

Keanekaragaman Mikroalga dan Responnya terhadap Gradien Kualitas Air di Sungai Kaliares Boyolali

Nur Ubaidiyah¹, dan Nurmiyati^{1*}

¹Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia; e-mail: nurmiyati@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Sungai Kaliares dapat dikategorikan sebagai Sungai Kelas II karena diperuntukan untuk rekreasi air dan budidaya ikan air tawar. Hingga saat ini, belum terdapat penelitian lebih lanjut mengenai kualitas air Sungai Kaliares. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis keberadaan komunitas mikroalga air tawar dan responnya terhadap gradien tertentu kualitas air yang mencakup suhu, pH, BOD, dan CO_2 bebas. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *purposive sampling* dimana sampel yang diambil mewakili bagian hulu, tengah, dan hilir sungai. Sampel diambil menggunakan *phytoplankton trawl net (trawl)* berukuran sekitar 50 μm sebanyak 100 Liter dan segera diberi larutan Yodium lugol untuk mengawetkan bentuk dan struktur sel serta warna sel agar mudah terlihat di bawah mikroskop. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, spesies dengan kelimpahan spesies tertinggi yang ditemukan adalah *Nitzschia sp.*, dan *Synedra sp.* Secara keseluruhan, Sungai Kaliares memiliki Indeks Keanekaragaman (H') Sedang, dengan nilai tertinggi adalah KS1 1 sebesar 2,5030. Tidak ada spesies yang mendominasi dan memiliki indeks kemerataan spesies Tinggi. Faktor lingkungan diukur untuk mengetahui respon mikroalga pada gradien tertentu kualitas air, serta untuk menganalisis ada tidaknya hubungan parameter lingkungan dengan keanekaragaman mikroalga. Nilai BOD pada KS2 dan KS3 melebihi baku mutu yang artinya sungai tercemar ringan. Nilai suhu, pH, dan CO_2 pada ketiga stasiun menunjukkan sungai dalam keadaan baik. Hasil uji korelasi Pearson menunjukkan bahwa pH, BOD, dan CO_2 bebas menunjukkan korelasi negatif terhadap indeks keanekaragaman mikroalga yang artinya semakin tinggi nilai pH, BOD, dan CO_2 bebas, keanekaragaman mikroalga cenderung akan menurun. Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberi informasi tentang keanekaragaman mikroalga dan hubungannya dengan gradien kualitas air Sungai Kaliares, Boyolali.

Kata kunci: mikroalga, indeks keanekaragaman, kualitas air, parameter lingkungan

ABSTRACT

Kaliares River can be categorized as a Class II River, as it is designated for water recreation and freshwater aquaculture. To date, no further studies have been conducted regarding the water quality of the Kaliares River. This study aims to determine and analyze the presence of freshwater microalgal communities and their responses to certain gradients water quality, including temperature, pH, BOD, and free CO_2 . The method in this study was *purposive sampling*, which samples were collected from locations representing the upstream, middle, and downstream sections of the river. Samples were collected using a *phytoplankton trawl net* with a mesh size of approximately 50 μm from 100 L of water. The samples were immediately preserved with Lugol's iodine solution to maintain cell shape, structure, and color, allowing easier observation under a microscope. Based on the results, species with highest abundance found were *Nitzschia sp.* and *Synedra sp.* Kaliares River had a Moderate Diversity Index (H'), with the highest recorded at KS1 (2,5030). No species dominated, evenness index was categorized as High. Environmental factors were measured to determine the response of microalgae to gradients of water quality, as well as to analyze whether there was a relationship between environmental parameters and microalgae diversity. BOD values at KS2 and KS3 exceeded the water quality standards, indicating that the river was slightly polluted. The values of temperature, pH, and free CO_2 at the three stations indicated that the river was in good condition. The results of the Pearson correlation test showed that pH, BOD, and free CO_2 had a negative correlation with the microalgae diversity index, indicating that higher values of pH, BOD, and free CO_2 tended to reduce microalgae diversity. The results of this study are expected to provide information on microalgae diversity and its relationship with water quality gradients in the Kaliares River, Boyolali.

Keywords: *microalgae, diversity index, water quality, environmental parameters*

Citation: Ubaidiyah, N., dan Nurmiyati. (2026). Keanekaragaman Mikroalga Air Tawar di Sungai Kaliares Kabupaten Boyolali. Jurnal Ilmu Lingkungan, 24(1), 62-71, doi:10.14710/jil.24.1.62-71

1. PENDAHULUAN

Keanekaragaman mikroalga adalah suatu konsep penting dalam biologi yang merujuk pada variasi spesies dan jumlah individu mikroalga yang terdapat dalam suatu ekosistem. Mikroalga adalah organisme renik yang berukuran mikroskopik, termasuk dalam kelas alga, dan hidup sebagai koloni maupun sel. Mikroalga atau ganggang adalah mikroorganisme perairan yang dapat memperoleh makanannya sendiri karena dapat melakukan fotosintesis untuk menghasilkan zat-zat organik (Dodds, 2002; Imelda et al., 2018). Mikroalga berperan sebagai produsen primer dalam ekosistem sungai, menghasilkan oksigen melalui fotosintesis dan menyediakan energi untuk tingkat trofik berikutnya (Reynolds, 2006). Mikroalga merupakan salah satu organisme perairan yang difungsikan sebagai bioindikator kualitas air suatu perairan (Kelly et al., 1998). Konsentrasi klorofil yang terkandung di dalam sel mikroalga dapat diukur untuk mengetahui tinggi rendahnya kelimpahan mikroalga pada suatu badan air (Hakiki, 2016).

Dalam beberapa penelitian, keanekaragaman mikroalga telah ditemukan memiliki hubungan dengan kualitas air dan lingkungan. Misalnya, penelitian di Sungai Kati Kota menemukan bahwa Chlorophyta adalah kelompok mikroalga yang paling banyak ditemukan, dengan 20 spesies dari 20 genera. Hal ini menunjukkan bahwa Chlorophyta dapat menjadi indikator kualitas air yang stabil dan tidak tercemar (Harmoko & Sepriyaningsih, 2017).

Pengukuran indeks keanekaragaman (H') juga digunakan untuk menilai tingkat keseimbangan dari struktur komunitas mikroalga yang diamati. Penelitian yang dilakukan oleh Subagio, (2016) menyatakan nilai H' yang diperoleh pada masing-masing stasiun menunjukkan keadaan air disekitar perairan Pantai Cemara dikategorikan tercemar sedang atau stabilitas komunitas biotanya sedang. Dalam beberapa penelitian lain, keanekaragaman mikroalga juga ditemukan berhubungan dengan faktor lingkungan seperti pH, suhu, dan kecerahan. Misalnya, penelitian di Sungai Air Lais Bengkulu Utara menemukan bahwa kecepatan arus berpengaruh terhadap kelimpahan mikroalga, dengan jumlah mikroalga yang lebih banyak pada kondisi arus yang lebih kecil (Dayana et al., 2022).

Keanekaragaman mikroalga merupakan parameter yang penting dalam menilai kualitas air dan lingkungan. Mikroalga memberikan gambaran kondisi perairan, terutama karena pencemaran karena mikroalga cepat merespon perubahan lingkungan (Harmoko & Sepriyaningsih, 2019). Dominansi mikroalga tidak sama antara satu perairan dengan perairan lain karena adanya interaksi antara faktor fisik dan kimia di lingkungan (Dayana et al., 2022). Salah satu yang dapat menjadi bioindikator pencemaran adalah mikroalga epilitik salah satunya Chlorella yang mampu bertahan hingga suhu air 40 °C, tetapi tidak dapat hidup di lingkungan ekstrem (Chamidah et al. 2025).

Sungai Kaliarees adalah salah satu sungai yang ada di desa Nepen Kecamatan Teras, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah. Sungai ini bersumber dari aliran sumber mata air dari umbul Sungsang yang juga menjadi tempat wisata perairan disana dengan nama Wisata Alam Panorama. Sungai ini terbilang kecil dan cukup pendek, banyak masyarakat masih memanfaatkan sungai ini sebagai salah satu sumber mata air mereka, baik untuk mandi atau mencuci baju mengingat lokasinya yang dekat dengan pemukiman penduduk. Ada warga yang membuat tambak ikan kecil di sungai dekat dengan rumah mereka. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, Sungai Kaliarees dapat dikategorikan sebagai Air Sungai Kelas II karena diperuntukan untuk rekreasi air dan budidaya ikan air tawar. Tetapi hingga saat ini, belum terdapat penelitian lebih lanjut mengenai bagaimana kualitas air di sungai Kaliarees. Mengingat banyak warga yang menggunakan air dari aliran air untuk beraktivitas, alangkah baiknya jika bisa mengetahui apakah sungai tersebut tercemar atau tidak. Salah satu caranya adalah meneliti keanekaragaman mikroalga dan menganalisis responnya terhadap gradien kualitas air sungai yang diuji.

Berdasarkan hasil observasi dan studi terdahulu terkait potensi mikroalga sebagai bioindikator lingkungan perairan, maka peneliti melakukan analisis Keanekaragaman mikroalga di Sungai Kaliarees Kecamatan Teras, Kabupaten Boyolali dengan tujuan untuk mengetahui keanekaragaman dan menganalisis hubungan keanekaragaman mikroalga dengan kualitas air di sungai tersebut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai parameter biologi yang dapat menggambarkan keanekaragaman mikroalga di sungai Kaliarees berdasarkan parameter lingkungannya.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni hingga Desember 2024. Pengambilan sampel air dan pengukuran parameter lingkungan dilakukan di Sungai Kaliarees, Kabupaten Boyolali. Pengujian BOD dan CO_2 bebas dilakukan di titik pengambilan sampel dan di Laboratorium. Pengamatan dan identifikasi mikroalga dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Pendidikan Biologi, Universitas Sebelas Maret. Pengamatan dilakukan dengan panduan dari buku yang ditulis oleh Prasad, (2020) "*Freshwater Algae*" dan buku "*Easy identification of the most common Freshwater Algae*" oleh Vuuren et al., (2006). Selain itu, website seperti *NIWA Taihoro Nukurangi* dan *Keweenawaalgae* juga dipakai sebagai referensi.

2.2. Metode Pengambilan Sampel

Penentuan stasiun pengambilan sampel dilakukan secara *purposive sampling*. Pada penelitian ini, sampling dilakukan dengan menentukan tiga stasiun yang mewakili wilayah hulu, tengah, dan hilir sungai dengan 2 titik pengambilan berbeda dari masing-masing stasiun. Stasiun 1 merupakan Hulu sungai

yaitu di Umbul Panorama (KS1), Stasiun 2 terletak dekat dengan pemukiman warga (KS2), sedangkan Stasiun 3 bagian akhir aliran sungai yaitu Hilir (KS3).



Gambar 1. Titik Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel mikroalga dilakukan dengan cara diambil langsung dari badan air dengan *phytoplankton trawl net (trawl)* berukuran sekitar 50 μm sebanyak 100 Liter dibantu menggunakan ember 10 Liter dan pengambilan diulang sebanyak 10 kali. Hasil saringan diambil sebanyak kurang lebih 250 ml dan ditempatkan pada botol sampel, kemudian menambahkan larutan Yodium 2 ml per 100 ml sampel, dan diberi label lokasi, tanggal, dan waktu pengambilan sampel. Fiksasi yodium lugol akan mengawetkan bentuk dan struktur sel serta warna sel yaitu dari kekuningan menjadi coklat tua agar mudah terlihat di bawah mikroskop (Prasad, 2020).

2.3. Pembuatan Larutan Yodium Lugol

Pembuatan larutan yodium lugol dimulai dengan melarutkan 150 g kalium iodida kemudian menambahkan 50 g yodium kedalam 980 ml aquades, lalu menambahkan 20 ml asam asetat glasial. Lugol yodium ditambahkan ke sampel air sungai segera setelah pengumpulan, menggunakan 2-3 ml yodium per 100 ml sampel.

2.4. Parameter Pengukuran

Pengukuran parameter perairan dilakukan dengan thermometer untuk mengukur suhu air dan pH meter untuk mengukur pH. Menghitung oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) untuk BOD dengan titrasi menggunakan larutan Na-thiosulfat, serta mengukur CO_2 bebas dengan titrasi NaOH yang dilakukan di laboratorium dengan jumlah 3 sampel yang mewakili stasiun 1, 2, dan 3.

2.5. Teknik Pengolahan Data

Data jumlah mikroalga dianalisis menggunakan metode sapuan *Sedgwick Rafter Counting Cell*. Data mikroalga yang diperoleh akan dianalisis komposisi komunitas mikroalga yang meliputi, indeks keanekaragaman Shanon-Wiener, indeks dominansi *Simpson*, indeks pemerataan, dan indeks kekayaan jenis Margalef.

1. Kelimpahan Mikroalga

Jumlah Individu spesies yang teramati dari 2 titik ulangan pada masing masing Stasiun digabungkan menjadi 3 Sampel Stasiun yaitu KS1, KS2, dan KS3 kemudian dihitung kelimpahannya. Rumusnya adalah:

$$N = \frac{n \times V_r}{V_c \times V_s}$$

Keterangan:

- N : Kelimpahan mikroalga (ind/L)
- n : Jumlah individu yang terhitung
- V_r : Volume air dalam botol sampel (ml)
- V_c : Volume air yang diamati
- V_s : Volume air yang disaring (L)

2. Indeks Keanekaragaman Shanon-Wiener

Indeks Keanekaragaman mengukur keragaman spesies dalam suatu komunitas disuatu wilayah, yang mencakup jumlah spesies (*richness*) dan kelimpahan relatif (*evenness*) (Magurran, 2004). Rumusnya adalah:

$$H' = - \sum_{i=1}^s pi \ln pi$$

Keterangan:

- H' : Indeks Keanekaragaman Shanon-Wiener
- S : Jumlah total spesies.
- $pi \ln pi$: Proporsi individu dari spesies ke-i terhadap total individu ($pi = \frac{ni}{N}$)
- \ln : Logaritma natural.

Nilai indeks yang telah diperoleh dikategorikan menjadi 3 yaitu:

- $H' < 1$: Keanekaragaman rendah
- $1 < H' < 3$: Keanekaragaman Sedang
- $H' > 3$: Keanekaragaman Tinggi

3. Uji Korelasi

Uji korelasi dilakukan untuk mengetahui kuat lemahnya hubungan antar variabel yaitu nilai H' Keanekaragaman Mikroalga dan nilai parameter lingkungan. Uji korelasi yang digunakan adalah uji korelasi Pearson.

4. Indeks Dominansi *Simpsons*

Indeks Dominansi *Simpsons* adalah ukuran yang digunakan untuk menghitung dominansi spesies dalam suatu komunitas. Indeks ini fokus pada kelimpahan relatif dan kemungkinan dua individu yang dipilih secara acak berasal dari spesies yang sama. Rumusnya adalah (Little et al., 1998):

$$D = \sum_{ni=1}^s pi^2$$

$$pi = \frac{ni}{N}$$

Keterangan:

- D : Indeks Dominansi *Simpsons*
- ni : Jumlah spesies individu ke-i
- N : Jumlah total individu mikroalga tiap titik

Nilai indeks Dominansi *Simpsons* adalah 0 - 1 dimana jika nilai D mendekati nol maka tidak ada genus mikroalga yang dominan, sedangkan jika nilai D semakin mendekati 1 maka terdapat genus yang mendominasi.

5. Indeks Kemerataan (*Evenness Index*)

Indeks kemerataan mengukur tingkat distribusi individu di antara spesies dalam suatu komunitas disuatu wilayah. Rumus yang umum digunakan adalah (Help et al., 1998):

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

Keterangan:

- E : Indeks Kemerataan (*Evenness Index*)
- H' : Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener.
- S : Jumlah jenis mikroalga tiap titik

Nilai indeks kemerataan yang telah diperoleh kemudian dikategorikan menjadi 3, yaitu:

- $E' \leq 0,3$: Kemerataan jenis rendah
- $0,3 < E' < 0,6$: Kemerataan jenis sedang
- $E' \geq 0,6$: Kemerataan jenis tinggi

6. Indeks Kekayaan Jenis Margalef

Indeks ini mengukur kekayaan spesies berdasarkan jumlah spesies dan jumlah total individu. Rumusnya adalah (Margalef, 1958):

$$D_m = \frac{S - 1}{\ln(N)}$$

Keterangan:

- D_m : Indeks Kekayaan Jenis Margalef
- S : Jumlah jenis mikroalga tiap titik
- N : Jumlah total individu mikroalga tiap titik

Berdasarkan Magurran, (2004) kriteria indeks ini adalah sebagai berikut:

- $S < 3,5$: Kekayaan jenis rendah
- $3,5 \leq S \leq 5,0$: Kekayaan jenis sedang
- $S > 5$: Kekayaan jenis tinggi

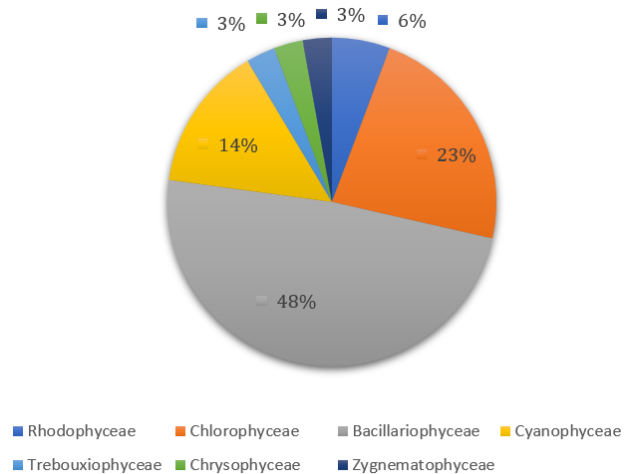
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Komposisi dan Kelimpahan Mikroalga

Berdasarkan hasil pengamatan dan identifikasi terhadap sampel mikroalga di sungai Kaliarees, Kabupaten Boyolali didapatkan sebanyak 35 jenis mikroalga. Anggota dari Divisi Bacillariophyceae menjadi Divisi dengan jenis yang paling banyak ditemukan yaitu sebanyak 17 jenis. Anggota divisi lain juga diidentifikasi seperti Rhodophyceae, Chlorophyceae, Cyanophyceae, Trebouxiophyceae, Chrysophyceae, dan kelas Zygnematophyceae.

Spesies dari Divisi Bacillariophyceae diantaranya adalah *Cavinula sp.*, *Cymbella sp.*, *Eunotia sp.*, *Geissleria sp.*, *Gomphonema sp.*, *Gyrosigma sp.*, *Hyalodiscus sp.*, *Kobayasiella sp.*, *Mastogloia sp.*, *Navicula sp.*, *Nitzschia sp.*, *Pleurosigma sp.*, *Stenopterobia sp.*, *Surirella sp.*, *Synedra sp.*, *Terpsinoe sp.*, dan *Ulnaria ulna*. Spesies *Synedra sp.*, dan *Nitzschia sp.* menjadi spesies dengan kelimpahan tertinggi yaitu 48 ind/L dan 35 ind/L pada sampel KS3. Hal ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Witariningsih et al., (2020) dimana keluarga Bacillariophyceae paling banyak ditemukan di sungai karena kemampuan adaptasinya yang tinggi. Berdasarkan pengamatan, anggota Bacillariophyceae memiliki ciri khas diantaranya

berbentuk simetris radial (bulat) atau bilateral yaitu oval atau lonjong. Spesies seperti *Nitzschia sp.*, dan *Synedra sp.*, memiliki bentuk yang bervariasi. Memiliki klorofil a,c, serta pigmen fukosantin yang dapat memberi warna keemasan (Sedjati et al., 2019).



Gambar 2. Presentase Mikroalga Teridentifikasi

Anggota Rhodophyceae yang teridentifikasi diantaranya adalah *Acrochaetium sp.*, dan *Audouinella sp.* dimana *Audouinella sp.* menjadi spesies terbanyak yang ditemukan yaitu sebanyak 33 ind/L pada sampel KS1. Alga ini memiliki pigmen fikobiliprotein yang menyebabkan warnanya menjadi merah (Lumbessy et al., 2020), struktur morfologi alga ini bervariasi mulai dari uniseluler hingga multiseluler yang bercabang seperti *Audouinella sp.* (Dodds, 2002).

Chlorophyceae menjadi divisi kedua yang memiliki anggota paling banyak teridentifikasi diantaranya *Bulbochaete sp.*, *Cladophora sp.*, *Cylindrocapsa sp.*, *Haematococcus sp.*, *Microspora sp.*, *Rhizoclonium sp.*, *Stigeoclonium sp.*, dan *Trentepohlia sp.* Spesies paling banyak yang ditemukan adalah *Microspora sp.* dengan 8 ind/L pada sampel KS2. Chlorophyceae memiliki warna hijau dengan dominasi klorofil a dan b, strukturnya bisa berupa filamen atau lembaran (Dodds, 2002).

Divisi selanjutnya yang teridentifikasi adalah Cyanophyceae dengan anggota *Chamaesiphon sp.*, *Merismopedia sp.*, *Oscillatoria sp.*, *Phormidium sp.*, dan *Spirulina sp.* Spesies paling banyak yang ditemukan adalah *Phormidium sp.* dengan 25 ind/L pada sampel KS2. Sedangkan divisi Trebouxiophyceae, Chrysophyceae, dan Zygnematophyceae masing-masing teridentifikasi 1 spesies yaitu *Chlorella sp.*, *Dinobryon sp.*, dan *Spirogyra sp.* Anggota kelompok Cyanophyceae memiliki warna biru kehijauan dengan adanya klorofil a dan pigmen fikosianin, memiliki kemampuan untuk memfiksasi nitrogen (Dodds, 2002; Khofifah et al., 2023). Ganggang hijau atau Trebouxiophyceae hidup bebas atau bersimbiosis, serta sebagian besar membentuk koloni. *Spirogyra sp.* anggota dari divisi Zygnematophyceae umumnya berbentuk filamen sederhana tanpa percabangan (Fauziah & Laily, 2015). Seperti yang dinyatakan oleh

Corliss et al., (1977) dalam bukunya bahwa spesies ini memiliki kloroplas yang berbentuk pita, spiral, atau bintang.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat ditemukan bahwa Sampel KS1 memiliki jenis mikroalga paling banyak yaitu sebanyak 18 jenis, KS3 memiliki 16 jenis mikroalga, sedangkan KS2 memiliki jenis mikroalga paling sedikit yaitu 15 jenis. Kelimpahan mikroalga paling tinggi adalah KS3 dengan 178 ind/L, sedangkan KS2 paling rendah yaitu sebanyak 155 ind/L.

Dari ketiga sampel sungai, spesies *Synedra sp.*, dan *Nitzschia sp.*, menjadi yang paling banyak ditemukan, tetapi yang menjadi sorotan adalah walaupun paling banyak ditemukan, spesies *Nitzschia sp.*, tidak ditemukan pada Sampel KS1. *Synedra sp.* dan *Nitzschia sp.* adalah anggota Bacillariophyceae yang banyak ditemukan di sungai karena memiliki kemampuan adaptasi yang sangat baik terutama perairan dengan arus yang kuat karena dapat melekat pada substrat seperti batu, pasir, atau tanaman hingga hidup bebas di kolam air (Pratiwi et al., 2017). Diatom sering digunakan sebagai bioindikator untuk menilai kualitas air sungai karena responsnya yang sensitif terhadap perubahan parameter lingkungan seperti nutrisi, pH, dan polusi (Kelly et al., 1998). *Nitzschia sp.* dapat berkembang di lingkungan kaya nutrisi akibat limpasan pertanian atau aktivitas manusia sehingga dapat hidup pada lingkungan yang tercemar

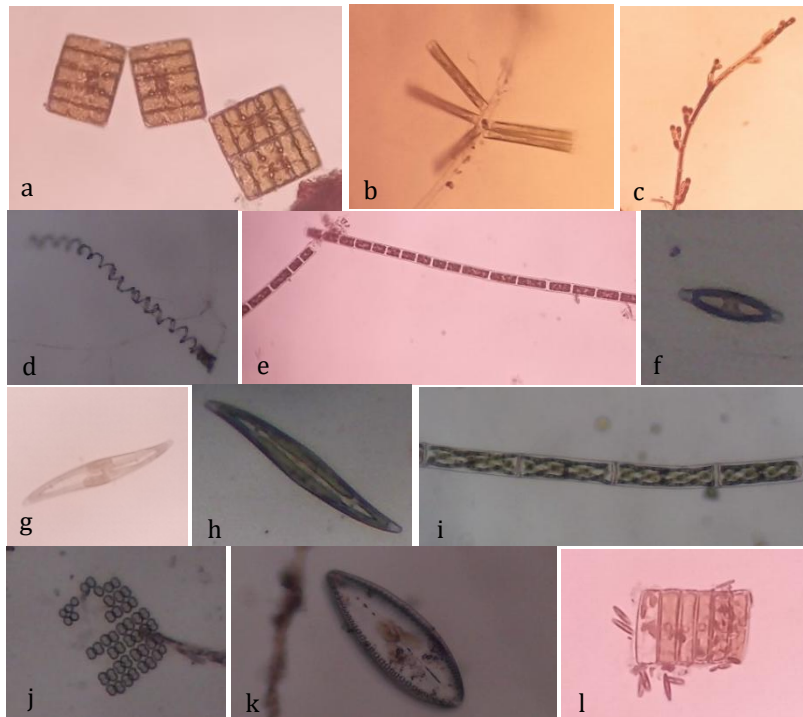
sekalipun (Febriyanti et al., 2023). *Nitzschia sp.* tidak ditemukan di daerah hulu kemungkinan karena hulu merupakan umbul dengan perairan yang bersih dan cukup tenang karena aliran air tidak secepat di dua titik yang lain. Selain Bacillariophyceae, cyanobacteria, dan chlorophytes (alga hijau) juga sering banyak ditemukan (Harmoko & Sepriyaningsih, 2017; Setyowati et al., 2021).

3.2. Keanekaragaman Mikroalga di Sungai Kaliare

Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener adalah salah satu metode kuantitatif yang digunakan untuk mengukur keanekaragaman spesies di suatu wilayah. Indeks ini mencakup keragaman spesies berdasarkan jumlah spesies dan kelimpahan relatif masing-masing spesies. Indeks ini menunjukkan bagaimana tingkat keseimbangan antara komposisi jenis pada suatu wilayah atau komunitas (Little et al., 1998). Nilai indeks yang tinggi mengindikasikan keberagaman mikroalga yang tinggi pada perairan.

Tabel 2. Nilai Indeks Keanekaragaman

Stasiun Pengamatan	Indeks Keanekaragaman	Kategori
KS1 (Stasiun 1)	2,5030	Sedang
KS2 (Stasiun 2)	2,4163	Sedang
KS3 (Stasiun 3)	2,2184	Sedang



Gambar 3. Beberapa Contoh Spesies Mikroalga yang Teramati. (a) *Terpsinoe sp.*, (b) *Synedra sp.*, (c) *Audouinella sp.*, (d) *Spirulina sp.*, (e) *Trentepohlia sp.*, (f) *Navicula sp.*, (g) *Pleurosigma sp.*, (h) *Gyrosigma sp.*, (i) *Spirogyra sp.*, (j) *Merismopedia sp.*, (k) *Surirella sp.*, (l) *Eunotia sp.*

Tabel 1. Jenis – Jenis dan Kelimpahan Mikroalga di Sungai Kaliarees

No.	Divisi	Jenis Mikroalga	Kelimpahan (ind/L)		
			KS1 (Stasiun 1)	KS2 (Stasiun 2)	KS3 (Stasiun 3)
1	Rhodophyceae	<i>Acrochaetium sp.</i>	10	0	0
2		<i>Audouinella sp.</i>	33	3	0
3	Chlorophyceae	<i>Bulbochaete sp.</i>	3	0	0
4		<i>Cladophora sp.</i>	3	0	0
5		<i>Cylindrocapsa sp.</i>	3	0	0
6		<i>Haematococcus sp.</i>	0	0	3
7		<i>Microspora sp.</i>	0	8	0
8		<i>Rhizoclonium sp.</i>	5	0	0
9		<i>Stigeoclonium sp.</i>	3	0	0
10		<i>Trentepohlia sp.</i>	0	3	3
11	Bacillariophyceae	<i>Cavinula sp.</i>	0	0	3
12		<i>Cymbella sp.</i>	3	0	0
13		<i>Eunotia sp.</i>	15	0	0
14		<i>Geissleria sp.</i>	0	0	3
15		<i>Gomphonema sp.</i>	25	0	0
16		<i>Gyrosigma sp.</i>	0	0	5
17		<i>Hyalodiscus sp.</i>	0	5	0
18		<i>Kobayasiella sp.</i>	0	8	0
19		<i>Mastogloia sp.</i>	0	3	0
20		<i>Navicula sp.</i>	0	10	10
21		<i>Nitzschia sp.</i>	0	25	35
22		<i>Pleurosigma sp.</i>	0	0	5
23		<i>Stenopterobia sp.</i>	0	0	3
24		<i>Surirella sp.</i>	0	8	30
25		<i>Synedra sp.</i>	20	28	48
26		<i>Terpsinoe sp.</i>	5	0	0
27		<i>Ulnaria ulna</i>	3	5	5
28	Cyanophyceae	<i>Chamaesiphon sp.</i>	3	0	0
29		<i>Merismopedia sp.</i>	0	0	3
30		<i>Oscillatoria sp.</i>	0	8	0
31		<i>Phormidium sp.</i>	10	25	8
32		<i>Spirulina sp.</i>	5	15	13
33	Trebouxiophyceae	<i>Chlorella sp.</i>	5	0	0
34	Chrysophyceae	<i>Dinobryon sp.</i>	18	5	0
35	Zygnematophyceae	<i>Spirogyra sp.</i>	0	0	5

Sumber data diolah dari hasil pengamatan

Magurran, (2004) dalam bukunya menyatakan Jika nilai $H' < 1$, keanekaragaman dinyatakan rendah yang menyebabkan komunitas biota sungai yang tidak stabil. Jika H' berada diantara 1 – 3 maka dinyatakan sedang, dan jika nilai $H' > 3$ maka komunitas biota dinyatakan memiliki keanekaragaman tinggi dengan komunitas biota yang stabil. Berdasarkan kriteria yang ada, ketiga stasiun pengambilan sampel sungai Kaliarees memiliki indeks keanekaragaman Sedang, dengan rata-rata 2,37. Walaupun sungai Kaliarees memiliki jalur aliran air yang sama, tetapi titik pengambilan sampel memiliki kondisi lingkungan yang berbeda, oleh karena itu pengambilan rata-rata dengan tidak menggabungkan data dalam perhitungan dapat digunakan untuk menghindari bias.

Indeks Keanekaragaman Sedang menunjukkan komunitas mikroalga yang sedang, seperti penelitian oleh Priyambodo et al. (2023) yang menyatakan kemungkinan adanya gangguan lingkungan berupa pencemaran air atau polusi pada indeks keanekaragaman mikroalga sedang. Hal ini didukung oleh penelitian oleh Audah et al., (2021) dimana indeks keanekaragaman sedang pada komunitas diatom menunjukkan stabilitas komunitas sedang yang terindikasi adanya pencemaran.

3.3. Indeks Dominansi Simpson

Nilai Indeks Dominansi dari ketiga stasiun pengambilan sampel menunjukkan hasil yang beragam dan memiliki pola yaitu nilai indeks dominansi meningkat pada masing-masing stasiun.

Tabel 3. Nilai Indeks Dominansi

Stasiun Pengamatan	Indeks Dominansi
KS1 (Stasiun 1)	0,1053
KS2 (Stasiun 2)	0,1103
KS3 (Stasiun 3)	0,1533

Nilai indeks Dominansi Simpson adalah 0 – 1 dimana jika nilai D mendekati nol maka tidak ada genus mikroalga yang dominan, sedangkan jika nilai D semakin mendekati 1 maka terdapat genus yang mendominasi (Little et al., 1998). Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin nilai indeks mendekati nol, spesies tertentu tidak mendominasi komunitas mikroalga di sungai Kaliarees. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian oleh Sugiana et al. (2022), dan Hairunnadawiah et al. (2022) yang menyebutkan bahwa nilai dominansi $\leq 0,5$ artinya perairan memiliki dominansi spesies rendah, dan kondisi perairan masih bagus.

Dominansi spesies cenderung mengurangi keanekaragaman spesies atau biodiversitas (Palupi, 2024). Dominansi spesies dapat menghambat regenerasi spesies lain melalui kompetisi sumber

daya seperti cahaya, nutrisi, atau ruang hidup (Griffin et al., 2009).

3.4. Indeks Kemerataan

Indeks kemerataan atau Index of Evenness mengukur tingkat distribusi individu di antara spesies dalam suatu komunitas (Help et al., 1998). Indeks ini dapat digunakan untuk mengetahui kestabilan suatu komunitas dilihat dari distribusi kelimpahan individu spesiesnya. Kemerataan yang tinggi ditunjukkan jika nilai indeks E lebih dari 0,6.

Tabel 4. Nilai Indeks Kemerataan

Stasiun Pengamatan	Indeks Kemerataan	Kategori
KS1 (Stasiun 1)	0,8659	Tinggi
KS2 (Stasiun 2)	0,8922	Tinggi
KS3 (Stasiun 3)	0,8001	Tinggi

Berdasarkan kriteria yang ada, ketiga stasiun memiliki tingkat kemerataan spesies yang tinggi. Tingkat kemerataan spesies yang tinggi menunjukkan penyebaran individu spesies merata dan tidak ada kecenderungan dominansi pada suatu komunitas, seperti penelitian oleh Febriyanti et al. (2023) yang menyatakan tingkat kemerataan yang tinggi pada mikroalga perairan Teluk Kelabat menunjukkan komunitas mikroalga yang stabil di lingkungan.

3.5. Indeks Kekayaan Jenis

Indeks ini memberikan gambaran tentang tingkat biodiversitas suatu komunitas (Magurran, 2004). Indeks kekayaan jenis pada sungai Kaliarens memiliki hasil yang beragam.

Tabel 5. Indeks Kekayaan Jenis

Stasiun Pengamatan	Indeks Kekayaan Jenis	Kategori
KS1 (Stasiun 1)	4,0431	Sedang
KS2 (Stasiun 2)	3,3921	Rendah
KS3 (Stasiun 3)	3,5189	Sedang

Nilai indeks yang rendah menunjukkan bahwa komunitas didominasi oleh beberapa spesies yang memiliki kelimpahan sangat tinggi, dalam buku Little et al. (1998) nilai indeks rendah mencerminkan hanya beberapa spesies yang mampu bertahan dalam kondisi lingkungan tertentu, seperti polusi atau stres lingkungan lainnya. Hasil ini didukung dengan penelitian oleh Anggraini et al. (2024) yang menyatakan bahwa kualitas lingkungan mempengaruhi spesies dominasinya.

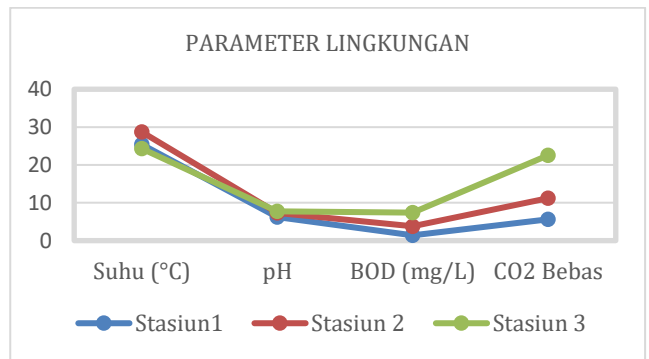
Titik KS2 merupakan stasiun yang paling dekat dengan lingkungan manusia yang telah melakukan banyak aktivitas disekitar sungai seperti mencuci baju dan membersihkan peralatan rumah tangga, hal ini dapat mempengaruhi kekayaan jenis pada komunitas. Penelitian oleh Kadim & Pasingi, (2024) menyatakan bahwa aktivitas manusia seperti pembuangan limbah organik di perairan dapat mengganggu keseimbangan ekologi organisme air.

3.6. Faktor Fisik dan Kimia Lingkungan Sungai

Parameter lingkungan telah diukur guna menganalisis hubungan antara parameter lingkungan dengan Indeks Keanekaragaman Mikroalga. Tabel 5 menunjukkan bahwa suhu rata-rata sungai mulai dari KS1, KS2, dan KS3 adalah 26,13 °C dimana hal ini sesuai dengan Barten et al., (2020) dimana mikroalga dapat tumbuh optimal pada suhu berkisar antara 20°C – 30°C. Suhu memengaruhi aktivitas enzimatis yang terlibat dalam fotosintesis dan respirasi dimana pada suhu optimal, enzim bekerja paling efisien, yaitu meningkatkan laju pertumbuhan dan produktivitas (Khofifah et al., 2023). Contohnya spesies seperti *Chlorella sp.* yang ditemukan pada sampel KS1 dengan suhu 25,40 °C.

Tabel 6. Parameter Lingkungan

Parameter	Stasiun		
	KS1	KS2	KS3
Suhu	25,4	28,7	24,3
pH	6,25	7,3	7,7
BOD (mg/L)	1,4	3,8	7,4
CO ₂ bebas (mg/L)	5,6	11,2	22,5



Gambar 3. Hubungan Antar Parameter Lingkungan

Besar pH dari ketiga stasiun rata-rata adalah sebesar 7,08. Berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021, baku mutu pH sungai adalah 6-9, berdasarkan hasil uji pH sungai Kaliarens masih dalam ambang batas, yang artinya sungai tidak tercemar. Didukung oleh penelitian Harmawan, (2022) dimana nilai pH 6 - 9 pada air sampel menunjukkan bahwa air dalam keadaan baik, sedangkan pH kurang dari 6 dapat mempengaruhi aktivitas mikroorganisme. Harmoko et al., (2017) menyatakan bahwa pH optimal untuk pertumbuhan mikroalga umumnya berada pada rentang 6–9, meskipun nilai ini dapat bervariasi tergantung pada spesies dan habitatnya, pada mikroalga air tawar biasanya tumbuh optimal pada pH 7,5–8,5 (Hadi et al., 2023). pH ekstrem dapat menyebabkan kerusakan osmotik atau perubahan permeabilitas sesuai dengan penelitian Warsidah et al., (2024) dimana pH yang optimal dapat menjaga stabilitas membran sel tanaman.

Parameter lain yang diukur adalah kadar BOD dan CO₂ bebas pada ketiga stasiun. BOD atau *Biological Oxygen Demand* adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air (Audah et al., 2021; Ilham et al., 2023), semakin tinggi nilai BOD dapat

menunjukkan bahwa air sudah tercemar (Kadim & Pasingi, 2024). Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, baku mutu air sungai kelas II adalah 3 mg/L sejalan dengan Buku I Laporan Induk KLHS RPJPD Kabupaten Boyolali tahun 2024 tentang baku mutu sungai kelas II (Muliyah et al., 2024).

KS1 merupakan tempat rekreasi air dimana sumber air untuk rekreasi dan sumber air minum berbeda. KS2 dan KS3 merupakan titik yang dekat dengan aktivitas warga. Air sungai pada KS2 masih sering digunakan warga untuk mencuci baju, sedangkan KS3 hanya dimanfaatkan sesekali oleh warga untuk mandi atau mencuci peralatan. Kadar BOD pada KS1 tidak melebihi baku mutu untuk rekreasi air yang artinya tidak tercemar. Hal ini sesuai dengan penelitian Ilham et al. (2023) yang menyatakan bahwa nilai BOD yang masih dalam ambang batas normal adalah perairan yang sesuai standar atau tidak tercemar. KS2 dan KS3 yang masih dimanfaatkan untuk aktivitas warga seperti mencuci baju termasuk kedalam air sungai yang tercemar ringan karena sudah melewati baku mutu BOD kelas II. Penelitian oleh Ramadhani & Purnama, (2022) dan Triwulandari & Cahyonugroho, (2023) menunjukkan bahwa BOD yang melebihi ambang batas terindikasi adanya pencemaran pada sungai.

Baku mutu CO_2 bebas pada air sungai adalah 20-25 mg/L yang tercantum dalam buku I Laporan Induk KLHS RPJPD Kabupaten Boyolali tahun 2024 tentang baku mutu sungai kelas II (Idrus, 2018; Muliyah et al., 2024). Ketiga stasiun yang diuji tidak melebihi batas ini yang artinya ketiga stasiun masih bisa diperuntukkan untuk kegiatan pembudidayaan ikan air tawar, dan irigasi pertanian. Jika kadar CO_2 bebas pada perairan tinggi maka mikroalga dapat mengalami *blooming* terutama pada mikroalga Cyanophyceae yang dapat menghasilkan racun jika tumbuh secara berlebihan (Idrus, 2018; Paerl & Paul, 2012). Berdasarkan penelitian oleh Barati et al. (2022), pertumbuhan mikroalga yang terpapar CO_2 dari asap tembakau mengalami penurunan konsentrasi sel, hal ini menunjukkan bahwa paparan CO_2 berlebih di perairan dapat mengganggu pertumbuhan mikroalga. Data pengukuran suhu, pH, BOD, dan CO_2 bebas menunjukkan hasil yang dinamis mengikuti besar nilai dari masing-masing parameter.

3.7. Uji Korelasi Pearson

Uji Korelasi Pearson digunakan untuk mengetahui hubungan antar variabel yaitu H' mikroalga dan parameter kualitas sungai yaitu suhu, pH, BOD, dan CO_2 bebas.

Tabel 6. Hasil Uji Korelasi Pearson

	Sig. (2-tailed)	Pearson Correlation (r)	Korelasi
Suhu	0,704	0,448	Positif Sedang
pH	0,302	-0,889	Negatif Kuat
BOD	0,068	-0,994	Negatif Kuat
CO_2	0,019	-1	Negatif Sempurna

Hasil menunjukkan bahwa ada kecenderungan korelasi ke arah negatif antara variabel. Nilai P (0,019 < 0,05) dan nilai r pada CO_2 bebas menunjukkan hubungan yang kuat, namun tidak searah atau negatif. Nilai *Pearson Correlation* (r) mengukur kekuatan dan arah hubungan linear antara dua variabel dengan rentang -1 hingga 1. Nilai r 0,448 pada Suhu menunjukkan korelasi yang cenderung ke arah positif, dimana semakin tinggi suhu, keanekaragaman mikroalga cenderung meningkat pada Sungai Kaliarees. pH, BOD, dan CO_2 bebas menunjukkan korelasi negatif terhadap indeks keanekaragaman mikroalga. Semakin tinggi nilai pH, BOD, dan CO_2 bebas, keanekaragaman mikroalga cenderung akan menurun. Hal ini didukung dengan penelitian oleh Pertiwi et al. (2025) yang menyatakan bahwa pH dan BOD memiliki kolerasi yang negatif terhadap keanekaragaman mikroalga, dimana semakin tinggi nilai pH dan BOD maka keanekaragaman mikroalga cenderung akan menurun.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang diperoleh pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa Sungai Kaliarees Boyolali memiliki Indeks Keanekaragaman Mikroalga kategori Sedang. Tidak ada spesies yang mendominasi dan memiliki kekayaan jenis yang Sedang. Bacillariophyceae menjadi yang paling banyak yang ditemukan di Sungai Kaliarees, selain itu parameter lingkungan juga diperhatikan untuk mengetahui respon mikroalga. Hasil Uji Korelasi menunjukkan adanya kecenderungan ke arah negatif yang artinya semakin tinggi nilai pH, BOD, dan CO_2 bebas pada parameter kualitas air, maka keanekaragaman mikroalga cenderung akan menurun. Penelitian ini diharapkan mampu memberi informasi tentang kualitas air dan hubungannya dengan Keanekaragaman Mikroalga di Sungai Kaliarees, Boyolali. Saran rekomendasi untuk pengelolaan sungai yang dapat dilakukan oleh masyarakat adalah melakukan pengolahan limbah organik rumah tangga, seperti pembuatan pupuk kompos untuk mengurangi limbah organik yang dibuang ke sungai. Selain itu, pemerintah daerah dapat melakukan kampanye pentingnya menjaga kesehatan air sungai.

DAFTAR PUSTAKA

- Audah, N., Japa, L., & Yamin, M. (2021). Abundance and Diversity of Diatom Class Bacillariophyceae as Bioindicator of Pollution in the Waters of Tanjung Luar Fish Landing Based. *Jurnal Biologi Tropis*, 20(3), 525-531. <https://doi.org/10.29303/jbt.v20i3.2343>
- Barati, B., Fazeli Zafar, F., Amani Babadi, A., Hao, C., Qian, L., Wang, S., & El-Fatah Abomohra, A. (2022). Microalgae as a Natural CO_2 Sequester: A Study on Effect of Tobacco Smoke on Two Microalgae Biochemical Responses. *Frontiers in Energy Research*, 10(March), 1-10. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.881758>
- Barten, R. J. P., Wijffels, R. H., & Barbosa, M. J. (2020). Bioprospecting and characterization of temperature

- tolerant microalgae from Bonaire. *Algal Research*, 50(March).
<https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102008>
- Corliss, J. O., Belcher, H., & Swale, E. (1977). A Beginner's Guide to Freshwater Algae. *Transactions of the American Microscopical Society*, 96(2), 283.
<https://doi.org/10.2307/3226129>
- Dayana, M. E., Singkam, A. R., & Jumiarni, D. (2022). Keanekaragaman Mikroalga sebagai Bioindikator di Perairan Sungai. *BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi Dan Sains*, 5(1), 77–84.
<https://doi.org/10.31539/bioedusains.v5i1.3531>
- Dodds, W. K. (2002). *Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications*. Academic Press.
- Fauziah, S. M., & Laily, A. N. (2015). Identifikasi Mikroalga dari Divisi Chlorophyta di Waduk Sumber Air Jaya Dusun Kreet Kecamatan Bululawang Kabupaten Malang. *Bioedukasi: Jurnal Pendidikan Biologi*, 8(1), 20.
<https://doi.org/10.20961/bioedukasi-uns.v8i1.3150>
- Febriyanti, M., Anggraeni, & Akhrianti, I. (2023). Hubungan Kelimpahan Fitoplankton dan Klorofil-a Pada Perairan Teluk Kelabat Luar Pulau Bangka. *Jurnal Ilmiah Platax*, 11(2), 498–512.
<https://doi.org/10.35800/jip.v10i2.50015>
- Griffin, J. N., O'Gorman, E. J., Emmerson, M. C., Jenkins, S. R., Klein, A. M., Loreau, M., & Symstad, A. (2009). *Biodiversity and the stability of ecosystem functioning. Biodiversity, ecosystem functioning, and human wellbeing: an ecological and economic perspective*. 78–93.
- Hadi, Y. S., Japa, L., & Zulkifli, L. (2023). Bacillariophyceae Diversity as Bioindicator of Pollution in the Coastal Waters of Klui Beach, North Lombok. *Jurnal Biologi Tropis*, 23(1), 86–92.
<https://doi.org/10.29303/jbt.v23i1.4387>
- Hairunnadawiah, H., Khairuddin, K., & Zulkifli, L. (2022). Microalgae Diversity as a Bioindicator of Water Quality in Batujai Dam, Central Lombok. *Jurnal Biologi Tropis*, 22(1), 315–322.
<https://doi.org/10.29303/jbt.v22i1.3084>
- Hakiki, R. (2016). Mikroalga Sebagai Bioindikator Kualitas Air Permukaan. *Journal of Env. Engineering & Waste Management*, 1, 46–54.
- Harmawan, T. (2022). Analisis Kandungan Minyak dan Lemak pada Limbah Outlet Pabrik Kelapa Sawit di Aceh Tamiang. *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, 4(1), 15–19.
<https://doi.org/10.33059/jq.v4i1.4318>
- Harmoko, H., Lokaria, E., & Misra, S. (2017). Eksplorasi Mikroalga Di Air Terjun Watervang Kota Lubuklinggau. *BIOEDUKASI (Jurnal Pendidikan Biologi)*, 8(1), 75.
<https://doi.org/10.24127/bioedukasi.v8i1.840>
- Harmoko, & Sepriyaningsih. (2017). Keanekaragaman Mikroalga Di Sungai Kati Lubuklinggau. *Scripta Biologica*, 4(3), 201.
<https://doi.org/10.20884/1.sb.2017.4.3.452>
- Harmoko, & Sepriyaningsih. (2019). *Buku Monograf Bioindikator Sungai Dengan Lubuklinggau*. Deepublish.
- Help, C. H. R., Herman, P. M. J., & Soetaert, K. (1998). *Indices of diversity and evenness*. 24(2459), 61–87.
- Idrus, S. W. Al. (2018). Analisis Kadar Karbon Dioksida di Sungai Ampenan Lombok. *Nucleic Acids Research*.
[http://dx.doi.org/10.1016/j.gde.2016.09.008%0Ahttp://dx.doi.org/10.1007/s00412-015-0543-](http://dx.doi.org/10.1016/j.gde.2016.09.008%0Ahttp://dx.doi.org/10.1007/s00412-015-0543-8)
- 8%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/nature08473%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jmb.2009.01.007%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jmb.2012.10.008%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s4159
- Ilham, A. S., Masri, M., & Rosmah, R. (2023). Analisis kadar biochemical oxygen demand (BOD) salah satu sungai di Sulawesi Selatan. *Filogeni: Jurnal Mahasiswa Biologi*, 3(2), 112–116.
<https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/filogeni/article/view/35468>
- Imelda, S., Claudia, C., Lambui, O., & Suwastika, I. N. (2018). Kultivasi Mikroalga Isolat Lokal Pada Medium Ekstrak Tauge Cultivation of Local Microalga Isolate on Bean Sprouts Extract Medium. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 7(2), 148–157.
- Kadim, M. K., & Pasingi, N. (2024). Kondisi habitat fisik dan keanekaragaman makroinvertebrata sebagai indikator pencemaran di Sungai Bone Gorontalo. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia* 23(3): 301–310. *Indonesia*, 23(3), 301–310.
<https://ejournal.undip.ac.id/index.php/jkli>
- Kelly, M. G., Cazaubon, A., Coring, E., Dell'Uomo, A., Ector, L., Goldsmith, B., Guasch, H., Hurlimann, J., Jarlman, A., Kawecka, B., Kwadrans, J., Laugaste, R., Lindstrom, E. A., Leitao, M., Marvan, P., Padisaka, J., Pipp, E., Prygiel, J., Rott, E., ... Vizinet, J. (1998). Recommendations for the routine sampling of diatoms for water quality assessments in Europe. *Journal of Applied Phycology*, 10(2), 215–224.
<https://doi.org/10.1023/A:1008033201227>
- Khofifah, A., Abida, I. W., & Triajie, H. (2023). *Potensi klorofil-a Nostoc communedari persawahan padi Desa Giliyanar Kamal, Kabupaten Bangkalan, Madura, Indonesia.pdf*. 9, 1–9.
<https://doi.org/10.13057/psnmbi/m090201>
- Little, E. E., Greenberg, B. M., & DeLonay, A. J. (1998). *Environmental Toxicology and Risk Assessment: Seventh Volume*. ASTM.
- Lumbessy, S. Y., Setyowati, D. N., Mukhlis, A., Lestari, D. P., & Azhar, F. (2020). Komposisi Nutrisi dan Kandungan Pigmen Fotosintesis Tiga Spesies Alga Merah (Rhodophyta sp.) Hasil Budidaya. *Journal of Marine Research*, 9(4), 431–438.
<https://doi.org/10.14710/jmr.v9i4.28688>
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science Ltd.
- Marcy V. Anggraini, Ima Nurmalia Permatasari, & Engki A Kisanarti. (2024). Pengaruh Perubahan Temperatur dan Nutrisi Terhadap Kelimpahan Fitoplankton. *Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal Of Tropical Marine Research) (J-Tropimar)*, 6(1), 49–63.
<https://doi.org/10.30649/jrkt.v6i1.87>
- Margalef, R. (1958). *Information theory in ecology. General Systems* (pp. 36–71).
- Muliyah, P., Aminatun, D., Nasution, S. S., Hastomo, T., Wahyuni, S. S., & Sitepu, T. (2024). Buku I Laporan Induk KLHS RPJPD Kabupaten Boyolali. In *Pemerintah Kabupaten Boyolali*.
- Paerl, H. W., & Paul, V. J. (2012). Climate change: Links to global expansion of harmful cyanobacteria. *Water Research*, 46(5), 1349–1363.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.08.002>
- Palupi, D. (2024). *Biologi Lingkungan: Populasi dan Komunitas*. CV Gita Lentera.
- Pertiwi, T., Tugiyono, Susanto, G. N., & Handayani, K. (2025). *Analisis Keanekaragaman dan Kelimpahan Plankton di Sungai Way Awi dan Hubungannya dengan*

- Ubaidiyah, N., dan Nurmiyati. (2026). Keanekaragaman Mikroalga Air Tawar di Sungai Kaliare Kabupaten Boyolali. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(1), 62-71, doi:10.14710/jil.24.1.62-71
- Kualitas Air*. 12, 64–76.
- Prasad, M. N. V. (2020). Freshwater Algae. In *Metals in the Environment*.
<https://doi.org/10.1201/9781482294583-4>
- Pratiwi, D., Rima Setyawati, T., & Hepi Yanti, A. (2017). *Komposisi Mikroalga Epilitik di Sungai Mentuka Kabupaten Sekadau*. 6(3), 102–107.
- Priyambodo, H. Y., Santiari, M., Farid Amrulloh, M. F., & Arya Wiguna, G. (2023). Komunitas Plankton Sungai Noemuti, Kecamatan Bikomi Selatan, Kabupaten Timor Tengah Utara. *Jurnal Bioshell*, 12(1), 49–56.
<https://doi.org/10.56013/bio.v12i1.2064>
- Ramadhani, A., & Purnama, V. (2022). Analysis of BOD (Biological Oxygen Demand) and COD (Chemical Oxygen Demand) In the Batang Masumai River Water, Merangin Regency at the UPTD Laboratory of the Environmental Service Analisis Kadar BOD (Biological Oxygen Demand) dan COD (Chemical Oxygen Demand) Pada Air Sungai Batang Masumai Kabupaten Merangin Di UPTD Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 7(2), 36–43.
- Reynolds, C. S. (2006). *The Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press.
- Sedjati, S., Supriyanti, E., Ridlo, A., Yudiati, E., & Prasetyo, L. D. (2019). Pengaruh Cahaya Terhadap Produksi Fukosantin Chaetoceros calcitrans (Paulsen) Takano 1968 (Bacillariophyceae: Chaetocerotaceae). *Jurnal Kelautan Tropis*, 22(2), 173.
<https://doi.org/10.14710/jkt.v22i2.5633>
- Setyowati, D., Rahayu, D. R. U. S., & Piranti, A. S. (2021). Struktur Komunitas Fitoplankton di Waduk Cacaban Kabupaten Tegal. *BioEksakta: Jurnal Ilmiah Biologi Unsoed*, 3(3), 163–175.
- Subagio. (2016). Keanekaragaman Mikroalga Di Perairan Pantai Cemara Desa Lembar Selatan Kecamatan Lembar Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal Ilmiah Biologi "Bioscientist"*, 4(2), 81–88.
- Sugiana, I. P., Faiqoh, E., & Wiyanto, D. B. (2022). Community Structure of Epiphyte Microalgae on Artificial Substrate in Serangan Waters, Bali. *Jurnal Kelautan Dan Perikanan Terapan*, 5(1), 17–25.
- Triwulandari, A. H., & Cahyonugroho, O. H. (2023). Analisis Kualitas Air Permukaan Sungai Gandong Bojonegoro. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 2(6), 1080–1087.
<https://doi.org/10.55123/insologi.v2i6.2829>
- Vuuren, S. J. van, Taylor, J., Ginkel, C. van, & Gerber, A. (2006). *Easy identification of the most common Freshwater Algae* (Issue May). North-West University (Potchefstroom Campus).
- Warsidah, Artonang, A. B., & Apindiati, R. K. (2024). Macro Mineral Profile of Several Species of Brown Macroalgae from Lemukutan Waters as Biostimulant Candidates. *Jurnal Ilmiah PLATAX*, 12(1), 280–287.
<https://doi.org/10.35800/jip.v12i1.54606>
- Witariningsih, P. M., Suteja, Y., & Putra, I. N. G. (2020). Komposisi Jenis Dan Fluktuasi Kelimpahan Plankton Secara Temporal Di Perairan Selat Lombok. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 6(1), 140.
<https://doi.org/10.24843/jmas.2020.v06.i01.p17>