Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia
24 (1), 2025, 123 – 134
DOI : 10.14710/jkli.67125
Available at https://ejournal.undip.ac.id/index.php/jkli



Review Eutrofikasi: Risiko dalam Kesuburan Lingkungan Perairan dan Upaya Penanggulangannya

Muh. Sri Yusal[1*], Ahmad Hasyim[2], Hastuti Hastuti[1], Arwin Arif[2], Ryan Humardani Syam Pratomo[2]

[1]Program Studi Magister Pendidikan Biologi, Universitas Patompo, Makassar, Indonesia
[2]Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Patompo, Makassar, Indonesia
[*]Corresponding author: msriyusal.ugm@gmail.com

Info Artikel: Diterima 29 September 2024; Direvisi 3 Februari 2025; Disetujui 4 Februari 2025
Tersedia online: 8 Februari 2025; Diterbitkan secara teratur: Februari 2025

Cara sitasi: Yusal MS, Hasyim A, Hastuti H, Arif A, Pratomo RHS. Review Eutrofikasi: Risiko dalam Kesuburan Lingkungan Perairan dan Upaya Penanggulangannya. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia [Online]. 2025 Feb;24(1):123-134. https://doi.org/10.14710/jkli.67125.

ABSTRAK

Latar Belakang: Eutrofikasi merupakan pengayaan unsur hara perairan yang berdampak buruk terhadap kualitas air. Keberadaan unsur nutrisi dan beberapa senyawa di badan perairan disebabkan oleh keberagaman aktivitas manusia yang disebut sebagai aktivitas antropogenik yang mengancam eksistensi ekosistem perairan. Literatur review ini mengkaji tentang resiko eutrofikasi dalam kesuburan perairan, penyebab terjadinya eutrofikasi, dampak, serta solusi penanganannya.

Metode: Studi literatur ini merupakan hasil review dari 25 artikel ilmiah dan selebihnya berasal dari buku, monograf dan Research report. Penelusuran database artikel melalui Science Direct, Geogle Scholar, dan Mendeley. Beberapa artikel ilmiah yang relevan dari hasil penelusuran dipilih berdasarkan tema yang berkorelasi dengan eutrofikasi ataupun berhubungan dengan kata kunci pada literatur review. Beberapa kata kuncinya yaitu Eutrofikasi, Status tropik, Unsur hara organik, Limbah, Kualitas perairan, Parameter Fisika-Kimia lingkungan, Kajian ekologis, Fosfor dan Nitrat, dan Blooming alga. Literasi artikel ilmiah merupakan hasil pencarian dari jurnal internasional, jurnal internasional bereputasi, dan jurnal nasional bereputasi. Pada umumnya artikel tersebut diperoleh dari berbagai penerbit, seperti Springer, Elsevier, MDPI, Taylor and Francis, serta ATMOS.

Hasil: Pencetus utama eutrofikasi adalah keberagaman aktivitas manusia yang menghasilkan limbah antrophogenik, seperti pemakaian pupuk dan pestisida, kotoran ternak, budidaya ikan, dan limbah domestik. Dampak utama eutrofikasi adalah penurunan tingkat biodiversitas atau kepunahan biota perairan akibat perubahan lingkungan, penurunan kualitas perairan dan keterpurukan estetika lingkungan, penurunan kandungan DO perairan dan kondisi anoxia. Hasil metabolisme bakteri anaerob juga menghasilkan bau yang tidak menyenangkan. Penggunaan teknologi yang ramah lingkungan adalah langkah efektif pencegahan eutrofikasi.

Simpulan: Limbah antropogenik merupakan penyebab utama terjadinya eutrofikasi yang membawa dampak buruk bagi perairan. Upaya efektif dalam penanggulangan etrofikasi adalah penggunaan teknologi pengolahan limbah yang efisien dan ramah lingkungan (artificial wetland), mengontrol dan mereduksi kandungan senyawa limbah organik dari sumbernya secara ekonomis dan berkelanjutan. Langkah strategis lainnya adalah pengurangan konsentrasi bahan pencemar limbah cair berdasarkan peraturan pemerintah dan pendekatan sosio-ekologis melalui partisipasi masyarakat.

Kata Kunci: aktivitas antrophogenik; estetika lingkungan; eutrofikasi; kualitas air; studi literatur

ABSTRACT

Copyright © 2025 The Author. JKLI, ISSN: 1412-4939 – e-ISSN: 2502-7085.

Title: Review of Eutrophication: Risks in Aquatic Environmental Fertility and Mitigation Efforts
Background: Eutrophication is enrichment of aquatic nutrients adversely affects water quality. The presence of nutrients and compounds in water bodies is caused by variety of human activities referred to as anthropogenic activities threaten the existence of aquatic ecosystems. This literature review examines the risks of eutrophication in aquatic fertility, eutrophication causes, impacts, and solutions.
Methods: This literature study is a review of 25 scientific articles and rest come from books, monographs and research reports. The article database was searched through Science Direct, Google Scholar, and Mendeley. Several relevant scientific articles from search results were selected based on themes correlated with eutrophication or related keywords in review. Some of keywords are Eutrophication, Tropic status, Organic nutrients, Waste, Water quality, physico-chemical parameters, Ecological studies, Phosphorus and Nitrate, and Algal blooms. Scientific articles is Searches from international journals, reputable international journals, and reputable national journals. In general, the articles were obtained from various publishers, such as Springer, Elsevier, MDPI, Taylor and Francis, and ATMOS.
Results: Eutrophication main driver is diversity of human activities generate anthrophogenic waste, such as fertilisers and pesticides use, livestock manure, fish farming, and domestic waste. Eutrophication main impacts are decreased biodiversity levels or extinction of aquatic biota due to environmental changes, decreased water quality and environmental aesthetics deterioration, decreased DO of waters and anoxia conditions. Metabolic products of anaerobic bacteria produce unpleasant odours. Environmentally friendly technology use an effective measure to prevent eutrophication.
Conclusion: Anthropogenic effluents are main cause of eutrophication which has adverse effects on water bodies. Effective efforts in eutrophication prevention are the use of efficient and environmentally friendly sewage treatment technology (artificial wetland), controlling and reducing organic waste compounds content from source in an economical and sustainable manner. Another strategic is reduce concentration of effluent pollutants based on government regulations and socio-ecological approach through community participation.

Keywords: anthrophogenic activities; environmental aesthetics; eutrophication; water quality; literature study

PENDAHULUAN

Eutrofikasi merupakan peningkatan produktivitas primer ekosistem perairan akibat pengayaan *(enrichment)* nutrisi yang terdiri dari unsur fosfor dan nitrogen [1,]. Peristiwa eutrofikasi dapat menjadi pemicu terjadinya *blooming* atau pertumbuhan abnormal terhadap komponen-komponen produsen di perairan, seperti pertumbuhan tidak terkendali pada algae atau tumbuhan air lainnya [2-4]. Keberadaan unsur nutrisi dan beberapa senyawa di badan perairan disebabkan oleh keberagaman aktivitas manusia yang tidak ramah lingkungan. Aktivitas tersebut teridentifikasi sebagai aktivitas antropogenik sebagai pemicu terjadinya degradasi lingkungan yang sangat mengancam eksistensi ekosistem perairan [5-6]. **Gambar 1** berikut menunjukkan pertumbuhan tidak terkendali pada eceng gondok (*Eichhornia crassipes* Mart) pada perairan yang terdampak eutrofikasi



Gambar 1. Blooming *Eichhornia crassipes* Mart pada perairan yang terdampak eutrofikasi
Sumber: Dokumentasi Primer, 2021

Eutrofikasi akan memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap sektor perikanan karena bisa menyebabkan kematian massal pada biota perairan, terjadi perubahan warna air yang jauh lebih keruh dan berbau sehingga berpengaruh terhadap nilai ekonomis dari hasil perikanan [6-9]. Eutrofikasi juga berpengaruh buruk terhadap sektor pariwisata, karena keadaan tersebut menyebabkan perairan menjadi bau, berbusa, dan berwarna. Dampak eutrofikasi lainnya terhadap sektor kesehatan juga sangat besar, seperti munculnya iritasi kulit, gangguan pernapasan, penyakit pencernaan, malaria, dan demam berdarah. Adapun dampak negatif lainnya adalah terjadinya krisis air bersih ketika sumber air baku terdampak eutrofikasi [10-11]

Beberapa dekade terakhir ini, kasus eutrofikasi perairan mengalami peningkatan secara signifikan akibat ledakan populasi penduduk, faktor urbanisasi, penggunaan pupuk yang tidak terkendali, perubahan iklim yang dapat memicu kenaikan suhu dan mempercepat pertumbuhan alga. Kodisi tersebut telah mendorong percepatan terjadinya eutrofikasi yang bukan hanya terjadi di sektor air tawar, tetapi juga terjadi pada lingkungan pesisir, pantai maupun laut. Seperti yang terjadi di teluk Meksiko dan Laut Baltik [9,10,11].

Beberapa parameter lingkungan yang dapat mendukung terjadinya eutrofikasi selain faktor kelebihan nutrisi *(enrichment)*, yaitu temperatur, penyinaran matahari, dan laju peningkatan proses fotosintesa. Keadaan lingkungan perairan yang cerah berefek pada peningkatan proses fotosintesis yang

Copyright © 2025 The Author. JKLI, ISSN: 1412-4939 – e-ISSN: 2502-7085.

mengakibatkan pertumbuhan produsen primer yang tinggi ataupun terjadinya peningkatan populasi fitoplankton [10]. Keadaan seperti akan memicu kompetisi antara beberapa komunitas dalam suatu ekosistem, sehingga menimbulkan kematian terhadap beberapa organisme akibat persaingan yang tinggi dalam bertahan hidup akibat perubahan lingkungan perairan [12-16].

Alves et al., 2013 [17] telah mengkategorikan kesuburan perairan menjadi 4 bagian berdasarkan nilai indeks scaling faktor yang menjadi ukuran kesuburan (0-10). Semakin besar nilai indeks, maka semakin tinggi tingkat eutrofikasi perairan tersebut. Perairan yang dikategorikan dengan tingkat eutrofikasi rendah (oligotrofik) apabila memiliki nilai scaling indeks yang berkisar 0,0-4,0; perairan dengan tingkat eutrofikasi sedang (Mesotrofik) apabila memiliki nilai indeks dengan kisaran 4,1-5,0; perairan dengan tingkat eutrofikasi tinggi (Eutrofik) apabila berada dalam kisaran indeks 5,1-6,0; perairan dengan tingkat eutrofikasi yang sangat tinggi (Hipertrofik) apabila memiliki nilai indeks yang berkisar 6,1-10.

Damar et al., 2016 [15] menyatakan bahwa, kadar nitrat yang rendah disebabkan karena nitrat yang tersedia di perairan telah dimanfaatkan oleh organisme terutama fitoplankton dalam pembentukan protein. Perairan dikategorikan ke dalam golongan oligotrof, apabila memiliki kadar nitrat antara 0–1 µg/L. Perairan mesotrof memiliki kadar nitrat antara 1–5 µg/L, sedangkan perairan mengalami eutrof, apabila memiliki kadar nitrat yang berkisar antara >5–50 µg/L. Golongan perairan hipertrofik memiliki kandungan nitrat yang berkisar > 50 µg/L.

Hal yang sama yang dikemukakan oleh Alves et al., 2013 [17] & Marlian et al., 2015 [18] bahwa, perairan yang memiliki kandungan klorofil-a < 1 µg/L termasuk oligotrofik, nilai klorofil-a yang berkisar antara 1 – 3 µg/L termasuk mesotrofik, nilai klorofil-a dengan kisaran 3 – 5 µg/L termasuk eutrofik dan nilai klorofil-a > 5 µg/L termasuk perairan yang hipertrofik. Yusal & Hasyim, 2022 [3] melaporkan bahwa kecerahan juga mencerminkan tingkat kesuburan air. Perairan dengan tingkat kecerahan >6 m digolongkan sebagai perairan oligotrofik, kecerahan yang berkisar antara 3 – 6 m digolongkan ke dalam lingkungan mesotrofik, sedangkan kecerahan yang berada dalam kisaran < 3 m digolongkan sebagai perairan eutrofik.

Air mengalami *eutrofik* apabila mengandung konsentrasi total fosfat (PO3-) sebesar 30 -<100µg/L, sedangkan *oligotrop* terjadi apabila fosfat dalam air sangat rendah, yaitu 0-<10 µg/L. Mesotrofik 10-<30 µg/L.; Hipertrofik apabila ≥ 100 µg/L. Keadaan *oligotrop* menyebabkan pertumbuhan ganggang menjadi terhalang. Begitupula sebaliknya, dalam keadaan *eutrop* atau kadar fosfat tinggi dalam perairan, maka terjadi pertumbuhan tanaman dan ganggang tidak terkendali. Sehingga keadaan ini dapat mereduksi jumlah oksigen terlarut air [19].

Studi ini berisi kajian tentang eutrofikasi perairan yang merupakan salah satu jenis pencemaran yang berdampak buruk terhadap kualitas air, jenis atau penyebab terjadinya eutrofikasi, dampak bagi lingkungan, dan beberapa upaya penanggulangan terhadap peristiwa eutrofikasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada sektor kesehatan lingkungan perairan, program konservasi lingkungan dan biota, program pengelolaan lingkungan perairan, mitigasi bencana, dan pelestarian keanekaragaman hayati di Indonesia. Studi review ini diharapkan dapat menjadi informasi penting bagi masyarakat, stakeholder, pemerhati lingkungan, serta Pemerintah Daerah dalam melestarikan lingkungan perairan yang pada umumnya memiliki nilai ekonomis yang tinggi atau bahkan dapat menjadi sumber mata pencaharian bagi masyarakat di sekitarnya.

MATERI dan METODE

Literatur review ini mengkaji tentang eutrofikasi sebagai petaka di dalam kesuburan perairan, jenisnya, termasuk sumber ataupun penyebab terjadinya eutrofikasi, dampak, serta solusi penanganannya. Studi ini mereview beberapa hasil penelitian terdahulu yang berlangsung dari Januari-Mei 2024. Pencarian beberapa artikel ilmiah telah menggunakan beberapa kata kunci: Eutrofikasi (*eutrofication),* Status tropik *(trofic status),* Unsur hara organik *(organic nutrient),* Limbah *(waste water),* Kualitas perairan *(water quality),* Parameter Fisika-Kimia lingkungan *(physical-chemical parameters)*, Kajian ekologis *(Study of Ecology)*, Fosfor dan Nitrat *(Phosphate and Nitrate)*, dan Blooming alga *(Algal bloom)*. Studi literatur ini merupakan hasil review dari 25 artikel ilmiah dan selebihnya berasal dari buku, monograf dan Research report. Penelusuran database artikel melalui Science Direct, Geogle Scholar, dan Mendeley.

Beberapa artikel ilmiah yang relevan dari hasil penelusuran maupun pencarian dipilih berdasarkan tema yang berkorelasi dengan eutrofikasi ataupun berhubungan dengan beberapa kata kunci studi literatur review tersebut. Literasi artikel ilmiah merupakan hasil pencarian dari jurnal internasional, jurnal internasional bereputasi, dan jurnal nasional bereputasi. Pada umumnya artikel tersebut diperoleh dari berbagai penerbit, seperti Springer, Elsevier, MDPI, Taylor and Francis, serta ATMOS. Teknik analisis data dalam studi literatur ini, yaitu 1) pengumpulan sumber data berbagai artikel ilmiah, seperti jurnal, buku, *Research Report* (laporan penelitian), monograf, dan beberapa sumber lainnya yang relevan dengan tema atau topik yang diteliti; 2) tahap seleksi yang berupa pemilihan literatur yang sesuai dengan kriteria yang diinginka, seperti tema atau topik yang sesuai, kecocokan metode, tahun penerbitan artikel ilmiah; 3) analisis kualitatif yang berfokus pada penerapan konsep, teori, maupun framework. Adapun teknik kuantitatif, difokuskan pada temuan yang berhubungan dengan statistik, pengaruh dan korelasi antar variable; 4) tahap sintesis yang berupa identifikasi terhadap kekonsistenan ataupun ketidakkonsistenan berbagai literatur yang

Copyright © 2025 The Author. JKLI, ISSN: 1412-4939 – e-ISSN: 2502-7085.

ada; 5) temuan kesenjangan. Hasil ini dapat membantu dalam perumusan masalah yang mampu membangun basic penelitian yang diinginkan. Adapun kriteria artikel ilmiah hasil literatur review adalah jenis artikel yang telah dipublikasikan selama tahun 2006 sampai dengan tahun 2024. **Tabel 1** di bawah ini memberikan data penelitian dalam bentuk jurnal, laporan, buku, dan monograf dalam studi review ini.

Tabel 1. Beberapa data tentang kajian eutrofikasi, dampak, upaya penanggulangan

No	Fokus Analisis	Wilayah Kajian Perairan	Referensi
1	Eutrofikasi, dampak yang ditimbulkan, dan kualitas air	Daerah Estuaria Tropis Brazil	Alves et al., 2016
2	Harmful Alga Bloom (fenomena alga bloom) di pesisir dan lautan, faktor biotik dan abiotik yang berpengaruh, serta permodelan matematika Harmful Alga Bloom	Semenanjung Iberian Atlantik Utara (negara bagian Portugal); Laut Cina bagian Timur; Laut Inggris (United Kingdom)	Patricio A. Diaz et al., 2016; Yuntao Zhou et al., 2017; Dimitry Aleynik et al., 2016
3	Persfektif pengendalian eutrofikasi yang optimal di Eropah	Pesisir, sungai, danau, dan wilayah sirkulasi air Spanyol, Austria, Belanda, Norwegia, Swiss, Francis, Laut Baltik, Atlantik, Laut Hitam, serta mediterania	Francisco J. Fernández et al., 2023; Donald F. Boesch, 2019; Gunni Ærtebjerg et al, 2006; Wind T. Et al., 2007; Ligia B. Azevedo et al., 2015; Jesper H. Andersen, et.al, 2019; Le Moal et al., 2019
4	Kajian Eutrofikasi: penyebabnya, efek yang ditimbulkan, faktor Fisika, Kimia, & Biologi, serta strategi mitigasinya	Wilayah Perairan Nigeria	Solomon O. Akinnawo, 2023
5	Pengolahan limbah pabrik dalam menghilangkan kandungan nitrogen dan fosfat sebelum dilepaskan ke wilayah perairan	Wilayah Perairan Jepang	Yamasitha et al., 2014
6	Teori eutrofikasi: defenisi, jenis, dan dampak yang ditimbulkan	Ekosistem air tawar: sungai, danau, situ, rawa, dan lain-lain	Darmayani et al., 2021; Handayani et al., 2020; Sa'diyah et al., 2021; Alang et al., 2022; Adrianto Hebert et al., 2021; Dailami et al., 2020
7	Kualitas air, Parameter ekologis (Fisika, Kimia, & Biologi) perairan, dan hubungannya dengan Eutrofikasi	Wilayah pesisir dan Lautan di Sulawesi	Yusal & Hasyim, 2017; Yusal et al., 2019; Yusal, 2020; Yusal 2021; Yusal et al., 2020; 2021; 2022; Hasyim et al., 2023; Yusal & Hasyim, 2023
8	Distribusi khlorofil a dan fitoplankton sebagai indikator tingkat trofis	Perairan Teluk Meulaboh, Aceh, Perairan Jakarta, Lampung, dan Teluk Semangka	Neneng Marlian et al., 2015; Ario Damar et al., 2012
9	Assesment penggunaan lahan di pesisir dan efek yang ditimbulkan	Perairan Teluk Banten	Doydee & Siregar. 2006
10	Pengendalian eutrofikasi di danau serta peran partisipasi masyarakat di sekitarnya	Ekosistem air tawar (Danau Rawapening)	Agatha S. Piranti, 2019
11	Regulasi pengelolaan dan pengendalian pencemaran air	Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup RI.; Wastewater as a resource by European Union	Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup Nomor 28 Tahun 2009; Environment and Natural Resources Department in European Union, 2022
12	Penanggulangan nutrisi dan air limbah fosfor secara global di Australia dan Amerika	Pengelolaan kualitas perairan secara global, dampaknya di lingkungan sungai, danau, rawa, dan muara (eutrofikasi)	Liu Y., 2006; Eur Eau (Nutrients & Waste Management), 2021; Luke Mosley et al., 2020; González & Roldán et al, 2016; Scavia et al., 2006; Davis & Koop, 2006

HASIL & PEMBAHASAN

Sumber Eutrofikasi

Eutrofikasi dapat berlangsung dengan cepat akibat keberadaan aktivitas-aktivitas manusia dalam pembangunan yang menghasilkan limbah antrophogenik yang masuk ke badan perairan. Beberapa aktivitas yang menjadi pemicu eutrofikasi adalah sebagai berikut:

Sektor Pertanian

Pestisida dan pupuk merupakan polutan organik yang bersifat padat ataupun cair yang mengandung senyawa fosfat yang dapat merangsang pertumbuhan alga atau tumbuhan air menjadi tidak terkendali atau bersifat abnormal (*blooming*) [18-19]. Doydee & Siregar, 2006 [20] melaporkan bahwa pestisida juga dapat menjangkau lingkungan perairan, apabila mengalami tumpahan pada proses pencucian, pengisian,

Copyright © 2025 The Author. JKLI, ISSN: 1412-4939 – e-ISSN: 2502-7085.

pencampuran, dan penggunaan (penyemprotan).

Penggunaan pupuk nitrogen dalam budidaya pertanian juga merupakan salah satu penyebab eutrofikasi, senyawa nitrogen sangat mudah larut dan berpindah, sedangkan tanaman memiliki batasan dalam proses penyerapan unsur pupuk nitrogen. Kondisi ini dapat meningkatkan unsur nitrogen yang masuk ke tanah dan tidak terbatas pada area *sandy soil* saja, melainkan dapat terbawa sampai ke perairan. Nitrogen mudah terlepas ke lingkungan melalui proses *leaching* (pencucian) disamping karena sifat kelarutannya yang tinggi [7,10,21,22].

Sektor Perikanan

Sisa pakan dan kotoran ikan adalah jenis limbah yang mengandung nutrisi atau unsur hara fosfat dan nitrat yang dapat meningkatkan produktivitas primer sehingga pertumbuhan fitoplankton maupun alga di lingkungan perairan meningkat dengan pesat atau bahkan tidak terkendali. Keadaan tersebut disebut blooming alga atau tumbuhan air yang sangat merugikan biota-biota yang hidup di ekosistem perairan [6,18,23]. Musim pancaroba merupakan ancaman terhadap perairan dari bahaya eutrofikasi, pada musim tersebut terjadi pemanasan cahaya matahari yang berlebih, peningkatan suhu udara, serta tiupan angin kencang yang menimbulkan pergolakan massa air. Kondisi ini akan menstimulasi kenaikan arus dasar perairan yang membawa endapan massa air. Endapan tersebut mengandung senyawa-senyawa tertentu dapat menurunkan kandungan oksigen terlarut, kondisi inilah yang dapat menyebabkan kematian ikan secara massal [22-25]. Salah satu bentuk aktivitas budidaya perikanan sebagai pemicu eutrofikasi, disajikan pada **Gambar 2** berikut:



Gambar 2. Salah satu aktivitas budidaya perikanan yang menyebabkan eutrofikasi di ekosistem danau
Sumber: Dokumentasi Primer, 2024

Sektor peternakan

Limbah kotoran ternak mengandung senyawa fosfor yang sudah terakumulasi dalam bentuk fosfat ketika berada di lingkungan perairan. Pada umumnya pemusatan aliran (*runoff)* senyawa fosfat di badan air terjadi di sekitar peternakan ayam, sapi, kerbau, bebek, kambing, dan babi [11,28,26]. Penggunaan kompos dari kotoran ternak juga merupakan penyumbang terbesar terjadinya eutrofikasi di alam, dalam hal ini unsur organik fosfat dalam kandungan pupuk akan terlepas ke perairan melalui hujan atau aliran tertentu ketika terjadi penggunaan kompos dalam skala besar [27-28]. **Gambar 3** di bawah menunjukkan aktivitas peternakan dapat meningkatkan kandungan fosfor di perairan.

Industri dan aktivitas pertambangan

Pada umumnya senyawa fosfat di lingkungan industri digunakan untuk mencegah terjadinya oksidasi besi atau kalsium karbonat yang berubah bentuk. Senyawa tersebut mampu mencapai badan perairan karena faktor alami atau kelalaian manusia [27]. Aktivitas pertambangan juga dapat menjadi penyebab lepasnya fosfor ke area perairan. Salah satu bentukan fosfor yang mudah ditemukan di lokasi pertambangan adalah jenis fosfat yang berwujud apatite ($Ca_5F(PO_4)_3$) di dalam kandungan mineral tambang [12,29]. Aktivitas lainnya yang menjadi pemicu terekspos nya fosfor di perairan adalah penggunaan orthofosfat dan polifosfat dalam industri pengolahan air minum ataupun penyediaan sarana air bersih [30-31].



Gambar 3. Aktivitas peternakan yang dapat meningkatkan kandungan fosfor di badan air
Sumber: Dokumentasi Primer, 2023

Limbah domestik

Limbah hasil aktivitas rumah tangga merupakan penyumbang terbesar dalam peristiwa eutrofikasi, terutama detergen sebagat sumber fosfat yang terkandung dalam air limbah. Pemerintah mengalami kendala dalam membatasi penggunaan detergen dalam kehidupan sehari-hari karena senyawa tersebut telah menjadi kebutuhan utama dalam rumah tangga, misalnya untuk keperluan mencuci [13,30]. Pada umumnya setiap satu keluarga sudah memanfaatkan detergen sebagai bahan pelengkap di lingkungan rumah tangga, sedangkan limbah detergen sangat susah diuraikan oleh bakteri dan bahkan masih bertahan/aktif dalam periode waktu lama. Beberapa peraturan pemerintah dalam bentuk undang-undang untuk mengatur batasan atau pelarangan pemakaian detergen yang mengandung fosfat, tetapi belum berhasil mengeliminir permasalahan eutrofikasi [24,31].

Begitupula dengan limbah kotoran manusia yang merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya eutrofikasi karena mengandung zat adiktif fosfat yang dapat meningkatkan kandungan senyawa fosfat di dalam kotoran manusia, dimana zat tersebut berasal dari bahan makanan instant dan berpengawet yang telah dikonsumsinya [7,32]. Senyawa fosfat tersebut sangat memungkinkan terbawa ke lingkungan perairan melalui saluran air atau jamban, bahkan melalui

Copyright © 2025 The Author. JKLI, ISSN: 1412-4939 – e-ISSN: 2502-7085.

saluran limbah yang mengarah ke sungai ataupun muara [33]. **Gambar 4** berikut menunjukkan saluran limbah domestik yang mengarah ke perairan.



Gambar 4. Saluran limbah domestik yang mengarah pada perairan
Sumber: Dokumentasi Primer, 2023

Sektor kehutanan dan alih fungsi lahan

Peristiwa kebakaran hutan dapat memicu terjadinya erosi tanah yang disertai pelepasan ikatan fosfor dari partikel-partikel tanah yang dapat menuju ke lingkungan perairan akibat terbawa arus sungai ataupun melalui air hujan. Begitupula dengan aktivitas alih fungsi lahan yang disertai dengan pembukaan lahan baru, seperti konversi lahan basah/rawa menjadi lahan tertentu. Aktivitas tersebut sangat memungkinkan terjadinya erosi tanah yang menjadi penyebab pelepasan fosfor dari lapisan tanah atau terekspos ke lingkungan perairan. Senyawa fosfor yang terlepas ke perairan mengalami penguraian menjadi fosfat (orthofosfat) yang mampu diserap oleh alga maupun tumbuhan air sehingga mengalami pertumbuhan yang tidak terkendali [20,34].

Dampak Eutrofikasi

Pada umumnya eutrofikasi terjadi pada ekosistem air tawar, seperti danau, sungai, waduk/situ, dan lain-lain. Eutrofikasi memberikan dampak negatif bagi ekosistem perairan dan sekitarnya yang akan dikaji berikut ini:

Penurunan biodiversitas atau kepunahan biota perairan

Ekosistem perairan merupakan habitat dari berbagai jenis organisme atau spesies tertentu, oleh karena itu gangguan yang terjadi di lingkungan perairan akan berdampak buruk terhadap semua organisme yang menghuni lingkungan tersebut [35]. Pencemaran atau degradasi lingkungan perairan adalah dampak utama terjadinya eutrofikasi. Kejadian tersebut berlangsung secara bertahap yang pada akhirnya akan merubah lingkungan perairan menjadi daratan atau lingkungan tertentu, dalam hal ini perubahan yang terjadi akan diikuti dengan perubahan jenis-jenis organisme yang mendiami lingkungan tersebut [36,37]. Begitupula pada lingkungan perairan yang mengalami eutrofikasi, tetapi merupakan habitat dari biota yang bersifat endemik, maka secara perlahan biota-biota tersebut tidak mampu bertahan hidup dan pada akhirnya akan mengalami kepunahan.

Penurunan kualitas air dan keterpurukan nilai estetika lingkungan

Salah satu dampak buruk dengan adanya eutrofikasi adalah penurunan kadar Oksigen Terlarut (DO) dan fluktuasi pH air yang akan berdampak terhadap kehidupan organisme di lingkungan perairan [38]. Peningkatan kandungan limbah organik fosfat dan nitrat dalam peristiwa eutrofikasi akan memicu pertumbuhan yang abnormal (blooming) pada alga maupun tumbuhan air lainnya yang memerlukan kandungan oksigen yang melimpah, sehingga hal ini akan berdampak pada penurunan kandungan DO perairan (31–33). Sementara kandungan DO dibutuhkan oleh biota air untuk memenuhi kebutuhan pernapasan, pertumbuhan dan perkembangan, perkembangbiakan, serta mengatur proses metabolisme atau pertukaran zat [33,39,40].

Proses nitrifikasi-denitrifikasi dalam eutrofikasi melalui bakteri *Nitrococcus* sp, *Nitrosomonas* sp, dan *Nitrobacter* sp juga mengakibatkan lingkungan perairan berubah warna menjadi kehijauan, kekeruhan semakin meningkat, dan bau yang menyengat [13,41]. Bau yang timbul disebabkan oleh peningkatan proses metabolisme bakteri yang membutuhkan oksigen, sedangkan produk metabolisme bakteri anaerob yang terdiri senyawa H_2S ataupun NH_3 adalah senyawa yang menimbulkan bau yang sangat menyengat (bau tidak sedap atau anyir) [18,42.] Adapun dampak lain dari metabolisme bakteri anaerob adalah hadirnya berbagai jenis cyanobacteria *(blue-green algae*) yang bersifat fatogen di badan perairan sehingga menjadi ancaman sangat serius bagi biota air [43]. **Gambar 5** berikut ini, menunjukkan keterpurukan nilai estetika lingkungan akibat eutrofikasi.



Gambar 5. Keterpurukan nilai estetika lingkungan akibat eutrofikasi
Sumber: Dokumentasi Primer, 2022

Kerawanan bencana ekologis

Beberapa wilayah atau daerah tertentu telah memanfaatkan danau/waduk buatan sebagai tempat resapan air, pelarian air, dan sarana penampungan air bersih. Oleh karena itu, kejadian eutrofikasi di lingkungan perairan akan menimbulkan perubahan-perubahan lingkungan seperti pendangkalan perairan atau perubahan ekosistem perairan menjadi terseterial atau daratan. Kondisi tersebut telah menciptakan resiko kerawanan ketika datangnya bencana ekologis, seperti banjir atau banjir bandang. Dimana bencana tersebut telah terbukti menimbulkan kerugian dan kesusahan/penderitaan yang sangat besar di kalangan masyarakat.

Copyright © 2025 The Author. JKLI, ISSN: 1412-4939 – e-ISSN: 2502-7085.

Perbedaan persepsi dan resiko biaya tinggi dalam proses pencegahan, pemulihan, dan penanggulangan eutrofikasi

Dampak lain terjadinya blooming alga atau tumbuhan akuatik lainnya saat eutrofikasi adalah tereduksinya nilai konservasi, rekreasional, dan pariwisata yang membutuhkan biaya ekonomi yang sangat mahal dan tidak sedikit dalam proses pencegahan, pemulihan, dan penanggulangannya. Bahkan terjadi perbedaan persepsi tentang eutrofikasi bagi sebagian masyarakat Indonesia, dalam hal ini beberapa masyarakat telah menganggap bahwa eutrofikasi justru akan mendatangkan keuntungan besar karena terciptanya lahan baru yang bisa disulap menjadi kawasan real estate atau berbagai peruntukan lainnya [15,44]. Begitupula dengan lingkungan perairan yang mengalami blooming eceng gondok (*Eichhornia crassipes* Mart), dapat menjadi lahan yang mendatangkan pundi-pundi uang bagi sebagian masyarakat karena tumbuhan air tersebut dapat diolah menjadi beberapa hasil kerajinan tangan yang bernilai ekonomis di pasaran.

Eutrofikasi di kawasan pesisir dan laut

Eutrofikasi juga sangat memungkinkan terjadi di sepanjang pesisir atau di lautan karena Indonesia digolongkan sebagai negara yang memiliki perairan tropis, dalam hal ini wilayah Indonesia dapat disinari cahaya matahari selama 12 jam sehari. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi respon perairan yang sangat reaktif terhadap kontaminasi bahan-bahan organik ke dalam badan perairan atau eutrofikasi [17,45]. Blooming algae atau dapat distilahkan dengan Harmful Alga Bloom (HAB) merupakan peledakan populasi mikro algae jenis dinoflagellata dari golongan fitoplankton yang menyebabkan air laut berubah warna menjadi merah atau hijau selama 2-3 minggu. Kumpulan fitoplankton ini menghabiskan kandungan DO air sehingga mengakibatkan kematian massal bagi biota di kawasan pesisir. Terlebih lagi apabila fitoplanktonnya beracun, maka hal ini juga mengakibatkan beberapa biota seperti kerang-kerangan menjadi beracun dan berdampak buruk bagi kesehatan apabila dikonsumsi oleh manusia, seperti menimbulkan diare atau penyakit lainnya [15,46,47]. Penampakan Alga Bloom di wilayah Laut Baltik, dapat dilihat pada **Gambar 6** di bawah.

Eutrofikasi di lautan dapat menciptakan kompetisi yang ketat antara beberapa biota yang menghuni lautan. Hal ini dapat dilihat dengan kontaminasi tinggi terhadap bahan organik yang telah masuk di perairan. Kondisi ini menghalangi terumbu karang mendapatkan nutrisi dan cahaya yang masuk ke dalam perairan, apabila kompetisi tersebut berlangsung dalam jangka waktu yang lama. Maka terumbu karang akan mengalami pemutihan (bleaching) dan pada akhirnya akan mati [18,47]. Begitupula dengan terjadinya kerusakan atau kepunahan pada padang lamun (seagrass) akibat adanya kompetisi dalam memperebutkan nutrisi dan cahaya yang masuk ke badan air dengan komunitas mikroalgae lainnya. Transparansi yang berkurang akibat eutrofikasi akan menghalangi cahaya yang akan menembus badan perairan. Hal ini akan menganggu proses fotosintesis bagi tumbuhan spermatophyta air, seperti lamun [35,48].



Gambar 6. Penampakan Alga Bloom di Laut Baltik yang terekam dalam foto citra satelit
Sumber: Coalition Clean Baltic

Penanggulangan eutrofikasi

Pada dasarnya upaya penanggulangan eutrofikasi dibedakan menjadi dua, yaitu sistem input dan sistem output. Sistem input merupakan upaya pencegahan terhadap bahan-bahan pencemar yang akan masuk ke perairan, sedangkan sistem output dilakukan melalui pembersihan lingkungan perairan yang sudah terdampak eutrofikasi:

Sistem input

a. Membangun instalasi pengolahan limbah yang berfungsi sebagai penyaring limbah kandungan organik fosfat ataupun nitrat hasil olahan industri atau sumber utama lainnya. Sistem pengolahan limbah tersebut terdiri dari pengontrolan, perombakan, penguraian, dan pengalihan senyawa fosfor atau nitrat yang telah terdifusi dalam limbah kotoran, pertanian, perikanan, pertanian, detergen, dan lain-lain [30,47]. Beberapa kota besar di Indonesia seperti DKI Jakarta, Bandung, Surabaya, Denpasar dan Makassar telah mengembangkan sistem pengolahan limbah IPAL, pengolahan berbasis biofiltrasi, dan penerapan teknologi bioreaktor yang berbasis mikroorganisme [41, 45, 46,50]:
    1. Pengolahan Limbah Terpadu (Integrated Wastewater Treatment). Pengolahan limbah ini merupakan gabungan proses pengolahan yang berguna dalam mengurangi kandungan nutrien seperti fosfor dan nitrogen. Metode yang digunakan adalah denitrifikasi, yaitu nitrogen dalam bentuk nitrat diubah menjadi gas nitrogen yang tidak berbahaya kemudian dilepaskan ke atmosfer. Metode selanjutnya adalah penghilangan Fosfor dengan penambahan bahan kimia seperti alum (aluminium sulfat) atau besi klorida yang mengikat fosfor menjadi senyawa tak larut, sehingga mengendap dan dapat dipisahkan dari air.
    2. Pengolahan Air dengan Alga (*Algae-based Treatment*). Teknologi ini menggunakan

Copyright © 2025 The Author. JKLI, ISSN: 1412-4939 – e-ISSN: 2502-7085.

alga dalam mengurangi nutrien di perairan. Alga tersebut digunakan dalam menyerap nitrogen dan fosfor melalui proses fotosintesis, mengurangi nutrien yang dapat merangsang pertumbuhan alga berbahaya lainnya. Selain itu, alga digunakan untuk meningkatkan kandungan oksigen di dalam air.

3. Proses Biologis dengan Mikroorganisme (*Biological Nutrient Removal*-BNR). Pengolahan ini menggunakan mikroorganisme untuk menguraikan kandungan organik dan menghilangkan nutrien dari air limbah. Metode yang digunakan dalam BNR adalah sekuensial batch reactor (SBR), dalam hal ini bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi bekerja secara bergantian pada kondisi anaerob dan aerob sehingga mengurangi kandungan nitrat dan fosfor.
4. Wetlands Buatan (*Artificial Wetlands*). Wetlands buatan merupakan ekosistem buatan yang berguna untuk memfilterisasi air limbah. Tanaman di wetlands tersebut dapat menyerap nutrien berlebih seperti fosfor dan nitrogen, sedangkan mikroorganisme di dalam tanah dapat menguraikan bahan organik yang terlarut. Ekosistem buatan ini sangat efektif dalam mengurangi eutrofikasi karena secara alami memproses kelebihan nutrien yang menyebabkan pertumbuhan ganggang.
5. Aerasi untuk peningkatan Oksigen Terlarut. Teknologi tersebut berguna untuk meningkatkan kadar oksigen dalam air dan mengurangi pembusukan bahan organik. Aerasi juga dapat membantu proses nitrifikasi yang mengubah amonia menjadi nitrat.

b. Menerapkan pendekatan sosio-ekologis melalui partisipasi masyarakat yang telah terintegrasi dengan program pemerintah atau lembaga swasta dalam mengatur dan mengontrol input nutrisi di perairan sehingga dapat mengurangi konsentrasi nutrisi organik. Partisipasi masyarakat dalam penanggulangan eutrofikasi sangat penting karena masalah ini berkaitan erat dengan keseimbangan ekosistem dan kesehatan manusia. Beberapa program yang melibatkan masyarakat setempat berorientasi pada keberlanjutan maupun restorasi ekosistem yang dapat menciptakan lingkungan yang lebih sehat. Beberapa partisipasi masyarakat tersebut antara lain [22,50]:
   1. Pengelolaan sampah dan limbah
      Masyarakat berperan aktif dalam mengurangi sampah plastic maupun limbah rumah tangga yang kemungkinan mencemari danau, mereka dibekali program edukasi tentang tata cara membuang sampah yang baik dan benar dan cara pemilahan sampah
   2. Penyuluhan dan pendidikan lingkungan
      Informasi tentang dampak negatif eutrofikasi dan pentingnya menjaga kualitas perairan adalah hal yang sangat penting. Pemerintah maupun komunitas masyarakat bisa saling bekerja sama dalam pemberian pelatihan kepada petani, nelayan, serta masyarakat setempat tentang cara budidaya pertanian atau perikanan yang ramah lingkungan.
   3. Pengelolaan pertanian yang berkelanjutan, usaha yang dilakukan pada tahap ini adalah pengurangan penggunaan pupuk kimia yang berlebihan dan mempromosikan tentang pentingnya pupuk organik di kawasan Rawapening. Selain itu, perlu dikembangkan sistem pertanian berbasis konservasi, yakni teknik pertanian yang mengurangi aliran nutrisi masuk ke danau.
   4. Restorasi vegetasi. Kegiatan penghijauan dan pemeliharaan vegetasi di kawasan danau adalah salah satu usaha dalam penyerapan nutrisi berlebihan dan sekaligus mengurangi laju erosi yang mampu membawa nutrisi ke danau.
   5. Kolaborasi dengan pihak berwenang. Kolaborasi ini dapat berupa pelibatan masyarakat dalam program pengawasan kualitas air danau, selain itu diperlukan regulasi yang dapat mendukung perlindungan danau dari pencemaran.
   6. Pemantauan dan pengendalian, masyarakat dapat dilibatkan dalam kegiatan pemantauan kualitas air danau, seperti bergabung dalam kelompok pemantauan lingkungan. Selain itu, mereka bisa berpartisipasi dalam kegiatan pembersihan danau atau sungai yang mengalir ke arah Rawa Pening.
   7. Kolaborasi dengan Lembaga Non-Pemerintah. Organisasi masyarakat maupun NGO dapat berperan aktif dalam proses pemantauan kualitas air, mengedukasi Masyarakat setempat, dan mengusulkan kebijakan yang pencegahan pencemaran perairan yang ramah lingkungan.

c. Monitoring atau pengontrolan laju pertumbuhan penduduk bumi (*birth control*). Peledakan jumlah penduduk di bumi telah memicu pertumbuhan berbagai aktivitas manusia yang mengakibatkan pelepasan fosfat atau senyawa lain yang berlebihan ke badan perairan. Daerah yang berpenduduk padat dan kumuh mampu menghasilkan beragam limbah organik maupun anorganik yang bisa terlepas ke lingkungan perairan. Begitupula dari segi pola hidup dan kebiasaan penduduk urban dalam mengkonsumsi

Copyright © 2025 The Author. JKLI, ISSN: 1412-4939 – e-ISSN: 2502-7085.

makanan cepat saji yang dapat menghasilkan limbah kotoran organik sebagai pemicu eutrofikasi.

Sistem output

a. Pengerukan sedimen (*Dredging*) perairan untuk membuang senyawa atau nutrisi yang telah mengendap bersama algae/tumbuhan air yang tumbuh di atasnya. Beberapa tujuan lain dari *Dredging* adalah mengeliminasi zat-zat toksik di perairan, mereduksi makrofita, dan memperbaiki kondisi substrat dasar perairan. Upaya tersebut sulit dilakukan apabila eutrofikasi berlangsung pada perairan yang dalam dan luas karena membutuhkan waktu dan biaya [44,51].
b. Mengambil tumbuhan air atau algae yang tumbuh subur di perairan. Upaya ini bisa dilakukan, tetapi memerlukan biaya yang tidak sedikit apalagi lokasi yang terdampak merupakan wilayah perairan yang luas. **Gambar 7** di bawah ini yang menunjukkan upaya penanggulangan dengan membuang eceng gondok yang tumbuh subur di badan air.
c. Menyuplai udara ke badan perairan untuk mengatasi kekurangan kandungan oksigen terlarut di perairan, upaya tersebut sangat susah terealisasi karena membutuhkan biaya yang sangat mahal.
d. Memberantas jenis ikan tertentu (ikan karper) yang kerap melakukan pengadukan nutrisi di dalam sedimen atau substrat dasar sehingga unsur-unsur nutrisi tersebut tersebar ke lingkungan perairan. Upaya ini tidak bisa direalisasikan karena sangat bertentangan dengan Undang-Undang Perlindungan Satwa.
e. Penambahan zat flokulan. Senyawa kimia ini merupakan jenis Aluminium Sulfate atau Alum yang tidak beracun, tetapi mampu menurunkan kadar fosfor dalam air [45].



Gambar 7. Upaya penanggulangan eutrofikasi melalui pembuangan tumbuhan air yang tumbuh subur
Sumber: Dokumentasi Primer, 2024

Penanggulangan Eutrofikasi di Australia, Eropah, dan Amerika

Penanggulangan eutrofikasi masih menghadapi tantangan besar di Indonesia akibat pengelolaan limbah yang tidak efektif, peraturan yang terabaikan, dan keterbatasan dalam proses teknologi pengelolaan air. Meskipun hal ini terjadi, upaya rehabilitasi ekosistem dan perbaikan kualitas air tetap dilaksanakan di berbagai wilayah. Beberapa Upaya penanggulangan yang tetap dilakukan antara lain: 1) penanggulangan pencemaran yang berasal dari limbah domestik dan industri yang meliputi pengelolaan limbah cair rumah tangga dan industri; 2) rehabilitasi ekosistem pesisir dan danau dilakukan, seperti di Danau Toba dan wilayah pesisir Makassar, dengan konsep perbaikan kualitas air melalui pengurangan limbah pertanian dan limbah rumah tangga; dan penerapan kebijakan dan regulasi dengan memperketat standar kualitas air dan penerapan teknologi ramah lingkungan [18,22,27,47].

Penanggulangan eutrofikasi di Amerika Serikat jauh lebih maju dengan berbagai kebijakan dan penerapan teknologi modern, seperti 1) Program TMDL (*Total Maximum Daily Load*) dengan menetapkan batas maksimum pencemaran di badan air dan berfokus pada metode pengurangan pencemaran nutrien, terutama fosforus dan nitrogen; 2) Teknologi pengelolaan limbah dengan mengimplementasikan sistem pengelolaan limbah yang efisien dan modern; 3) Restorasi ekosistem yang berupa proyek restorasi dengan program pemulihan danau dan sungai yang tercemar melalui sistem berkelanjutan, seperti pengelolaan alga dan pengendalian limbah pertanian melalui buffer zone [51,52].

Uni Eropah juga telah menerbitkan kerangka kebijakan yang ketat terkait pengelolaan air dan telah tertuang dalam program Water Framework Directive (WFD), yang berguna dalam peningkatan kualitas air di kawasan Eropa, seperti 1) mereduksi polusi pertanian di Uni Eropa melalui pengaturan penggunaan pupuk dan pestisida sebagai sumber dari limbah nutrient;2) Rehabilitasi dan pemeliharaan ekosistem air. Beberapa negara maju di kawan Eropah, seperti Jerman dan Swedia telah melakukan restorasi ekosistem alami, seperti rawa-rawa yang dapat digunakan sebagai penyerap nutrien yang berlebihan; 3) Infrastruktur pengelolaan air yang lebih maju, terintegrasi dan berfokus pada pengelolaan nitrogen dan fosforus [41,42,46,50].

Negara Jepang juga telah memiliki sistem yang sangat terstruktur dan mampu menangani eutrofikasi melalui penekanan pada teknologi tinggi dalam proses pemeliharaan kualitas air; 1) Teknologi pengelolaan limbah canggih dan sangat maju, melalui pengolahan air limbah dengan efisiensi tinggi; 2) Kebijakan yang ketat: Jepang telah menerapkan peraturan yang ketat mengenai kualitas air dan pencemaran limbah industri ataupun domestic; 3) Pemulihan ekosistem pesisir, danau dan sungai untuk meningkatkan kualitas air [38,45,48].

Penanggulangan eutrofikasi di Australia dilakukan melalui pendekatan berbasis komunitas dan telah berkolaborasi dengan pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta: 1) Program penanggulangan berbasis komunitas yang dapat membantu mengurangi pencemaran dari sektor pertanian dan mendorong

Copyright © 2025 The Author. JKLI, ISSN: 1412-4939 – e-ISSN: 2502-7085.

penerapan pertanian yang ramah lingkungan; 2) Infrastruktur pengolahan limbah yang efisien untuk mengurangi polusi; Restorasi ekosistem pesisir dan danau dilakukan melalui perbaikan kualitas air dan meminimalisir dampak eutrofikasi [39,43,49]. Penelitian review ini tidak terlepas dari keterbatasan data hasil penelitian karena fokus review memerlukan pemantauan yang berkala dan kurangnya data historis sehingga menghambat pemahaman tentang trend eotrofikasi jangka panjang.

SIMPULAN

Penyebab utama terjadinya eutrofikasi adalah keberagaman aktivitas manusia yang menghasilkan limbah antrophogenik dari sektor pertanian, peternakan, perikanan, dan limbah domestik. Dampak utama eutrofikasi adalah penurunan tingkat biodiversitas atau kepunahan biota perairan akibat perubahan lingkungan yang menyebabkan biota perairan memiliki adaptasi yang terbatas sehingga akhirnya akan punah. Dampak lainnya adalah penurunan kualitas perairan dan keterpurukan estetika lingkungan, seperti kandungan DO yang semakin menipis dan bahkan terjadi *anoxia* atau kondisi kehabisan oksigen akibat blooming algae. Hasil metabolisme bakteri anaerob yang terdiri dari senyawa H_2S ataupun NH_3 juga telah menimbulkan bau yang sangat menyengat sehingga menurunkan nilai estetika lingkungan. Beberapa upaya yang efektif dalam penanggulangan eutrofikasi:1) penggunaan teknologi pengolahan limbah yang efisien dan ramah lingkungan. Hal ini dapat dilihat pada penggunaan *artificial wetland* yang terpasang di bagian hulu atau areal pertanian, dimana ekosistem buatan ini sangat efektif untuk mengurangi eutrofikasi karena mampu secara alami memproses kelebihan nutrien sebagai pemicu pertumbuhan ganggang; 2) mengontrol dan mereduksi kandungan senyawa limbah organik dari sumbernya secara berkelanjutan. Upaya tersebut dapat berupa pengontrolan sumber limbah organik dan sistem transportasinya yang disebut "*critical source area*"; 3) Pengurangan konsentrasi bahan pencemar limbah cair berdasarkan peraturan pemerintah dan pendekatan sosio-ekologis (partisipasi masyarakat). Adapun rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah sangat perlu diadakan penelitian tentang efek peningkatan nutrien terhadap struktur komunitas plankton, nekton, dan bentos. Selain itu diperlukan penelitian yang mengkaji pemahaman dan kesadaran masyarakat tentang penyebab, dampak, dan penanggulangan eutrofikasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Darmayani, S., Rudy Hidana, Fransina S Latumahina, Sandriana Juliana N., Masni Veronika S., Ronnawan Juniatmoko, Rosi W., MZ Novita, Ardli Swardana, Pelita Octorina, Gunaria S., Anggi Khairina Hanum H., Muh Sri Yusal, A.M. Ekologi, Lingkungan Hidup dan Pembangunan. Widina Bhakti Persada Bandung. 2021a. 1–291 p. Available from: www.penerbitwidina.com
2. Darmayani, S., Hidana, R., Sa'diya, A., Isrianto, P. L., Hidayati, Jumiarni, D., Hafsari, A. R., Latumahina, F. S., Setyowati, Solikah Ana E., Sri Kurniati, Syam, S., Sufiyanto, M. I., Yusal, M. S., Watuguly, T. W., & Gultom, V. D. N.. Bioteknologi Teori dan Aplikasi. Widina Bhakti Persada Bandung. 2021b. 1–321 p.
3. Yusal MS, Hasyim A. Kajian Kualitas Air Berdasarkan Keanekaragaman Meiofauna dan Parameter Fisika-Kimia di Pesisir Losari, Makassar. J Ilmu Lingkungan. 2022;20(1):45–57. https://doi.org/10.14710/jil.20.1.45-57
4. Adrianto Hebert, Ulinniam, Purwanti Eny W., Yusal Muh. Sri, Widyastuti Dyah A., Sutrisno E., Tamaela Kevin A., D. Muhammad, Purbowati Rini, Angga La Ode, Hasibuan Anggi K. Hanum, Hariri Muhammad R., Nendissa Dessyre M., Nendissa Sandrina J., Noviantari Ariyani, & Chrisnawati Lili. *Bioteknologi*. 2021. 1–71 p.
5. Yusal, M. S., Marfai, M. A., Hadisusanto, S., & Khakhim, N. Analisis Ekologis Meiofauna Sebagai Bioindikator Di Pesisir Pantai Losari, Makassar. Bionature. 2019a;19(1). https://doi.org/10.35580/bionature.v19i1.7308
6. Yusal, M. S., Marfai, M. A., Hadisusanto, S., & Khakhim, N. Abundance of Meiofauna and Physical-Chemical Parameters as Water Quality Indicator. Ilmu Kelaut Indones J Mar Sci. 2019b;24(2):81–90. https://doi.org/10.14710/ik.ijms.24.2.81-90
7. Yusal MS, Marfai MA, Hadisusanto S, Khakim N. Abundance and diversity of meiofauna as water quality bioindicator in Losari Coast, Makassar, Indonesia. Ecol Environ Conserv. 2019;25(2):589–98. https://doi.org/10.1088/1755-1315/256/1/012024
8. Hasyim A, Yusal MS, Syamsuri S, Alang H. Meiobenthos Community as a Description of Environmental Changes at Losari Beach, Makassar. J Penelit Pendidik IPA. 2023;9(11):10308–16. https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i11.3773
9. Yusal MS. Studi Struktur Komunitas Meiofauna dan Kualitas Perairan Zona Pesisir Losari Makassar. J Ilmu Alam dan Lingkungan. 2020;11(2):63–71. https://journal.unhas.ac.id/index.php/jai2/article/view/10676.
10. Yusal MS. Studi Potensi Eutrofikasi Di Pesisir Losari Makassar. Enggano. 2021;2(2):348–57.
11. Yusal MS, Marfai MA, Hadisusanto S, Khakhim N. Water Quality Study Based on Meiofauna Abundance and Pollution Index in the Coastal Zone of Losari Beach, Makassar. J Ilmu Lingkung. 2019c;17(1):172. https://doi.org/10.14710/jil.17.1.172-180
12. (APHA) American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 2017;
13. Sa'diyah, A., S. Latuhamina, F., Anita, Sutrisno,

Copyright © 2025 The Author. JKLI, ISSN: 1412-4939 – e-ISSN: 2502-7085.

Cristy Birahy, D., Yusal, M. S., Khirina, A., Raningsih, N. M., Jumiarni, D., Awwanah, M., Meylani, V., W. Purwanti, E., Intan, N., & Meiyasa, F. Dasar-Dasar Mikrobiologi dan Penerapannya. Widina Bhakti Persada Bandung; 2021. 57 p.
14. Handayani, Maharani Retna Duhita, Ulinniam CH, Buala Junaedi Sianturi, Muh. Sri Yusal, Eko Sutrisno RP, Visi Tinta Manik, Pelita Octorina, Hasria Alang EA. Biologi Umum. Widina Bhakti Persada Bandung. 2020. 19–21 p.
15. Damar A, Colojin F, Hesse KJ, Wardiatno Y. The eutrophication states of Jakarta, Lampung, and Semangka Bays: Nutrient and phytoplankton dynamics in Indonesian tropical waters. Vol. 9, Journal of Tropical Biology & Conservation. 2016. p. 61–81.
16. Hasria Alang, Deesy Widiana, Andi Fatmawati Muharram, Ria Yulia Gloria, Sartika Gunawan Putri, Muh. Sri Yusal, Sahribulan, Agus Purnomo R. Biologi Sel & Molrkuler: Konsep Biologi Sel dan Molekuler. Mataram, Nusa Tenggara Barat: Runi Fazalan; 2022. 1–15 p.
17. Alves G, Flores-Montes M, Gaspar F, Gomes J, Feitosa F. Eutrophication and water quality in a tropical Brazilian estuary. J Coast Res. 2013; 65(January):7–12. https://doi.org/10.2112/SI65-002.1
18. Marlian N, Damar A, Effendi H. The Horizontal Distribution Clorophyll-a Fitoplankton as Indicator of the Tropic State in Waters of Meulaboh Bay, West Aceh. J Ilmu Pertan Indones. 2015;20(3):272–9. https://doi.org/10.18343/jipi.20.3.272
19. Menteri Negara Lingkungan Hidup. Daya Tampung Beban Pencemaran Air Danau Dan/Atau Waduk. Menteri Lingkung Hidup. 2009;11.
20. Doydee P. & Siregar, A.V. Assessment of Coastal Land Use Changes. 2006;13(2):122–31. https://journal.biotrop.org/index.php/biotropia/article/view/224/193.
21. Muh S.Yusal dan A.Hasyim. Pemeriksaan Kualitas Perairan Berdasarkan Analisa Biodiversitas Fitoplankton (Studi Kasus Pada Pembuangan Limbah Cair Hasil Buangan PT. Kima Makassar). J Ilm Pena Sains dan Ilmu Pendidik. 2017;7(1):31–41.
22. Agatha Sih Piranti. Pengendalian Eutrofikasi Danau Rawapening [Internet]. Gd. BPU Percetakan dan Penerbitan (UNSOED Press); 2021. 34–34 p. https://www.researchgate.net/profile/Agatha-Piranti/publication/349454387
23. Sri Yusal M, Nur M. The Effect of Corncob Powder on the Oyster Mushroom Growth (Pleurotus ostreatus). Bioma. 2023;5(2):97–106.
24. Alfionita ANA, Patang P, Kaseng ES. Pengaruh Eutrofikasi Terhadap Kualitas Air Di Sungai Jeneberang. J Pendidik Teknol Pertan. 2019;5(1):9. https://doi.org/10.26858/jptp.v5i1.8190
25. Yusal MS, Marfai MA, Hadisusanto S, Khakim N. The Ecological Analysis of Meiofauna as a Water Quality Bioindicator in the Coast of Losari Beach, Makassar. IOP Conf Ser Earth Environ Sci. 2019;256(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/256/1/012024
26. Yusal MS. Analisis Kualitas Perairan Berdasarkan Indeks Ekologis Meiofauna Interstisial Ekosisitem Manggrove di Pantai Batu Gosok Kecamatan Komodo Kabupaten Manggarai Barat Nusa Tenggara. J Ilm Pena. 2012;1(1):1–15.
27. Yusal M.S. Kajian Kualitas Perairan Berdasarkan Keanekaragaman Meiofauna Interstisial, Kandungan Fosfor, dan Parameter Fisik Lingkungan di Zona Pesisir Losari Makassar. 2019; http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/183098
28. Sri Y. M. Inventarisasi Serangga Hama Tanaman Lada (Piper nigrum L .) di Matompi Kabupaten Luwu Timur. 2024;4(1):33–47.
29. Dailami, M., Tahya, C. Y., Gyta, D., Harahap, S., Duhita, M. R., Sutrisno, E., Hidana R., Supinganto, A., Puspita, R., Purbowati, R., Yusal, M.S., Alang, H., & Apriyanti, E. *Biologi umum*. Widina Bhakti Persada Bandung; 2020.
30. Handayani, Satya Darmayani, Sandriana Juliana Nendissa, Anggi Khairina Hanum Hasibuan, Rivo Hasper Dimenta, Indarjani Indarjani, Charliany Hetharia, Maharani Retna Duhita, Arwin Arif, Muh Sri Yusal, Buala Junaedi Sianturi, Ulinniam Ulinniam FSL. Fisiologi Hewan. Widina Bhakti Persada Bandung. 2021. 78–118 p.
31. Fernández FJ, Martínez A, Alvarez-Vázquez LJ. Controlling eutrophication by means of water recirculation: An optimal control perspective. J Comput Appl Math. 2023;421:114886. https://doi.org/10.1016/j.cam.2022.114886
32. Díaz PA, Ruiz-Villarreal M, Pazos Y, Moita T, Reguera B. Climate variability and Dinophysis acuta blooms in an upwelling system. Harmful Algae. 2016;53:145–59. https://doi.org/10.1016/j.hal.2015.11.007
33. Aleynik D, Dale AC, Porter M, Davidson K. A high resolution hydrodynamic model system suitable for novel harmful algal bloom modelling in areas of complex coastline and topography. Harmful Algae. 2016;53:102–17. https://doi.org/10.1016/j.hal.2015.11.012
34. Yusal MS. Respirasi dan Eskresi Organisme Heterotrof.pdf. In: Biologi Umum. Bandung: Widina Bhakti Persada Bandung; 2020.
35. Yunus M, Yusal MS, Samsi AN. Diversity of Land Insect in Polda Plantation South Sulawesi. J Pembelajaran dan Biol Nukl. 2022;8(3):795–806. https://doi.org/10.36987/jpbn.v8i3.3374
36. Yusal MS, Toni G. Fern inventorization in Cunca Rami Waterfall Zone of West Manggarai, East Nusa Tenggara. J Pembelajaran dan Biol Nukleus. 2021;7(1):218–34. https://doi.org/10.36987/jpbn.v7i1.2002
37. Samsi AN, Yusal MS. Identifikasi Tumbuhan Mangrove dan Pemanfaatannya di Pulau Aru

Copyright © 2025 The Author. JKLI, ISSN: 1412-4939 – e-ISSN: 2502-7085.

Provinsi Maluku. J Inov. Pendidik dan Sains. 2022;3(2):47–50. https://doi.org/10.51673/jips.v3i2.1012
38. Akinnawo SO. Eutrophication: Causes, consequences, physical, chemical and biological techniques for mitigation strategies. Environ Challenges. 2023;12(May). https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100733
39. Liu Y. The Human Intensified Global Phosphorus Flows and Environmental Impacts. Analysis. 2006; (December). https://pure.iiasa.ac.at/8019.
40. Department of Environment and Natural Resources. Wastewater as a resource. In *Water 21* (Issue December) Water 21. 2000. 60 p.
41. EurEau. 1 . Nutrients and the cycle of life 2 . Nutrient management is a central component of waste water treatment. Vol. 3. 2020.
42. Boesch DF. Barriers and bridges in abating coastal eutrophication. Front Mar Sci. 2019; 6 (Mar):1–25. https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00123
43. Davis JR, Koop K. Eutrophication in Australian rivers, reservoirs and estuaries - A southern hemisphere perspective on the science and its implications. Hydrobiologia. 2006;559(1):23–76. https://doi.org/10.1007/s10750-005-4429-2
44. Wind T, Henkel G., Düsseldorf. The role of detergents in the phosphate-balance of European surface waters. Eur Water Manag. 2007;1–19. https://doi.org/10.3139/113.100324
45. Yamashita T, Yamamoto-Ikemoto R. Nitrogen and phosphorus removal from wastewater treatment plant effluent via bacterial sulfate reduction in an anoxic bioreactor packed with wood and iron. Int J Environ Res Public Health. 2014; 11(9): 9835–53. https://doi.org/10.3390/ijerph110909835
46. Gunni Ærtebjerg, Jacob Carstensen, Karsten Dahl, Jørgen Hansen, Kari Nygaard, Brage Rygg, Kai Sørensen, Gunnar Severinsen, Sara Casartelli, Wolfram Schrimpf, Christian Schiller JND. Eutrophication in Europe's coastal waters. Atlantic. 2001;86 pp: http://www.eea.eu.int
47. Le Moal Morgane, Gascuel-Odoux Chantal, Ménesguen Alain, Souchon Yves, Étrillard Claire, Levain Alix, Moatar Florentina, Pannard Alexandrine, Souchu Philippe, Lefebvre Alain PG. Eutrophication: A new wine in an old bottle? Sci. Total Environ. 2019;651(February):1–11. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.139
48. Ligia B. Azevedo, Francesca Verones, Andrew D. Henderson, Rosalie van Zelm, Olivier Jolliet, Laura Scherer MAJH. Freshwater eutrophication. life cycle impact Assess approach. 2015;1–14. https://espace2.etsmtl.ca/id/eprint/29134.
49. Luke Mosley, Stacey Priestley, Justin Brookes, Sabine Dittmann, Juraj Farkaš M, Farrell, Angus Ferguson, Matt Gibbs, Matt Hipsey, Jianyin (Leslie) Huang OL, Gordillo, Stuart Simpson, Peter Teasdale, Jonathan Tyler, Michelle Waycott D, Welsh. Coorong water quality synthesis with a focus on the drivers of eutrophication. Water Re. 2020; (20). https://goyderinstitute.org/wp-content/uploads/2023/03/goyder_trs-20-10_coorong_water_quality
50. Jesper H. Andersen, Ciarán Murray, E. Therese Harvey TP. Nutrient enrichment and eutrophication in Europe's seas. EEA Report. 2019. 50 p.
51. Scavia D, Bricker SB. Coastal eutrophication assessment in the United States. Biogeochemistry. 2006;79(1–2):187–208. https://doi.org/10.1007/s10533-006-9011-0
52. Ernesto J. González and Gabriel Roldán. Eutrophication and Phytoplankton: Some Generalities from Lakes and Reservoirs of the Americas. Intech open. 2016; i: 13. https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics

©2025. This open-access article is distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.