

Identifikasi Mikroalga sebagai Bioindikator Tingkat Pencemaran di Sungai Bedengan Kabupaten Malang

Nining Sahara H A Rawe^{1*}, M. Imam Fauzi¹, Kalimatul Maghfiroh¹, Suhadi¹,
Nur Azizah Rachmah¹

¹S2 Pendidikan Biologi-FMIPA Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang 5 Malang 65145 Jawa Timur

*Corresponding author: niningrawe24@gmail.com

ABSTRAK

Sungai Bedengan di Malang, Jawa Timur memainkan peran penting sebagai sumber utama air tawar bagi masyarakat terdekat. Namun, akibat meningkatnya jumlah penduduk di sekitar Sungai bedengan mengakibatkan meningkatnya polusi di air. Polutan atau bahan kontaminan ini menimbulkan ancaman bagi ekosistem di Sungai Bedengan khususnya mikroalga. Mikroalga merupakan organisme fotosintesis mikro yang berperan sebagai bioindikator dalam menilai tingkat pencemaran yang terjadi di dalam air. Penelitian ini tujuannya agar mengidentifikasi keanekaragaman spesies mikroalga terdapat di sungai Bedengan. Metode teknik sampling dijalankan didalam penelitian ini yakni teknik sentrifugasi dan pengamatan langsung serta memperhatikan parameter fisika dan kimia air Sungai Bedengan. Analisis data penelitian ini memakai deskriptif kuantitatif. Nilai pH rata-rata Sungai Bedengan yang dihasilkan selama penelitian adalah 8,1. Nilai pH ini masih tergolong normal untuk pertumbuhan mikroalga. Nilai DO di perairan Sungai Bedengan berkisar antara 10,1-11,9 mg/l. Begitu juga dengan hasil pengukuran CO₂ di perairan Sungai Bedengan yang berkisar antara 1-4 mg/l. Hasil analisis nilai indeks keanekaragaman (H') di setiap stasiun menunjukkan kisaran antara 1,16-2,63. Hasil analisis nilai indeks keseragaman (E) pada setiap stasiun menunjukkan kisaran 0,36-0,81, sedangkan Indeks Dominansi (D) pada setiap stasiun yaitu 1 (Labil). Keanekaragaman mikroalga di Sungai Bedengan ditemukan sebanyak 25 spesies terdiri atas 4 divisi serta 4 kelas. Divisi teridentifikasi adalah 19 spesies Bacillariophyta, 3 spesies Chlorophyta, 1 spesies Charophyta, dan 1 spesies Phyrrophyta. Hasil keanekaragaman mikroalga yang telah ditemukan di Sungai Bedengan dijadikan sebagai indikator kondisi perairan serta untuk mengetahui kualitas air di sungai tersebut.

Kata Kunci: variasi fitoplankton, indikator biologis, polusi air, bedengan

Pendahuluan

Sungai adalah dari sumber air digunakan dalam kegiatan manusia, dan kegiatan itu yang membuat penurunan kualitas air dan sungai jadi tercemar (Triarjunet & Dewata, 2020). Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 38 Tah. 2011 tentang Sungai, Sungai merupakan saluran air yang berupa saluran ataupun wadah air alami ataupun buatan yang berisi air, dimulai melalui muara sungai dan berbatasan di kiri serta kanannya oleh batas. Sungai dapat dikembangkan dan dimanfaatkan untuk kegiatan dan kebutuhan rumah tangga, pertanian, industri, pariwisata, olahraga, pertahanan, perikanan, pembangkit listrik, sanitasi lingkungan, dan transportasi.

Pengembangan Sungai, tentu memiliki potensi pencemaran dan kerusakan manakala dilakukan tanpa mempertimbangkan kelestarian keanekaragaman hayati, karakteristik sungai, serta aspirasi daerah/Masyarakat daerah tersebut. Hal ini terjadi karena kebiasaan manusia untuk membuang sampah ke aliran sungai, sehingga mempengaruhi kualitas air sungai (Yogafanny,2015). Pencemaran yang terjadi turut mempengaruhi faktor abiotik serta biotik di dalam Sungai. Faktor abiotik seperti suhu, kekeruhan, DO (Biological Oxygen Demand) dan derajat keasaman (pH) air. Faktor biotik meliputi organisme akuatik di dalam sungai seperti tumbuhan air, mikro alga, bentos, ikan, serangga air, dan lain sebagainya.

Mikroalga adalah mikroorganismen perairan dimana dapat digunakan menjadi bioindikator kualitas air. Kelimpahan biomassa alga pada air dipengaruhi konsentrasi fosfor serta bahan anorganik nitrogen dalam air (Kshirsagar,2013). Kelimpahan mikroalga di dalam suatu perairan adalah penyumbang oksigen terbesar dan pengikat energi matahari untuk proses fotosintesis, sehingga mikroalga berperan penting dalam perairan.

Sungai Bedengan adalah Sungai dimana ada di Kabupaten Malang. Dalam keberadaannya Sungai bedengan dimanfaatkan masyarakat domestik, perkebunan, pariwisata, serta irigasi sehingga membuat kualitas air menurun. Karena air adalah sumber daya alam yang berdampak pada kehidupan banyak orang sebagai bagian dari ekosistem, air perlu dilestarikan untuk kepentingan manusia dan kehidupan air (Sari et al., 2023). Peneliti berharap dapat mengetahui keanekaragaman mikroalga di dasar sungai sebagai bioindikator kualitas air berdasarkan uraian tersebut di atas.

Metode

Sampling mikroalga dilaksanakan pada tanggal 29 Oktober 2023 di Sungai Bedengan, Desa Kaliasri, Kecamatan Kalipare Malang, Provinsi Jawa Timur. Objek akan diteliti yakni sampel air dari sungai Bedengan. Alat yang digunakan terdiri dari ember, Plankton net, Botol, thermometer Hg, Stopwatch, kamera, pH meter, DO meter, tabung Erlenmeyer, sentrifuge, mikroskop. Bahan terdiri dari sampel mikroalga, sampel air Sungai, alkohol, tali rafia, indikator PP, Na_2CO_3 , Formalin. Pengambilan sampel diawali dengan membuat 3 plot dengan masing-masing plot berukuran 2x3 m. Satu stasiun memiliki 3 plot dengan mewakili masing-masing area sungai yaitu area kiri, kanan, dan tengah sungai. Total stasiun adalah tiga stasiun pengamatan yaitu stasiun 1 adalah hulu sungai, stasiun 2 adalah tengah sungai, serta stasiun 3 adalah hilir sungai. Sampel air diambil dari masing-masing plot menggunakan ember kemudian disaring memakai *plankton net* serta dimasukkan dalam botol sebanyak 1000 mL. Setelah itu ke dalam masing-masing botol ditambahkan 20 tetes formalin dan dihomogenkan. Masing-masing sampel dari setiap stasiun dan plot diberikan keterangan dengan menggunakan kertas label.

Teknik pengamatan dibedakan menjadi dua yaitu langsung dan sentrifugasi. Pada teknik sentrifugasi sebanyak 150 mL larutan dari setiap sampel larutan di ambil dari botol pada bagian dasar menggunakan pipet kemudian dimasukkan ke dalam sentrifus. Larutan kemudian disentrifugasi dengan waktu 15 menit dengan kecepatan 2000 rpm. Hasil sentrifugasi berikutnya diamati di bawah mikroskop cahaya dengan perbesaran 10x20 kemudian hasil didokumentasikan dengan bantuan kamera. Pada teknik langsung sampel diteteskan ke gelas objek kemudian diteteskan kedalam gelas objek serta ditutup gelas penutup agar diamati perbesaran 40x10.

Kualitas air dilakukan pengambilan sampel dan pengujian untuk mengetahui kondisi air di setiap stasiun pengamatan, meliputi parameter kimia serta fisika. Parameter fisika didalam hal ini adalah pengukuran suhu. Pengukuran suhu menggunakan termometer yaitu mencelupkan indikator suhu ke dalam air, kemudian menunggu dan membaca hasil pembacaan yang ditampilkan. Parameter kimia berupa derajat keasaman (pH), Oksigen terlarut (DO) dan kadar karbondioksida (CO₂). Derajat keasaman (pH) diukur memakai pH meter yaitu mengambil sampel air pada masing-masing stasiun sebanyak 100 mL dengan gelas kimia kemudian mencelupkan indikator pH meter dan ditunggu serta dibaca hasil yang ditampilkan. Nilai Oksigen terlarut diukur dengan mencelupkan indikator kedalam air hingga diperoleh hasil pembacaan yang stabil kemudian dicatat hasil pengukurannya. Pengukuran Karbondioksida (CO₂), diawali dengan menambahkan 2 tetes indikator PP pada air yang telah dimasukkan ke dalam gelas erlenmeyer, kemudian dicatat volume awal Na₂CO₃ 0,0454 sebagai Vawal, kemudian dititrasi sampel dengan Na₂CO₃ 0,0454 sampai bening pertama kali dan dicatat volume akhir Na₂CO₃ 0,0454 sebagai Vakhir. Selanjutnya, pengukuran menggunakan rumus berikut.

$$CO_2 = \frac{V_{titran} \times N_{titran} \times 22 \times 1000}{V_{air\ sampel}}$$

Keterangan :

V_{titran} = ml titrasi Na₂CO₃

N_{titran} = normalitas Na₂CO₃ (0,0454)

22 = Ar CO₂

1000 = konferensi ml menjadi L

V_{air sample} = volume sampel air yang diteliti

Analisis data penelitian ini yakni deskriptif kualitatif mendeskripsikan hasil pengukuran sesuai dengan rumus yang telah ditentukan yaitu mengumpulkan informasi yang diperlukan untuk menentukan indeks keragaman dan kelimpahan menurut Shannon-Weaver (Odum, 1993), indeks keseragaman menurut Odum (1993), dan indeks dominansi mikroalga menurut Odum (1993). Mikroalga mempunyai batas toleransi tertentu pada faktor fisika kimia dalam suatu perairan yang mengakibatkan mikroalga sangat rentan terhadap perubahan kondisi perairan yang ditempatinya sehingga mikroalga perairan dapat memberikan wawasan tentang kualitas air. Setelah itu, data diperiksa untuk mengetahui komposisi komunitas mikroalga, termasuk indeks kelimpahan, keragaman, dan dominasi. Ketiga hal tersebut menjadi penting untuk dianalisis karena populasi mikroalga yang melimpah disebabkan oleh banyaknya nutrien dari limbah-limbah domestik di sekitar sungai.

Hasil dan Pembahasan

Berikut adalah tabel 1, yang menunjukkan Sungai Bedengan adalah rumah bagi hingga 25 spesies mikroalga yang berbeda yang berasal dari empat divisi dan 4 kelas. Dengan 19 spesies, divisi Bacillariophyta adalah kelompok yang paling umum di antara 3 situs. Pada stasiun 1 ditemukan spesies *Cocconeis placentula* sebagai spesies terbanyak, pada stasiun 2 ditemukan spesies *Pinularia sp* sebagai spesies terbanyak, dan pada stasiun ditemukan *Gomphonema sp*.

Tabel 1. Data Kelimpahan Mikroalga di Sungai Bedengan

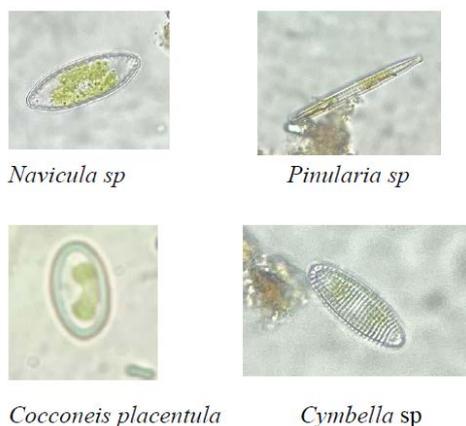
No.	Divisi	Kelas	Spesies	Jumlah (per stasiun)		
				1	2	3
1.	Bacillariophyta	<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Nitzschia linearis</i>	5		
			<i>Navicula sp</i>	4	10	
			<i>Cocconeis placentula</i>	10		6
			<i>Diatoma mesodon</i>	1		
			<i>Pinularia sp</i>		11	2
			<i>Synedra sp</i>		5	
			<i>Diatoma sp</i>		4	
			<i>Craticula cuspidata</i>		5	
			<i>Diatoma vulgaris</i>		10	
			<i>Tabellaria flocculosa</i>		2	
			<i>Diatoma sp</i>		9	
			<i>Cymbella sp</i>		3	
			<i>Cyclotella meneghiniana</i>		4	
			<i>Amphora sp</i>		5	
			<i>Eunotia sp</i>		5	
					<i>Synedra ulna</i>	
		<i>Gomphonema sp</i>			16	
		<i>Fragilaria sp</i>			2	
		<i>Tabellaria sp</i>			1	
2.	Chlorophyta	<i>Chlorophyceae</i>	<i>Palmellococcus protothecoides</i>		2	
			<i>Hydrodictyon sp</i>		1	
			<i>Hydrodictyon sp</i>		3	
3.	Charophyta	<i>Zygnematophyceae</i>	<i>Closterium sp</i>			1
			<i>Closterium sp</i>			3
4.	Phyrophyta	<i>Dinophyceae</i>	<i>Peridinium sp</i>		3	

Keterangan: 1 = Stasiun hulu, 2 = Stasiun tengah, 3 = Stasiun hilir

Gambar 1 menyajikan beberapa mikroalga hasil pengamatan melalui mikroskop. Data indeks keanekaragaman mikroalga disajikan dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data Indeks Keanekaragaman, Indeks Keseragaman, dan Indeks Dominansi dari Mikroalga

Lokasi	Indeks Keanekaragaman (H')	Indeks Keseragaman (E)	Indeks Dominansi (D)
Stasiun 1	1.16 (Tercemar Sedang)	0,36 (Tidak Seimbang)	1 (Labil)
Stasiun 2	2.63 (Tercemar Sedang)	0,81 (Seimbang)	1 (Labil)
Stasiun 3	1.46 (Tercemar Sedang)	0,45 (Tidak Seimbang)	1 (Labil)



Gambar 1. Hasil pengamatan mikroalga di bawah mikroskop

Menurut hasil analisis data, indeks keanekaragaman mikroalga pada tabel 2 menunjukkan bahwa stasiun 2 memiliki nilai indeks keanekaragaman terbesar, mencapai 2,63, melampaui nilai indeks keanekaragaman pada stasiun 1 dan 3, yaitu masing-masing 1,16 dan 1,46. Tabel 2 juga menunjukkan bahwa Nilai indeks keseragaman mikroalga yang dikumpulkan di setiap lokasi bervariasi. Dibandingkan dengan stasiun 1 dan 3, yang masing-masing memiliki keseragaman 0,36 dan 0,45, stasiun 2 memiliki keseragaman yang lebih besar yaitu 0,81.

Indeks dominansi mikroalga dimana ada di setiap stasiun sama yakni 1, artinya ada spesies mendominasi spesies lainnya ataupun struktur komunitasnya tidak seimbang atau labil. Dalam penelitian ini juga dilakukan pengukuran faktor kimia fisika pada perairan Sungai Bedengan, Godehan, Selorejo, Kecamatan Dau, Kota Malang, yang disajikan dalam tabel yakni.

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Faktor Fisika dan Kimia

No.	Lokasi	Stasiun		
		1	2	3
1.	Suhu Air	37,6 °C	28,4 °C	31,0 °C
2.	pH Air	8,05	8,44	7,92
3.	DO	11,9 mg/l	11,8 mg/l	10,1 mg.l
4.	Kadar CO2	1 mg/l	4 mg/l	2 mg/l

Keanekaragaman mikroalga di Sungai Bedengan ada 25 spesies yang ditemukan, dibagi menjadi 4 divisi dan 4 kelas. Sembilan belas spesies Bacillariophyta, tiga spesies Chlorophyta, satu spesies Charophyta, dan satu spesies Phyrrophyta termasuk di antara divisi yang ditemukan. Stasiun tengah memiliki jumlah kelimpahan mikroalga terbesar (17 spesies). Jumlah spesies yang tinggi di stasiun tengah ini kemungkinan diakibatkan aktivitas pariwisata serta pembuangan limbah hasil mencuci peralatan makanan oleh wisatawan sekitar perairan tersebut. Limbah yang terbuang akan memicu masuknya bahan organik sebagai sumber nutrisi perairan. Konsentrasi nutrisi yang meningkat pada air sebanding dengan peningkatan produktivitas perairan dan berdampak untuk peningkatan populasi mikroalga (Putri et al., 2022).

Hasil nilai indeks keanekaragaman (H') di setiap stasiun tabel menyatakan berkisar antara 1,16-2,63. Nilai indeks keanekaragaman tersebut tergolong sedang mengacu pada

perhitungan Shannon-Wiener. Melalui hasil ini, keadaan ekosistem Sungai Bedengan ada di kategori sedang untuk tekanan ekosistem. Nilai indeks keanekaragaman semakin rendah akan memperlihatkan keadaan ekosistem dimana makin tidak stabil (Hutari et al., 2022). Nilai H' yang terkategori sedang diakibatkan adanya aktivitas masyarakat berupa kegiatan pariwisata di Sungai Bedengan serta banyak ditemukan limbah plastik.

Interpretasi H' kurang selaras dengan nilai indeks keseragaman (E). Hasil analisis nilai indeks keseragaman (E) pada setiap stasiun sekitar 0,36-0,81. Nilai indeks keseragaman pada stasiun mendekati 1. Hal tersebut membuktikan bahwa keragaman organisme pada sungai Bedengan didalam kondisi seimbang serta tidak ada persaingan baik pada habitat ataupun sumber makanan. Indeks keseragaman semakin rendah akan menunjukkan penyebaran jumlah individu untuk setiap spesies berbeda serta dominan jika sebuah spesies mendominasi populasi. Pada stasiun hulu dan hilir terkategori tidak seimbang. Hal ini ditinjau dari karakteristik daerah tersebut.

Pada stasiun hulu merupakan daerah yang diapit oleh pepohonan. Hal ini memungkinkan terjadinya persaingan antara pohon di sekitar dengan mikroalga untuk menyerap karbon sebagai bahan baku fotosintesis. Tumbuhan hutan secara alami menyerap gas CO₂ melalui proses yang disebut fotosintesis. Fotosintesis dilakukan oleh tumbuhan dengan menggunakan air, cahaya, sinar matahari dan mineral yang ada di tanah. (Wardhani et al., 2018). Mikroalga adalah jenis pabrik sel mikro yang mengesankan untuk memperbaiki karbon dioksida secara efisien (Onyeaka et al., 2021). Hal ini juga didukung oleh faktor abiotik pada Tabel 5 bahwa kadar CO₂ pada stasiun hulu dan hilir tergolong rendah dibandingkan stasiun tengah.

Berbagai jenis mikroalga memiliki kemampuan fotosintesis yang berbeda, khususnya kemampuan dan toleransi dalam menyerap karbondioksida. Mikroalga dapat bertahan hidup di berbagai lingkungan yang kaya akan karbon, sebagaimana dibuktikan oleh berbagai macam lipid seluler yang berasal dari mereka (Ighalo et al., 2022). Para peneliti menganalisis efek dari tingkat CO₂ yang tinggi pada berbagai spesies salah satunya pada mikroalga, dengan fokus pada spesies yang dapat bertahan pada konsentrasi tinggi sambil menghasilkan banyak biomolekul, seperti lipid atau trigliserida (Udayan et al., 2023).

Hasil nilai indeks dominansi (D) diperoleh dalam setiap stasiun yakni 1, ada spesies mendominasi spesies lain ataupun struktur komunitas dalam keadaan labil. Perhitungan ini melalui rumus Simpson dalam Odum (1996) dimana ada spesies mendominasi yaitu stasiun 1 yakni *Cocconeis placentula*, dalam stasiun 2 yakni *Pinnularia* sp serta dalam stasiun 3 yakni *Gomphonema* sp. Dalam stasiun 2 serta stasiun 3, spesies tersebut mendominasi dari spesies lainnya dikarenakan kedua spesies tersebut mampu beradaptasi pada lingkungan yang tercemar seperti adanya aktivitas masyarakat dan pembuangan sampah limbah rumah tangga. Hal ini terlihat dalam stasiun 2 dimana yakni tempat wisata dan stasiun 3 adalah tempat hilir sungai menjadi tempat pembuangan sampah masyarakat setempat.

Salah satu divisi mikroalga yang memiliki kemampuan beradaptasi pada arus sungai kuat ataupun lambat dan mempunyai kekuatan menempel substrat dengan baik adalah divisi Bacillariophyta (Harmoko & Krisnawati, 2018). Pada hasil data penelitian mikroalga di Sungai Bedengan juga menunjukkan bahwa kelimpahan mikroalga terbanyak adalah divisi Bacillariophyta. Spesies dari divisi Bacillariophyta juga paling banyak

ditemukan pada masing-masing stasiun, dimana stasiun 1 adalah *Cocconeis placentula* sedangkan stasiun 2 yakni *pinnularia* sp serta stasiun 3 yakni *Gomphonema* sp.

Salah satu faktor dimana sangat penting untuk keberadaan mikroalga adalah faktor kimia serta fisika dari lingkungan sungai ditempati. Beberapa faktor diukur didalam penelitian ini yakni suhu air, pH air, DO (*Biological Oxygen Demand*), dan CO₂. Suhu air pada stasiun 1, stasiun 2, serta stasiun 3 yakni 37,6 °C, 28,4 °C, dan 31,0 °C. Suhu air pada stasiun 1 relatif tinggi disebabkan pengukuran suhu dan pH air dijalankan di siang hari serta perairan sungai pada stasiun 1 langsung terpapar sinar matahari, hal ini menyebabkan pada stasiun 1 tidak banyak ditemukan mikroalga. Perkembangan mikroalga tidak diragukan lagi dipengaruhi oleh suhu sekitar air, dengan batas suhu pertumbuhan sekitar 20-30°C. (Fauzi & Harahap, 2023).

Nilai rata-rata pH Sungai Bedengan dimana dihasilkan pada penelitian adalah 8,1. Nilai pH ini masih dalam keadaan normal bagi pertumbuhan mikroalga. Nilai pH optimum pertumbuhan mikroalga yaitu 6-9 (Andriani et al., 2023). Nilai DO pada perairan Sungai Bedengan berkisar pada 10,1 sampai 11,9 mg/l. Angka ini masih menunjukkan bahwa perairan Sungai Bedengan masih mempunyai kadar oksigen terlarut yang cukup baik untuk mikroalga. Apabila kadar O₂ terlarut berada diatas 6,5 mg/l maka aliran sungai tersebut dapat memberikan kehidupan organisme akuatik dengan baik (Hamuna et al., 2018). Jika nilai DO tinggi pada suatu perairan akan menandakan perairan tersebut dalam kualitas perairan yang baik. Begitupun pada hasil pengukuran CO₂ dalam air pada Sungai Bedengan berkisar pada 1-4 mg/l, dimana pada kondisi tersebut memiliki kandungan karbondioksida yang baik bagi perairan. Kurang dari 5,0 mg/l karbon dioksida adalah konsentrasi ideal untuk menopang ekosistem perairan (Haris & Yusanti, 2018).

Kesimpulan

Keanekaragaman mikroalga di Sungai Bedengan ditemukan sebanyak 25 spesies terdiri atas 4 divisi serta 4 kelas. Divisi teridentifikasi adalah 19 spesies Bacillariophyta, 3 spesies Chlorophyta, 1 spesies Charophyta, dan 1 spesies Phyrrophyta. Dengan 19 spesies, divisi Bacillariophyta adalah kelompok yang paling umum di antara tiga situs. Pada stasiun 1 ditemukan spesies *Cocconeis placentula* sebagai spesies terbanyak, pada stasiun 2 ditemukan spesies *Pinularia* sp sebagai spesies terbanyak, dan pada stasiun ditemukan *Gomphonema* sp.

Berdasarkan nilai indeks keanekaragaman dihasilkan menyatakan kondisi lingkungan atau ekosistem yang masih stabil. Nilai keseragaman stasiun 2 lebih tinggi melalui stasiun 1 serta stasiun 3. Nilai DO pada perairan Sungai Bedengan berkisar pada 10,1 sampai 11,9 mg/l menunjukkan bahwa perairan Sungai Bedengan masih memiliki kadar oksigen terlarut yang baik untuk kehidupan mikroalga. Faktor fisika dan kimia dalam penelitian ini juga menunjukkan nilai yang sesuai dengan keberadaan mikroalga di Sungai Bedengan. Selain itu, perlu dilakukan pemantauan atau survei secara berkala agar mendeteksi dinamika keanekaragaman mikroalga di Sungai Bedengan menjadi indikator biologis perubahan kualitas air sungai.

Daftar Pustaka

Andriani Y, Shiyam DF, Hasan Z, Pratiwy FM, 2023. The Use of Various Natural Fertilizers in the Cultivation of *Chlorella* sp. *Jurnal Agroqua: Media Informasi Agronomi dan Budidaya Perairan*; 21(1): 33. <https://doi.org/10.32663/ja.v21i1.3238>

- Fauzi Pane RR & Harahap A, 2023. Studi Keanekaragaman Mikroalga di Perairan Sungai Barumun. *BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains*; 6(1): 198–207. <https://doi.org/10.31539/bioedusains.v6i1.5442>
- Hamuna B, Tanjung RHR, Suwito S, Maury HK, Alianto A, 2018. Kajian Kualitas Air Laut dan Indeks Pencemaran Berdasarkan Parameter Fisika-Kimia di Perairan Distrik Depapre, Jayapura. *Jurnal Ilmu Lingkungan*; 16(1): 35. <https://doi.org/10.14710/jil.16.1.35-43>
- Haris RBK & Yusanti IA, 2018. Studi Parameter Fisika Kimia Airuntuk Keramba Jaring Apung Di Kecamatan Sirah Pulau Padang Kabupaten Ogan Komering Ilir Provinsi Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmu-ilmu Perikanan dan Budidaya Perairan*; 13(2). <https://doi.org/10.31851/jipbp.v13i2.2434>
- Harmoko H & Krisnawati Y, 2018. Mikroalga Divisi Bacillariophyta yang Ditemukan di Danau Aur Kabupaten Musi Rawas. *Jurnal Biologi Unand*; 6(1): 30. <https://doi.org/10.25077/jbioua.6.1.30-35.2018>
- Hutari A, An Nisaa R, Suhendra S, Agustini Y, Ayunda KA, 2022. Exploration Of High Economic Value Microalgae In The Mangrove Area Of Pari Island, Seribu Islands, Jakarta. *Jurnal Pembelajaran Dan Biologi Nukleus*; 8(3): 662–672. <https://doi.org/10.36987/jpbn.v8i3.3096>
- Ighalo JO, Dulta K, Kurniawan SB, Omoarukhe FO, Ewuzie U, Eshiemogie SO, Ojo AU, Abdullah SRS, 2022. Progress in Microalgae Application for CO₂ Sequestration. *Cleaner Chemical Engineering*, 3, 100044. <https://doi.org/10.1016/j.clce.2022.100044>
- Onyeaka H, Miri T, Obileke K, Hart A, Anumudu C, Al-Sharify ZT, 2021. Minimizing carbon footprint via microalgae as a biological capture. *Carbon Capture Science & Technology*; 1: 100007. <https://doi.org/10.1016/j.ccst.2021.100007>
- Putri SA, Suryono S, Ario R, 2022. Korelasi Nutrien Nitrat Fosfat Pada Sedimen terhadap Persentase Tutupan Lamun di Pulau Harapan dan Pulau Kelapa Dua, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta. *Journal of Marine Research*; 11(4): 685–695. <https://doi.org/10.14710/jmr.v11i4.34126>
- Sari D, Nurhadi NY, Anwar K, Isa M, Handayani S. (n.d.). *Pemantauan dan Analisis Tingkat Pencemaran Kualitas Air Sungai di Kabupaten Tebo*.
- Triarjunet R, & Dewata I, 2020. *Analisis Indeks Pencemaran Air Sungai Ombilin Dilihat Dari Kandungan Kimia Anorganik*. 1(3).
- Udayan A, Pandey AK, Sirohi R, Sreekumar N, Sang BI, Sim SJ, Kim SH, Pandey A, 2023. Production of microalgae with high lipid content and their potential as sources of nutraceuticals. *Phytochemistry Reviews*; 22(4): 833–860. <https://doi.org/10.1007/s11101-021-09784-y>
- Wardhani AK, Budiarto B, Sugiarto Y, 2018. The Role of Vegetation in Reducing Anthropogenic CO₂ in Bogor City. *Agromet*; 32(1): 42. <https://doi.org/10.29244/j.agromet.32.1.42-50>