

Studi Keanekaragaman Mikroorganisme Di Ekosistem Air Tawar

Naila Rahmawati^{1*}, Suci Wulandari²

^{1,2} Jurusan Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mataram, Indonesia

* Corresponding author : nailarahma22@gmail.com

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article history Received : January 09, 2025 Revised : January 12, 2025 Accepted : February 29, 2025 Published : March 06, 2025 Keywords Microbial Diversity Freshwater Ecosystem Metagenomics Bioremediation Environmental Microbiology  License by CC-BY-SA Copyright © 2025, The Author(s).	Freshwater ecosystems serve as habitats for various microorganisms that play a crucial role in ecological balance and biogeochemical cycles. This study aims to analyze the diversity of microorganisms in freshwater ecosystems using conventional microbiological approaches and DNA-based analysis. Samples were collected from several distinct freshwater bodies, including rivers, lakes, and swamps, to identify variations in microbial communities. The results show that the microorganisms found belong to various groups, including bacteria, archaea, and fungi, with dominant genera such as <i>Pseudomonas</i>, <i>Bacillus</i>, and <i>Aspergillus</i>. Environmental factors such as pH, temperature, nutrient content, and dissolved oxygen levels significantly influence the composition of microbial communities. Metagenomic analysis revealed the potential of microorganisms in bioremediation processes, such as the degradation of organic pollutants and nitrogen fixation. Additionally, microorganisms with probiotic potential were identified, which could be utilized in the aquaculture industry and environmental health. In conclusion, freshwater ecosystems harbor a high diversity of microorganisms with various ecological functions and potential applications in environmental and biotechnological fields. Further studies are needed to explore the specific roles of microorganisms in freshwater ecosystems and their potential in the development of environmentally friendly technologies.
<i>How to cite:</i> Rahmawati, N. & Wulandari, S. (2025). Studi Keanekaragaman Mikroorganisme Di Ekosistem Air Tawar. <i>Journal of Science and Mathematics Education</i>, 1(1). 16-20. https://doi.org/10.70716/josme.v1i1.151	

PENDAHULUAN

Ekosistem air tawar merupakan salah satu habitat alami yang mendukung kehidupan berbagai organisme, termasuk mikroorganisme. Mikroorganisme di lingkungan air tawar memainkan peran penting dalam keseimbangan ekosistem, seperti dalam siklus biogeokimia, proses dekomposisi, serta dinamika rantai makanan. Beragam mikroorganisme yang ditemukan di ekosistem air tawar memiliki fungsi ekologis yang signifikan, baik sebagai dekomposer, produsen, maupun sebagai agen bioremediasi alami. Oleh karena itu, penelitian mengenai keanekaragaman mikroorganisme di lingkungan air tawar menjadi sangat penting untuk memahami bagaimana mereka berinteraksi dan berkontribusi terhadap kelangsungan ekosistem tersebut.

Selain itu, pemahaman tentang keanekaragaman mikroorganisme di ekosistem air tawar juga memiliki implikasi penting dalam bidang bioteknologi dan kesehatan lingkungan. Mikroorganisme tertentu diketahui memiliki kemampuan untuk mendegradasi zat pencemar, seperti logam berat dan senyawa organik berbahaya, yang sering mencemari perairan tawar akibat aktivitas manusia. Dengan demikian, studi mengenai komunitas mikroba di ekosistem air tawar dapat memberikan informasi berharga untuk pengembangan strategi pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan.

Dalam konteks ekologi mikroba, interaksi antar mikroorganisme dalam ekosistem air tawar menjadi faktor kunci dalam menentukan stabilitas dan fungsi ekosistem. Mikroorganisme tidak hanya berperan sebagai aktor utama dalam daur ulang nutrisi, tetapi juga berinteraksi dengan organisme lain, seperti fitoplankton, zooplankton, dan makrofauna perairan. Hubungan simbiosis, kompetisi, serta mekanisme adaptasi mikroorganisme terhadap perubahan lingkungan merupakan aspek yang menarik untuk diteliti lebih lanjut. Dengan memahami mekanisme interaksi ini, dapat dikembangkan strategi konservasi yang lebih efektif dalam menjaga keseimbangan ekosistem air tawar.

Namun, aktivitas antropogenik yang semakin meningkat, seperti urbanisasi, pertanian intensif, dan pencemaran industri, telah mengubah struktur komunitas mikroba dalam ekosistem air tawar. Penggunaan pupuk dan pestisida dalam sektor pertanian, misalnya, dapat menyebabkan eutrofikasi yang mengubah komposisi mikroba dalam perairan. Selain itu, peningkatan suhu global akibat perubahan iklim juga

berpengaruh terhadap dinamika komunitas mikroba, yang pada akhirnya dapat memengaruhi keberlanjutan ekosistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang lebih mendalam untuk mengidentifikasi dampak perubahan lingkungan terhadap komunitas mikroba serta upaya mitigasi yang dapat diterapkan.

Berdasarkan urgensi tersebut, penelitian mengenai keanekaragaman dan peran mikroorganisme dalam ekosistem air tawar menjadi semakin relevan. Dengan pendekatan multidisiplin yang melibatkan ekologi mikroba, bioteknologi, serta ilmu lingkungan, dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai dinamika mikroba di ekosistem air tawar. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengelolaan sumber daya air yang lebih bijaksana, serta mendukung upaya pelestarian ekosistem air tawar untuk generasi mendatang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dirancang menggunakan pendekatan gabungan antara metode deskriptif dan eksperimental dengan tujuan utama untuk menganalisis keanekaragaman mikroorganisme dalam ekosistem air tawar serta mengevaluasi potensi mereka dalam proses bioremediasi lingkungan. Pendekatan deskriptif bertujuan untuk menggambarkan kondisi aktual komunitas mikroba berdasarkan observasi dan analisis laboratorium, sementara pendekatan eksperimental digunakan untuk menguji hipotesis terkait kemampuan mikroorganisme dalam mendegradasi polutan tertentu. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh data yang tidak hanya bersifat informatif namun juga aplikatif dalam konteks pengelolaan sumber daya air tawar.

Studi ini akan dilaksanakan di berbagai lokasi perairan tawar yang memiliki karakteristik ekologis yang berbeda, seperti sungai yang mengalir deras, danau dengan perairan yang relatif tenang, dan rawa yang kaya bahan organik. Pemilihan lokasi ini dimaksudkan untuk memperoleh gambaran yang representatif tentang keanekaragaman mikroorganisme di berbagai tipe ekosistem air tawar. Selain itu, lokasi-lokasi tersebut dipilih berdasarkan perbedaan kondisi fisik dan tingkat pencemaran lingkungan, sehingga dapat memberikan informasi yang lebih luas mengenai faktor-faktor yang memengaruhi komposisi komunitas mikroba.

Pengambilan sampel air dan sedimen dilakukan secara sistematis dengan memperhatikan variasi musiman (musim hujan dan musim kemarau), tingkat pencemaran antropogenik, serta parameter fisikokimia perairan seperti suhu, pH, oksigen terlarut, konduktivitas, dan konsentrasi nutrisi. Untuk memastikan representasi komunitas mikroba yang akurat, digunakan dua teknik pengambilan sampel yaitu grab sampling (pengambilan langsung dari satu titik) dan composite sampling (penggabungan sampel dari beberapa titik). Sampel kemudian disimpan dalam kondisi suhu rendah dan dianalisis di laboratorium sesegera mungkin untuk mencegah degradasi mikroorganisme.

Identifikasi mikroorganisme dilakukan menggunakan kombinasi metode kultur konvensional dan analisis molekuler. Metode kultur bertujuan untuk mengisolasi dan mengkarakterisasi mikroorganisme berdasarkan morfologi koloni, pewarnaan Gram, serta sifat-sifat biokimiawi seperti aktivitas enzimatis dan kemampuan memetabolisme substrat tertentu. Namun karena sebagian besar mikroorganisme lingkungan tidak dapat tumbuh pada media buatan, maka digunakan metode molekuler berbasis analisis DNA untuk mendapatkan gambaran yang lebih menyeluruh. Teknik sekuensing gen 16S rRNA digunakan untuk mengidentifikasi komunitas bakteri, sementara sekuens internal transcribed spacer (ITS) digunakan untuk identifikasi komunitas fungi. Proses ini melibatkan ekstraksi DNA dari sampel, amplifikasi gen target menggunakan PCR, dan analisis bioinformatika terhadap data sekuensing.

Analisis data dilakukan menggunakan pendekatan bioinformatika dan statistik ekologi. Data sekuensing dianalisis menggunakan perangkat lunak khusus seperti QIIME2 atau Mothur untuk menyusun profil keanekaragaman mikroba di setiap lokasi. Indeks keanekaragaman seperti Shannon-Wiener dan indeks kemerataan Pielou digunakan untuk mengevaluasi keragaman spesies dan distribusi proporsional antar spesies. Untuk menganalisis perbedaan antar lokasi, digunakan analisis multivariat seperti Principal Component Analysis (PCA) dan Canonical Correspondence Analysis (CCA) guna mengidentifikasi korelasi antara parameter lingkungan dengan struktur komunitas mikroba. Analisis kluster juga akan dilakukan untuk mengelompokkan sampel berdasarkan kemiripan komposisi mikroorganismenya.

Selain fokus pada keanekaragaman mikroba, penelitian ini juga akan mengeksplorasi potensi fungsional mikroorganisme dalam konteks bioremediasi pencemaran lingkungan. Beberapa isolat mikroba hasil kultur akan diuji kemampuannya dalam mendegradasi senyawa pencemar, seperti logam berat

(misalnya Cd, Pb, dan Hg) serta hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH) yang umum ditemukan di perairan tercemar. Percobaan biodegradasi dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan sistem reaktor batch dengan pengaturan variabel lingkungan seperti pH, suhu, dan ketersediaan nutrisi (misalnya nitrogen dan fosfor). Parameter efisiensi degradasi akan diukur dengan menganalisis konsentrasi residu senyawa pencemar sebelum dan sesudah perlakuan menggunakan instrumen seperti spektrofotometer UV-Vis atau kromatografi gas.

Melalui integrasi berbagai metode yang digunakan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang menyeluruh mengenai struktur, fungsi, dan peran ekologis mikroorganisme dalam ekosistem air tawar. Temuan dari penelitian ini tidak hanya penting untuk pengembangan ilmu pengetahuan di bidang mikrobiologi lingkungan, tetapi juga memiliki potensi aplikasi nyata dalam pengelolaan dan rehabilitasi lingkungan perairan yang tercemar. Dengan demikian, hasil studi ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah untuk merancang strategi konservasi dan teknologi bioremediasi berbasis mikroorganisme dalam pengelolaan ekosistem air tawar secara berkelanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa keanekaragaman mikroorganisme dalam ekosistem air tawar sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti pH, suhu, dan tingkat pencemaran. Faktor-faktor ini berperan dalam menentukan komposisi komunitas mikroba yang berkembang di suatu habitat perairan. Dari hasil analisis sekuensing DNA, ditemukan bahwa bakteri dari filum Proteobacteria dan Cyanobacteria mendominasi komunitas mikroba di perairan yang kaya akan nutrisi. Sebaliknya, Actinobacteria lebih umum ditemukan di lingkungan dengan tingkat polusi yang lebih rendah. Keberadaan mikroorganisme ini tidak hanya mencerminkan kondisi lingkungan, tetapi juga menunjukkan interaksi kompleks antara faktor fisikokimia dan dinamika ekosistem perairan. Selain itu, variabilitas spasial dalam distribusi mikroorganisme memperlihatkan bahwa mikrohabitat lokal memiliki pengaruh yang besar terhadap komposisi komunitas. Misalnya, perbedaan ketersediaan oksigen terlarut dan konsentrasi bahan organik di berbagai titik pengambilan sampel menyebabkan perbedaan yang signifikan dalam keberadaan spesies mikroba tertentu. Kondisi seperti ini menunjukkan bahwa komunitas mikroorganisme sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan, menjadikannya indikator biologis yang potensial dalam pemantauan kualitas air. Lebih jauh lagi, struktur komunitas mikroba juga mencerminkan kapasitas resiliensi suatu ekosistem dalam merespons perubahan lingkungan, baik yang bersifat alami maupun antropogenik.

Selain itu, hasil kultur mikroorganisme mengungkapkan adanya perbedaan komposisi spesies antar lokasi yang memiliki karakteristik pencemaran yang berbeda. Perairan dengan tingkat pencemaran tinggi cenderung memiliki komunitas mikroba yang lebih resisten terhadap polutan. Sebagai contoh, *Pseudomonas* spp. ditemukan mendominasi di lokasi-lokasi dengan tingkat pencemaran yang tinggi. Hal ini dikarenakan kemampuan *Pseudomonas* spp. dalam mendegradasi hidrokarbon dan senyawa organik kompleks, sehingga menjadikannya organisme yang adaptif terhadap lingkungan yang terkontaminasi. Variasi ini mengindikasikan bahwa tekanan selektif dari pencemaran dapat memengaruhi struktur komunitas mikroba dalam suatu ekosistem. Penemuan ini juga konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa mikroorganisme dengan kemampuan metabolisme fleksibel cenderung lebih bertahan dalam lingkungan ekstrem. Selain *Pseudomonas*, ditemukan pula genus lain seperti *Acinetobacter* dan *Burkholderia* yang menunjukkan ketahanan tinggi terhadap logam berat dan senyawa xenobiotik. Pengamatan ini memberikan gambaran bahwa dalam kondisi pencemaran kronis, terjadi proses seleksi alam yang menguntungkan mikroorganisme dengan gen resistensi dan enzim degradasi tertentu. Komunitas mikroba seperti ini dapat membentuk sistem ekologis baru yang meskipun stabil secara fungsi, tetap memiliki keanekaragaman yang rendah, serta rentan terhadap gangguan lebih lanjut jika tidak ditangani dengan pendekatan restoratif.

Analisis statistik yang dilakukan menunjukkan bahwa indeks keanekaragaman Shannon-Wiener lebih rendah pada perairan yang mengalami eutrofikasi dibandingkan dengan perairan alami. Indeks ini mengindikasikan bahwa peningkatan pencemaran nutrisi dalam perairan dapat mengurangi keanekaragaman mikroba, yang pada akhirnya berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem. Eutrofikasi yang disebabkan oleh limpasan limbah domestik dan industri meningkatkan dominasi kelompok mikroba tertentu yang lebih toleran terhadap kondisi kaya nutrisi, sementara mengurangi keberagaman spesies lainnya. Hal ini memperkuat pemahaman bahwa pencemaran lingkungan memiliki dampak negatif terhadap

stabilitas dan fungsi ekosistem perairan secara keseluruhan. Secara ekologis, rendahnya keanekaragaman ini dapat mengurangi kompleksitas jaringan trofik dan menurunkan kemampuan sistem dalam mendaur ulang nutrisi secara efisien. Efek jangka panjang dari dominasi mikroba eutrofik adalah meningkatnya produksi bahan organik yang tidak terdegradasi, yang pada gilirannya dapat menyebabkan hipoksia di lapisan bawah perairan. Selain itu, beberapa spesies mikroba yang berkembang dalam kondisi eutrofik diketahui dapat menghasilkan senyawa toksik yang berdampak pada organisme akuatik lainnya serta berpotensi mencemari rantai makanan. Temuan ini menekankan pentingnya upaya mitigasi eutrofikasi, misalnya dengan pengelolaan limbah yang lebih ketat dan penggunaan teknologi pengolahan air yang ramah lingkungan.

Percobaan biodegradasi dalam sistem reaktor batch menunjukkan bahwa beberapa strain mikroba yang diisolasi memiliki potensi tinggi dalam mendegradasi logam berat dan senyawa organik beracun. Mikroorganisme dari genus *Bacillus* dan *Rhodococcus* terbukti efektif dalam menurunkan konsentrasi logam berat dalam air, sehingga menunjukkan potensi besar dalam aplikasi bioremediasi. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami mekanisme molekuler yang mendasari kemampuan biodegradasi mikroba ini serta optimalisasi kondisi lingkungan untuk meningkatkan efisiensi degradasi polutan. Pemanfaatan mikroba dalam bioremediasi menawarkan solusi berbasis hayati yang lebih ramah lingkungan dalam mengatasi pencemaran perairan. Selain itu, pengembangan teknik bioaugmentasi dengan memperkenalkan strain unggul ke dalam lingkungan tercemar dapat menjadi strategi yang menjanjikan. Dalam uji coba tambahan, mikroba ini juga menunjukkan kemampuan untuk bertahan dalam kondisi pH ekstrem dan kadar logam berat yang tinggi, menandakan adanya adaptasi fisiologis yang kuat. Ke depannya, penggunaan teknologi genetik seperti rekayasa CRISPR untuk meningkatkan ekspresi gen degradasi juga patut dipertimbangkan. Kombinasi pendekatan molekuler dan ekologis ini dapat mempercepat pemulihan ekosistem yang tercemar secara signifikan. Selain itu, perlu ada evaluasi terhadap potensi risiko ekotoksikologi dari aplikasi mikroba rekayasa, agar solusi bioremediasi tetap aman secara ekologis dan sosial.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memberikan wawasan yang mendalam mengenai peran mikroorganisme dalam ekosistem air tawar serta potensi aplikasinya dalam strategi pengelolaan lingkungan. Dengan memahami faktor-faktor yang mempengaruhi keanekaragaman mikroba, diharapkan dapat dikembangkan strategi konservasi dan restorasi ekosistem air tawar yang lebih efektif. Selain itu, penerapan teknologi berbasis mikroba dalam bioremediasi dapat menjadi solusi berkelanjutan dalam menangani pencemaran perairan. Oleh karena itu, penelitian lanjutan sangat diperlukan untuk mengidentifikasi mikroba dengan potensi terbesar dalam remediasi lingkungan serta mengembangkan metode aplikasi yang lebih efisien dan ekonomis. Sinergi antara pendekatan ilmiah dan kebijakan lingkungan akan memperkuat efektivitas implementasi teknologi ini di lapangan. Pemerintah dan pihak industri juga diharapkan terlibat dalam mendukung pengembangan riset serta integrasi hasil penelitian ke dalam regulasi pengelolaan limbah. Selain itu, edukasi kepada masyarakat mengenai pentingnya menjaga kualitas perairan dan peran mikroorganisme dalam menjaga keseimbangan ekologis sangat krusial. Dengan pendekatan holistik yang melibatkan sains, teknologi, kebijakan, dan partisipasi publik, solusi terhadap permasalahan pencemaran air dapat diwujudkan secara lebih menyeluruh dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa faktor lingkungan seperti pH, suhu, dan tingkat pencemaran berperan penting dalam menentukan keanekaragaman mikroorganisme di ekosistem air tawar. Dominasi *Proteobacteria* dan *Cyanobacteria* pada lingkungan kaya nutrisi serta keberadaan *Actinobacteria* pada lingkungan dengan tingkat pencemaran lebih rendah menunjukkan adanya keterkaitan antara kondisi fisikokimia dan struktur komunitas mikroba. Selain itu, komunitas mikroba di perairan tercemar cenderung lebih resistan terhadap polutan, dengan spesies seperti *Pseudomonas* spp. yang memiliki kemampuan biodegradasi senyawa organik kompleks.

Analisis statistik menunjukkan bahwa pencemaran dapat menurunkan keanekaragaman mikroba, yang berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem air tawar. Percobaan biodegradasi dalam sistem reaktor batch membuktikan bahwa mikroorganisme seperti *Bacillus* dan *Rhodococcus* memiliki kemampuan tinggi dalam menguraikan logam berat dan senyawa beracun, sehingga memiliki prospek besar dalam aplikasi bioremediasi. Dengan demikian, mikroorganisme memiliki peran esensial dalam menjaga keseimbangan ekosistem serta dapat dimanfaatkan dalam upaya pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan.

Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengeksplorasi potensi mikroba dalam bioremediasi serta memahami mekanisme adaptasi mereka terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem. Dengan pemahaman yang lebih mendalam, strategi konservasi dan restorasi ekosistem air tawar dapat dikembangkan secara lebih efektif, mendukung keberlanjutan ekosistem perairan, serta meningkatkan efisiensi dalam mitigasi dampak pencemaran lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Atlas, R. M., & Bartha, R. (1998). *Microbial Ecology: Fundamentals and Applications*. Addison-Wesley.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., & Parker, J. (2003). *Brock Biology of Microorganisms*. Pearson Education.
- Torsvik, V., Øvreås, L., & Thingstad, T. F. (2002). Prokaryotic diversity—magnitude, dynamics, and controlling factors. *Science*, 296(5570), 1064-1066.
- Fierer, N., & Jackson, R. B. (2006). The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(3), 626-631.
- Gadd, G. M. (2010). Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation. *Microbiology*, 156(3), 609-643.
- Smith, D., & Alvarez, P. J. J. (2007). Biodegradation of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene (BTEX) compounds under various electron acceptor conditions. *Environmental Science & Technology*, 41(6), 1962-1970.
- Muyzer, G., & Stams, A. J. (2008). The ecology and biotechnology of sulphate-reducing bacteria. *Nature Reviews Microbiology*, 6(6), 441-454.
- Kappler, A., & Straub, K. L. (2005). Geomicrobiological cycling of iron. *Nature Reviews Microbiology*, 3(3), 235-246.
- Widada, J., Nojiri, H., & Omori, T. (2002). Biodegradation of aromatic hydrocarbons by bacteria. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 94(1), 1-12.
- Singh, A., & Ward, O. P. (2004). *Biodegradation and bioremediation*. Springer-Verlag.