

ANALISIS KEANEKARAGAMAN PERIFITON DI ANAK SUNGAI BRANTAS, MALANG, JAWA TIMUR, INDONESIA

Indah Soraya^{a,*}, R Adharyan Islamy^b

^aPemanfaatan Sumberdaya Perikanan, Universitas 45 Mataram, Jl. Imam Bonjol No.45 Cakranegara Utara, Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat, 83239, Indonesia.

^bJurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Jl. Veteran No.16, Ketawanggede, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65145, Indonesia.

*Koresponden penulis : indahsoraya@upatma.ac.id

Abstrak

Komunitas perifiton sungai telah merespons kondisi lingkungan. Mereka berguna dalam menggambarkan keadaan ekologis, kinerja, dan keberlanjutan ekosistem karena kemampuan untuk mengukur berbagai parameter lingkungan dan menghubungkannya dengan keanekaragaman, pemerataan, dan kekayaan. Studi ini menyelidiki keanekaragaman perifiton Sungai Bango di Malang dan karenanya menghasilkan daftar periksa kekayaan perifiton sungai, terutama perifiton epilitik. Pengambilan sampel perifiton dilakukan di aliran Sungai Bango yang mengalir melalui 2 desa (Desa Langlang dan Desa Ngenep) dan identifikasi dilakukan di Laboratorium Hidrobiologi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang. Penelitian ini dilakukan seminggu sekali dalam sebulan (Mei 2020) antara jam 9 pagi dan 1 siang (GMT + 7). Identifikasi dan sampel Perifiton dikumpulkan dengan cara mengikis substrat (batuan/batuan) di dalam dan di sekitar titik pengambilan sampel air masing-masing. Hasil penelitian menunjukkan kelimpahan total perifiton berkisar antara 938.900 Ind/mm² sampai dengan 1.598.125 Ind/mm² dengan 30 genera yang ditemukan. Kami menyimpulkan bahwa titik sampling 1 sampai 3 memiliki indeks keanekaragaman sedang; Sebaran jumlah individu tiap spesies tergolong sedang; stabilitas komunitas sedang dan organisme akuatik dapat mentolerir kondisi lingkungan. Namun, titik pengambilan sampel 4 memiliki keragaman yang rendah; sebaran jumlah masing-masing spesies rendah; stabilitas komunitasnya rendah dan hanya dapat ditoleransi oleh organisme akuatik tertentu.

Kata kunci: Bentos, Epilitik, Mikroalga, Perifiton, Sungai.

Abstract

The river periphyton community has responded to environmental conditions. They are useful in describing the ecological state, performances, and sustainability of ecosystems because of the ability to measure various environmental parameters and correlate them with diversity, evenness, and richness. This study investigates the periphyton diversity of the Bango River in Malang and hence produces a checklist on the periphyton richness of the river, especially epilithic periphyton. Periphyton sampling was carried out in the Bango River which flows through 2 villages (Langlang Village and Ngenep Village) and identification was carried out at the Hydrobiology Laboratory, Faculty of Fisheries and Marine Sciences, Brawijaya University, Malang. This study was undertaken once a week in a month (May 2020) between 9 a.m. to 1 p.m. (GMT + 7). Identification and Periphyton samples were collected by scraping the substrate (stones/rocks) in and around the water sampling points. The study showed a total abundance of periphyton ranges from 938,900 Ind / mm² to 1,598,125 Ind / mm² with 30 genera found. We assume that sampling points 1 to 3 have a moderate diversity index; The distribution of the number of individuals of each species is moderate; the community's stability is moderate and aquatic organisms can tolerate the environmental condition. However, sampling point 4 has low diversity; the distribution of each species' number is low; the community's stability is low and only be tolerated by certain aquatic organisms.

Keywords: Benthos, Epilithic, Microalgae, Periphyton, River

PENDAHULUAN

Sungai Bango terletak di Kota Malang, Jawa Timur, Indonesia. Sungai ini memiliki panjang 11 km dan alirannya melalui kawasan perkotaan dan tentunya tidak lepas dari permasalahan yang sering terjadi di sungai-sungai di Indonesia yaitu pembangunan di bantaran sungai yang mempengaruhi potensi ekologisnya (Tunggul *et al.* 2017). Berdasarkan pengamatan wilayah, sungai Bango mengalir melalui 2 desa (Desa Langlang dan Desa Ngenep). Beberapa kegiatan yang tidak ramah lingkungan, seperti limbah pertanian (pupuk dan pestisida), penambangan batuan sungai, dan limbah domestik (deterjen dan limbah rumah tangga). Ketika air terkontaminasi oleh zat yang tidak terduga, itu disebut sebagai air tercemar yang dianggap berbahaya bagi kehidupan manusia dan air (Chakraborty *et al.* 2013). Vegetasi sebagian besar didominasi oleh pohon bambu dan memiliki ciri sungai dendritik dengan bentuk seperti dahan pohon dan memiliki aliran yang berkelok-kelok dengan berbagai sudut (Tunggul *et al.* 2017).

Perifiton berbeda dari fitoplankton dalam beberapa hal. Mereka melekat pada substrat dan karena itu tidak diangkut dengan aliran, sehingga mereka hanya menerima cahaya yang menembus ke dasar kolom air. Mereka tunduk pada batasan ruang, dan perifiton memiliki kerugian karena gerusan (Schmidt *et al.* 2019). Komunitas perifiton sungai telah merespons kondisi lingkungan. Mereka berguna dalam menggambarkan keadaan ekologis, kinerja, dan keberlanjutan ekosistem karena kemampuan untuk mengukur berbagai parameter lingkungan dan menghubungkannya dengan keanekaragaman, pemerataan, dan kekayaan (Fortes dan Pinosa, 2010). Beberapa negara bagian menggunakan komunitas perifiton untuk menilai gradien kondisi biologis (BCG) di sungai (Charles *et al.* 2019, Danielson *et al.* 2012). Namun, mereka umumnya menggunakan plankton dan makrofita untuk penilaian danau (DeNicola dan Kelly 2014). Produsen utama, seperti perifiton, adalah indikator polusi nutrisi yang

paling sensitif di sungai (US Environmental Protection Agency, 2014).

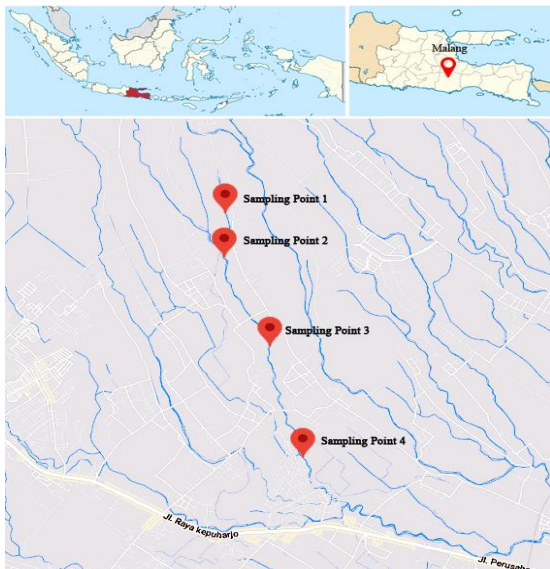
Namun penelitian perifiton banyak dilakukan di sungai-sungai besar Brantas, sedangkan beberapa sungai kecil dan anak sungai Brantas masih belum terkuak karena sulitnya aksesibilitas (Alika dan Akoma, 2012). Saat ini, belum ada karya yang diterbitkan tentang perifiton dan Sungai Bango di Malang, Jawa Timur. Studi ini menyelidiki keanekaragaman perifiton Sungai Bango di Malang dan karenanya menghasilkan daftar periksa kekayaan perifiton sungai, terutama perifiton epilitik. Penelitian ini juga menganalisis tingkat pencemaran air sungai Bango menurut data perifiton.

METODE

Penelitian ini dilakukan di salah satu anak sungai Brantas yang berlokasi di Kecamatan Singosari Kabupaten Malang. Sampel perifiton dikumpulkan dengan cara mengikis substrat (batuan) di dalam dan di sekitar titik pengambilan sampel. Identifikasi perifiton dilakukan di Laboratorium Hidrobiologi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang. Penelitian ini dilakukan seminggu sekali dalam sebulan (Mei 2020) antara jam 9 dan 13 (GMT + 7).

Studi Area

Aliran anak sungai ini bernama Sungai Bango yang mana sungai ini mengalir melalui 2 desa (Desa Langlang dan Desa Ngenep). Penentuan titik pengambilan sampel (stasiun) dilakukan berdasarkan perbedaan substrat (*Lithos*) dan perbedaan tata guna lahan. Dalam penelitian ini, ditentukan empat titik sampling yaitu:



Gambar 1. Lokasi s di Sungai Bango, Malang, Jawa Timur, Indonesia.

Titik pengambilan sampel 1 terletak paling dekat dengan mata air ($7^{\circ}52'25.7''S$ $112^{\circ}37'23.9''E$). Batuan besar mendominasi substrat sungai. Namun, ada juga batu-batu kecil dan pasir. Warna air sungai di titik pengambilan sampel ini sangat jernih. Vegetasi di sekitar sungai masih lebat, terdiri dari perdu besar dan pepohonan. Kegiatan di titik pengambilan sampel ini meliputi pertanian di tepi sungai dengan jenis tanaman yang ditanam adalah padi dan kegiatan penambangan batu kali oleh warga.

Titik pengambilan sampel 2 terletak pada pertemuan dua sungai ($7^{\circ}52'53.6''S$ $112^{\circ}37'26.3''E$). Titik sampling ini memiliki substrat tanah dan beberapa batuan. Warna airnya agak keruh. Vegetasi di sekitar sungai terdiri dari semak dan pohon, tetapi letaknya berjauhan. Kegiatan di sekitar sungai pada titik pengambilan sampel ini meliputi pemukiman dan pertanian di sisi kanan sungai. Jenis tanaman pertanian yang ditanam adalah padi. Sedangkan di sisi kiri sungai terdapat jalan dan persawahan.

Titik sampel 3 terletak di daerah boscage, persawahan, dan tidak jauh dari pemukiman ($7^{\circ}53'18.4''S$ $112^{\circ}37'34.2''BT$). Warna air di titik pengambilan sampel ini keruh. Titik pengambilan sampel ini memiliki substrat berupa bebatuan sungai yang berlumpur dan sedikit kerikil. Vegetasi di bantaran sungai adalah pepohonan yang sebagian sengaja

ditanam untuk produksi kayu. Kegiatan di sekitar sungai adalah perkebunan dan pertanian. Titik pengambilan sampel ini juga sering dijadikan tempat mencuci pakaian oleh warga sekitar sungai.

Titik pengambilan sampel 4 terletak di Desa Ngenep ($7^{\circ}54'18.1''LS$ $112^{\circ}37'52.9''BT$). Titik sampling ini memiliki substrat berupa batuan kecil dan berlumpur. Warna air di titik

pengambilan sampel ini adalah abu-abu hingga hitam. Vegetasi di bantaran sungai hanya berupa semak belukar. Aktivitas di sekitar sungai adalah perumahan warga di kanan kiri sungai.

Pengambilan sampel

Prosedur pengambilan sampel periphyton didasarkan pada Periphyton Collection Protocols (Departemen Perlindungan Lingkungan Virginia Barat, 2018). Sampel dikumpulkan selama kondisi aliran stabil dan aliran tidak keruh (substrat terlihat). Label wadah sampel dengan Stream Name, AN-Code, tanggal, kolektor. Sampel hanya diambil dari batuan (habitat epilitik) dari daerah aliran sungai. Kumpulkan lima batu seukuran batu bulat terpisah yang terpapar pada berbagai kondisi cahaya dan mengandung komunitas perifiton yang bervariasi (coklat atau hijau). Cincin PVC digunakan untuk membatasi area sampel (12,56 cm²).

Identifikasi perifiton

Identifikasi perifiton dilakukan menggunakan Mikroskop Cahaya Olympus (model CX 40) untuk menentukan jenis perifiton yang dikumpulkan. Identifikasi sampel berdasarkan Periphyton Collection Protocols (Departemen Perlindungan Lingkungan Virginia Barat, 2018). Sebagian besar taksa dalam sampel diidentifikasi hingga tingkat spesies dengan mengacu pada karya standar, seperti buku identifikasi dan berbagai jurnal (Alika dan Akoma, 2012).

Kelimpahan alga perifiton

Perhitungan kelimpahan perifiton dilakukan menurut prosedur yang diterbitkan (APHA 1985), dengan rumus:

$$N = \frac{n \times A_t \times V_t}{A_c \times V_s \times A_s}$$

Where N = density of periphyton algae (ind / mm²); n = Number of organisms found; At = area of the cover glass (mm²); Vt = volume of sample accommodated in sample bottle (ml), Ac = area of the field of view multiplied by the number of field of view observed (mm²); Vs = volume of water drops used in the observation (ml).

Indeks Keanekaragaman Perifiton

Penilaian keanekaragaman dilakukan untuk analisis kekayaan unsur, keanekaragaman taksonomi untuk representasi relatif populasi dalam komunitas (berdasarkan kelimpahan atau biomassa). Indeksnya adalah sebagai berikut (Protasov *et al.* 2019):

$$H = - \sum \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N}$$

Dimana: N = kelimpahan organisme umum; s = nomor spesies; ni = jumlah spesies masing-masing spesies; H, indeks keanekaragaman Shannon.

Indeks Dominasi

Indeks dominasi dinilai dengan rumus/persamaan sebagai Indeks Shannon. Indeks Simpson dihitung sebagai berikut Simpson Dominance Index (D) :

$$D = \sum \left(\frac{n_i}{n} \right)^2$$

Dimana D = Indeks Dominasi; ni = jumlah individu spesies i; n = jumlah total individu.

Hasil dan Pembahasan

Komposisi dan kelimpahan perifiton

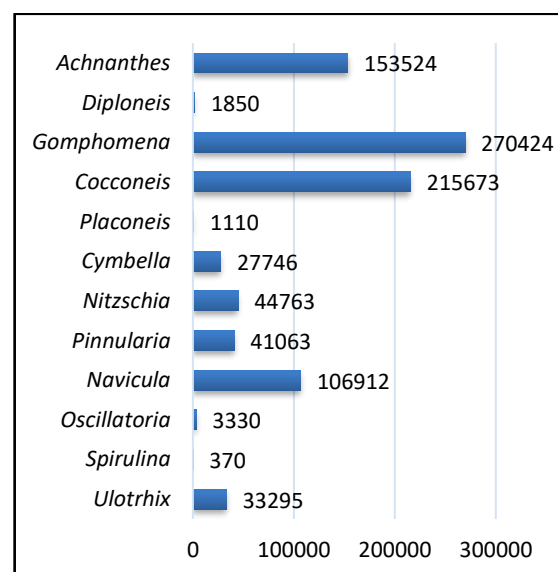
Data penentuan komposisi dan hasil rata-rata kelimpahan perifiton selama penelitian di setiap titik pengambilan sampel disajikan pada Tabel 1. Kelimpahan total perifiton berkisar antara 938.900 Ind/mm² - 1.598.125 Ind/mm². Kelimpahan total terendah terdapat pada titik sampling 1 dengan nilai 938.900 Ind/mm² dan terdiri dari 17 genus. Kelimpahan total tertinggi terdapat pada titik sampling 4 dengan

nilai 1.598.125 Ind/mm² dan terdiri dari 20 genus.

Stasiun 1

Selama penelitian di Sampling Point 1, total kelimpahan perifiton adalah 938.900 Ind/mm², dan ditemukan 17 genera (Tabel 1 dan Gambar 2). Pada 1 ini, dari semua genera yang ditemukan pada saat pengamatan, Genus dengan kelimpahan tertinggi adalah Gomphonema (270.424 Ind/mm²), Cocconeis (215.673 Ind/mm²), dan Achnanthes (153.524 Ind/mm²).

Studi menunjukkan bahwa diatom seperti Cocconeis sensitif terhadap perubahan pH, suhu, salinitas, kualitas air, ketersediaan nutrisi, dan bahkan batimetri (Martín dan Fernandez, 2012; Minelgaite *et al.* 2020). Studi lain menemukan bahwa Achnanthes dan Gomphonema adalah jenis mikroalga perifit yang hidup di perairan yang tidak tercemar (Novais *et al.*, 2015; Noga *et al.* 2018). Kelimpahan Cocconeis, Achnanthes, dan Gomphonema yang tinggi ini menggambarkan bahwa perairan di titik pengambilan sampel 1 adalah perairan yang masih belum tercemar. Selain itu, Genus yang hanya hidup di perairan bersih dan memiliki toleransi yang rendah terhadap perubahan kondisi lingkungan ini dapat digunakan sebagai indikator perairan yang tidak tercemar.

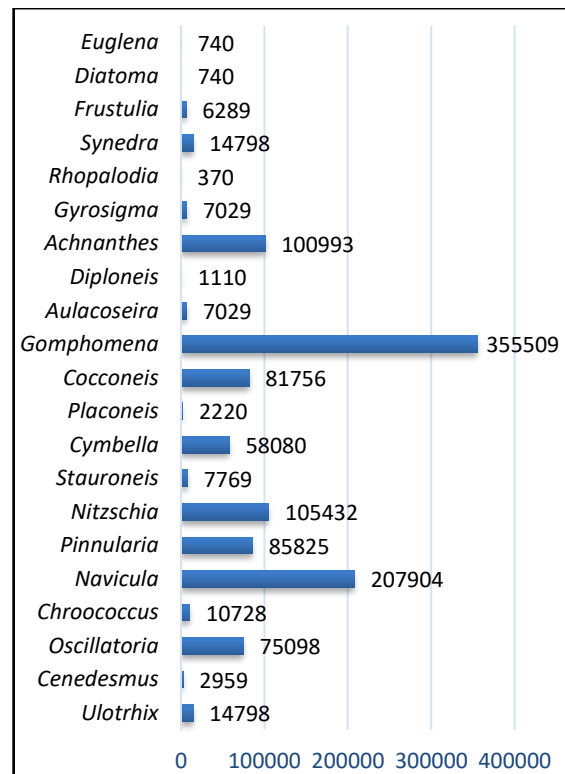


Gambar 2. Kelimpahan perifiton di stasiun 1 selama penelitian

Stasiun 2

Kelimpahan total rata-rata perifiton pada titik sampling 2 adalah 1.147.543 Ind/mm². Pada titik sampling ini, kami menemukan 22 genera yang ditemukan (Tabel 1 dan Gambar 3). Divisi Chrysophyta juga mendominasi titik sampling ini dengan Genus dengan kelimpahan tertinggi adalah Gomphonema (355.509 Ind/mm²), dan Navicula (207.904 Ind/mm²).

Sama halnya dengan titik sampling 1, Gomphonema pada titik sampling 2 masih mendominasi. Namun, kelimpahan perifiton air yang tidak tercemar (Cocconeis dan Achnanthes) telah menurun. Kelimpahan perifiton air yang tercemar, seperti Navicula dan Nitzschia pada titik pengambilan sampel ini, mulai meningkat. Navicula dan Nitzschia dikenal sebagai mikroalga yang keberadaannya dapat menunjukkan bahwa perairan tempat tinggalnya terkena pencemaran antropogenik (sumber pencemaran tidak alami timbul karena pengaruh atau campur tangan manusia atau aktivitas manusia) (Sawaiker dan Rodrigues, 2017). Berdasarkan data tersebut kami simpulkan bahwa perairan pada stasiun 2 menunjukkan gejala peningkatan polusi.

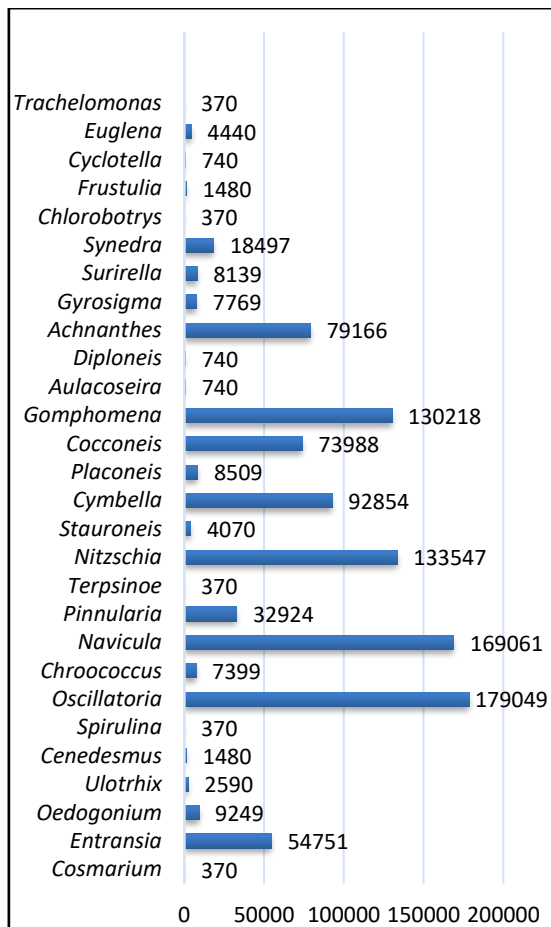


Gambar 3. Kelimpahan perifiton di stasiun 2 selama penelitian

Stasiun 3

Data rata-rata kelimpahan perifiton di titik sampling 3 total sampling adalah 1.147.543 Ind/mm², dan ditemukan 22 genus (Tabel 1 dan Gambar 4). Divisi Chrysophyta juga mendominasi titik sampling ini dengan Genus dengan kelimpahan tertinggi Nitzschia (133.547 Ind/mm²) dan Navicula (169.061 Ind/mm²), Oscillatoria (179.049 Ind/mm²).

Rata-rata kelimpahan total perifiton pada titik sampling 3 didominasi oleh Genus Oscillatoria, Nitzschia, dan Navicula. Genus Oscillatoria merupakan jenis mikroalga yang sangat toleran terhadap cemaran bahan organik (Salem et al. 2017). Namun, perifiton jenis air eutrofik lainnya seperti Navicula dan Nitzschia telah meningkat dan mulai mendominasi. Berdasarkan data tersebut dapat dikatakan bahwa perairan di titik pengambilan sampel 3 saat ini sedang terjadi eutrofikasi atau pengayaan bahan pencemar organik. Selain itu, Gomphonema yang menjadi indikator perairan tidak tercemar sudah mulai berkurang. Begitu juga untuk jenis Cocconeis dan Achnanthes.



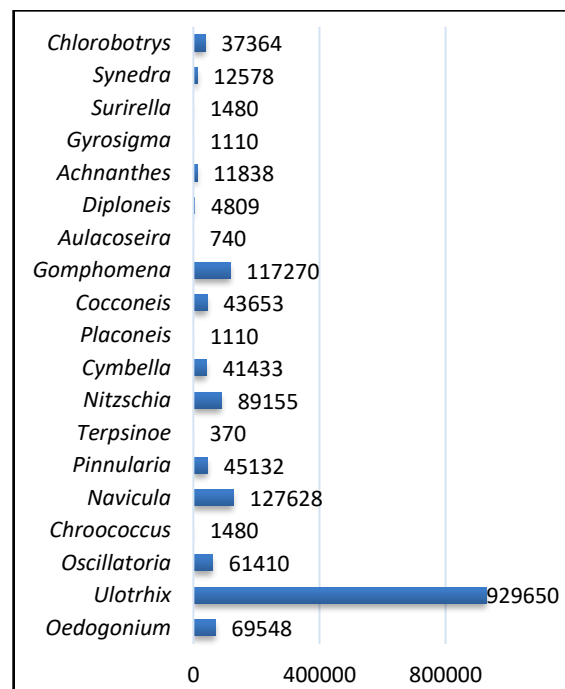
Gambar 4. Kelimpahan perifiton di stasiun 3 selama penelitian

Stasiun 4

Kelimpahan total rata-rata perifiton pada titik pengambilan sampel 4 adalah 1.147.543 Ind/mm², dan ditemukan 20 genus (Tabel 1 dan Gambar 5). Pada titik sampling 4 disini didominasi oleh Divisi Chlorophyta dengan kelimpahan tertinggi dari Genus adalah Ulothrix (130,218 Ind/mm²).

Genus Ulothrix mendominasi di titik pengambilan sampel 4. Diduga pada kondisi perairan seperti itu, hanya Ulothrix yang dapat mentolerir lingkungan air yang tinggi pada titik pengambilan sampel 4. Genus Ulothrix toleran terhadap pencemaran organik dan kadang-kadang digunakan sebagai indikator air tercemar berat (Yusuf 2020). Hidrobiota yang memiliki toleransi tinggi akan bertahan hidup pada ekosistem yang tercemar, sedangkan hidrobiota yang memiliki toleransi rendah memiliki kelimpahan yang rendah dan akhirnya menghilang (Ramakrishnan *et al.*

2010). Berdasarkan data di atas, dapat disimpulkan bahwa pada titik pengambilan sampel 4 telah terjadi pencemaran yang diduga karena tingginya masukan limbah rumah tangga dan limbah domestik karena berada di kawasan pemukiman.



Gambar 5. Kelimpahan perifiton di stasiun 4 selama penelitian

Indeks Keanekaragaman dan Dominasi

Nilai keanekaragaman perifiton di sungai Bango berkisar antara 0,91 – 2,44 (tabel 3). Keanekaragaman d terendah terjadi pada titik 4 dengan nilai 0,91, dan keragaman tertinggi terjadi pada titik sampling 3 dengan nilai 2,44. Klasifikasi nilai indeks keanekaragaman Shannon-Wiener ini dapat digunakan untuk mengetahui sebaran tiap spesies dan kestabilan komunitas: $H > 3$ = keanekaragaman tinggi, sebaran jumlah individu tiap spesies tinggi, dan stabilitas komunitas tinggi; $1 < H < 3$ = Keanekaragaman sedang, distribusi jumlah individu per spesies sedang, dan stabilitas komunitas sedang; $H < 1$ = keanekaragaman rendah, sebaran jumlah individu per spesies rendah, dan stabilitas komunitas rendah. Menurut data, Sungai Bango termasuk dalam kategori keanekaragaman kecil.

Tabel 1. Indeks keanekaragaman dan dominasi selama penelitian

Indeks Dominansi (D)	Indeks Keanekaragaman (H)
0,18275	1,94
0,15468	2,18
0,10909	2,44
0,66237	0,91

Berdasarkan data tersebut, kami menyimpulkan bahwa Sungai Bango memiliki keanekaragaman perifiton rendah hingga sedang, distribusi individu setiap spesies, dan stabilitas komunitas sedang. Titik pengambilan sampel 1 sampai 3 masih dapat dikategorikan ke dalam keanekaragaman sedang, sebaran sedang jumlah tiap spesies, dan stabilitas komunitas sedang. Sedangkan 4 memiliki keanekaragaman rendah, sebaran jumlah individu tiap spesies rendah, dan stabilitas komunitas rendah.

Dalam hal indeks dominasi, sebuah penelitian menyatakan bahwa nilai dominasi berkisar antara 0 dan 1 (Hossain et al. 2017). Jika nilai dominasi mendekati 0, berarti hampir tidak ada individu yang mendominasi. Sebaliknya, jika dominasi mendekati 1, maka perairan tersebut terdapat salah satu spesies yang mendominasi populasi. Berdasarkan nilai indeks dominansi pada stasiun 1 sampai 3, nilai indeks mendekati 0, sehingga disimpulkan tidak ada dominasi spesies. Sedangkan pada stasiun 4, nilai indeks dominansi mendekati nilai 1, sehingga dapat dikatakan bahwa perairan tersebut (sampling 4) terdapat dominasi spesies pada titik.

Sebuah artikel yang telah dipublikasikan, nilai indeks dominansi dan indeks keanekaragaman spesies dapat menggambarkan baik dan buruknya kondisi perairan (Sirait et al., 2018). Data indeks keanekaragaman dan indeks dominansi spesies pada stasiun 1 sampai 3 menggambarkan bahwa tidak ada dominasi spesies dan memiliki tingkat keanekaragaman yang stabil sehingga dapat dikatakan bahwa kondisi perairan pada stasiun 1 sampai 3 memiliki kondisi perairan yang masih tergolong baik dan mendukung pertumbuhan perifiton. Sedangkan dapat

dikatakan bahwa kondisi perairan pada stasiun 4 tergolong perairan yang buruk dan tidak dapat mendukung pertumbuhan perifiton.

KESIMPULAN

Kelimpahan total perifiton berkisar antara 938.900 Ind/mm² sampai dengan 1.598.125 Ind/mm² dengan 30 genera yang ditemukan. Berdasarkan indeks dominansi, titik sampling 1 sampai titik sampling 3 tidak memiliki dominasi spesies. Berdasarkan indeks keanekaragaman, disimpulkan bahwa titik sampling 1 sampai 3 memiliki indeks keanekaragaman sedang; sebaran jumlah individu tiap spesies sedang, dan stabilitas komunitas sedang. Titik sampling 4 keanekaragaman rendah, sebaran jumlah individu tiap spesies rendah, dan stabilitas komunitas rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih banyak pada Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang atas segala fasilitas dan dukungan yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahn, C., Song, H., Lee, S., Oh, J., Ahn, H., Park, J., Lee, J. and Joo, J., 2013. Effects of Water Velocity and Specific Surface Area on Filamentous Periphyton Biomass in an Artificial Stream Mesocosm. *Water*, 5(4), pp.1723-1740.
- F. O. Alike and O. C. Akoma, "Preliminary Checklist of Phytoplankton and Periphyton in River Okhuo, Nigeria," *Current Research Journal of Biological Sciences*, vol. 4, no. 5, pp. 538-543, 2012.
- D. Bilanovic, M. Holland, J. Starosvetsky, and R. Armon, "Co-cultivation of microalgae and nitrifiers for higher biomass production and better carbon capture," *Bioresource Technology*, vol. 220, pp. 282-288, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.biortech.2016.08.083.

- J. L. Camas-Anzueto, J. A. Gómez-Valdéz, R. Meza-Gordillo, M. Pérez-Patricio, H. R. Hernández de León, and V. León-Orozco, "Sensitive layer based on Lophine and calcium hydroxide for detection of dissolved oxygen in water," *Measurement*, vol. 68, pp. 280–285, May 2015, doi: 10.1016/j.measurement.2015.02.015.
- C. Chakraborty, M. M. Huq, S. Ahmed, T. Tabassum, and M. R. Miah, "Analysis Of The Causes And Impacts Of Water Pollution Of Buriganga River: A Critical Study," *International Journal Of Scientific & Technology Research*, vol. 2, no. 9, pp. 245–252, 2013.
- D. F. Charles, A. P. Tuccillo, and T. J. Belton, "Use of diatoms for developing nutrient criteria for rivers and streams: A Biological Condition Gradient approach," *Ecological Indicators*, vol. 96, pp. 258–269, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.ecolind.2018.08.048.
- T. A. Costache, F. G. Acien Fernández, M. M. Morales, J. M. Fernández-Sevilla, I. Stamatina, and E. Molina, "Comprehensive model of microalgae photosynthesis rate as a function of culture conditions in photobioreactors," *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 97, no. 17, pp. 7627–7637, Jun. 2013, doi: 10.1007/s00253-013-5035-2.
- T. J. Danielson et al., "An algal model for predicting attainment of tiered biological criteria of Maine's streams and rivers," *Freshwater Science*, vol. 31, no. 2, pp. 318–340, Jun. 2012, doi: 10.1899/11-061.1.
- D. M. DeNicola and M. Kelly, "Role of periphyton in ecological assessment of lakes," *Freshwater Science*, vol. 33, no. 2, pp. 619–638, Jun. 2014, doi: 10.1086/676117.
- I. Fernández, F. G. Acien, J. M. Fernández, J. L. Guzmán, J. J. Magán, and M. Berenguel, "Dynamic model of microalgal production in tubular photobioreactors," *Bioresource Technology*, vol. 126, pp. 172–181, Dec. 2012, doi: 10.1016/j.biortech.2012.08.087.
- N. R. Fortes and L. A. G. Pinosa, "Composition of phytobenthos in 'lab-lab', a periphyton-based extensive aquaculture technology for milkfish in brackishwater ponds during dry and wet seasons," *Journal of Applied Phycology*, vol. 19, no. 6, pp. 657–665, Aug. 2007, doi: 10.1007/s10811-007-9225-0.
- M. Fujii, S. Tanabe, M. Yamada, T. Mishima, T. Sawadate, and S. Ohsawa, "Assessment of the potential for developing mini/micro hydropower: A case study in Beppu City, Japan," *Journal of Hydrology: Regional Studies*, vol. 11, pp. 107–116, Jun. 2017, doi: 10.1016/j.ejrh.2015.10.007.
- J. J. Garcia Gonzalez, G. A. Correa Londoño, and S. C. Pardo-Carrasco, "Phytoplankton and periphyton in ponds with Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and bocachico (*Prochilodus magdalenae*)", *Rev. colomb. cienc. pecu.*, vol. 25, no. 4, pp. 603–614, Dec. 2012.
- Hariyadi S, Suryadiputra INN, Widigdo B. 1992. Limnologi. Metode Analisis Kualitas Air. Bogor. Management of Aquatic Resources. Bogor Agricultural Institute. Bogor.
- Md. R. A. Hossain, Md. M. H. Pramanik, and Md. M. Hasan, "Diversity indices of plankton communities in the River Meghna of Bangladesh," *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, vol. 5, no. 3, pp. 330–334, 2017.
- A. Kazbar, G. Cogne, B. Urbain, H. Marec, B. Le-Gouic, J. Tallec, H. Takache, A.

- Ismail, J. Pruvost, "Effect of dissolved oxygen concentration on microalgal culture in photobioreactors," *Algal Research*, vol. 39, p. 101432, May 2019, doi: 10.1016/j.algal.2019.101432.
- T. R. Kießling, R. Stange, J. A. Käs, and A. W. Fritsch, "Thermorheology of living cells—impact of temperature variations on cell mechanics," *New Journal of Physics*, vol. 15, no. 4, p. 045026, Apr. 2013, doi: 10.1088/1367-2630/15/4/045026.
- L. G. Korneva and V. V. Solovyeva, "Golden algae (Chrysophyta) in plankton of the Volga River reservoirs: Taxonomic structure, dynamics of diversity, and abundance," *Inland Water Biology*, vol. 10, no. 2, pp. 168–175, Apr. 2017, doi: 10.1134/s1995082917020067.
- Kristiansen J, Škaloud P. 2017. Chrysophyta. In: Archibald J, Simpson A, Slamovits C. (eds) *Handbook of the Protists*. Springer, Cham.
- Lehner P, Staudinger C, Borisov S, Klimant I. 2014. Ultra-sensitive optical oxygen sensors for characterization of nearly anoxic systems. *Nature Communications* 5(4460).
- Maghanga JK, Kituyi JL, Kisinyo PO, Ng'Etich WK. 2013. Impact of nitrogen fertilizer applications on surface water nitrate levels within a kenyan tea plantation. *Journal of Chemistry* 1-4.
- Martin G, Fernandez MD. 2012. Diatoms as indicators of water quality and ecological status: sampling, analysis and some ecological remarks. INTECH Open Access Publisher. Available in 10.5772/33831.
- Mason CF. 2010. *Biology of freshwater pollution*. Harlow: Prentice-Hall.
- Mattson MD. 1999. Acid lakes and rivers. In: *Environmental Geology*. Encyclopedia of Earth Science. Springer, Dordrecht. Available in https://doi.org/10.1007/1-4020-4494-1_4
- Minelgaite G, Alst NV, Stephansen DA, Bollmann UE, Bester K, Fejerskov ML, Nielsen AH, Vollertsen J. 2020. An exploratory study of benthic diatom communities in stormwater ponds of different land uses and varying biocide contamination. *Aquatic Ecology* 54(3): 761-774.
- Morales M, Sánchez L, Revah S. 2017. The impact of environmental factors on carbon dioxide fixation by microalgae. *FEMS Microbiology Letters* 365(3).
- Mori T, Miyagawa Y, Onoda Y, Kayaba Y. 2017. Flow-velocity-dependent effects of turbid water on periphyton structure and function in flowing water. *Aquatic Sciences* 80(1).
- Müller BJ, Burger T, Borisov SM, Klimant I. 2015. High performance optical trace oxygen sensors based on NIR-emitting benzoporphyrins covalently coupled to silicone matrixes. *Sensors and Actuators B: Chemical* 216: 527–534.
- Noga T, Poradowska A, Peszek Ł, Rybak M. 2018. Rare calciphilous diatoms from the genus *Gomphonema* (Bacillariophyta) in lotic waters of SE Poland. *Oceanological and Hydrobiological Studies* 47(1): 27-40.
- Novais MH, Jüttner I, Vijver BV, Morais MM, Hoffmann L, Ector L. 2015. Morphological variability within the *Achnantheidium minutissimum* species complex (Bacillariophyta): Comparison between the type material of *Achnanthes minutissima* and related taxa, and new freshwater *Achnantheidium* species from Portugal. *Phytotaxa* 224(2): 101.
- Othman A, Khairudin WM, Othman J, Ghani MA, Saudi ASM. 2017. Water flow measuring methods in small hydropower

- for streams and rivers-A study. *International Journal of Applied Engineering Research* 12: 14484-14489.
- Park H, Kwon D, Kim B, Hwang S. 2016. Short-term effects of elevated CO₂ on periphyton community in an artificially constructed channel. *Journal of Ecology and Environment* 40(1).
- Poniewozik M. 2017. Element composition of trachelomonas envelopes (Euglenophyta). *Polish Botanical Journal*, 62(1): 77-85.
- Prihantini NB, Wardhana W, Hendrayanti D, Widyawan A, Ariyani Y, Rianto R. 2010. Biodiversitas Cyanobacteria dari beberapa situ/danau di kawasan Jakarta-Depok-Bogor, Indonesia. *MAKARA of Science Series* 12(1).
- Ramakrishnan B, Megharaj M, Venkateswarlu K, Naidu R, Sethunathan N. 2010. The impacts of environmental pollutants on microalgae and cyanobacteria. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 40(8): 699-821.
- Raso S, Genugten BV, Vermuë M, Wijffels RH. 2011. Effect of oxygen concentration on the growth of *Nannochloropsis* sp. at low light intensity. *Journal of Applied Phycology* 24(4): 863-871.
- Rivera MJ, Luís AT, Grande JA, Sarmiento AM, Dávila JM, Fortes JC, Córdoba F, Diaz-Curiel J, Santisteban M. 2019. Physico-chemical influence of surface water contaminated by acid mine drainage on the populations of diatoms in dams (Iberian Pyrite Belt, SW Spain). *International journal of environmental research and public health* 16(22): 4516.
- Salem Z, Ghobara M, Nahrawy AA. 2017. Spatio-temporal evaluation of the surface water quality in the middle Nile Delta using Palmer's algal pollution index. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences* 4(3): 219-226.
- Sawaiker RU, Rodrigues BF. 2017. Biomonitoring of selected freshwater bodies using diatoms as ecological indicators. *Journal of Ecosystem and Ecography* 7: 234.
- Schmidt TS, Konrad CP, Miller JL, Whitlock SD, Stricker CA. 2019. Benthic algal (periphyton) growth rates in response to nitrogen and phosphorus: parameter estimation for water quality models. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 55(6): 1479-1491.
- Schulte PM. 2015. The effects of temperature on aerobic metabolism: Towards a mechanistic understanding of the responses of ectotherms to a changing environment. *Journal of Experimental Biology* 218(12): 1856-1866.
- Setiowati, Roto, Wahyuni ET. 2016. Monitoring of nitrite and nitrate content in ground water of Catur Tunggal Region of Yogyakarta by UV-VIS spectrophotometry. *Jurnal Manusia dan lingkungan* 23(2): 143-148.
- Shehata N, Meehan K, Ashry I, Kandas I, Xu Y. 2013. Lanthanide-doped ceria nanoparticles as fluorescence-quenching probes for dissolved oxygen. *Sensors and Actuators B: Chemical* 183: 179–186.
- M. Sirait, F. Rahmatia, and P. Pattulloh, “Komparasi Indeks Keanekaragaman Dan Indeks Dominansi Fitoplankton di Sungai Ciliwung Jakarta (comparison of diversity index and dominant index of phytoplankton at Ciliwung River Jakarta),” *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, vol. 11, no. 1, p. 75, 2018.
- Sudrajat A, Bintoro A. 2016. Pengukuran konsentrasi ortofosfat di Danau

- Tondano. Buletin Teknik Litkayasa 14(2): 127-133.
- Sugie K, Fujiwara A, Nishino S, Kameyama S, Harada N. 2020. Impacts of temperature, CO₂, and salinity on phytoplankton community composition in the Western Arctic Ocean. *Frontiers in Marine Science* 6.
- Tunggul A, Rahadi B, Hidayat YI. 2017. Kajian potensi ekologis sempadan Sungai Bango, Kecamatan Blimbing, Kota Malang. *Jurnal Sumber Daya Alam dan Lingkungan* 4(1): 34 – 42.
- Vincent W. 2009. Cyanobacteria. *Encyclopedia of Inland Waters* 226-232.
- Wang B, Lan CQ, Horsman M. 2012. Closed photobioreactors for production of microalgal biomasses. *Biotechnology advances* 30(4): 904-912.
- Wei Y, Jiao Y, An D, Li D, Li W, Wei Q. 2019. Review of dissolved oxygen detection technology: from laboratory analysis to online intelligent detection. *Sensors (Basel, Switzerland)* 19(18): 3995.
- WVDEP (West Virginia Department of Environmental Protection). 2018. Watershed Assessment Branch 2018 Field Sampling Standard Operating Procedures. Division of Water and Waste Management, Watershed Assessment Branch, Charleston, WV.
- Yan L, Chen Z, Zhang Z, Qu C, Chen L, Shen D. 2013. Fluorescent sensing of mercury(II) based on formation of catalytic gold nanoparticles. *The Analyst* 138(15): 4280-4283.
- Yang J, Wang Z, Li Y, Zhuang Q, Gu J. 2016. Real-time monitoring of dissolved oxygen with inherent oxygen-sensitive centers in metal–organic frameworks. *Chemistry of Materials* 28: 2652–2658.
- Yusuf ZH. 2020. Phytoplankton as bioindicators of water quality in the Nasarawa reservoir, Katsina State Nigeria. *Acta Limnologica Brasiliensia* 32.
- Zhao Y, Liu L, Luo T, Hong L, Peng X, Austin RH, Qu J. 2018. A platinum-porphine/poly (perfluoroether) film oxygen tension sensor for noninvasive local monitoring of cellular oxygen metabolism using phosphorescence lifetime imaging. *Sensors and Actuators B: Chemical* 269: 88–95.