

## Kualitas air dan indikator biologis pada perairan muara dan laut yang terdampak limbah budidaya udang di Kabupaten Bireuen, Aceh

## The water quality and biological indicators of estuarine and marine waters affected by shrimp farming effluents in Bireuen Regency, Aceh

Received: 27 September 2024, Revised: 12 December 2024, Accepted: 14 December 2025

DOI: 10.29103/aa.v12i3.24729

Akmal Izwar<sup>a</sup>, Saniar Fauza<sup>b</sup>, Asih Makarti Muktitama<sup>c</sup>, Anis Nugrahawati<sup>\*c</sup>, Rossy Azhar<sup>a</sup>, Dani Pratama Putra<sup>a</sup>, Syahirman Hakim<sup>d</sup>, dan Yoga Musarady<sup>e</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Akuakultur, Fakultas Pertanian, Universitas Almuslim

<sup>b</sup>Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Almuslim

<sup>c</sup>Program Studi Akuakultur, Fakultas Pertanian, Universitas Malikussaleh

<sup>d</sup>Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Almuslim

<sup>e</sup>Mahasiswa Parogram Studi Akuakultur, Fakultas Pertanian, Universitas Almuslim

### Abstrak

Budidaya udang vaname intensif berpotensi menurunkan kualitas air melalui peningkatan bahan organik dan nutrisi di perairan pesisir. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi perbedaan kualitas air muara dan laut di Kabupaten Bireuen, Aceh, serta menghubungkannya dengan plankton dan bakteri sebagai indikator ekosistem. Penelitian dilaksanakan pada Juli–Agustus 2025 di tiga stasiun muara dan tiga stasiun laut dengan analisis parameter fisika, kimia, dan biologi. Hasil menunjukkan muara memiliki TSS (9–16 mg/L), NH<sub>3</sub> (0,80 mg/L), BOD (4,6–7,1 mg/L), dan COD (32–33 mg/L) lebih tinggi dibanding laut, yang berhubungan dengan keberadaan *Nitzschia* spp., *Ceratium hirundinella*, *Brachionus rotundiformis*, serta bakteri *Aeromonas hydrophila* dan *Vibrio parahaemolyticus*. Di laut, meskipun DO dan salinitas lebih stabil, eutrofikasi tetap terindikasi melalui *Noctiluca* spp., kopepoda (*Acartia*, *Oithona*), serta *V. alginolyticus* dan *Photobacterium damsela*. Hasil ini menegaskan bahwa muara merupakan hotspot pencemaran, sedangkan laut turut terdampak, sehingga pengelolaan limbah tambak berbasis ekosistem sangat diperlukan.

**Kata kunci:** Kualitas Air; Laut; Muara, Plankton; Udang Vaname; *Vibrio* spp.

### Abstract

Intensive whiteleg shrimp farming has the potential to degrade water quality through the accumulation of organic matter and nutrients in coastal ecosystems. This study aimed to evaluate differences in water quality between estuarine and marine waters in Bireuen Regency, Aceh, and to associate them with plankton and bacteria as ecological indicators. The research was conducted from July to August 2025 at three estuarine and three marine stations, analyzing physical, chemical, and biological parameters. Results showed that estuarine waters had higher TSS (9–16 mg/L), NH<sub>3</sub> (0.80 mg/L), BOD (4.6–7.1 mg/L), and COD (32–33 mg/L) than marine waters, associated with the presence of *Nitzschia* spp., *Ceratium hirundinella*, *Brachionus rotundiformis*, *Aeromonas hydrophila*, and *Vibrio parahaemolyticus*. In marine waters, although DO and salinity were more stable, eutrophication indicators included *Noctiluca* spp., copepods (*Acartia*, *Oithona*), *V. alginolyticus*, and *Photobacterium damsela*. These findings indicate that estuaries act as pollution hotspots while marine waters are also affected, emphasizing the need for ecosystem-based management of shrimp aquaculture effluents.

**Keywords:** Estuary; Marine Waters; Plankton; *Vibrio* spp; Water Quality; Whiteleg Shrimp

### 1. Introduction

Kabupaten Bireuen dengan luas sekitar 1.798,25 km<sup>2</sup> atau 3,16% dari keseluruhan luas wilayah Provinsi Aceh merupakan Kabupaten yang memiliki potensi dalam bidang

\* Korespondensi: Aquaculture Study Program, Faculty of Agriculture, Malikussaleh University. Jl. Cot Tengku Nie, Reuleut, Muara Batu, North Aceh, Aceh, Indonesia.

Tel: +6282220431478

e-mail: anis.nugrahawati@unimal.ac.id

kelautan dan perikanan, baik perikanan tangkap maupun perikanan budidaya. Potensi tersebut didukung oleh garis pantai di kabupaten bireuen sepanjang 80 km dengan luas area tambak sebesar 4.945,60 Ha (BPS Kabupaten Bireuen, 2025). Pada tahun 2017 Kabupaten Bireuen menghasilkan udang vaname sebesar 8.988 ton atau sekitar 76,65% dari produksi udang vaname Provinsi Aceh yang mencapai 11.679 ton (Nur et al., 2024; Akmal et al., 2021). Besarnya jumlah produksi udang, seiring dengan besarnya limbah buangan budidaya tambak udang vaname. Persoalan yang muncul adalah akumulasi

limbah yang mengakibatkan pencemaran, masih banyak pemilik tambak yang tidak melakukan pengolahan limbahnya. Limbah dari budidaya di tambak dapat berupa unsur organik dari sisa pakan yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem pantai. Menurut Yusam et al. (2025), eutrofikasi merupakan proses pengayaan unsur hara di perairan yang disebabkan oleh peningkatan nutrisi dari berbagai aktivitas antropogenik sehingga berdampak pada penurunan kualitas air. Akumulasi materi organik yang masuk ke perairan tersebut juga berpotensi memicu proliferasi alga yang merugikan dan mengganggu keseimbangan ekologis, termasuk menurunkan kelimpahan fauna akuatik seperti krustasea dan pisces (Febrina et al., 2019).

Di Indonesia, sejumlah penelitian telah menunjukkan bahwa kawasan pesisir dengan konsentrasi tambak udang cenderung mengalami peningkatan indikator eutrofikasi, termasuk tingginya amonia, nitrit, BOD/COD, dan TSS, yang banyak dikaitkan dengan pengelolaan pakan dan limbah yang belum optimal (Prasetyono et al., 2022; Hastutiningrum et al., 2021). Pada kasus budidaya udang intensif di Bireuen, penggunaan pakan berprotein tinggi dan kepadatan tebar besar berpotensi menghasilkan limbah organik dan nutrisi dalam jumlah signifikan yang langsung terbuang ke saluran pembuangan tambak. Akumulasi bahan pencemar tersebut kemudian meningkatkan beban lingkungan di wilayah muara dan pesisir yang memiliki daya dukung terbatas, sehingga mempercepat kenaikan amonia, BOD/COD, dan TSS, sebagaimana dilaporkan pada berbagai lokasi tambak intensif di Aceh. Kondisi kualitas air yang terdegradasi ini juga berpotensi meningkatkan kerentanan biota terhadap penyakit, sebagaimana ditunjukkan oleh temuan lokal mengenai keberadaan bakteri patogen pada ikan dan udang di wilayah Aceh, termasuk kasus *black body syndrome* pada kakap putih serta respons mikrobiologis udang pada kondisi lingkungan yang tertekan (Izwar et al., 2020; Izwar et al., 2025). Dengan demikian, tekanan ekologis yang terjadi di kawasan Bireuen tidak hanya berasal dari aktivitas budidaya, tetapi juga dipengaruhi oleh karakteristik hidrodinamika muara yang memungkinkan penumpukan sedimen dan nutrisi, sehingga menjadikan lokasi ini rentan terhadap masalah kualitas air.

Parameter fisika-kimia yang sering terganggu oleh effluent budidaya meliputi peningkatan BOD/COD, amonia ( $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ ), nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), total suspended solids (TSS), serta fluktuasi pH, salinitas dan oksigen terlarut (DO). Dalam penelitian Pitalokasari et al. (2021) kenaikan BOD/COD dan materi organik mendorong konsumsi oksigen melalui aktivitas mikroba dekomposer, sedangkan amonia dan nitrit merupakan bentuk nitrogen yang bersifat toksik bagi udang dan organisme lain pada konsentrasi tertentu. Oleh karena itu, pemantauan parameter-parameter ini di muara dan laut sekitar tambak serta hatchery sangat penting untuk menilai dampak lingkungan dan kesehatan ekosistem pesisir (Pebriani et al., 2025; Zein et al., 2023).

Selain parameter fisika-kimia, penilaian kondisi ekologis perairan di sekitar tambak udang memerlukan pemanfaatan bioindikator untuk menggambarkan respons biologis terhadap tekanan lingkungan secara lebih sensitif. Fitoplankton dan zooplankton, seperti *Nitzschia*, *Ceratium*, dan *Brachionus*, terbukti peka terhadap peningkatan nutrisi dan perubahan kualitas air, sehingga sering digunakan sebagai indikator tingkat eutrofikasi pada perairan pesisir (Gutkowska et al., 2013; Gao et al., 2021). Demikian pula, keberadaan bakteri seperti *Vibrio* dan *Aeromonas* dapat mencerminkan tingginya beban organik serta potensi risiko penyakit pada biota budidaya, sebagaimana dilaporkan pada ekosistem tambak intensif di berbagai wilayah pesisir tropis (Najwa et al., 2024; Brumfield et al., 2023). Dengan demikian, integrasi analisis kualitas air dan bioindikator

memberikan pendekatan yang lebih komprehensif dalam mengevaluasi dampak ekologis limbah tambak, sekaligus meningkatkan ketepatan identifikasi risiko lingkungan pada muara dan laut sekitar lokasi budidaya.

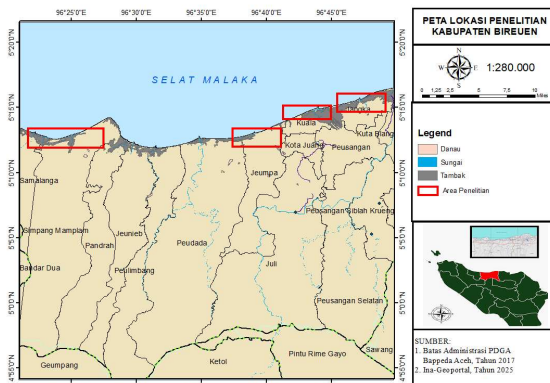
Karakteristik hidrodinamika muara—seperti pasang-surut, aliran masukan air tawar, dan pertukaran air dengan laut lepas—menentukan distribusi dan transport limbah budidaya. Di beberapa kasus, akumulasi polutan lebih besar di sepanjang saluran pembuangan dan muara kecil yang mempunyai pertukaran air terbatas sehingga pencemaran lokal menjadi berat. Penelitian di kawasan tropis menunjukkan bahwa efek kumulatif beberapa tambak dapat menyebabkan penurunan kualitas air yang signifikan di skala sistem estuarin, bukan hanya pada titik keluaran individual. Oleh karena itu, studi yang membandingkan stasiun-stasiun di muara dan laut dekat tambak/hatchery dengan titik kontrol menjadi penting untuk mengidentifikasi pengaruh spasial dan potensi risiko ekologis (Bull et al., 2021).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian yang menganalisis cemaran hasil budidaya udang melalui pengambilan sampel air di muara dan laut dekat tambak dan hatchery sangat relevan untuk (1) mengevaluasi tekanan lingkungan yang dihasilkan oleh kegiatan budidaya, (2) menilai risiko eutrofikasi dan toksitas nutrisi bagi biota perairan, dan (3) menyediakan data ilmiah untuk kebijakan dan praktik pengelolaan limbah budidaya yang lebih baik. Data kuantitatif mengenai parameter fisika-kimia (suhu, salinitas, pH, DO, TSS) dan parameter kimia/toxik (BOD, COD,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) menjadi dasar untuk menilai status ekologis dan menentukan rekomendasi manajemen.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Waktu dan tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli–Agustus 2025 di wilayah perairan muara dan laut Kabupaten Bireuen, Provinsi Aceh. Pengambilan sampel dilakukan di beberapa titik yang mewakili lokasi pembuangan limbah budidaya udang vaname. Analisis kualitas air fisika-kimia dilakukan di lapangan secara insitu dan di Laboratorium Dinas lingkungan hidup, Banda Aceh (eksitu). Analisis kesehatan biota (udang vaname) dilakukan di Laboratorium Basah Program Studi Akuakultur Universitas Malikussaleh.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Data.

### 2.2. Bahan dan alat

Bahan yang digunakan meliputi larutan formalin 4% untuk fiksasi sampel plankton dan jaringan hepatopankreas, alkohol 70% untuk sterilisasi, media selektif TCBS agar untuk isolasi bakteri *Vibrio*, serta reagen spektrofotometri untuk analisis nutrisi ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ). Alat yang digunakan antara lain

plankton net, termometer digital, refraktometer, pH meter, DO meter, spektrofotometer, botol sampel steril, serta mikroskop cahaya untuk pengamatan plankton (Pebriani et al., 2025).

### 2.3. Rancangan penelitian

Penelitian ini menggunakan metode survei lapangan dengan pengambilan sampel air, plankton, bakteri, dan biota uji (udang vaname). Sampel diambil pada beberapa titik muara dan laut dengan tiga kali ulangan. Parameter kualitas air yang dianalisis meliputi fisika, kimia, dan biologi.

Pengambilan sampel dilakukan pada dua stasiun utama yang mewakili perbedaan karakteristik perairan, yaitu Stasiun 1 (Muara) dan Stasiun 2 (Laut). Masing-masing stasiun terdiri atas empat titik pengamatan yang dipilih secara purposive berdasarkan kedekatannya dengan area pembuangan limbah budidaya udang serta representasi kondisi hidrologi setempat. Titik pengambilan sampel tersebut meliputi: (1) Jangka, (2) Kuala, (3) Jeumpa, dan (4) Simpang Mamplam. Keempat lokasi ini dianggap mampu menggambarkan gradien kualitas air dari area muara menuju perairan laut terbuka, sehingga relevan untuk menilai variasi spasial parameter fisika, kimia, dan biologi perairan.

### 2.4. Prosedur penelitian

#### 2.4.1. Parameter Fisika

Pengukuran parameter fisika meliputi:

- Suhu diukur *insitu* dengan termometer digital.
- Salinitas diukur dengan refraktometer.
- Total Suspended Solid (TSS) dianalisis secara *eksitu* dengan spektrofotometri (Pebriani et al., 2025).

#### 2.4.2. Parameter Kimia

Parameter kimia yang diukur adalah:

- pH menggunakan pH meter,
- DO (*Dissolved Oxygen*) menggunakan DO meter,
- NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, dan NO<sub>3</sub> dianalisis secara *eksitu* menggunakan spektrofotometri (Cao et al., 2025; Zein et al., 2023). Sampel air dimasukkan ke dalam botol sampel steril, disimpan di dalam *coolbox*, dan dianalisis maksimal 24 jam setelah pengambilan (Lestari, 2021).

#### 2.4.3. Parameter Biologi

- Plankton disaring dengan plankton net (mesh 25 µm), hasil saringan dimasukkan ke botol 100 mL, lalu ditambahkan formalin 4% (4 tetes). Identifikasi plankton mengacu pada SNI 06-3963-1995 (Gutkowska et al., 2013).
- Bakteri air (*Vibrio* sp.) diisolasi menggunakan media selektif TCBS agar, kemudian diidentifikasi mengikuti standar SNI 9063:2022 dan SNI 2332.3:2015 (Najwa et al., 2024).

### 2.5. Parameter yang diukur

#### 2.5.1. Parameter Kualitas Air

##### a. Parameter Fisika Air

Parameter fisika yang diamati meliputi suhu, salinitas, dan total padatan tersuspensi (TSS). Suhu diukur *insitu* menggunakan termometer digital, sedangkan salinitas diukur menggunakan refraktometer. Untuk TSS, analisis dilakukan

*eksitu* di laboratorium menggunakan spektrofotometer (Pebriani et al., 2025).

##### b. Parameter Kimia Air

Parameter kimia yang dianalisis meliputi pH, oksigen terlarut (DO), amoniak (NH<sub>3</sub>), nitrit (NO<sub>2</sub>), dan nitrat (NO<sub>3</sub>). Pengukuran pH dilakukan *insitu* dengan pH meter, sedangkan DO diukur dengan DO meter. Analisis konsentrasi NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, dan NO<sub>3</sub> dilakukan *eksitu* menggunakan spektrofotometri. Sampel air disimpan dalam botol steril, ditempatkan di dalam *coolbox*, dan dianalisis maksimal 24 jam setelah pengambilan (Zein et al., 2023; Cao et al., 2025).

##### c. Parameter Biologi Air

Parameter biologi yang diamati meliputi plankton dan bakteri air. Sampel plankton diperoleh dengan penyaringan menggunakan plankton net berukuran mesh 25 µm, kemudian dimasukkan ke botol 100 mL dan diawetkan dengan formalin 4% (4 tetes). Identifikasi plankton dilakukan mengacu pada SNI 06-3963-1995 (Gutkowska et al., 2013).

##### d. Kelimpahan *Vibrio* sp. di air

Kelimpahan *Vibrio* sp. dihitung menggunakan metode ALT (SNI 2015) pada media selektif *Thiosulfate Citrate Bile Salts Sucrose Agar* (TCBSA) (HiMedia, Maharashtra, India) dengan masa inkubasi pada suhu 28°C selama 18 – 24 jam dengan rumus sebagai berikut.

$$N = \frac{\sum c}{[(1 \times n1) + (0,1 \times n2)] \times (d)}$$

Keterangan:

- N = Jumlah koloni bakteri (CFU/ml untuk sampel air)
- ΣC = Jumlah koloni pada semua cawan yang dihitung
- n1 = Jumlah cawan pada pengenceran pertama yang dihitung
- n2 = Jumlah cawan pada pengenceran kedua yang dihitung
- d = Pengenceran pertama yang dihitung

### 2.6. Analisis data

Data fisika air, kimia air, dan biologi air dianalisis secara deskriptif dan dibandingkan dengan standar baku mutu kualitas air untuk biota akuatik (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004). Hubungan antar parameter kualitas air dengan keberadaan plankton dan bakteri dianalisis secara korelasional (Brumfield et al., 2023; Najwa et al., 2024).

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Results

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kondisi kualitas air di muara dan laut memiliki variasi yang cukup nyata. Secara umum, perairan muara memperlihatkan nilai TSS (*Total Suspended Solids*) lebih tinggi, berkisar antara 9–16 mg/L, dibandingkan dengan laut yang hanya 3–5 mg/L. Tingginya TSS di muara berkaitan erat dengan pengaruh limpasan dari daratan, aktivitas budidaya, dan deposisi sedimen yang terbawa aliran sungai. Perbedaan konsentrasi DO (*Dissolved Oxygen*) terlihat jelas antara perairan laut dan muara, di mana perairan laut menunjukkan kisaran 5,6–6,6 mg/L, sementara salah satu stasiun muara (Kuala) hanya mencapai 4,07 mg/L. Nilai DO di muara tersebut berada di bawah baku mutu air laut untuk biota (>5 mg/L), memiliki potensi menimbulkan tekanan fisiologis pada organisme akuatik.

Tabel 1

Kualitas fisika dan kimia air perairan di stasiun 1 (muara)

No	Parameter	Satuan	Jangka	Kuala	Jeumpa	Simpang mamplam	Baku mutu
Fisika							
1	Suhu	°C	33,30±0,44	32,96±0,76	33,02±0,07	36,57±1.62	6-9
2	Salinitas	g/L	20,33±0,58	29,33±0,58	26,67±0,58	16,67±2,89	5-25
3	Total solid suspended (TSS)	mg/L	16,28±0,09	9,18±0,94	10,43±0,20	15,27±0,23	>50
Kimia							
4	pH	-	8,20±0,06	8,11±0.04	8,11±0.04	8,06±0.08	6-9
5	Dissolved Oxygen (DO)	mg/L	4,07±0.82	6,63±0.19	6,36±0.15	4,42±0.19	>5
6	Amoniak (NH <sub>3</sub> )	mg/L	0,80±0.02	0,34±0.11	0,05±0.01	0,09±0.01	0.3
7	Nitrit (NO <sub>2</sub> )	mg/L	0,06±0.01	0,03±0.01	0,03±0.01	0,04±0.01	0.06
8	Nitrat (NO <sub>3</sub> )	mg/L	9,33±0.03	3,61±0.15	3,85±0.04	6,28±0.03	10
9	Asam Sulfida (H <sub>2</sub> S)	mg/L	0,02±0.01	0,03±0.01	0,02±0.01	0,03±0.01	0.01
10	BOD	mg/L	4,59±0.84	7,11±0.08	7,19±0.12	4,74±0.45	3
11	COD	mg/L	33,5±0.31	33,31±0.14	32,92±0.09	32,92±0.09	25

Parameter nutrisi menunjukkan bahwa amoniak (NH<sub>3</sub>) dan COD lebih tinggi di muara. Konsentrasi NH<sub>3</sub> di beberapa stasiun muara mencapai 0,80 mg/L dengan COD hingga 33 mg/L, sedangkan laut hanya sekitar 0–0,18 mg/L untuk NH<sub>3</sub> dan 26–27 mg/L untuk COD. Kondisi ini mengindikasikan adanya akumulasi bahan organik dan limbah pakan di muara yang bersumber dari tambak maupun hatchery. Nitrat (NO<sub>3</sub>) di muara juga menunjukkan nilai lebih tinggi (misalnya 9,33 mg/L pada salah satu stasiun) dibandingkan laut (~5 mg/L). Hal ini menegaskan

bahwa muara berfungsi sebagai penerima utama nutrisi anorganik dari aktivitas budidaya. Nitrit (NO<sub>2</sub>) umumnya rendah, namun keberadaannya tetap penting karena bersifat toksik pada konsentrasi rendah. Salinitas lebih rendah di muara (20–29 ppt) dibandingkan laut (30–31 ppt), sesuai dengan sifat estuarin sebagai daerah percampuran air tawar dan laut. Suhu (31–33 °C) dan pH (~8,1) relatif seragam di kedua lokasi, masih dalam kisaran toleransi organisme akuatik tropis.

Tabel 2.

Kualitas fisika dan kimia air perairan di stasiun 2 (laut).

No	Parameter	Satuan	Jangka	Kuala	Jeumpa	Simpang mamplam	Baku mutu
Fisika							
1	Suhu	°C	31,60±0.36	32,59±0.17	32,46±0.05	31,87±0.26	6-9
2	Salinitas	g/L	30,00±0.00	31,00±0.00	31,00±0.00	31,00±0.00	5-25
3	Total solid suspended (TSS)	mg/L	4,82±0.44	2,98±0.64	2,99±0.12	3,67±0.06	>50
Kimia							
4	pH	-	8,13±0.02	8,22±0.04	8,19±0.01	8,15±0.04	6-9
5	Dissolved Oxygen (DO)	mg/L	6,60±0.05	5,65±0.48	6,41±0.07	6,69±0.12	>5
6	Amoniak (NH <sub>3</sub> )	mg/L	0,04±0.01	0,18±0.07	0,00±0.00	0,00±0.00	0.3
7	Nitrit (NO <sub>2</sub> )	mg/L	0,03±0.01	0,04±0.01	0,04±0.01	0,02±0.01	0.06
8	Nitrat (NO <sub>3</sub> )	mg/L	5,33±0.03	5,73±0.07	5,01±0.22	3,19±0.05	10
9	Asam Sulfida (H <sub>2</sub> S)	mg/L	0,05±0.01	0,01±0.01	0,01±0.01	0,01±0.01	0.01
10	BOD	mg/L	6,79±0.21	6,85±0.28	7,70±0.18	6,80±0.12	3
11	COD	mg/L	27,28±0.34	26,90±0.20	27,39±0.11	27,39±0.11	25

Keberadaan plankton pada kedua stasiun mencerminkan perbedaan kondisi trofik yang dipengaruhi oleh karakteristik lingkungan muara dan laut. Stasiun muara ditemukan beberapa jenis fitoplankton, seperti *Nitzschia* spp. dan *Ceratium hirundinella*, yang umumnya berasosiasi dengan perairan kaya nutrisi. Sementara itu, di perairan laut lebih banyak dijumpai *Noctiluca* spp., yang merupakan dinoflagellata indikator perairan terbuka. Komunitas zooplankton juga menunjukkan variasi antarstasiun, di mana *Brachionus rotundiformis* lebih dominan di muara, sedangkan *Acartia* spp. dan *Oithona* spp. lebih banyak ditemukan di laut, menandakan perbedaan tingkat salinitas dan stabilitas perairan.

Perbedaan kondisi lingkungan semakin terlihat pada parameter mikrobiologi. Di stasiun muara teridentifikasi keberadaan *Aeromonas hydrophila* dan *Vibrio*

*parahaemolyticus*, sedangkan di perairan laut dominan ditemukan *Vibrio parahaemolyticus*, *Photobacterium damsela*, dan *Vibrio alginolyticus*. Kehadiran *A. hydrophila* pada muara (Tabel 3) mengindikasikan tingginya beban organik dan kondisi oksigen terlarut yang relatif rendah, yang konsisten dengan nilai DO di stasiun Kuala sebesar 4,07 mg/L (Tabel 1). Sementara itu, keberadaan bakteri laut seperti *V. alginolyticus* dan *P. damsela* pada stasiun laut mencerminkan lingkungan dengan salinitas stabil dan profil fisika-kimia yang lebih sesuai untuk kelompok bakteri laut. Secara keseluruhan, perbedaan komposisi plankton dan bakteri ini memperkuat bahwa muara memiliki tekanan lingkungan yang lebih tinggi dibandingkan laut, terutama terkait akumulasi limbah organik dan perubahan kualitas air.

Tabel 3

Parameter biologi air.

No	Parameter	Stasiun 1 (Muara)				Stasiun 2 (Laut)				Ket.
		JN	KU	JM	SM	JN	KU	JM	SM	
Plankton										
1	<i>Nitzschia</i> spp.	√								Fitoplankton
2	<i>Noctiluca</i> spp.					√	√		√	Fitoplankton
3	<i>Ceratium hirundinella</i>	√	√	√						Fitoplankton
4	<i>Brachionus rotundiformis</i>	√	√		√					Zooplankton
5	<i>Acartia</i> spp.		√			√		√	√	Zooplankton

No	Parameter	Stasiun 1 (Muara)				Stasiun 2 (Laut)				Ket.
		JN	KU	JM	SM	JN	KU	JM	SM	
6	<i>Oithona</i> spp.					√	√	√	√	Zooplankton
1	<i>Aeromonas hydrophila</i>	√		√	√					
2	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	√				√	√		√	
3	<i>Photobacterium damsela</i>					√			√	
4	<i>Vibrio alginolyticus</i>	√					√			

### 3.2. Discussion

Tingkat kekeruhan yang tinggi pada stasiun muara mengindikasikan berkurangnya penetrasi cahaya yang dapat menurunkan produktivitas primer, sekaligus menjadi sinyal masuknya bahan organik dari aktivitas antropogenik, termasuk budidaya udang intensif. Temuan ini sejalan dengan Barraza-Guardado et al. (2013) yang menyatakan bahwa muara berfungsi sebagai zona akumulasi utama sedimen dan beban organik dari aktivitas tambak. Akumulasi bahan organik tersebut kemudian meningkatkan aktivitas dekomposisi oleh mikroba heterotrof, sehingga menurunkan ketersediaan oksigen terlarut. Kondisi ini turut diperparah oleh perbedaan kebutuhan oksigen antarorganisme yang dipengaruhi oleh jenis, stadium, dan tingkat aktivitas biologisnya (Gemilang et al., 2017), sehingga perubahan DO memberikan dampak yang berbeda pada komunitas biota.

Komposisi plankton yang ditemukan juga mendukung interpretasi bahwa muara menerima masukan nutrisi lebih besar dibandingkan laut. Keberadaan *Nitzschia* spp. sebagai diatom dominan mencerminkan kondisi eutrofik, karena genus ini umum berkembang pada perairan kaya nutrisi (Gao et al., 2021). Kehadiran *Ceratium hirundinella* di muara juga mengindikasikan tingginya nutrisi dan kondisi stratifikasi yang mendukung pertumbuhan dinoflagellata tersebut. Sebaliknya, *Noctiluca* spp. yang ditemukan di laut menunjukkan bahwa perairan pesisir sekitar tambak juga mengalami tekanan nutrisi. Dinoflagellata heterotrof ini sering muncul pada kondisi eutrofik atau saat terjadi peningkatan bahan organik (Najwa et al., 2024), dan temuan tersebut konsisten dengan nilai BOD dan H<sub>2</sub>S yang lebih tinggi di perairan laut.

Distribusi zooplankton menunjukkan pola yang serupa. *Brachionus rotundiformis* dominan di muara, sesuai perannya sebagai indikator eutrofikasi dan tipikal perairan payau kaya nutrisi (Gutkowska et al., 2013). Copepoda seperti *Acartia* spp. ditemukan pada kedua stasiun, sedangkan *Oithona* spp. lebih banyak ditemukan di laut yang memiliki kondisi pelagik lebih stabil. Copepoda ini juga diketahui dapat berasosiasi dengan bakteri patogen laut, termasuk *Vibrio* spp., dan berfungsi sebagai reservoir alami (Brumfield et al., 2023), sehingga distribusinya berhubungan erat dengan dinamika mikrobiologis perairan.

Variasi kualitas air antarstasiun juga terlihat jelas pada komposisi bakteri. Di muara ditemukan *Aeromonas hydrophila* dan *Vibrio parahaemolyticus*, di mana keberadaan *A. hydrophila* mencerminkan kondisi perairan dengan beban organik tinggi dan DO rendah, sesuai dengan nilai DO 4,07 mg/L di Kuala. Bakteri ini oportunistik dan sering muncul pada perairan eutrofik dengan tekanan lingkungan tinggi (Zein, 2023). Sementara itu, stasiun laut lebih didominasi oleh bakteri patogen laut seperti *V. alginolyticus*, *V. parahaemolyticus*, dan *P. damsela*. Dominasi *Vibrio* spp. di laut didukung oleh kondisi lingkungan yang hangat (31–32 °C), salinitas stabil (30–31 ppt), serta tingginya BOD (6,7–7,7 mg/L), yang merupakan kondisi optimal pertumbuhan bakteri ini (Urquhart et al., 2016). Kehadiran *P. damsela*, bakteri patogen ikan laut, juga menunjukkan bahwa tekanan nutrisi dari aktivitas budidaya dapat memengaruhi mikrobiota laut secara lebih luas (Barraza-Guardado et al., 2013).

Secara keseluruhan, kombinasi parameter fisika-kimia dan biologi menunjukkan bahwa perairan muara mengalami tekanan ekologis yang lebih kuat dibandingkan perairan laut. Kondisi ini tercermin dari tingginya konsentrasi nutrisi—termasuk NH<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, COD, dan TSS—yang diikuti dengan munculnya fitoplankton dan zooplankton indikator eutrofik seperti *Nitzschia* spp. dan *B. rotundiformis*, serta dominasi bakteri oportunistik seperti *A. hydrophila* dan *V. parahaemolyticus*. Pola tersebut konsisten dengan karakteristik perairan yang menerima akumulasi limbah secara langsung dari aktivitas budidaya di bagian hulu.

Sementara itu, perairan laut memperlihatkan kondisi yang relatif lebih stabil, terutama dari sisi salinitas dan kadar DO. Namun demikian, parameter biologi dan kimia tetap menunjukkan indikasi eutrofikasi. Kehadiran *Noctiluca* spp., tingginya nilai BOD dan konsentrasi H<sub>2</sub>S, serta dominasi bakteri laut patogen seperti *Vibrio* spp. dan *P. damsela* menunjukkan bahwa pengenceran alami di perairan terbuka belum sepenuhnya mampu mengurangi tekanan nutrisi. Temuan ini memperlihatkan bahwa dampak limbah budidaya tidak hanya terakumulasi di muara, tetapi juga meluas ke wilayah pesisir dengan intensitas lebih rendah.

Secara ekologis, pola tersebut menggambarkan adanya risiko eutrofikasi di kedua lokasi. Muara berfungsi sebagai hotspot pencemaran dengan beban nutrisi lebih tinggi yang mendorong pertumbuhan plankton indikator dan bakteri oportunistik, sedangkan laut menerima tekanan yang lebih tersebar namun tetap menunjukkan respons ekologis yang jelas. Keberadaan bakteri patogen seperti *V. parahaemolyticus* juga mengindikasikan potensi risiko kesehatan bagi organisme budidaya maupun konsumen hasil perikanan, sehingga memerlukan perhatian dalam pengelolaan kualitas lingkungan.

Oleh karena itu, temuan ini menegaskan pentingnya pengelolaan limbah budidaya udang yang lebih terstruktur. Studi terbaru oleh Goto et al. (2023) menunjukkan bahwa pendekatan *nature-based solutions*, seperti pemanfaatan zona mangrove atau biofilter alami, efektif dalam menurunkan beban nutrisi dari sistem budidaya. Selain itu, perbaikan manajemen pakan, penggunaan probiotik, serta implementasi sistem resirkulasi air dapat menjadi langkah pendukung untuk mengurangi tekanan lingkungan baik di muara maupun perairan laut.

### 4. Conclusion

Penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas air muara lebih tertekan oleh masukan bahan organik dan nutrisi dibanding laut, tercermin dari tingginya TSS, amoniak, nitrat, BOD, dan COD yang memicu rendahnya DO. Kondisi ini berasosiasi dengan keberadaan plankton indikator eutrofik seperti *Nitzschia* spp., *C. hirundinella*, dan *B. rotundiformis*, serta bakteri oportunistik *A. hydrophila* dan *V. parahaemolyticus*. Sementara itu, laut meskipun memiliki salinitas dan DO lebih stabil, tetap menunjukkan tanda eutrofikasi melalui kehadiran *Noctiluca* spp., copepoda (*Acartia* dan *Oithona*), serta dominasi *V. alginolyticus* dan *P. damsela*, sehingga menegaskan perlunya pengelolaan limbah budidaya berkelanjutan.

## Acknowledgement

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi yang telah mendanai penelitian ini melalui Skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) Tahun 2025.

## Bibliography

- Akmal, Y., Humairani, R., Muliari, M., Zulfahmi, I., dan Rauf, A. 2021. Peningkatan nilai ekonomi pada kelompok pembudidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) Laut Mina Budidaya Kabupaten Bireuen, Aceh. *Jurnal Solma*, 10(2): 275–286. doi: 10.22236/solma.v10i2.6437.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Bireuen, Kabupaten Bireuen Dalam Angka 2025. Bireuen: Badan Pusat Statistik Kabupaten Bireuen, 2025.
- Barraza-Guardado, R., Arreola-Lizárraga, J.A., and López-Torres, M.A. 2013. Effluents of shrimp farms and its influence on the coastal marine environment. *Marine Pollution Bulletin*. <https://doi.org/10.1155/2013/306370>
- Bull, E.G., Cunha, C.D.L.D.N., and Scudelari, A.C. 2021. Water quality impact from shrimp farming effluents in a tropical estuary. *Water Science and Technology*, 83(1): 123-136. doi: 10.2166/wst.2020.559
- Brumfield, K.D., Chen, A.J., Gangwar, M., Usmani, M., Hasan, N.A., Jutla, A.S., Huq, A., and Colwell, R.R. 2023. Environmental factors influencing occurrence of *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio vulnificus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 89(6): e00307-23. <https://doi.org/10.1128/aem.00307-23>
- Cao, T.T., Le, H.A., and Eppe, G. 2025. Nutrient dynamics, environmental impacts, and feed efficiency in intensive whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) farming on sandy soils in Ninh Thuan, Vietnam. *Aquaculture Reports*, 44: 103050.
- Febrina, L., Mulyawati, I., dan Fazhar, I. 2019. Penyuluhan pengelolaan limbah tambak udang ramah lingkungan di Desa Tambaksari–Karawang. *Jurnal Industri Kreatif dan Kewirausahaan*, 2(2). doi: 10.36441/kewirausahaan.v2i2.60
- Gao, Y., Lai, Z., Wang, C., Li, H., and Mai, Y. 2021. Population characteristics of *Brachionus calyciflorus* and their potential application for evaluating river health in the Pearl River Delta, China. *Water*, 13(6): 749.
- Gemilang, W.A., dan Kusumah, G. 2017. Status indeks pencemaran perairan kawasan mangrove berdasarkan penilaian fisika-kimia di pesisir Kecamatan Brebes Jawa Tengah. *Enviro., Scientea*, 13(2):171-80.
- Goto, G.M., Corwin, E., Farthing, A., Lubis, A.R., and Klinger, D.H. 2023. A nature-based solutions approach to managing shrimp aquaculture effluent. *PLOS Sustainability and Transformation*, 2(8): e0000076. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pstr.0000076>
- Gutkowska, A., Paturej, E., and Kowalska, E. 2013. Rotifer trophic state indices as ecosystem indicators in brackish coastal waters. *Oceanologia*, 55(4): 887-899. <https://doi.org/10.5697/oc.55-4.887>
- Hastutiningrum, S., dan Dany, A.K. 2021. Penyerapan amonia, nitrat dan fosfat pada limbah tambak udang menggunakan alga *Chaetomorpha crassa* dengan metode fitoremediasi. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 165-71. DOI: <https://doi.org/10.34151/technoscientia.v13i2.3195>
- Izwar, A., Nuryati, S., and Purnomowati, R. 2020. Isolation, identification, and pathogenicity tests of pathogenic bacterial associated with black body syndrome in white barramundi *Lates calcarifer* B. J. *Akuakultur Indonesia*, 19(1): 39–49.
- Izwar, A., Nugrahawati, A., Hakim, S., Irfannur, I., Putra, D.P., Azhar, R., and Radhi, M. 2025. Optimization of growth and survival of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) postlarvae through dietary variation: A study of physiological and microbiological responses. *Acta Aquatica*, 233–240. <https://doi.org/10.29103/aa.v12i2.22129>
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut.
- Najwa, A.B., Elexson, N., Dalene, L., and Teng, S.T. 2024. *Vibrio* species and cyanobacteria: Understanding their association in local shrimp farm using Canonical Correspondence Analysis (CCA). *Microbial Ecology*, 87(1): 51.
- Pebriani, D.A.A., Arthana, I.W., Suyasa, I.W.B., Julyantoro, P.G.S., Kartika, G.R.A., and Wiradana, P.A. 2025. Monitoring of water quality and pollution index in intensive pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) cultivation in Buleleng Regency, Bali Province, Indonesia. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, 29(4): 669-689.
- Pitalokasari, O.D., Fiqri, S., and Ayudia, D. 2021. Validasi metode pengujian Biochemical Oxygen Demand (BOD) dalam air laut secara titrimetri berdasarkan SNI 6989.72: 2009. *Ecolab*, 15(1): 63-75.
- Prasetyono, E., Bidayani, E., Robin, R., dan Syaputra, D. 2022. Analisis kandungan nitrat dan fosfat pada lokasi buangan limbah tambak udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) di Kabupaten Bangka Tengah Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 18(2): 73-9. DOI: <https://doi.org/10.14710/iifst.18.2.73-79>
- Urquhart, E.A., Jones, S.H., Yu, J.W., Schuster, B.M., Marcinkiewicz, A.L., Whistler, C.A., and Cooper, V.S. 2016. Environmental conditions associated with elevated *Vibrio parahaemolyticus* concentrations in Great Bay Estuary, New Hampshire. *PLoS one*, 11(5): e0155018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155018>
- Yusal, M.S., Hasyim, A., Hastuti, H., Arif, A., dan Pratomo, R.H. 2025. Review eutrofikasi: Risiko dalam kesuburan

lingkungan perairan dan upaya penanggulangannya.  
*Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 24(1): 124-35.

Zein, R., Nurdin, J., Rianto, D.R., and Ramadhani, P. 2023. Environmental management approach: the impact of a wastewater treatment plant for shrimp ponds on Carocok Anau River water quality. *AAAL Bioflux*, 16(3): 1531-1548.