

## KAJIAN LITERATUR TENTANG PEMANFAATAN TANAMAN AIR DALAM BIOREMEDIASI LIMBAH AMONIA PADA AKUAKULTUR

**Bhersiani Kirana Pangestu<sup>1\*</sup>, Putri Hawa<sup>2</sup>, Philipus Uli Basa Hutabarat<sup>3</sup>,  
Endang Hilmi<sup>4</sup>, & Nuning Vita Hidayati<sup>5</sup>**

<sup>1,2,4,&5</sup>Program Studi Magister Sumberdaya Akuatik, Fakultas Perikanan dan Ilmu  
Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman, Jalan Profesor DR. HR Boenyamin  
Nomor 708, Banyumas, Jawa Tengah 53122, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Magister Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,  
Universitas Jenderal Soedirman, Jalan Profesor DR. HR Boenyamin  
Nomor 708, Banyumas, Jawa Tengah 53122, Indonesia

\*Email: [kiranabhersiani@gmail.com](mailto:kiranabhersiani@gmail.com)

Submit: 29-04-2026; Revised: 22-05-2026; Accepted: 23-05-2026; Published: 06-07-2026

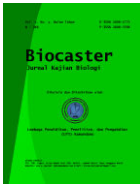
**ABSTRAK:** Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis temuan berbagai penelitian mengenai efektivitas tanaman air dalam menurunkan konsentrasi amonia pada sistem akuakultur, mengidentifikasi mekanisme fitoremediasi yang terlibat, serta membandingkan efektivitas antarjenis tanaman berdasarkan studi terdahulu. Metode yang digunakan adalah *systematic literature review* dengan pendekatan deskriptif-kualitatif. Penelitian ini tidak melakukan eksperimen atau pengambilan data primer, melainkan menggunakan data sekunder dari artikel ilmiah yang relevan. Literatur diperoleh dari *Google Scholar*, *ScienceDirect*, dan jurnal terindeks lainnya menggunakan kata kunci terkait amonia akuakultur, fitoremediasi, dan tanaman air. Kriteria inklusi meliputi artikel penelitian asli tahun 2015–2026 dan menyajikan data kuantitatif penurunan amonia. Sebanyak 15 artikel memenuhi kriteria dan dianalisis menggunakan sintesis tematik melalui pengelompokan, perbandingan, dan interpretasi data. Hasil sintesis menunjukkan bahwa tanaman air mengapung seperti *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, dan *Lemna minor* memiliki efektivitas tertinggi dengan penurunan amonia lebih dari 90% pada beberapa studi. Mekanisme utama meliputi penyerapan nitrogen oleh tanaman, rhizofiltrasi, dan aktivitas mikroorganisme melalui proses nitrifikasi di zona perakaran. Efektivitas dipengaruhi oleh biomassa, sistem perakaran, serta kondisi lingkungan seperti pH, suhu, dan konsentrasi nutrisi. Simpulan, sintesis berbagai penelitian menunjukkan bahwa fitoremediasi berbasis tanaman air efektif dan potensial sebagai teknologi pengolahan limbah akuakultur yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

**Kata Kunci:** Akuakultur, Amonia, Bioremediasi, Tanaman Air.

**ABSTRACT:** The aim of this study is to synthesise the findings of various studies on the effectiveness of aquatic plants in reducing ammonia concentrations in aquaculture systems, to identify the mechanisms of phytoremediation involved, and to compare the effectiveness of different plant species based on previous studies. The method used was a systematic literature review with a descriptive-qualitative approach. This study did not conduct experiments or collect primary data, but rather used secondary data from relevant scientific articles. Literature was obtained from *Google Scholar*, *ScienceDirect*, and other indexed journals using keywords related to ammonia, aquaculture, phytoremediation, and water plants. The inclusion criteria included original research articles from 2015–2026 that were available in full text and presented quantitative data on ammonia reduction. Fifteen articles that met the criteria were analysed using thematic synthesis through grouping, comparison, and interpretation of data. The results of the synthesis showed that floating water plants such as *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* and *Lemna minor* were the most effective, with ammonia reduction of over 90% in several studies. The main mechanisms include nitrogen absorption by the plants, rhizofiltration, and microbial activity through nitrification in the root zone. The effectiveness is influenced by biomass, root systems, and environmental conditions such as pH, temperature, and nutrient concentration. In conclusion, the synthesis of various studies shows that phytoremediation based on floating aquatic plants is effective and has the potential to be a sustainable and environmentally friendly technology for the treatment of aquaculture waste.

**Keywords:** Aquaculture, Ammonia, Bioremediation, Aquatic Plants.

Uniform Resource Locator: <https://e-journal.lp3kamandanu.com/index.php/biocaster>



**How to Cite:** Pangestu, B. K., Hawa, P., Hutabarat, P. U. B., Hilmi, E., & Hidayati, N. V. (2026). Kajian Literatur tentang Pemanfaatan Tanaman Air dalam Bioremediasi Limbah Amonia pada Akuakultur. *Biocaster : Jurnal Kajian Biologi*, 6(3), 1308-1329. <https://doi.org/10.36312/biocaster.v6i3.1332>



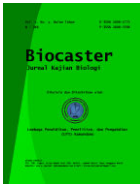
**Biocaster : Jurnal Kajian Biologi** is Licensed Under a CC BY-SA [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

## PENDAHULUAN

Budidaya ikan merupakan salah satu sektor utama dalam produksi pangan yang mengalami pertumbuhan paling pesat, dengan kontribusi mencapai 44% terhadap total produksi ikan dunia (Wahyuningsih & Gitarama, 2020). Salah satu permasalahan utama dalam sistem akuakultur intensif adalah limbah cair (Kim *et al.*, 2022) berupa air buangan dari kolam budidaya (Alivia *et al.*, 2024) yang umumnya mengandung nutrisi dan bahan organik dalam konsentrasi yang relatif tinggi (Ritonga *et al.*, 2024). Potensi masuknya amonia ke dalam air budidaya ikan dapat mencapai sekitar 75% dari kandungan nitrogen yang terdapat dalam pakan. Hanya sekitar 21–24% kandungan nitrogen dalam pakan yang dapat dimanfaatkan oleh organisme budidaya (Chaikaew *et al.*, 2019). Tingginya penebaran pada sistem budidaya intensif sebanding dengan meningkatnya penggunaan pakan dan jumlah limbah budidaya yang dihasilkan (Emerenciano *et al.*, 2022). Sejalan dengan itu, Patil *et al.* (2021) menjelaskan bahwa biota budidaya umumnya hanya mengakumulasi sekitar 20–25% protein ke dalam tubuhnya, sedangkan sisanya dilepaskan ke perairan dalam bentuk amonia dan nitrogen organik.

Senyawa Nitrogen (N) merupakan limbah terlarut yang paling menjadi perhatian dalam sistem akuakultur, karena berasal dari hasil metabolisme pakan pada ikan serta dekomposisi sisa pakan yang tidak termakan. Sekitar 40–60% nitrogen yang diperoleh dari pakan akan diekskresikan kembali dalam waktu 24 jam. Nitrogen juga merupakan unsur penting penyusun protein yang menjadi komponen utama dalam pakan akuakultur (Munguti *et al.*, 2020). Metabolisme protein yang terkandung dalam pakan menghasilkan limbah utama pada ikan berupa amonia (Yavuzcan *et al.*, 2017). Pemberian pakan dalam jumlah yang lebih besar berpotensi meningkatkan konsentrasi senyawa beracun bagi udang, seperti amonia (NH<sub>3</sub>) dan nitrit (NO<sub>2</sub>) (Effendi *et al.*, 2015a). Amonia (NH<sub>3</sub>) bersifat toksik bagi organisme akuatik, karena dapat berdifusi secara bebas melalui membran sel akibat sifatnya yang larut dalam lipid dan tidak bermuatan, sehingga mengganggu keseimbangan *ion* serta menghambat fungsi metabolik dan neurologis (Lin *et al.*, 2022). Selain itu, air limbah hasil kegiatan pemeliharaan ikan memiliki volume yang cukup besar serta mengandung konsentrasi bahan organik yang tinggi (Febrianto *et al.*, 2016).

Apabila air buangan dari kolam budidaya tersebut dialirkan langsung ke sungai, maka berpotensi menimbulkan pencemaran pada badan perairan (Ritonga *et al.*, 2024). Untuk mencegah dampak negatif yang berkelanjutan, diperlukan upaya penanganan dan pengelolaan air limbah kolam ikan secara tepat dan efektif. Salah satu metode yang dapat diterapkan adalah bioremediasi (Alivia *et al.*, 2024). Bioremediasi merupakan suatu upaya untuk memulihkan kondisi lingkungan yang



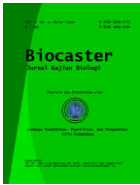
telah tercemar berbasis biologis yang dinilai efektif dalam memperbaiki kualitas air agar kembali mendekati keadaan alaminya (Yuka *et al.*, 2021). Metode ini memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dan tumbuhan air untuk menguraikan bahan organik serta senyawa nitrogen (Saputra *et al.*, 2016), guna menurunkan nilai parameter amonia ( $\text{NH}_3$ ) dan tingkat kekeruhan yang disebabkan oleh sisa pakan ikan. Teknik ini dipandang sebagai salah satu solusi yang ramah lingkungan dalam penanganan polutan, karena mampu menekan risiko dampak negatif terhadap ekosistem (Kumari & Shukla, 2021).

Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan untuk memperbaiki kualitas air sekaligus meningkatkan efisiensi pemanfaatan air dalam budidaya adalah sistem resirkulasi dengan penerapan fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan salah satu teknik biologis yang memanfaatkan tanaman beserta mikroorganisme yang berasosiasi dengannya untuk menghilangkan polutan organik maupun anorganik secara efektif (Magalhães *et al.*, 2022). Fitoremediasi dapat digunakan sebagai salah satu upaya dalam pengelolaan limbah budidaya ikan dengan memanfaatkan tanaman air untuk menyerap dan menurunkan kontaminan, termasuk amonia (Sukono *et al.*, 2020). Air limbah dari kegiatan budidaya yang kaya bahan organik dapat dimanfaatkan oleh tanaman sebagai sumber nutrisi untuk menunjang pertumbuhannya (Effendi *et al.*, 2015a). Beberapa jenis tanaman air yang umum dimanfaatkan sebagai fitoremediasi limbah antara lain selada air (*Lactuca sativa* L.), enceng gondok (*Eichhornia crassipes*), kayu apu (*Pistia stratiotes*), kiambang (*Salvinia molesta*), serta jenis lainnya.

Meskipun pemanfaatan tanaman dalam bioremediasi limbah amonia pada akuakultur telah banyak diteliti, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengujian efektivitas masing-masing jenis tanaman secara terpisah dan dalam skala eksperimental. Selain itu, hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan efektivitas antar tanaman air dalam menurunkan kadar amonia yang dipengaruhi oleh mekanisme fitoremediasi serta kondisi lingkungan budidaya. Kajian yang mengintegrasikan mekanisme fitoremediasi, efektivitas berbagai tanaman air, dan keterkaitannya dengan pengelolaan limbah akuakultur berkelanjutan masih relatif terbatas. Oleh karena itu, artikel ini disusun untuk mensintesis berbagai hasil penelitian mengenai pemanfaatan tanaman air dalam bioremediasi limbah amonia pada sistem akuakultur. Kajian ini membahas sumber dan toksisitas amonia, mekanisme fitoremediasi, efektivitas berbagai jenis tanaman air dalam menurunkan amonia, serta potensi pengembangannya sebagai teknologi pengolahan limbah yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

## METODE

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur (*literature review*) dengan pendekatan deskriptif kualitatif untuk mengkaji pemanfaatan tanaman air dalam bioremediasi limbah amonia pada sistem akuakultur. Metode penelitian kepustakaan dilakukan secara sistematis melalui tahap penelusuran, pengumpulan, seleksi, pengolahan, dan analisis sumber pustaka yang relevan. Pelaksanaan penelitian mengacu pada metode penelitian kepustakaan menurut Zed (2008) yang menekankan pengumpulan data melalui berbagai sumber literatur ilmiah serta analisis data secara kritis dan sistematis.



Pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran literatur ilmiah dari database seperti *Google Scholar*, *ScienceDirect*, serta jurnal terindeks lainnya. Proses pencarian menggunakan kata kunci “*ammonia aquaculture*”, “*ammonia removal*”, “*bioremediation*”, “*phytoremediation*”, dan “*aquatic plants*”. Teknik penentuan sampel artikel dilakukan secara *purposive sampling*, yaitu dengan memilih artikel yang secara spesifik membahas limbah amonia pada sistem akuakultur, mekanisme bioremediasi dan fitoremediasi, serta pemanfaatan tanaman air dalam penurunan nitrogen.

Literatur yang digunakan dibatasi pada artikel ilmiah, buku, dan laporan penelitian yang dipublikasikan dalam rentang tahun 2015–2026 agar data yang diperoleh tetap relevan dengan perkembangan penelitian terkini. Tahap seleksi dilakukan melalui proses identifikasi literatur, penyaringan berdasarkan judul dan abstrak, evaluasi isi artikel secara penuh, serta penentuan literatur akhir yang sesuai dengan topik kajian. Kriteria inklusi meliputi sumber yang membahas limbah amonia pada akuakultur, mekanisme bioremediasi atau fitoremediasi, peran tanaman air dalam penyerapan nitrogen, tersedia dalam teks lengkap, serta berasal dari sumber ilmiah terpercaya dan terindeks. Sementara itu, literatur yang tidak relevan, memiliki data tidak lengkap, atau tidak membahas aspek bioremediasi amonia secara spesifik dikeluarkan dari kajian.

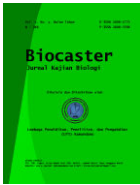
Data yang telah terkumpul kemudian dianalisis secara deskriptif kualitatif dengan cara membandingkan, mengelompokkan, dan menginterpretasikan informasi dari berbagai sumber terkait sumber amonia, karakteristik dan toksisitasnya, serta mekanisme bioremediasi, khususnya fitoremediasi dalam menurunkan konsentrasi amonia. Analisis juga dilakukan untuk mengkaji mekanisme penyerapan dan transformasi nitrogen oleh tanaman air serta peran mikroorganisme dalam proses bioremediasi. Hasil analisis selanjutnya disusun dalam bentuk uraian naratif yang sistematis untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai pemanfaatan tanaman air dalam pengolahan limbah amonia pada sistem akuakultur.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Limbah Amonia dalam Sistem Akuakultur**

#### ***Sumber Amonia dalam Akuakultur***

Amonia dalam perairan dapat berasal dari berbagai sumber, seperti pemecahan senyawa nitrogen organik berupa protein dan urea, nitrogen anorganik yang terdapat di dalam air, serta proses dekomposisi bahan organik seperti tumbuhan dan organisme akuatik mati oleh aktivitas mikroorganisme dan jamur di dasar perairan (Hamuna *et al.*, 2018). Senyawa tersebut umumnya berasal dari proses dekomposisi bahan organik, termasuk hasil ekskresi biota perairan (feses) dan sisa pakan yang tidak termakan (Hapsari *et al.*, 2021). Kotoran padat dan sisa pakan yang tidak termakan umumnya mengandung protein dalam jumlah tinggi, dan selama proses penguraian bahan organik tersebut akan terbentuk polipeptida, asam amino, hingga akhirnya menghasilkan amonia sebagai produk akhir di kolam (Masitoh *et al.*, 2015). Banyaknya amonia yang masuk ke perairan dipengaruhi oleh jumlah pakan yang diberikan dan kandungan proteinnya, karena nitrogen dari pakan tidak seluruhnya dimanfaatkan untuk pertumbuhan ikan dan sebagian akan



dilepaskan kembali dalam bentuk amonia. Proses pembusukan tersebut menghasilkan amonia yang kemudian berdifusi ke kolom air, sehingga meningkatkan konsentrasinya di perairan dan dapat memicu stres maupun gangguan kesehatan pada ikan apabila tidak dikelola dengan baik (Wahyuningsih & Gitarama, 2020).

Nitrogen amonia merupakan produk akhir katabolisme dan metabolisme protein (Chang *et al.*, 2015). Amonia cenderung terakumulasi dalam sistem perairan karena merupakan hasil samping alami dari proses metabolisme ikan. Pada ikan, sebagian besar amonia dikeluarkan dari tubuh terutama melalui difusi melalui insang ikan ke dalam air. Sejumlah kecil dikeluarkan melalui urin atau melalui jaringan lain (Francis-Floyd *et al.*, 2022). Konsentrasi protein dalam pakan berbanding lurus dengan jumlah amonia yang dihasilkan, sehingga semakin tinggi kandungan protein dalam pakan, maka semakin besar pula produksi amonia. Selain dari metabolisme ikan, amonia juga dapat berasal dari proses penguraian alga serta sisa pakan yang tidak termakan di lingkungan perairan. Kondisi ini umumnya lebih mudah menyebabkan lonjakan kadar amonia pada sistem budidaya dengan volume air yang lebih kecil.

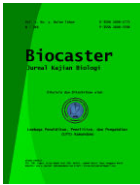
#### **Karakteristik Amonia**

Amonia merupakan salah satu senyawa penting dalam siklus nitrogen di alam serta berperan dalam proses biologis organisme. Siklus nitrogen menghubungkan nitrogen di atmosfer ( $N_2$ ) yang tidak reaktif dengan berbagai bentuk nitrogen yang dapat dimanfaatkan oleh makhluk hidup untuk pertumbuhan. Bentuk nitrogen yang bersifat reaktif, antara lain amonia tidak terionisasi ( $NH_3$ ), amonium ( $NH_4^+$ ), urea ( $CH_4N_2O$ ), nitrat ( $NO_3^-$ ), dan nitrit ( $NO_2^-$ ). Selain itu, terdapat pula nitrogen dalam bentuk gas seperti amonia ( $NH_3$ ), nitrogen monoksida ( $NO$ ), nitrogen dioksida ( $NO_2$ ), dan dinitrogen oksida ( $N_2O$ ). Sementara itu, nitrogen dalam bentuk organik terdapat pada berbagai senyawa biologis, seperti protein, pigmen, dan asam nukleat. Dalam siklus nitrogen, amonia dapat berperan baik sebagai hasil maupun sebagai bahan awal dalam berbagai proses biogeokimia dan metabolisme organisme (Edwards *et al.*, 2024).

Di dalam air, amonia dapat berada dalam bentuk amonia tak terionisasi ( $NH_3$ ) yang beracun atau ion amonium ( $NH_4^+$ ) yang kurang beracun (Xu *et al.*, 2021). Perbandingan antara amonia tidak terionisasi ( $NH_3$ ) dan ion amonium ( $NH_4^+$ ) di dalam air dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan, terutama pH dan suhu, serta dalam tingkat yang lebih kecil oleh komposisi mineral air. Pada kondisi pH dan suhu yang lebih tinggi, jumlah amonia tidak terionisasi ( $NH_3$ ) cenderung meningkat dibandingkan dengan ion amonium ( $NH_4^+$ ) (Muryanto, 2020). Tingkat toksisitas amonia bebas akan meningkat ketika kadar oksigen menurun serta suhu dan pH mengalami kenaikan. Pada kondisi pH 7, sebagian besar amonia total berada dalam bentuk terionisasi sebagai amonium, sedangkan pada pH di atas 8,75 sekitar 30% dari total amonia akan berubah menjadi amonia bebas yang bersifat lebih toksik (Wahyuningsih *et al.*, 2015).

#### **Toksisitas Amonia**

Amonia merupakan salah satu polutan nitrogen yang paling umum ditemukan di lingkungan akuakultur yang terutama dihasilkan oleh organisme akuatik dan juga bersifat toksik bagi mereka. Di perairan, amonia umumnya hadir

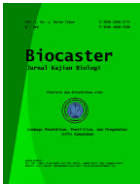


dalam dua bentuk, yaitu amonia tidak terionisasi ( $\text{NH}_3$ ) dan ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) (Zhang *et al.*, 2018). Amonia dalam bentuk tidak terionisasi lebih toksik bagi ikan dibandingkan ion amonium, karena memiliki sifat larut lipid dan tidak bermuatan, sehingga lebih mudah menembus membran biologis (Lin *et al.*, 2022).  $\text{NH}_3$  dapat berdifusi melintasi membran insang dan mengakibatkan penurunan kapasitas pengangkutan oksigen sel darah, merusak struktur, dan fungsi organ seperti hepatopankreas pada krustasea (Liang *et al.*, 2016). Setelah amonia berdifusi ke dalam jaringan, kadar amonia meningkat dan merusak sistem hati dan ginjal, serta mengakibatkan kongesti, edema, koma hati, dan bahkan kematian (Gao *et al.*, 2017). Oleh karena itu, pengendalian konsentrasi amonia di lingkungan budidaya menjadi faktor penting untuk menjaga kesehatan organisme akuatik dan keberhasilan produksi.

Toksisitas amonia dapat menyebabkan kerugian besar pada *hatchery* atau tempat pembenihan ikan. Hal ini disebabkan karena setiap spesies ikan memiliki tingkat toleransi yang berbeda terhadap amonia (Hendrianti *et al.*, 2019). Amonia dalam bentuk tidak terionisasi ( $\text{NH}_3$ ) sangat berbahaya bagi beberapa spesies ikan, bahkan pada konsentrasi rendah sekitar 0,05 mg/L yang dapat menyebabkan penurunan efisiensi konversi pakan dan laju pertumbuhan, gangguan reproduksi (infertilitas), serta meningkatkan kerentanan ikan terhadap penyakit dan infeksi bakteri. Selain itu, paparan ikan terhadap konsentrasi amonia yang tinggi dapat menyebabkan berbagai gangguan fisiologis dan perilaku, seperti hiperaktivitas, kehilangan keseimbangan, peningkatan konsumsi oksigen, peningkatan denyut jantung, serta peningkatan aktivitas pernapasan (Sodeinde *et al.*, 2023). Pada konsentrasi yang lebih tinggi, amonia juga dapat menyebabkan kerusakan jaringan dan insang, penurunan aktivitas, kejang, koma, hingga kematian, terutama pada konsentrasi yang melebihi 2,0 mg/L (Wang *et al.*, 2021). Konsentrasi amonium yang tinggi dalam darah ikan juga dapat menyebabkan ketidakseimbangan ion (*ionic imbalance*) yang mengganggu keseimbangan fisiologis ikan (Sodeinde *et al.*, 2023).

Pada sistem akuakultur, akumulasi nutrisi umumnya berasal dari sisa pakan yang tidak termakan, hasil ekskresi metabolik organisme budidaya, serta dekomposisi bahan organik (Dauda *et al.*, 2018). Secara umum, limbah dari kegiatan akuakultur mengandung berbagai jenis polutan, terutama senyawa nitrogen dalam jumlah tinggi yang sebagian besar berada dalam bentuk amonia ( $\text{NH}_4^+$ ) (Ashour *et al.*, 2021). Permasalahan ini menjadi lebih serius pada sistem akuakultur terbuka, seperti kolam, keramba jaring apung, dan kurungan tradisional, karena limbah yang kaya nutrisi dapat langsung dilepaskan ke perairan sekitarnya (Wurtsbaugh, 2019). Kondisi tersebut dapat memicu eutrofikasi, yaitu peningkatan kadar nutrisi yang tinggi di perairan (Yusal *et al.*, 2025).

Keadaan ini dapat menyebabkan ledakan populasi tumbuhan air, seperti alga dan fitoplankton. Dampak yang dapat terjadi antara lain perubahan pH, terbentuknya sianotoksin, penurunan kadar oksigen terlarut, serta meningkatnya eutrofikasi di perairan hilir seperti sungai dan danau. Kondisi tersebut juga dapat menyebabkan penurunan drastis oksigen terlarut di perairan dan bersifat toksik bagi organisme akuatik apabila konsentrasinya melebihi  $1,9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  (Cheng *et al.*, 2016). Akibatnya, keseimbangan ekosistem perairan akan terganggu, sehingga aktivitas



organisme dan biota di sekitarnya menurun. Dalam kondisi yang lebih parah, eutrofikasi bahkan dapat menyebabkan kematian berbagai jenis biota perairan, termasuk ikan dan terumbu karang (Dermawan *et al.*, 2026).

## **Konsep dan Tipe Fitoremediasi**

### **Definisi**

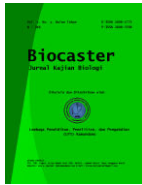
Bioremediasi berasal dari kata *bio* dan *remediasi* yang secara umum dapat diartikan sebagai proses penyelesaian suatu permasalahan dengan melibatkan makhluk hidup. Bioremediasi merupakan salah satu penerapan bioteknologi lingkungan yang memanfaatkan proses biologis untuk mengendalikan atau mengurangi pencemaran lingkungan (Dewi, 2020). Teknik bioremediasi yang umum digunakan meliputi *bioventing*, *bioreaktor*, *bioleaching*, bioaugmentasi, *composting*, *land farming*, biostimulasi, rhizofiltrasi, serta fitoremediasi (Neethu *et al.*, 2021). Istilah fitoremediasi berasal dari gabungan kata *phyto* dalam bahasa Yunani yang berarti tumbuhan dan *remedium* dalam bahasa Latin yang bermakna memulihkan, memperbaiki, atau mengatasi suatu gangguan lingkungan (Gajić *et al.*, 2018). Fitoremediasi adalah suatu metode pemulihan lingkungan tercemar yang memanfaatkan tumbuhan untuk menyerap, menguraikan, serta mengubah polutan, baik berupa logam berat maupun senyawa organik (Ni'mah *et al.*, 2019).

Fitoremediasi memiliki peran penting dalam menjaga kualitas air pada kolam budidaya melalui penyerapan berbagai zat pencemar, seperti amonia, nitrat, dan fosfat oleh tanaman air (Laia *et al.*, 2025). Beberapa jenis tanaman air yang umum dimanfaatkan sebagai fitoremediator limbah antara lain selada air (*Lactuca sativa* L.), enceng gondok (*Eichhornia crassipes*), kayu apu (*Pistia stratiotes*), kiambang (*Salvinia molesta*), serta jenis lainnya (Anas *et al.*, 2023). Pemilihan jenis tanaman untuk proses fitoremediasi perlu diperhatikan dengan cermat. Selain memiliki kemampuan sebagai hiperakumulator, tanaman yang digunakan sebaiknya memiliki biomassa besar, mampu bertahan pada kondisi lingkungan ekstrem ketika tanaman lain sulit tumbuh, serta tidak bersifat invasif agar tidak mengganggu pertumbuhan vegetasi lain di sekitarnya saat diterapkan di lapangan (Priantoro *et al.*, 2025).

Fitoremediasi dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu bioremediasi *in situ* dan *ex situ* (Isnaeni *et al.*, 2024). Fitoremediasi *in situ* adalah proses remediasi yang dilakukan langsung di lokasi tercemar tanpa memindahkan media seperti tanah atau air, sehingga lebih sederhana, ekonomis, dan minim gangguan terhadap lingkungan. Sementara itu, fitoremediasi *ex situ* dilakukan dengan cara memindahkan media yang terkontaminasi ke tempat lain untuk kemudian ditangani menggunakan tanaman, sehingga memungkinkan pengendalian yang lebih optimal, namun memerlukan biaya dan penanganan yang lebih besar. Kedua pendekatan tersebut memiliki perbedaan dalam metode pelaksanaannya, namun sama-sama bertujuan untuk menurunkan kandungan polutan. Dari sisi biaya, metode *ex situ* umumnya membutuhkan biaya yang lebih tinggi dibandingkan *in situ* (Mayasari *et al.*, 2025).

### **Mekanisme Fitoremediasi dalam Bioremediasi Amonia**

Pada limbah cair akuakultur, konsentrasi amonia perlu diturunkan hingga berada pada batas yang dapat ditoleransi sebelum dibuang ke lingkungan perairan (Liu *et al.*, 2019). Tanaman akan melakukan proses penyaringan oleh akar dan



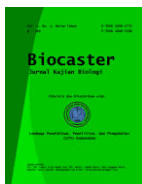
batang atau yang dikenal sebagai fitoremediasi. Pada proses fitoremediasi, limbah budidaya berfungsi sebagai nutrisi bagi tanaman (Utami *et al.*, 2019). Pemilihan jenis tanaman untuk proses fitoremediasi perlu diperhatikan dengan cermat. Selain memiliki kemampuan sebagai hiperakumulator, tanaman yang digunakan sebaiknya memiliki biomassa besar, mampu bertahan pada kondisi lingkungan ekstrem ketika tanaman lain sulit tumbuh, serta tidak bersifat invasif agar tidak mengganggu pertumbuhan vegetasi lain di sekitarnya saat diterapkan di lapangan (Priantoro *et al.*, 2025). Terdapat lima mekanisme utama yang dilakukan tanaman dalam proses akumulasi polutan di dalam jaringannya, disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Mekanisme Fitoremediasi.**

No.	Mekanisme	Cara Kerja	Referensi
1	Rhizofiltrasi	Tanaman menyerap dan mengadsorpsi polutan dari tanah atau air limbah melalui akar, kemudian polutan diendapkan dan terakumulasi dalam biomassa tanaman	Mahajan & Kaushal (2018) dan Meitei & Prasad (2021)
2	Fitoekstraksi	Akar tanaman menyerap polutan dari tanah atau air, mengangkut, dan mengakumulasi kontaminan tersebut dalam biomassa di atas permukaan tanah seperti pucuk dan daun	Anas <i>et al.</i> (2023)
3	Fitostabilisasi	Penyerapan polutan oleh akar atau presipitasi polutan di dalam rizosfer yang membatasi mobilitas kontaminan di dalam tanah	García-sánchez (2018) dan Salifu <i>et al.</i> (2024)
4	Fitovolatilisasi	Tanaman menyerap kontaminan, mengangkut kontaminan melalui xilem, mengubah kontaminan menjadi bentuk yang kurang beracun dan mudah menguap, dan melepaskannya ke atmosfer	Gomes <i>et al.</i> (2016) dan Gómez-garrido <i>et al.</i> (2018)
5	Rhizodegradasi	Mikroorganisme di rizosfer mendegradasi kontaminan organik di dalam tanah. Contoh mikroorganisme yang melakukan rhizodegradasi adalah jamur, bakteri, dan khamir	Lei <i>et al.</i> (2020)

Penurunan kadar amonia dalam perairan tidak hanya dipengaruhi oleh penyerapan oleh tanaman, tetapi juga didukung oleh proses alami lainnya, seperti volatilisasi, amonifikasi, dan imobilisasi. Volatilisasi merupakan proses penguapan amonia ke udara dalam bentuk gas yang menjadi salah satu penyebab utama berkurangnya konsentrasi amonia, terutama pada perairan terbuka yang terpapar sinar matahari langsung. Mengingat kolam pemeliharaan berada di ruang terbuka, paparan sinar matahari mempercepat proses ini. Amonifikasi adalah proses penguraian nitrogen organik menjadi amonia oleh mikroorganisme di perairan atau sedimen. Selain itu, mikroorganisme juga melakukan imobilisasi dengan menyerap amonia untuk kebutuhan metabolisme, sehingga turut menurunkan kadar amonia. Proses amonifikasi dan imobilisasi dapat berlangsung secara bersamaan melalui perubahan kimia dan aktivitas biologis mikroorganisme (Kholif & Sugito, 2020).

Meskipun kadar amonia menurun, nitrogen tetap dapat terakumulasi di dalam kolam, karena amonia merupakan bagian dari total nitrogen di perairan. Penurunan amonia tidak selalu diikuti dengan penurunan total nitrogen, karena amonia dapat mengalami transformasi menjadi bentuk nitrogen lain, seperti nitrit



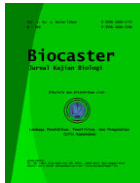
dan nitrat melalui proses nitrifikasi. Bentuk amonia tak terionisasi ( $\text{NH}_3$ ) bersifat toksik dan dapat merusak insang, menghambat pertumbuhan, bahkan menyebabkan kematian ikan (Sinha & Banerjee, 2025).

### Studi Kasus

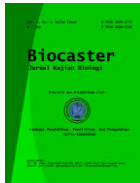
Berbagai jenis tumbuhan akuatik telah dimanfaatkan sebagai agen bioremediasi untuk menurunkan kadar amonia pada sistem akuakultur. Pemanfaatan tanaman tersebut dinilai efektif, karena mampu menyerap senyawa nitrogen, memperbaiki kualitas air, serta mendukung keberlanjutan budidaya perikanan secara ramah lingkungan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa tanaman seperti eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), kangkung (*Ipomoea aquatica*), *Lemna minor*, kayu apu (*Pistia stratiotes*), hingga mikroalga memiliki kemampuan yang berbeda-beda dalam mereduksi amonia pada limbah akuakultur. Ringkasan hasil penelitian mengenai jenis tumbuhan akuatik, efektivitas penurunan amonia, serta lokasi penelitian disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Studi Kasus.**

No.	Jenis Tumbuhan Akuatik	Efektifitas	Lokasi Penelitian	Referensi
1	Mata lele ( <i>Lemna minor</i> )	Efektif menurunkan kadar amonia pada sistem budikdamber; dari 17.4 mg/L menjadi 0.72 mg/L (95.86%) pada hari ke-7.	Kampoeng Pintar Oase, Surabaya, Indonesia	Nursheila <i>et al.</i> (2026)
2	<i>Ipomoea aquatica</i> & <i>Lemna minor</i>	Menurunkan amonia dari 0.12 menjadi 0.05 mg/L (58.33%) serta memperbaiki kualitas air (BOD, COD, TDS).	Sistem budidaya ikan (akuakultur air tawar), Indonesia	Asniarti <i>et al.</i> (2025)
3	Eceng gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ), Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ), dan Azolla ( <i>Azolla microphylla</i> )	Mampu menurunkan kadar amonia dengan efisiensi tinggi, yaitu eceng gondok sebesar 99.35%, kayu apu 98.2%, dan Azolla 96.4%.	Kolam budidaya ikan nila, Pasuruan, Jawa Timur, Indonesia	Ningsih <i>et al.</i> (2025)
4	Azolla sp., eceng gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ), <i>Lemna</i> sp., dan kangkung ( <i>Ipomoea aquatica</i> )	Eceng gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ) dan <i>Lemna</i> sp. menunjukkan efektivitas tertinggi dengan menurunkan kadar amonia hingga <0.01 mg/L ( $\approx$ >99%), sedangkan kangkung ( <i>Ipomoea aquatica</i> ) menurunkan hingga 0.12 mg/L ( $\approx$ 95.2%), dan Azolla sp. hingga 1.5 mg/L ( $\approx$ 40%).	Limbah budidaya ikan lele ( <i>Clarias</i> sp.), Aceh, Indonesia	Mustaqim <i>et al.</i> (2022)
5	Eceng gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ), kangkung ( <i>Ipomoea aquatica</i> ), <i>Lemna</i> sp., Azolla	Eceng gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ) dan <i>Lemna</i> sp. menurunkan amonia hingga $\pm$ 99.6%, kangkung ( <i>Ipomoea aquatica</i> )	Laboratorium budidaya perikanan, Universitas Abulyatama, Aceh Besar, Indonesia	Saputra <i>et al.</i> (2021)



No.	Jenis Tumbuhan Akuatik	Efektifitas	Lokasi Penelitian	Referensi
	sp.	sebesar $\pm 95.2\%$ , dan <i>Azolla</i> sp. sebesar $\pm 44\%$ .		
6	Kangkung ( <i>Ipomoea aquatica</i> ) & pakcoy ( <i>Brassica rapa chinensis</i> )	Penurunan amonia bebas hingga 93.62–96.62%.	Budidaya ikan lele, IPB, Indonesia	Effendi <i>et al.</i> (2015b)
7	Kangkung ( <i>Ipomoea aquatica</i> ), selada ( <i>Brassica rapa chinensis</i> ), pakcoy ( <i>Brassica rapa chinensis</i> )	Pakcoy paling efektif menurunkan amonia ( $\pm 32.03\%$ ); selada efektif menurunkan nitrat ( $\pm 12.73\%$ ); fosfat cenderung meningkat	Green house Ciparanje & Laboratorium FPIK, Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Indonesia	Utami <i>et al.</i> (2019)
8	<i>Arthrospira platensis</i> (mikroalga)	Menurunkan amonia hingga $\pm 89.68\%$ (kondisi optimal)	Limbah akuakultur, Mesir	Ashour <i>et al.</i> (2021)
9	Selada ( <i>Lactuca sativa</i> ) dalam sistem akuaponik	Mampu menurunkan amonia (TAN) hingga 91.50% pada sistem akuaponik dengan kombinasi ikan nila dan bakteri nitrifikasi	Sistem akuaponik, Institut Pertanian Bogor (IPB), Bogor, Indonesia	Wahyuningsih <i>et al.</i> (2015)
10	Kiambang ( <i>Salvinia molesta</i> ) & kayu apu ( <i>Pistia stratiotes</i> )	Kayu apu menurunkan amonia hingga 97.81%, kiambang 97.32%; efektif memperbaiki kualitas limbah akuakultur	Limbah budidaya ikan lele dumbo ( <i>Clarias gariepinus</i> ), Kota Palangka Raya, Kalimantan Tengah, Indonesia	Wulandari <i>et al.</i> (2023)
11	Kangkung ( <i>Ipomoea aquatica</i> ), apu-apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ), eceng gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> )	Meningkatkan kualitas air dan sintasan ikan lele; SR mencapai $\pm 90\%$ (lebih tinggi dibanding kontrol)	Kolam budidaya ikan lele (eksperimen lapangan), Universitas Palangka Raya, Kalimantan Tengah, Indonesia	Toepak <i>et al.</i> (2020)
12	Eceng gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> )	Mampu menurunkan kadar amonia terlarut sebesar 16.48% (perlakuan terbaik 0.5 kg) dalam waktu 8 hari, meskipun efektivitas relatif rendah dibanding parameter lain (COD dan TSS)	Limbah tambak udang vannamei, Desa Poncosari, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia	Alfarokhi (2016)
13	Padi ( <i>Oryza sativa</i> ) sistem IMTA ( <i>Integrated Multi-Trophic Aquaculture</i> )	Sistem kokultur IMTA-padi mampu mereduksi $\text{NH}_3\text{-N}$ sebesar $43.3 \pm 1.7\%$ (efisiensi tertinggi dibanding monokultur & polikultur)	Laboratorium Institut Akuakultur, Moncongloe Maros, Sulawesi Selatan, Indonesia	Nursida <i>et al.</i> (2024)
14	Pegagan ( <i>Centella asiatica</i> ), eceng gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ), kayu apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ),	Mampu menurunkan amonia ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) dengan efisiensi tinggi, yaitu <i>Centella asiatica</i> sebesar 98%, <i>Pistia stratiotes</i>	Malaysia (limbah akuakultur, skala laboratorium)	Nizam <i>et al.</i> (2020)



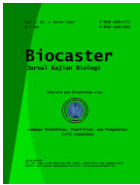
No.	Jenis Tumbuhan Akuatik	Efektifitas	Lokasi Penelitian	Referensi
	kangkung ( <i>Ipomoea aquatica</i> ), dan <i>Salvinia molesta</i>	78%, <i>Eichhornia crassipes</i> 74%, <i>Ipomoea aquatica</i> 73%, dan <i>Salvinia molesta</i> 63.9%		
15	Tomat ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	Tanaman tomat ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) menurunkan amonia sekitar $\pm 72.1\%$ dibanding kontrol	Politeknik Negeri Lampung, Indonesia	Marlina & Rakhmawati (2016)

Berdasarkan berbagai penelitian, tumbuhan akuatik menunjukkan pola efektivitas yang berbeda dalam menurunkan kadar amonia pada limbah akuakultur. Secara umum, tanaman terapung seperti eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), *Lemna* sp., dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) memperlihatkan kemampuan penurunan amonia yang paling tinggi dibandingkan tanaman lainnya. Beberapa penelitian melaporkan bahwa eceng gondok dan *Lemna* sp. mampu menurunkan kadar amonia hingga lebih dari 99% pada limbah budidaya ikan lele dan nila (Mustaqim *et al.*, 2022; Ningsih *et al.*, 2025; Saputra *et al.*, 2021). Efektivitas yang tinggi tersebut diduga berkaitan dengan pertumbuhan biomassa yang cepat, sistem perakaran yang lebat, serta kemampuan penyerapan nitrogen yang tinggi, sehingga proses fitoremediasi berlangsung lebih optimal (Anwar *et al.*, 2025).

Selain tanaman terapung, kangkung (*Ipomoea aquatica*) juga menunjukkan efektivitas yang konsisten dalam berbagai sistem akuakultur. Penurunan amonia oleh kangkung dilaporkan mencapai 93–96% pada budidaya ikan lele (Effendi *et al.*, 2015b), meskipun pada beberapa penelitian efektivitasnya masih lebih rendah dibanding eceng gondok dan *Lemna* sp. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kemampuan tiap tanaman dipengaruhi oleh karakter fisiologis tanaman, luas permukaan akar, serta kondisi media budidaya yang digunakan. Tanaman dengan sistem akar yang lebih panjang dan padat cenderung menyediakan area yang lebih besar bagi aktivitas bakteri nitrifikasi, sehingga mempercepat konversi amonia di perairan. Dalam proses fitoremediasi, aktivitas antara tanaman dan mikroorganisme terjadi pada akar yang memiliki luas permukaan besar, sehingga mampu menyerap lebih banyak dan berbagai jenis polutan dibandingkan permukaan batang dan daun (Sukono *et al.*, 2020).

Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa efektivitas penurunan amonia tidak hanya dipengaruhi oleh jenis tanaman, tetapi juga oleh sistem budidaya yang digunakan. Pada sistem akuaponik dan IMTA (*Integrated Multi-Trophic Aquaculture*), kombinasi tanaman dengan mikroorganisme nitrifikasi mampu meningkatkan efisiensi penurunan amonia secara signifikan. Selama (*Lactuca sativa*) dalam sistem akuaponik dilaporkan mampu menurunkan TAN hingga 91,5% (Wahyuningsih *et al.*, 2015), sedangkan sistem IMTA berbasis padi (*Oryza sativa*) mampu mereduksi  $\text{NH}_3\text{-N}$  sebesar 43,3% (Nursida *et al.*, 2024). Hal ini menunjukkan bahwa integrasi tanaman dengan sistem biologis lainnya dapat meningkatkan stabilitas kualitas air secara berkelanjutan.

Di sisi lain, tidak semua tanaman menunjukkan efektivitas yang sama tinggi. *Azolla* sp. misalnya, pada beberapa penelitian hanya mampu menurunkan amonia sekitar 40–44%, sedangkan eceng gondok pada limbah tambak udang



vannamei hanya menunjukkan penurunan sebesar 16,48% (Alfarokhi, 2016). Perbedaan tersebut mengindikasikan bahwa efektivitas fitoremediasi sangat dipengaruhi oleh jenis limbah, konsentrasi awal amonia, kepadatan tanaman, serta lama waktu perlakuan. Dengan demikian, pemilihan jenis tumbuhan akuatik yang tepat menjadi faktor penting dalam optimalisasi pengolahan limbah akuakultur berbasis fitoremediasi.

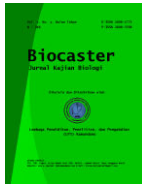
### **Sistem Bioreaktor Fitoremediasi Amonia Limbah Akuakultur**

Sistem bioreaktor fitoremediasi merupakan salah satu pendekatan ramah lingkungan yang dapat digunakan untuk menurunkan kadar amonia pada limbah akuakultur (Ng & Chan, 2021). Sistem ini bekerja dengan menggabungkan tanaman akuatik, aerasi, media *biofilter*, serta aktivitas mikroorganisme dalam satu unit pengolahan biologis (Sigcau *et al.*, 2022). Pada sistem tersebut, air limbah akuakultur terlebih dahulu melewati tahap sedimentasi awal untuk mengurangi padatan tersuspensi, kemudian dialirkan ke dalam reaktor fitoremediasi yang berisi tanaman *Lemna minor* (*duckweed*) (Sarkheil & Safari, 2020). Tanaman ini berperan dalam menyerap senyawa nitrogen, terutama amonia ( $\text{NH}_3$ ) dan amonium ( $\text{NH}_4^+$ ), sebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhan biomassa tanaman (Paolacci *et al.*, 2021).

Keberadaan aerasi pada bioreaktor berfungsi meningkatkan kadar oksigen terlarut, sehingga mendukung aktivitas bakteri nitrifikasi pada media *biofilter* (Suriasni *et al.*, 2023). Mikroorganisme tersebut mengubah amonia menjadi nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ), kemudian menjadi nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) yang relatif kurang toksik bagi organisme budidaya. Media *biofilter* seperti kerikil atau batu berpori menyediakan permukaan yang luas bagi pertumbuhan bakteri, sehingga proses nitrifikasi berlangsung lebih optimal (Suriasni *et al.*, 2023). Dengan demikian, penurunan amonia dalam sistem bioreaktor fitoremediasi tidak hanya terjadi melalui penyerapan langsung oleh tanaman, tetapi juga melalui proses biologis yang dilakukan oleh mikroorganisme rizosfer dan bakteri nitrifikasi (Sukono *et al.*, 2020).

Penggunaan *Lemna minor* sebagai agen fitoremediasi dinilai efektif, karena memiliki kemampuan menyerap nitrogen secara langsung dari perairan, serta didukung oleh karakteristiknya yang memiliki pertumbuhan cepat dan biomassa tinggi (Rifai *et al.*, 2024). Penelitian Sarkheil & Safari (2020) menunjukkan bahwa *Lemna minor* mampu menurunkan total ammonia nitrogen (TAN) secara signifikan, serta memperbaiki kualitas air budidaya melalui penurunan padatan tersuspensi dan peningkatan stabilitas lingkungan perairan. Selain itu, *duckweed* diketahui lebih menyukai penyerapan amonia dibanding nitrat, sehingga efisiensinya cukup tinggi dalam sistem akuakultur resirkulasi (Paolacci *et al.*, 2021).

Integrasi tanaman akuatik dalam sistem bioreaktor juga mampu meningkatkan keberlanjutan budidaya, karena dapat mengurangi pencemaran limbah secara alami, menekan biaya pengolahan air, serta memperbaiki kualitas air budidaya. Kombinasi proses fitoremediasi dan nitrifikasi biologis menjadikan sistem ini lebih efisien dibanding penggunaan tanaman atau *biofilter* secara terpisah. Oleh karena itu, bioreaktor fitoremediasi berbasis *Lemna minor* berpotensi menjadi alternatif teknologi pengolahan limbah akuakultur yang sederhana, murah, dan ramah lingkungan untuk diterapkan pada skala kecil maupun besar.

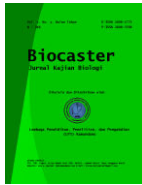


## **Keunggulan dan Keterbatasan Fitoremediasi**

Fitoremediasi merupakan teknologi hijau yang menjanjikan dalam remediasi air limbah dengan memanfaatkan tanaman (Rezania *et al.*, 2015), proses fitoremediasi tidak memerlukan bahan kimia sama sekali (Kinidi & Salleh, 2017) untuk menghilangkan kontaminan dari lingkungan. Metode ini juga dapat mentranslokasi polutan (Meitei & Prasad, 2021), melumpuhkan, atau mendegradasinya (Sarwar *et al.*, 2017). Tanaman secara alami menyerap ion amonium dari air limbah untuk mendukung pertumbuhannya. Tanaman yang digunakan dalam fitoremediasi merupakan bahan baku terbarukan yang juga membantu mengurangi perubahan iklim melalui fiksasi karbon dioksida (Kinidi & Salleh, 2017). Selain itu, fitoremediasi memiliki biaya yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan metode remediasi konvensional (Farraji *et al.*, 2016). Fitoremediasi tergolong teknik sederhana, karena tidak memerlukan tenaga ahli khusus maupun peralatan canggih (Alexandra *et al.*, 2016), sehingga cocok diterapkan pada area tercemar berskala luas. Kemajuan dalam modifikasi genetik dan rekayasa genetika menawarkan solusi yang lebih terarah untuk meningkatkan fitoremediasi, termasuk meningkatkan kemampuan tumbuhan dalam menyerap serta mentoleransi kontaminan pada konsentrasi tinggi (Deng *et al.*, 2024). Tanaman yang telah mengalami modifikasi genetik memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menyerap dan menguraikan polutan (Sharma *et al.*, 2024).

Fitoremediasi memiliki sejumlah kendala yang sangat bergantung pada lokasi pencemar, karakteristik kontaminan, dan kesesuaian teknik yang dipilih. Walaupun lebih murah dibanding metode kimia, fisik, atau mikroba, pendekatan ini membutuhkan waktu lebih lama untuk menghasilkan efek yang signifikan. Efektivitas fitoremediasi dapat menurun ketika tanaman memiliki biomassa rendah dan sistem perakaran yang kurang berkembang, karena kemampuan penyerapan serta akumulasi polutan menjadi terbatas (Arslan *et al.*, 2017). Perendaman yang berkepanjangan dalam konsentrasi polutan yang tinggi menyebabkan tanaman mengalami stres, seperti keterbatasan nutrisi, paparan limbah, atau perubahan kualitas air yang dapat mulai menunjukkan gejala penuaan (*senescence*) atau kerusakan, terutama pada akar dan daun yang terendam (Anwar *et al.*, 2025). Keberhasilan fitoremediasi sangat ditentukan oleh pemilihan tanaman yang tepat. Tanaman yang digunakan harus mampu beradaptasi dengan kondisi lingkungan, memiliki tingkat kesuburan memadai, tingkat akumulasi polutan yang tidak terlalu tinggi, dapat tumbuh pada berbagai jenis tanah, dan tahan terhadap invasi spesies asing (Fatima *et al.*, 2017).

Keterbatasan metode fitoremediasi terletak pada waktu proses yang relatif lama, serta adanya potensi kontaminan masuk ke rantai makanan, yaitu ketika hewan mengonsumsi tanaman yang telah menyerap logam berat. Fitoremediasi mampu memberikan solusi pemulihan yang bersifat permanen pada area yang terkontaminasi. Namun, metode ini memiliki keterbatasan, karena efektivitasnya sangat bergantung pada kedalaman perakaran tanaman, serta kemampuan tanaman dalam mentoleransi zat pencemar (Sidauruk & Sipayung, 2015). Keberhasilan fitoremediasi juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti pH tanah, kandungan bahan organik, dan ketersediaan unsur hara yang dapat memengaruhi penyerapan kontaminan oleh tanaman.



## SIMPULAN

Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa berbagai tanaman air memiliki kemampuan yang signifikan dalam menurunkan konsentrasi amonia pada sistem akuakultur melalui mekanisme fitoremediasi yang melibatkan penyerapan langsung oleh tanaman serta aktivitas mikroorganisme di rizosfer. Secara umum, tanaman air mengambang seperti *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, dan *Lemna minor* menunjukkan efektivitas penurunan amonia yang lebih tinggi dibandingkan jenis tanaman lainnya, dengan tingkat reduksi yang pada beberapa studi dapat mencapai lebih dari 90%. Efektivitas fitoremediasi dipengaruhi oleh faktor biologis dan lingkungan, terutama biomassa tanaman, luas sistem perakaran, serta kondisi kualitas air seperti pH, suhu, dan konsentrasi nutrisi. Selain itu, kombinasi antara tanaman air dan proses transformasi nitrogen oleh mikroorganisme seperti nitrifikasi turut meningkatkan efisiensi penurunan amonia dalam sistem budidaya. Secara keseluruhan, fitoremediasi berbasis tanaman air memiliki potensi besar sebagai teknologi pengolahan limbah akuakultur yang efektif, ekonomis, dan berkelanjutan, terutama dalam mendukung pengelolaan kualitas air pada sistem budidaya intensif.

## SARAN

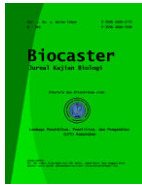
Penelitian mengenai pemanfaatan tanaman air dalam bioremediasi limbah amonia pada sistem akuakultur masih perlu dikembangkan melalui penelitian eksperimental secara langsung pada berbagai skala budidaya, baik laboratorium maupun lapangan. Kajian selanjutnya disarankan untuk mengevaluasi efektivitas kombinasi beberapa jenis tanaman air dengan mikroorganisme nitrifikasi guna meningkatkan efisiensi penurunan amonia dan parameter kualitas air lainnya. Selain itu, perlu dilakukan penelitian terkait pengaruh faktor lingkungan seperti pH, suhu, kepadatan tanaman, serta waktu retensi terhadap keberhasilan proses fitoremediasi. Pemilihan tanaman lokal yang memiliki kemampuan adaptasi tinggi, pertumbuhan cepat, dan tidak bersifat invasif juga penting untuk diperhatikan agar penerapannya lebih efektif dan berkelanjutan pada sistem akuakultur di Indonesia.

## UCAPAN TERIMA KASIH

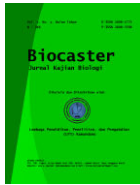
Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang turut berkontribusi dalam penelitian ini, sehingga dapat terselesaikan dengan baik.

## DAFTAR RUJUKAN

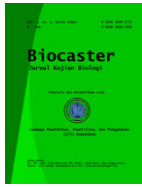
- Alexandra, M., Leguizamo, O., Darío, W., & Cecilia, M. (2016). Native Herbaceous Plant Species with Potential Use in Phytoremediation of Heavy Metals, Spotlight on Wetlands A Review. *Chemosphere*, 30(1), 2–18. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.075>
- Alfarokhi, A. I. (2016). Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai Tumbuhan Fitoremediasi dalam Proses Pengolahan Limbah Tambak Udang Vannamei. *Skripsi*. Universitas Islam Indonesia.
- Alivia, S. N., Winarno, H. S., Ayuningtyas, E., & Jumiati. (2024). Penurunan Parameter Amonia dan Kekeruhan Air Limbah Kolam Ikan dengan Tanaman Hias Iris (*Iris pseudacorus*) dan Melati Air (*Echinodorus*)



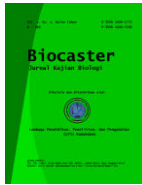
- palaefolius*). *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 24(1), 64–70. <https://doi.org/10.37412/jrl.v24i1.265>
- Anas, A. M., Abdou, A. H., Hassan, T. H., Alrefae, W. M. M., Daradkeh, F. M., El-Amin, M. A.-M. M., Kegour, A. B. A., & Alboray, H. M. M. (2023). Satisfaction on the Driving Seat: Exploring the Influence of Social Media Marketing Activities on Followers' Purchase Intention in the Restaurant Industry Context. *Sustainability*, 15(9), 1-21. <https://doi.org/10.3390/su15097207>
- Anwar, L., Ulfah, M., & Kaswinarni, F. (2025). Effectiveness of Mendong (*Fimbristylis globulosa*) as A Phytoremediation Agent for Total Ammonia and Total Nitrogen Leachate. *Journal of Environmental and Science Education*, 5(2), 52–63. <https://doi.org/10.15294/jese.v5i2.29164>
- Arslan, M., Imran, A., Khan, Q. M., & Afzal, M. (2017). Plant–Bacteria Partnerships for the Remediation of Persistent Organic Pollutants. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(5), 4322–4336. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4935-3>
- Ashour, H. A., Esmail, S. E. A., & El-Attar, A. (2021). Responses of Different Quality Parameters of Chia to Arbuscular Mycorrhiza and Plant Growth Regulator. *Advances in Horticultural Science*, 35(2), 139-150. <https://doi.org/10.36253/ahsc-10641>
- Asniarti, A., Fahrudin, F., & Tambaru, E. (2025). Phytoremediation of Ammonia and Water Quality Improvement in Common Carp (*Cyprinus carpio*) Culture Using *Ipomoea aquatica* and *Lemna minor*. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 26(10), 343-355. <https://doi.org/10.12912/27197050/210714>
- Chaikaew, P., Rugkarn, N., Pongpipatwattana, V., & Kanokkantapong, V. (2019). Enhancing Ecological-Economic Efficiency of Intensive Shrimp Farm through In-Out Nutrient Budget and Feed Conversion Ratio. *Sustainable Environment Research*, 29(1), 19-28. <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0029-0>
- Chang, Z.-W., Chiang, P.-C., Cheng, W., & Chang, C.C. (2015). Impact of Ammonia Exposure on Coagulation in White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 118(25), 98–102. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.04.019>
- Cheng, W., Chen, P., Yu, R., & Ho, W. (2016). Treating Ammonium-Rich Wastewater with Sludge from Water Treatment Plant to Produce Ammonium Alum. *Sustainable Environment Research*, 26(2), 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2015.11.002>
- Dauda, A. B., Ajadi, A., Tola-fabunmi, A. S., & Akinwale, A. O. (2018). Waste Production in Aquaculture : Sources, Components and Managements in di Ff Erent Culture Systems. *Aquaculture and Fisheries Journal*, 4(3), 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2018.10.002>
- Deng, S., Zhang, X., Zhu, Y., & Zhuo, R. (2024). Recent Advances in Phyto-Combined Remediation of Heavy Metal Pollution in Soil. *Biotechnology Advances*, 72(1), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2024.108337>
- Dermawan, R., Sasongko, A. S., & Yulda, Y. (2026). Studi Analisis Nitrat, Fosfat



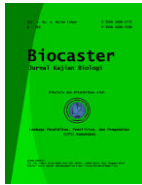
- dan Amonia Muara Sungai di Pesisir Teluk Banten, Banten. *Journal of Marine Research*, 15(1), 233-242.  
<https://doi.org/10.14710/jmr.v15i1.52743>
- Dewi, E. R. S. (2020). *Bioremediasi : Mikroorganisme sebagai Fungsi Bioremediasi pada Perairan Tercemar*. Semarang: Universitas PGRI Semarang.
- Edwards, T. M., Puglis, H. J., Kent, D. B., López Durán, J., Bradshaw, L. M., & Farag, A. M. (2024). Ammonia and Aquatic Ecosystems - A Review of Global Sources, Biogeochemical Cycling, and Effects on Fish. *Science of the Total Environment*, 907(1), 1-23.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167911>
- Effendi, H., Utomo, B. A., & Darmawangsa, G. M. (2015b). Phytoremediation of Freshwater Crayfish (*Cherax quadricarinatus*) Culture Wastewater with Spinach (*Ipomoea aquatica*) in Aquaponic System. *AAFL Bioflux*, 8(3), 421-430.
- Effendi, H., Utomo, B. A., Darmawangsa, G. M., & Karo-Karo, R. E. (2015a). Fitoremediasi Limbah Budidaya Ikan Lele (*Clarias* sp.) dengan Kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan Pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) dalam Sistem Resirkulasi. *Jurnal Ecolab*, 9(2), 80-92.  
<https://doi.org/10.20886/jklh.2015.9.2.80-92>
- Emerenciano, M. G. C., Rombenso, A. N., Vieira, F. d. N., Martins, M. A., Coman, G. J., Truong, H. H., Noble, T. H., & Simon, C. J. (2022). Intensification of Penaeid Shrimp Culture: An Applied Review of Advances in Production Systems, Nutrition and Breeding. *Animals*, 12(3), 228-236.  
<https://doi.org/10.3390/ani12030236>
- Farraji, H., Zaman, N. Q., Vakili, M., & Faraji, H. (2016). Overpopulation and Sustainable Waste Management. *International Journal of Sustainable Economies Management (IJSEM)*, 5(3), 13-36.  
<http://dx.doi.org/10.4018/IJSEM.2016070102>
- Fatima, K., Imran, A., Naveed, M., & Afzal, M. (2017). Plant-Bacteria Synergism: An Innovative Approach for the Remediation Oo Crude Oil-Contaminated Soils. *Soil and Environment*, 36(2), 93-113.  
<https://doi.org/10.25252/SE/17/51346>
- Febrianto, J., Purwanto, M. Y. J., & Waspodo, R. S. B. (2016). Pengolahan Air Limbah Budidaya Perikanan melalui Proses Anaerob Menggunakan Bantuan Material Bambu. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 1(2), 83-90.  
<https://doi.org/10.29244/jsil.1.2.83-90>
- Francis-Floyd, R., Watson, C., Petty, D., & Pouder, D. (2022). Ammonia in Aquatic Systems: FA-16/FA031, 06/2022. *EDIS*, 2022(4), 1-20.  
<https://doi.org/10.32473/edis-fa031-2022>
- Gajić, T., Vujko, A., Petrović, M. D., Mrkša, M., & Penić, M. (2018). Examination of Regional Disparity in the Level of Tourist Offer in Rural Clusters of Serbia. *Economic of Agriculture*, 65(3), 911-927.  
<https://doi.org/10.5937/ekoPolj1803911G>
- Gao, N., Zhu, L., Guo, Z., Yi, M., & Zhang, L. (2017). Effects of Chronic Ammonia Exposure on Ammonia Metabolism and Excretion in Marine Medaka



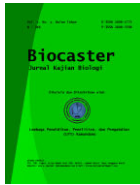
- Oryzias melastigma*. *Fish & Shellfish Immunology*, 65(1), 226–234. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.04.010>
- García-Sánchez, M. (2018). Ecotoxicology and Environmental Safety : A Comparative Study to Evaluate Natural Attenuation, Mycoaugmentation, Phytoremediation, and Microbial-Assisted Phytoremediation Strategies or the Bioremediation of an Aged PAH-Polluted Soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147(32), 165–174. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.08.012>
- Gomes, A. M. d. C., Hauser-Davis, R. A., de Souza, A. N., & Vitória, A. P. (2016). Ecotoxicology and Environmental Safety Metal Phytoremediation : General Strategies, Genetically Modified Plants and Applications in Metal Nanoparticle Contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 134(20), 133–147. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.08.024>
- Gómez-Garrido, M., Navarro, J. M., & Navarro, F. J. M. (2018). The Chelating Effect of Citric Acid, Oxalic Acid, Amino Acids and *Pseudomonas fluorescens* Bacteria on Phytoremediation of Cu, Zn, and Cr from Soil Using *Suaeda vera*. *International Journal of Phytoremediation*, 20(10), 1033–1042. <https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1452189>
- Hamuna, B., Tanjung, R. H. R., Suwito, S., & Maury, H. K. (2018). Konsentrasi Amoniak, Nitrat dan Fosfat di Perairan Distrik Depapre, Kabupaten Jayapura. *EnviroScienteeae*, 14(1), 1-8. <https://doi.org/10.20527/es.v14i1.4887>
- Hapsari, L. P., Suryana, A., Nurhudah, M., Wahyudi, D., & Ramli, T. H. (2021). Evaluation of the Value of Ammonia, Nitrate, and Nitrite on Cultivation Media of Catfish Fed Maggot. *E-Jurnal Rekayasa dan Teknologi Budidaya Perairan*, 10(1), 15–22. <https://doi.org/10.23960/jrtbp.v10i1.p15-22>
- Hendriarianti, E., Sudiro, S., Kustamar, K., & Nurhayati, A. (2019). Self-Purification Performance of Brantas River from Deoxygenation Rate of Carbon. *Journal of Physics : Conference Series*, 1375(1), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1375/1/012044>
- Isnaeni, Calvina, A. B., Ardiana, A. D., Azzahra, C. S., Santosa, N. R., Miladya, N. F., & Anwar, N. Z. (2024). Bioremediasi Cemaran Tanah Menggunakan *Bioestimulant*. *Camellia*, 3(2), 192–204. <https://doi.org/10.30651/cam.v3i2.24664>
- Kholif, M. A., & Sugito. (2020). Penyisihan Kadar Amoniak pada Limbah Cair Domestik dengan Menggunakan Sistem *Constructed Wetland Bio-Rack*. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1), 25–33. <http://dx.doi.org/10.20527/jukung.v6i1.8235>
- Kim, D.-Y., Shinde, S., Kadam, A., Saratale, R., Saratale, G., Kumar, M., Syed, A., Bahkali, A., & Ghodake, G. (2022). Retracted: Advantage of Species Diversification to Facilitate Sustainable Development of Aquaculture Sector. *Biology*, 11(3), 359-368. <https://doi.org/10.3390/biology11030368>
- Kinidi, L., & Salleh, S. (2017). Phytoremediation of Nitrogen as Green Chemistry for Wastewater Treatment System. *International Journal of Chemical Engineering*, 2017(1), 1–12. <https://doi.org/10.1155/2017/1961205>
- Kumari, V., & Shukla, S. K. (2021). Bioremediation of Heavy Metals: Emerging



- Trends and Future Prospects. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 256-270. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106004>
- Laia, I., Wea, L. A. L., & Quenga, C. F. (2025). The Community Fragmentation and Local Social Transformation Due to Mining Activities in Raja Ampat, Papua : A Review from the Perspective of Structural Inequality. *Journal of Southern Sociological Studies*, 1(3), 304–321. <https://doi.org/10.26740/jsss.v1i3.45149>
- Lei, J., Ploner, A., Elfström, K. M., Wang, J., Roth, A., Fang, F., Sundström, K., Dillner, J., & Sparén, P. (2020). HPV Vaccination and the Risk of Invasive Cervical Cancer. *The New England journal of medicine*, 383(14), 1340–1348. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1917338>
- Liang, Z., Liu, R., Zhao, D., Wang, L., Sun, M., Wang, M., & Song, L. (2016). Ammonia Exposure Induces Oxidative Stress, Endoplasmic Reticulum Stress and Apoptosis in Hepatopancreas of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Fish & Shellfish Immunology*, 54(1), 523–528. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.05.009>
- Lin, W., Luo, H., Wu, J., Hung, T.-C., Cao, B., Liu, X., Yang, J., & Yang, P. (2022). A Review of the Emerging Risks of Acute Ammonia Nitrogen Toxicity to Aquatic Decapod Crustaceans. *Water*, 15(1), 19-27. <https://doi.org/10.3390/w15010027>
- Liu, Y., Hao, H., Guo, W., Peng, L., Wang, D., & Ni, B. (2019). The Roles of Free Ammonia (FA) in Biological Wastewater Treatment Processes : A Review. *Environment International*, 123(10), 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.11.039>
- Magalhães, K. M., Carreira, R. S., Rosa Filho, J. S., Rocha, P. P., Santana, F. M., & Yogui, G. T. (2022). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Fishery Resources Affected by the 2019 Oil Spill in Brazil: Short-Term Environmental Health and Seafood Safety. *Marine Pollution Bulletin*, 175(1), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113334>
- Mahajan, P., & Kaushal, J. (2018). Role of Phytoremediation in Reducing Cadmium Toxicity in Soil and Water. *Journal of Toxicology*, 18(3), 1–16. <https://doi.org/10.1155/2018/4864365>
- Marlina, E., & Rakhmawati. (2016). Kajian Kandungan Amonia pada Budidaya Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) Menggunakan Teknologi Akuaponik Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum*). In *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Ke-V Hasil-Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan* (pp. 181-187). Yogyakarta, Indonesia: Universitas Gadjah Mada.
- Masitoh, D., Subandiyono, & Pinandoyo. (2015). Pengaruh Kandungan Protein Pakan yang Berbeda dengan Nilai E/P 8,5 Kkal/G terhadap Pertumbuhan Ikan Mas (*Cyprinus carpio*). *Journal of Aquaculture Management and Technology*, 4(3), 46-53.
- Mayasari, R., Purwadi, O. T., Djana, M., Syah, A., & Anwar, H. (2025). Sosialisasi Metode Fitoremediasi dengan Tanaman Apu-Apu dalam Pengolahan Air Limbah Domestik di RT 21 Kelurahan Susunan Baru. *Nemui Nyimah : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 59–66. <https://doi.org/10.23960/nm.v5i1.168>

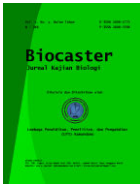


- Meitei, D. M., & Prasad, M. N. V. (2021). Potential of *Typha latifolia* L. for Phytofiltration of Iron Contaminated Waters in Laboratory Scale Constructed Microcosm Conditions. *Applied Water Science*, 11(2), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01339-4>
- Munguti, J. M., Kirimi, J. G., Obiero, K. O., Ogello, E. O., Kyule, D. N., Liti, D. M., & Musalia, L. M. (2020). Aqua-Feed Wastes: Impact on Natural Systems and Practical Mitigations - A Review. *Journal of Agricultural Science*, 13(1), 100-111. <https://doi.org/10.5539/jas.v13n1p111>
- Muryanto, M. (2020). Validasi Metode Analisa Amonia pada Air Tanah Menggunakan Metode Spektrofotometri. *Indonesian Journal of Laboratory*, 2(1), 40-44. <https://doi.org/10.22146/ijl.v2i1.54490>
- Mustaqim, M., Mutasar, M., Akmal, Y., Wahyuni, M., Fajri, T. I., & Ritaqwin, Z. (2022). Reducing Ammonia Levels in Catfish Cultivation Water Using Several Aquatic Plants : Short Communication. *Jurnal Ilmu-ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 11(9), 295–298. <https://doi.org/10.13170/depik.11.3.27723>
- Neethu, K. V., Saranya, K. S., Krishna, N. G. A., Praved, H. P., Pillai, A. B., Nandan, S. B., & Marigoudar, S. R. (2021). Toxicity of Copper on Marine Diatoms, *Chaetoceros calcitrans* and *Nitzschia closterium* from Cochin estuary, India. *Ecotoxicology*, 30(11), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s10646-021-02410-9>
- Ng, Y. S., & Chan, D. J. C. (2021). The Role and Effectiveness of Monoculture and Polyculture Phytoremediation Systems in Fish Farm Wastewater. *RSC Advances*, 11(23), 13853–13866. <https://doi.org/10.1039/D1RA00160D>
- Ni'mah, L., Anshari, M. A., & Saputra, H. A. (2019). Pengaruh Variasi Massa dan Lama Kontak Fitoremediasi Tumbuhan Parupuk (*Phragmites karka*) terhadap Derajat Keasaman (Ph) dan Penurunan Kadar Merkuri pada Perairan Bekas Penambangan Intan dan Emas Kabupa. *Jurnal Konversi*, 8(1), 55–62. <https://doi.org/10.24853/konversi.8.1.8>
- Ningsih, E. S., Nurjannah, & Sutaman. (2025). Effectiveness Reducing Ammonia Levels from Waste Sangkuriang Catfish (*Clarias gariepinus*) Cultivation Using the Phytoremediation Method Use Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*), Water Lettuce (*Pistia stratiotes*) and *Azolla microphylla*. *Jurnal Akuakultura*, 9(2), 90–93. <https://doi.org/10.35308/ja.v9i2.13436>
- Nizam, R., Karim, Z. A., Sarmidi, T., & Abdul-Rahman, A. (2020). Financial Inclusion and Firm Growth in ASEAN-5 Countries: A New Evidence Using Threshold Regression. *Finance Research Letters*, 41(1), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101861>
- Nursheila, Y. A., Fitrihidajati, H., Candra, A., Nurcholis, N., & Aseyan, A. (2026). Utilization of *Lemna minor* as an Ammonia Phytoremediator at Kampoeng Pintar Oase Surabaya. *Journal of Community Service and Empowerment*, 7(1), 130–136. <https://doi.org/10.22219/jcse.v7i1.43566>
- Nursida, N. F., Heriansah, H., Kabangnga, A., Nursidi, N., Sulmiati, A., & Putri, A. A. (2024). Amoniak-Nitrogen (NH<sub>3</sub>-N) pada Sistem Kokultur Hewan Akuatik dan Tanaman Padi di Air Payau. *Sains Akuakultur Tropis : Indonesian Journal of Tropical Aquaculture*, 8(1), 50-59.

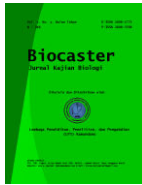


<https://doi.org/10.14710/sat.v8i1.19412>

- Paolacci, S., Stejskal, V., & Jansen, M. A. K. (2021). Estimation of the Potential of *Lemna minor* for Effluent Remediation in Integrated Multi-Trophic Aquaculture Using Newly Developed Synthetic Aquaculture Wastewater. *Aquaculture International*, 29(5), 2101–2118. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00736-z>
- Patil, P. K., Antony, L., Avunje, S., Viswanathan, B., Lalitha, N., Jangam, A. K., Kumar, D., Solanki, H. G., Reddy, M. A., Alavandi, S. V., & Vijayan, K. K. (2021). Bioaugmentation with Nitrifying and Denitrifying Microbial Consortia for Mitigation of Nitrogenous Metabolites in Shrimp Ponds. *Aquaculture*, 541(1), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736819>
- Priantoro, E. A., Suryaatmana, P., Sumiarsa, D., Widyarani, Butar butar, E. S., & Sembiring, T. (2025). Fitoremediasi Logam Berat Sistem Lahan Basah Terapung Menggunakan Tanaman Akar Wangi (*Chryzophogon zizanioides* (L.) Roberty) sebagai Hiperakumulator. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 26(1), 114–127. <https://doi.org/10.55981/jtl.2025.5052>
- Rezania, S., Mohanadoss, P., Talaie, A., Mohamad, S., Md Din, M. F., Mat Taib, S., Sabbagh, F., & Md Sairan, F. (2015). Perspectives of Phytoremediation Using Water Hyacinth for Removal of Heavy Metals, Organic and Inorganic Pollutants in Wastewater. *Journal of Environmental Management*, 163(1), 125–133. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.08.018>
- Rifai, R. M., Yulistyorini, A., Siswahyudi, D., Pratiwi, J. R., Fauzi, I. A., & Rachminiwati, N. (2024). A Kinetic Approach for Employing Two Duckweed Species, *Lemna minor*, and *Spirodela polyrhiza*, in the Sustainable Aquaculture Wastewater Treatment and Fish Feed Production. *Hayati : Journal of Biosciences*, 31(6), 1223–1230. <https://doi.org/10.4308/hjb.31.6.1223-1230>
- Ritonga, Y. S., Rasyidah, & Nasution, R. A. (2024). Reduksi Amonia pada Air Kolam Ikan Lele dengan menggunakan Ekoenzim dan *Saccharomyces cerevisiae*. *Spizaetus : Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, 5(3), 419–428. <https://doi.org/10.55241/spibio.v5i3.446>
- Salifu, M., John, M. A., Abubakar, M., & Bankole, I. A. (2024). Phytoremediation Strategies for Heavy Metal Contamination: A Review on Sustainable Approach for Environmental Restoration. *Journal of Environmental Protection*, 15(1), 1450–1474. <https://doi.org/10.4236/jep.2024.154026>
- Saputra, A. D., Haeruddin, H., & Widyorini, N. (2016). Efektivitas Kombinasi Mikroorganisme dan Tumbuhan Air *Lemna minor* sebagai Bioremediator dalam Mereduksi Senyawa Amoniak, Nitrit, dan Nitrat pada Limbah Pencucian Ikan. *Maquares : Management of Aquatic Resources Journal*, 5(3), 80-90. <https://doi.org/10.14710/marj.v5i3.14393>
- Saputra, I., Almuqarramah, T. M. H. M., Mustaqim, & Nurhayati. (2021). Efektivitas Fitoremediasi terhadap Kadar Amoniak pada Air Limbah Budidaya Ikan Lele. *Jurnal Tilapia*, 2(2), 27–33. <https://doi.org/10.30601/tilapia.v2i2.2063>
- Sarkheil, M., & Safari, O. (2020). Phytoremediation of Nutrients from Water by



- Aquatic Floating Duckweed (*Lemna minor*) in Rearing of African Cichlid (*Labidochromis lividus*) Fingerlings. *Environmental Technology & Innovation*, 18(1), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100747>
- Sarwar, N., Imran, M., Shaheen, M. R., Ishaque, W., Kamran, M. A., Matloob, A., Rehman, A., & Hussain, S. (2017). Phytoremediation Strategies for Soils Contaminated with Heavy Metals: Modifications and Future Perspectives. *Chemosphere*, 171(1), 710–721. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.116>
- Sharma, M., Rawat, S., & Rautela, A. (2024). Phytoremediation in Sustainable Wastewater Management: An Eco-Friendly Review of Current Techniques and Future Prospects. *Aqua : Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 73(9), 1946–1975. <https://doi.org/10.2166/aqua.2024.427>
- Sidauruk, L., & Sipayung, P. (2015). Fitoremediasi Lahan Tercemar di Kawasan Industri Medan dengan Tanaman Hias. *Jurnal Pertanian Tropik*, 2(2), 178–186.
- Sigcau, K., van Rooyen, I. L., Hoek, Z., Brink, H. G., & Nicol, W. (2022). Online Control of *Lemna minor* L. Phytoremediation: Using pH to Minimize the Nitrogen Outlet Concentration. *Plants*, 11(11), 1-20. <https://doi.org/10.3390/plants11111456>
- Sinha, G., & Banerjee, M. (2025). Water Quality Management in Aquaculture : Trends And Techniques. *International Journal of Environmental Sciences*, 11(14), 1911–1927. <https://doi.org/10.64252/cm0zne05>
- Sodeinde, K. O., Animashaun, S. A., & Adubiaro, H. O. (2023). Sciences Methods for the Detection and Remediation of Ammonia from Aquaculture Effluent : A Review. *Journal of the Nigerian Society of Physical Sciences*, 5(1), 1–10. <https://doi.org/10.46481/jnsps.2023.854>
- Sukono, G. A. B., Hikmawan, F. R., Evitasari, E., & Satriawan, D. (2020). Mekanisme Fitoremediasi: Review. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 2(2), 40–47. <https://doi.org/10.35970/jppl.v2i2.360>
- Suriasni, P. A., Faizal, F., Panatarani, C., Hermawan, W., & Joni, I. M. (2023). A Review of Bubble Aeration in Biofilter to Reduce Total Ammonia Nitrogen of Recirculating Aquaculture System. *Water*, 15(4), 1-20. <https://doi.org/10.3390/w15040808>
- Toepak, E. P., Tambunan, J., Febrianto, Y., Purwanto, F., & Tukan, D. N. (2020). Pengaruh Fitoremediasi Kangkung (*Ipomoea aquatica*), Apu-apu (*Pistia stratiotes*) dan Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) terhadap Kualitas Air Kolam Budiaya Ikan Lele (*Clarias* sp): Phytoremediation Effect of *Ipomoea aquatica*, *Pistia stratiotes* and *Eichhornia crassipes* on the Catfish (*Clarias* sp) Aquaculture Quality. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, 2(1), 25–28. <https://doi.org/10.36873/jjms.2020.v2.i1.356>
- Utami, T. S. B., Hasan, Z., & Syamsuddin, M. L., & Hamdani, H. (2019). Fitoremediasi Limbah Budidaya Ikan Koi (*Cyprinus carpio*) dengan Beberapa Tanaman Sayuran dalam Sistem Resirkulasi Akuaponik. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 10(2), 1-11.
- Wahyuningsih, S., & Gitarama, A. M. (2020). Amonia pada Sistem Budidaya Ikan. *Syntax Literate : Jurnal Ilmiah Indonesia*, 5(2), 112–125.



<https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v5i2.929>

- Wahyuningsih, S., Effendi, H., & Wardiatno, Y. (2015). Nitrogen Removal of Aquaculture Wastewater in Aquaponic Recirculation System. *Journal of the Bioflux Society*, 8(4), 491–499.
- Wang, C., Wang, T., Li, Z., Xu, X., Zhang, X., & Li, D. (2021). An Electrochemical Enzyme Biosensor for Ammonium Detection in Aquaculture Using Screen-Printed Electrode Modified by Gold Nanoparticle/Polymethylene Blue. *Biosensors*, 11(9), 1–15. <https://doi.org/10.3390/bios11090335>
- Wulandari, L., Fatimah, I., Handayani, T., Yulintine, & Maryani. (2023). Fitoremediasi Limbah Budidaya Ikan Lele Dumbo (*Clarias gariepinus*) dengan Menggunakan Kiambang (*Salvinia molesta*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*). *Jurnal Akuakultur Sebatin*, 4(2), 1–9.
- Wurtsbaugh, W. A. (2019). Nutrients, Eutrophication and Harmful Algal Blooms Along the Freshwater to Marine Continuum. *Wiley Interdisciplinary Reviews : Water*, 5(6), 1–27. <https://doi.org/10.1002/wat2.1373>
- Xu, Z., Cao, J., Qin, X., Qiu, W., Mei, J., & Xie, J. (2021). Toxic Effects on Bioaccumulation, Hematological Parameters, Oxidative Stress, Immune Responses and Tissue Structure in Fish Exposed to Ammonia Nitrogen: A Review. *Animals*, 11(11), 1-20. <https://doi.org/10.3390/ani11113304>
- Yavuzcan, Y. H., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Domínguez, D., & Parisi, G. (2017). Fish Welfare in Aquaponic Systems: Its Relation to Water Quality with an Emphasis on Feed and Faeces - A Review. *Water*, 9(1), 1-13. <https://doi.org/10.3390/w9010013>
- Yuka, R. A., Setyawan, A., & Supono. (2021). Identifikasi Bakteri Bioremediasi Pendegradasi Total Ammonia Nitrogen (TAN). *Jurnal Kelautan*, 14(1), 20–29. <https://doi.org/10.21107/jk.v14i1.8499>
- Yusal, M. S., Hasyim, A., Hastuti, H., Arif, A., & Pratomo, R. H. S. (2025). Review Eutrofikasi: Risiko dalam Kesuburan Lingkungan Perairan dan Upaya Penanggulangannya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 24(1), 123-134. <https://doi.org/10.14710/jkli.67125>
- Zed, M. (2008). *Metode Penelitian Kepustakaan (Cetakan ke-2)*. Jakarta: Yayasan Pustaka Obor Indonesia.
- Zhang, L., Xu, E. G., Li, Y., Liu, H., Vidal-Dorsch, D. E., & Giesy, J. P. (2018). Ecological Risks Posed by Ammonia Nitrogen (AN) and Un-Ionized Ammonia (NH<sub>3</sub>) in Seven Major River Systems of China. *Chemosphere*, 202(1), 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.098>