

**STRUKTUR KOMUNITAS MAKROZOOBENTOS SEBAGAI
BIOINDIKATOR KUALITAS AIR DI HILIR SUNGAI WAY SUKAMAJU,
TELUK BETUNG TIMUR, BANDAR LAMPUNG**

(Skripsi)

Oleh

**HANNY WIDIYANTI
NPM 1814201010**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

STRUKTUR KOMUNITAS MAKROZOOBENTOS SEBAGAI BIOINDIKATOR KUALITAS AIR PADA HILIR SUNGAI WAY SUKAMAJU, TELUK BETUNG TIMUR, BANDAR LAMPUNG.

Oleh

HANNY WIDIYANTI

Makrozoobentos dapat digunakan sebagai indikator biologis di suatu perairan karena hewan ini mempunyai habitat hidup relatif tetap, pergerakannya terbatas, serta kemampuannya untuk mengakumulasi bahan pencemar di dalam tubuhnya. Aliran Sungai Way Sukamaju masih dimanfaatkan masyarakat sekitar untuk berbagai aktivitas antropogenik, seperti MCK (mandi, cuci dan kakus) dan kegiatan industri. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengkaji kondisi kualitas air berdasarkan struktur komunitas makrozoobentos serta menganalisis hubungan faktor fisika - kimia perairan dengan keberadaan makrozoobentos di hilir Sungai Way Sukamaju, Teluk Betung Timur, Bandar Lampung. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus - September 2022 di aliran Sungai Way Sukamaju, Kecamatan Teluk Betung Timur, Bandar Lampung. Metode yang digunakan *family biotic index* (FBI), *stream invertebrate grade number average level 2* (SIGNAL 2) dan *principal component analysis* (PCA). Parameter fisika dan kimia yang diukur di antaranya suhu, kecerahan, kedalaman, pH, *dissolved oxygen* (DO), dan *biological oxygen demand* (BOD). Berdasarkan hasil yang diperoleh, diketahui bahwa jenis makrozoobentos di aliran Sungai Way Sukamaju terdiri dari 5 kelas, yaitu kelas insekta, krustasea, clitellata, turbellaria, dan gastropoda. Jenis yang paling banyak ditemui berasal dari kelas gastropoda dengan 15 genus, di antaranya genus *Neritina* dan *Pomacea*.

Kata Kunci: Makrozoobentos, struktur komunitas, bioindikator.

ABSTRACT

THE MACROZOOBENTOS COMMUNITY STRUCTURE AS A BIOINDICATOR OF WATER QUALITY IN WAY SUKAMAJU DOWNSTREAM, TELUK BETUNG TIMUR, BANDAR LAMPUNG.

By

HANNY WIDIYANTI

Macrozoobenthos can be used as a biological indicator in waters because these animals have a relatively fixed living habitat and limited movement, as well as their ability to accumulate contaminants in their bodies. The flow of the Way Sukamaju River is still used by the surrounding community for various anthropogenic activities, such as (public bathing, washing, toilet facilities) and industrial activities. The purpose of this study was to examine the condition of water quality based on the community structure of macrozoobenthos and to analyze the relationship between physical and chemical factors in the waters and the presence of macrozoobenthos in the Way Sukamaju River, East Betung Bay, Bandar Lampung. This research was conducted in August - September 2022 in the Way Sukamaju River, Teluk Betung Timur, Bandar Lampung. The methods used were family biotic index (FBI), stream invertebrate grade number average level 2 (SIGNAL 2) and principal component analysis (PCA) with physical and chemical parameters measured including: temperature, brightness, depth, pH, dissolved oxygen (DO), and biological oxygen demand (BOD). Based on the results obtained, the types of macrozoobenthos in the Way Sukamaju river flow consisted of 5 classes, namely insect, crustacean, clitellata, turbellaria, and gastropod. The most common species were from the gastropod class with 15 genus, including the genus *Neritina* and *Pomacea*.

Keywords: Macrozoobenthos, community structure, bioindikator.

**STRUKTUR KOMUNITAS MAKROZOOBENTOS SEBAGAI
BIOINDIKATOR KUALITAS AIR DI HILIR SUNGAI WAY SUKAMAJU,
TELUK BETUNG TIMUR, BANDAR LAMPUNG**

Oleh

HANNY WIDIYANTI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA PERIKANAN**

Pada

**Jurusan Perikanan dan Kelautan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

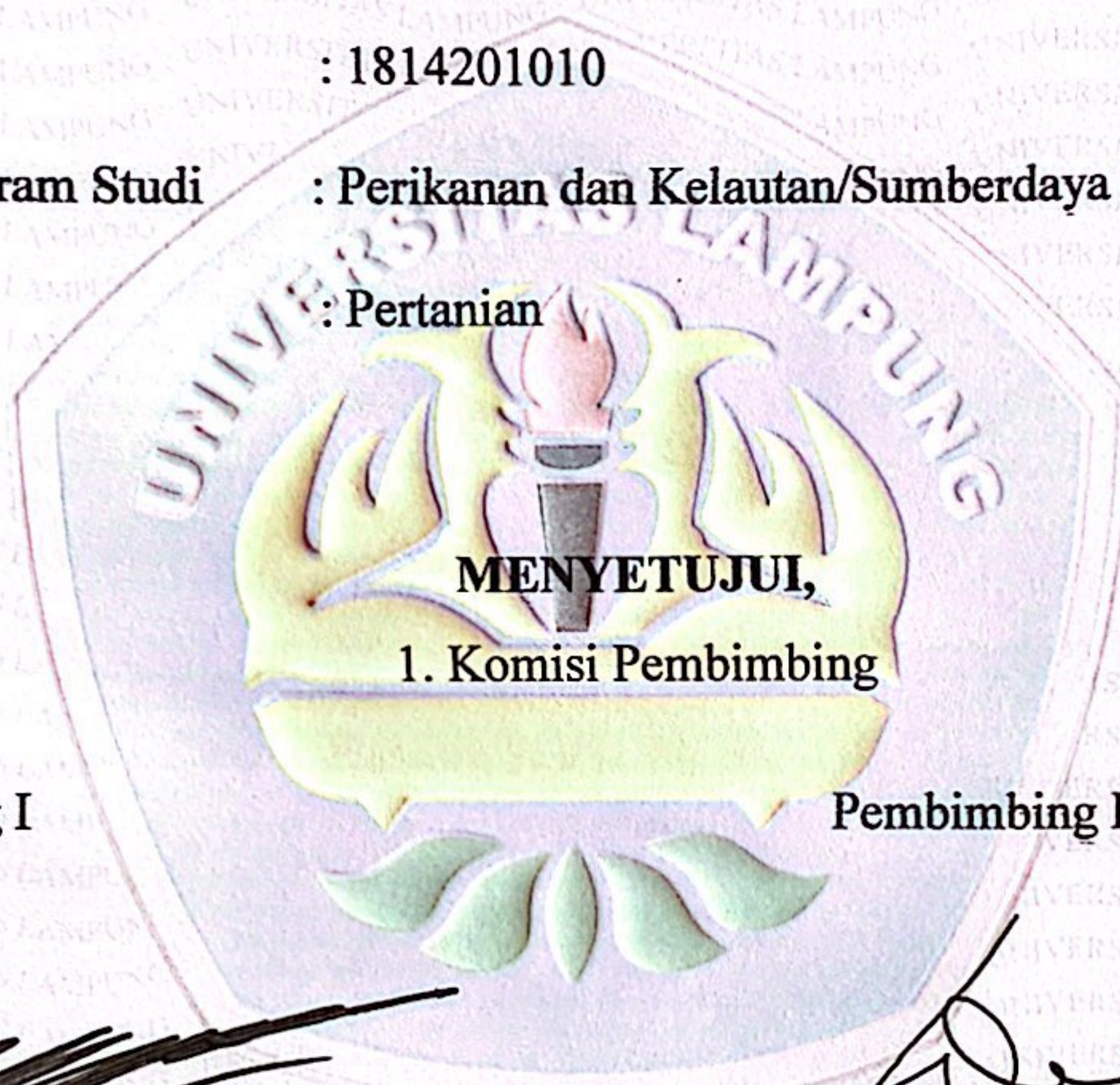
Judul Skripsi : Struktur Komunitas Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Air di Hilir Sungai Way Sukamaju, Teluk Betung Timur, Bandar Lampung

Nama Mahasiswa : Hanny Widiyanti

NPM : 1814201010

Jurusan/Program Studi : Perikanan dan Kelautan/Sumberdaya Akuatik

Fakultas : Pertanian



Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si.

NIP. 197008151999031001

Putu Cinthia Delis, S.Pi., M.Si.

NIP. 199008222019032011

2. Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan

Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si.

NIP. 197008151999031001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Indra Gumay Yudha, S. Pi., M. Si.

Sekretaris : Putu Cinthia Delis, S. Pi., M. Si.

Anggota : Dr. Qadar Hasani, S. Pi., M. Si.

2. Dekan fakultas pertanian



Prof. Dr. Irwan Sukri Banuwa, M. Si.

NIR. 196170201986031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 12 Mei 2023

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Hanny Widiyanti

NPM : 1814201010

Judul skripsi : Struktur Komunitas Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Air di Hilir Sungai Way Sukamaju, Teluk Betung Timur, Bandar Lampung

Menyatakan bahwa skripsi yang saya buat ini merupakan hasil karya saya sendiri berdasarkan pengetahuan, data, dan literatur dari penelitian serupa yang saya dapatkan. Karya ini belum pernah dipublikasikan sebelumnya dan bukan hasil plagiat dari hasil karya orang lain.

Demikian pernyataan ini saya buat, apabila di kemudian hari terbukti ditemukan kecurangan dalam karya ini, maka saya siap bertanggung jawab.

Bandar Lampung, 21 Juli 2023



Hanny Widiyanti

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 08 Mei 2000, sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara dari Bapak Hasbuna dan Ibu Masyani. Penulis pernah menempuh pendidikan dasar di SDN 1 Tanjung Gading, Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2012, dilanjutkan ke pendidikan menengah pertama di SMP Utama 3 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2015, dan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2018. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Program Studi Sumberdaya Akuatik, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2018 dan diselesaikan pada tahun 2023.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif pada organisasi Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan (Himapik) FP Unila sebagai anggota Bidang Pengabdian Masyarakat 2019/2020. Penulis pernah menjadi asisten dosen pada mata kuliah Limnologi pada tahun 2021/2022.

Penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Tanjung Gading, Kecamatan Kedamaian, Bandar Lampung, Lampung pada tahun 2021. Penulis juga telah melaksanakan Praktik Umum di PT. Global Opye Hatchery, Rajabasa, Lampung Selatan pada tahun 2021. Penulis melakukan penelitian di hilir Sungai Way Sukamaju, Teluk Betung Timur, Bandar Lampung, dengan judul “Struktur Komunitas Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Air di Hilir Sungai Way Sukamaju, Teluk Betung Timur, Bandar Lampung”.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrohim

Alhamdulillah atas segala berkat, rahmat, kemudahan, serta izin yang Allah berikan, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Kepada kedua orang tuaku dengan penuh rasa cinta, kasih dan sayang tiada ujung kupersembahkan imbuhan kecil di belakang namaku untukmu.

Orang tua tercinta yakni, Bapak Hasbuna dan Ibu Masyani, yang tiada henti selalu mendoakan yang terbaik, tak bosan untuk selalu memotivasi juga menasehati serta memberikan dukungan yang begitu besar kepada penulis hingga dengan lancar dapat menyelesaikan pendidikan di Universitas Lampung.

Abangku tersayang, Hendra Saputra, Ahmad Zulfi, kakak Agustya Ratna Pratiwi, dan Izan yang selalu memberikan dukungan dan semangatnya. Teman-teman seperjuangan Jurusan Perikanan dan Kelautan 2018, khususnya Program Studi SDA 2018 yang saya sayangi, dan umumnya untuk teman semua yang tak dapat saya sebutkan namanya satu per satu, yang selalu memberikan motivasi serta semangat juang untuk penulis.

Serta

Almamater tercinta, Universitas Lampung.

MOTTO HIDUP

“Keberhasilan bukanlah milik orang yang pintar, keberhasilan adalah kepunyaan mereka yang senantiasa berusaha”.

(B.J Habibie)

“Tidak masalah seberapa lambat kamu melakukannya, asalkan kamu tidak berhenti”.

(*Confucius*)

“Jika harapan kamu dimusnahkan oleh janji manusia, segeralah bangkit karena harapan dari Tuhan tak pernah mengkhianat”.

(Amira Shahera)

“Yakinlah, ada sesuatu yang menantimu setelah sekian banyak kesabaran (yang kau jalani), yang akan membuatmu terpana hingga akan lupa betapa pedihnya rasa sakit”.

(Ali bin Abi Thalib)

“Dan bersabarlah kamu, sesungguhnya janji Allah adalah benar”.

(Q.S Ar-Rum: 60)

SANWACANA

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan karunia-Nya, kelimpahan rahmat serta kesehatan, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan tugas akhir skripsi dengan judul “Struktur Komunitas Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Air di Hilir Sungai Way Sukamaju, Teluk Betung Timur, Bandar Lampung”. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan dan saran dari berbagai pihak, maka penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
2. Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si., selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, dan Pembimbing Utama yang telah membimbing, memberikan banyak ilmu, masukan, dan waktunya serta saran-saran dalam proses penyelesaian skripsi.
3. Putu Cinthia Delis, S.Pi., M.Si., selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan banyak ilmu, arahan, masukan dan waktunya untuk selalu membimbing penulis dalam proses penyelesaian skripsi.
4. Dr. Qadar Hasani, S.Pi., M.Si., selaku Penguji yang telah memberikan kritik, saran dan perbaikan pada penulis dalam penyelesaian skripsi.
5. Ayah dan Mama yang senantiasa memerikan semangat, dukungan, serta doa yang tak pernah putus demi kelancaran penulis.

6. Abangku Hendra Saputra, Ahmad Zulfi, kakak Agustya Ratna Pratiwi, dan Arka Rafanizan Saputra yang selalu memberi semangat, mendoakan, serta memberikan dukungannya kepada penulis.
7. Desma, Dhea, Dynda, Elvira, Evi, Rina, dan Fahmi yang telah membantu, memberikan semangat, menemani, dan memotivasi mulai dari proses penelitian hingga penyelesaian skripsi ini.
8. Anggi, Ike, dan Suci yang telah membantu, memberikan semangat, dan dukungan dari proses penelitian hingga penyelesaian skripsi ini.
9. Teman-teman seperjuangan Perikanan dan Kelautan angkatan 2018, khususnya teman-teman di Program Studi Sumberdaya Akuatik 2018 yang tidak dapat disebutkan satu persatu terimakasih atas kebersamaannya, dukungan serta bantuan selama menuntut ilmu bersama.

Akhir kata dengan penuh kerendahan hati, penulis memohon maaf apabila masih terdapat kekurangan dalam penulisan skripsi, akan tetapi penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang membaca maupun bagi penulis untuk mengembangkan dan mengamalkan ilmu yang telah diperoleh.

Bandar Lampung, 21 Juli 2023

Penulis,

Hanny Widiyanti

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Manfaat Penelitian	3
1.4 Kerangka Pemikiran Penelitian.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Ekosistem Sungai	5
2.2 pencemaran Perairan	7
2.3 Makrozoobentos.....	8
2.3.1 Komposisi Makrozoobentos.....	9
2.4 Struktur Komunitas Makrozoobentos.....	12
2.5 Makrozoobentos sebagai Indikator Kualitas Air	12
2.6 Faktor Fisika yang Memengaruhi Komunitas Makrozoobentos	14
2.6.1 Suhu	14
2.6.2 Kecerahan	15
2.6.3 Kedalaman	16
2.6.4 Kecepatan Arus.....	16
2.7 Faktor Kimia yang Memengaruhi Komunitas Makrozoobentos.....	17
2.7.1 Derajat Keasaman (pH).....	17
2.7.2 <i>Dissolved Oxygen</i> (DO)	18
2.7.3 <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD).....	18
III. METODE PENELITIAN	20
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2 Alat dan Bahan.....	21

3.3 Metode Penelitian.....	22
3.3.1 Deskripsi Stasiun Penelitian.....	22
3.3.2 Pengambilan Sampel Makrozoobentos	23
3.3.3 Pengukuran Parameter Kualitas Air	23
3.4 Analisis data.....	25
3.4.1 Kepadatan Makrozoobentos.....	25
3.4.2 Indeks Keanekaragaman	25
3.4.3 Indeks Keseragaman	26
3.4.4 Indeks Dominansi	26
3.4.5 <i>Family Biotic Index</i> (FBI)	27
3.4.6 <i>Stream Invertebrate Grade Number Average Level 2</i> (SIGNAL 2)	28
3.4.7 <i>Principal Component Analysis</i> (PCA).....	30
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian.....	31
4.2 Parameter Fisika – Kimia Perairan Sungai Way Sukamaju	32
4.2.1 Suhu	32
4.2.2 Derajat keasaman (pH).....	32
4.2.3 Kecepatan Arus.....	33
4.2.4 Oksigen Terlarut (DO)	34
4.2.5 <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD).....	34
4.2.6 Kecerahan	35
4.2.7 Kedalaman	35
4.3 Sebaran Jenis Makrozoobentos	36
4.4 Kepadatan Makrozoobentos	40
4.5 Indeks Keanekaragaman	46
4.6 <i>Family Biotic Index</i> (FBI)	48
4.7 <i>Stream Invertebrate Grade Number Average Level 2</i> (SIGNAL 2).....	50
4.8 Hubungan antar kepadatan makrozoobentos dengan kondisi lingkungan.....	52
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Makrozoobentos sebagai indikator kualitas air.....	13
2. Alat dan bahan penelitian.....	21
3. Penggolongan kriteria kualitas air.....	27
4. Nilai faktor pembobotan berdasarkan jumlah individu yang ditemukan	28
5. Nilai parameter fisika kimia perairan Sungai Way Sukamaju	32
6. Klasifikasi makrozoobentos yang didapatkan pada setiap stasiun penelitian	38
7. Nilai kepadatan rata-rata makrozoobentos pada setiap stasiun penelitian	40
8. Nilai indeks keanekaragaman, indeks keseragaman dan indeks dominansi	46
9. Indeks biotik famili makrozoobentos pada setiap stasiun.....	48
10. Nilai SIGNAL 2 dari makrozobentos yang ditemukan di hilir Sungai Way Sukamaju	50
11. Nilai korelasi antar parameter berdasarkan analisis PCA	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran penelitian	4
2. <i>Lymnaea stagnalis</i>	9
3. <i>Pilsbryconcha exilis</i>	10
4. <i>Parathelphusa convexa</i>	10
5. <i>Hydropsychidae</i>	11
6. <i>Hirudinae</i>	11
7. Peta lokasi penelitian.....	20
8. Penentuan kuadran untuk nilai SIGNAL 2.	29
9. Kepadatan makrozoobentos pada setiap stasiun.	42
10. Jenis makroobentos yang ditemukan.....	45
11. Hubungan nilai SIGNAL 2 dan jumlah famili pada setiap stasiun	51
12. Kurva biplot kepadatan makrozoobentos dan parameter fisika kimia di hilir Sungai Way Sukamaju.....	53

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Nilai kepadatan makrozoobentos	66
2. Nilai SIGNAL 2 dan jumlah famili makrozoobentos	67
3. Tabel nilai toleransi FBI.....	69
4. Tabel nilai toleransi SIGNAL 2	72
5. Hasil analisis PCA.....	74
6. Makrozoobentos yang ditemukan di hilir Sungai Way Sukamaju, Teluk Betung Timur.....	75

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai merupakan suatu bentuk ekosistem akuatik yang mempunyai peran penting dalam daur hidrologi dan berfungsi sebagai daerah tangkapan air (*catchment area*) bagi daerah di sekitarnya, sehingga kondisi suatu sungai sangat dipengaruhi oleh karakteristik yang dimiliki oleh lingkungan sekitar (Setiawan, 2009). Pada umumnya sungai dimanfaatkan oleh masyarakat untuk berbagai keperluan dan kegiatan, seperti perikanan, pertanian, keperluan rumah tangga, industri dan transportasi (Desinawati, 2018).

Daerah aliran sungai (DAS) Way Sukamaju terletak di Kelurahan Keteguhan, Kecamatan Teluk Betung Timur, Bandar Lampung. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kota Bandar Lampung, Sungai Way Sukamaju memiliki panjang $\pm 9,25$ km. Sebagian besar penduduk terutama yang berada di sepanjang DAS masih menggunakan aliran Sungai Way Sukamaju untuk berbagai keperluan, seperti MCK, kegiatan industri, dan berbagai aktivitas antropogenik lainnya. Dengan adanya pemanfaatan sungai tersebut dapat dihasilkan limbah yang terbuang langsung ke lingkungan perairan sehingga dapat memberikan dampak negatif serta menurunkan kualitas dan nilai guna dari air sungai. Limbah yang dihasilkan dari masyarakat sekitar aliran Sungai Way Sukamaju merupakan limbah domestik serta limbah industri pembuatan tempe dan pematangan ayam. Penurunan kualitas perairan akan berdampak pada kehidupan biota air, salah satunya perubahan pola struktur komunitas makrozoobentos, misalnya perubahan jumlah komposisi, kelimpahan, dan keanekaragamannya. Komunitas makrozoobentos dapat digunakan sebagai pendekatan dalam menduga kualitas perairan

perairan tempat organisme itu berada. Menurut Hutapea (2006), makrozoobentos dapat digunakan sebagai indikator biologis di suatu perairan karena hewan ini mempunyai habitat hidup relatif tetap, pergerakannya terbatas, serta kemampuannya untuk mengakumulasi bahan pencemar di dalam tubuhnya.

Makrozoobentos merupakan kelompok bentos hewan yang memiliki ukuran ≥ 1 mm yang sebagian atau seluruh hidupnya berada di dasar perairan, baik yang sesil, merayap, ataupun menggali lubang (Karepesina, 2018). Jenis dan ukuran populasi makrozoobentos yang mendiami perairan dipengaruhi oleh kondisi fisika dan kimia perairan tersebut karena keduanya saling berinteraksi sehingga jenis yang ditemukan pada suatu perairan dapat menggambarkan kondisi perairan tersebut. Cara hidup makrozoobentos yang cenderung menetap dan lama hidup yang relatif panjang menyebabkan biota ini tidak dapat menghindar apabila terjadi perubahan lingkungan sehingga dapat digunakan untuk menduga kondisi perairan dalam jangka waktu yang relatif lama (Setiawan, 2009). Menurut Efrizal (2007), pencemaran yang terjadi di perairan Sungai Sail Pekanbaru mengakibatkan tidak meratanya sebaran individu dan ditemukan dominansi jenis makrozoobentos. Adapun penelitian Setiawan (2009), di perairan hilir Sungai Lematang, Kabupaten Lahat menunjukkan bahwa pencemaran bahan organik yang tinggi mengakibatkan struktur komunitas makrozoobentos tidak stabil.

Penurunan kualitas perairan akibat masukan limbah dari aktivitas masyarakat sekitar aliran Sungai Way Sukamaju berdampak pada perubahan kondisi fisik, kimia, dan biologis perairan. Perubahan ini menyebabkan kerusakan habitat dan penurunan keanekaragaman organisme yang hidup di perairan, termasuk komunitas makrozoobentos. Struktur komunitas makrozoobentos sangat penting karena dapat memberikan informasi status kualitas air, apakah terjadi pencemaran atau tidak. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian untuk mempelajari hubungan struktur komunitas makrozoobentos terhadap kualitas air di aliran Sungai Way Sukamaju, Teluk Betung Timur, Bandar Lampung.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

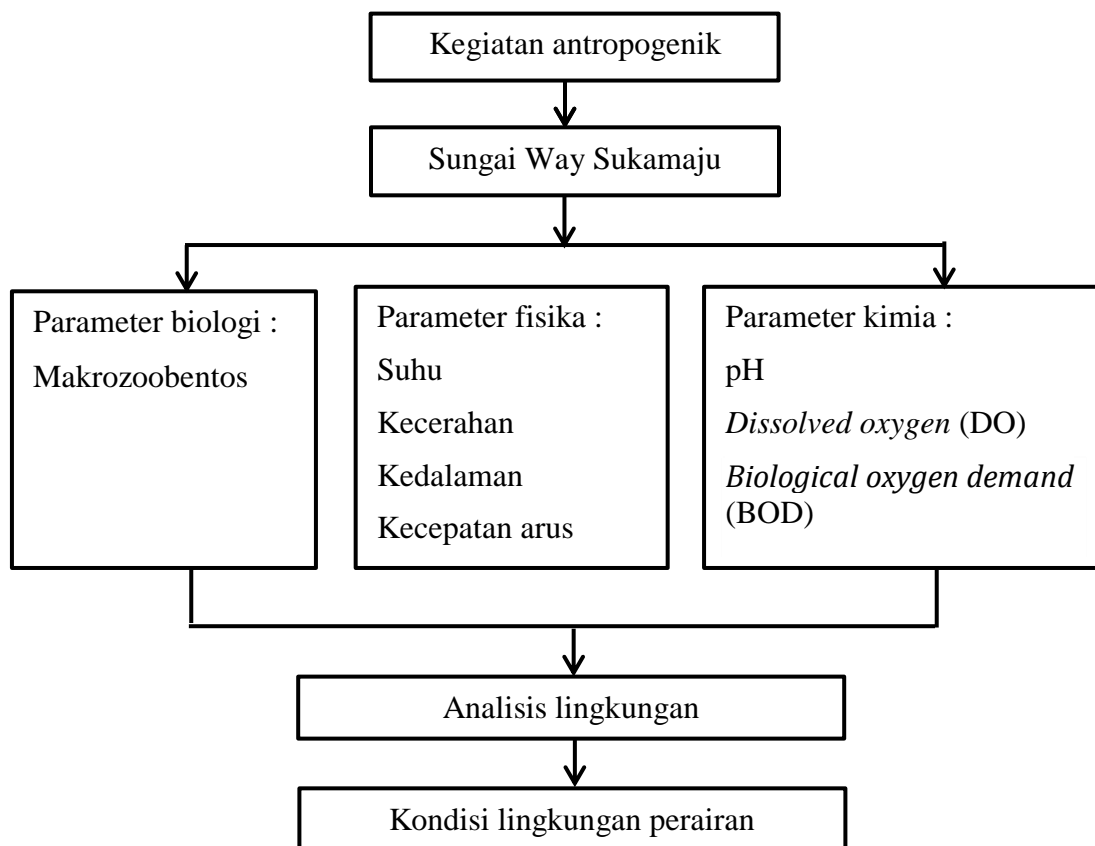
- (1) Mengkaji kondisi kualitas air berdasarkan struktur komunitas makrozoobentos di hilir Sungai Way Sukamaju, Teluk Betung Timur, Bandar Lampung.
- (2) Menganalisis hubungan faktor fisika dan kimia perairan dengan keberadaan makrozoobentos di hilir Sungai Way Sukamaju, Teluk Betung Timur, Bandar Lampung.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai kualitas perairan sungai berdasarkan makrozoobentos sebagai dasar dalam pengelolaan DAS Way Sukamaju, Teluk Betung Timur, Bandar Lampung.

1.4 Kerangka Pemikiran Penelitian

Sungai merupakan bagian lingkungan yang paling cepat mengalami perubahan jika terdapat berbagai macam aktivitas di sekitarnya. Limbah domestik (limbah rumah tangga) dan limbah industri (limbah pembuatan tempe dan pemotongan ayam) yang dihasilkan dari berbagai aktivitas masyarakat sekitar aliran Sungai Way Sukamaju yang langsung dibuang ke sungai dapat mengubah kualitas perairan. Perubahan kualitas perairan berpengaruh terhadap keberadaan jenis dan jumlah biota perairan. Salah satu biota perairan yang mempunyai peranan penting sebagai indikator pencemaran perairan adalah makrozoobentos. Secara ringkas uraian kerangka pemikiran penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pemikiran penelitian

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ekosistem Sungai

Sungai merupakan suatu bentuk ekosistem akuatik yang mempunyai peran penting dalam daur hidrologi dan berfungsi sebagai daerah tangkapan air (*catchment area*) bagi daerah di sekitarnya, sehingga kondisi suatu sungai sangat dipengaruhi oleh karakteristik yang dimiliki oleh lingkungan sekitar (Setiawan, 2009). Komponen pada ekosistem sungai akan terintegrasi satu sama lainnya dan membentuk suatu aliran energi yang akan mendukung stabilitas ekosistem tersebut (Setiawan, 2009). Sungai merupakan perairan mengalir (lotik) yang dicirikan oleh arus yang searah dan relatif kencang, dengan kecepatan berkisar 0,1 – 1,0 m/detik, serta sangat dipengaruhi oleh waktu, iklim, bentang alam (topografi dan kemiringan), jenis batuan dasar dan curah hujan, semakin besar ukuran batuan dasar dan semakin banyak curah hujan, pergerakan air semakin kuat dan kecepatan arus semakin cepat (Barus, 2004).

Sungai merupakan salah satu bentuk ekosistem lotik (perairan mengalir) yang berfungsi sebagai media atau tempat hidup organisme makro maupun mikro, baik yang menetap maupun yang dapat berpindah-pindah (Maryono, 2005). Sungai merupakan salah satu sumber daya alam yang mempunyai berbagai fungsi bagi kehidupan dan penghidupan manusia. Fungsi sungai yaitu sebagai sumber air minum, sarana transportasi, sumber irigasi, perikanan dan lain sebagainya. Aktivitas manusia inilah yang menyebabkan sungai menjadi rentan terhadap pencemaran air dan dapat menyebabkan penurunan kualitas lingkungan (Soemarwoto, 2003).

Menurut Barus (2004), berdasarkan letak dan kondisinya perairan sungai dibagi menjadi 3 bagian yaitu:

- a. Hulu sungai, terletak di daerah dataran tinggi, mengalir melalui bagian yang curam, dangkal, berbatu, arus deras, volume air kecil, kandungan oksigen terlarut tinggi, suhu rendah, warna air jernih, dan mempunyai populasi ikan sedikit dibandingkan dengan hilir.
- b. Hilir sungai, terletak di dataran rendah, arus tidak begitu kuat, volume air besar, kecepatan fotosintesis tinggi, dan banyak mengandung pupuk organik. Pada umumnya bagian hilir lebih lebar, tebing curam atau landai, keruh, aliran air lambat, dan populasi jenis ikan di dalamnya banyak, tetapi kurang bervariasi dibandingkan dengan bagian muara sungai.
- c. Muara sungai, terletak hampir mencapai laut atau pertemuan sungai-sungai lain, arus lambat, volume besar, banyak mengandung bahan terlarut, lumpur dari hilir membentuk delta, dan warna air keruh.

Menurut Rizali *et al.*, (2002), berdasarkan kecepatan arusnya, aliran air (sungai) dibagi menjadi 2 zona utama, yaitu:

- a. Zona air deras adalah daerah yang dangkal dimana kecepatan arus cukup tinggi untuk menyebabkan dasar sungai bersih dari endapan dan materi lain yang lepas, sehingga dasarnya padat. Zona ini dihuni oleh bentos yang beradaptasi yang dapat melekat atau berpegang dengan kuat pada dasar yang padat, serta ikan yang kuat berenang. Zona ini umumnya terdapat pada hulu sungai di daerah pegunungan atau dataran tinggi.
- b. Zona air tenang adalah bagian sungai yang dalam dimana kecepatan arus sudah berkurang, maka lumpur dan materi lepas cenderung mengendap di dasar, sehingga dasarnya lunak, tidak sesuai untuk bentos permukaan tetapi cocok untuk nekton dan plankton. Zona ini banyak dijumpai pada daerah yang landai.

2.2 pencemaran Perairan

Pencemaran perairan merupakan proses masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu air limbah yang telah ditetapkan (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 1 Tahun 2010). Sumber pencemaran air sungai dapat dibedakan menjadi sumber domestik dan sumber nondomestik, yang termasuk ke dalam sumber domestik adalah perkampungan, kota, pasar, jalan, perhotelan, terminal dan rumah sakit, sementara yang masuk dalam sumber nondomestik adalah pabrik, industri, pertanian, peternakan, dan perikanan (Kenjibriel, 2015). Sumber bahan pencemar yang masuk ke perairan dapat berasal dari buangan yang diklasifikasikan sebagai berikut (Maradjabessy, 2014):

1. *Point source discharges* (sumber titik), berasal dari sumber pencemar yang dapat diketahui secara pasti dapat berupa suatu lokasi, seperti air limbah industri maupun domestik serta saluran drainase.
2. *Non point source* (sumber menyebar), berasal dari sumber yang tidak diketahui secara pasti. Pencemar masuk ke perairan melalui *run off* (limpasan) dari wilayah pertanian, pemukiman, dan perkotaan.

Tekanan karena buangan bahan organik pada suatu perairan mengakibatkan terjadinya pembatasan variasi makrozoobentos, yang berarti hanya beberapa jenis saja yang mampu hidup dalam kondisi tersebut. Perairan yang tercemar akan memengaruhi kelangsungan hidup organisme makrozoobentos karena makrozoobentos merupakan biota air yang mudah terpengaruh oleh adanya bahan pencemar, baik bahan pencemar kimia maupun fisik. Hal ini disebabkan makrozoobentos pada umumnya tidak dapat bergerak dengan cepat dan habitatnya di dasar yang umumnya tempat bahan tercemar (Handayani, 2001). Perubahan sifat substrat dan penambahan pencemaran akan berpengaruh terhadap kelimpahan dan keanekaragamannya. Suatu perairan yang sehat (belum tercemar) akan menunjukkan jumlah individu yang seimbang dari hampir jumlah spesies yang ada. Sebaliknya, suatu perairan tercemar memiliki penyebaran

jumlah individu yang tidak merata dan cenderung ada spesies yang mendominasi dalam suatu perairan tersebut (Setiawan, 2009).

2.3 Makrozoobentos

Makrozoobentos merupakan kelompok bentos hewan yang memiliki ukuran ≥ 1 mm yang sebagian besar atau seluruh hidupnya berada di dasar perairan, hidup secara sessil, merayap atau menggali lubang dan sering digunakan untuk menduga ketidakseimbangan lingkungan fisik, kimia, dan biologi suatu badan perairan (Mushtofa *et al.*, 2014). Perairan yang tercemar akan memengaruhi kelangsungan hidup makrozoobentos karena makrozoobentos merupakan organisme air yang mudah terpengaruh oleh adanya bahan pencemar, baik bahan pencemar fisik maupun kimia (Silaban, 2014).

Makrozoobentos memiliki peranan penting dalam perairan, terutama dalam struktur rantai makanan dan struktur rantai aliran energi, dimana dalam suatu ekosistem sungai, makrozoobentos bertindak sebagai konsumen primer (*herbivor*) dan konsumen sekunder (*karnivor*). Berdasarkan ukurannya, Fachrul (2007) membagi bentos atas tiga kelompok, yaitu :

1. Mikrobentos merupakan kelompok bentos yang memiliki ukuran $\leq 0,1$ mm dan menjadikannya termasuk organisme terkecil, contohnya protozoa.
2. Mesobentos merupakan kelompok bentos yang memiliki ukuran antara 0,1–1 mm dan kelompok organisme yang dapat ditemukan di pasir atau lumpur, contohnya moluska dan cacing.
3. Makrobentos merupakan kelompok bentos yang memiliki ukuran ≥ 1 mm sehingga termasuk bentos terbesar dan dapat dengan mudah dilihat dengan kasat mata, contohnya krustasea.

Menurut Upikoh (2008) makrozoobentos dapat dibagi menjadi dua golongan berdasarkan cara makannya, yaitu :

- a. Pemakan suspensi (*suspension feeder*), yaitu kelompok bentos yang menyaring partikel-partikel detritus yang masih melayang-layang di perairan, misalnya: kerang.

b. Pemakan deposit (*deposit feeder*), yaitu kelompok bentos yang memiliki sifat mengumpulkan detritus yang telah mengendap di dasar perairan, misalnya: siput.

Handayani (2001), mengklasifikasikan makrozoobentos ke dalam lima kelompok berdasarkan cara makannya, yaitu: hewan pemangsa, hewan penggali, hewan pemakan detritus yang mengendap di permukaan, hewan yang menelan makanan pada dasar dan hewan yang sumber bahan makannya dari atas permukaan.

2.3.1 Komposisi Makrozoobentos

Hewan makrozoobentos yang umumnya berada di air tawar terdiri dari beberapa hewan dalam filum moluska, arthropoda, insekta, dan lain-lain.

a. Filum Moluska

1. Kelas Gastropoda

Gastropoda merupakan kelas dari filum moluska yang paling tinggi menduduki berbagai macam habitat, biasanya hewan gastropoda memiliki kepala jelas lengkap dengan tentakel dan mata, mempunyai cangkang berbentuk kerucut spiral yang terdiri dari 4 lapisan, alat pernafasan berupa insang, paru-paru atau keduanya, gastropoda memiliki alat kelamin jantan dan alat kelamin betina atau hermafrodit (Mukayat, 1989).



Gambar 2. *Lymnaea stagnalis* (Sumber: plantsam.com)

2. Kelas Bivalvia

Secara umum kelas ini meliputi remis, tiram dan bangsa kepal lainnya. Hewan ini mempunyai kaki berbentuk pipih seperti kapak untuk membuat lubang, cangkoknya terdiri atas dua bagian yang dihubungkan dengan semacam engsel, pelecypoda memiliki alat pernafasan berupa insang (Suwignyo, 2005).



Gambar 3. *Pilsbryconcha exilis*
Sumber : Graf (2002).

b. Filum Arthropoda

1. Kelas Krustasea

Secara umum tubuh krustasea terdiri atas dua bagian, yaitu kepala dada yang menyatu (sefalotoraks) dan perut atau badan belakang (abdomen), bagian sefarotoraks dilindungi oleh kulit keras yang disebut karapas dan 5 pasang kaki yang terdiri dari 1 pasang kaki capit (keliped) dan 4 pasang kaki jalan. Selain itu, di sefarotoraks juga terdapat sepasang antena, rahang atas, dan rahang bawah (Adun, 2013).



Gambar 4. *Parathelphusa convexa*
Sumber : De Man (1987).

2. Kelas Insekta

Kelas insekta merupakan satu-satunya kelompok avertebrata yang memiliki sepasang sayap dan bisa terbang. Beberapa spesies insekta dapat hidup di air tawar, terutama pada fase muda dari proses metamorfosisnya. Tubuh dari kelas insekta dapat dibagi menjadi 3 bagian, di antaranya bagian kepala, bagian dada dan bagian perut. Kepala dilengkapi sepasang antena dengan 3 pasang alat mulut primitif serupa rahang. Pada larva insekta air memiliki alat pernafasan berupa insang trakea, sedangkan pada insekta dewasa alat pernafasan berupa trakea (Mukayat , 1989).



Gambar 5. *Hydropsychidae*

Sumber: John Van Der (2013).

c. Filum Annelida

Hewan ini umumnya hidup di laut, sebagian juga ditemukan di sungai dan danau (air tawar) dan sebagian lainnya ditemukan di darat (terrestrial), hewan ini memiliki bentuk tubuh yang pipih, bernapas menggunakan permukaan tubuhnya, pada ujung anterior terdapat mulut hisap yang dilengkapi 3 buah rahang. Ukuran tubuh pada kelas ini sebagian besar berukuran 5-10 cm (Suwignyo, 2005).



Gambar 6. *Hirudinae*

Sumber: Arnarson (2008).

2.4 Struktur Komunitas Makrozoobentos

Irina (2006) menyatakan bahwa struktur komunitas memiliki 5 karakteristik, yaitu keanekaragaman, dominansi, bentuk dan struktur pertumbuhan, kelimpahan relatif serta struktur trofik. Pada saat mengamati keadaan lingkungan perairan, konsep komunitas digunakan karena komposisi dan karakter pada komunitas merupakan indikator yang cukup baik untuk mengkaji kondisi lingkungan tempat komunitas tersebut berada. Menurut (Rafni, 2004), komunitas makrozoobentos dapat menerima respon terhadap perubahan lingkungan, sehingga umumnya dapat dilakukan untuk menduga pengaruh dari berbagai aktivitas yang dilakukan oleh manusia, seperti industri, pertanian, dan tata guna lahan. Perubahan komunitas makrozoobentos secara umum disebabkan oleh masuknya bahan organik, bahan kimia, dan perubahan pada substrat dasar. Selain itu, komunitas makrozoobentos dipengaruhi oleh kondisi lingkungan.

Struktur komunitas makrozoobentos mempunyai 3 unsur pokok, yaitu jumlah macam spesies, jumlah individu dalam masing-masing, dan total individu dalam komunitas. Pada umumnya komunitas mempunyai struktur spesies yang khas, yang terdiri dari beberapa spesies yang berlimpah jumlahnya dan sejumlah besar spesies yang masing-masing jumlah individunya sedikit (Ayu, 2009). Struktur komunitas tidak hanya mempunyai kesatuan fungsional tertentu dengan struktur trofik dan pola arus energi yang khas, tetapi juga mempunyai kesatuan komposisional dimana terdapat peluang bahwa jenis tertentu akan mendapat peluang untuk muncul atau hidup berdampingan. Komunitas dapat disebut dan diklasifikasikan menurut (1) bentuk atau sifat struktur utama seperti jenis dominan, (2) habitat fisik dari komunitas atau (3) sifat-sifat fungsional seperti misalnya tipe metabolisme komunitas (Rahman 2009).

2.5 Makrozoobentos sebagai Indikator Kualitas Air

Makrozoobentos dikatakan dapat menjadi bioindikator terhadap kerusakan lingkungan karena makrozoobentos mempunyai sifat hidup yang relatif menetap. Makrozoobentos yang menetap pada substrat perairan akan menerima langsung adanya perubahan kualitas perairan. Suatu perairan yang sehat ditandai dengan melimpahnya

jumlah individu yang seimbang dari semua spesies yang ada (Iriana, 2006). Adapun makrozoobentos yang dijadikan sebagai indikator kualitas air seperti pada Tabel 1.

Table 1. Makrozoobentos sebagai indikator kualitas air

Tingkat cemaran	Makrozoobentos indikator
1. Tidak tercemar	tricoptera (sericosmatidae, lepidosmatidae, glossomatidae); planaria
2. Tercemar ringan	plecoptera (perlidae, peleodidae); ephemeroptera (leptophlebiidae, pseudocloeon, ecdyonuridae, caebidae); trichoptera (hydropschydae, psychomydae); odonata (gomphidae, plarycnematidae, agriidae, aeshnidae); coleoptera (elminthidae)
3. Tercemar sedang	mollusca (bivalvia, pulmonata /gastropoda); crustacea (gammaridae); odonata (libellulidae, cordulidae)
4. Tercemar	hirudinae (glossiphonidae, hirudinae); hemiptera
5. Tercemar agak berat	oligochaeta (tubificidae); syrphidae; diptera (chironomus thummiplumosus)
6. Sangat tercemar	tidak terdapat makrozoobentos

Sumber: Trihadiningrum dan Tjondronegoro (1998) *dalam* Wardhana (2006).

Menurut Fachrul (2007), daya toleransi bentos terhadap pencemaran bahan organik dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu sebagai berikut:

a. Jenis intoleran

Jenis intoleran memiliki kisaran toleransi yang rendah terhadap pencemaran dan tidak tahan terhadap tekanan lingkungan, sehingga hanya hidup dan berkembang di perairan yang belum atau sedikit tercemar. Contohnya adalah beberapa famili dari ordo tricoptera, ordo ephemeroptera, dan ordo plecoptera.

b. Jenis toleran

Jenis toleran mempunyai daya toleran yang tinggi, sehingga dapat berkembang mencapai kepadatan tertinggi dalam perairan yang tercemar berat. Oleh karena itu, untuk mengetahui kehadiran atau ketidakhadiran organisme pada lingkungan perairan digunakan indikator yang menunjukkan tingkat atau derajat kualitas suatu habitat. Contohnya adalah cacing dari famili tubificidae.

c. Jenis fakultatif

Jenis fakultatif dapat bertahan hidup terhadap lingkungan antara perairan yang belum tercemar sampai dengan tercemar sedang dan masih dapat hidup pada perairan yang tercemar berat. Contohnya adalah ordo odonata, kelas gastropoda, filum krustasea.

Menurut Barus (2004), ada beberapa alasan dalam pemilihan bentos sebagai indikator kualitas di ekosistem air, yaitu:

- a. Pergerakannya yang sangat terbatas sehingga memudahkan dalam pengambilan sampel.
- b. Ukuran tubuh relatif besar sehingga mudah untuk diidentifikasi.
- c. Hidup di dasar perairan serta relatif diam sehingga secara terus menerus terdedah oleh kondisi air sekitarnya.
- d. Proses yang terjadi terus-menerus mengakibatkan bentos sangat terpengaruh oleh berbagai perubahan lingkungan yang memengaruhi kondisi air tersebut.
- e. Perubahan faktor-faktor lingkungan ini akan memengaruhi keanekaragaman komunitas bentos.

2.6 Faktor Fisika yang Memengaruhi Komunitas Makrozoobentos

2.6.1 Suhu

Suhu merupakan parameter fisik yang sangat memengaruhi pola kehidupan organisme perairan, seperti kepadatan komposisi, kelimpahan, dan mortalitas. Suhu juga menyebabkan kenaikan metabolisme organisme perairan, sehingga kebutuhan oksigen terlarut menjadi meningkat (Taqwa *et al.*, 2010). Aktivitas makrozoobentos membutuhkan suhu optimum yang berbeda-beda. Pada setiap kenaikan suhu sebesar 10°C, maka akan meningkatkan proses dekomposisi dan konsumsi oksigen menjadi 2-3 kali lipat (Effendi, 2003).

Suhu sangat memengaruhi laju pertumbuhan dan kelangsungan hidup hewan-hewan akuatik. Hewan-hewan akuatik sangat sensitif terhadap perubahan suhu yang terjadi. Peningkatan suhu dapat disebabkan oleh perbedaan waktu, lintang, ketinggian dari

permukaan laut, sirkulasi udara, dan kedalaman air (Salim *et al.*, 2017). Secara umum daerah hulu mempunyai fluktuasi suhu tahunan yang paling kecil, kemudian sepanjang aliran sungai menuju hilir fluktuasi suhu tahunan akan semakin besar. Suhu yang layak untuk kehidupan organisme air tawar berkisar antara 20-30°C dengan suhu optimum berkisar antara 25-28°C. Suhu yang tidak melebihi 30°C tidak akan berpengaruh drastis terhadap kelangsungan hidup makrozoobentos (Iskandar, 2002).

2.6.2 Kecerahan

Kecerahan merupakan ukuran transparansi perairan yang ditentukan secara visual dengan menggunakan *Secchi disk* (Effendi, 2003). Kecerahan air bergantung pada warna dan kekeruhan. Di samping itu, nilai kecerahan sangat dipengaruhi oleh keadaan cuaca, waktu pengukuran, kekeruhan, dan padatan tersuspensi. Kecerahan berbanding terbalik dengan kekeruhan, kekeruhan akan mengurangi penetrasi cahaya matahari ke dalam kolom air sehingga menurunkan aktivitas fotosintesis fitoplankton. Hal ini menyebabkan produktivitas perairan menurun dan memberikan pengaruh langsung terhadap kehidupan makrozoobentos di suatu perairan (Siallagan *et al.*, 2014).

Faktor cahaya matahari yang masuk ke dalam air akan memengaruhi sifat-sifat optis dari air. Menurut Nuriya *et al.*, (2010) sebagian cahaya matahari tersebut akan diabsorpsi dan sebagian lagi akan dipantulkan ke luar dari permukaan air. Tingkat kecerahan air dapat dipengaruhi oleh 2 faktor utama, yaitu warna dan kekeruhan. Kecerahan air dapat memberikan petunjuk sejauh mana cahaya matahari dapat menembus di dalam air. Cahaya matahari yang masuk menembus air berperan penting bagi mikroorganisme yang membutuhkan oksigen dari hasil fotosintesis tanaman air untuk merombak bahan buangan yang masuk ke air. Bagi organisme air, kecerahan dalam suatu perairan berfungsi sebagai alat orientasi yang akan mendukung kehidupan organisme tersebut dalam habitatnya (Barus, 2004).

2.6.3 Kedalaman

Secara umum beberapa jenis dari makrozoobentos dapat ditemukan pada kedalaman yang berbeda (Ratih *et al.*, 2016). Kedalaman perairan yang berbeda akan memberikan pengaruh yang berbeda pula terhadap jenis dan kelimpahan makrozoobentos. Kebanyakan organisme bentik di danau, penyebarannya lebih besar dari 5% berada pada kedalaman 10 cm dari permukaan substrat, pada perairan yang mempunyai arus yang relatif sama (Silalahi, 2001).

Perairan dangkal cenderung memiliki keanekaragaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan perairan yang lebih dalam. Pada kondisi perairan yang dangkal, intensitas cahaya matahari dapat menembus seluruh badan air sehingga mencapai dasar perairan, daerah dangkal biasanya memiliki variasi habitat yang lebih besar daripada daerah yang lebih dalam sehingga cenderung mempunyai makrozoobentos yang beraneka ragam dan interaksi kompetisi lebih kompleks. Pada musim hujan perairan cenderung lebih dalam jika dibandingkan dengan saat musim kemarau. Hal tersebut dapat memengaruhi kepadatan makrozoobentos di dasar suatu perairan (Minggawati, 2013).

2.6.4 Kecepatan Arus

Sungai dialirkan oleh arus yang rendah dan relatif kencang, dengan kecepatan berkisar antara 0,1-1,0 m/s serta sangat dipengaruhi oleh waktu, iklim, dan pola drainase. Kecepatan arus, erosi, dan sedimentasi merupakan fenomena yang biasa terjadi di sungai sehingga kehidupan flora dan fauna sangat dipengaruhi oleh ketiga variabel tersebut. Kecepatan aliran air yang mengalir beragam dari permukaan ke dasar. Arus akan paling lambat bila makin dekat ke dasar. Perubahan kecepatan air seperti itu tercermin dalam modifikasi yang diperlihatkan oleh organisme yang hidup dalam air mengalir yang kedalamannya berbeda (Bondar, 2017).

Arus mempunyai peranan yang sangat penting terutama pada perairan mengalir (lotik). Hal ini berhubungan dengan penyebaran organisme air, gas-gas terlarut, dan mineral yang terdapat di dalam air (Barus, 2004). Kecepatan arus memengaruhi

keberadaan dan komposisi makrozoobentos serta secara tidak langsung memengaruhi substrat dasar perairan. Sungai dengan arus yang cepat, substrat dasarnya terdiri dari batuan dan kerikil, sedangkan sungai dengan arus air yang lambat substrat dasarnya terdiri dari pasir atau lumpur. Sungai dikelompokkan menjadi sungai berarus sangat cepat (>1 m/detik), arus cepat (0,5-1 m/detik), arus sedang (0,25-0,5 m/detik), arus lambat (0,1-0,25 m/detik) dan sungai berarus sangat lambat ataupun memiliki kecepatan arus rendah (0,1 m/detik) (Setiawan, 2008).

2.7 Faktor Kimia yang Memengaruhi Komunitas Makrozoobentos

2.7.1 Derajat Keasaman (pH)

Setiap organisme perairan mempunyai kemampuan yang berbeda-beda dalam menoleransi pH perairan. Batas toleransi organisme terhadap pH bervariasi dan dipengaruhi banyak faktor antara lain suhu, oksigen terlarut, alkalinitas, adanya berbagai anion dan kation, serta jenis dan stadia organisme (Bondar, 2017). Jika keasaman tanah berlebihan, dapat mengakibatkan tanah sangat peka terhadap proses biologi, misalnya proses dekomposisi bahan organik oleh makrozoobentos (Arief, 2003).

Menurut Handayani (2001), kisaran nilai pH yang ideal bagi kehidupan organisme perairan pada umumnya antara 7–8,5. Siradz *et al.* (2008) menyatakan bahwa nilai pH berpengaruh langsung pada keanekaragaman dan distribusi organisme serta berpengaruh juga pada beberapa reaksi kimia alami yang terjadi di lingkungan perairan. Kondisi perairan yang sangat basa maupun yang sangat asam akan membahayakan kelangsungan hidup organisme karena akan menyebabkan terjadinya gangguan metabolisme dan respirasi. Makrozoobentos mempunyai kenyamanan kisaran pH yang berbeda-beda. Sebagai contoh, gastropoda lebih banyak ditemukan pada perairan dengan pH di atas 7, sedangkan kelompok insekta banyak ditemukan pada kisaran pH 4,5 - 8,5.

2.7.2 Dissolved Oxygen (DO)

Dalam ekosistem perairan oksigen terlarut merupakan salah satu faktor yang sangat penting yaitu untuk respirasi sebagian besar organisme air. Kelarutan oksigen di dalam air sangat dipengaruhi temperatur, dimana kelarutan maksimum oksigen di dalam air pada temperatur 0° C sebesar 14,16 mg/l O₂, kelarutan ini akan menurun jika temperatur air meningkat. Nilai oksigen terlarut di perairan sebaiknya berkisar antara 6-8 mg/l, makin rendah nilai DO maka makin tinggi tingkat pencemaran ekosistem tersebut (Barus, 2004). Kisaran toleransi makrozoobentos terhadap oksigen terlarut berbeda-beda, organisme akuatik dapat bertahan jika ada oksigen terlarut minimum sebanyak 5 mg/l, selebihnya bergantung pada ketahanan organisme, derajat keaktifan, kehadiran pencemaran, dan temperatur (Barus, 2004).

Oksigen terlarut di dalam perairan dapat berasal dari proses fotosintesis tanaman air, dimana jumlahnya tidak tetap bergantung dari jumlah tanamannya dan dari atmosfer (udara) yang masuk ke dalam air. Kehidupan makhluk hidup di dalam air bergantung pada kemampuan air untuk mempertahankan konsentrasi oksigen minimal yang dibutuhkan untuk kehidupannya, konsentrasi oksigen terlarut yang terlalu rendah akan mengakibatkan biota perairan yang membutuhkan oksigen akan mati. Menurut Barus (2004), nilai DO yang berkisar di antara 5,45 – 7,00 mg/l cukup bagi proses kehidupan biota perairan, semakin rendah nilai oksigen terlarut menandakan perairan tersebut semakin tercemar. Konsentrasi oksigen terlarut yang masih dapat mendukung kehidupan organisme akuatik secara normal tidak kurang dari 2 mg/l.

2.7.3 Biological Oxygen Demand (BOD)

Salah satu indikator pencemaran yang umum digunakan dalam kualitas suatu perairan adalah pengukuran BOD. *Biological oxygen demand* (BOD) merupakan nilai yang menyatakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme aerob dalam proses penguraian yang diukur pada suhu 20° C (Siallagan *et al.*, 2014). Faktor-faktor yang memengaruhi pengukuran BOD adalah jumlah senyawa organik yang akan diuraikan, adanya mikroorganisme aerob yang mampu menguraikan senyawa organik

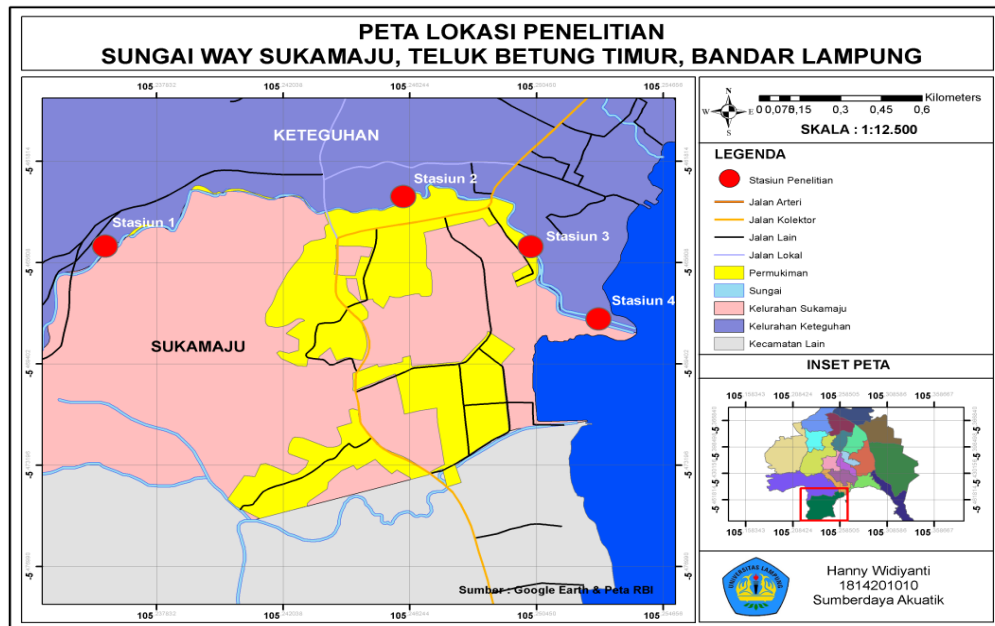
tersebut, dan tersedianya sejumlah oksigen yang dibutuhkan dalam proses penguraian itu (Barus, 2004).

Semakin tinggi nilai BOD menunjukkan semakin tingginya aktivitas organisme untuk menguraikan bahan organik atau dapat dikatakan semakin besarnya kandungan bahan organik di suatu perairan tersebut. Oleh karena itu, tingginya kadar BOD dapat mengurangi jumlah oksigen terlarut dalam air lingkungan, maka kemampuan bakteri aerobik untuk memecah bahan buangan organik juga menurun. Apabila oksigen yang terlarut sudah habis, maka bakteri aerobik dapat mati. Dalam keadaan seperti ini bakteri anaerobik akan mengambil alih tugas untuk memecah bahan buangan organik yang ada di dalam air lingkungan (Salmin, 2005).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Agustus - September 2022. Pengambilan sampel dilakukan di aliran Sungai Way Sukamaju, Kecamatan Teluk Betung Timur, Bandar Lampung. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 3 kali ke lapangan dengan selang 2 minggu sekali. Identifikasi makrozoobentos dilakukan di Laboratorium Produktivitas Lingkungan Perairan, Universitas Lampung. Pengukuran parameter fisika dan kimia perairan dilakukan langsung di perairan dan analisis BOD (*Biological oxygen demand*) dilakukan di UPTD Balai Laboratorium Kesehatan Daerah (Labkesda) Provinsi Lampung. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Peta lokasi penelitian

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Table 2. Alat dan bahan penelitian

No	Alat	Fungsi
1	Surber net	Mengambil sampel makrozoobentos pada substrat berbatu.
2	Ekman grab	Mengambil sampel makrozoobentos pada substrat berpasir dan berlumpur.
3	<i>Secchi disk</i>	Mengukur kecerahan perairan.
4	Refraktometer	Mengukur kadar salinitas perairan.
5	Termometer	Mengukur suhu perairan.
6	pH meter	Mengukur kadar pH perairan.
7	DO meter	Mengukur kosentrasi oksigen terlarut.
8	Botol sampel	Wadah sampel air.
9	Label	Digunakan untuk memberi tanda sampel.
10	<i>Cool box</i>	Digunakan untuk menyimpan sampel.
11	<i>Global positioning system (GPS)</i>	Menentukan titik koordinat.
12	Kamera	Alat dokumentasi.
13	<i>Roll meter</i>	Mengukur jarak antar stasiun penelitian.
14	Alat tulis	Mencatat data sampel.
15	Pipet tetes	Mengambil larutan dalam skala kecil.
16	Akuades	Digunakan untuk mengkalibrasi alat.
17	Tisu	Digunakan untuk membersihkan alat.
18	Formalin 4%	Mengawetkan sampel makrozoobentos.
19	Plastik <i>zip</i>	Digunakan untuk wadah sampel makrozoobentos.
20	Buku identifikasi makrozoobentos	Sebagai acuan pengidentifikasian sampel makrozoobentos.

3.3 Metode Penelitian

Penentuan stasiun penelitian menggunakan teknik *purposive sampling*, yaitu metode penentuan lokasi sampling dengan beberapa pertimbangan tertentu oleh peneliti (Fachrul, 2007). Lokasi pengambilan data dibagi menjadi 4 (empat) stasiun. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali dengan interval waktu 2 (dua) minggu. Penelitian ini dilakukan dengan 2 tahap yaitu tahap I merupakan pengukuran parameter secara *in situ* yaitu pengukuran beberapa parameter fisika dan kimia perairan seperti, suhu, kecerahan, kedalaman, kecepatan arus, pH, dan DO. Tahap ke II pengukuran parameter secara *ex situ* meliputi analisis sampel makrozoobentos dan BOD yang dilakukan di UPTD Balai Laboratorium Kesehatan Daerah (Labkesda) Provinsi Lampung.

3.3.1 Deskripsi Stasiun Penelitian

Stasiun I : Terletak di Desa Umbul Kunci, Teluk Betung Timur, dengan titik sampling pada koordinat $5^{\circ} 28'22,3''$ LS dan $105^{\circ} 13'35,8''$ LT. Daerah ini diduga masih sedikit masukan bahan pencemar.

Stasiun II : Terletak di Desa Keteguhan, Teluk Betung Timur, dengan titik sampling pada koordinat $5^{\circ} 33'29,07''$ LS dan $105^{\circ} 14'31,00''$ LT. Lahan di sekitar sungai diduga mendapatkan masukan limbah domestik (pemukiman warga) serta limbah pembuatan tempe dan pemotongan ayam (industri).

Stasiun III : Terletak di Desa Sukamaju, Teluk Betung Timur, dengan titik sampling pada koordinat $5^{\circ} 27'41,72''$ LS dan $105^{\circ} 14'57,39''$ LT. Lahan di sekitar sungai dipergunakan sebagai pemukiman warga dan diduga mendapatkan masukan limbah domestik dan MCK (pemukiman warga).

Stasiun IV : Terletak di hilir sungai yang merupakan daerah pertemuan dengan laut yang berada di Desa Sukamaju, Teluk Betung Timur, pada koordinat $5^{\circ} 28'03,90''$ LS dan $105^{\circ} 15'06,96''$ LT. Lahan sekitar muara merupakan wisata laut.

3.3.2 Pengambilan Sampel Makrozoobentos

Pengambilan makrozoobentos dilakukan di dalam transek kuadran dengan luasan 1x1 m². Alat bantu yang digunakan untuk mengambil makrozoobentos adalah surber net (stasiun 1,2 dan 3) ukuran 30x30 cm² dengan ukuran mata jaring 500 mikron, dan Ekman grab (stasiun 4). Pengambilan sampel menggunakan surber net dengan cara meletakkan jaring dengan bagian mulut jaring melawan arus aliran air, dan daerah yang dibatasi oleh alat ini dibersihkan (diaduk) sehingga bentos yang melekat pada dasar perairan dapat hanyut dan tertangkap oleh jaring. Pengambilan sampel makrozoobentos menggunakan Ekman grab dengan cara menurunkan secara perlahan agar posisi grab tetap berdiri sewaktu sampai pada permukaan dasar perairan. Pada saat penurunan alat, arah, dan kecepatan arus harus diperhitungkan supaya alat tetap konstan pada posisi titik sampling. Pengambilan sampel makrozoobentos dilakukan pada tiap-tiap stasiun yang ditentukan sebanyak 3 titik dan 3 kali pengulangan.

Sampel makrozoobentos yang diperoleh dibersihkan dengan air dan dimasukkan ke dalam plastik zip lalu diberi formalin 4% serta label pada masing-masing plastik. Sampel yang diperoleh diidentifikasi dengan acuan buku identifikasi makrozoobentos.

3.3.3 Pengukuran Parameter Kualitas Air

3.3.3.1 Suhu

Pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan alat termometer. Termometer dimasukkan ke badan air dan dibiarkan beberapa saat, lalu skala dari termometer tersebut dibaca dan dicatat hasil yang tertera pada skala termeter.

3.3.3.2 Kecerahan

Pengukuran kecerahan dilakukan dengan *secchi disk*. *Secchi disk* dimasukkan ke dalam perairan kemudian dilihat pada kedalaman berapa piringan yang berwarna hitam menghilang, dicatat hasilnya dan dilihat pula pada kedalaman berapa piringan yang berwarna putih hilang. Nilai kecerahan diperoleh dengan menghitung nilai:

$$K = \frac{H+P}{2}$$

Keterangan :

K : Kecerahan

H : Kedalaman piringan hitam tidak terlihat

P : Kedalaman piringan putih tidak terlihat

3.3.3.3 Kedalaman

Pengukuran kedalaman dilakukan dengan tongkat yang terlebih dahulu diberi skala ketinggiannya. Lalu setiap nilai yang diperoleh pada setiap titik pengamatan dicatat.

3.3.3.4 Derajat Keasaman (pH)

Pengukuran pH perairan dilakukan dengan pH meter yang dimasukkan ke dalam perairan, lalu dibaca nilainya dan dicatat hasil yang tertera pada skala pH meter.

3.3.3.5 Kecepatan Arus

Pengukuran kecepatan arus dilakukan dengan *current meter*. Pengukuran arus dimulai dengan merangkai alat *current meter*, kemudian *current meter* diturunkan ke dalam aliran air dengan kecepatan penurunan yang konstant dari permukaan dan setelah mencapai dasar sungai diangkat lagi ke atas dengan kecepatan yang sama, lalu dibaca nilainya dan dicatat hasil yang tertera.

3.3.3.6 Dissolved Oxygen (DO)

Pengukuran DO dilakukan dengan menggunakan DO meter. Pengukuran dengan memasukkan DO meter ke dalam perairan dan tunggu beberapa saat setelah nilainya muncul dicatat hasil yang tertera pada DO meter.

3.3.3.7 Biological Oxygen Demand (BOD)

Pengukuran BOD dilakukan dengan cara mengambil sampel air menggunakan botol terang, langkah pertama buka tutup botol terang, lalu memasukkan botol terang ke dalam air kemudian botol terang ditutup dalam keadaan botol masih di dalam air.

Langkah selanjutnya memasukkan botol sampel pada plastik hitam, agar terhindar dari sinar matahari, lalu sampel air diuji di UPTD Balai Laboratorium Kesehatan Daerah (Labkesda) Provinsi Lampung.

3.4 Analisis data

Data yang diperoleh dianalisis untuk mengetahui kepadatan makrozoobentos, indeks keanekaragaman, indeks keseragaman, indeks dominasi, *Family Biotic Index* (FBI), *Stream Invertebrate Grade Number Average Level 2* (SIGNAL 2). Persamaan yang digunakan untuk masing-masing analisis adalah sebagai berikut:

3.4.1 Kepadatan Makrozoobentos

Kepadatan makrozoobentos dapat diukur dengan menghitung jumlah individu per satuan luas (ind/m²) dengan persamaan (Brower dan Zar, 1977 dalam Sidik *et al.*, 2016):

$$K = \frac{b}{a}$$

Keterangan:

K : Indeks kepadatan (ind/m²)

a : Luas area (m²)

b : Jumlah individu yang ditemukan pada stasiun.

3.4.2 Indeks Keanekaragaman

Indeks keanekaragaman digunakan untuk mengetahui keanekaragaman jenis biota pada suatu perairan dengan persamaan Shannon-Weiner, (Efrizal, 2008) :

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i \log_2 p_i)$$

Keterangan: cari lagi keterangannya

H' : indeks keanekaragaman jenis

S : Jumlah jenis

p_i : Proporsi individu dari jenis ke-i terhadap keseluruhan populasi

Kategori nilai indeks keanekaragaman *Shanon-Wiener* (1949) dalam Wibisono (2011) mempunyai kisaran nilai tertentu yaitu sebagai berikut :

$H' < 1$: keanekaragaman rendah

$1 < H' < 3$: keanekaragaman sedang

$H' > 3$: keanekaragaman tinggi

3.4.3 Indeks Keseragaman

Keseragaman jenis makrozoobentos dapat diketahui dengan menggunakan indeks keseragaman dengan persamaan (Setyobudiandi *et al.*, 2009):

$$e = \frac{H'}{H_{\text{maks}}}$$

Dimana :

e : indeks keseragaman jenis

H' : indeks keanekaragaman jenis

H_{maks} : $\text{Log}_2 S = 3,3219 \text{ Log } S$

S : jumlah jenis yang tertangkap

Kategori nilai indeks keseragaman mempunyai kisaran nilai tertentu yaitu sebagai berikut :

$E < 0,4$: keseragaman rendah

$0,4 > E < 0,6$: keseragaman sedang

$E > 0,6$: keseragaman tinggi

3.4.4 Indeks Dominansi

Indeks dominansi digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya yang berdominan pada suatu jenis makrozoobentos tertentu, oleh karena itu digunakan indeks dominansi Simpson menggunakan persamaan (Odum, 1994 *dalam* Setyobudiandi *et al.*, 2009):

$$C = \sum_{i=1}^s p_i^2$$

Dimana :

C : Indeks dominansi

P_i : n_i/N

n_i : Jumlah individu ke- i

N : Jumlah total individu setiap jenis

Kriteria tingkat dominansi spesies berdasarkan indeks dominansi (C) adalah sebagai berikut :

Jika $C < 0,50$: Dominansi rendah

Jika $0,50 < C < 0,75$: Dominansi sedang

Jika $0,75 < C < 1,00$: Dominansi tinggi

3.4.5 Family Biotic Index (FBI)

Status kualitas perairan di aliran Sungai Way Sukamaju diketahui berdasarkan *Family Biotic Index* (FBI) menurut Hilsenhoff (1988), dengan persamaan sebagai berikut: :

$$\text{FBI} = \frac{\sum x_i x_{t_i}}{\sum N}$$

Keterangan :

FBI : Famili Biotik Indeks

N : jumlah total individu yang ditemukan

t_i : nilai toleransi dari masing-masing famili

x_i : jumlah individu spesies ke-i

Kondisi status kualitas air berdasarkan hasil perhitungan FBI mengikuti kriteria Tabel 3.

Tabel 3. Penggolongan kriteria kualitas air

Indeks	Kualitas air	Tingkat pencemaran
0,00-3,75	Paling baik	Tidak terpolusi bahan organik.
3,76-4,25	Sangat baik	Sedikit terpolusi bahan organik.
4,26-5,00	Baik	Terpolusi beberapa bahan organik.
5,01-5,75	Sedang	Terpolusi agak banyak bahan organik.
5,76-6,50	Agak buruk	Terpolusi banyak bahan organik.
6,51-7,25	Buruk	Terpolusi sangat banyak bahan organik.
7,26-10,00	Sangat buruk	Terpolusi berat bahan organik.

Sumber : Hilsenhoff (1988) dalam Hauer dan Lamberti (2007).

3.4.6 *Stream Invertebrate Grade Number Average Level 2 (SIGNAL 2)*

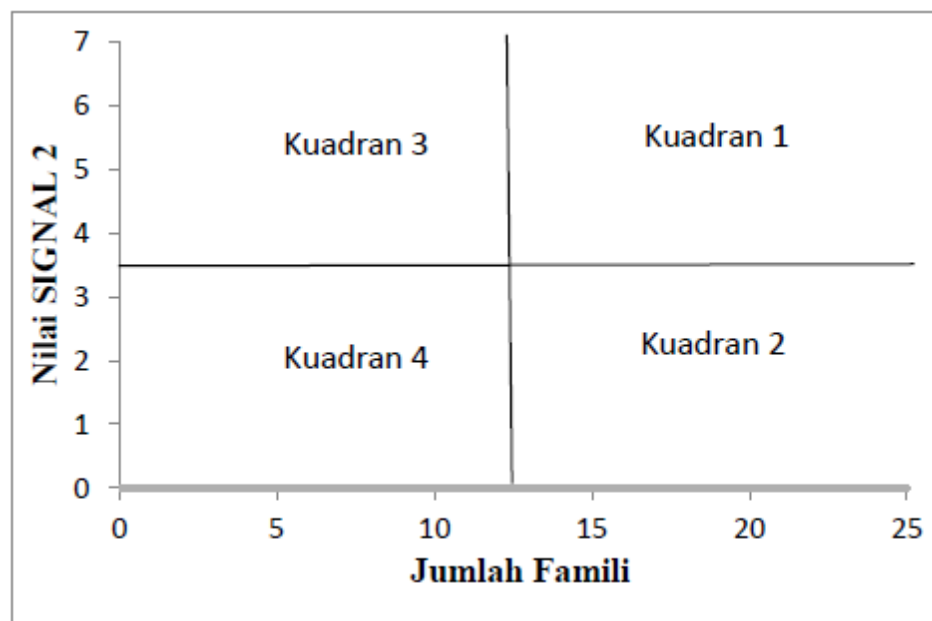
SIGNAL2 merupakan indeks botik yang sederhana untuk makroinvertebrata, dikembangkan pertama kali di Australia bagian timur, khususnya sistem Sungai Hawkesbury-napean (Chessman 2003^a). Langkah-langkah dalam perhitungan nilai SIGNAL2 adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi jenis makrozoobentos yang ditemukan hingga level famili atau level ordo.
2. Penentuan faktor pembobotan dari jumlah individu yang ditemukan pada tiap famili dari makrozoobentos yang ditemukan (Tabel 2).
3. Nilai faktor pembobotan yang telah dihitung dikalikan dengan skor dari tiap famili yang ditemukan, kemudian hasil perkalian tersebut dijumlahkan secara keseluruhan.
4. Hasil penjumlahan perkalian tersebut dibagi dengan jumlah total faktor pembobotan, dan didapatkan nilai SIGNAL2 yang biasanya berkisar antara 3-7 (Chessman 2003).
5. Nilai SIGNAL2 yang didapatkan diplotkan dalam grafik yang dihubungkan dengan jumlah famili yang ditemukan. Hasilnya adalah 4 kuadran yang menggambarkan tinggi rendahnya nilai SIGNAL2, berdasarkan kombinasi jumlah famili makroinvertebrata dan keanekaragaman keadaan fisik habitat.

Table 4. Nilai faktor pembobotan berdasarkan jumlah individu yang ditemukan.

No	Jumlah individu	Faktor pembobotan
1.	1-2	1
2.	3-5	2
3.	6-10	3
4.	11-20	4
5.	≥ 20	5

Sumber : Chessman (2003^b).



Gambar 8. Penentuan kuadran untuk nilai SIGNAL 2.
Sumber : Chessman (2003^b).

Dari Gambar, kuadran 1 (sebelah kanan atas) menggambarkan tingginya nilai SIGNAL 2 dan jumlah famili makroinvertebrata. Jumlah famili yang tinggi menunjukkan bahwa keanekaragaman keadaan fisik habitat yang tinggi dan tidak terdapat faktor tekanan ekologis. Kuadran 2 (sebelah kanan bawah) menggambarkan nilai SIGNAL 2 yang rendah dan jumlah famili makroinvertebrata yang tinggi. Jumlah famili yang tinggi menunjukkan bahwa keanekaragaman keadaan fisik habitat yang tinggi dan tidak terdapat faktor tekanan ekologis. Kuadran 3 (sebelah kiri atas) menggambarkan tingginya nilai SIGNAL 2 dan rendahnya jumlah famili makroinvertebrata. Rendahnya jumlah famili disebabkan beberapa makroinvertebrata memiliki toleransi yang berbeda-beda terhadap populasi. Nilai SIGNAL 2 digunakan untuk merespon beberapa kualitas air yang berbeda-beda seperti terjadinya penyuburan karena bahan organik, nutrien, dan salinitas. Apabila nilai SIGNAL 2 masih tinggi menunjukkan bahwa kondisi tercemar sedang. Kuadran 4 (sebelah kiri bawah) menunjukkan nilai SIGNAL 2 yang rendah dan juga jumlah famili makroinvertebrata yang rendah.

3.4.7 Principal Component Analysis (PCA)

Analisa komponen utama atau *principal component analysis* (PCA) adalah analisis multivariate yang berfungsi untuk berbagai jenis data. Data yang digunakan dalam analisis ini yaitu data parameter kualitas air yang dibandingkan dengan data indeks ekologi biota akuatik (makrozoobentos). PCA banyak digunakan dalam analisa ekologi karena masih dianggap penting (Soedibjo, 2008). Analisis PCA bertujuan untuk mengetahui sejumlah variabel yang memiliki korelasi atau hubungan dalam suatu kelompok. Analisis PCA digunakan untuk mengetahui keterkaitan parameter fisika, kimia, biologi pada penelitian struktur komunitas makrozoobentos yang telah diamati. *Software* yang digunakan untuk analisis PCA ini adalah Minitab 19.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh selama penelitian maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Makrozoobentos di aliran Sungai Way Sukamaju terdiri dari 5 kelas makrozoobentos, yaitu insekta, decapoda, clitellata, turbellaria dan gastropoda. Jenis yang paling banyak ditemui berasal dari kelas gastropoda dengan 15 genus, di antaranya genus *Neritina* dan *Pomacea*. Berdasarkan kedua indeks biologi yang digunakan (FBI dan SIGNAL 2) menunjukkan bahwa kondisi sungai pada stasiun 1 masuk ke dalam kategori sangat baik, stasiun 2 masuk ke dalam kategori sedang, serta kondisi stasiun 3 dan 4 masuk ke dalam kategori agak buruk.
2. Kelas insekta memiliki korelasi positif dengan pH, arus, DO, dan kecerahan, namun berkorelasi negatif dengan suhu, BOD, dan kedalaman. Kustasea memiliki korelasi positif dengan suhu, BOD, kecerahan, dan kedalaman, namun memiliki korelasi negatif dengan pH, arus, dan DO. Selanjutnya gastropoda dan clitellata memiliki korelasi positif dengan suhu, pH, dan arus, namun berkorelasi negatif dengan DO, BOD, kecerahan, dan kedalaman. Turbellaria memiliki korelasi positif dengan DO, BOD, dan kecerahan, namun memiliki korelasi negatif dengan pH, arus dan kedalaman.

5.2 Saran

Perlu adanya pengolahan limbah terlebih dahulu sebelum dibuang ke perairan sungai agar tidak memengaruhi kualitas perairan dan struktur komunitas makrozoobentos yang berada di Aliran Sungai Way Sukamaju.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Arief, A. 2003. *Hutan Mangrove: Fungsi dan Manfaatnya*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta. 47 hlm.
- Ayu, W. F. 2009. *Keterkaitan Makrozoobenthos dengan Kualitas Air dan Substrat di Situ Rawa Besar, Depok*. (Skripsi). Institut Pertanian Bogor. Bogor. 98 hlm.
- Barus, T. A. 2004. *Pengantar Limnologi Studi Tentang Ekosistem Air Daratan*. USU Press. Medan. 164 hlm.
- Bondar, S. 2017. *Keanekaragaman Makrozoobentos di Sungai Silang Kecamatan Baktraja Kabupaten Humbang Hasundutan*. (Skripsi). Universitas Sumatera Utara. Medan. 70 hlm.
- Chessman B. 2003^a. SIGNAL 2. Iv. a scoring system for macroinvertebrates (“Water Bugs”) in Australian rivers. Department of the Environment Heritage, GPO Box 787, CANBERRA ACT 2601. Canberra. 32p
- Chessman B. 2003^b. *New Sensitivity for Australian river macroinvertebrates. Marine and Freshwater Research*. 54: 95-103.
- Desinawati, D., Adi, W., dan Utami, E. 2018. Struktur komunitas makrozoobentos di Sungai Pakil Kabupaten Bangka. *Akuatik: Jurnal Sumberdaya Perairan*. 12(2), 54-63.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius. Yogyakarta. 258 hlm.
- Fachrul, M. F. 2007. *Metode Sampling Bioteknologi*. Bumi Aksara. Jakarta. 25-51 hlm.
- Febriantoro C, Shilikhin A, Mughofar A, Utami B. 2013. Pengukuran tingkat pencemaran sumber mata air yang terdapat di Kota Kediri menggunakan parameter organisme makrozoobentos. *Prosiding Seminar Nasional Biologi*. 10(1): 1–6.

- Gerber, A. . dan Gabriel, M.J.M. 2002. *Aquatic Invertebrates of South African Rivers: Field Guide*. Department of Water Affairs and Forestry, Resource Quality Services. Vol. I and II, 150 p.
- Hamidy, R. 2022. *Transpor Materi dari Serasah Mangrove dengan Kajian Khusus pada Peran Kepiting Brachyura (Disertasi)*. Institut Teknologi Bandung. 127 hlm.
- Handayani, S, T., dan Suharto, B. M. 2001. Penentuan status kualitas perairan Sungai Brantas Hulu dengan biomonitoring makrozoobenthos: tinjauan dari pencemaran bahan organik. *Biosains*. 1(1): 31-33.
- Irina, K. 2006. *Struktur Komunitas Makrozoobentos dan Kaitannya dengan Kualitas Lingkungan di Perairan Teluk Lampung*. (Skripsi). Institut Pertanian Bogor. Bogor. 66 hlm.
- Iskandar. 2002. *Struktur Komunitas Makrozoobenthos sebagai Indikator Kualitas Perairan Situ Tonjon, Jawa Barat*. (Skripsi). Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 41 hlm.
- Jailani dan M. Nur. 2012. Studi biodiversiti bentos di Krueng Daroy Kecamatan Darul Imarah Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Rona Lingkungan Hidup*. 5 (1): 8–15.
- Karepesina, S. B. G. 2018. *Perubahan Struktur Komunitas Makrozoobentos pada Perairan Estuari Bili-Bili Berdasarkan Gradien Salinitas di Kelurahan Tellumpanua, Kecamatan Suppa, Kabupaten Pinrang*. (Skripsi). Universitas Hasanuddin. Makassar. 94 hlm.
- Kenjibriel, I. M. 2015. *Kajian Kualitas Air Sungai Buaran di Jakarta*. (Skripsi). Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 58 hlm.
- Mahyudin, M., Soemarno, S., dan Prayogo, T. B. 2015. Analisis kualitas air dan strategi pengendalian pencemaran air Sungai Metro di Kota Kepanjen Kabupaten Malang. *Indonesian Journal of Environment and Sustainable Development*. 6(2): 105-114.
- Maradjabessy, M. T. 2014. *Penentuan Status Mutu dan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Sungai (Studi Kasus: Sungai Metro, Kabupaten Malang)*. (Tesis). Institut Teknologi Nasional. 112 hlm.
- Maula. L. H. 2018. *Keanekaragaman Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Air Sungai Cokro Malang (Disertasi)*. UIN Maulana Malik Ibrahim. 123 hlm.

- Maryono, A. 2005. *Eko-Hidrolik Pembangunan Sungai (Ecological Hydraulics of River Development)*. Edisi Kedua. Magister Sistem Teknik. Program Pascasarjana Universitas Gajah Mada. Yogyakarta. 145 hlm.
- Minggawati, I. 2013. Struktur komunitas makrozoobentos di perairan rawa banjiran Sungai Rungan, Kota Palangka Raya. *Jurnal Ilmu Hewani Tropika (Journal of Tropical Animal Science)*. 2(2): 64-67.
- Mudarisin. 2004. *Strategi Pengendalian Pencemaran Sungai (Studi Kasus Sungai Cipinang Jakarta Timur)*. (Tesis). Program Studi Ilmu Lingkungan. Program Pascasarjana. Universitas Indonesia. Jakarta. 96 hlm.
- Mushthofa, A., Rudiyanthi, S., dan M. R. Max. 2014. Analisis struktur komunitas makrozoobentos sebagai bioindikator kualitas perairan Sungai Wedung Kabupaten Demak. *Management of Aquatic Resources Journal*. Demak. 3(1): 81-88.
- Nontji, A. 2002. *Laut Nusantara (cetakan ke-3)*. Penerbit Djambatan. Jakarta. 351 hlm.
- Nuriya, H., Hidayah, Z., dan Syah, A. F. 2010. Analisis parameter fisika kimia di perairan Sumenep bagian timur dengan menggunakan citra Landsat TM 5. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*. 3(2): 132-138.
- Odum, E.P. 1994. *Dasar-dasar Ekologi. Edisi Ke-3*. (Penerjemah Tjahjono Sami-ngar). Universitas Gadjah Mada Press, Yogyakarta. 697 hlm.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010. *Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air*. 14 Januari 2010. Jakarta.
- Purnama, M.F., Haslianti, H., Salwiyah, S., dan Admaja, A.K. 2019. Potensi sumberdaya kijing (*Anodonta woodiana*) di Sub DAS Anak Sungai Lahombuti Kabupaten Konawe-Sulawesi Tenggara. *SAINTEK PERIKANAN: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*. 15(1): 66-72.
- Purwiyanto, A. I. S. 2016. Hubungan nitrat fosfat dan ammonium terhadap keberadaan makrozoobentos di perairan Muara Sungai Lumpur Kabupaten Ogan Komering Ilir Sumatera Selatan. *Maspari Journal: Marine Science Research*. 8(2): 101-110.
- Rafni, R. 2004. Kapasitas asimilasi beban pencemar di perairan Teluk Jobokuto Kabupaten Jepara Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia*. 12(1): 9-16.

- Rahayu, S. 2009. Penelitian kualitas air Bengawan Solo pada saat musim kemarau. *Jurnal Sumber Daya Air*. 5(2): 127-136.
- Rahman, F. A. 2009. *Struktur Komunitas Makrozoobentos di Perairan Estuaria Sungai Brantas (Sungai Porong dan Wonokromo), Jawa Timur*. (Tesis). Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 98 hlm.
- Ridwan, M. Fathoni, R. Fatihah, I., dan Pangestu, D. A. 2016. Struktur komunitas makrozoobentos di empat muara Sungai Cagar Alam Pulau Dua Serang, Banten. *Al-Kaunyah: Jurnal Biologi*. 9(1): 57-65.
- Rijaluddin, A. F., Wijayanti, F., dan Haryadi, J. 2017. Struktur Komunitas Makrozoobentos di Situ Gintung, Situ Bungur dan Situ Kuru, Ciputat Timur. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 18(2): 139-147.
- Rizal, E. Abdullah. 2013. Pola distribusi dan kepadatan kijang Taiwan (*Anadonta woodiana*) di Sungai Aworeka Kabupaten Konawe. *Jurnal Mina Laut Indonesia*. 2(6): 142-153.
- Rizali, A., Buchori, D., dan Triwidodo, H. 2002. Keanekaragaman serangga pada lahan persawahan-tepian hutan : indikator untuk kesehatan lingkungan *insect diversity at the forest margin-rice field interface: indicator for a healthy ecosystem*. *Jurnal of Bioscience*. 9(2): 41-48.
- Rosida. 2010. *Komunitas Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Air di Sungai Batang Serangan-Tangkahan Kabupaten Langkat Sumatera Utara*. (Skripsi). FMIPA. Universitas Sumatera Utara. Medan. 130 hlm.
- Ruswahyuni, R. 2010. Populasi dan keanekaragaman hewan makrozoobentos pada perairan tertutup dan terbuka di Teluk Awur, Jepara. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 2(1): 11-20.
- Salim, D., Yuliyanto, Y., dan Baharuddin, B. 2017. Karakteristik parameter oseanografi fisika-kimia perairan Pulau Kerumputan Kabupaten Kotabaru Kalimantan Selatan. Kalimantan Selatan. *Jurnal Enggano*. 2(2): 218-228.
- Salmin, S. 2005. Oksigen terlarut (DO) dan kebutuhan oksigen biologi (BOD) sebagai salah satu indikator untuk menentukan kualitas perairan. *Oseana*, 30(3): 21-26.
- Sari, P.D., Ulqodry, T.Z., Aryawati, R., dan Isnaini, I. 2019. Asosiasi gastropoda dengan lamun (*seagrass*) di perairan Pulau Tangkil Lampung. *Jurnal Penelitian Sains*, 21(3): 131-139.

- Setiawan, D. 2008. *Struktur Komunitas Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Lingkungan Perairan Hilir Sungai Musi*. (Tesis). Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor. 85 hlm.
- Setiawan, D. 2009. Studi komunitas makrozoobenthos di perairan hilir Sungai Lemata sekitar daerah Pasar Bawah Kabupaten Lahat. *Jurnal Penelitian Sains*. 9(1): 12-14.
- Siallagan, D. 2014. Keanekaragaman makrozoobenthos sebagai bioindikator pencemaran air Sungai Sunggal di Desa Srigunting Provinsi Sumatera Utara. (Disertasi). Universitas Sumatera Utara. 83 hlm.
- Sidik, R.Y., Dewiyanti, I., dan Octavina, C. 2016. Struktur komunitas makrozoobenthos di beberapa muara sungai Kecamatan Susoh Kabupaten Aceh Barat Daya. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*. 1(2): 287-296.
- Silaban, S. P. H. 2014. *Keanekaragaman Makrozoobentos di Perairan Sungai Asahan Sumatera Utara*. (Skripsi). Universitas Sumatera Utara. Medan. 119 hlm.
- Silalahi, J. M. 2001. *Komposisi, Kelimpahan dan Penyebaran Makrozoobenthos di Situ Baru-Ciburu, Jakarta Timur*. (Skripsi). Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 71 hlm.
- Simmanora, D. R. 2009. *Studi Keanekaragaman Makrozoobentos di Aliran Sungai Padang Koto Tebing Tinggi*. (Skripsi). Departemen Biologi. FMIPA. Universitas Sumatera Utara. Medan. 67 hlm.
- Siradz, S. A., Harsono, E. S., dan Purba, I. 2008. Kualitas air Sungai Code, Winongo dan Gajahwong, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. 8(2): 121-125.
- Soedibjo, B. S. 2008. Analisis komponen utama dalam kajian ekologi. *Jurnal Oseana*. 33(2): 43-53.
- Sumanto, N. L. (2019). Keanekaragaman makrozoobentos di Sungai Bah Bolon Kabupaten Simalungun Sumatera Utara. *Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi*. 7(1): 8-15.
- Supranto, J. (2004). *Analisis Multivariat Arti dan Interpretasi*. Rieka Cipta. Jakarta. 359 hlm.
- Sutanto, A., dan Purwasih, P. 2015. Analisis kualitas perairan Sungai Raman Desa Pujodadi Trimurjo sebagai sumber belajar biologi SMA pada materi ekosistem. *Bioedukasi: Jurnal Pendidikan Biologi*. 6(1): 234-242.

- Suwignyo, S., B. Widigdo, Y. Wardianto dan Krisanti, M. 2005. *Avertebrata Air Jilid 1*. Penebar Swadaya. Jakarta. 204 hlm.
- Taqwa, A., 2010. *Analisis Produktivitas Primer Fitoplankton dan Struktur Komunitas Fauna Makrobenthos Berdasarkan Kerapatan Mangrove di Kawasan Konservasi Mangrove dan Bekantan Kota Tarakan, Kalimantan Timur*. (Disertasi). Pascasarjana Universitas Diponegoro. Semarang. 109 hlm.
- Taqwa, R. N., Muskananfolo, M. R. 2014. Studi hubungan substrat dasar dan kandungan bahan organik dalam sedimen dengan kelimpahan hewan makrobenthos di muara Sungai Sayung Kabupaten Demak. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*. 3(1): 125-133.
- Trianto, M., Nurraini, N., Sukmawati, S., dan Kisman, M. D. 2020. Keanekaragaman genus serangga air sebagai bioindikator kualitas perairan. *Justek: Jurnal Sains dan Teknologi*. 3(2), 61-68.
- Upikoh. 2008. *Keanekaragaman Jenis Makrozoobentos pada Kawasan Mangrove Pantai Morosari Kecamatan Sayung Kabupaten Demak*. (Skripsi). Program S1 FMIPA UNNES. Semarang. 98 hlm.
- Wardhana. W. 2006. *Analisis Mengenai Dampak Lingkungan*. PPSML Universitas Indonesia. Jakarta. 20 hlm.
- Yoyok, S., Gunawan, P.Y., Tri, S., Muhammad, S. S., dan Yustiawati, Y. 2009. Pengaruh aktivitas antropogenik di Sungai Cikaniki (Jawa Barat) terhadap komunitas fauna makrobentik. *Limnotek* 16(2): 153-166.