

BAB 2

TINJAUAN TEORETIS

2.1 Kajian Pustaka

2.1.1 Makrozoobentos

Makrozoobentos merupakan hewan yang hidup di dasar perairan hidupnya menetap (sesile), hidup dengan cara merayap dan menggali lubang di substrat dasar perairan dengan gerakan yang cenderung lambat, mobilitas rendah dan sensitif terhadap bahan pencemar sehingga dapat dijadikan sebagai bioindikator kualitas perairan karena makrozoobentos sulit menghindari dampak pencemaran yang terjadi di habitat mereka. Makrozoobentos memiliki ukuran lebih dari 1mm dan pertumbuhan dewasanya memiliki ukuran 3-5 cm. Makrozoobentos mempercepat proses dekomposisi materi organik. Lingkungan yang dinamis, analisis biologi khususnya analisis struktur komunitas hewan benthos dapat memberikan gambaran tentang keadaan terganggu atau tidaknya suatu perairan. Faktor yang mendasari penggunaan benthos sebagai organisme indikator kualitas perairan adalah karena sifat benthos yang relatif diam atau memiliki mobilitas yang rendah sehingga sangat banyak mendapat pengaruh dari lingkungan Alwi *et al.*, (2020). makrozoobenthos dapat dijadikan sebagai bioindikator perairan, karena memiliki sifat yang sangat peka terhadap perubahan lingkungan perairan yang ditempatinya kelompok spesies makrozoobenthos berdasarkan kepekaan terhadap perubahan lingkungan perairan.

- a. Kelompok intoleran ialah organisme yang dapat tumbuh atau berkembang dalam kisaran kondisi lingkungan yang sempit dan jarang dijumpai di perairan yang kaya bahan organik. Organisme ini tidak dapat beradaptasi pada kondisi perairan yang mengalami penurunan kualitas. Contohnya beberapa famili dari Ordo Ephemeroptera, Ordo Tricoptera, dan Ordo Plecoptera.
- b. Kelompok fakultatif yaitu organisme yang dapat bertahan hidup pada kisaran kondisi lingkungan yang lebih besar dibandingkan organisme intoleran, namun tidak dapat mentolerir kondisi lingkungan yang tercemar berat. Contohnya dari Ordo Odonata, Kelas gastropoda, dan Filum Crustacea.

- c. Kelompok toleran yaitu organisme yang dapat berkembang pada kisaran kondisi lingkungan yang luas, sering ditemukan pada perairan yang tercemar dan tidak peka terhadap tekanan lingkungan. Contohnya cacing dari famili Tubificidae.

2.1.2 Macam-macam Makrozoobentos

Organisme makrozoobentos terdiri dari berbagai kelompok hewan invertebrata yang hidup di dasar perairan, antara lain dari filum Mollusca dan filum Arthropoda. Organisme-organisme ini memiliki peranan penting dalam ekosistem perairan, baik sebagai pengurai bahan organik maupun sebagai bioindikator kualitas lingkungan.

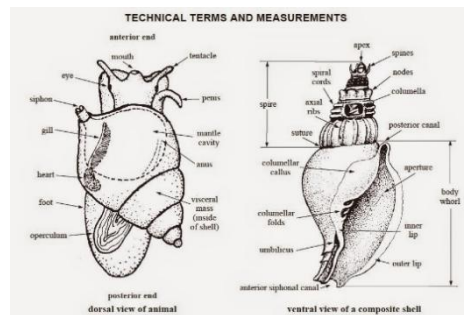
a. Filum Mollusca

Mollusca merupakan kelompok hewan invertebrata bertubuh lunak yang umumnya dilindungi oleh cangkang keras dari kalsium karbonat, meskipun beberapa anggotanya tidak memiliki cangkang (Campbell, 2020). Hewan ini termasuk organisme selomata, dengan struktur tubuh yang terdiri atas tiga bagian utama, yaitu kaki (foot) yang berfungsi untuk bergerak, massa viseral (visceral mass) yang mengandung organ-organ internal, dan mantel (mantle) yang membungkus massa viseral serta berperan dalam pembentukan cangkang.

Sebagian besar Mollusca hidup di lingkungan perairan, baik laut maupun air tawar, dan beradaptasi dengan berbagai tipe substrat seperti lumpur, pasir, maupun batu. Sistem pencernaan Mollusca tergolong lengkap dan telah memiliki organ khusus seperti radula (lidah parut) untuk mengikis makanan. Sistem peredaran darahnya umumnya terbuka, sedangkan alat pernapasan dapat berupa insang atau paru-paru sederhana, tergantung pada habitatnya. Dengan struktur tubuh yang relatif sederhana namun efisien, Mollusca berperan penting dalam rantai makanan ekosistem perairan, khususnya sebagai bagian dari komunitas makrozoobentos.

Salah satu kelas terbesar dari Mollusca adalah Gastropoda, yang memiliki penyebaran luas di berbagai ekosistem, baik laut, payau, maupun air tawar. Lebih dari 8.000 spesies Gastropoda telah diidentifikasi dan menunjukkan tingkat adaptasi yang tinggi terhadap kondisi lingkungan (Bae & Park, 2020). Tubuh Gastropoda umumnya memiliki simetri bilateral dengan cangkang berbentuk spiral

atau terpilin seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1, meskipun beberapa spesies tidak memiliki cangkang (siput telanjang). Pergerakannya menggunakan kaki berotot yang mengandung kelenjar lendir (kelenjar pedal), sehingga dapat menempel dan bergerak di berbagai permukaan substrat dasar perairan.



Gambar 2. 1 Struktur Tubuh Gastropoda

(Sumber: Oemarjati & Wardhana dalam Dermawan, dalam Wibowo, 2016, hlm.23)

Struktur tubuhnya bercangkang (*concha*), kebanyakan berputar ke arah kanan (dekstral) tetapi ada juga yang berputar ke kiri (sinistral). Putaran ini berasal dari apeks melalui *whorl* sampai *aperture*. Bagian tengah yang merupakan sumbu putaran disebut kolumella. Kolumella ini tidak bisa terlihat dari luar. Alat gerak pada Gastropoda adalah kaki. Pada saat Gastropoda sedang aktif bergerak, permukaan bawah kakinya menjadi bergelombang dengan amplitudo kecil dikarenakan adanya aktivitas otot-otot dalam dindingnya. Kaki Gastropoda mempunyai *cillia* (bulu) dan mengandung kelenjar yang mensekresi lendir. Kelenjar Pedal adalah kelenjar lendir yang sangat penting yang terletak di bagian depan kaki. Pergerakan Gastropoda dipengaruhi oleh gelombang kontraksi otot yang menjalar sepanjang telapak kaki. Gelombang ini dapat berupa gelombang transversal atau diagonal terhadap sumbu panjang kaki.

Ada 2 tipe pernapasan pada Gastropoda, hal ini berdasarkan dari habitat hidupnya. Gastropoda yang hidup di darat bernafas menggunakan paru-paru sedangkan Gastropoda yang hidup di air, bernafas dengan insang. Makanan Gastropoda berupa tumbuh-tumbuhan, yang dipotong-potong oleh rahang zat tanduk (*mandibula*), kemudian akan dikunyah oleh *radula*. Zat-zat makanan akan diserap di dalam intestine Terdapat satu atau dua pasang kelenjar air liur yang

bermuara ke rongga Buccal. Kelenjar ini berfungsi dalam ekskresi lendir yang melubrikasikan makanan dan mengeratkan partikel makanan hingga dapat diproses secara efektif. Dalam beberapa Gastropoda karnivor, kelenjar liurnya memproduksi enzyme proteolytic. Bagian esophagus, yang terletak setelah rongga Buccal tidak selalu memiliki kelenjar. Saat ada kelenjar, sebagian besar hanya dalam bentuk kantung. Dalam Gastropoda yang menggunakan venom untuk melemahkan mangsanya, sekresi diproduksi oleh kelenjar esophagus yang berbentuk kantung seperti ini. Di banyak opisthobranchs dan pulmonates, bagian esophagus membesar dan berfungsi sebagai tembolok yang dapat menampung makanan yang banyak, dan pada berbagai opisthobranchs, bagian ini juga mempunyai otot dan mengandung lempengan keras yang dapat merusak dan menumbuk makanan.

Gastropoda memiliki peranan ekologis yang penting sebagai komponen makrozoobentos, yaitu organisme dasar perairan yang berukuran lebih dari 0,5 mm dan berperan dalam proses dekomposisi bahan organik. Sebagai detritivora dan herbivora, Gastropoda membantu menguraikan sisa bahan organik, alga, dan mikroorganisme pada dasar perairan sehingga mendukung keseimbangan ekosistem. Selain itu, keberadaan dan kelimpahan Gastropoda dapat digunakan sebagai bioindikator kualitas perairan, karena kelompok ini memiliki tingkat toleransi yang berbeda terhadap perubahan kondisi lingkungan seperti kadar oksigen terlarut, tingkat pencemaran, dan jenis substrat dasar (Joly *et al.*, 2020).

Spesies Gastropoda yang sensitif terhadap pencemaran biasanya hanya ditemukan pada perairan dengan kualitas baik, sedangkan spesies yang toleran dapat bertahan pada kondisi tercemar. Oleh karena itu, analisis struktur komunitas Gastropoda, meliputi keanekaragaman, kelimpahan, dan dominansi dapat memberikan gambaran mengenai kondisi ekologis suatu perairan. Dalam penelitian ekologi perairan, keberadaan Gastropoda seperti *Lymnaea*, *Melanoides*, dan *Physa* sering digunakan sebagai indikator biologis dalam menilai tingkat pencemaran dan keseimbangan ekosistem.

Dengan demikian, Gastropoda tidak hanya berfungsi sebagai penyusun komunitas dasar perairan, tetapi juga memiliki nilai ekologis penting dalam pemantauan kualitas lingkungan. Keanekaragaman Gastropoda yang tinggi

menunjukkan kondisi perairan yang stabil dan mendukung kehidupan, sedangkan penurunan keanekaragaman atau dominasi satu spesies tertentu dapat mengindikasikan adanya gangguan ekologis seperti pencemaran atau perubahan kualitas habitat.

b. Filum Arthropoda

Arthropoda merupakan filum hewan invertebrata yang memiliki tubuh beruas-ruas dan kaki berbuku-buku, dengan kerangka luar (eksoskeleton) yang tersusun atas kitin. Filum ini merupakan kelompok hewan dengan jumlah spesies terbanyak di dunia dan tersebar luas di berbagai habitat, baik darat, air tawar, maupun laut (Cain et al., n.d.). Tubuh Arthropoda umumnya terbagi menjadi tiga bagian utama, yaitu kepala, dada, dan perut, serta memiliki sistem saraf dan organ sensorik yang berkembang baik.

Sebagian anggota Arthropoda hidup di lingkungan perairan dan berperan penting dalam ekosistem akuatik, baik sebagai konsumen, detritivora, maupun predator. Kelompok ini juga termasuk dalam komunitas makrozoobentos, yaitu organisme dasar perairan yang berperan dalam siklus nutrien dan keseimbangan ekosistem. Di antara berbagai kelas dalam filum ini, Insekta merupakan kelompok yang paling dominan dan memiliki peranan ekologis penting, termasuk sebagai bioindikator kualitas perairan.

Beberapa ordo insekta yang larvanya umum dijumpai sebagai makrozoobentos dan sering digunakan sebagai bioindikator kualitas perairan antara lain sebagai berikut.

1) Ordo Odonata

Odonata merupakan serangga yang memiliki tubuh panjang dan ramping, sayapnya memanjang dan bervena banyak serta membraneus. Dalam bentuk dan ukuran sayap depan dan belakang hampir sama. Antena pendek seperti bulu yang keras, saat istirahat sayap di katakan di atas tubuh atau dibentangkan bersama-sama di atas. Serangga ini sering melakukan perkawinan pada saat terbang. Nimfa maupun serangga dewasa bertindak sebagai predator, *metamorphosis hemimetabola*. Ordo odonata dibagi menjadi dua subordo, yaitu subordo Anisoptera (capung) dan subordo Zygoptera (capung jarum).

2) Ordo Ephemeroptera

Ephemeroptera merupakan insekta yang nimfanya hidup di perairan akuatik dan hewan dewasanya hidup di kolam, aliran air dan di udara. Pada umumnya larva dari Ephemeroptera bersifat herbivora yang memakan alga atau detritus. Ordo ini memiliki ciri khusus dibanding insekta lainnya yaitu dengan memiliki dua tahap pada pembentukan sayap, dimana sayap awalnya muncul ketika tahap akhir larva dan seringkali tanpa pematangan seksual.

3) Ordo Hemiptera

Hemiptera merupakan insekta yang larva dan nimfanya tinggal di perairan. Ciri utama dari Hemiptera adalah struktur mulutnya berbentuk seperti jarum. Nimfa dari Hemiptera merupakan pemakan tumbuhan, tetapi ada beberapa dari hemiptera yang bersifat predator dengan mengisap cairan tubuh serangga lainnya.

2.1.3 Karakteristik Makrozoobentos

Makrozoobentos juga memiliki beberapa karakteristik khusus yang membedakannya dari kelompok bentik lainnya baik dari segi ukuran, cara hidup, maupun respons ekologiannya terhadap perubahan lingkungan. Ciri-ciri utama makrozoobentos dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 2. 1. Karakteristik Umum Makrozoobentos

No	Ciri	Penjelasan
1.	Hidup melekat di dasar perairan atau menempel / menetap	Makrozoobentos relatif diam di dasar perairan, dapat menempel pada substrat, melekat pada batuan, pasir, atau lumpur.
2.	Ukuran cukup besar	Lebih besar dari mikrobentos dan meiobentos, umumnya berukuran antara 1 mm hingga 15 mm tergantung jenis yang diamati.
3.	Bentuk dan taksonomi beragam	Terdiri atas berbagai filum dan kelas seperti Mollusca dan Arthropoda yang memiliki morfologi dan adaptasi berbeda.
4.	Sensitivitas terhadap kondisi lingkungan	Karena hidup di dasar dan relatif menetap, perubahan kualitas air, oksigen terlarut, bahan organik, polusi, siltasi, dan jenis substrat sangat memengaruhi distribusi dan kelimpahan makrozoobentos.
5.	Dapat digunakan sebagai bioindikator	Makrozoobentos menunjukkan respons yang jelas terhadap perubahan fisik dan kimia air, sehingga sering digunakan dalam analisis kualitas perairan dengan indeks biotik, indeks

		diversitas, atau <i>family biotic index</i> (FBI).
6.	Mobilitas rendah	Umumnya tidak bergerak jauh; banyak yang menetap, merayap di sekitar substrat, atau hidup dengan menggali di dasar perairan.
7.	Beragam perlekatan pada substrat	Dapat hidup pada berbagai jenis substrat seperti pasir, lumpur, kerikil, batu, dedaunan, atau bahan organik dasar; komposisi spesies sangat dipengaruhi oleh jenis substrat.
8.	Siklus hidup relatif panjang	Beberapa spesies memiliki tahapan perkembangan (larva, juvenil, dewasa) yang berlangsung lama dan dapat bertahan di lokasi yang sama sepanjang hidupnya.

Sumber: Rosenberg, D. M., & Resh, V. H. (2020).

2.1.4 Bioindikator Kualitas Air

Bioindikator kualitas air merupakan organisme hidup yang berperan penting dalam menilai kondisi atau kualitas lingkungan perairan dengan mengamati keberadaan, kelimpahan, serta kondisi fisiologisnya. Organisme-organisme ini sangat sensitif terhadap perubahan parameter fisik dan kimia air, seperti kandungan oksigen terlarut, pH, suhu, serta konsentrasi zat kimia berbahaya seperti logam berat dan bahan organik. Karena sensitivitasnya terhadap perubahan lingkungan, bioindikator dapat memberikan informasi yang akurat dan *real-time* mengenai kondisi ekosistem perairan, sehingga memungkinkan deteksi dini terhadap pencemaran dan degradasi kualitas air (Vadas *et al.*, 2022).

Penggunaan bioindikator kualitas air memiliki keunggulan dibandingkan metode kimiawi karena dapat mencerminkan dampak kumulatif dari berbagai faktor pencemar dalam jangka waktu tertentu, serta lebih ekonomis dan mudah diterapkan di lapangan. Oleh karena itu, bioindikator menjadi alat penting dalam pengelolaan sumber daya air dan konservasi lingkungan, khususnya dalam upaya pemantauan kualitas air secara berkelanjutan dan pengambilan keputusan berbasis ekosistem (de Mello *et al.*, 2023).

2.1.5 Parameter Fisika-Kimia

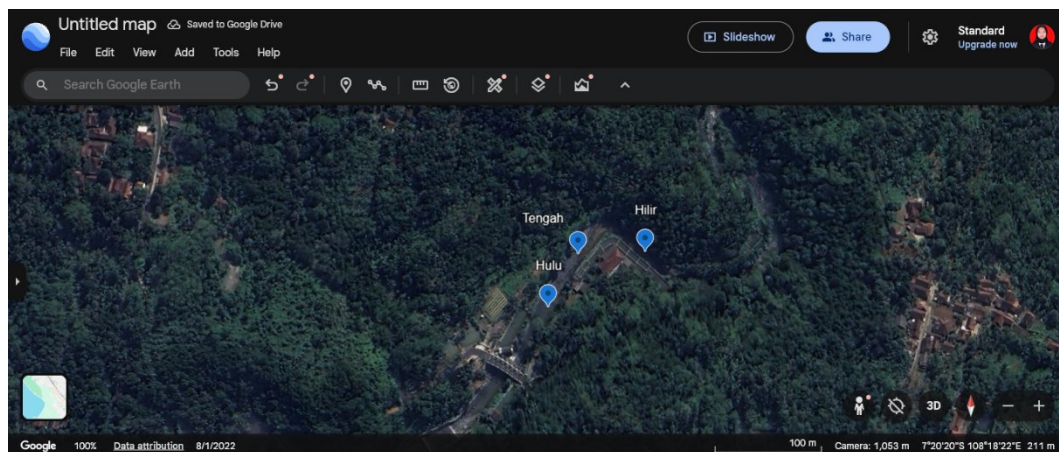
Parameter fisika-kimia merupakan variabel atau sifat fisik dan kimia yang diukur secara sistematis untuk menilai kualitas air dalam suatu ekosistem perairan. Parameter ini mencakup berbagai aspek seperti suhu, pH, kadar oksigen terlarut, kekeruhan, salinitas, serta konsentrasi nutrien dan zat kimia lainnya yang berperan penting dalam menentukan kondisi lingkungan perairan. Pengukuran parameter fisika-kimia sangat krusial karena dapat secara langsung mempengaruhi kelangsungan hidup organisme akuatik, proses biogeokimia, serta fungsi ekosistem secara keseluruhan (Braga *et al.*, 2022).

Suhu air, misalnya mempengaruhi laju metabolisme organisme dan kelarutan oksigen dalam air, sehingga perubahan suhu yang signifikan dapat menyebabkan stres atau kematian pada biota air (Bonacina *et al.*, 2023). pH air yang berada di luar rentang normal dapat mengganggu proses fisiologis organisme dan mempengaruhi kelarutan logam berat yang berpotensi toksik (Zhao *et al.*, 2024). Kadar oksigen terlarut (DO) merupakan indikator utama kesehatan perairan karena oksigen diperlukan untuk respirasi organisme aerobik; penurunan DO seringkali menjadi tanda pencemaran organik atau eutrofikasi (Du *et al.*, 2024). Selain itu, parameter seperti kekeruhan dan salinitas juga berperan dalam menentukan kualitas habitat dan distribusi spesies air (Illing *et al.*, 2024).

Pengukuran parameter fisika-kimia secara rutin dan akurat sangat penting dalam pemantauan kualitas air, pengelolaan sumber daya air, serta mitigasi dampak pencemaran. Data yang diperoleh dapat digunakan untuk mengidentifikasi sumber pencemar, menilai efektivitas tindakan pengendalian, dan mendukung kebijakan pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan. Oleh karena itu, integrasi parameter fisika-kimia dengan bioindikator memberikan gambaran yang komprehensif mengenai kondisi ekosistem perairan (Chidiac *et al.*, 2023).

2.1.6 Sungai Cikalang Manonjaya

Sungai Cikalang Manonjaya merupakan salah satu anak sungai di wilayah Kabupaten Tasikmalaya yang berperan penting sebagai sumber air bagi kegiatan domestik, pertanian, dan perikanan masyarakat setempat, namun juga menerima tekanan lingkungan akibat pembuangan limbah rumah tangga dan aktivitas pertanian di sekitarnya.



Gambar 2. 3 Lokasi Sungai Cikalang

Sumber: Google earth 2025

2.2 Hasil Penelitian yang Relevan

Penelitian mengenai makrozoobentos sebagai bioindikator kualitas air telah banyak dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa struktur komunitas makrozoobentos sangat dipengaruhi oleh faktor fisika-kimia perairan seperti oksigen terlarut, kecepatan arus, kedalaman, dan jenis substrat, sehingga dapat digunakan sebagai penentu kualitas air (Pelealu *et al.*, 2018).

Hal serupa juga dikemukakan oleh (Anwar *et al.*, 2021) yang menemukan bahwa makrozoobentos memiliki sensitivitas tinggi terhadap pencemaran, terutama limbah domestik, sehingga perubahan komposisinya dapat menjadi petunjuk adanya penurunan kualitas lingkungan perairan. (Ibrahim *et al.*, 2021) dalam penelitiannya di Danau Maninjau melaporkan bahwa keanekaragaman makrozoobentos menurun signifikan di lokasi dengan tingkat pencemaran tinggi,

khususnya di daerah dengan kandungan bahan organik berlebih. (Anggareni V, 2023) juga memperkuat temuan tersebut dengan menyatakan bahwa indeks keanekaragaman makrozoobentos berkorelasi negatif dengan tingkat pencemaran, artinya semakin tercemar suatu perairan maka semakin rendah nilai indeks keanekaragamannya.

Sementara itu, (Ibrahim *et al.*, 2021) menemukan bahwa kelompok *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, dan *Trichoptera* hanya ditemukan pada perairan yang masih baik kualitasnya, sedangkan famili *Tubificidae* lebih banyak mendominasi pada perairan tercemar. Temuan-temuan tersebut memperlihatkan bahwa makrozoobentos merupakan bioindikator yang efektif dalam menilai kondisi kualitas perairan, sehingga penelitian mengenai kelimpahan makrozoobentos di Sungai Cikalang Manonjaya penting dilakukan untuk mengetahui kondisi ekosistem serta dapat dimanfaatkan sebagai sumber belajar biologi.

2.3 Kerangka Konseptual

Air sungai merupakan salah satu sumber kehidupan yang memiliki peran penting bagi berbagai makhluk hidup, baik manusia maupun organisme akuatik yang tinggal di dalamnya. Salah satu kelompok organisme yang dapat memberikan gambaran mengenai kondisi kualitas air adalah makrozoobentos. Organisme ini berfungsi sebagai bioindikator alami karena keberadaan, kelimpahan, dan keanekaragamannya mampu mencerminkan tingkat kesehatan suatu perairan. Apabila air sungai memiliki kualitas yang baik, maka akan ditemukan jenis-jenis makrozoobentos yang sensitif terhadap pencemaran. Sebaliknya, apabila perairan tercemar, maka jenis-jenis yang toleran terhadap kondisi ekstrem akan lebih mendominasi. Dengan demikian, struktur komunitas makrozoobentos, yang meliputi komposisi, kelimpahan, dan keanekaragaman spesies, dapat digunakan sebagai dasar untuk menilai kondisi ekosistem sungai.

Kehidupan makrozoobentos tidak terlepas dari pengaruh kondisi lingkungan sekitarnya, terutama faktor-faktor fisika-kimia air seperti suhu, pH, kekeruhan, kecepatan arus, dan kadar oksigen terlarut (DO). Perubahan pada parameter-parameter tersebut sering kali disebabkan oleh berbagai aktivitas manusia di sekitar sungai, seperti pembuangan limbah domestik, kegiatan

pertanian, maupun perubahan penggunaan lahan. Aktivitas tersebut dapat menurunkan kualitas air yang pada akhirnya berpengaruh terhadap keberadaan dan kelimpahan makrozoobentos di perairan tersebut. Oleh karena itu, hubungan antara aktivitas manusia, perubahan parameter fisika-kimia air, dan respon makrozoobentos menjadi dasar dalam memahami kondisi ekologis sungai.

Berdasarkan hubungan tersebut, penelitian ini dibangun atas dasar keterkaitan antara aktivitas manusia yang menyebabkan perubahan pada parameter fisika-kimia air, yang selanjutnya memengaruhi struktur komunitas makrozoobentos, dan pada akhirnya mencerminkan kualitas air sungai. Melalui pemahaman tersebut, penelitian ini tidak hanya berfokus pada aspek ekologi semata, tetapi juga diarahkan untuk pengembangan dalam bidang pendidikan. Hasil penelitian mengenai kelimpahan makrozoobentos di Sungai Cikalang dimanfaatkan sebagai sumber belajar biologi dalam bentuk e-booklet pada materi Pencemaran Lingkungan. E-booklet ini diharapkan dapat membantu peserta didik memahami keterkaitan antara aktivitas manusia dan dampaknya terhadap lingkungan perairan melalui contoh nyata di sekitar mereka. Selain memperkaya pengetahuan, pemanfaatan hasil penelitian ini juga bertujuan menumbuhkan kesadaran dan kepedulian terhadap pentingnya menjaga kualitas air dan kelestarian ekosistem sungai.

2.4 Pertanyaan Penelitian

1. Bagaimana kelimpahan makrozoobentos di Sungai Cikalang Manonjaya?
2. Bagaimana tingkat kelimpahan masing-masing jenis makrozoobentos di Sungai Cikalang Manonjaya?
3. Bagaimana kondisi kualitas air Sungai Cikalang berdasarkan kelimpahan makrozoobentos yang ditemukan?
4. Bagaimana hasil penelitian kelimpahan makrozoobentos di Sungai Cikalang dapat dimanfaatkan sebagai sumber belajar biologi di SMA?