

Spatial Variation in Water Quality Based on Biotic Indices Along Urban River Reservoir Continuum in Samarinda

Budiman^{1*}, Khairunnisa Luthfiah¹, Fatmawati Patang¹

¹Laboratory of Ecology and Animal Systematics, Department of Biology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Mulawarman. Jl. Barong Tongkok No.4, Samarinda 75123, East Kalimantan, Indonesia;

Article History

Received : February 14th, 2026

Revised : February 25th, 2026

Accepted : March 05th, 2026

*Corresponding Author:

Budiman, Laboratory of Ecology and Animal Systematics, Department of Biology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Mulawarman. , Samarinda, East Kalimantan, Indonesia;

E-mail:

budiman@fmipa.unmul.ac.id

Abstract: The Karang Mumus River and Benanga Reservoir are water bodies that play a vital role in supporting ecological functions and meeting the socio-economic needs of urban dwellers of Samarinda. However, pressure from urban anthropogenic activities has caused a decline in water quality in both water bodies. This study aims to assess water quality along the Benanga Reservoir and Karang Mumus River using benthic macroinvertebrates as ecological indicators. Macroinvertebrate benthos sampling was conducted in March 2024 in the upper, middle, and lower reaches of the Karang Mumus River, as well as the Benanga Reservoir, which is the source of the river's water flow. Furthermore, water quality assessment along these waters was determined based on the importance value index (INP), Shannon-Wiener diversity (H'), evenness (E), and Simpson dominance (D), as well as biotic indices, namely BMWP-ASPT (Biological Monitoring Working Party-Average Score Per Taxon) and FBI (Family Biotic Index). The results of the study showed that Benanga Reservoir has a fairly high diversity (H' = 2.05), with a dominance of taxa sensitive to pollution, such as the Baetidae family, indicating relatively good water conditions. BMWP-ASPT and FBI values indicate that the quality of Benanga Reservoir is relatively good. In contrast, the upstream, middle, and downstream segments of the Karang Mumus River showed a gradual decline in water quality. In the middle and downstream segments, the dominance of taxa tolerant of aquatic environmental pollution, such as Lestidae and Tubificidae, was observed, along with a high FBI value (9.49), indicating that the water is highly polluted with organic materials.

Keywords: Biomonitoring, benthic macroinvertebrates, East Kalimantan, freshwater ecosystem.

Pendahuluan

Sungai dan waduk perkotaan adalah elemen vital dalam ekosistem air tawar, berfungsi sebagai sumber pasokan air, habitat bagi berbagai organisme akuatik, serta area rekreasi bagi masyarakat sekitar. Menilai variasi spasial kualitas air di sepanjang kontinum sungai-waduk perkotaan sangat penting untuk pengelolaan dan konservasi lingkungan perairan yang efektif (Tockner, 2021).

Indikator biotik, terutama komunitas makroinvertebrata bentos, sering digunakan sebagai bioindikator karena respons organisme ini terhadap gangguan lingkungan bersifat terukur, terintegrasi dalam jangka waktu relatif lama, dan mencerminkan pengaruh kumulatif

tekanan antropogenik. Indeks biotik yang disusun berdasarkan komposisi, kelimpahan, dan toleransi takson terhadap polusi memberikan alat kuantitatif untuk mengevaluasi kualitas air secara komprehensif serta membandingkan status ekologis antar lokasi dan waktu (Zaghloul *et al.*, 2020). Makroinvertebrata bentos sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan dan merespons secara terprediksi terhadap gradien polusi, sehingga menjadi bioindikator yang andal (Rijaluddin *et al.*, 2017; Roziaty *et al.*, 2017; Supriatna, 2023). Berbeda dengan parameter fisikokimia yang hanya memberikan gambaran sekilas, indeks biotik mencerminkan dampak kumulatif dan jangka panjang pada komunitas akuatik, sehingga memberikan penilaian yang

lebih menyeluruh mengenai kesehatan ekosistem (Zaghloul *et al.*, 2020).

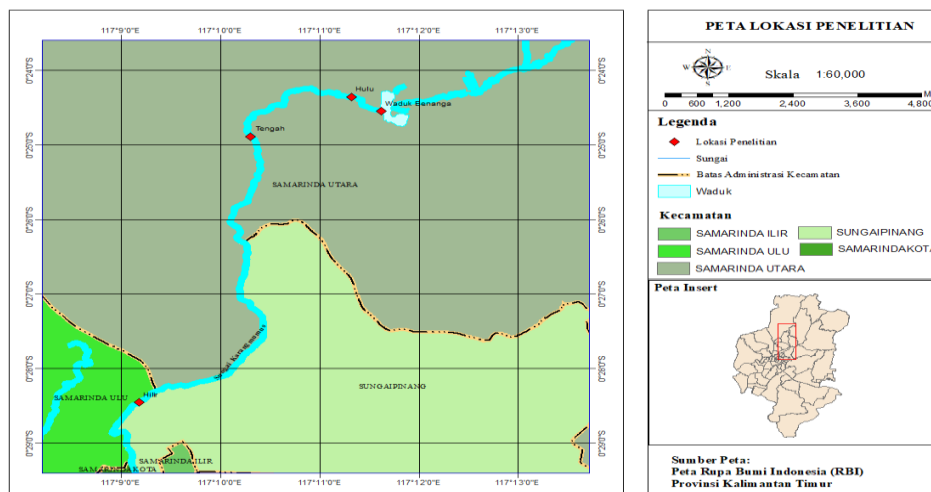
Samarinda, sebagai pusat kota yang berkembang pesat di Kalimantan Timur, menghadapi tantangan besar dalam menjaga kualitas air akibat perluasan aktivitas industri, permukiman perkotaan, dan perubahan penggunaan lahan. Waduk Benanga yang dibangun pada tahun 1978 berfungsi sebagai infrastruktur pengendalian banjir dan penyedia air baku bagi PDAM setempat (Widayanti *et al.*, 2017; Ilmawati *et al.*, 2022). Waduk ini juga menjadi sumber utama air bagi Sungai Karang Mumus, yang mengalir melalui Kota Samarinda dan memiliki nilai ekologis serta sosial ekonomi penting, mendukung kawasan pemukiman, pasar, lahan pertanian, dan perkebunan (Pramaningsih *et al.*, 2017; Hutaaruk *et al.*, 2020; Sari *et al.*, 2022). Sungai ini menopang aktivitas masyarakat sehari-hari dan menyediakan habitat bagi beragam organisme akuatik. Namun, peningkatan aktivitas antropogenik di sepanjang sungai menimbulkan risiko terhadap kualitas air, sehingga pemantauan berkala sangat diperlukan (Nugroho *et al.*, 2024).

Data terperinci mengenai status ekologis kedua perairan tersebut berdasarkan indikator biotik dan struktur komunitas makroinvertebrata bentos masih terbatas, sehingga menyulitkan penentuan tingkat degradasi, sumber pencemar utama, dan prioritas pemulihan. Informasi kualitas air sungai-waduk tersebut masih berdasarkan parameter fisika-kimia dan bersifat temporer, padahal kondisi hidrologi dan

pengaruh antropogenik dari lingkungan sekitarnya sangat bervariasi secara spasial maupun temporal (Pramaningsih *et al.*, 2017; Patang *et al.*, 2018; Septyawan *et al.*, 2022).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengukur variasi spasial kualitas air di sepanjang kontinum sungai-waduk perkotaan di Samarinda berdasarkan struktur dan komposisi makroinvertebrata bentos. Pendekatan ini tidak hanya menilai parameter kualitas air secara kuantitatif, tetapi juga mengkaji aspek ekologis yang mencerminkan kondisi nyata di lapangan. Dengan demikian, pemahaman mendalam mengenai hubungan antara makroinvertebrata bentos dan kualitas air akan memperkaya data ilmiah yang dapat digunakan oleh pembuat kebijakan, pengelola lingkungan, dan masyarakat dalam menjaga kelestarian ekosistem perairan di Sungai Karang Mumus hingga Waduk Benanga.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi penting mengenai tingkat pencemaran dan kesehatan ekosistem di wilayah tersebut, serta menjadi dasar bagi pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan dan upaya konservasi lingkungan di Samarinda. Pendekatan yang diambil menekankan perlunya penilaian yang eksplisit secara spasial untuk menangkap dampak heterogen urbanisasi pada sistem air tawar, sekaligus mendemonstrasikan efektivitas biomonitoring menggunakan makroinvertebrata bentos sebagai alat pemantauan kualitas air di lingkungan perkotaan tropis.



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel makrozoobentos di sepanjang aliran Sungai Karang Mumus dan Waduk Benanga, Samarinda.

Bahan dan Metode

Rancangan Penelitian

Penelitian ini bersifat eksploratif deskriptif dengan empat stasiun pengambilan sampel makroinvertebrata bentos, meliputi Waduk Benanga sebagai sumber utama aliran, serta tiga segmen Sungai Karang Mumus (hulu, tengah, dan hilir) yang mewakili berbagai kondisi lingkungan di sepanjang aliran Sungai (Gambar 1).

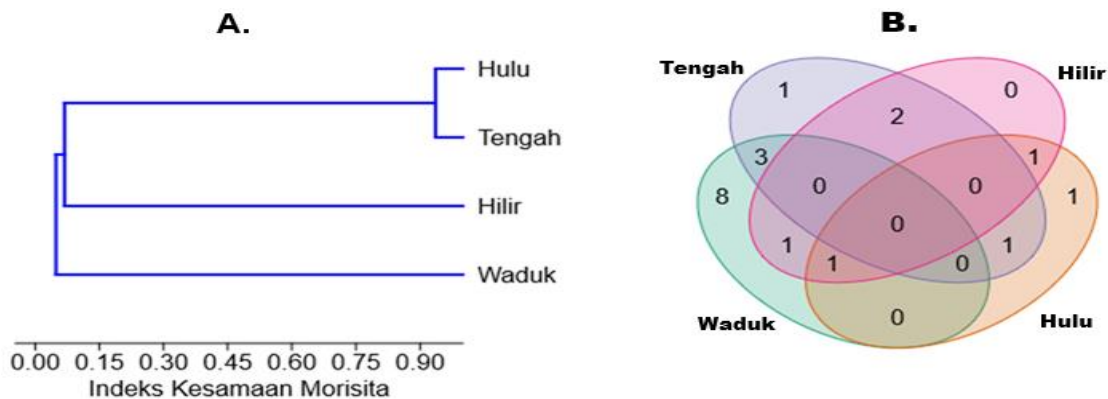
Pengambilan sampel dan identifikasi makroinvertebrata bentos

Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Maret 2024. Pada setiap stasiun, tiga titik sampling ditentukan secara acak untuk mewakili kondisi habitat perairan tersebut. Pada setiap titik sampling, sebanyak 100 individu dikumpulkan menggunakan metode *dip net*, kemudian disortir di lapangan dan diawetkan menggunakan alkohol

70%. Identifikasi makroinvertebrata bentos dilakukan hingga tingkat famili menggunakan kunci determinasi dalam *The Waterbug Book* (Gooderham *et al.*, 2002) dan *Identification Guide of Freshwater Macroinvertebrates of Spain* (Oscoz *et al.*, 2011).

Analisis data

Data kelimpahan makroinvertebrata bentos tiap famili digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran dan status ekosistem berdasarkan indeks biotik meliputi *Biological Monitoring Working Party* (BMWP), *Average Score Per Taxon* (ASPT), dan *Family Biotic Index* (FBI; Mandaville, 2002); serta indeks ekologi meliputi kesamaan komunitas Morisita, keanekaragaman Shannon-Wiener (H'), kemerataan (E), dominansi Simpson (D), serta indeks nilai penting (INP). Indeks ekologis tersebut dihitung menggunakan software PAST 4.16 (Hammer, 2025).



Gambar 2. Kesamaan struktur komunitas (A) dan famili (B) makrozoobentos pada empat stasiun sepanjang aliran Sungai Karang Mumus dan Waduk Benanga, Samarinda.

Hasil dan Pembahasan

Struktur komunitas makroinvertebrata bentos

Hasil penelitian menunjukkan adanya gradien spasial dalam struktur dan komposisi komunitas makroinvertebrata bentos di sepanjang perairan Sungai Karang Mumus dan Waduk Benanga, Samarinda (Gambar 2). Waduk Benanga memiliki 8 famili unik, yang menandakan karakteristik komunitas makroinvertebrata bentos yang sangat khas dan berbeda dari aliran Sungai Karang Mumus. Hal ini dapat disebabkan oleh dominansi spesies lentik (perairan tenang) sebagai adaptasi spesifik

terhadap kondisi waduk seperti substrat lumpur dan penguasaan tumbuhan air yang tinggi. Sementara itu, segmen hulu dan tengah Sungai Karang Mumus menunjukkan tingkat kesamaan komunitas makroinvertebrata bentos yang tinggi, terlihat dari jarak dendrogram yang sangat dekat. Hal ini mengindikasikan bahwa kedua segmen tersebut memiliki komposisi spesies yang sangat mirip, kemungkinan karena kondisi lingkungan yang serupa seperti kualitas air dan vegetasi riparian, serta tingkat gangguan antropogenik yang rendah. Selanjutnya, bagian hilir sungai memiliki hubungan yang lebih jauh dengan Hulu dan Tengah, menunjukkan adanya perbedaan dalam struktur komunitas makroinvertebrata

bentos. Hal ini bisa disebabkan oleh peningkatan polusi dari aktivitas perkotaan dan perubahan fisik sungai di bagian hilir.

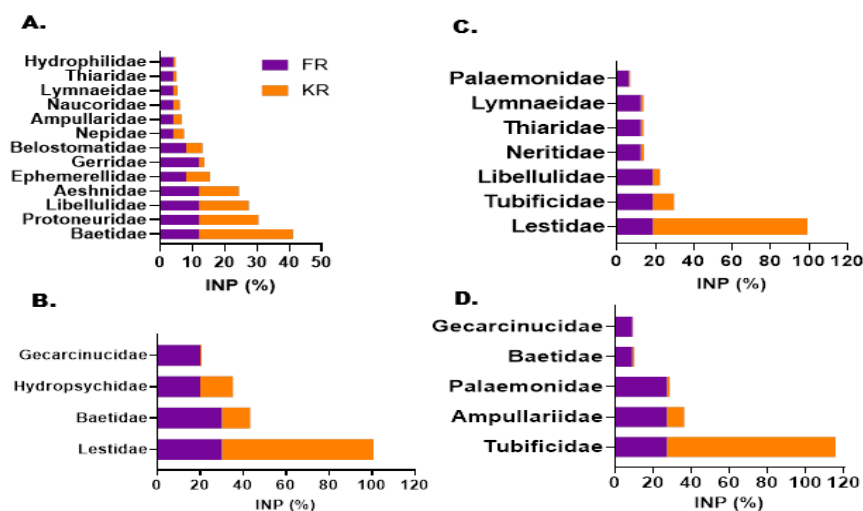
Berdasarkan indeks ekologi komunitas makroinvertebrata bentos (Tabel 1), Waduk Benanga memiliki kualitas lingkungan yang relatif stabil, ditandai dengan keanekaragaman (H') sedang ($H' = 2,05$), pemerataan tinggi ($E = 0,80$), dan dominansi rendah ($D = 0,17$). Sementara itu, Sungai Karang Mumus menunjukkan penurunan diversitas dan peningkatan dominansi dari hulu ke hilir. Segmen hilir memiliki keanekaragaman terendah (0,45) dan dominansi tertinggi (0,79), yang mengindikasikan komunitas tidak stabil, produktivitas ekosistem rendah, dan tekanan ekologis tinggi (Wishnu *et al.*, 2020; Merina *et al.*, 2022; Siagian *et al.*, 2023). Temuan ini menekankan adanya gradien polusi di sepanjang sungai.

Tabel 1. Indeks ekologi komunitas bentos sepanjang Waduk Benanga dan Sungai Karang Mumus di Samarinda

| Badan Perairan | H' | E | D | |
|---------------------|--------|--------|--------|------|
| Waduk Benanga | Sedang | Tinggi | Rendah | |
| Sungai Karang Mumus | Hulu | 0,83 | 0,60 | 0,54 |
| | Tengah | 0,76 | 0,39 | 0,66 |
| | Hilir | 0,45 | 0,28 | 0,79 |

Gambar 3 mengkonfirmasi dominasi atau penguasaan famili makroinvertebrata bentos di sepanjang aliran Sungai Karang Mumus dan Waduk Benanga berdasarkan nilai INP. Waduk Benanga memiliki komunitas makroinvertebrata bentos yang lebih seimbang ditunjukkan oleh ko-dominansi beberapa famili (nilai INP yang relatif merata), seperti Baetidae, Protoneuridae, Libellulidae, dan Aeshnidae. Hal ini menandakan tidak ada satu famili pun yang mendominasi secara ekstrem di Waduk Benanga. Sementara itu, Sungai Karang Mumus, terutama dari bagian hulu dan tengah, didominasi oleh famili Lestidae, sedangkan bagian hilir didominasi oleh organisme yang sangat toleran terhadap polusi seperti Tubificidae.

Famili Baetidae yang memiliki nilai INP tertinggi di Waduk Benanga (40,11) tergolong dalam ordo Ephemeroptera dan dapat mencerminkan kualitas air dengan kondisi baik hingga tercemar ringan. Kelompok ini memiliki jumlah jenis yang cukup melimpah dan beragam serta sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan di perairan tawar, sehingga keberadaannya dapat mencerminkan kualitas air yang baik. Famili ini berperan dalam rantai makanan, siklus nutrisi, dan produksi primer (Jacobus *et al.*, 2019). Selain itu, famili Baetidae sensitif terhadap logam berat seperti Zn, Cd, dan Cu, sehingga keberadaannya dapat digunakan sebagai indikator pencemaran logam berat dalam air (Sanchez *et al.*, 2022).



Gambar 3. Indeks nilai penting makrozoobentos tingkat famili sepanjang aliran Sungai Karang Mumus dan Waduk Benanga, Samarinda. Keterangan: (A) Waduk Benanga, (B) Hulu, (C) Tengah, (D) Hilir.

Famili Lestidae, famili dominan di segmen hulu dan tengah Sungai Karang Mumus, termasuk dalam kelompok Zygoptera dari ordo Odonata. Spesies Zygoptera yang bersifat teritorial cenderung lebih toleran terhadap perubahan lingkungan, termasuk urbanisasi sehingga dapat bertahan pada kondisi lingkungan yang mengalami tekanan antropogenik (Tovar *et al.*, 2024). Lebih lanjut, Thaware (2023) menjelaskan bahwa Lestidae memiliki kemampuan beradaptasi pada perairan dengan tingkat pencemaran sedang, namun tetap sensitif terhadap kondisi kadar oksigen yang terlarut rendah.

Sementara itu, Tubificidae, famili dominan di hilir Sungai Karang Mumus, merupakan kelompok makroinvertebrata bentos toleran terhadap pencemaran serta sering

ditemukan di perairan dengan kandungan bahan organik tinggi dan kadar oksigen rendah. Tubificidae memiliki pigmen pernapasan yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi pertukaran oksigen sehingga dapat hidup di perairan dengan kadar oksigen rendah (Vikriansyah *et al.*, 2025). Selain itu, Tubificidae umumnya hidup di perairan tawar yang tenang dengan jenis substrat berlumpur, memiliki kemampuan osmoregulasi yang baik, serta mampu bertahan hidup pada kondisi pH dan DO yang ekstrim (Sudarmo *et al.*, 2023). Selain adaptasi fisiologis, Tubificidae juga memiliki laju reproduksi yang tinggi, baik secara seksual maupun aseksual, terutama saat berada di lingkungan dengan nutrisi berlimpah karena pencemaran (Erlangga *et al.*, 2024).

Tabel 2. Nilai toleransi famili makrozoobentos berdasarkan BMWP dan FBI

| Ordo | Famili | Skor BMWP | Nilai Toleransi FBI |
|-------------------|----------------|-----------|---------------------|
| Odonata | Libellulidae | 8 | 2 |
| | Aeshnidae | 8 | 3 |
| | Protoneuridae | 3 | 8 |
| | Lestidae | 1 | 9 |
| | Naucoridae | 5 | 5 |
| Hemiptera | Belostomatidae | 5 | 5 |
| | Gerridae | 5 | 6 |
| | Nepidae | 5 | 8 |
| Ephemeroptera | Ephemerellidae | 10 | 1 |
| | Baetidae | 4 | 4 |
| Tricoptera | Hydropsychidae | 5 | 5 |
| Architaenioglossa | Ampullariidae | 3 | 6 |
| Caenogastropoda | Thiaridae | 6 | 6 |
| Pulmonata | Lymnaeidae | 3 | 6 |
| Coleoptera | Hydrophilidae | 6 | 5 |
| Tubificida | Tubificidae | 1 | 10 |
| Cycloneritida | Neritidae | 6 | 6 |
| Decapoda | Palaemonidae | 6 | 4 |
| | Gecarcinucidae | 6 | 6 |

Berdasarkan indeks ekologi komunitas makroinvertebrata bentos tersebut, Waduk Benanga dan Sungai Karang Mumus tergolong tercemar sedang hingga berat. Faktor utama yang memengaruhi kondisi ini adalah aktivitas antropogenik di sepanjang aliran Sungai Karang Mumus, seperti permukiman padat, pasar, serta aktivitas pertanian dan perkebunan yang berpotensi menghasilkan limbah domestik

maupun limpasan (*runoff*) yang mengandung bahan pencemar dan berdampak pada struktur komunitas makroinvertebrata bentos. Hal ini sejalan dengan Kusumawardani *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa nilai struktur makroinvertebrata bentos dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, baik biotik maupun abiotik yang berkontribusi terhadap penurunan kualitas air.

Tabel 3. Kualitas air Sungai Karang Mumus dan Waduk Benanga berdasarkan BMWP-ASPT dan FBI

| Segmen | Jumlah Taksa | BMWP | ASPT | Interpretasi ASPT | FBI | Interpretasi FBI |
|---------|--------------|------|------|-------------------|------|---|
| Benanga | 13 | 76 | 5,46 | Sangat baik | 4,43 | Baik, Terpolusi bahan organik |
| Hulu | 4 | 16 | 4 | Tercemar | 7,7 | Sangat buruk, Terpolusi berat bahan organik |
| Tengah | 7 | 31 | 4,43 | Sedang | 8,69 | Sangat buruk, Terpolusi berat bahan organik |
| Hilir | 5 | 20 | 4 | Tercemar | 9,49 | Sangat buruk, Terpolusi berat bahan organik |

Kualitas air berdasarkan indeks biotik

Indeks biotik merupakan salah satu komponen penting dalam penilaian kualitas air serta didasarkan pada komposisi dan kehadiran komunitas makroinvertebrata bentos. BMWP-ASPT digunakan untuk mengevaluasi kualitas ekologi perairan secara umum berdasarkan kehadiran takson yang sensitif maupun toleran terhadap pencemaran. Sementara itu, FBI digunakan untuk menunjukkan tingkat pencemaran berdasarkan nilai toleransi masing-masing famili terhadap bahan pencemar (Ibrahim *et al.*, 2021). Nilai BMWP dan toleransi setiap famili yang ditemukan pada keempat segmen penelitian ditampilkan pada Tabel 2, sedangkan hasil analisis indeks biotik tersebut pada tiap stasiun dapat dilihat pada Tabel 3.

Nilai BMWP-ASPT dan FBI menunjukkan variasi kualitas perairan di sepanjang Sungai Karang Mumus dan Waduk Benanga. Waduk Benanga, nilai BMWP-ASPT sebesar 5,46 mengindikasikan kualitas perairan yang sangat baik dengan dominansi taksa sensitif seperti Ephemeroptera. Nilai BMWP-ASPT >5,4 dan FBI antara 4,26-5,00 mencerminkan kondisi perairan yang relatif tidak tercemar dan mampu mendukung keberadaan taksa sensitif, seperti kelompok Ephemeroptera, Trichoptera, dan Plecoptera (Diantari *et al.*, 2018; Sarikar & Vijaykumar, 2022).

Selanjutnya, Sungai Karang Mumus secara konsisten menunjukkan penurunan kualitas air di sepanjang aliran. Indeks FBI secara seragam mengklasifikasikan seluruh bagian sungai (hulu, tengah, hilir) tercemar berat bahan organik. Nilai FBI yang meningkat dari hulu (7,7) ke hilir (9,49) mengindikasikan adanya akumulasi beban pencemaran dari segmen hulu ke hilir, serta kontribusi tambahan dari aktivitas pertanian di sekitar segmen tengah. Hal ini sejalan dengan temuan Yuliandari (2018) yang

menjelaskan bahwa peningkatan beban pencemar di suatu segmen dapat disebabkan oleh limpasan dari segmen sebelumnya serta aktivitas antropogenik di sekitar lokasi. Lebih lanjut, peningkatan bahan pencemar berdampak pada hilangnya taksa sensitif dan mendorong dominasi taksa yang toleran terhadap kondisi tercemar (Vikriansyah *et al.*, 2025).

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan adanya gradien spasial dalam struktur komunitas makroinvertebrata bentos dan kualitas air di sepanjang aliran Sungai Karang Mumus dan Waduk Benanga, Samarinda. Waduk Benanga memiliki komunitas makroinvertebrata bentos yang lebih stabil dan beragam dengan kualitas lingkungan yang relatif baik, sedangkan Sungai Karang Mumus menunjukkan penurunan diversitas dan peningkatan dominansi organisme yang toleran terhadap pencemaran dari hulu ke hilir. Indeks ekologi dan indeks biotik mengindikasikan bahwa perairan di Sungai Karang Mumus mengalami pencemaran organik berat, terutama di segmen hilir, yang dipengaruhi oleh aktivitas antropogenik seperti permukiman, pasar, serta pertanian dan perkebunan di sekitarnya. Dominasi famili yang berbeda di setiap segmen memperkuat gambaran perubahan kondisi lingkungan dan tekanan polusi sepanjang aliran sungai. Temuan ini menegaskan pentingnya pengelolaan limbah dan perlindungan habitat untuk menjaga keberlanjutan ekosistem perairan dan kualitas air di Kota Samarinda.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada teknisi lapangan dan mahasiswa pendukung di Laboratorium Ekologi dan Sistematika Hewan, Departemen Biologi Universitas Mulawarman, atas bantuan mereka dalam pengumpulan data dan identifikasi.

Referensi

- Diantari, N.P.R., Ahyadi, H., Rohyani, I.S., & Suana, I.W. (2018). Keanekaragaman Serangga Ephemeroptera, Plecoptera, dan Trichoptera sebagai Bioindikator Kualitas Perairan di Sungai Jangkok, Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Entomologi Indonesia*, 14(3), 135-142. DOI: 10.5994/jei.14.3.135.
- Erlangga, M.E., Prasetyo, H.D., & Latuconsina, H. (2024). Status Kualitas Air Sungai Tumapel di Kawasan Singosari Kabupaten Malang dengan Metode Biotilik dan FBI (Family Biotic Index). *Journal of Aquatic and Fisheries Sciences*, 3(2), 82-93. DOI: 10.32734/jafs.v3i2.18698.
- Gooderham, J. & Tsyrlin, E. (2002). The Waterbug Book. CSIRO Publishing, Collingwood (AU). ISBN: 9780643090026, pp: 214. DOI: 10.1071/9780643090026.
- Hammer, Ø. (2025). *PAST* (PAleontological STatistics). Natural History Museum, University of Oslo, Norwegia. <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/>.
- Hutauruk, T.R., Kusuma, A.R., & Ningsih, W. (2020). Estimasi Kerugian Ekonomi Akibat Banjir Pada Kawasan Pemukiman Penduduk di Bantaran Sungai Karang Mumus Kota Samarinda. *Jurnal Riset Inossa*, 2(1), 47-59. DOI: 0.29244/ijaree.v2i1.50241.
- Ibrahim, A., Sudarso, J., Imroatussholikhah, Toruan, R.L., & Sari, L. (2021). Penggunaan Makrozoobentos dalam Penilaian Kualitas Perairan Sungai Inlet Danau Maninjau, Sumatera Utara. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(3), 649-660. DOI: 10.14710/jil.19.3.649-660.
- Ilmawati, Mursidi, & Bulan, D. E. (2022). Keanekaragaman Plankton Waduk Benanga di Kota Samarinda. *Jurnal Aquarine*, 9(2), 38-45. <https://e-journals.unmul.ac.id/index.php/aquarine/article/view/6/0>.
- Jacobus, L.M., Macadam, C.R., & Sartori, M. (2019). Mayflies (Ephemeroptera) and Their Contributions to Ecosystem Services. *Insects*, 10(6), 1-26. DOI: 10.3390/insects10060170.
- Kusumawardani, S.W.D., Aprilliana, E.N., & Abida, I.W. (2023). Biodiversity Makrozoobentos sebagai Indikator Pencemaran Perairan Sungai Desa Pejagan Kabupaten Bangkalan. *Prosiding Seminar Ilmiah Nasional Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Muslim Indonesia*, 31 Desember, Makasar, pp: 57-67. <https://jurnal.fpik.umi.ac.id/index.php/SemINasFPIKUMI/article/view/381>.
- Mandaville, S.M. (2002). Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols. Soil and Water Conservation Society of Metro Halifax, Nova Scotia. <https://lakes.chebucto.org/H-1/tolerance.pdf>.
- Merina, G., Nurdin, J., Mursyid, A., Putra, W., Aryzegovina, R., & Junialdi, R. (2022). Analisa Pencemaran Organik Sungai Masang Kecil di Kabupaten Pasaman Barat Berdasarkan Komunitas dan Indeks Biologi Makrozoobentos. *Konservasi Hayati*, 18(2), 69-79. DOI: 10.33369/hayati.v18i2.23962.
- Nugroho, S., Khoirunisa, I., Zulya, F., Adnan, F., & Faradilla, R. (2024). Analisis Isu Lingkungan Prioritas Pada Kualitas Air Kota Samarinda Tahun 2024 Menggunakan Metode DPSIR. *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Tropis*, 11 September, Samarinda, pp: 171-185. <https://e-journals.unmul.ac.id/index.php/SEMNAS TEK/article/view/17098>.
- Oscoz, J., Galicia, D., & Miranda, R. (2011). Identification Guide of Freshwater Macroinvertebrates of Spain. Springer, New York (US). ISBN: 978-94-007-1554-7, pp: 153. DOI: 10.1007/978-94-007-1554-7.
- Patang, F., Soegianto, A., & Heriyanto, S. (2018). Benthic Macroinvertebrates Diversity as Bioindicator of Water Quality of Some Rivers in East Kalimantan,

- Indonesia. *International Journal of Ecology*, 2018, 5129421. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/5129421>
- Pramaningsih, V., Suprayogi, S., & Purnama, I.L.S. (2017). Kajian Persebaran Spasial Kualitas Air Sungai Karang Mumus, Samarinda, Kalimantan Timur. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 7(3), 211-218. DOI: 10.29244/jpsl.7.3.211-218.
- Rijaluddin, A. F., Wijayanti, F., & Haryadi, J. (2017). Struktur Komunitas di Situ Gintung, Situ Bungur dan Situ Kuru, Ciputat. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 139-147. DOI: 10.29122/jtl.v18i2.1613.
- Roziaty, E., Kusumadani, A. I., & Aryani, I. (2017). *Biologi Lingkungan*. Muhammadiyah University Press, Surakarta. ISBN: 978-602-361-096-9, pp: 246.
- Sanchez, A.E.R, Romero, A.J.R., Diaz, J.E.S., Lopez, E.L., & Sundermann, A. (2022). Aquatic Macroinvertebrate Assemblages in Rivers Influenced by Mining Activities. *Scientific Reports*, 12(1), 3209. DOI: 10.1038/s41598-022-06869-2.
- Sari, D.P., Azizah, A., & Baihaqi, J.A.N. (2022). Kajian Fungsi Ekologis dan Estetis Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Rawan Banjir, Studi Kasus: RTH Kawasan Pasar Segiri, Sub DAS Karang Mumus, Kota Samarinda. *Jurnal Arsitektur Zonasi*, 5(2), 281-288. DOI: 10.17509/jaz.v5i2.41707.
- Sarikar, S. & Vijaykumar, K. (2022). Monitoring of Water Quality Using Aquatic Insects as Biological Indicators in Bhosga Reservoir, Karnataka, India. *Advances in Zoology and Botany*, 10(4), 82-92. DOI: 10.13189/azb.2022.100402.
- Septyawan, A.Y., Pramaningsih, V., & Hansen. (2022). Analisis Status Mutu Air Sungai Karang Mumus dan Dampak Kesehatan Segmen Tanah Datar dan Waduk Benanga Kota Samarinda. *EnviroScienteeae*, 18 (3), 125-133. DOI: 10.20527/es.v18i3.14811.
- Siagian, E.T., Manik, R.R.D.S., & Sinaga, M.P. (2023). Studi Keanekaragaman Makrozoobentos di Sungai Tanjung Pinggir Kecamatan Siantar Martoba Kota Pematang Siantar Provinsi Sumatera Utara. *Jurnal Wilayah, Kota, dan Lingkungan Berkelanjutan*. 2(2), 10-27. DOI:10.58169/jwikal.v2i2.223.
- Sudarmo, A.P., Ali, M., Anggraeni, D.P., Dwirastina, M., Ditya, Y.C., Makri. Makmur, S., Kaban, S., & Samuel. (2023). Assessing Benthic Community and Water Quality as the Bioindicator of Environment in Semayang Lake East Kalimantan, Indonesia. *Polish Journal of Environmental Studies*, 32(5), 4281-4290. DOI: 10.15244/pjoes/168222.
- Supriatna, J. (2023). *Biologi Terapan Untuk Masa Depan dan Kemajuan Bangsa*. Pustaka Obor Indonesia, Jakarta. ISBN: 9786233212137, pp: 454.
- Thaware, V.H. (2023). Study of Aquatic Insects, Their Role in Improving Biodiversity and Balancing the Food Web of A Freshwater Ecosystem at Karadkhed Dam in Nanded, Maharashtra. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 11(1), 173-176. DOI: 0.22271/j.ento.2023.v11.i1c.9153.
- Tockner, K. (2021). Freshwaters: Global Distribution, Biodiversity, Ecosystem Services, and Human Pressures. In: Bogardi, J.J., et al. *Handbook of Water Resources Management: Discourses, Concepts and Examples*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60147-8_16.
- Tovar, C.M.S., Ortega, M.R., Juen, L. & Aguilar, A.C. (2024). From The Forest to The City: The Persistence of Dragonflies and Damselflies in the Urban Jungle. *Biodiversity and Conservation*, 33, 91-113. DOI: 10.1007/s10531-023-02733-5.
- Vikriansyah, M.F. Prasetyo, H.D., & Latuconsina, H. (2025). Status Kualitas Air Sungai Berdasarkan Variasi Famili Biotik Indeks di Sungai Jilu Kota Malang – Jawa Timur. *Journal of Aquatic Resources and Fisheries Management*, 6(1), 9-16. DOI: 10.29244/HAJ.6.1.9.
- Widayanti, D. S., Zaman, K., & Wahyudi, E. (2017). Kajian Kondisi Biofisik Daerah Tangkapan Air Potensi dan Pemanfaatan Waduk Benanga di Wilayah Kota Samarinda. *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Secara Terpadu*, 27 November, Pekanbaru, pp: 149-162.

-
- Wishnu, N.P., Hartati, R., Suprijatno, J., Soenardjo, N., & Santosa, G.W. (2020). Komunitas Makrozoobentos pada Substrat Dasar Lunak di Muara Sungai Wulan, Demak. *Buletin Oseanografi Marina*, 9(1): 19-26. DOI: 10.14710/buloma.v9i1.27431.
- Yuliandari, W. (2018). *Penilaian Kualitas Air Sungai Sampean di Jawa Timur Menggunakan Metode Fisik Kimia dan Bioassessment dengan Makroinvertebrata*. Tesis, Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Zaghloul, A., Saber, M., Gadow, S., & Awad, F. (2020). Biological Indicators for Pollution Detection in Terrestrial and Aquatic Ecosystem. *Bulletin of the National Research Centre*, 44(127), 1-11. DOI: 10.1186/s42269-020-00385-x.