Life Science 15 (1) (2026)

Life Science

https://journal.unnes.ac.id/journals/UnnesJLifeSci

Keanekaragaman Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Air di Perairan Rawapening Kabupaten Semarang

Fauza Rahadatul 'Aisy[1)], Partaya✉ [1)]

[1)]Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia 50229

Info Artikel

Diterima:
08 Juli 2025
Disetujui:
20 Mei 2026
Dipublikasikan:
31 Mei 2026

Keywords:
Bioindicator; Eutrophication; Macrozoobenthos; Rawapening Lake; Water quality
Bioindikator; Eutrofikasi; Makrozoobentos; Danau Rawapening; Kualitas air

Abstract

Lake Rawapening, Semarang Regency, receives domestic, agricultural, and aquaculture wastes that accumulate in the bottom sediment and degrade water quality. This study aimed to analyse the community structure of macrozoobenthos as a bioindicator of water quality, to assess the physicochemical quality of the lake, and to examine the relationship between the two. An exploratory-descriptive survey was carried out in September–October 2023. Three stations (Muncul River estuary, central lake, and Tuntang River outlet) were determined by purposive sampling, and sampling points within each station were selected randomly. Macrozoobenthos were collected with an Ekman grab, while temperature, depth, transparency, odour, total suspended solids (TSS), pH, dissolved oxygen (DO), and carbon dioxide (CO_2) were measured at the same time. Ten species of Gastropoda and Bivalvia comprising 130 individuals were found, with Pila scutata *dominating the Tuntang outlet. The Shannon-Wiener index (H′ = 1.791–2.097) indicated moderate diversity, dominance was low (C = 0.144–0.415), and abundance ranged from 40.00 to 89.33 ind/m². Temperature, pH, and TSS met the Class III water quality standard, whereas DO fell below 3 mg/L at the Muncul estuary (1.79 mg/L) and the Tuntang outlet, and CO_2 was very high (110.0–112.5 mg/L). The outlet station, which had a putrid odour, showed the lowest diversity but the highest abundance, a pattern typical of organic enrichment. Lake Rawapening is therefore categorised as lightly polluted by organic matter. This study provides updated station-based evidence linking macrozoobenthos community structure to oxygen depletion and CO_2 accumulation along the inlet–centre–outlet gradient of eutrophic Lake Rawapening.*

Abstrak

Danau Rawapening, Kabupaten Semarang, menerima limbah domestik, pertanian, dan budi daya perikanan yang terakumulasi di sedimen dasar sehingga menurunkan kualitas air. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur komunitas makrozoobentos sebagai bioindikator kualitas air, menilai kualitas fisikokimia perairan, serta mengkaji hubungan keduanya. Penelitian menggunakan metode survei eksploratif-deskriptif pada September–Oktober 2023. Tiga stasiun (Muara Sungai Muncul, bagian tengah danau, dan outlet Sungai Tuntang) ditentukan secara *purposive sampling*, sedangkan titik pengambilan sampel di setiap stasiun ditentukan secara acak. Makrozoobentos diambil menggunakan Ekman grab, bersamaan dengan pengukuran suhu, kedalaman, kecerahan, bau, padatan tersuspensi total (TSS), pH, oksigen terlarut (DO), dan karbon dioksida (CO_2). Ditemukan 10 spesies Gastropoda dan Bivalvia sebanyak 130 individu, dengan *Pila scutata* mendominasi outlet Sungai Tuntang. Indeks Shannon-Wiener (H′ = 1,791–2,097) menunjukkan keanekaragaman sedang, dominansi tergolong rendah (C = 0,144–0,415), dan kelimpahan berkisar 40,00–89,33 ind/m². Suhu, pH, dan TSS memenuhi baku mutu air kelas III, sedangkan DO di Muara Sungai Muncul (1,79 mg/L) dan outlet Sungai Tuntang berada di bawah 3 mg/L, dan CO_2 sangat tinggi (110,0–112,5 mg/L). Stasiun outlet yang berbau busuk memiliki keanekaragaman terendah tetapi kelimpahan tertinggi, pola khas pengayaan bahan organik. Dengan demikian, Danau Rawapening dikategorikan tercemar ringan oleh bahan organik. Kebaruan penelitian ini adalah tersedianya data terkini berbasis stasiun yang menghubungkan struktur komunitas makrozoobentos dengan penurunan oksigen dan akumulasi CO_2 pada gradien inlet–tengah–outlet Danau Rawapening yang eutrofik.

© 2026 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:
Gedung D6 Lt.1 Jl Raya Sekaran Gunugpati, Semarang
E-mail: partaya@mail.unnes.ac.id

p-ISSN 2252-6277
e-ISSN 2528-5009

PENDAHULUAN

Danau Rawapening merupakan danau semi-alami seluas ±2.667 ha di Kabupaten Semarang, Jawa Tengah, yang ditetapkan sebagai salah satu danau prioritas nasional untuk direhabilitasi. Danau ini berfungsi sebagai sumber air baku, irigasi, pembangkit listrik tenaga air, perikanan keramba jaring apung (KJA), dan pariwisata (Izzati *et al.*, 2022). Aktivitas pertanian, peternakan, permukiman, dan KJA di daerah tangkapan air memasok nitrogen dan fosfor secara terus-menerus sehingga status trofik danau meningkat dari eutrofik menjadi hipertrofik. Kajian terbaru menunjukkan nilai *Trophic State Index* Carlson di seluruh stasiun Rawapening melebihi 67 pada periode 2024–2025 (Rahman *et al.*, 2026), dan konsentrasi fosfor total danau telah mencapai kondisi hipertrofik sejak 2020 (Rhosadi *et al.*, 2026).

Eutrofikasi di Danau Rawapening tampak paling jelas dari ledakan populasi eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Laju pertumbuhan relatif eceng gondok di danau ini mencapai 6,40–7,26% per hari dengan waktu penggandaan biomassa 9,6–10,8 hari (Prasetyo *et al.*, 2021a). Hamparan tumbuhan mengapung tersebut menghambat pertukaran gas antara udara dan air serta penetrasi cahaya, sedangkan biomassa yang mati dan terdekomposisi menguras oksigen terlarut (Izzati *et al.*, 2022; Prasetyo *et al.*, 2021b). Di kawasan KJA Rawapening, kadar oksigen terlarut dilaporkan berada di bawah baku mutu, disertai nitrat 1,17–1,60 mg/L (Yurnaningsih *et al.*, 2023), bahkan pada beberapa lokasi dekat KJA dan inlet sungai kadar oksigen di dekat dasar mendekati nol (Aida & Utomo, 2016).

Kondisi dasar perairan yang miskin oksigen paling dirasakan oleh makrozoobentos. Kelompok ini hidup relatif menetap di dasar perairan, memiliki siklus hidup cukup panjang, dan toleransinya terhadap pencemaran berbeda-beda antartaksa, sehingga struktur komunitasnya merekam kondisi lingkungan dalam rentang waktu yang lebih panjang daripada pengukuran fisikokimia sesaat (Tampo *et al.*, 2021). Makrozoobentos juga berperan dalam bioturbasi dan siklus nutrien di sedimen (Fiskal *et al.*, 2021), sementara hipoksia pada lapisan sedimen-air dapat menyebabkan kematian massal invertebrata dasar danau (Peng *et al.*, 2023). Penelitian di perairan Indonesia menunjukkan bahwa dominasi Thiaridae dan Tubificidae menandai sedimen kaya bahan organik dengan oksigen rendah (Sudarmo *et al.*, 2023), dan indeks keanekaragaman makrozoobentos berhubungan erat dengan parameter kualitas air seperti DO, BOD, COD, dan TSS (Isroni *et al.*, 2025).

Kajian di Danau Rawapening sejauh ini lebih banyak berfokus pada kualitas air dan status trofik (Sulastri *et al.*, 2016; Rahman *et al.*, 2026), pemantauan kualitas air berbasis citra satelit (Sultan *et al.*, 2025), pemodelan beban fosfor (Rhosadi *et al.*, 2026), tumbuhan air dan eceng gondok (Prasetyo *et al.*, 2021a; Izzati *et al.*, 2022), bakteri di kawasan KJA (Nur'aini *et al.*, 2020; Yurnaningsih *et al.*, 2023), serta invasi keong *Pomacea canaliculata* yang menyisakan *Pila scutata* sebagai satu-satunya *Pila* asli di danau ini (Marwoto *et al.*, 2020). Di lokasi lain, makrozoobentos telah digunakan sebagai bioindikator di sungai dan danau Indonesia (Pradita & Partaya, 2022; Sudarmo *et al.*, 2023; Isroni *et al.*, 2025). Namun, kajian terbaru yang menghubungkan struktur komunitas makrozoobentos Rawapening secara langsung dengan parameter fisikokimia tertentu, terutama DO dan CO_2, pada zona danau yang berbeda (inlet, bagian

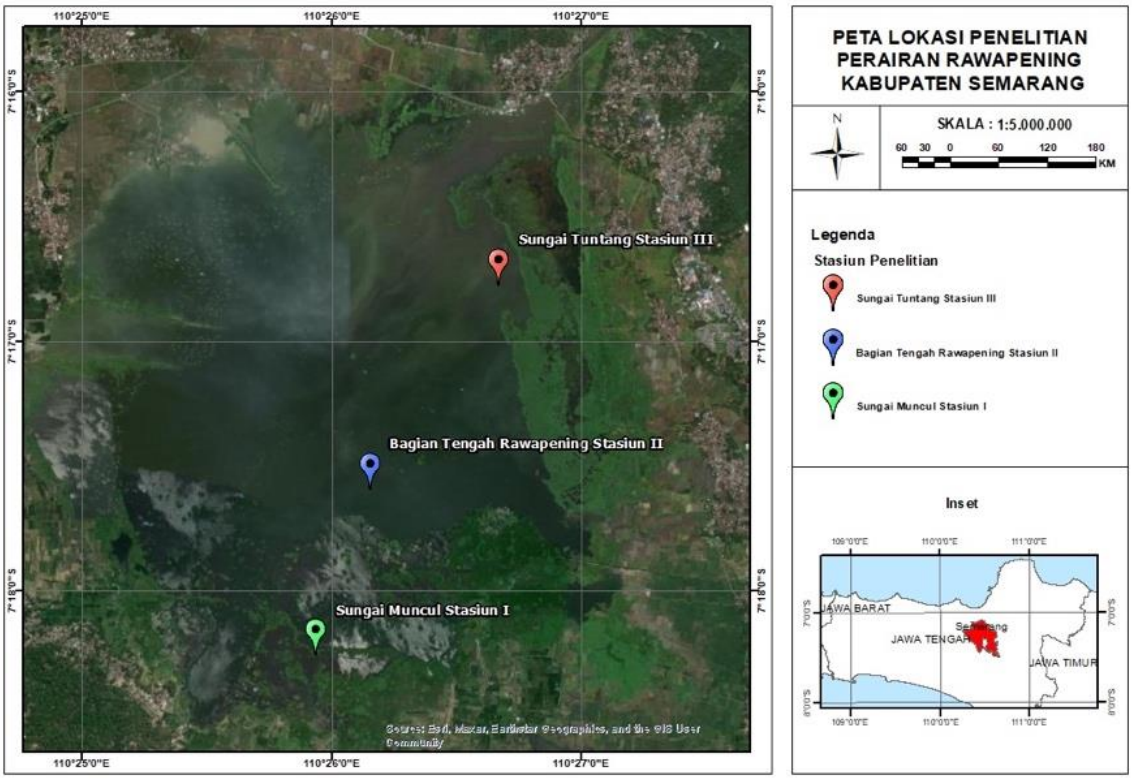
tengah, dan outlet) setelah eutrofikasi semakin meningkat masih terbatas, sehingga data biodiversitas bentik danau ini belum mutakhir.

Penelitian ini perlu dilakukan sekarang karena status trofik Rawapening terus memburuk dan danau tersebut sedang menjadi sasaran program revitalisasi nasional (Sultan *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2026). Program pemulihan memerlukan data dasar biologis terkini sebagai pembanding untuk menilai keberhasilannya, dan data tersebut tidak dapat digantikan oleh pengukuran kimia sesaat. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk (1) menganalisis struktur komunitas makrozoobentos (komposisi jenis, keanekaragaman, kemerataan, dominansi, dan kelimpahan) di tiga zona Danau Rawapening, (2) menilai kualitas fisikokimia perairan berdasarkan baku mutu air kelas III, dan (3) mengkaji hubungan antara struktur komunitas makrozoobentos dan kondisi fisikokimia perairan.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Danau Rawapening, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah, pada September–Oktober 2023. Tiga stasiun ditetapkan berdasarkan perbedaan karakteristik ekologis dan aktivitas antropogenik, yaitu Stasiun I (Muara Sungai Muncul) sebagai zona inlet, Stasiun II (bagian tengah danau), dan Stasiun III (Muara Sungai Tuntang) sebagai satu-satunya outlet danau (Gambar 1; Tabel 1). Analisis DO, CO_2, dan TSS dilakukan di Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi Balai Besar Standardisasi dan Pelayanan Jasa Pencegahan Pencemaran Industri (BBSPJPPI), Semarang.



Gambar 1. Peta lokasi stasiun dan titik pengambilan sampel di Danau Rawapening

Tabel 1. Lokasi, koordinat, dan karakteristik stasiun pengamatan

Stasiun	Lokasi	Koordinat	Karakteristik
I	Muara Sungai Muncul (inlet)	7°16'42"LS; 110°26'40"BT	Zona masuknya air sungai; berdekatan dengan KJA
II	Bagian tengah danau	7°17'31"LS; 110°26'09"BT	Relatif jauh dari permukiman; terdapat vegetasi air terendam
III	Muara Sungai Tuntang (outlet)	7°18'11"LS; 110°25'56"BT	Satu-satunya outlet; tempat akumulasi eceng gondok dan hasil dekomposisinya

Rancangan Penelitian

Penelitian menggunakan metode survei eksploratif-deskriptif dengan teknik *purposive sampling* untuk penentuan stasiun dan *random sampling* untuk titik pengambilan sampel. Parameter biotik yang diamati adalah komposisi jenis, jumlah individu, dan indeks ekologi makrozoobentos, sedangkan parameter abiotik terdiri atas parameter fisika (suhu, kedalaman, kecerahan, TSS, bau, kecepatan arus, dan tipe substrat) dan parameter kimia (pH, DO, dan CO_2). Jenis vegetasi air yang dominan di setiap stasiun juga dicatat sebagai data pendukung.

Pengambilan Sampel

Pada setiap stasiun ditentukan tiga titik pengambilan sampel secara acak. Pengambilan sampel dilakukan dua kali dengan selang waktu satu minggu. Sampel makrozoobentos dan data fisikokimia diambil bersamaan pada titik yang sama, yaitu pada sore hari. Waktu sore dipilih karena penurunan intensitas cahaya memicu makrozoobentos aktif bergerak ke permukaan substrat untuk mencari makan, sehingga lebih mudah tertangkap alat keruk Ekman Grab. Pemilihan waktu ini juga memperkuat interpretasi data oksigen. Kadar DO perairan berfluktuasi harian dan umumnya mencapai nilai tertinggi pada siang hingga sore hari akibat fotosintesis (Boyd, 2020). Karena itu, DO rendah yang terukur pada sore hari menunjukkan bahwa kondisi pada malam hingga pagi hari kemungkinan lebih buruk.

Pengambilan dan Penanganan Sampel Makrozoobentos

Sampel penelitian merupakan semua jenis makrozoobentos yang berhasil dikumpulkan menggunakan alat Ekman Grab dari ketiga stasiun pengamatan. Substrat dituangkan ke saringan bentos bermata saring 0,5 mm, lalu dibilas dengan air danau hingga lumpur halus terbuang. Material yang tertahan dipindahkan ke botol sampel berlabel dan diawetkan dengan alkohol 70%. Makrozoobentos epifauna yang menempel pada akar eceng gondok di sekitar titik sampling dikoleksi secara manual. Makrozoobentos diidentifikasi menggunakan buku panduan Taksonomi Hewan dan Zoologi Invertebrata.

Pengukuran Parameter Fisikokimia

Suhu diukur dengan termometer, kedalaman dengan alat ukur kedalaman, kecerahan dengan Secchi disk, pH dengan pH meter, dan bau secara organoleptik di lapangan. Tipe substrat ditentukan secara visual dan dikelompokkan menjadi lumpur beserta persentase fraksi liat. Sampel air untuk analisis DO (metode Winkler), CO_2 (titrasi), dan TSS dimasukkan ke botol sampel, lalu dianalisis di BBSPJPPI.

Analisis Data

Struktur komunitas makrozoobentos dianalisis menggunakan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H′), indeks kemerataan Evennes (E), indeks dominansi Simpson (C), dan kelimpahan Relatif (KR) (Magurran, 2004):

$$H' = -\Sigma (n_i/N) \ln (n_i/N) \qquad E = H'/\ln S \qquad C = \Sigma (n_i/N)^2 \qquad KR = (n_i/N) \times 100\%$$

Keterangan: n_i = jumlah individu spesies ke-i, N = jumlah total individu, S = jumlah spesies.

Kriteria H′ adalah rendah (H′ < 1), sedang (1 ≤ H′ ≤ 3), dan tinggi (H′ > 3) (Pradita & Partaya, 2022; Isroni *et al.*, 2025). Status pencemaran berdasarkan H′ mengikuti Lee *et al.* (1978): tidak tercemar (H′ > 2,0), tercemar ringan (1,6–2,0), tercemar sedang (1,0–1,6), dan tercemar berat (H′ < 1,0). Kriteria E adalah rendah (E < 0,4), sedang (0,4–0,6), dan tinggi (E > 0,6), sedangkan C dikategorikan rendah (0 < C ≤ 0,5), sedang (0,5 < C ≤ 0,75), dan tinggi (0,75 < C ≤ 1). Parameter fisikokimia dibandingkan dengan baku mutu air kelas III pada Lampiran VI Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 (Pemerintah Republik Indonesia, 2021). Hubungan antara struktur komunitas dan kondisi fisikokimia dianalisis secara deskriptif-komparatif dengan membandingkan pola antarstasiun.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebanyak 10 spesies makrozoobentos dari kelas Gastropoda dan Bivalvia dengan total 130 individu ditemukan di Danau Rawapening (Tabel 2). Jumlah individu terbanyak ditemukan di Stasiun III, yaitu 67 individu, diikuti Stasiun II (33 individu) dan Stasiun I (30 individu). *Pila scutata* merupakan spesies dengan jumlah individu terbanyak, terutama di Stasiun III. Selama pengambilan sampel, *Bellamya javanica* dan *Melanoides* sp. ditemukan menempel pada *Eichhornia crassipes*, sehingga tumbuhan ini juga berfungsi sebagai habitat epifauna.

Tabel 2. Komposisi jenis, jumlah individu, dan kelimpahan relatif makrozoobentos di setiap stasiun

No	Spesies	Stasiun			Jumlah individu	KR (%)
		I	II	III		
1	*Anodonta* sp.	1	2	4	7	5,38
2	*Melanoides granifera*	2	1	2	5	3,85
3	*Pila polita*	1	3	17	21	16,15
4	*Bellamya javanica*	9	2	5	16	12,31
5	*Melanoides tuberculata*	4	1	2	7	5,38
6	*Thiara pantherina*	2	6	2	10	7,69
7	*Thiara rufis*	2	5	1	8	6,15
8	*Thiara scabra*	1	8	4	13	10,00
9	*Pila scutata*	2	3	26	31	23,85
10	*Melanoides torulosa*	6	2	4	12	9,23
	Jumlah (N)	**30**	**33**	**67**	**130**	

Keterangan: St. I = Aliran Muncul; St. II = bagian tengah Rawapening; St. III = Aliran Tuntang.

Seluruh spesies yang ditemukan, yaitu *Valvata* sp., *Bithynia* sp., *B. javanica*, *Physa* sp., *Melanoides* sp., dan *P. scutata*, termasuk organisme fakultatif hingga toleran yang mampu hidup pada perairan kaya bahan organik. Komposisi ini mencerminkan adanya tekanan ekologis, yang dalam

penelitian ini terdiri atas lima faktor terukur: (1) DO di bawah 3 mg/L di Stasiun I, (2) CO_2 sangat tinggi (110,0–112,5 mg/L) di semua stasiun, (3) bau busuk akibat dekomposisi anaerob di Stasiun III, (4) substrat lumpur yang kaya bahan organik, dan (5) tutupan *E. crassipes* yang luas. Tidak ditemukannya taksa sensitif menunjukkan bahwa tekanan tersebut telah menyaring komunitas sehingga yang bertahan hanya spesies toleran (Tampo *et al.*, 2021).

Nilai keempat indeks ekologi disajikan pada Tabel 3. Indeks keanekaragaman (H′) berkisar 1,791–2,097. Nilai tertinggi terdapat di Stasiun II (2,097) dan terendah di Stasiun III (1,791). Berdasarkan kriteria pencemaran Lee *et al.* (1978), Stasiun I dan II tergolong tidak tercemar, sedangkan Stasiun III tergolong tercemar ringan. Indeks dominansi (0,144–0,415) termasuk kategori rendah di semua stasiun, sehingga tidak ada satu spesies yang mendominasi komunitas secara mutlak, meskipun dominansi tertinggi terdapat di stasiun dengan keanekaragaman terendah. Indeks kemerataan (E) yang dilaporkan berkisar 0,179–0,210 termasuk kategori kemerataan rendah di ketiga stasiun pengamatan.

Tabel 3. Indeks ekologi komunitas makrozoobentos di setiap stasiun

Indeks	St. I	St. II	St. III
Keanekaragaman (H′)	2,014	2,097	1,791
Kategori H′	Tinggi	Tinggi	Sedang
Status pencemaran (Lee *et al.*, 1978)	Tidak tercemar	Tidak tercemar	Tercemar ringan
Kemerataan (E)	0,201	0,210	0,179
Kategori E	Rendah	Rendah	Rendah
Dominansi (C)	0,169	0,144	0,415
Kategori C	Rendah	Rendah	Rendah

Keempat indeks ekologi saling berkaitan. Nilai H′ ditentukan oleh jumlah spesies dan kemerataan individu antarspesies, sedangkan indeks dominansi berbanding terbalik dengan keduanya. Pola ini terlihat jelas di Stasiun III: H′ paling rendah (1,791), dominansi paling tinggi, karena didominasi *P. scutata*. Kombinasi keanekaragaman rendah dan dominansi tinggi merupakan respons khas komunitas bentik terhadap pengayaan bahan organik. Spesies sensitif tersingkir, sedangkan spesies toleran justru berkembang karena ketersediaan makanan berupa detritus melimpah. Pola serupa ditemukan di Danau Semayang, ketika dominasi *Melanoides* sp. dan *Branchiura sowerbyi* menandai sedimen kaya bahan organik dengan oksigen rendah (Sudarmo *et al.*, 2023), serta di Sungai Banjir Kanal Barat Semarang yang didominasi *Melanoides granifera* dengan H′ 1,51–1,88 (Pradita & Partaya, 2022).

Pola di Stasiun I berbeda. Kemerataan rendah (0,201) sejalan dengan DO terendah (1,79 mg/L), tetapi H′ tetap di atas 2. Hipoksia di stasiun ini tampaknya menekan kepadatan semua spesies secara merata, bukan menyingkirkan spesies tertentu, sehingga jumlah individu sedikit tetapi tersebar pada beberapa spesies. Namun, nilai H′ yang dihitung dari jumlah individu kecil (N = 30) peka terhadap kehadiran satu atau dua individu (Magurran, 2004), sehingga interpretasinya perlu hati-hati. Secara keseluruhan, nilai H′ Rawapening (1,791–2,097) sedikit lebih tinggi daripada Sungai Brantas hulu (1,28–2,02; Isroni *et al.*, 2025) dan perairan Selat Malaka di Dumai (1,17–1,52; Djunaidi *et al.*, 2025), tetapi berada pada kategori yang sama, yaitu sedang.

Hasil pengukuran parameter fisika di setiap stasiun beserta ambang batasnya menurut Peraturan Pemerintah RI No 22 Tahun 2021 Baku Mutu Air Danau Kelas III disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter fisika perairan Danau Rawapening dan baku mutu air kelas III

Parameter	St. I	St. II	St. III	Ambang Batas
Suhu (°C)	27	26	26	25 – 32
Kedalaman (m)	2,29	1,08	1,46	–
Kecerahan (cm)	31,5	28,5	27	–
TSS (mg/L)	18	8,7	8,7	100
Bau	Tawar	Tawar	Busuk	–
Tipe substrat	Lumpur fraksi liat	Lumpur fraksi liat	Lumpur fraksi liat	–

Suhu air relatif seragam (26–27 °C) dan masih berada dalam kisaran normal perairan tropis, sehingga suhu bukan faktor pembeda antarstasiun. TSS berkisar 8,7–18 mg/L, jauh di bawah baku mutu kelas III (100 mg/L). Meskipun TSS rendah, kecerahan hanya 27–31,5 cm, artinya kekeruhan tidak terutama disebabkan oleh partikel padat tersuspensi. Substrat di ketiga stasiun didominasi lumpur. Bau busuk hanya terdeteksi di Stasiun III, yaitu lokasi akumulasi eceng gondok yang membusuk.

Hasil pengukuran parameter kimia di setiap stasiun beserta ambang batasnya menurut Peraturan Pemerintah RI No 22 Tahun 2021 Baku Mutu Air Danau Kelas III. disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter kimia perairan Danau Rawapening dan baku mutu air kelas III

Parameter	St. I	St. II	St. III	Ambang Batas
pH air	6,4	6,4	7,3	6–9
DO (mg/L)	1,79*	4,80	3,86	3–5
CO_2 (mg/L)	112,5	111,1	110,0	–

Keterangan: (*) di bawah ambang batas

Nilai pH (6,4–7,3) memenuhi baku mutu kelas III. Stasiun I dan II bersifat sedikit asam, sedangkan Stasiun III mendekati netral. DO menunjukkan perbedaan paling tajam antarstasiun. Hanya Stasiun II (4,80 mg/L) yang memenuhi batas minimum kelas III (≥ 3 mg/L), sedangkan Stasiun I (1,79 mg/L) dan Stasiun III berada dalam kondisi hipoksia. CO_2 sangat tinggi di semua stasiun (110,0–112,5 mg/L), jauh di atas kadar yang umum dijumpai pada perairan alami yang sehat (Boyd, 2020).

Tekanan antropogenik di Rawapening ditunjukkan langsung oleh data penelitian ini. Stasiun II dengan DO tertinggi (4,80 mg/L) memiliki H′ tertinggi (2,097), sedangkan dua stasiun yang hipoksia (Stasiun I dan III) memiliki dominansi rendah dan keanekaragaman terendah. Gradien ini sesuai dengan sumber tekanannya. Stasiun I menerima masukan air sungai dan limbah dari kawasan KJA, yang di Rawapening dilaporkan memiliki DO di bawah baku mutu dan nitrat tinggi (Yurnaningsih *et al.*, 2023). Stasiun III menampung *E. crassipes* dan bahan organik yang terbawa menuju outlet. Hipoksia pada lapisan sedimen-air merupakan faktor yang mematikan bagi makroinvertebrata danau (Peng *et al.*, 2023), sehingga DO menjadi faktor pembatas utama struktur komunitas di Rawapening.

Tingginya CO_2 dapat dijelaskan secara teoretis melalui keseimbangan respirasi dan fotosintesis. CO_2 terlarut dihasilkan oleh respirasi organisme dan dekomposisi aerob bahan organik, yaitu setiap oksigen yang dikonsumsi diubah menjadi CO_2. CO_2 akan terakumulasi apabila fotosintesis terhambat

dan pertukaran gas dengan atmosfer terbatas (Boyd, 2020). Kedua kondisi tersebut terjadi di Rawapening. Hamparan *E. crassipes* dan *Salvinia cucullata* menutup permukaan air dan menghambat difusi gas, serta lebih banyak mengonsumsi oksigen daripada menghasilkannya (Izzati *et al.*, 2022). Oleh karena itu, CO_2 yang tinggi dan DO yang rendah merupakan dua sisi dari proses yang sama, yaitu dekomposisi bahan organik berlebih. CO_2 yang tinggi juga membentuk asam karbonat, sehingga menjelaskan pH sedikit asam di Stasiun I dan II. Secara empiris, temuan ini konsisten dengan status hipertrofik Rawapening (Rahman *et al.*, 2026; Rhosadi *et al.*, 2026) dan laporan DO mendekati nol di dekat dasar kawasan KJA dan inlet (Aida & Utomo, 2016).

Bertahannya gastropoda pada kondisi tersebut berkaitan dengan adaptasi fisiologis dan habitatnya. Ampullariidae seperti *P. scutata* memiliki paru-paru (rongga mantel) selain insang sehingga dapat mengambil oksigen langsung dari udara. Kemampuan ini menjelaskan dominasinya di Stasiun III yang hipoksia dan berbau busuk. *P. scutata* merupakan gastropoda asli perairan tawar Jawa Tengah (Reza *et al.*, 2024) dan satu-satunya *Pila* asli yang masih bertahan di Rawapening setelah invasi *Pomacea canaliculata* (Marwoto *et al.*, 2020). Sementara itu, *B. javanica* dan *Melanoides* sp. ditemukan menempel pada akar *E. crassipes*. Posisi ini dekat dengan permukaan air yang lebih kaya oksigen daripada dasar perairan, dan akar *E. crassipes* memang diketahui menjadi habitat penting bagi makroinvertebrata (Poi *et al.*, 2020). Dengan demikian, *E. crassipes* berperan ganda, yakni menurunkan DO di dasar perairan, tetapi menyediakan habitat alternatif bagi epifauna.

Rendahnya kecerahan (27–31,5 cm) pada TSS yang rendah (8,7–18 mg/L) menunjukkan bahwa kekeruhan lebih banyak disebabkan oleh fitoplankton dan bahan organik terlarut daripada partikel mineral. Hal ini sejalan dengan hubungan terbalik antara kecerahan dan klorofil-a di Rawapening (Rahman *et al.*, 2026). Kecerahan yang rendah membatasi cahaya yang mencapai dasar perairan, sehingga produksi oksigen oleh fotosintesis di dekat sedimen menurun. Akibatnya, dekomposisi di sedimen berlangsung dalam kondisi miskin oksigen, menghasilkan CO_2 dan senyawa berbau busuk, dan pada akhirnya menekan komunitas bentik. Substrat lumpur di ketiga stasiun menyediakan bahan organik sebagai sumber makanan bagi gastropoda dan bivalvia pemakan deposit, tetapi substrat berlumpur umumnya mengandung karbon organik lebih tinggi daripada substrat pasir yang lebih disukai makrozoobentos (Hanafiah *et al.*, 2022), dan dekomposisi karbon organik tersebut mengonsumsi oksigen di lapisan sedimen-air (Boyd, 2020).

Berdasarkan pengamatan, vegetasi air di ketiga stasiun didominasi oleh *Eichhornia crassipes*, *Salvinia cucullata*, dan *Hydrilla verticillata*. Tutupan *E. crassipes* paling luas teramati di Stasiun III, sedangkan *H. verticillata* sebagai tumbuhan terendam lebih banyak dijumpai di Stasiun II. *H. verticillata* menghasilkan oksigen lebih banyak daripada yang dikonsumsinya, sebaliknya *E. crassipes* dan *S. cucullata* mengonsumsi oksigen lebih banyak daripada yang dihasilkannya (Izzati *et al.*, 2022). Selain itu, *H. verticillata* efektif sebagai fitoremediator yang memperbaiki kualitas air (Dwiputra *et al.*, 2021). Keberadaan *H. verticillata* di Stasiun II sejalan dengan DO dan H′ tertinggi di stasiun tersebut. Sebaliknya, pertumbuhan *E. crassipes* yang sangat cepat (Prasetyo *et al.*, 2021a) berpotensi menggeser tumbuhan terendam dan memperluas

zona hipoksia. Oleh karena itu, pengendalian *E. crassipes* melalui pemanenan dan pemanfaatan biomassa (Prasetyo *et al.*, 2021b) penting untuk pemulihan habitat bentik.

Berdasarkan hasil yang telah dijelaskan sebelumnya, status kondisi Danau Rawapening adalah tercemar ringan. Hasil ini bisa terlihat dari bukti biologis berupa H′ di Stasiun III (1,791) yang masuk kategori tercemar ringan (Lee *et al.*, 1978) dan dominasi spesies toleran. Kedua, bukti kimia berupa DO di bawah baku mutu kelas III di stasiun I dan CO_2 yang sangat tinggi. Ketiga, bukti fisik berupa bau busuk di Stasiun III. Keterkaitan ketiga bukti tersebut menunjukkan bahwa sumber pencemaran utama adalah bahan organik, dan tekanan terbesar terjadi di zona outlet dan inlet. Nilai H′ di Stasiun I masih menunjukkan kondisi tidak tercemar walaupun DO-nya paling rendah, karena komunitasnya tersusun atas gastropoda toleran yang mampu bertahan pada DO rendah. Hal ini menegaskan bahwa indikator biologis dan kimia perlu dibaca bersama. Meskipun begitu, penelitian ini memiliki keterbatasan, yaitu hanya mencakup tiga stasiun dan dua kali pengambilan sampel pada musim peralihan serta belum mengukur kecepatan arus, nutrien (nitrat dan fosfat), BOD, COD, dan bahan organik sedimen. Penelitian lanjutan dengan cakupan musim dan parameter yang lebih luas diperlukan untuk menguji hubungan tersebut secara statistik.

SIMPULAN

Komunitas makrozoobentos Danau Rawapening terdiri atas 10 spesies Gastropoda dan Bivalvia (130 individu) dengan keanekaragaman sedang (H′ 1,791–2,097) dan dominansi rendah. Stasiun III memiliki keanekaragaman terendah tetapi kelimpahan tertinggi akibat dominasi *Pila scutata*. Suhu, pH, dan TSS memenuhi baku mutu air kelas III, sedangkan DO di Stasiun I dan III berada di bawah 3 mg/L dan CO_2 sangat tinggi (110,0–112,5 mg/L). Struktur komunitas mengikuti gradien oksigen: keanekaragaman tertinggi terdapat pada stasiun dengan DO tertinggi, sedangkan stasiun hipoksia didominasi spesies toleran. Secara terpadu, Danau Rawapening berstatus tercemar ringan oleh bahan organik, sehingga pengendalian eceng gondok dan limbah organik di zona inlet dan outlet perlu diprioritaskan.

DAFTAR PUSTAKA

Aida, S. N., & Utomo, A. D. (2016). Kajian kualitas perairan untuk perikanan di Rawa Pening, Jawa Tengah. *BAWAL Widya Riset Perikanan Tangkap, 8*(3), 173–182.

Boyd, C. E. (2020). *Water quality: An introduction* (3rd ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23335-8

Djunaidi, D., Kelana, P. P., Pramesthy, T. D., Arkham, M. N., & Haris, R. B. K. (2025). Macrozoobenthos as a bioindicator of pollution in the Malaka Strait waters, Indonesia. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia, 30*(1), 1–10. https://doi.org/10.18343/jipi.30.1.1

Dwiputra, B. P., Harwanto, D., & Samidjan, I. (2021). Pengaruh penggunaan *Hydrilla verticillata* sebagai fitoremediator terhadap kualitas air dan pertumbuhan ikan manfish (*Pterophyllum scalare*) pada sistem resirkulasi. *Sains Akuakultur Tropis, 5*(2), 223–235. https://doi.org/10.14710/sat.v5i2.11603

Fiskal, A., Gaillard, A., Giroud, S., Malcic, D., Joshi, P., Sander, M., Schubert, C. J., & Lever, M. A. (2021). Effects of macrofaunal recolonization on biogeochemical processes and microbiota—A mesocosm study. *Water, 13*(11), Article 1599. https://doi.org/10.3390/w13111599

Hanafiah, Z., Setiawan, D., & Damayanti, F. M. (2022). Struktur komunitas makrozoobentos di bagian litoral Danau Kerinci Kabupaten Kerinci Provinsi Jambi. *Jurnal Penelitian Sains, 24*(3), 127–133. https://doi.org/10.56064/jps.v24i3.721

Isroni, W., Mamat, N. B., Kurniawan, A., Fuad, Maulida, N., Bahri, A. S., & Aji, B. P. (2025). Assessment of water quality in the upper Brantas River using macrozoobenthos as bioindicators. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics, 20*(6), 1419–1426. https://doi.org/10.18280/ijdne.200622

Izzati, M., Soeprobowati, T. R., & Prasetyo, S. (2022). Characterization of three selected macrophytes: An ecological engineering approach for effective rehabilitation of Rawapening Lake. *Journal of Ecological Engineering, 23*(9), 277–287. https://doi.org/10.12911/22998993/152047

Lee, C. D., Wang, S. B., & Kuo, C. L. (1978). Benthic macroinvertebrates and fish as biological indicators of water quality, with reference to community diversity index. Dalam E. A. R. Ouano, B. N. Lohani, & N. C. Thanh (Ed.), *Water pollution control in developing countries* (hlm. 233–238). Asian Institute of Technology.

Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing.

Marwoto, R. M., Heryanto, H., & Joshi, R. C. (2020). The invasive apple snail *Pomacea canaliculata* in Indonesia: A case study in Lake Rawa Pening, Central Java. *BIO Web of Conferences, 19*, Article 00014. https://doi.org/10.1051/bioconf/20201900014

Nur'aini, E., Widyorini, N., & Jati, O. E. (2020). Analisis kelimpahan bakteri *Pseudomonas* sp. di perairan Desa Bejalen Rawa Pening, Jawa Tengah. *Jurnal Pasir Laut, 4*(1), 22–27. https://doi.org/10.14710/jpl.2020.30522

Pemerintah Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Sekretariat Negara Republik Indonesia.

Peng, K., Dong, R., Qin, B., Cai, Y., Deng, J., & Gong, Z. (2023). Macroinvertebrate response to internal nutrient loading increases in shallow eutrophic lakes. *Biology, 12*(9), Article 1247. https://doi.org/10.3390/biology12091247

Poi, A. S. G., Neiff, J. J., Casco, S. L., & Gallardo, L. I. (2020). Macroinvertebrates of *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae) roots in the alluvial floodplain of large tropical rivers (Argentina). *Revista de Biología Tropical, 68*(Suppl. 2), S104–S115. https://doi.org/10.15517/rbt.v68iS2.44342

Pradita, D., & Partaya. (2022). Keanekaragaman makrozoobentos sebagai bioindikator pencemaran air di Sungai Banjir Kanal Barat Kota Semarang. *Life Science, 11*(2), 151–159. https://journal.unnes.ac.id/sju/UnnesJLifeSci/article/view/64384

Prasetyo, S., Anggoro, S., & Soeprobowati, T. R. (2021a). The growth rate of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) in Rawapening Lake, Central Java. *Journal of Ecological Engineering, 22*(6), 222–231. https://doi.org/10.12911/22998993/137678

Prasetyo, S., Anggoro, S., & Soeprobowati, T. R. (2021b). Penurunan kepadatan eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) di Danau Rawapening dengan memanfaatkannya sebagai bahan dasar kompos. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi, 23*(1), 57–62. https://doi.org/10.14710/bioma.23.1.57-62

Rahman, A., Haeruddin, Prakoso, K., Tyas, D. E., Jati, O. E., & Arifati, A. (2026). Integrated assessment of eutrophication in Lake Rawa Pening, Central Java, Indonesia, using multivariate statistical methods. *Biodiversitas, 27*(5), Article d270519. https://doi.org/10.13057/biodiv/d270519

Rahman, F. N., Tambaru, R., Lanuru, M., Lanafie, Y. A., & Samawi, M. F. (2023). Macrozoobenthos diversity as a bioindicator of water quality around the Center Point of Indonesia (CPI). *Jurnal Ilmu Kelautan SPERMONDE, 9*(1), 1–9. https://doi.org/10.20956/jiks.v9i1.19960

Reza, A. D., Mahendra, A. S., Riadi, A. A., Aryanto, A. E. P., Agustin, H. N., Dewangga, A., Indrawan, M., Dadiono, M. S., & Setyawan, A. D. (2024). Diversity of gastropods (Animalia: Mollusca) in the upper Bengawan Solo River, Central Java, Indonesia: Native versus alien species. *International Journal of Bonorowo Wetlands, 14*(2), 83–95. https://doi.org/10.13057/bonorowo/w140204

Rhosadi, I., Mardiatno, D., Setiawan, M. A., & Hayat, D. M. (2026). An evaluation of phosphorus control interventions through a multi-scenario approach to controlling eutrophication in Lake Rawapening, Indonesia. *Forum Geografi, 40*(2), 213–227. https://doi.org/10.23917/forgeo.16151

Sudarmo, A. P., Ali, M., Anggraeni, D. P., Dwirastina, M., Ditya, Y. C., Makri, M., Makmur, S., Kaban, S., & Samuel, S. (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. https://doi.org/10.15244/pjoes/168222

Sulastri, Henny, C., & Handoko, U. (2016). Environmental condition and trophic status of Lake Rawa Pening in Central Java. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia, 1*(3), 23–28. https://doi.org/10.14203/oldi.2016.v1i3.20

Sultan, H., Uula, A. S., Rahmalidya, A., Kinasih, L. S., Purwadi, C. E., & Ramasari, N. (2025). Utilization of Sentinel-2 satellite imagery for estimating water quality changes in Rawa Pening Lake. *Indonesian Journal of Earth and Human, 2*(1). https://journal.unnes.ac.id/journals/ijeh/article/view/13781

Tampo, L., Kaboré, I., Alhassan, E. H., Ouéda, A., Bawa, L. M., & Djaneye-Boundjou, G. (2021). Benthic macroinvertebrates as ecological indicators: Their sensitivity to the water quality and human disturbances in a tropical river. *Frontiers in Water, 3*, Article 662765. https://doi.org/10.3389/frwa.2021.662765

Yurnaningsih, D. E., Widyorini, N., & Sabdaningsih, A. (2023). Analisis total bakteri *Pseudomonas* sp. pada sampel air karamba jaring apung Nglonder perairan Rawa Pening, Kabupaten Semarang. *Management of Aquatic Resources Journal, 10*(2), 78–85. https://doi.org/10.14710/marj.v10i2.28440