

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kualitas Air

Kualitas air merujuk pada kondisi air yang menunjukkan kesesuaiannya untuk memenuhi berbagai kebutuhan manusia. Faktor penentu utama kualitas air adalah keberadaan sedimen dan bahan kimia terlarut. Kadar parameter-parameter ini bervariasi tergantung pada lokasi dan aktivitas manusia di sekitarnya. Aktivitas rumah tangga merupakan kontributor signifikan terhadap pencemaran air, terutama peningkatan jumlah bakteri coliform. Jumlah coliform mengindikasikan tingkat pencemaran air di suatu lingkungan (Barang & Saptomo, 2019).

Penilaian kualitas air bias diketahui dengan melihat indikator fisik, kimia dan biologi, berdasarkan standar Kemnkes tahun 2010 menyatakan bahwa air harus tidak memiliki bau, tidak memiliki rasa, tidak memiliki warna, jernih dan sepatutnya dibawah suhu ruang memenuhi syarat fisik (revansyah et al., 2023). Selain itu pendekatan kualitas air dapat dianalisis dengan menggunakan keberadaan jenis dan komunitas makhluk hidup disuatu perairan, salah satu jenis komunitas yang paling umum dianalisis adalah makrozoobenthos

Adapun beberapa sumber pencemaran air menurut (Farhan et al., 2023) adalah sebagai berikut:

1. Limbah Industri yang tidak diolah dengan tepat dapat menimbulkan dampak negatif sehingga terjadi pencemaran air.
2. Sampah yang merupakan sisa kegiatan masyarakat yang tinggal di daerah pinggir sungai, tentu menimbulkan dampak buruk baik pada manusia dan

ekosistem alam di aliran sungai hingga dapat mengganggu ekosistem sungai.

3. Air limbah perkotaan akibat pola konsumsi masyarakat sehingga menghasilkan produksi limbah. Sistem pengelolaan air limbah yang belum memadai menyebabkan pembuangan limbah langsung ke sungai dan laut tanpa pengolahan.
4. Penggunaan peptisida serta pupuk kimia dapat mengakibatkan kontaminasi pada sumber daya air, seperti tanah dan sungai sehingga menurunkan kualitas air dan mengganggu ekosistem perairan.
5. Perubahan iklim global telah menyebabkan fluktuasi pola curah hujan dan peningkatan suhu, yang secara signifikan mempengaruhi kualitas dan ketersediaan sumber daya air. Aktivitas antropogenik merupakan kontributor utama pencemaran air, dengan padatan tersuspensi total sebagai salah satu indikator utama. Jumlah dan jenis limbah yang dibuang ke dalam perairan secara langsung berkorelasi dengan tingkat pencemaran yang terjadi.

Di dalam Peraturan Pemerintah No 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air pada pasal 8 tentang klasifikasi mutu air ditetapkan menjadi 4 (empat) kelas, yakni;

1. Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air bakti air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
2. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan air

untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;

3. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan air yang sama dengan kegunaan tersebut;
4. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Pada Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 yang membahas mengenai penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup menguraikan baku mutu air sungai seperti pada tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Sungai

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
1.	Temperature	°C	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Perbedaan dengan suhu udara di atas permukaan air
2.	Padatan terlarut total (TDS)	mg/L	1.000	1.000	1.000	2.000	Tidak berlaku untuk muara
3.	Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/L	40	50	100	400	
4.	Warna	Pt-Co Unit	15	50	100	-	Tidak berlaku untuk air gambut (berdasarkan kondisi alaminya)
5.	Derajat keasaman (pH)		6-9	6-9	6-9	6-9	Tidak berlaku untuk air gambut (berdasarkan kondisi)

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan alaminya)
6.	Kebutuhan Oksigen biokimiawi (BOD)	mg/L	2	3	6	12	
7.	Kebutuhan oksigen kimiawi (COD)	mg/L	10	25	40	80	
8.	Oksigen Terlarut (DO)	mg/L	6	4	3	1	Batas minimal
9.	Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	300	300	300	400	
10.	Klorida (Cl)	mg/L	300	300	300	600	
11.	Nitrat (sebagai N)	mg/L	10	10	20	20	
12.	Nitrit (sebagai N)	mg/L	0,06	0,06	0,06	-	
13.	Anomiak	mg/L	0,1	0,2	0,5	-	
14.	Total Nitrogen	mg/L	15	15	25	-	
15.	Total Fosfat (sebagai P)	mg/L	0,2	0,2	1,0	-	
16.	Flourida (F)	mg/L	1	1,5	1,5	-	
17.	Belerang sebagai H ₂ S	mg/L	0,002	0,002	0,002	-	
18.	Sianida (CN ⁻)	mg/L	0,02	0,02	0,02	-	
19.	Klorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	-	Bagi air baku air minum tidak dipersyaratkan
20.	Barium (Ba) terlarut	mg/L	1,0	-	-	-	
21.	Boron (B) terlarut	mg/L	1,0	1,0	1,0	1,0	
22.	Merkuri (Hg) terlarut	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	
23.	Arsen (As) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10	
24.	Selenium (Se) terlarut	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
25.	Besi (Fe) terlarut	mg/L	0,3	-	-	-	
26.	Kadnium (Cd) terlarut	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	
27.	Kobalt (Co) terlarut	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	
28.	Mangan (Mn) terlarut	mg/L	0,1	-	-	-	

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
29	Nikel (Ni) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1	
30.	Seng (Zn) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	2	
31.	Tembaga (Cu) terlarut	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	
32.	Timbal (Pb) terlarut	mg/L	0,03	0,03	0,03	0,5	
33.	Kromium heksavalen (Cr-(VI))	mg/L	0,05	0,05	0,05	1	
34.	Minyak dan lemak	mg/L	1	1	1	10	
35.	Deterjen total	mg/L	0,2	0,2	0,2	-	
36.	Fenol	mg/L	0,002	0,005	0,01	0,02	
37.	Aldrin/Dieldrin	µg/L	17	-	-	-	
38.	BHC	µg/L	210	210	210	-	
39.	Chlordane	µg/L	3	-	-	-	
40.	DDT	µg/L	2	2	2	2	
41.	Endrin	µg/L	1	4	4	-	
42.	Heptachlor	µg/L	18	-	-	-	
43.	Lindane	µg/L	56	-	-	-	
44.	Methoxychlor	µg/L	35	-	-	-	
45.	Toxapan	µg/L	5	-	-	-	
46.	Fecal Coliform	MPN/100 mL	100	1.000	2.000	2.000	
47.	Total Coliform	MPN/100 mL	1.000	5.000	10.000	10.000	
48.	Sampah		Nihil	Nihil	Nihil	Nihil	
49.	Radioaktivitas						
	Gross-A	Bq/L	0,1	0,1	0,1	0,1	
	Gross-B	Bq/L	1	1	1	1	

2.2 Parameter Kualitas Air

Kualitas air adalah karakteristik yang menggambarkan kondisi suatu badan air, yang ditentukan oleh berbagai parameter fisik, kimia, serta biologis yang dapat menentukan kelayakan atau pengelolaan sumber daya air untuk berbagai pemanfaatannya. Pengukuran konsentrasi kandungan unsur dalam baku mutu kualitas air dapat digunakan untuk menganalisis standar kualitas air. Pengukuran terhadap parameter lingkungan perairan akan memberikan gambaran tentang unsur-unsur yang terkandung di dalam air (Yusal & Hasyim, 2022).

2.2.1 Parameter Fisika Air

2.2.1.1 Rasa dan Bau

Bau secara tidak langsung dapat menunjukkan kualitas air. Kualitas air yang baik ditandai dengan tidak adanya bau pada jarak maupun dekat. Pencemaran oleh bahan organik dalam air dapat menyebabkan pembusukan akibat aktivitas bakteri. Proses metabolisme bakteri melibatkan unsur besi atau belerang menghasilkan gas hidrogen yang memberi bau khas pada air yang tercemari (M. Sari & Huljana, 2019).

2.2.1.3 Suhu

Suhu air dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti radiasi matahari, interaksi dengan atmosfer, lokasi geografis, dan aktivitas manusia. Suhu yang berubah signifikan dapat berdampak yang besar bagi karakteristik air lainnya dan juga berpengaruh bagi keberlangsungan hidup biota air. (Ainayah Alfatimah et al., 2022).

2.2.1.4 Kekeruhan

Kekeruhan air secara langsung berkorelasi dengan keberadaan partikel koloid, terutama yang berasal dari tanah liat. Semakin tinggi konsentrasi koloid, semakin keruh air tersebut. Kekeruhan ini mengindikasikan adanya suspensi berbagai partikel, termasuk pasir, lempung, sisa-sisa organik, dan mikroorganisme seperti ganggang (M. I. Sari et al., 2022). Warna pada air dapat ditentukan secara spesifik menggunakan alat WQC (Water Quality Checker) dengan satuan skala

TCU (True Color Unit) dengan kadar maksimum air bersih adalah 50 TCU (M. Sari & Huljana, 2019).

2.2.1.5 TDS (Total Dissolved Solid)

Total Dissolved Solid atau kandungan zat padat terlarut dalam suatu badan air secara signifikan mempengaruhi penetrasi cahaya matahari. Semakin tinggi nilai TDS, semakin berkurang intensitas cahaya yang dapat menembus permukaan air. Kondisi ini berdampak langsung pada penurunan laju fotosintesis, sehingga produktivitas perairan pun menurun. Selain itu, peningkatan TDS menyebabkan perubahan warna pada permukaan air akibat hamburan cahaya oleh partikel-partikel tersuspensi. Lebih lanjut, TDS yang tinggi akan meningkatkan massa jenis air, sehingga cahaya yang masuk mengalami pembelokan (refraksi) dan penyerapan yang lebih besar. Akibatnya, warna air cenderung lebih pudar. (Rahadi et al., 2020).

2.2.1.6 TSS (Total Suspended Solid)

Total Suspended Solid (TSS) merupakan fraksi padatan dalam suatu badan air yang berukuran lebih kecil dari sedimen, sehingga mampu tersuspensi dalam kolom air. Partikel-partikel TSS, yang terdiri atas mineral liat, bahan organik, dan mikroorganisme, menyebabkan kekeruhan air akibat kemampuannya dalam menghamburkan cahaya. Selain itu, TSS juga berperan dalam menentukan karakteristik optik perairan, termasuk warna, melalui proses penyerapan dan pemantulan cahaya (Rahadi et al., 2020).

2.2.2 Parameter Kimia Air

2.2.2.1 pH

pH menyatakan intensitas keadaan basa atau asam suatu larutan dan juga merupakan satu cara yang digunakan untuk menginformasikan konsentrasi ion H^+ . Untuk pH yang lebih kecil dari 7 bersifat asam dan pH lebih besar dari 7 bersifat basa (M. I. Sari et al., 2022).

2.2.2.2 Kesadahan

Ada dua jenis kesadahan yaitu kesadahan sementara (disebabkan oleh kalsium dan magnesium bikarbonat), yang dapat dihilangkan dengan memanaskan air hingga mendidih atau menambahkan kapur dalamnya. Kesadahan nonkarbonat (permanen) disebabkan oleh sulfat dan karbonat, klorida dan nitrat kalsium dan kalsium, serta besi dan aluminium. Jumlah kalsium yang tinggi dapat berdampak negative (M. I. Sari et al., 2022).

2.2.2.3 Alkalinitas

Alkalinitas adalah kapasitas air untuk menstabilkan lebih banyak asam tanpa menurunkan pH larutan. Alkalinitas berfungsi sebagai penyangga atau buffer yang melindungi larutan dari efek pengasaman (Sitanggang, 2019).

2.2.2.4 BOD (Biological Oxygen Demand)

Biological Oxygen Demand adalah jumlah oksigen yang diperlukan mikroorganisme untuk memecah zat-zat organik yang ada di dalam air (Saminem, 2021). Jumlah mikroorganisme serta aktivitasnya yang minim dapat mempengaruhi nilai BOD air (Royani et al., 2021).

2.2.2.5 COD (Chemical Oxygen Demand)

Chemical Oxygen Demand merupakan suatu parameter yang mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi seluruh materi organik yang terkandung dalam satu liter sampel air menjadi karbon dioksida dan air melalui reaksi kimia. Proses oksidasi ini mencakup baik senyawa organik yang dapat terurai secara biologis maupun yang resisten terhadap degradasi biologis (Saminem, 2021).

2.2.2.6 DO (Dissolved Oxygen)

Konsentrasi oksigen terlarut (dissolved oxygen atau DO) dalam suatu badan air merupakan parameter kunci yang digunakan untuk mengukur kapasitas suatu ekosistem akuatik dalam mendukung kehidupan biota serta berbagai proses biogeokimia. Tingkat oksigen terlarut secara langsung berkorelasi dengan produktivitas primer dan kesehatan ekosistem secara umum (Hamzah et al., 2023).

2.2.3 Parameter Biologi Air

Parameter biologi merupakan berbagai jenis organisme hidup yang menghuni suatu badan air. Keberadaan dan jumlah organisme ini dapat memberikan indikasi kuat mengenai kesehatan dan kualitas ekosistem perairan tersebut. Organisme yang ditinjau dalam parameter biologi adalah bakteri patogen yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Berikut daftar penyakit yang disebabkan oleh bakteri patogen yang dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut:

Tabel 2. 2 Bakteri Patogen Pada Air

Jenis mikroorganisme	Spesies	Penyakit yang ditimbulkan
	<i>Campylobacter</i>	Gastroenteritis

	<i>Clostridium botulinum</i>	Gastroenteritis (botulism)
	<i>Clostridium perfringens</i>	Gastroenteritis
	<i>E.coli</i>	Gastroenteritis
	<i>Legionella</i>	Pneumonia (penyakit paru-paru)
Bakteri	<i>Salmonella paratyphi</i>	Demam paratifoid
	<i>Salmonella typhi</i>	Demam tifoid
	<i>Shigella</i> (beberapa spesies)	Desentri
	<i>Staphylococcus aureus</i>	Gastroenteritis
	<i>Vibrio comma</i> (<i>V. cholera</i>)	Kolera
	<i>Cryptosporidium</i>	Gastroenteritis
Protozoa	<i>Entamoeba histolytica</i>	Desentri amuba
	<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis
Virus	<i>Hepatitis A virus</i>	Hepatitis
	<i>Poliovirus</i>	Poliomyelitis

2.3 Bioindikator

Bioindikator adalah sekumpulan organisme seperti tumbuhan, mikroba maupun hewan yang sering digunakan untuk melihat dan menilai perubahan yang terjadi di lingkungan baik secara biogeografis maupun secara kesehatan (Tania et al., 2021). Bioindikator memiliki beberapa manfaat dalam memantau kualitas lingkungan seperti mempercepat deteksi pencemaran, memberikan informasi tentang efek pencemaran dan membantu dalam pengambilan keputusan tentang pengelolaan lingkungan dan pengendalian pencemaran.

Bioindikator yang baik harus memiliki taksonomi dan ekologi yang mapan, tersebar luas di wilayah geografis yang luas, terspesialisasi pada kebutuhan habitat tertentu, memberikan peringatan dini akan perubahan, mudah dan hemat biaya untuk disurvei, sebagian besar tidak bergantung pada ukuran sampel, memiliki respons yang mencerminkan respons spesies lain, dan mampu

membedakan antara tren atau siklus yang disebabkan oleh stres antropogenik dan yang dipicu oleh siklus atau tren alami. Berdasarkan studi domestik dan global mengenai pemilihan bioindikator, sebelas standar seleksi telah ditetapkan yaitu (Chowdhury et al., 2023):

1. Spesies atau kelompok spesies dengan klasifikasi dan ekologi yang jelas;
2. Spesies atau kelompok spesies yang tersebar di wilayah geografis yang luas;
3. Spesies atau kelompok spesies yang menunjukkan karakteristik habitat yang jelas;
4. Spesies atau kelompok spesies yang dapat memberikan peringatan dini terhadap adanya perubahan;
5. Spesies atau kelompok yang dapat memperoleh manfaat secara cepat dan ekonomis dari penelitian;
6. Spesies atau kelompok yang tidak terpengaruh secara negative terhadap ukuran kelompok individu dan banyak memiliki individu kelompok yang independen;
7. Spesies atau kelompok spesies yang dianggap mewakili respons spesies lain;
8. Spesies atau kelompok spesies yang merupakan representasi dari perubahan ekologi yang disebabkan oleh tekanan pengaruh manusia;
9. Spesies atau kelompok spesies yang telah dilakukan penelitian tentang perubahan iklimnya;
10. Spesies atau kelompok spesies yang mudah diamati, muncul dalam jangka waktu lama dan membentuk kelompok individu yang besar;

11. Spesies atau kelompok spesies yang penting dalam hal budaya, ekonomi dan masyarakat.

2.4 Jenis Bioindikator

Kelompok indikator merujuk pada organisme individu atau komunitas organisme yang digunakan untuk melaksanakan studi biomonitoring. Kelompok yang paling sering digunakan adalah makroinvertebrata, perifiton, dan ikan. Pemilihan kelompok indikator akan bergantung pada tujuan studi dan ekosistem tempat studi akan dilaksanakan.

2.4.1 Makroinvertebrata

Makroinvertebrata akuatik merujuk pada kelompok serangga dan non-serangga yang beragam seperti krustasea, larva, siput, dan cacing yang mudah dilihat dengan mata telanjang (makro), tidak memiliki tulang belakang (invertebrata), dan hidup di lingkungan air asin atau air tawar. Istilah makroinvertebrata bentik merujuk pada organisme yang hidup di, pada, atau di dekat dasar laut, sungai, dan danau (zona bentik). Makroinvertebrata biasanya tinggal di antara sedimen, batu, dan tanaman air. Dalam hal jaring makanan, makroinvertebrata dapat dianggap sebagai perantara antara tingkat trofik yang lebih rendah dan lebih tinggi dari rantai makanan. Makroinvertebrata memakan tanaman, alga, atau makroinvertebrata lainnya, dan mereka pada gilirannya menjadi sumber makanan bagi ikan, burung, dan reptile.

Beberapa faktor yang mempengaruhi kesehatan komunitas makroinvertebrata adalah:

1. Oksigen terlarut: kadar oksigen terlarut dalam air yang rendah berpotensi mengganggu makroinvertebrata dalam fase perkembangannya di mana mereka memerlukan kadar oksigen tinggi.
2. Kelebihan nutrisi: eutrofikasi dapat membatasi jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh makroinvertebrata untuk berkembang.
3. pH: kadar pH rendah (yaitu, air asam) dapat melarutkan rangka luar dan membunuh makroinvertebrata.
4. Penebangan vegetasi tepi sungai merusak tempat berkembang biak dan berkembang biaknya mereka.
5. Musiman: di musim dingin, jumlah alga dan sumber makanan lain yang tersedia berkurang.

Penggunaan makroinvertebrata bentik telah didokumentasikan secara luas, dan merupakan jenis organisme yang paling umum digunakan untuk melakukan studi biomonitoring, dikarenakan memiliki banyak sifat seleksi yang diinginkan yang disebutkan di bagian sebelumnya. Selain itu memiliki mobilitas terbatas dan merupakan integrator yang baik dari kondisi lingkungan masa lalu, sangat beragam, ada di mana-mana, mudah dikumpulkan dan relatif mudah diidentifikasi.

2.4.2 Perifiton

Perifiton adalah mikroorganisme autotrofik dan heterotrofik seperti alga, sianobakteri, diatom, dan protozoa, semuanya berakar dalam matriks bahan organik. Mudah beradaptasi dengan baik untuk hidup di sebagian besar substrat terendam seperti batu, pasir, dan sedimen lain di sebagian besar ekosistem perairan. Perifiton biasanya ditemukan di lingkungan dengan air yang tenang.

Organisme ini merupakan produsen utama dalam jaringan trofik oleh karena itu perifiton sangat sensitif terhadap perubahan fisik dan kimia. Selain itu, siklus hidup yang pendek dan tingkat reproduksi yang cepat, yang menjadikannya salah satu bioindikator utama untuk penelitian yang berfokus pada perubahan jangka pendek dan mendadak di lingkungan. Pertumbuhan perifiton ditentukan oleh faktor abiotik dan biotik, misalnya:

1. Cahaya: jumlah energi matahari yang dapat diserap oleh kumpulan organisme dan diubah menjadi bahan organik.
2. Nutrisi: terutama nitrogen dan fosfor.
3. Ketersediaan ruang: mekarnya perifiton memerlukan substrat untuk menempel pada kondisi aliran stabil guna meningkatkan pertumbuhan.
4. Suhu: secara umum suhu yang lebih hangat mendukung pertumbuhan perifiton.

Kelayakan mereka sebagai bioindikator didasarkan pada karakteristik berikut: toleransi polusi mereka terdokumentasi dengan baik; ada spesies yang bergerak dan tidak bergerak (menempel); dan mereka kaya spesies dan kompak secara spasial. Metode non-taksonomi sederhana, seperti penentuan konsentrasi klorofil- α , telah dikembangkan untuk menilai total biomassa alga yang ada dalam sampel air. Beberapa metode taksonomi mencakup komposisi taksa, serta penentuan keanekaragaman dan kekayaan. Ini menawarkan berbagai macam metodologi biomonitoring peringatan dini yang andal, relatif sederhana, berbiaya rendah. Mengingat perifiton dapat bergerak atau tidak bergerak, mereka adalah pilihan bioindikator yang bagus di sungai dan lingkungan waduk. Dalam kasus ekosistem sungai, spesies sesil yang menempel pada spesies permukaan keras,

seperti diatom, lebih disukai. Diatom adalah mikroalga dan memiliki keuntungan karena mudah diidentifikasi (hingga tingkat spesies). Mereka lebih disukai untuk habitat riffle/run karena mereka tetap berada di lokasinya dan, oleh karena itu, mewakili kondisi yang ada di titik pengambilan sampel. Untuk waduk, perifiton, dan terutama fitoplankton, lebih disukai sebagai bioindikator untuk lingkungan seperti danau dan kolam. Fitoplankton terdiri dari berbagai macam alga; beberapa bersifat bentik dan beberapa mengapung di permukaan. Dalam kondisi nutrisi yang seimbang, fitoplankton akan mendominasi cyanobacteria dan diatom, yang tumbuh subur dalam kondisi eutrofik.

2.4.3 Ikan

Ikan berlimpah di banyak lingkungan akuatik, sebagai konsumen primer dan sekunder pada tingkat yang berbeda, ikan dapat mencerminkan kondisi trofik terintegrasi dalam lingkungan akuatik. Istilah bioakumulasi mengacu pada akumulasi bertahap zat-zat beracun (pestisida dan logam berat, misalnya) dalam jaringan organisme hidup. Konsentrasi zat-zat beracun ini terakumulasi, dan meningkat pada tingkat yang lebih tinggi secara berturut-turut dalam rantai makanan melalui suatu proses yang disebut biomagnifikasi atau bioamplifikasi. Mengingat tempatnya dalam jaring makanan, ikan dapat memberikan sejumlah besar informasi tentang tingkat keparahan terjadinya proses bioakumulasi ini dalam ekosistem perairan tertentu. Lebih jauh lagi, ikan merupakan sumber makanan penting bagi manusia, dan pemantauan tingkat jejaknya penting untuk memastikan keamanan pangan.

Berikut ini adalah beberapa gangguan habitat yang berdampak negatif terhadap komunitas ikan:

1. Eutrofikasi: penurunan radikal kadar oksigen terlarut.
2. Spesies invasif: masuknya spesies asing ke dalam ekosistem perairan dapat menggantikan spesies asli.
3. Polusi: meningkatnya zat beracun merupakan salah satu alasan utama menipisnya jumlah ikan.
4. Aliran air: perubahan habitat fisik, distribusi nutrisi, dan komposisi komunitas.

Beberapa karakteristik yang menjadikan ikan sebagai bioindikator yang baik adalah mudah diidentifikasi; memiliki kepekaan tinggi terhadap gangguan habitat; ukurannya memungkinkan berbagai prosedur analitis dilakukan (misalnya, analisis jaringan); dan memiliki kepentingan ekonomi, budaya, dan sosial yang kuat. Karena alasan ini, ketahanan ikan terhadap polutan tertentu sering kali menjadi dasar standar kualitas air ekologis. Karena umur panjang dan mobilitasnya, ikan merupakan indikator ideal dalam penilaian ekologi jangka panjang di area yang luas seperti hamparan sungai, danau, dan kolam selama periode waktu yang lama (Serafin Muñoz et al., 2022).

2.6 Sumber Belajar

Sumber belajar dapat didefinisikan sebagai keseluruhan elemen yang terdiri dari data, individu, metodologi, media, dan lingkungan pembelajaran yang dapat diakses oleh peserta didik untuk memfasilitasi proses pembelajaran. Elemen-elemen ini berfungsi sebagai sarana yang mendukung pencapaian tujuan pembelajaran secara efektif. Samsinar (2019) menjabarkan berbagai fungsi dan peranan sumber belajar sebagai berikut:

1. Mengoptimalkan waktu pendidik sehingga dapat meningkatkan efisiensi waktu pembelajaran, mengurangi tanggungan kerja pendidik, serta memfasilitasi pengembangan minat belajar siswa melalui bimbingan yang lebih intensif.
2. Memberikan pendidikan yang sifatnya lebih individual agar siswa memiliki ruang untuk mengembangkan potensi secara mandiri dan optimal.
3. Memberikan dasar-dasar pembelajaran yang lebih ilmiah dan sistematis, serta memfasilitasi bahan ajar yang relevan dan berkualitas.
4. Meningkatkan pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran dan meningkatkan efektivitas penyampaian informasi sehingga siswa dapat memahami informasi secara lebih mendalam dan menyeluruh.

