meningkat pada suhu tinggi juga berkaitan dengan sifat ekologisnya sebagai organisme saprofag yang memanfaatkan bahan organik hasil pembusukan. Menurut Seyedalmoosavi *et al*. (2022), larva *Hermetia illucens* memiliki efisiensi pertumbuhan yang tinggi pada lingkungan hangat dengan kandungan organik melimpah karena suhu memengaruhi aktivitas enzim pencernaan dan proses konversi nutrien. Kondisi tersebut menyebabkan genus ini lebih mudah berkembang pada perairan dengan tekanan organik tinggi dibandingkan kelompok makrozoobentos sensitif seperti EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, dan Trichoptera). Bonacina *et al*. (2023) juga menjelaskan bahwa kenaikan suhu perairan dapat mengubah struktur komunitas makroinvertebrata dengan meningkatkan dominansi spesies toleran terhadap stres lingkungan. Hal ini sesuai dengan kondisi di Kali Bodo, yakni keberadaan *Hermetia* sulit ditemukan karena suhu yang relatif rendah di semua stasiun.

Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa parameter pH memiliki korelasi paling kuat dengan Genus *Hirudo*, dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,99 yang termasuk dalam kategori korelasi sangat tinggi. Nilai korelasi positif tersebut menunjukkan bahwa peningkatan nilai pH perairan cenderung diikuti oleh peningkatan kelimpahan Genus *Hirudo*, sedangkan penurunan nilai pH berkaitan dengan menurunnya jumlah

genus tersebut. Kondisi ini berkaitan dengan kemampuan lintah air tawar dari genus *Hirudo* untuk hidup pada perairan dengan kondisi pH yang relatif netral. Distribusi lintah air tawar diketahui berkaitan dengan kondisi fisik-kimia perairan, termasuk pH dan oksigen terlarut, yang dapat memengaruhi keberadaan dan kepadatan organisme tersebut. Penelitian pada *Hirudo verbana* menunjukkan adanya hubungan antara kepadatan lintah dengan kondisi oksigen dan pH perairan pada habitat rawa (Sağlam et al., 2018). Perairan dengan kondisi kimia yang kurang sesuai dapat memengaruhi aktivitas dan keberlangsungan hidup organisme bentik. Hal ini sesuai dengan kondisi di Kali Bodo, yakni *Hirudo* ditemukan pada seluruh stasiun pengamatan karena nilai pH perairan berada pada kisaran netral dan relatif stabil.

Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa parameter TSS memiliki korelasi paling kuat dengan Genus *Hermetia* dengan nilai koefisien korelasi sebesar 1,00 yang termasuk dalam kategori korelasi sangat tinggi. Nilai korelasi positif tersebut menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi TSS dalam perairan cenderung diikuti oleh meningkatnya kelimpahan Genus *Hermetia*, sedangkan penurunan nilai TSS berkaitan dengan menurunnya jumlah genus tersebut. Nilai tersebut menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi TSS di perairan Kali Bodo diikuti oleh peningkatan jumlah individu genus *Hermetia*. Kondisi ini berkaitan dengan karakteristik larva *Hermetia* yang dikenal sebagai organisme detritivor dan saprofag yang mampu memanfaatkan akumulasi bahan organik tersuspensi sebagai sumber nutrisi utama. Menurut Rossi *et al*. (2023), larva *Hermetia illucens* memiliki kemampuan tinggi dalam menguraikan limbah organik yang kaya partikel tersuspensi dan sedimen organik sehingga sering ditemukan pada habitat dengan kandungan bahan organik

tinggi. Tingginya nilai TSS umumnya menunjukkan banyaknya partikel organik maupun anorganik yang melayang di kolom air, yang dapat berasal dari limpasan pertanian, erosi tanah, maupun limbah domestik (Shuman *et al*., 2020). Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya akumulasi bahan organik pada substrat dasar sungai yang kemudian menjadi sumber makanan bagi larva *Hermetia*. Selain itu, hasil penelitian Arnone *et al*. (2022) menunjukkan bahwa *Hermetia illucens* memiliki kemampuan adaptasi yang baik pada lingkungan dengan kandungan lumpur organik dan padatan tersuspensi yang tinggi karena organisme tersebut memiliki tingkat toleransi yang cukup besar terhadap perubahan kondisi perairan. adanya *Hermetia* pada lokasi dengan nilai TSS yang tinggi juga dapat mengindikasikan adanya aktivitas dekomposisi bahan organik yang lebih intensif di lingkungan perairan tersebut. Tanga *et al*. (2021) menjelaskan bahwa larva *Hermetia* memiliki komunitas mikrobiota usus yang mendukung proses degradasi berbagai bahan organik kompleks sehingga mampu bertahan pada habitat yang kaya detritus. Hal ini sesuai dengan kondisi di Kali Bodo, dimana keberadaan *Hermetia* sulit ditemukan dikarenakan TSS yang relatif rendah di semua stasiunnya.

Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa parameter TDS memiliki korelasi paling kuat dengan Genus *Potamonautes* dan Genus *Hydropsyche* dengan nilai koefisien korelasi sebesar -1,00 yang termasuk dalam kategori korelasi sangat tinggi. Nilai korelasi negatif tersebut menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi TDS dalam perairan cenderung diikuti oleh penurunan kelimpahan Genus *Potamonautes* dan Genus *Hydropsyche*. Sebaliknya, apabila nilai TDS mengalami penurunan, maka jumlah kedua genus tersebut cenderung meningkat. Genus *Potamonautes* merupakan

kelompok kepiting air tawar yang ditemukan pada berbagai habitat perairan tawar, termasuk sungai, danau, serta lahan basah, dengan karakteristik habitat yang berbeda-beda (Cumberlidge *et al*., 2022). Kondisi lingkungan perairan dan karakteristik habitat diketahui dapat memengaruhi keberadaan dan kelimpahan kepiting air tawar. Peningkatan TDS yang disebabkan oleh akumulasi mineral terlarut maupun bahan pencemar dapat menunjukkan adanya perubahan kondisi kimia perairan yang berpotensi memengaruhi organisme akuatik. Penelitian mengenai kepiting air tawar menunjukkan bahwa penurunan kualitas habitat akibat pencemaran dan perubahan kondisi lingkungan dapat menyebabkan berkurangnya kelimpahan kepiting air tawar. Aktivitas antropogenik yang meningkatkan masukan bahan pencemar ke badan air diketahui berpengaruh negatif terhadap kelimpahan *Potamonautes* melalui degradasi habitat dan perubahan kondisi fisika-kimia perairan (Dalu et al., 2023). Selain itu, keberadaan dan kelimpahan *Potamonautes* dapat berkaitan dengan karakteristik lingkungan perairan, seperti kondisi fisika-kimia, substrat, serta karakteristik habitat lainnya. Oleh karena itu, rendahnya jumlah *Potamonautes* pada lokasi dengan nilai TDS yang lebih tinggi menunjukkan bahwa peningkatan zat terlarut kurang mendukung keberadaan genus tersebut. Hal ini sesuai dengan kondisi di Kali Bodo, di mana *Potamonautes* lebih banyak ditemukan pada stasiun yang memiliki kandungan TDS relatif lebih rendah.

Korelasi negatif yang sama juga ditemukan pada genus *Hydropsyche*, yaitu kelompok larva Trichoptera yang dikenal sebagai organisme indikator kualitas air yang cukup sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Larva *Hydropsyche* umumnya hidup pada perairan berarus dengan kandungan oksigen tinggi dan tingkat pencemaran

rendah hingga sedang (Ficsór & Csabai, 2021). Peningkatan Total Dissolved Solids (TDS) dapat memengaruhi kualitas habitat *Hydropsyche* karena tingginya konsentrasi ion terlarut berpotensi mengubah keseimbangan osmotik organisme akuatik, memengaruhi proses respirasi, serta mengurangi kualitas habitat bagi larva Trichoptera (Hauer & Lamberti, 2017). Perubahan salinitas, konduktivitas, dan kandungan ion terlarut diketahui memengaruhi komposisi serta kelimpahan anggota famili Hydropsychidae, di mana beberapa spesies mengalami penurunan kelimpahan pada perairan dengan beban garam dan konduktivitas yang tinggi akibat aktivitas antropogenik (Ficsór & Csabai, 2021). Selain itu, keberadaan *Hydropsyche* umumnya berkaitan dengan perairan mengalir yang memiliki substrat berbatu atau berkerikil, kandungan oksigen terlarut yang tinggi, serta kualitas habitat yang masih baik karena larva memerlukan substrat yang stabil untuk membangun jaring penyaring makanannya (Morse *et al*., 2019; Hauer & Lamberti, 2017). Hal ini sesuai dengan kondisi di Kali Bodo, di mana *Hydropsyche* lebih banyak ditemukan pada stasiun dengan kandungan TDS yang relatif lebih rendah.

Hasil analisis parameter DO memiliki korelasi tertinggi dengan genus *Euphaea*. Nilai korelasi positif menunjukkan bahwa semakin tinggi DO maka jumlah genus *Euphaea* juga akan semakin tinggi, begitu pula sebaliknya. Hubungan tersebut menunjukkan bahwa *Euphaea* merupakan kelompok makrozoobentos yang sensitif terhadap perubahan kadar oksigen dan cenderung ditemukan pada perairan dengan kondisi lingkungan yang masih baik. Larva *Euphaea* umumnya ditemukan menempel pada batuan, serasah daun, atau celah substrat di sungai yang memiliki arus relatif deras. Habitat tersebut memungkinkan terjadinya pertukaran oksigen yang tinggi

sehingga mendukung kebutuhan respirasi larva. Menurut Dolný *et al*. (2012)**,** genus *Euphaea* umumnya ditemukan pada sungai berarus dengan air yang jernih, substrat berbatu, dan kualitas habitat yang masih baik. Larva *Euphaea* membutuhkan kandungan oksigen terlarut yang relatif tinggi serta kondisi perairan yang minim gangguan sehingga sering dijadikan indikator perairan yang masih alami. Menurut Ishak *et al*. (2021), keberadaan kelompok Odonata sangat dipengaruhi oleh kondisi fisikokimia perairan, terutama kadar oksigen terlarut, suhu, dan kestabilan habitat. Kondisi perairan yang memiliki nilai DO tinggi mampu mendukung proses respirasi larva Odonata secara optimal sehingga meningkatkan tingkat kelangsungan hidup dan pertumbuhannya. Sebaliknya, penurunan kadar oksigen akibat akumulasi bahan organik atau pencemaran akan menyebabkan berkurangnya keanekaragaman kelompok Odonata yang sensitif terhadap perubahan kualitas air. Hal ini sesuai dengan kondisi di Kali Bodo, yakni keberadaan *Euphaea* hanya dapat ditemukan di stasiun 1 yang memiliki nilai DO tertinggi diantara ketiga stasiun.

Korelasi yang sangat kuat antara DO dan genus *Vestalis* dapat dijelaskan berdasarkan karakteristik ekologis kelompok Odonata. Larva *Vestalis* umumnya ditemukan pada perairan yang jernih, berarus, dan memiliki kualitas lingkungan yang baik dengan kandungan oksigen terlarut yang tinggi. Menurut Dolný *et al*. (2012), larva capung dan capung jarum (Odonata) merupakan organisme yang sensitif terhadap perubahan kualitas habitat sehingga sering digunakan sebagai bioindikator kondisi ekosistem sungai. Selain itu, Kalkman *et al*. (2008) menyatakan bahwa distribusi Odonata sangat dipengaruhi oleh karakteristik habitat akuatik, termasuk oksigen terlarut, kecepatan arus, vegetasi riparian, dan kondisi substrat. Tingginya konsentrasi

oksigen memungkinkan larva Odonata menjalankan proses respirasi secara optimal sehingga mendukung pertumbuhan dan perkembangan individu. Sebaliknya, penurunan kadar DO dapat menurunkan kualitas habitat dan membatasi keberlangsungan hidup berbagai spesies Odonata yang sensitif terhadap gangguan lingkungan (Šigutová *et al*., 2023). Oleh karena itu, korelasi positif yang sangat tinggi antara DO dan *Vestalis* menunjukkan bahwa genus ini cenderung melimpah pada perairan dengan kondisi oksigen yang baik. Hal ini sesuai dengan kondisi di Kali Bodo, di mana *Vestalis* hanya ditemukan pada Stasiun 1 yang memiliki nilai DO tertinggi dibandingkan dua stasiun lainnya.

Genus *Lumbricus* juga menunjukkan korelasi positif yang sangat tinggi dengan DO, yang mengindikasikan bahwa keberadaannya dipengaruhi oleh ketersediaan oksigen pada lingkungan perairan maupun substrat yang lembap di sekitar tepian sungai. Meskipun beberapa kelompok Annelida diketahui memiliki toleransi terhadap berbagai kondisi lingkungan, ketersediaan oksigen tetap merupakan faktor penting yang memengaruhi aktivitas metabolisme, respirasi, serta reproduksi organisme tersebut (Edwards & Arancon, 2022). Selain itu, kandungan oksigen terlarut yang tinggi umumnya berkaitan dengan kondisi habitat yang lebih stabil, proses dekomposisi yang berlangsung secara aerob, serta kualitas lingkungan yang lebih baik sehingga mampu mendukung keberadaan berbagai organisme bentik (Hauer & Lamberti, 2017). Struktur komunitas makrozoobentos diketahui dipengaruhi oleh interaksi berbagai faktor lingkungan, seperti oksigen terlarut, kandungan bahan organik, serta karakteristik substrat dasar perairan (Merritt *et al*., 2019). Meskipun *Lumbricus* dikenal sebagai cacing tanah yang umumnya hidup pada tanah lembap, genus ini dapat

dijumpai pada daerah riparian atau sedimen tepian sungai yang kaya bahan organik dan memiliki kelembapan tinggi, sehingga keberadaannya masih berkaitan erat dengan kondisi ekologis kawasan perairan (Edwards & Arancon, 2022). Oleh karena itu, tingginya korelasi positif antara DO dan *Lumbricus* menunjukkan bahwa peningkatan kadar oksigen terlarut turut menciptakan kondisi habitat yang lebih sesuai bagi keberadaan genus tersebut. Hal ini sesuai dengan kondisi di Kali Bodo, di mana *Lumbricus* ditemukan paling banyak pada Stasiun 1 yang memiliki nilai DO tertinggi dibandingkan kedua stasiun lainnya.

Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa parameter BOD memiliki korelasi paling kuat dengan Genus *Hydropsyche* dan Genus *Potamonautes*, dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,99 yang termasuk dalam kategori korelasi sangat tinggi. Nilai korelasi positif tersebut menunjukkan bahwa peningkatan nilai BOD dalam perairan cenderung diikuti oleh peningkatan kelimpahan Genus *Hydropsyche* dan Genus *Potamonautes*. Sebaliknya, apabila nilai BOD mengalami penurunan, maka jumlah kedua genus tersebut juga cenderung menurun. Hubungan positif antara BOD dan genus Hydropsyche menunjukkan bahwa genus ini masih mampu memanfaatkan lingkungan dengan kandungan bahan organik yang relatif tinggi selama kadar oksigen terlarut masih berada pada kisaran yang mendukung kehidupannya. Larva *Hydropsyche* termasuk ke dalam famili Hydropsychidae yang dikenal sebagai kelompok filter-feeder yang memanfaatkan partikel organik tersuspensi sebagai sumber makanan. Menurut Castillejo *et al*. (2024), kelompok Hydropsychidae sering ditemukan pada sungai dengan tingkat nutrien dan bahan organik yang lebih tinggi dibandingkan kelompok EPT yang sangat sensitif, karena memiliki kemampuan

beradaptasi terhadap perubahan kualitas habitat melalui mekanisme penyaringan partikel organik di kolom air. Selain itu, penelitian mengenai komunitas makroinvertebrata sungai menunjukkan bahwa keberadaan *Hydropsyche* sering berkaitan dengan meningkatnya ketersediaan bahan organik dan produktivitas perairan, terutama pada sungai yang masih memiliki arus cukup baik untuk mempertahankan suplai oksigen. Hal ini sesuai dengan kondisi di Kali Bodo, dimana keberadaan *hydropsyche* lebih banyak ditemukan di stasiun dengan kandungan BOD yang tinggi.

Korelasi positif antara *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan genus *Potamonautes* menunjukkan bahwa kelompok kepiting air tawar ini masih mampu bertahan pada perairan dengan kandungan bahan organik yang relatif tinggi, meskipun peningkatan beban organik yang berlebihan tetap berpotensi menurunkan kualitas habitatnya. Genus *Potamonautes* merupakan kelompok krustasea bentik yang hidup di sungai, rawa, maupun perairan tawar dengan memanfaatkan detritus, serasah tumbuhan, dan organisme kecil sebagai sumber makanan (Daniels et al., 2023). Distribusi dan kelimpahan kepiting air tawar dapat dipengaruhi oleh berbagai karakteristik habitat dan kondisi lingkungan perairan, termasuk kondisi fisika-kimia serta tingkat gangguan habitat (Cumberlidge *et al*, 2022). Selain itu, kepiting air tawar memiliki kemampuan fisiologis untuk melakukan osmoregulasi dan penyesuaian keseimbangan ion terhadap kondisi lingkungan air tawar. Pada *Potamonautes warreni*, insang berperan penting dalam proses regulasi ion dan keseimbangan hidromineral, sehingga perubahan kondisi kimia perairan dapat memengaruhi proses fisiologis tersebut (Glendinning et al., 2021). Oleh karena itu, korelasi positif antara BOD dan *Potamonautes* pada penelitian ini mengindikasikan bahwa genus tersebut masih mampu bertahan pada lokasi dengan

kandungan bahan organik yang lebih tinggi. Namun, keberadaannya tetap bergantung pada kondisi habitat yang sesuai, seperti ketersediaan substrat, tempat berlindung, dan kadar oksigen terlarut yang mencukupi. Penelitian Glendinning et al. (2021) menunjukkan bahwa *Potamonautes warreni* memiliki mekanisme regulasi ion yang memungkinkan organisme tersebut mempertahankan keseimbangan hidromineral di lingkungan air tawar. Kondisi tersebut menyebabkan peningkatan bahan organik yang tercermin melalui nilai BOD tertentu dapat meningkatkan ketersediaan sumber makanan berupa detritus bagi *Potamonautes*, sehingga jumlah individunya cenderung meningkat. Hal ini sesuai dengan kondisi di Kali Bodo, di mana keberadaan *Potamonautes* lebih banyak ditemukan di stasiun dengan kandungan BOD yang tinggi.

Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa parameter COD memiliki korelasi paling kuat dengan genus *Hermetia* dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,99, yang termasuk kategori korelasi sangat tinggi. Nilai korelasi positif tersebut menunjukkan bahwa peningkatan nilai COD pada perairan diikuti oleh peningkatan kelimpahan genus *Hermetia*, sedangkan penurunan nilai COD cenderung diikuti oleh berkurangnya jumlah individu genus tersebut. Larva *Hermetia*, terutama *Hermetia illucens*, merupakan organisme detritivor yang memanfaatkan berbagai jenis bahan organik yang sedang mengalami dekomposisi sebagai sumber makanannya (Gold *et al*., 2018). Kemampuan tersebut menyebabkan larva *Hermetia* umumnya dijumpai pada habitat yang kaya bahan organik, seperti timbunan serasah, sedimen organik, maupun limbah organik yang sedang mengalami proses penguraian (Barragán-Fonseca *et al*., 2017). Nilai COD yang tinggi pada suatu perairan umumnya mencerminkan tingginya kandungan senyawa organik yang dapat dioksidasi secara kimia, sehingga secara tidak

langsung mengindikasikan ketersediaan bahan organik yang lebih besar sebagai sumber pakan bagi organisme detritivor (APHA, 2023). Selain itu, larva *Hermetia* memiliki toleransi yang cukup tinggi terhadap fluktuasi kondisi lingkungan sehingga mampu berkembang pada habitat dengan kandungan bahan organik yang tinggi dibandingkan banyak kelompok makrozoobentos sensitif (Gold *et al*., 2020). Kondisi tersebut menjelaskan adanya korelasi positif antara nilai COD dan kelimpahan *Hermetia* pada penelitian ini. Namun demikian, keberadaan *Hermetia* di Kali Bodo relatif sedikit karena nilai COD pada seluruh stasiun masih berada pada kisaran 22,02–22,71 mg/L, yaitu masih di bawah baku mutu air kelas II (25 mg/L). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kandungan bahan organik yang tersedia belum cukup tinggi untuk mendukung perkembangan populasi Hermetia dalam jumlah besar.

Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa parameter nitrat memiliki korelasi paling kuat dengan Genus *Hermetia* dengan nilai koefisien korelasi sebesar -0,98 yang termasuk dalam kategori korelasi sangat tinggi. Nilai korelasi negatif tersebut menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi nitrat dalam perairan cenderung diikuti oleh penurunan kelimpahan Genus *Hermetia*. Sebaliknya, apabila kadar nitrat mengalami penurunan, maka jumlah individu Genus *Hermetia* cenderung meningkat. Genus *Hermetia*, khususnya larva *Hermetia illucens*, dikenal sebagai organisme detritivor yang memanfaatkan bahan organik sebagai sumber makanan utama. Larva ini umumnya berkembang baik pada habitat yang kaya bahan organik tetapi tidak selalu memiliki konsentrasi nitrogen anorganik yang tinggi (Scala *et al*., 2020). Menurut Rossi *et al*. (2023), peningkatan kandungan nitrogen dan fosfor dalam media hidup *Hermetia* dapat memengaruhi efisiensi pertumbuhan larva serta mengubah

karakteristik substrat yang digunakan sebagai sumber pakan. Pada ekosistem perairan, tingginya kadar nitrat sering berkaitan dengan proses eutrofikasi yang menyebabkan peningkatan biomassa alga dan mikroorganisme tertentu. Kondisi tersebut dapat mengubah struktur sedimen dan kualitas habitat bentik sehingga tidak selalu mendukung perkembangan larva detritivor secara optimal. Selain itu, akumulasi nitrat dalam jumlah tinggi sering diikuti oleh peningkatan aktivitas mikroba dan konsumsi oksigen yang dapat menurunkan kualitas habitat dasar sungai. Oleh karena itu, semakin tingginya konsentrasi nitrat dapat menyebabkan berkurangnya kesesuaian habitat bagi *Hermetia*, sehingga jumlah individunya cenderung menurun. Hal ini sesuai dengan kondisi di Kali Bodo, dimana keberadaan *Hermetia* sulit ditemukan karena kandungan nitrat pada air yang tinggi.

Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa parameter fosfat memiliki korelasi paling kuat dengan Genus *Sulcospira* dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,94 yang termasuk dalam kategori korelasi sangat tinggi. Nilai korelasi positif tersebut menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi fosfat dalam perairan cenderung diikuti oleh peningkatan kelimpahan Genus *Sulcospira*. Sebaliknya, apabila kadar fosfat mengalami penurunan, maka jumlah individu Genus *Sulcospira* juga cenderung menurun. Secara ekologis, fosfat merupakan unsur hara esensial yang berperan penting dalam meningkatkan produktivitas primer perairan melalui pertumbuhan alga, perifiton, dan biofilm yang menjadi sumber makanan utama berbagai gastropoda bentik. Menurut Dodds dan Smith (2016), peningkatan konsentrasi fosfor di perairan dapat meningkatkan biomassa produsen primer bentik dan mempercepat proses eutrofikasi, sehingga memengaruhi struktur komunitas organisme akuatik. Selain itu,

Demi *et al*. (2020) menunjukkan bahwa penambahan nitrogen dan fosfor pada ekosistem sungai meningkatkan kualitas sumber daya dasar (*basal resources*) dan aliran materi organik menuju konsumen makroinvertebrata melalui peningkatan produktivitas biofilm dan detritus. Kondisi tersebut menyebabkan ketersediaan sumber pakan bagi organisme bentik perumput (*grazer*), termasuk gastropoda air tawar, menjadi lebih melimpah. Hal ini sesuai dengan kondisi di Kali Bodo, di mana *Sulcospira* ditemukan lebih banyak pada stasiun yang memiliki konsentrasi fosfat lebih tinggi dibandingkan stasiun lainnya.

4.6 Pembahasan Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam

Dalam Islam, air merupakan salah satu nikmat terbesar yang dianugerahkan Allah SWT kepada seluruh makhluk hidup. Air tidak hanya berfungsi sebagai kebutuhan dasar manusia, tetapi juga menjadi sumber kehidupan bagi seluruh organisme yang ada di bumi. Allah SWT berfirman dalam QS. Al-Anbiya' ayat 30:

اَوَلَمْ يَرَ الَّذِيْنَ كَفَرُوْ ا اَنَّ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنٰهُمَا وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاۤءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ اَفَلَا يُؤْمِنُوْنَ

Artinya: *Apakah orang-orang kafir tidak mengetahui bahwa langit dan bumi, keduanya, dahulu menyatu, kemudian Kami memisahkan keduanya dan Kami menjadikan segala sesuatu yang hidup berasal dari air? Maka, tidakkah mereka beriman?* (QS. Al-Anbiya' 30)

Dalam Tafsir Khawatirusy Sya'rawi Haulal Qur’anil Karim, Syekh Muhammad Mutawalli Asy-Sya'rawi menjelaskan bahwa air merupakan komponen utama yang menjadi penopang kehidupan seluruh makhluk di alam semesta. Keberadaan air memungkinkan berlangsungnya berbagai proses kehidupan, baik pada tumbuhan, hewan, maupun manusia. Tanpa adanya air, pertumbuhan vegetasi tidak dapat berlangsung, hewan tidak mampu mempertahankan kehidupannya, dan manusia pun

tidak dapat bertahan hidup. Oleh karena itu, seluruh sistem kehidupan dan rantai makanan yang terdapat di bumi, mulai dari organisme yang berukuran mikroskopis hingga makhluk hidup yang berukuran besar, sangat bergantung pada ketersediaan air sebagai sumber kehidupan.

Syekh Sya'rawi juga mengemukakan bahwa setiap makhluk hidup pada hakikatnya memiliki keterkaitan yang erat dengan unsur air. Air tidak hanya berfungsi sebagai faktor pendukung kehidupan dari luar, tetapi juga menjadi bagian yang menyusun struktur makhluk hidup itu sendiri. Bahkan pada benda-benda yang tampak tidak memiliki kehidupan, masih dapat ditemukan kandungan air yang tercermin melalui sifat-sifat tertentu, seperti kelembapan, kelenturan, atau kilauan yang dimilikinya. Pandangan tersebut menunjukkan bahwa air merupakan unsur yang sangat mendasar dan memiliki peran penting dalam keberadaan berbagai ciptaan Allah SWT.

Lebih lanjut, Syekh Asy-Sya'rawi menghubungkan keberadaan air dengan konsep ratq (keadaan menyatu atau terpadu) dan fatq (keadaan terpisah atau berkembang) yang disebutkan dalam proses penciptaan langit dan bumi. Menurut beliau, air memiliki peranan penting dalam terjadinya perubahan, perkembangan, dan keberlangsungan berbagai proses kehidupan di alam. Kehadiran air memungkinkan terjadinya dinamika ekologis yang menjaga kesinambungan kehidupan sesuai dengan ketetapan Allah SWT. Tanpa keberadaan air, berbagai proses biologis dan ekologis tidak akan berlangsung, sehingga keseimbangan kehidupan di bumi akan terganggu.

Islam juga mengajarkan bahwa alam semesta diciptakan dengan ukuran, keteraturan, dan keseimbangan yang sempurna. Allah SWT berfirman dalam QS. Al-Qamar ayat 49:

اِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنٰهُ بِقَدَرٍ

Artinya: *Sesungguhnya Kami menciptakan segala sesuatu sesuai dengan ukuran.* (QS. Al-Qamar: 49).

Ayat tersebut menjelaskan bahwa seluruh ciptaan Allah SWT berada dalam ketentuan ekosistem perairan, di mana kondisi lingkungan harus berada dalam batas tertentu agar kehidupan organisme dapat berlangsung dengan baik. Apabila keseimbangan tersebut terganggu akibat pencemaran atau aktivitas manusia yang berlebihan, maka kualitas lingkungan akan menurun dan berdampak pada berkurangnya keanekaragaman hayati. Oleh karena itu, menjaga kualitas perairan merupakan salah satu bentuk ikhtiar untuk mempertahankan keseimbangan alam yang telah Allah SWT ciptakan.

Selain itu, Islam melarang manusia melakukan kerusakan terhadap lingkungan. Allah SWT berfirman dalam QS. Al-A'raf ayat 56:

وَلَا تُفْسِدُوْا فِى الْاَرْضِ بَعْدَ اِصْلَاحِهَا وَادْعُوْهُ خَوْفًا وَّطَمَعًا اِنَّ رَحْمَتَ اللهِ قَرِيْبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِيْنَ

Artinya: *Janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah diatur dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat dengan orang-orang yang berbuat baik.* (QS. Al-A'raf: 56).

Tafsir Kementerian Agama Republik Indonesia (2019) menjelaskan bahwa larangan tersebut mencakup segala bentuk tindakan yang dapat merusak keseimbangan alam dan mengurangi manfaat lingkungan bagi kehidupan. Pencemaran sungai,

pembuangan limbah secara sembarangan, serta aktivitas yang menurunkan kualitas air termasuk bentuk kerusakan yang bertentangan dengan prinsip pemeliharaan lingkungan dalam Islam. Sebaliknya, menjaga kualitas air dan kelestarian ekosistem sungai merupakan bentuk pelaksanaan amanah manusia sebagai khalifah di bumi.

Dengan demikian, pengukuran parameter fisika-kimia air dalam penelitian ini tidak hanya memiliki nilai ilmiah untuk mengetahui kondisi perairan Kali Bodo, tetapi juga memiliki nilai keislaman sebagai upaya memahami dan menjaga salah satu nikmat Allah SWT berupa sumber daya air. Kualitas air yang baik akan mendukung keberlangsungan kehidupan berbagai organisme, termasuk makrozoobentos, sehingga keseimbangan ekosistem tetap terpelihara. Pernyataan itu sejalan dengan prinsip-prinsip dalam Islam yang menekankan betapa pentingnya merawat lingkungan sebagai bagian dari tanggung jawab manusia terhadap karya Allah SWT dan sebagai bentuk ungkapan syukur atas berkah yang telah dianugerahkan-Nya.

Lebih jauh, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi kondisi fisika-kimia air berpengaruh terhadap struktur komunitas makrozoobentos di Kali Bodo. Stasiun yang memiliki kualitas perairan relatif lebih baik menunjukkan tingkat keanekaragaman yang lebih tinggi dan tingkat dominansi yang lebih rendah, sedangkan stasiun yang mengalami tekanan lingkungan cenderung didominasi oleh genus yang lebih toleran. Temuan tersebut tidak hanya memberikan bukti ilmiah mengenai hubungan antara kualitas lingkungan dengan keberlangsungan kehidupan organisme akuatik, tetapi juga memperlihatkan bahwa keseimbangan ekosistem merupakan bagian dari sunnatullah yang telah Allah SWT tetapkan. Dalam perspektif sains Islam, hukum-hukum alam yang dapat diamati melalui penelitian merupakan manifestasi dari

ketetapan (sunatullah) yang mengatur keteraturan kehidupan di alam semesta. Oleh karena itu, kajian ilmiah terhadap kualitas air tidak hanya menghasilkan informasi empiris, tetapi juga menjadi sarana untuk meningkatkan kesadaran akan kebesaran Allah SWT melalui pemahaman terhadap keteraturan ciptaan-Nya.

Berdasarkan perspektif tersebut, upaya menjaga kualitas perairan tidak hanya dipandang sebagai kewajiban ilmiah dalam rangka konservasi lingkungan, tetapi juga sebagai bentuk ibadah dan tanggung jawab moral manusia sebagai khalifah di bumi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi masyarakat, pemerintah, dan berbagai pihak terkait untuk meningkatkan kepedulian terhadap pengelolaan sungai secara berkelanjutan melalui pengendalian pencemaran, pemantauan kualitas air secara berkala, serta pelestarian habitat organisme akuatik. Dengan demikian, penerapan ilmu pengetahuan yang didasarkan pada nilai-nilai Islam tidak hanya menghasilkan pemahaman mengenai kondisi ekologis suatu perairan, tetapi juga mendorong terwujudnya pengelolaan lingkungan yang bertanggung jawab sebagai bentuk syukur atas nikmat Allah SWT serta ikhtiar menjaga keseimbangan alam bagi generasi sekarang dan yang akan datang.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Spesimen makrozoobentos yang telah ditemukan di Kali Bodo Desa Ngijo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang dengan total 2591 spesimen terdiri dari 12 genus yaitu Euphaea, Onychogomphus, Vestalis, Potamonautes, Hydropsyche, Chironomus, Hirudo, Melanoides, Melanopsis, Sulcospira, Hermetia, dan Lumbricus
2. Nilai kelimpahan makrozoobentos di Kali Bodo Desa Ngijo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang memiliki total sebesar 28788,89 individu/m^2. Indeks keanekaragaman makrozoobentos di Kali Bodo Desa Ngijo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang diperoleh nilai pada stasiun 1 sebesar 1,939, stasiun 2 sebesar 0,848, dan stasiun 3 sebesar 0,491. Indek dominansi makrozoobentos di Kali Bodo Desa Ngijo Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang diperoleh stasiun 1 sebesar 0,1727, stasiun 2 sebesar 0,6419, dan stasiun 3 sebesar 0,8165.
3. Hasil analisis parameter fisika-kimia perairan di Kali Bodo, Desa Ngijo, Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang menunjukkan bahwa nilai suhu dan pH pada seluruh stasiun pengamatan masih berada dalam rentang baku mutu yang telah ditetapkan. Parameter TSS dan TDS pada semua stasiun juga masih memenuhi standar kualitas air sungai kelas 1, 2, dan 3. Nilai oksigen terlarut (DO) pada Stasiun

1 tercatat sedikit melebihi batas baku mutu kelas 1, sedangkan Stasiun 2 dan Stasiun 3 masih sesuai dengan baku mutu kelas 2. Parameter BOD pada seluruh stasiun masih berada dalam kategori yang memenuhi baku mutu kelas 4, sementara nilai COD pada semua stasiun masih memenuhi standar baku mutu kelas 2. Konsentrasi nitrat pada Stasiun 1 dan Stasiun 2 telah melampaui batas baku mutu kelas 3 dan 4, sedangkan Stasiun 3 masih berada dalam kisaran yang diperbolehkan. Selain itu, kadar fosfat pada Stasiun 1 dan Stasiun 2 telah melebihi ambang batas kelas 3, sedangkan Stasiun 3 masih memenuhi standar baku mutu kelas 3.

4. Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa parameter suhu memiliki korelasi positif sangat tinggi dengan Genus *Hermetia*. Parameter pH juga menunjukkan korelasi positif sangat tinggi dengan Genus *Hirudo*. Parameter TSS memiliki korelasi positif sangat tinggi dengan Genus *Hermetia*, sedangkan parameter TDS menunjukkan korelasi negatif sangat tinggi dengan Genus *Potamonautes* dan Genus *Hydropsyche*. Parameter DO memiliki korelasi positif sangat tinggi dengan Genus *Euphaea*, Genus *Vestalis* dan Genus *Lumbricus*. Parameter BOD menunjukkan korelasi positif yang sangat tinggi dengan Genus *Potamonautes* dan Genus *Hydropsyche*, sementara parameter COD memiliki korelasi positif sangat tinggi dengan Genus *Hermetia*. Parameter nitrat menunjukkan korelasi negatif sangat tinggi dengan Genus *Hermetia*, sedangkan parameter fosfat memiliki korelasi positif sangat tinggi dengan Genus *Sulcospira*.

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Pengambilan sampel makrozoobentos di Kali Bodo dapat dilakukan pada musim yang berbeda.
2. Perlu adanya penelitian lanjutan terkait keanekaragaman makrozoobentos di bagian tengah dan hilir.
3. Perlu penelitian lanjutan tentang makrozoobentos pada stasiun dengan faktor fisika dan kimia yang berbeda signifikan.
4. Perlu penelitian lanjutan untuk menentukan genus makrozoobentos yang memiliki potensi tertinggi sebagai bioindikator lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, M. A., Akhtar, A., Kamal, A. H. M., AftabUddin, S., Islam, M. S., & Sharifuzzaman, S. M. (2022). *Assessment of benthic macroinvertebrates as potential bioindicators of anthropogenic disturbance in southeast Bangladesh coast*. *Marine Pollution Bulletin, 184*, 114217.

Addo-Bediako, A. (2021). *Spatial distribution patterns of benthic macroinvertebrate functional feeding groups in two rivers of the Olifants River system, South Africa*. Journal of Freshwater Ecology, 36(1), 97–109.

Adharini, R. I., & Arumsari, P. L. (2021). *Structure and Distribution of Macrobenthos Community in Code River, Yogyakarta, Indonesia*. Indonesian Journal of Limnology, 2(2), 21–27

Adjovu, G. E., Stephen, H., James, D., & Ahmad, S. (2023). Measurement of total dissolved solids and total suspended solids in water systems: A review of the issues, conventional, and remote sensing techniques. *Remote Sensing, 15*(14), 3534.

Al-Baghdadi, N. M. (2024). The effect of some environmental factors on the density and distribution of freshwater Gastropoda *Melanopsis nodosa* and *M. costata* (Ferussac 1823) in the Banks of Shatt Al-Arab, Basrah, Iraq. *Iraqi Journal of Aquaculture, 21*(1), 59–72.

Albert, J. S., Destouni, G., Duke-Sylvester, S. M., Magurran, A. E., Oberdorff, T., Reis, R. E., Winemiller, K. O., & Ripple, W. J. (2021). Scientists' warning to humanity on the freshwater biodiversity crisis. *Ambio*, 50(1), 85–94.

Allan, J. D., & Castillo, M. M. (2007). *Stream ecology: Structure and function of running waters* (2nd ed.). Springer.

Angelier, E. (2003). Ecology of streams and rivers. Science Publishers.

APHA, AWWA, & WEF. (2023). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (24th ed.).

Arfianti, T., & Costello, M. J. (2021). *The distribution of benthic amphipod crustaceans in Indonesian seas*. PeerJ, 9, e12054.

Arias, A., Surugiu, V., Carballeira, R., Popa, O. P., Popa, L. O., & Utevsky, S. (2021). Unravelling the extent of diversity within the Iberian medicinal leeches (Hirudinea: *Hirudo*) using molecules and morphology. *Biology, 10*(4), 315.

Arnone, S., De Mei, M., Petrazzuolo, F., Musmeci, S., Tonelli, L., Salvicchi, A., Curatolo, M., & Bonilauri, P. (2022). Black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) as a high-potential agent for bioconversion of municipal primary sewage sludge. *Environmental Science and Pollution Research, 29*(43), 64886–64901.

Aswari, P. (2004). Ekologi capung jarum Calopterygidae: *Neurobasis chinensis* dan *Vestalis luctuosa* di Sungai Cikaniki, Taman Nasional Gunung Halimun. *Berita Biologi, 7*(1–2).

Asy-Sya'rawi, Muhammad Mutawalli. (1991). *Tafsir asy-Sya'rawi: Khawatir asy-Sya'rawi haul al-Qur'an al-karim* (Jilid 1–20). Kairo: Akhbar al-Yaum.

Azis, M. N., & Abas, A. (2021). The determinant factors for macroinvertebrate assemblages in a recreational river in Negeri Sembilan, Malaysia. *Environmental Monitoring and Assessment, 193*(394), 1–15.

Banegas, B. P., & Rocha, L. (2023). *Chironomus calligraphus* Goeldi, 1905 (Diptera: Chironomidae) larvae: Feeding habits, growth, and maturation. *Neotropical Entomology, 52*, 431–441.

Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., & Stribling, J. B. (1999). *Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates and fish* (2nd ed.). U.S. Environmental Protection Agency.

Barragán-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. A. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed – A review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 105–120.

Barus, T. A. (1996). *Metodologi ekologis untuk menilai kualitas perairan lotik*. Medan: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara.

Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. (2006). *Ecology: From individuals to ecosystems* (4th ed.). Blackwell Publishing.

Birk, S., Chapman, D., Carvalho, L., Spears, B. M., Andersen, H. E., Argillier, C., Azevedo, J. M. N., Baattrup-Pedersen, A., Banin, L., Beklioglu, M., *et al*. (2020). Impacts of multiple stressors on freshwater biota across spatial scales and ecosystems. *Nature Ecology & Evolution*, 4, 1060–1068.

Bonacina, L., Fasano, F., Mezzanotte, V., & Fornaroli, R. (2023). Effects of water temperature on freshwater macroinvertebrates: A systematic review. *Biological Reviews, 98*(1), 191–221.

Bonada, N., Prat, N., Resh, V. H., & Statzner, B. (2006). Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. *Annual Review of Entomology*, 51, 495–523.

Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., Naeem, S., *et al*. (2012). *Biodiversity loss and its impact on humanity*. Nature, 486(7401), 59–67.

Carrasco-Badajoz, C., Rayme-Chalco, C., Arana Maestre, J., Alvarez-Tolentino, D., Ayala-Sulca, Y., Sanchez-Pena, M. (2022). Aquatic Macorinvertebrate Tropic Guilds, Functional Feeding, and Water Quality of an Andean Urban River. Freshwater Science. Frontiers in Environmental Science, 10, 1-15

Castillejo, P., Ortiz, S., Jijón, G., Lobo, E. A., Heinrich, C., Ballesteros, I., & Rios-Touma, B. (2024). Response of macroinvertebrate and epilithic diatom communities to pollution gradients in Ecuadorian Andean rivers. *Hydrobiologia, 851*, 431–446.

Chainthong, D., Boonsong, B. (2017). Description of two final stadium Onychogomphus larvae from Thailand (Odonata: Gomphidae). Zootaxa, 4066(5), 561-570.

Cheng, H., Feng, M., Zhang, P., Zhang, H., Wang, H., Xu, J., & Zhang, M. (2023). *Effects of warming on aquatic snails and periphyton in freshwater ecosystems with and without predation by common carp*. Water, 15(1), 153.

Cho, S., Kim, C. H., Kim, M. J., & Chung, H. (2020). Effects of microplastics and salinity on food waste processing by black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of Ecology and Environment, 44*(7), 1–10.

Cid, N., Bonada, N., Heino, J., Cañedo-Argüelles, M., Crabot, J., Sarremejane, R., Soininen, J., Stubbington, R., & Datry, T. (2020). *A metacommunity approach to improve biological assessments in highly dynamic freshwater ecosystems*. BioScience, 70(5), 427–438.

Cortelezzi, A., Simoy, M. V., Siri, A., Donato, M., Cepeda, R. E., Marinelli, C. B., & Berkunsky, I. (2020). New insights on bioindicator value of Chironomids by using occupancy modelling. *Ecological Indicators, 117*, 106619.

Covich, A. P., Palmer, M. A., & Crowl, T. A. (1999). The role of benthic invertebrate species in freshwater ecosystems. *BioScience*, 49(2), 119–127.

Croijmans, L., de Jong, J. F., & Prins, H. H. T. (2021). Oxygen is a better predictor of macroinvertebrate richness than temperature: A systematic review. *Environmental Research Letters, 16*(2), 023002.

Cumberlidge, N., Ng, P. K. L., Yeo, D. C. J., Magalhães, C., Campos, M. R., Alvarez, F., Naruse, T., Daniels, S. R., Esser, L. J., Attipoe, F. Y. K., Clotilde-Ba, F. L., Darwall, W., McIvor, A., Baillie, J. E. M., Collen, B., & Ram, M. (2009). Freshwater crabs and the biodiversity crisis: Importance, threats, status, and conservation challenges. *Biological Conservation, 142*(8), 1665–1673.

Cumberlidge, N., & Daniels, S. R. (2022). *A new multilocus phylogeny reveals overlooked diversity in African freshwater crabs (Brachyura: Potamoidea): a major revision with new higher taxa and genera*. Zoological Journal of the Linnean Society, 194(4), 1268–1311.

Cummins, K. W. (2021). *The use of macroinvertebrate functional feeding group analysis to evaluate, monitor and restore stream ecosystem condition*. Rep Glob Health Res 4: 129.

Dalu, T., Dube, T., Dondofema, F., & Cuthbert, R. N. (2023). Illegal mining impacts on freshwater Potamonautid crab in a subtropical Austral highland biosphere reserve. *Science of the Total Environment*, 896, 165251.

Daniels, S. R., Barnes, A., Marais, H., Gouws, G. (2021). Surveys of Afrotemperate forests yields two new freshwater crabs (Decapoda: Potamonautidae: Potamonautes MacLeay, 1838) from South Africa. European Journal of Taxonomy, 782, 82-107.

Daniels, S. R., Busschau, T., Gullacksen, G., Marais, H., Gouws, G., & Barnes, A. (2023). *Cryptic and widespread: a recipe for taxonomic misidentification in a freshwater crab species (Decapoda: Potamonautidae: Potamonautes sidneyi) as evident from species delimitation methods. Zoological Journal of the Linnean Society*, 197(4), 1005–1033.

Daniels, S. R., Peer, N., & Myburgh, A. M. (2024). *Let's get high: Cladogenesis in freshwater crabs (Decapoda: Potamonautidae: Potamonautes) supports the*

mountain gradient speciation hypothesis in the Cape Fold and Drakensberg Mountains, South Africa. Ecology and Evolution, 14(3), e10960.

Darojat, M. K., Kurniawan, N., & Retnaningdyah, C. (2020). *Evaluation of Water Quality Based on Macrozoobenthos as a Bioindicator in the Four Springs of Wana Wiyata Widya Karya Tourism Area, Cowek Village, Purwodadi District, Pasuruan Regency*. *Journal of Indonesian Tourism and Development Studies, 8*(1), 1–8.

De Knijf, G., Billqvist, M., van Grunsven, R. H. A., Prunier, F., & Vinko, D. (2024). *Onychogomphus forcipatus (Europe assessment)*. The IUCN Red List of Threatened Species 2024.

Demars, B. O. L., Kemp, J. L., Marteau, B., Friberg, N., & Thornton, B. (2021). *Stream Macroinvertebrates and Carbon Cycling in Tangled Food Webs*. Ecosystems, 24, 1944–1961.

Demi, L. M., Benstead, J. P., Rosemond, A. D., & Maerz, J. C. (2020). *Experimental N and P additions relieve stoichiometric constraints on organic matter flows through five stream food webs*. Journal of Animal Ecology, 89(6), 1468–1481.

Dijkstra, K.-D. B., Schröter, A., & Lewington, R. (2020). *Field Guide to the Dragonflies of Britain and Europe* (2nd ed.). Bloomsbury Publishing.

Djunaidi, D., Kelana, P. P., Pramesthy, T. D., Arkham, M. N., & Kusuma Haris, R. B. (2024). Macrozoobenthos as a Bioindicator of Pollution in the Malaka Strait Waters, Indonesia. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 30(1), 1–10.

Dodds, W. K., & Smith, V. H. (2016). *Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams*. Inland Waters, 6(2), 155–164.

Dolný, A., Harabiš, F., Bárta, D., Lhota, S., & Drozd, P. (2012 Aquatic insects indicate terrestrial habitat degradation: changes in taxonomical structure and functional diversityof dragonflies in tropical rainforest of East Kalimantan. *Tropical Zoology*, 25(3), 141–157.

Dudgeon, D., *et al*. (2020). Freshwater biodiversity: Status, threats and conservation challenges. *Biological Reviews*, 95(3), 849–873.

Duran, M. (2006). *Monitoring Water Quality Using Benthic Macroinvertebrates and Physicochemical Parameters of Behzat Stream in Turkey*. Polish J. of Environ. Stud. Vol. 15, No. 5 (2006), 709-717.

Edegbene, A. O., Elakhame, L. A., Arimoro, F. O., Osimen, E. C., & Odume, O. N. (2019). Development of macroinvertebrate multimetric index for ecological evaluation of a river in North Central Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment, 191*, 274.

Edwards, C. A., Arancon, N. Q., & Sherman, R. (Eds.). (2011). *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management*. CRC Press.

Edwards, C. A., & Arancon, N. Q. (2022). *Biology and Ecology of Earthworms* (5th ed.). CRC Press.

Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.

Eriksen, T. E., Brittain, J. E., Søli, G., Jacobsen, D., Goethals, P., & Friberg, N. (2021). *A global perspective on the application of riverine macroinvertebrates as biological indicators in Africa, South-Central America, Mexico and Southern Asia*. Ecological Indicators, 126, 107609.

Ernawati, E., Rohyani, I. S., Ardi, R. H., Wahyuningsih, A. F., Muflihah, B. H. T., & Zubair, R. A. (2023). *Macrozoobenthos Diversity as A Bioindicator of Water Quality in River Sesaot Village Narmada West Lombok*. Jurnal Biologi Tropis, 23(2), 543–550.

Fardiaz, S. (1992). *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta: Kanisius.

Feio, M. J., *et al*. (2021). *The Biological Assessment and Rehabilitation of the World's Rivers: An Overview*. Water, 13(3), 371

Ficsór, M., & Csabai, Z. (2021). Longitudinal zonation of larval *Hydropsyche* (Trichoptera: Hydropsychidae): Abiotic environmental factors and biotic interactions behind the downstream sequence of Central European species. *Hydrobiologia, 848*, 3371–3388.

Gao, Q., Zhang, Q., Zeng, J., Yin, Z., Liu, J., Liu, G., & Peng, M. (2023). *Macroinvertebrate community structure, pollution tolerance, diversity and feeding functional groups in polluted urban rivers under different black and odorous levels*. Ecological Indicators, 156, 111148.

Gayraud, S., Bady, P., Haybachp, A., Schöll, F., Polatera, P.U., Bacchi, M., & Statzner, B. (2003). Invertebrate traits for the biomonitoring of large European rivers: An initial assessment of alternative metrics. *Freshwater Biology*, 65(3), 445–458.

GBIF Secretariat. (n.d.). *Global Biodiversity Information Facility (GBIF)*.

Global Biodiversity Information Facility (GBIF). Diakses dari https://www.gbif.org

Geraci, C. J., Zhou, X., Morse, J. C., & Kjer, K. M. (2010). Defining the genus *Hydropsyche* (Trichoptera: Hydropsychidae) based on DNA and morphological evidence. *Journal of the North American Benthological Society, 29*(3), 918–933.

Gerber, A. & M.J.M. Gabriel. (2002). Aquatic Invertebrates of South African Rivers. Institute of Water Quality Study. Pretoria.

Getachew, F., Beneberu, G., Wondie, A., & Getnet, B. (2024). Composition and dynamics of macroinvertebrates community in relation to physicochemical parameters of hydrogeologically connected wetlands in Abbay River basin, Ethiopia. *PLoS ONE, 19*(12), e0314969.

Glendinning, S. K., Vosloo, A., & Morris, S. (2021). Ion regulation in a freshwater crab, *Potamonautes warreni*: The effects of trace metal exposure. *Aquatic Toxicology, 237*, 105885.

Gold, M., Tomberlin, J. K., Diener, S., Zurbrügg, C., & Mathys, A. (2018). Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review. *Waste Management*, 82, 302–318.

Gold, M., *et al*. (2020). Biowaste treatment with black soldier fly larvae: Increasing performance through the formulation of biowastes based on protein and carbohydrates. *Waste Management*, 102, 319–329.

Gu, J., Li, K., Jeppesen, E., Han, Y., Jin, H., He, H., & Ning, X. (2020). *Using freshwater bivalves (Corbicula fluminea) to alleviate harmful effects of small-sized crucian carp (Carassius carassius) on growth of submerged macrophytes during lake restoration by biomanipulation*. Water, 12(11), 3161.

Hauer, F. R., & Lamberti, G. A. (2017). *Methods in stream ecology* (3rd ed.). Academic Press.

Hellawell, J. M. (1986). *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. Elsevier Applied Science.

Hellen, A., Kisworo., Rahardjo, D. (2020). Komunitas Makroinvertebrata Bentik Sebagai Bioindikator Kualitas Air Sungai Code. In Prosiding Seminar Nasional Biologi (Vol. 6, No. 1, pp. 294-303).

Hertika, A. M. S., Arfiati, D., Lusiana, E. D., & Putra, R. B. D. S. (2023). Performance of metallothionein biomarker from *Sulcospira testudinaria* to assess heavy metal pollution in the Brantas River Watershed, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering, 24*(3), 276–286.

Himawan, S. B, & Hewindati, Y. T. (2022). *Diversity of Macrozoobenthos as Bioindicator of Lentic Waters in The Jombor Swamp Area, Klaten, Central Java*. MANILKARA: Journal of Bioscience, 1(1), 1–9

Houghton, D. C. (2022). *Checklist of The caddisflies (Trichoptera) of the Upper Midwest, United States*. ZooKeys, 1111, 287-300.

Ibrahim, A., Sudarso, J., Imroatushshoolikhah, I., Toruan, R. L., & Sari, L. (2021). Penggunaan makrozoobentos dalam penilaian kualitas perairan sungai inlet Danau Maninjau, Sumatera Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan, 19*(3), 649–660.

Ishak, M., Norhisham, A. R., Thomas, S. M., Nurhidayu, S., Ghazali, A., & Azhar, B. (2021). Physicochemical properties as driver of Odonata diversity in oil palm waterways. *Frontiers in Forests and Global Change, 4*, 613064.

Isnaningsih, N. R., Marwoto, R. M., Alfiah, Prihandini, R., & Santoso, P. H. (2021)**.** Studi Morfologi, Ontogeni, dan Strategi Reproduksi pada *Melanoides tuberculata* (Müller, 1774) dan *Stenomelania punctata* (Lamarck, 1822) (Gastropoda: Cerithioidea: Thiaridae). Berita Biologi 20(2), 25-34.

Iwama, R. E., Tessler, M., Siddall, M. E., & Kvist, S. (2021). The origin and evolution of antistasin-like proteins in leeches (Hirudinea, Clitellata). *Genome Biology and Evolution, 13*(1), 1-14.

Kadim, M. K., Pasisingi, N., Mursalim, P., & Arbi, I. R. (2024). Macrozoobenthic community as a bioindicator for the water quality of the Bone River, Gorontalo. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 11(3).

Kahirun, K., Basrudin, B., Siwi, L. O., Indriyani, L., Bana, S., Sudia, L. B., Erif, L. O. M., Midi, L. O., Maulina, N., & Jamaluddin, N. (2023). Used macroinvertebrates as bioindicators to compare water quality from different

land uses in Watumokala and Nokambu Rivers, Southeast Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas, 24*(10), 5693–5708.

Kalkman, V. J., Clausnitzer, V., Dijkstra, K. D. B., Orr, A. G., Paulson, D. R., & Van Tol, J. (2008). Global diversity of dragonflies (Odonata) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595, 351–363.

Khasanah, S., Riani, E., Zairion, Z., & Sulistiono, S. (2024). Community structure of macrozoobenthos as a water quality indicator at Margagiri-Grenyang coastal waters, Banten Bay. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1400*(1), 012012.

Koesoebiono. (1987). *Ekologi perairan*. Jakarta: Pusat Antar Universitas Ilmu Hayati, Institut Pertanian Bogor.

Kong, D. S., Kim, M. C., Lee, J. H., Kwak, I. S., *et al*. (2025). *Ecological niches and environmental tolerance of freshwater oligochaetes in Korean rivers and lakes*. Journal of Korean Society on Water Environment.

Koty, A. T., Kahirun, K., Bana, S., Sudia, L. B., & Erif, L. O. M. (2024). Macroinvertebrate diversity as bioindicator of water quality in Anggoeya River, Kendari City. *Journal of Soilscape and Agriculture, 2*(2), 70–80.

Koperski, P. (2021). Linear and nonlinear effects of nutrient enrichments on the diversity of macrobenthos in lowland watercourses. *Aquatic Ecology, 55*(4), 1011–1031.

Kumari, P., Maiti, S. K. (2020). *Bioassessment in the aquatic ecosystems of highly urbanized agglomeration in India: An application of physicochemical and macroinvertebrate-based indices*. Ecological Indicators, 111, 106053.

Kusumaningtyas, N. F., Haeruddin, H., & Solichin, A. (2022). Penentuan Status Mutu Air Sungai Pekalongan Menggunakan Metode Indeks Pencemaran (IP) dan CCME. *Jurnal Pasir Laut, 6*(2), 81–87.

Lalander, C., Diener, S., Zurbrügg, C., & Vinnerås, B. (2019). Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (Hermetia Illucens)**.** *Journal of Cleaner Production*, 208, 211–219.

Li, X., Zhang, H., Pan, B., & Tong, X. (2016). Life history and secondary production of the Chinese endemic damselfly *Euphaea opaca* (Odonata: Euphaeidae). *International Journal of Odonatology, 19*(1–2), 75–82.

Lin, C.-T., Chiu, M.-C., & Kuo, M.-H. (2021). Effects of anthropogenic activities on microplastics in deposit-feeders (Diptera: Chironomidae) in an urban river of Taiwan. *Scientific Reports, 11*, 400.

Liuzzo, M., et al. (2025). *Predictive distribution modeling of the medicinal leech Hirudo verbana Carena, 1820 (Hirudinea, Hirudinidae) in Sicily: Implications for conservation.* Ecology and Evolution., 15(11).

Loreau, M., Barbier, M., Filotas, É., Gravel, D., Isbell, F., Miller, S. J., Montoya, J. M., Wang, S., & Gonzalez, A. (2021). Biodiversity as insurance: From concept to measurement and application. *Biological Reviews, 96*(5), 2333–2354.

Lukhabi, D. K., Mensah, P. K., & Asare, N. K. (2024). Benthic macroinvertebrates as indicators of water quality: A case study of estuarine ecosystems along the coast of Ghana. *Heliyon, 10*(7), e28018.

Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing.

Magurran, A. E. (2021). Measuring biological diversity. *Current Biology, 31*(19), R1174–R1177.

Magurran, A. E., & McGill, B. J. (Eds.). (2011). *Biological Diversity: Frontiers in Measurement and Assessment*. Oxford University Press.

Mahida, U. N. (1993). *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri*. Jakarta: Rajawali Press.

Maknuun, L. I., Krisanti, M., & Wardiatno, Y. (2021). *Sensitivitas dan kelayakan indeks biotik menggunakan makroavertebrata untuk menentukan status kesehatan sungai*. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia, 26(1), 151–158.

Mambrasar, R. E., Krey, K., Ratnawati, S. (2018). Keanekaragaman, Kerapatan, dan Dominansi Cacing Tanah di Bentang Alam Pegunungan Arfak. VOGELKOP: Jurnal Biologi, 1(1), 22-30.

Manalu, G. H., Siregar, Y. I., & Tanjung, A. (2024). Macrozoobenthos community structure as an indicator of water quality in the intertidal zone of Pariaman City, West Sumatra Province. *Journal of Coastal and Ocean Sciences, 5*(2), 114–124.

Manangkot, H. J., & Kawatu, M. (2023). *Aneka Ternak dan Satwa Harapan (Cacing & Mollusca)*. Bandung: CV. Patra Media Grafindo.

Manokaran, S., Joydas, T. V., & Khan, A. (2022). *Physico-chemical factors regulating marine benthos structure and function*. In Ecology and Biodiversity of Benthos (pp. 209–250). Elsevier.

Marselina, M., Wibowo, F., & Mushfiroh, A. (2022). Water quality index assessment methods for surface water: A case study of the Citarum River in Indonesia. *Heliyon, 8*(7), e09848.

Marwoto, R. M., Isnaningsih, N. R. (2012). The Freshwater Snail Genus Sulcospira Troschel, 1857 From Java, With Description of a New Species from Tasikmalaya, West Java, Indonesia (Mollusca: Gastropoda: Pachychilidae). The Raffles Bulletin of Zoology, *60*(1), 1-10.

Marwoto, R. M., Heryanto., Isnaningsih, N. R., Mujiono, N., Alfiah., Prihandini. (2020). Moluska Jawa (Gastropoda & Bivalvia). IPB Press

Mathers, K. L., Doretto, A., Fenoglio, S., Hill, M. J., & Wood, P. J. (2022). Temporal effects of fine sediment deposition on benthic macroinvertebrate community structure, function and biodiversity likely reflects landscape setting. *Science of the Total Environment, 829*, 154612.

Merritt, R. W., & Cummins, K. W. (1996). *An introduction to the aquatic insects of North America* (3rd ed.). Kendall/Hunt Publishing Company.

Merritt, R. W., Cummins, K. W., & Berg, M. B. (2019). *An introduction to the aquatic insects of North America* (5th ed.). Dubuque, IA: Kendall/Hunt Publishing Company.

Metcalf & Eddy, Inc. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Miguel, T. B., Oliveira-Junior, J. M. B., Ligeiro, R., & Juen, L. (2017). *Odonata (Insecta) as a tool for the biomonitoring of environmental quality.* Ecological Indicators, 81, 555–566.

Mokolensang, J. F., Hariawan, M. G. V., Manu, L. (2018). Maggot (Hermetia illunces) sebagai pakan alternatif pada budidaya ikan. Budidaya Perairan, 6(3), 32-37.

MolluscaBase. (2024). *Melanoides Olivier, 1804*. World Register of Marine Species (WoRMS).

Morse, J. C., Frandsen, P. B., Graf, W., & Thomas, J. A. (2019). Diversity and ecosystem services of Trichoptera. Insects, 10(5), 125.

Muntalif, B. S., Chazanah, N., Ilmi, F., Sari, N. E., & Bagaskara, S. W. (2023). Distribution of the riverine benthic macroinvertebrate community along the Citarum cascading dam system in West Java, Indonesia. *Global Ecology and Conservation, 46*, e02580.

Mutmainah, A., Sulardiono, B., & Rahman, A. (2022). Analisis status mutu air perairan Anak Sungai Bogowonto, Yogyakarta. *Jurnal Pasir Laut, 6*(1).

Nayak, A., Ruhl, M., Kluber, P. (2024). Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae): Need, Potentiality, and Performance Measures. Agriculture, 14(8).

Neijnens, F. K., Moreira, H., de Jonge, M. M. J., Linssen, B. B. H. P., Huijbregts, M. A. J., Geerling, G. W., & Schipper, A. M. (2024). Effects of nutrient enrichment on freshwater macrophyte and invertebrate abundance: A meta-analysis. *Global Change Biology, 30*(1), e17094.

Neubauer, T. A., Mandic, O., Harzhauser, M., & Hrvatović, H. (2013). A new Miocene lacustrine mollusc fauna of the Dinaride Lake System and its paleobiogeographic, palaeoecological and taxonomic implications. Palaeontology.56(1):129-156.

Neubauer, T. A., Harzhauser, M., Kroh, A., & Georgopoulou, E. (2016). Paleobiogeography and historical biogeography of the non-marine caenogastropod family Melanopsidae. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 444*, 124–143.

Ni, L., Zhou, L., Hamad, A. A. A., Xu, C., Sang, W., Du, C., Nie, Y., Li, H., Shi, J., & Li, S. (2024). Community structure and water quality assessment of benthic macroinvertebrates in Hongze Lake. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 112*(4), 58.

Ningrum, N. C., & Kuntjoro, S. (2022). Kualitas perairan Sungai Brangkal Mojokerto berdasarkan indeks keanekaragaman makrozoobentos. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi, 11*(1), 71–79.

Nontji, A. (1986). Rencana Pengembangan Puslitbang Limnologi. LIPI pada Prosiding Expose Limnologi dan Pembangunan. Bogor.

Novelo-Gutiérrez, R., & Che Salmah, M. R. (2013). Two interesting larvae of *Onychogomphus* from Malaysia (Anisoptera: Gomphidae). *Odonatologica, 42*(1), 33–38.

Nugraha, D. R., Tugiyono, Susanto, G. N., & Kanedi, M. (2024). *Struktur Komunitas Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Air di Sungai Way Awi, Bandarlampung*. Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati, 9(3), 330-339.

Obubu, J. P., Mengistou, S., Fetahi, T., Graf, W., & Odong, R. (2021). *A critical review of macroinvertebrate-based bioassessment approaches in Africa's lotic systems: Developments, challenges, and legal requirements*. African Journal of Aquatic Science, 46(4), 377–389.

Odum, E. P. (1996). *Dasar-dasar ekologi*. Gadjah Mada University Press.

Odum, E. P. (1971). *Fundamentals of ecology* (3rd ed.). Philadelphia: W.B. Saunders Company.

Odum, E. P., & Barrett, G. W. (2005). *Fundamentals of ecology* (5th ed.). Thomson Brooks/Cole.

Okumura, D. T., & Rocha, O. (2020). *Life history traits of the exotic freshwater snail Melanoides tuberculata Müller, 1774 (Gastropoda, Thiaridae), and its sensitivity to common stressors in freshwaters*. Acta Limnologica Brasiliensia, 32, e19.

Oliveira-Junior, J. M. B., Junior, P. D. M., Dias-Silva, K., Leitao, R. P., Leal, C.G., Pompeu, P. S., Gardner, T. A., Hughes, R. M., & Juen, L. (2017). *Effects of human disturbance and riparian conditions on Odonata (Insecta) assemblages in eastern Amazon basin streams.* Limnologica, 66, 31–39.

Oliveira-Junior, J. M. B., Teodósio, M. A., & Juen, L. (2021). Patterns of co-occurrence and body size in dragonflies and damselflies (Insecta: Odonata) in preserved and altered Amazonian streams. *Austral Entomology, 60*(2), 436–450.

Oscoz, J., Galicia, D., & Miranda, R. (2011). Identification guide of freshwater macroinvertebrates of Spain. *Limnetica*, 30(2), 293–304.

Paiva, F. F., Melo, D. B., Dolbeth, M., & Molozzi, J. (2023). Functional threshold responses of benthic macroinvertebrates to environmental stressors in reservoirs. *Journal of Environmental Management, 329*, 116970.

Pasqualini, J., Graeber, D., Bartusch, A., & Kümmel, S. (2024). Disentangling effects of multiple agricultural stressors on benthic and hyporheic nitrate uptake. *Biogeochemistry, 167*, 287–299.

Pemerintah Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Lampiran VI Baku Mutu Air Nasional.

Pennak, R. W. (2001). *Fresh-water invertebrates of the United States: Protozoa to Mollusca* (4th ed.). New York: John Wiley & Sons.

Phiri, E. E., Daniels, S. R., Bayliss, J., & Gouws, G. (2015). Ecological assessment of two species of Potamonautid freshwater crabs from the Eastern Highlands of Zimbabwe, with implications for their conservation. *PLoS ONE*, 10(12)

Pigneret, M., Mermillod-Blondin, F., Volatier, L., Romestaing, C., Maire, E., *et al*. (2016). *Urban pollution of sediments: Impact on the physiology and burrowing activity of tubificid worms and consequences on biogeochemical processes*. Science of the Total Environment, 568, 196–207.

Pineda-Pineda, J. J., Muñoz-Rojas, J., Morales-García, Y. E., Hernández-Gómez, J. C., & Sigarreta, J. M. (2022). Biomathematical model for water quality assessment:

Macroinvertebrate population dynamics and dissolved oxygen. *Water, 14*(18), 2902.

Pinto, T. J. da S., Moreira, R. A., Silva, L. C. M. da, Yoshii, M. P. C., Goulart, B. V., Fraga, P. D., Montagner, C. C., Daam, M. A., & Espindola, E. L. G. (2021). *Impact of 2,4-D and fipronil on the tropical midge Chironomus sancticaroli (Diptera: Chironomidae)*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 209, 111778.

Podder, R., Nath, S., Modak, B. K., Weltje, L., & Malakar, B. (2022). Tube length of chironomid larvae as an indicator for dissolved oxygen in water bodies. *Scientific Reports, 12*, 19971.

Politi, T., et al. (2021). A bioturbator, a holobiont, and a vector: The multifaceted role of *Chironomus plumosus* in shaping N-cycling. *Freshwater Biology, 66*(6), 1036–1048.

Putri, A. H., Tanjung, A., & Efriyeldi. (2024). Macrozoobenthos as a bioindicator for water quality on the coast of Padang City, West Sumatra. *Jurnal Natur Indonesia, 22*(2), 129–135.

Putri, V. T., Kartini, N., Yudha, I. G., & Damai, A. A. (2021). *The performance of macrozoobenthos as a bioindicator of water quality in the lower parts of the Hurun Lampung River*. *Journal of Aquatropica Asia, 6*(2), 72–82.

Rahmadina., Eriri, L. (2018). Identifikasi Hewan Invertebrata Pada Fillum Annelida di Daerah Penangkaran Buaya Asam Kumbang dan Pantai Putra Deli. Klorofil, 2(2)

Rahmawati, L. A., Afiati, N., & Putranto, T. T. (2021). *River Water Quality Based on Macrozoobentic Bioindicators in the Wonocolo Traditional Oil Mining Area*. Jurnal Ilmu Lingkungan, 19(1), 29–35.

Rattanachan, K., Sangpradub, N., Keetapithchayakul, T, S. (2022). Description of the larva of Vestalis gracilis (Rambur, 1842) (Zygoptera: Calopterygidae) from Thailand. International Journal of Odonatology, 25, 1-6.

Reels, G. T., & Wilson, K. D. P. (2009). Observations of the oviposition behaviour of four species of *Euphaea* Selys (Zygoptera: Euphaeidae). *Agrion, 13*(2), 80–84.

Reid, A. J., Carlson, A. K., Creed, I. F., Eliason, E. J., Gell, P. A., Johnson, P. T. J., Kidd, K. A., MacCormack, T. J., Olden, J. D., Ormerod, S. J., Smol, J. P., Taylor, W. W., Tockner, K., Vermaire, J. C., Dudgeon, D., & Cooke, S. J. (2019). Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. *Biological Reviews*, 94(3), 849–873.

Ren, W., Yao, Y., Gao, X., Wang, H., Wen, Z., Ni, L., Zhang, X., Cao, T., & Chou, Q. (2024). *Water depth affects submersed macrophyte more than herbivorous snail in mesotrophic lakes*. Frontiers in Plant Science, 15.

Resh, V. H., & Rosenberg, D. M. (1984). *The ecology of aquatic insects*. Praeger Publishers.

Retnaningdyah, C., Arisoesilaningsih, E., Vidayanti, V., Purnomo, & Febriansyah, S. C. (2023). Community structure and diversity of benthic macroinvertebrates as bioindicators of water quality in some waterfall ecosystems, Bawean Island, Indonesia. *Biodiversitas, 24*, 370–378.

Rizkiana, R. (2017). Analisa Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Ketersediaan Debit Aliran Sungai di Sub Das Kali Bodo Kabupaten Malang Dengan Model Small Watershed Monthly Hydrologic Modeling System (SWMHMS). (Skripsi). Universitas Brawijaya.

Rosenberg, D. M., & Resh, V. H. (1993). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman & Hall.

Rossaro, B., Marziali, L., & Boggero, A. (2022). Response of Chironomids to Key Environmental Factors: Perspective for Biomonitoring. *Insects*, 13(10), 911.

Rossi, G., Ojha, S., Müller-Belecke, A., & Schlüter, O. K. (2023). Fresh aquaculture sludge management with black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae: Investigation on bioconversion performances. *Scientific Reports, 13*(1), 20982.

Ruaro, R., Gubiani, É. A., Cunico, A. M., Higuti, J., Moretto, Y., & Piana, P. A. (2019). Unified multimetric index for the evaluation of the biological condition of streams in Southern Brazil based on fish and macroinvertebrate assemblages. *Environmental Management, 64*(5), 661–673.

Rufusova, A., Beracko, P., Bulánková, E., Derka, T., Kalaninová, D., Korter, T., & Stloukalová, V. (2017). Benthic invertebrates and their habitats. Comenius University in Bratislava. Bratislava.

Sağlam, N., Özbay, Ö., Demir, T., Balcı, M., Pala, A., & Kılıç, A. (2018). Effect of water quality on monthly density variation of the endangered southern medicinal leech *Hirudo verbana* Carena, 1820 (Hirudinea: Arhynchobdellida: Hirudinidae). *Acta Zoologica Bulgarica, 70*(3), 433–441.

Sastrawijaya, A. T. (2000). *Pencemaran Lingkungan*. Jakarta: Rineka Cipta.

Šigutová, H., Dolný, A., Samways, M. J., Hardersen, S., Oliveira-Junior, J. M. B., Juen, L., Bried, J. T., *et al*. (2023). *Odonata as indicators of pollution, habitat quality, and landscape disturbance*. In *Dragonflies and Damselflies: Model Organisms for Ecological and Evolutionary Research* (2nd ed.). Oxford University Press.

Strong, E. E., Gargominy, O., Ponder, W. F., & Bouchet, P. (2008). *Global diversity of gastropods (Gastropoda; Mollusca) in freshwater*. Hydrobiologia, 595, 149–166.

Sueb, S. (2021). *Macrozoobenthos diversity as bioindicator water quality of Metro River, Malang City*. *AIP Conference Proceedings, 2353*, 030050.

Supriyanto, & Koestoer, R. H. (2022). Selected measurement parameters of water quality: Comparative insight of India and Indonesia. *Journal of Geography Science and Education, 4*(1), 32–44.

Savić, A., Zawal, A., Stępień, E., *et al*. (2022). Main macroinvertebrate community drivers and niche properties for characteristic species in urban/rural and lotic/lentic systems. *Aquatic Sciences, 84*(1).

Scala, A., Cammack, J. A., Falabella, P., *et al*. (2020). Rearing substrate impacts growth and macronutrient composition of *Hermetia illucens* larvae produced at an industrial scale. *Scientific Reports, 10*(1), 19448.

Setyobudiandi, I. 1997. Makrozoobentos. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Setyowati, D. N., dkk. (2024). *Analisis Kelimpahan Makrozoobentos dan Bahan Organik Sedimen Sebagai Bioindikator Pencemaran Sungai Kreo dan Sungai Banjir Kanal Barat*. Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES).

Seyedalmoosavi, M. M., Mielenz, M., Veldkamp, T., Daş, G., & Metges, C. C. (2022). Growth efficiency, intestinal biology, and nutrient utilization and requirements of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae compared to monogastric livestock species: A review. *Animal Nutrition, 8*(1), 249–259.

Shen, R., Gu, X., Chen, H., Mao, Z., Zeng, Q., & Jeppesen, E. (2020). *Combining bivalve (Corbicula fluminea) and filter-feeding fish (Aristichthys nobilis) enhances the bioremediation effect of algae: An outdoor mesocosm study*. Science of the Total Environment, 727, 138692.

She, Y., Wu, L., Qi, X., Sun, S., & Li, Z. (2025). Aging behaviors intensify the impacts of microplastics on nitrate bioreduction-driven nitrogen cycling in freshwater sediments. *Water Research, 279*, 123448.

Shihab, M. Q. (2002). *Tafsir Al-Mishbah: Pesan, kesan dan keserasian Al-Qur'an* (Vol. 9). Jakarta: Lentera Hati.

Shuman, T. C., Smiley, P. C., Gillespie, R. B., & Gonzalez, J. M. (2020). Influence of physical and chemical characteristics of sediment on macroinvertebrate communities in agricultural headwater streams. *Water, 12*(11), 2976.

Siddiqui, S. A., Fernando, I., Nisa', K., Shah, M. A., Rahayu, T., Rasool, A., & Aidoo, O. F. (2023). Effects of undesired substances and their bioaccumulation on the black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): A literature review. *Environmental Monitoring and Assessment, 195*(7), 823.

Singh, A., Kumari, K., & Sharma, R. (2022). Effect of different organic substrates on selected life history traits and nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Environmental Entomology, 51*(1), 182–189.

Sitnikova, T. Y., Sysoev, A. V., Kijashko, P. V. (2017). Species of Freshwater Gastropods Described by YA.I. Starobogatov: Pulmonata (Acroloxidae), Heterobranchia(Valvatidae) and Caenogastropoda (Viviparoidea, Truncatelloidea and Cerithioidea). *Proceedings of the Zoological Institute RAS, 321*(3), 247–299.

Sudarso, J., Imroatushshoolikhah, I., Ibrahim, A., Aisyah, S., & Sari, L. (2020). *Evaluasi Rehabilitasi Riparian Sungai Ranggeh dengan Indikator Komunitas Makrozoobentos*. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia, 5*(2), 105–119.

Surber, E. W. (1937). Rainbow trout and bottom fauna production in one mile of stream. *Transactions of the American Fisheries Society*, 66(1), 193–202.

Syarifuddin. (2000). *Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai*. Universitas Indonesia Press.

Tambeayuk, M. A., Kamga, M. A., & Taiwo, O. J. (2023). The performance of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) as a function of the substrate used: A review. *Green and Environment Processing, 11*(9), 120–134.

Tampo, L., Kaboré, I., Alhassan, E. H., Ouéda, A., Bawa, L. M., & Djaneye-Boundjou, G. (2021). *Benthic macroinvertebrates as ecological indicators: Their*

sensitivity to the water quality and human disturbances in a tropical river. Frontiers in Water, 3, 662765.

Tanaka, Y., Minggat, E., & Roseli, W. (2021). The impact of tropical land-use change on downstream riverine and estuarine water properties and biogeochemical cycles: A review. *Ecological Processes, 10*, 40.

Tanga, C. M., Waweru, J. W., Tola, Y. H., Onyoni, A. A., Khamis, F. M., Ekesi, S., & Paredes, J. C. (2021). Organic waste substrates induce important shifts in gut microbiota of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.): Coexistence of conserved, variable, and potential pathogenic microbes. *Frontiers in Microbiology, 12*, 635881.

Teristiandi, N., & Yuliana, M. (2025). The influence of physicochemical parameters on the abundance of macrozoobenthos in Kungkilan River, South Sumatera. *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia, 12*(2), 145–156.

Ursada, R., Bagastyo, A. Y., Tay, C. Y., Purnomo, A., & Warmadewanthi, I. D. A. A. (2024). Bioconversion of sludge waste by black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae: A review of the potential use of food and beverage industry sludge as a rearing substrate. *Journal of Environmental Management*, 345, 118940.

Vörösmarty, C. J., *et al*. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467, 555–561.

Wahyudi, R., Hasan, Z., Grandiosa, R., & Arief, M. C. W. (2024). The macrozoobenthos community structure at Situ Cibeureum, South Tambun District, Bekasi Regency, West Java Province. *Aquasains: Jurnal Ilmu Perikanan dan Sumberdaya Perairan, 12*(3), 1547–1555.

Wallace, J. B., & Webster, J. R. (1996). The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Annual Review of Entomology*, 41, 115–139.

Warlina, L. (2004). *Pencemaran Air: Sumber, Dampak, dan Penanggulangannya*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and river ecosystems* (3rd ed.). Academic Press.

Widjaja, E. A., Rahayuningsih, Y., Rahajoe, J. S., Ubaidillah, R., Maryanto, I., Walujo, E. B., & Semiadi, G. (2014). Kekinian keanekaragaman hayati Indonesia. LIPI Press.

Xu, Q. H. (2017). The final stadium larva of Euphaea decorata Hagen in Selys, 1853, from Fujian, China (Odonata: Zygoptera: Euphaeidae). Zootaxa, 4244(4), 595-599.

Xu, Q., Yang, X., Yan, Y., Wang, S., Loreau, M., & Jiang, L. (2021). *Consistently positive effect of species diversity on ecosystem, but not population, temporal stability*. Ecology Letters, 24(10), 2256–2266.

Yeung, A. C. Y., & Dudgeon, D. (2014). Limited life-history variations in a tropical stream caenogastropod, *Sulcospira hainanensis*, in habitats with contrasting resource availability. *Journal of Molluscan Studies, 80*(2), 190–197.

Zhang, Z., Chen, L., Yang, K., Wang, T., Wang, Y., Jia, Y., Yin, Y., Gu, P., & Miao, H. (2022). Toxic effects of industrial flocculants addition on bioconversion of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.). *Insects, 13*(8), 683.

Zhou, Y., Zhu, Y., Zhu, J., Li, C., & Chen, G. (2023). A comprehensive review on wastewater nitrogen removal and its recovery processes. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 20*(4), 3429.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Alat dan Bahan

Alkohol 70%

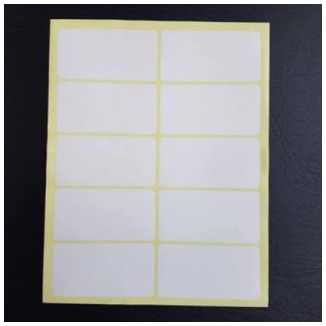
Botol

Surber Net

Nampan

Termometer

Ember



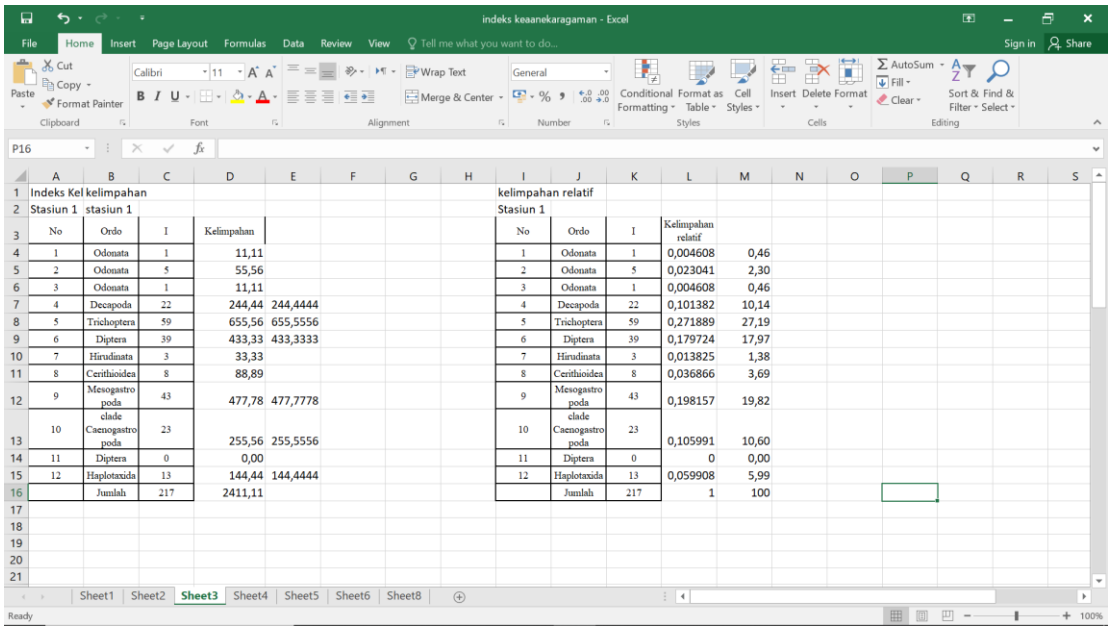
Kertas Label

Aquades

Lampiran 17 Dokumentasi Kegiatan Penelitian

Foto Kegiatan	Keterangan
	Pengambilan sampel air di stasiun pengamatan
	Pengambilan sampel makrozoobentos di stasiun pengamatan
	Pengambilan sampel makrozoobentos di stasiun pengamatan

Lampiran 18 Hasil perhitungan kelimpahan makrozoobentos menggunakan Excel



Indeks Kel kelimpahan

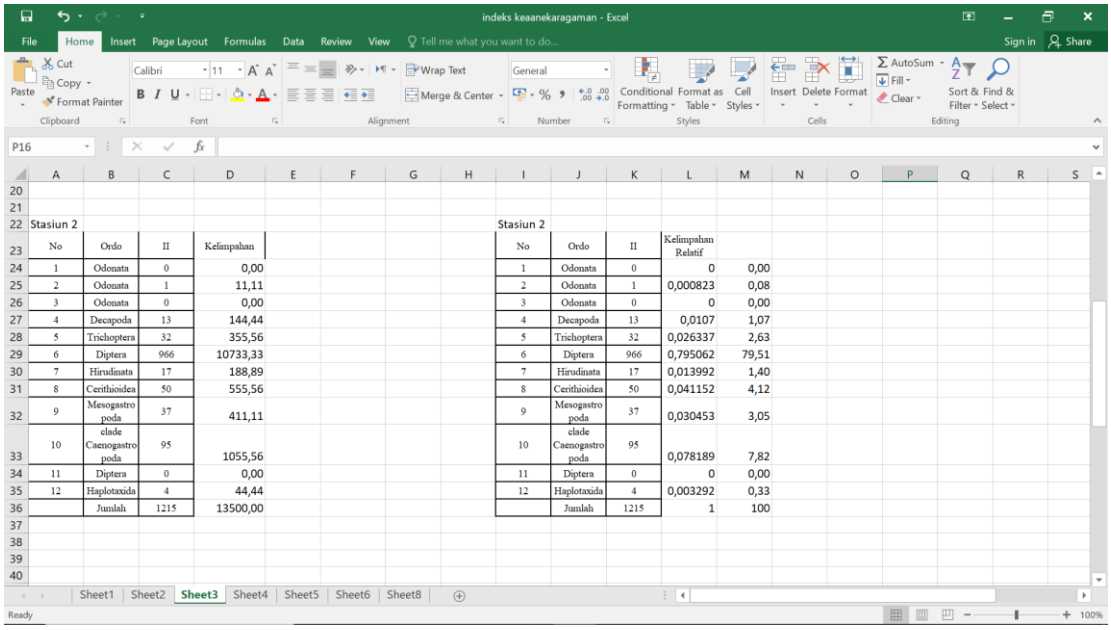
Stasiun 1 stasiun 1

No	Ordo	I	Kelimpahan	
1	Odonata	1	11,11	
2	Odonata	5	55,56	
3	Odonata	1	11,11	
4	Decapoda	22	244,44	244,4444
5	Trichoptera	59	655,56	655,5556
6	Diptera	39	433,33	433,3333
7	Hirudinata	3	33,33	
8	Cerithioidea	8	88,89	
9	Mesogastropoda	43	477,78	477,7778
10	clade Caenogastropoda	23	255,56	255,5556
11	Diptera	0	0,00	
12	Haplotaxida	13	144,44	144,4444
	Jumlah	217	2411,11	

kelimpahan relatif

Stasiun 1

No	Ordo	I	Kelimpahan relatif	
1	Odonata	1	0,004608	0,46
2	Odonata	5	0,023041	2,30
3	Odonata	1	0,004608	0,46
4	Decapoda	22	0,101382	10,14
5	Trichoptera	59	0,271889	27,19
6	Diptera	39	0,179724	17,97
7	Hirudinata	3	0,013825	1,38
8	Cerithioidea	8	0,036866	3,69
9	Mesogastropoda	43	0,198157	19,82
10	clade Caenogastropoda	23	0,105991	10,60
11	Diptera	0	0	0,00
12	Haplotaxida	13	0,059908	5,99
	Jumlah	217	1	100

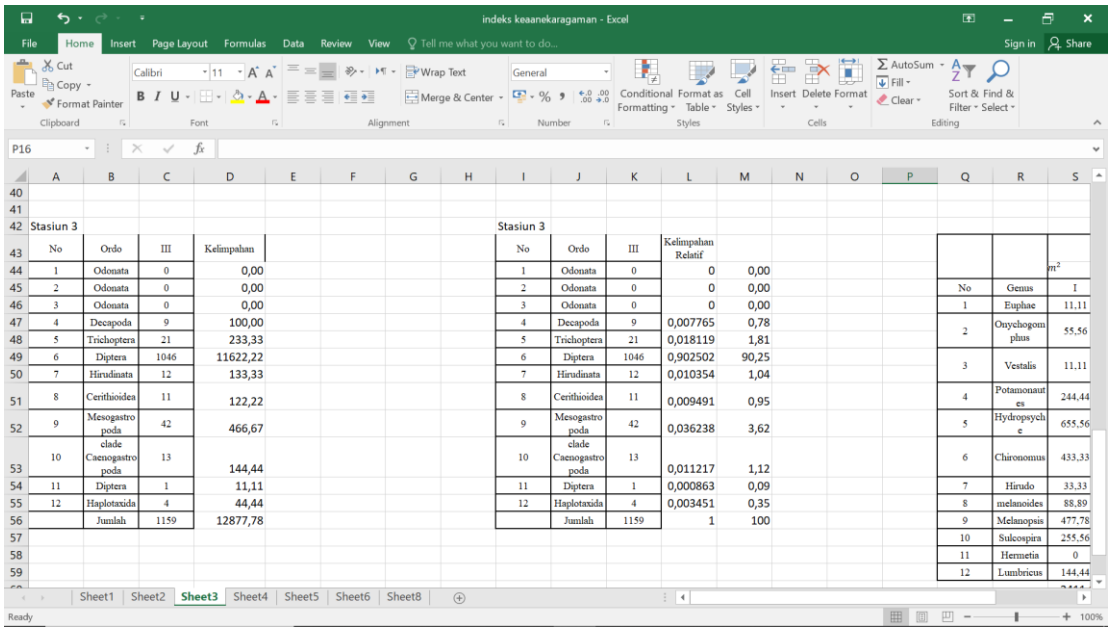


Stasiun 2

No	Ordo	II	Kelimpahan
1	Odonata	0	0,00
2	Odonata	1	11,11
3	Odonata	0	0,00
4	Decapoda	13	144,44
5	Trichoptera	32	355,56
6	Diptera	966	10733,33
7	Hirudinata	17	188,89
8	Cerithioidea	50	555,56
9	Mesogastropoda	37	411,11
10	clade Caenogastropoda	95	1055,56
11	Diptera	0	0,00
12	Haplotaxida	4	44,44
	Jumlah	1215	13500,00

Stasiun 2

No	Ordo	II	Kelimpahan Relatif	
1	Odonata	0	0	0,00
2	Odonata	1	0,000823	0,08
3	Odonata	0	0	0,00
4	Decapoda	13	0,0107	1,07
5	Trichoptera	32	0,026337	2,63
6	Diptera	966	0,795062	79,51
7	Hirudinata	17	0,013992	1,40
8	Cerithioidea	50	0,041152	4,12
9	Mesogastropoda	37	0,030453	3,05
10	clade Caenogastropoda	95	0,078189	7,82
11	Diptera	0	0	0,00
12	Haplotaxida	4	0,003292	0,33
	Jumlah	1215	1	100



Stasiun 3

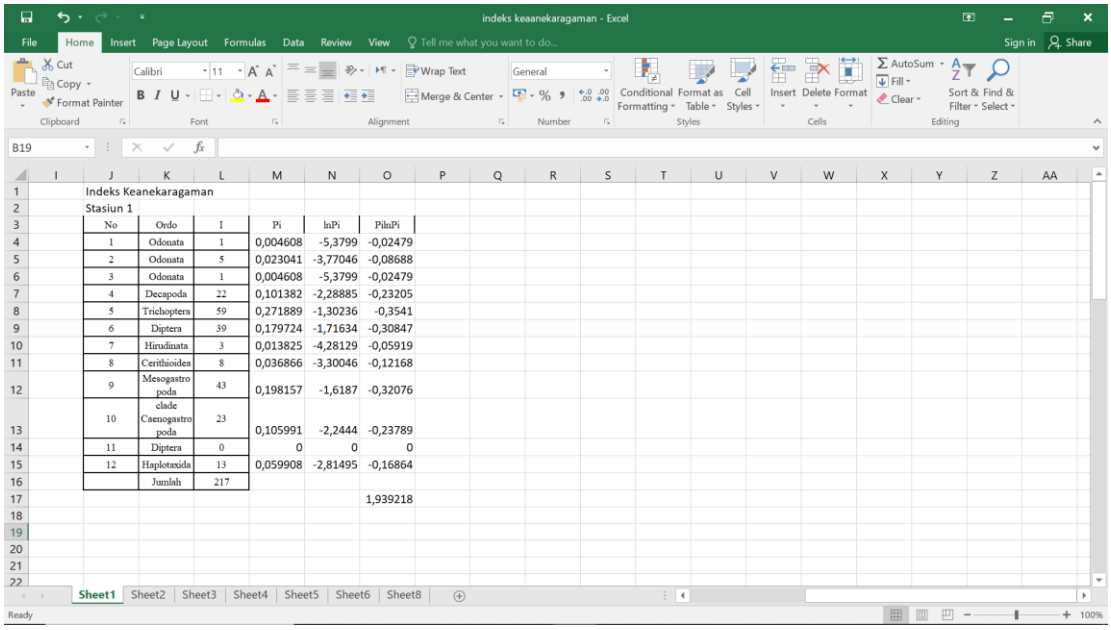
No	Ordo	III	Kelimpahan
1	Odonata	0	0,00
2	Odonata	0	0,00
3	Odonata	0	0,00
4	Decapoda	9	100,00
5	Trichoptera	21	233,33
6	Diptera	1046	11622,22
7	Hirudinata	12	133,33
8	Cerithioidea	11	122,22
9	Mesogastropoda	42	466,67
10	clade Caenogastropoda	13	144,44
11	Diptera	1	11,11
12	Haplotaxida	4	44,44
	Jumlah	1159	12877,78

Stasiun 3

No	Ordo	III	Kelimpahan Relatif	
1	Odonata	0	0	0,00
2	Odonata	0	0	0,00
3	Odonata	0	0	0,00
4	Decapoda	9	0,007765	0,78
5	Trichoptera	21	0,018119	1,81
6	Diptera	1046	0,902502	90,25
7	Hirudinata	12	0,010354	1,04
8	Cerithioidea	11	0,009491	0,95
9	Mesogastropoda	42	0,036238	3,62
10	clade Caenogastropoda	13	0,011217	1,12
11	Diptera	1	0,000863	0,09
12	Haplotaxida	4	0,003451	0,35
	Jumlah	1159	1	100

		m^2
No	Genus	I
1	Euphae	11,11
2	Onychogomphus	55,56
3	Vestalis	11,11
4	Potamonautes	244,44
5	Hydropsyche	655,56
6	Chironomus	433,33
7	Hirudo	33,33
8	melanoides	88,89
9	Melanopsis	477,78
10	Sulcospira	255,56
11	Hermetia	0
12	Lumbricus	144,44

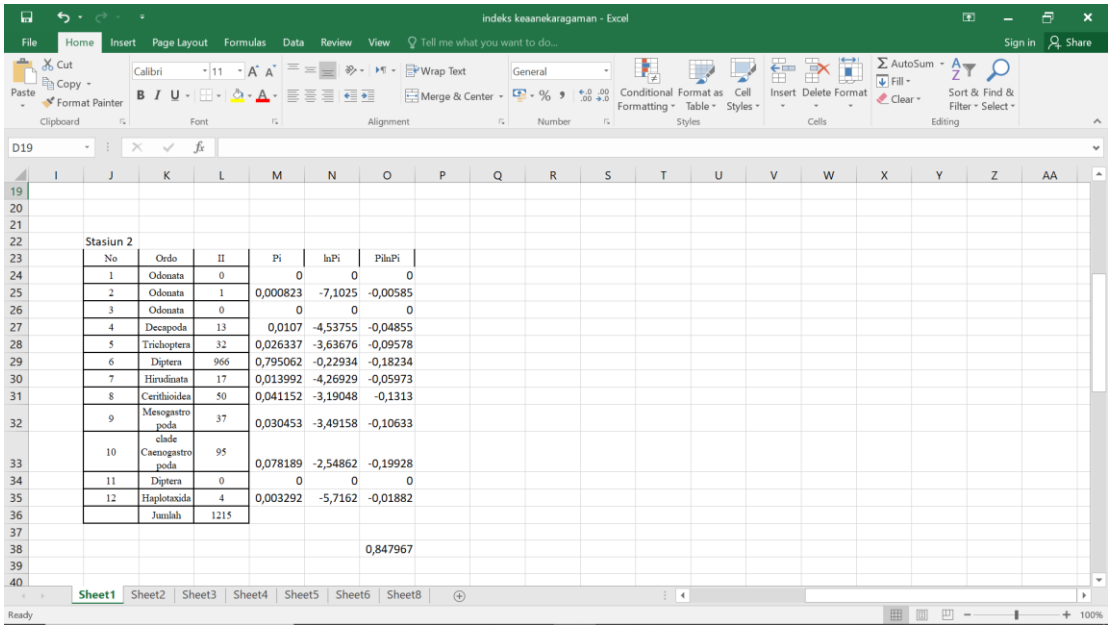
Lampiran 19 Hasil perhitungan indeks keanekaragaman makrozoobentos menggunakan Excel



Indeks Keanekaragaman

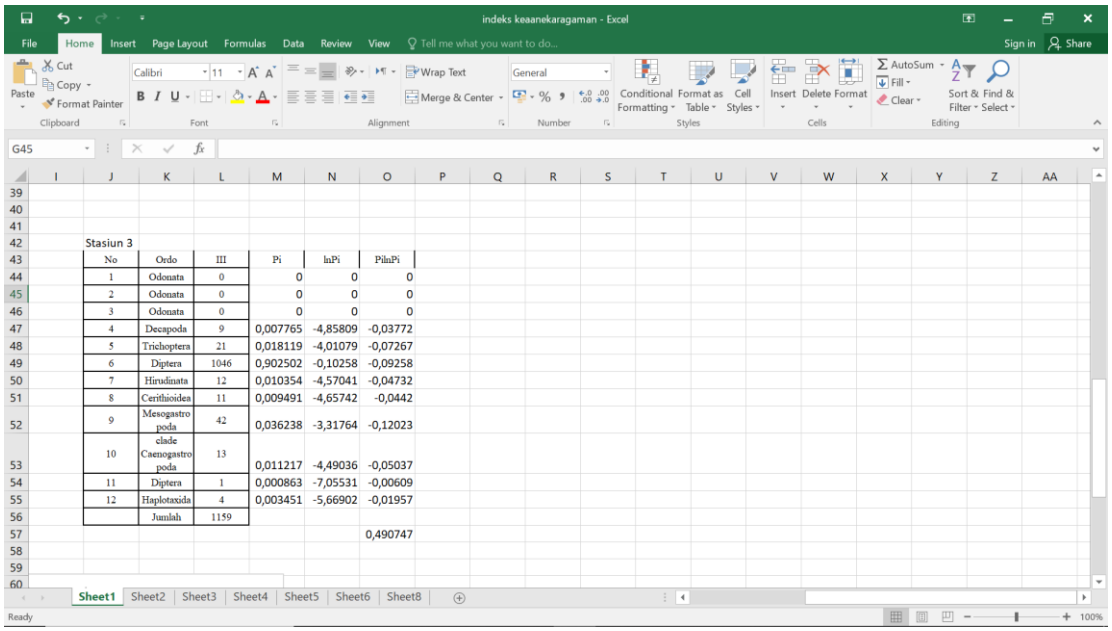
Stasiun 1

No	Ordo	I	Pi	lnPi	PilnPi
1	Odonata	1	0,004608	-5,3799	-0,02479
2	Odonata	5	0,023041	-3,77046	-0,08688
3	Odonata	1	0,004608	-5,3799	-0,02479
4	Decapoda	22	0,101382	-2,28885	-0,23205
5	Trichoptera	59	0,271889	-1,30236	-0,3541
6	Diptera	39	0,179724	-1,71634	-0,30847
7	Hirudinata	3	0,013825	-4,28129	-0,05919
8	Cerithioidea	8	0,036866	-3,30046	-0,12168
9	Mesogastropoda	43	0,198157	-1,6187	-0,32076
10	clade Caenogastropoda	23	0,105991	-2,2444	-0,23789
11	Diptera	0	0	0	0
12	Haplotaxida	13	0,059908	-2,81495	-0,16864
	Jumlah	217			
					1,939218



Stasiun 2

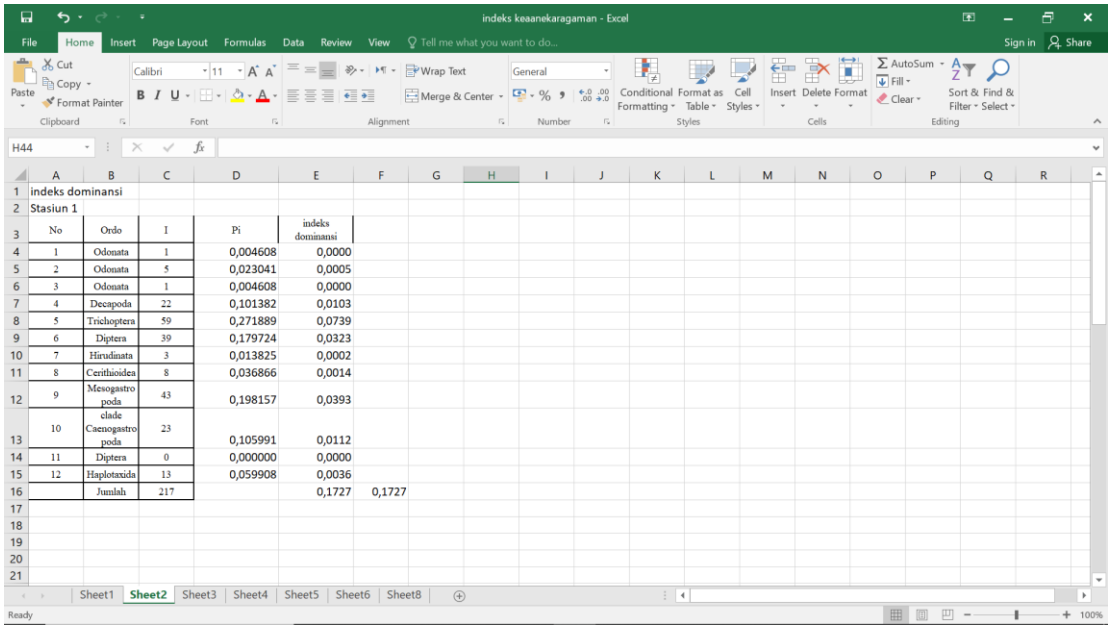
No	Ordo	II	Pi	lnPi	PilnPi
1	Odonata	0	0	0	0
2	Odonata	1	0,000823	-7,1025	-0,00585
3	Odonata	0	0	0	0
4	Decapoda	13	0,0107	-4,53755	-0,04855
5	Trichoptera	32	0,026337	-3,63676	-0,09578
6	Diptera	966	0,795062	-0,22934	-0,18234
7	Hirudinata	17	0,013992	-4,26929	-0,05973
8	Cerithioidea	50	0,041152	-3,19048	-0,1313
9	Mesogastropoda	37	0,030453	-3,49158	-0,10633
10	clade Caenogastropoda	95	0,078189	-2,54862	-0,19928
11	Diptera	0	0	0	0
12	Haplotaxida	4	0,003292	-5,7162	-0,01882
	Jumlah	1215			
					0,847967



Stasiun 3

No	Ordo	III	Pi	lnPi	PilnPi
1	Odonata	0	0	0	0
2	Odonata	0	0	0	0
3	Odonata	0	0	0	0
4	Decapoda	9	0,007765	-4,85809	-0,03772
5	Trichoptera	21	0,018119	-4,01079	-0,07267
6	Diptera	1046	0,902502	-0,10258	-0,09258
7	Hirudinata	12	0,010354	-4,57041	-0,04732
8	Cerithioidea	11	0,009491	-4,65742	-0,0442
9	Mesogastropoda	42	0,036238	-3,31764	-0,12023
10	clade Caenogastropoda	13	0,011217	-4,49036	-0,05037
11	Diptera	1	0,000863	-7,05531	-0,00609
12	Haplotaxida	4	0,003451	-5,66902	-0,01957
	Jumlah	1159			
					0,490747

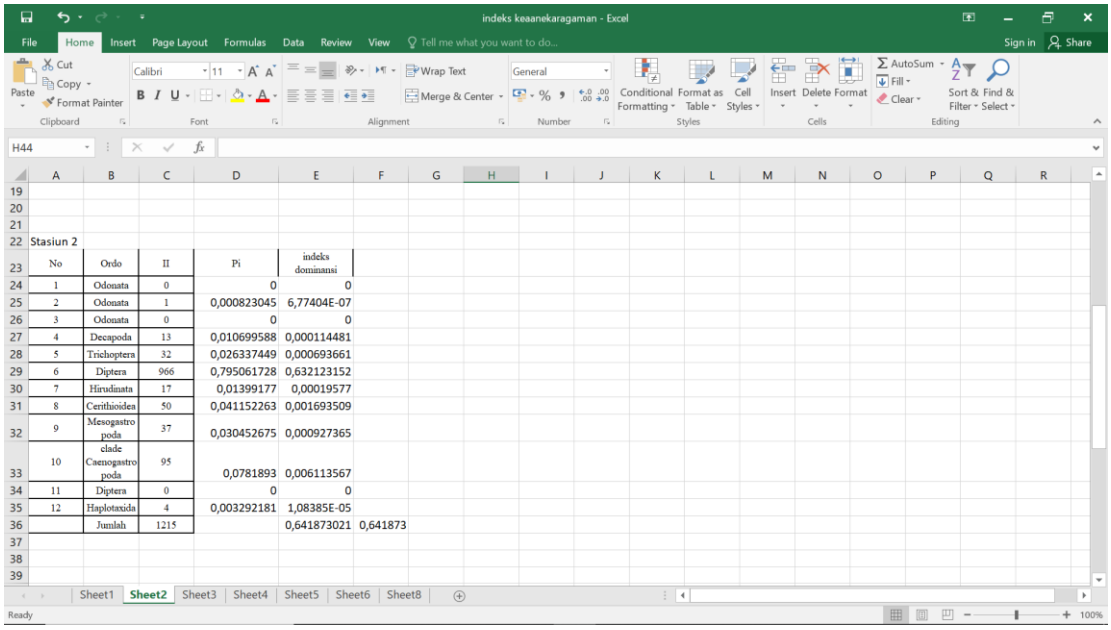
Lampiran 20 Hasil perhitungan indeks dominansi makrozoobentos menggunakan Excel



indeks dominansi

Stasiun 1

No	Ordo	I	Pi	indeks dominansi	
1	Odonata	1	0,004608	0,0000	
2	Odonata	5	0,023041	0,0005	
3	Odonata	1	0,004608	0,0000	
4	Decapoda	22	0,101382	0,0103	
5	Trichoptera	59	0,271889	0,0739	
6	Diptera	39	0,179724	0,0323	
7	Hirudinata	3	0,013825	0,0002	
8	Cerithioidea	8	0,036866	0,0014	
9	Mesogastropoda	43	0,198157	0,0393	
10	clade Caenogastropoda	23	0,105991	0,0112	
11	Diptera	0	0,000000	0,0000	
12	Haplotaxida	13	0,059908	0,0036	
	Jumlah	217		0,1727	0,1727



Stasiun 2

No	Ordo	II	Pi	indeks dominansi	
1	Odonata	0	0	0	
2	Odonata	1	0,000823045	6,77404E-07	
3	Odonata	0	0	0	
4	Decapoda	13	0,010699588	0,000114481	
5	Trichoptera	32	0,026337449	0,000693661	
6	Diptera	966	0,795061728	0,632123152	
7	Hirudinata	17	0,01399177	0,00019577	
8	Cerithioidea	50	0,041152263	0,001693509	
9	Mesogastropoda	37	0,030452675	0,000927365	
10	clade Caenogastropoda	95	0,0781893	0,006113567	
11	Diptera	0	0	0	
12	Haplotaxida	4	0,003292181	1,08385E-05	
	Jumlah	1215		0,641873021	0,641873

Stasiun 3

No	Ordo	III	Pi	indeks dominansi
1	Odonata	0	0	0
2	Odonata	0	0	0
3	Odonata	0	0	0
4	Decapoda	9	0,007765315	6,03001E-05
5	Trichoptera	21	0,018119068	0,000328301
6	Diptera	1046	0,902502157	0,814510143
7	Hirudinata	12	0,010353753	0,0001072
8	Cerithioidea	11	0,00949094	9,0078E-05
9	Mesogastropoda	42	0,036238136	0,001313203
10	clade Caenogastropoda	13	0,011216566	0,000125811
11	Diptera	1	0,000862813	7,44446E-07
12	Haplotaxida	4	0,003451251	1,19111E-05
	Jumlah	1159	0,816547692	0,816548

Lampiran 21 Hasil perhitungan indeks korelasi menggunakan Past 4.03

Correlation

Table Plot

	Suhu	pH	TSS	TDS	DO	BOD	COD	Nitrat	Fosfat	Vestalis	Potamonaute	Hydropsyche	Chironomus
Suhu		0,30995	0,99899	0,74476	-0,41515	-0,82388	0,98801	-0,98345	-0,82478	-0,5	-0,73704	-0,72341	0,56061
pH	0,30995		0,35232	0,86531	-0,99363	-0,79421	0,45302	-0,47707	0,28197	-0,97835	-0,87101	-0,88064	0,96106
TSS	0,99899	0,35232		0,77397	-0,45557	-0,8485	0,99395	-0,99059	-0,79856	-0,53837	-0,76664	-0,75368	0,59722
TDS	0,74476	0,86531	0,77397		-0,9163	-0,99181	0,83886	-0,85333	-0,23691	-0,95031	-0,99993	-0,99951	0,97013
DO	-0,41515	-0,99363	-0,45557	-0,9163		0,85764	-0,55063	0,5731	-0,17202	0,99544	0,92084	0,92843	-0,98609
BOD	-0,82388	-0,79421	-0,8485	-0,99181	0,85764		-0,90151	0,91293	0,35904	0,90277	0,99028	0,98731	-0,9312
COD	0,98801	0,45302	0,99395	0,83886	-0,55063	-0,90151		-0,99963	-0,72759	-0,62771	-0,83255	-0,82133	0,68173
Nitrat	-0,98345	-0,47707	-0,99059	-0,85333	0,5731	0,91293	-0,99963		0,70868	0,64862	0,84729	0,83652	-0,70136
Fosfat	-0,82478	0,28197	-0,79856	-0,23691	-0,17202	0,35904	-0,72759	0,70868		-0,077314	0,22573	0,20625	0,0058667
Vestalis	-0,5	-0,97835	-0,53837	-0,95031	0,99544	0,90277	-0,62771	0,64862	-0,077314		0,95382	0,95963	-0,99744
Potamonaute	-0,73704	-0,87101	-0,76664	-0,99993	0,92084	0,99028	-0,83255	0,84729	0,22573	0,95382		0,9998	-0,97285
Hydropsyche	-0,72341	-0,88064	-0,75368	-0,99951	0,92843	0,98731	-0,82133	0,83652	0,20625	0,95963	0,9998		-0,97727
Chironomus	0,56061	0,96106	0,59722	0,97013	-0,98609	-0,9312	0,68173	-0,70136	0,0058667	-0,99744	-0,97285	-0,97727	
Hirudo	0,16276	0,98852	0,20689	0,77965	-0,96519	-0,69329	0,31313	-0,33882	0,42368	-0,93586	-0,78679	-0,79895	0,90828
Melanoides	-0,44353	0,71465	-0,40285	0,26778	-0,63124	-0,14254	-0,29985	0,27382	0,87261	-0,55442	-0,27883	-0,29794	0,49352
Melanopsis	0,35921	-0,77596	0,31695	-0,35527	0,69991	0,23298	0,21082	-0,18419	-0,82399	0,62862	0,36598	0,38448	-0,57143
Sulcospira	-0,59366	0,58108	-0,55694	0,094883	-0,48564	0,033028	-0,4623	0,43804	0,94467	-0,40007	-0,10631	-0,12613	0,33356
Hermetia	1	0,30995	0,99899	0,74476	-0,41515	-0,82388	0,98801	-0,98345	-0,82478	-0,5	-0,73704	-0,72341	0,56061
Lumbricus	-0,5	-0,97835	-0,53837	-0,95031	0,99544	0,90277	-0,62771	0,64862	-0,077314	1	0,95382	0,95963	-0,99744

Correlation statistic

- (•) Linear r (Pearson)
- ( ) Spearman's D
- ( ) Spearman's rs
- ( ) Kendall's tau
- ( ) Polyserial rho
- ( ) Partial linear

Table format

- ( ) Statistic \ p(uncorr)
- (•) Statistic
- ( ) p(uncorr)
- ( ) Permutation p

[ ] Bonferroni correction

Close Copy Print Help

Lampiran 22 Hasil uji laboratorium kualitas air

LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp.(0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860
Jl. Proyek Bengawan Solo, Banaran, Pabelan, Kec. Kartasura, Kab. Sukoharjo Telp. (0271) 7499176
E-mail : lablingkunganpjt1@gmail.com

Nomor : 43327 S/LL MLG/V/2026

Uraian Contoh Uji : Stasiun 1 Ulangan 1
Description of Sample
Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sample Method
Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan PJT I
Place of Analysis
Tanggal Analisa : 27 April - 12 Mei 2026
Testing Date(s)

HASIL ANALISA
Result of Analisys

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	pH	-	7.17	-	SNI 6989.11:2019	Analisa di Lab
2	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/L	20.8	-	SM APHA 23rd Ed., 2540 D, 2017	
3	Nitrat (NO3-)	mg/L	24.10	-	QI/LKA/65 (Spektrofotometri)	
4	Phospat Total (PO4)	mg/L	2.471	-	SNI 6989-31:2021	
5	Oksigen terlarut (DO)	mg O2/L	6.98	-	SM APHA 23rd Ed., 4500-O G-2017	Analisa di Lab
6	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	mg/L	6.21	-	SM APHA 23rd Ed., 5210 B,2017	
7	Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	21.48	-	SNI 6989.2:2019	
8	Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	256.0	-	SM APHA 23rd Ed., 2540 C, 2017	

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

PERUSAHAAN UMUM LABORATORIUM LINGKUNGAN JASA TIRTA

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

CS Dipindai dengan CamScanner

LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp.(0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860
Jl. Proyek Bengawan Solo, Banaran, Pabelan, Kec. Kartasura, Kab. Sukoharjo Telp. (0271) 7499176
E-mail : lablingkunganpjt1@gmail.com

Nomor : 43326 S/LL MLG/V/2026

Uraian Contoh Uji : Stasiun 2 Ulangan 1
Description of Sample

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sample Method

Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan PJT I
Place of Analysis

Tanggal Analisa : 27 April - 12 Mei 2026
Testing Date(s)

HASIL ANALISA
Result of Analisys

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	pH	-	7.21	-	SNI 6989.11:2019	Analisa di Lab
2	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/L	28.8	-	SM APHA 23rd Ed., 2540 D, 2017	
3	Nitrat (NO3-)	mg/L	22.41	-	QI/LKA/65 (Spektrofotometri)	
4	Phospat Total (PO4)	mg/L	0.7839	-	SNI 6989-31:2021	
5	Oksigen terlarut (DO)	mg O2/L	5.07	-	SM APHA 23rd Ed., 4500-O G-2017	Analisa di Lab
6	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	mg/L	6.87	-	SM APHA 23rd Ed., 5210 B,2017	
7	Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	22.11	-	SNI 6989.2:2019	
8	Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	276.0	-	SM APHA 23rd Ed., 2540 C, 2017	

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

PERUSAHAAN UMUM LABORATORIUM LINGKUNGAN JASA TIRTA I

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

Dipindai dengan CamScanner

LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp.(0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860
Jl. Proyek Bengawan Solo, Banaran, Pabelan, Kec. Kartasura, Kab. Sukoharjo Telp. (0271) 7499176
E-mail : lablingkunganpjt1@gmail.com

Nomor : 43325 S/LL MLG/V/2026

Uraian Contoh Uji : Stasiun 3 Ulangan 1
Description of Sample
Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sample Method
Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan PJT I
Place of Analysis
Tanggal Analisa : 27 April - 12 Mei 2026
Testing Date(s)

HASIL ANALISA
Result of Analisys

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	pH	-	7.10	-	SNI 6989.11:2019	Analisa di Lab
2	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/L	13.6	-	SM APHA 23rd Ed., 2540 D, 2017	
3	Nitrat (NO3-)	mg/L	19.91	-	QI/LKA/65 (Spektrofotometri)	
4	Phospat Total (PO4)	mg/L	0.5740	-	SNI 6989-31:2021	
5	Oksigen terlarut (DO)	mg O2/L	6.46	-	SM APHA 23rd Ed., 4500-O G-2017	Analisa di Lab
6	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	mg/L	6.04	-	SM APHA 23rd Ed., 5210 B,2017	
7	Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	22.18	-	SNI 6989.2:2019	
8	Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	288.0	-	SM APHA 23rd Ed., 2540 C, 2017	

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

PERUSAHAAN UMUM LABORATORIUM LINGKUNGAN JASA TIRTA I

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

Dipindai dengan CamScanner

LABORATORIUM LINGKUNGAN

JASA TIRTA I

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp.(0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860
Jl. Proyek Bengawan Solo, Banaran, Pabelan, Kec. Kartasura, Kab. Sukoharjo Telp. (0271) 7499176
E-mail : lablingkunganpjt1@gmail.com

Nomor : 43361 S/LL MLG/V/2026

Uraian Contoh Uji : Stasiun 1 Ulangan 2
Description of Sample

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sample Method

Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan PJT I
Place of Analysis

Tanggal Analisa : 28 April - 13 Mei 2026
Testing Date(s)

HASIL ANALISA
Result of Analisys

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	pH	-	7.02	-	SNI 6989.11:2019	Analisa di Lab
2	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/L	18.4	-	SM APHA 23rd Ed., 2540 D, 2017	
3	Nitrat (NO3-)	mg/L	22.62	-	QI/LKA/65 (Spektrofotometri)	
4	Phospat Total (PO4)	mg/L	0.9987	-	SNI 6989-31:2021	
5	Oksigen terlarut (DO)	mg O2/L	7.10	-	SM APHA 23rd Ed., 4500-O G-2017	Analisa di Lab
6	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	mg/L	7.74	-	SM APHA 23rd Ed., 5210 B,2017	
7	Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	23.63	-	SNI 6989.2:2019	
8	Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	248.0	-	SM APHA 23rd Ed., 2540 C, 2017	

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

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

Dipindai dengan CamScanner

LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp.(0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860
Jl. Proyek Bengawan Solo, Banaran, Pabelan, Kec. Kartasura, Kab. Sukoharjo Telp. (0271) 7499176
E-mail : lablingkunganpjt1@gmail.com

Nomor : 43360 S/LL MLG/V/2026

Uraian Contoh Uji *Description of Sample*	: Stasiun 2 Ulangan 2
Metode Pengambilan Contoh Uji *Sample Method*	: -
Tempat Analisa *Place of Analysis*	: Laboratorium Lingkungan PJT I
Tanggal Analisa *Testing Date(s)*	: 28 April - 13 Mei 2026

HASIL ANALISA
Result of Analisys

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	pH	-	7.65	-	SNI 6989.11:2019	Analisa di Lab
2	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/L	16.8	-	SM APHA 23rd Ed., 2540 D, 2017	
3	Nitrat (NO3-)	mg/L	21.64	-	QI/LKA/65 (Spektrofotometri)	
4	Phospat Total (PO4)	mg/L	4.744	-	SNI 6989-31:2021	
5	Oksigen terlarut (DO)	mg O2/L	5.76	-	SM APHA 23rd Ed., 4500-O G-2017	Analisa di Lab
6	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	mg/L	6.62	-	SM APHA 23rd Ed., 5210 B,2017	
7	Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	22.37	-	SNI 6989.2:2019	
8	Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	268.0	-	SM APHA 23rd Ed., 2540 C, 2017	

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

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

Dipindai dengan CamScanner

LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp.(0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860
Jl. Proyek Bengawan Solo, Banaran, Pabelan, Kec. Kartasura, Kab. Sukoharjo Telp. (0271) 7499176
E-mail : lablingkunganpjt1@gmail.com

Nomor : 43359 S/LL MLG/V/2026

Uraian Contoh Uji : Stasiun 3 Ulangan 2
Description of Sample
Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sample Method
Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan PJT I
Place of Analysis
Tanggal Analisa : 28 April - 13 Mei 2026
Testing Date(s)

HASIL ANALISA
Result of Analisys

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	pH	-	7.67	-	SNI 6989.11:2019	Analisa di Lab
2	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/L	59.2	-	SM APHA 23rd Ed , 2540 D, 2017	
3	Nitrat (NO3-)	mg/L	14.90	-	QI/LKA/65 (Spektrofotometri)	
4	Phospat Total (PO4)	mg/L	1.008	-	SNI 6989-31:2021	
5	Oksigen terlarut (DO)	mg O2/L	3.82	-	SM APHA 23rd Ed , 4500-O G-2017	Analisa di Lab
6	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	mg/L	6.43	-	SM APHA 23rd Ed , 5210 B,2017	
7	Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	22.70	-	SNI 6989.2:2019	
8	Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	288.0	-	SM APHA 23rd Ed , 2540 C, 2017	

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

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

Dipindai dengan CamScanner

LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp.(0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860
Jl. Proyek Bengawan Solo, Banaran, Pabelan, Kec. Kartasura, Kab. Sukoharjo Telp. (0271) 7499176
E-mail : lablingkunganpjt1@gmail.com

Nomor : 43473 S/LL MLG/V/2026

Uraian Contoh Uji : Stasiun 1 Ulangan 3
Description of Sample
Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sample Method
Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan PJT I
Place of Analysis
Tanggal Analisa : 04 Mei - 19 Mei 2026
Testing Date(s)

HASIL ANALISA
Result of Analisys

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	pH	-	7.26	-	SNI 6989.11:2019	Analisa di Lab
2	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/L	15.2	-	SM APHA 23rd Ed., 2540 D, 2017	
3	Nitrat (NO3-)	mg/L	23.70	-	QI/LKA/65 (Spektrofotometri)	
4	Phospat Total (PO4)	mg/L	0.4753	-	SNI 6989-31:2021	
5	Oksigen terlarut (DO)	mg O2/L	6.27	-	SM APHA 23rd Ed., 4500-O G-2017	Analisa di Lab
6	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	mg/L	6.96	-	SM APHA 23rd Ed., 5210 B,2017	
7	Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	20.96	-	SNI 6989.2:2019	
8	Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	252.0	-	SM APHA 23rd Ed., 2540 C, 2017	

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

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

Dipindai dengan CamScanner

JASA TIRTA I

LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp.(0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860
Jl. Proyek Bengawan Solo, Banaran, Pabelan, Kec. Kartasura, Kab. Sukoharjo Telp. (0271) 7499176
E-mail : lablingkunganpjt1@gmail.com

Nomor : 43474 S/LL MLG/V/2026

Uraian Contoh Uji : Stasiun 2 Ulangan 3
Description of Sample
Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sample Method
Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan PJT I
Place of Analysis
Tanggal Analisa : 04 Mei - 19 Mei 2026
Testing Date(s)

HASIL ANALISA
Result of Analisys

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	pH	-	7.33	-	SNI 6989.11:2019	Analisa di Lab
2	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/L	10.4	-	SM APHA 23rd Ed., 2540 D, 2017	
3	Nitrat (NO3-)	mg/L	21.97	-	QI/LKA/65 (Spektrofotometri)	
4	Phospat Total (PO4)	mg/L	0.6095	-	SNI 6989-31:2021	
5	Oksigen terlarut (DO)	mg O2/L	5.98	-	SM APHA 23rd Ed., 4500-O G-2017	Analisa di Lab
6	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	mg/L	6.84	-	SM APHA 23rd Ed., 5210 B,2017	
7	Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	21.93	-	SNI 6989.2:2019	
8	Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	272.0	-	SM APHA 23rd Ed., 2540 C, 2017	

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

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

Dipindai dengan CamScanner

LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp.(0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860
Jl. Proyek Bengawan Solo, Banaran, Pabelan, Kec. Kartasura, Kab. Sukoharjo Telp. (0271) 7499176
E-mail : lablingkunganpjt1@gmail.com

Nomor : 43475 S/LL MLG/V/2026

Uraian Contoh Uji : Stasiun 3 Ulangan 3
Description of Sample
Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sample Method
Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan PJT I
Place of Analysis
Tanggal Analisa : 04 Mei - 19 Mei 2026
Testing Date(s)

HASIL ANALISA
Result of Analisys

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	pH	-	7.26	-	SNI 6989.11:2019	Analisa di Lab
2	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/L	13.2	-	SM APHA 23rd Ed., 2540 D, 2017	
3	Nitrat (NO3-)	mg/L	12.73	-	QI/LKA/65 (Spektrofotometri)	
4	Phosphat Total (PO4)	mg/L	0.6898	-	SNI 6989-31:2021	
5	Oksigen terlarut (DO)	mg O2/L	6.90	-	SM APHA 23rd Ed., 4500-O G-2017	Analisa di Lab
6	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	mg/L	7.42	-	SM APHA 23rd Ed., 5210 B,2017	
7	Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	23.25	-	SNI 6989.2:2019	
8	Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	268.0	-	SM APHA 23rd Ed., 2540 C, 2017	

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

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

Dipindai dengan CamScanner

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI BIOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp./ Faks. (0341) 558933
Website: http://biologi.uin-malang.ac.id Email: biologi@uin-malang.ac.id

Form Checklist Plagiasi

Nama : Hafizh Rofiif Fakhri

NIM : 200602110106

Judul : **Keanekaragaman Makrozoobentos di Kali Bodo Desa Ngijo, Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang, Jawa Timur**

No	Tim Check plagiasi	Skor Plagiasi	TTD
1	Azizatur Rohmah, M.Sc	24 %	
2	Berry Fakhry Hanifa, M.Sc		
3	Bayu Agung Prahardika, M.Si		
4	Tyas Nyonita Punjungsari, M.Sc		
5	Maharani Retna Duhita, M.Sc., PhD.Med.Sc		

Mengetahui,
Ketua Program Studi Biologi

Prof. Dr. Hj. Retno Susilowati, M.Si
NIP. 19671113 199402 2 001

Dipindai dengan CamScanner

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
Jalan Gajayana Nomor 50, Telepon (0341)551354, Fax. (0341) 572533
Website: http://www.uin-malang.ac.id Email: info@uin-malang.ac.id

JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM	:	200602110106
Nama	:	HAFIZH ROFIIF FAKHRI
Fakultas	:	SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan	:	BIOLOGI
Dosen Pembimbing 1	:	MUHAMMAD ASMUNI HASYIM, M.Si
Dosen Pembimbing 2	:	Dr. M. MUKHLIS FAHRUDDIN, M.S.I
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi	:	KEANEKARAGAMAN MAKROZOOBENTOS DI KALI BODO KECAMATAN KARANGPLOSO KABUPATEN MALANG

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	09 Oktober 2025	MUHAMMAD ASMUNI HASYIM, M.Si	konsultasi BAB I	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
2	20 Oktober 2025	MUHAMMAD ASMUNI HASYIM, M.Si	Revisi BAB I	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
3	27 Oktober 2025	MUHAMMAD ASMUNI HASYIM, M.Si	Konsultasi BAB II	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
4	03 November 2025	MUHAMMAD ASMUNI HASYIM, M.Si	Revisi BAB II	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
5	10 November 2025	MUHAMMAD ASMUNI HASYIM, M.Si	Revisi BAB II	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
6	12 November 2025	MUHAMMAD ASMUNI HASYIM, M.Si	Konsultasi BAB III	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
7	19 November 2025	MUHAMMAD ASMUNI HASYIM, M.Si	Revisi BAB III	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
8	01 Desember 2025	Dr. M. MUKHLIS FAHRUDDIN, M.S.I	Konsultasi Integrasi	Ganjil 2025/2026	Belum Dikoreksi
9	10 Desember 2025	Dr. M. MUKHLIS FAHRUDDIN, M.S.I	Revisi Integrasi	Ganjil 2025/2026	Belum Dikoreksi
10	19 Desember 2025	MUHAMMAD ASMUNI HASYIM, M.Si	Revisi BAB I, II, III	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
11	02 Juni 2026	MUHAMMAD ASMUNI HASYIM, M.Si	Bimbingan bab IV	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
12	03 Juni 2026	MUHAMMAD ASMUNI HASYIM, M.Si	Revisi bab IV	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
13	04 Juni 2026	MUHAMMAD ASMUNI HASYIM, M.Si	Bimbingan bab V	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
14	05 Juni 2026	MUHAMMAD ASMUNI HASYIM, M.Si	Revisi bab V	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
15	08 Juni 2026	Dr. M. MUKHLIS FAHRUDDIN, M.S.I	Bimbingan integrasi	Genap 2024/2025	Belum Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Malang, _____

Dosen Pembimbing 2

Dr. M. MUKHLIS FAHRUDDIN, M.S.I

Dosen Pembimbing 1

MUHAMMAD ASMUNI HASYIM, M.Si

Ketua Jur / Kaprodi

KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI JURUSAN BIOLOGI

1/1

Dipindai dengan CamScanner