

PERAN PROBIOTIK DALAM PENGELOLAAN KESEHATAN IKAN DAN KUALITAS AIR PADA SISTEM AKUAKULTUR: STUDI LITERATUR

The Role of Probiotics in Fish Health Management and Water Quality in Aquaculture Systems: A Literature Review

Submit Tgl.: 01-September-2026

Diterima Tgl.: 30-September-2026

Diterbitkan Tgl.: 08-Oktober-2026

Qiswaton Alfi^{1*}
Divya Ayu Setya Putri²
Nafisah Fiska Nasywa
Anandra³
Atha Nailah Purwanti⁴
Leo Abi Nugroho⁵

^{*1-5} Universitas Airlangga

email:
leo.abi.nugroho-2023@fikkia.unair.ac.id

Astrak

Intensifikasi akuakultur dapat meningkatkan kepadatan ikan dan jumlah pakan yang diberikan, sehingga berpotensi menyebabkan akumulasi sisa pakan dan feses, penurunan kualitas air, stres, serta meningkatnya risiko penyakit pada ikan. Kondisi tersebut memerlukan pendekatan pengelolaan yang mampu mendukung kesehatan ikan sekaligus menjaga kualitas lingkungan budidaya. Artikel ini bertujuan menganalisis peran probiotik dalam pengelolaan kesehatan ikan dan kualitas air pada sistem akuakultur berdasarkan hasil penelitian terdahulu. Penelitian menggunakan studi literatur dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Literatur yang relevan ditelaah, dikelompokkan, dibandingkan, dan disintesis berdasarkan dua tema utama, yaitu kesehatan ikan dan kualitas air. Hasil kajian menunjukkan bahwa probiotik berpotensi mendukung respons imun dan pertahanan ikan, membantu mengendalikan mikroorganisme patogen melalui kompetisi dan aktivitas antimikroba, serta menjaga keseimbangan mikrobiota. Pada lingkungan budidaya, probiotik dapat membantu penguraian bahan organik dan mendukung pengelolaan senyawa nitrogen, terutama amonia dan nitrit. Perbaikan kondisi lingkungan dan kesehatan ikan tersebut saling berkaitan dalam mendukung keberlanjutan sistem akuakultur. Efektivitas probiotik tetap dipengaruhi oleh jenis dan strain mikroorganisme, dosis, metode pemberian, spesies ikan, serta kondisi sistem budidaya.

Kata Kunci:

Probiotik, Akuakultur, Kesehatan Ikan, Kualitas Air, Mikroorganisme

Keywords:

Probiotics, Aquaculture, Fish Health, Water Quality, Microorganisms.

Abstract

Aquaculture intensification can increase fish stocking density and feed input, potentially leading to the accumulation of uneaten feed and feces, deterioration of water quality, stress, and an increased risk of disease in fish. These conditions require management approaches that can support fish health while maintaining the quality of the culture environment. This article aims to analyze the role of probiotics in managing fish health and water quality in aquaculture systems based on findings from previous studies. The study employed a literature review using a qualitative descriptive approach. Relevant literature was reviewed, categorized, compared, and synthesized based on two main themes, namely fish health and water quality. The findings indicate that probiotics have the potential to support immune responses and fish defense mechanisms, help control pathogenic microorganisms through competition and antimicrobial activity, and maintain microbial balance. In aquaculture environments, probiotics can facilitate the decomposition of organic matter and support the management of nitrogen compounds, particularly ammonia and nitrite. Improvements in environmental conditions and fish health are interrelated in supporting the sustainability of aquaculture systems. However, the effectiveness of probiotics is influenced by the type and strain of microorganisms, dosage, administration method, fish species, and culture system conditions.

Cara mengutip Alfi, Q., Putri, D. A. S., Anandra, N. F. N., Purwanti, A. N., & Nugroho, L. A. (2026). Peran Probiotik dalam Pengelolaan Kesehatan Ikan dan Kualitas Air pada Sistem Akuakultur: Studi Literatur. *EduCurio: Education Curiosity*, 5(1), 191–197. <https://doi.org/10.71456/ecu.v5i1.2656>

PENDAHULUAN

Perkembangan akuakultur di Indonesia maupun di kancah global terus mengarah pada sistem budidaya yang lebih intensif dan dapat memenuhi permintaan produk perikanan yang kian terus meningkat. Intensitas

budidaya umumnya dapat dilihat dengan tanda kepadatan ikan yang tinggi serta pemberian pakan dengan jumlah besar untuk mendukung pertumbuhan optimal. Akan tetapi, peningkatan intensitas budidaya juga diikuti oleh bertambahnya beban lingkungan. Pakan

yang tidak termakan dan feses ikan dapat terakumulasi di dalam media pemeliharaan dan meningkatkan kandungan bahan organik serta nutrisi di perairan. Kondisi sangat berpengaruh terhadap menurunnya kualitas lingkungan budidaya dan meningkatkan tekanan terhadap ikan (Marlida, 2020; Gustaman et al., 2023). Kondisi lingkungan yang minim dalam tersentuh pengelolaan juga dapat meningkatkan peluang munculnya penyakit dan menyebabkan ikan mengalami stress. Keterkaitan antara kondisi lingkungan dan status kesehatan ikan ini mempertegas bahwa pentingnya pendekatan pengelolaan yang mampu menjaga stabilitas kualitas air sekaligus mendukung kondisi fisiologis ikan secara bersamaan.

Kualitas air dan kesehatan ikan merupakan dua komponen yang saling berkaitan dalam menentukan keberhasilan suatu sistem akuakultur. Air menjadi media utama bagi ikan sehingga perubahan kondisi lingkungan dapat secara langsung memengaruhi kondisi stres fisiologis dan daya tahan ikan. Akumulasi bahan organik dan senyawa nitrogen seperti, nitrit dan amonia dapat menciptakan kondisi lingkungan yang tidak sesuai bagi ikan. Pada sistem budidaya intensif, pengelolaan kualitas air menjadi begitu penting karena jumlah pakan, ikan dan limbah yang berada dalam satu unit pemeliharaan relatif akan meninggi (Adi et al., 2024). Keterkaitan antara kondisi status kesehatan ikan dengan kondisi lingkungan ini menegaskan betapa pentingnya pendekatan pengelolaan yang mampu menjaga stabilitas kualitas air sekaligus mendukung kondisi fisiologis ikan secara bersamaan.

Pengendalian penyakit ikan secara konvensional umumnya dilakukan melalui pemberian antimikroba khususnya antibiotik, karena efek yang diberikan dinilai cepat dan efektif dalam menekan infeksi patogen. Salah satu perhatian utama adalah berkembangnya resistensi antimikroba pada populasi bakteri di lingkungan budidaya (Widjaya et al., n.d.). Selain itu, penggunaan antibiotik juga berkaitan dengan kemungkinan keberadaan residu pada produk perikanan dan

memberikan perubahan komunitas mikroorganisme di lingkungan budidaya. Sejumlah kajian juga mengarahkan perhatian pada kebutuhan alternatif pengendalian penyakit yang lebih terkendali, misalnya dengan pemanfaatan bahan alami dengan sifat antimikroba (Laoli et al., 2024). Permasalahan resistensi dan residu mendorong perhatian terhadap pendekatan alternatif yang bukan hanya berorientasi pada pengendalian patogen, tetapi mendukung kesehatan ikan tanpa mengorbankan kualitas lingkungan budidaya maupun keamanan produk akhir.

Probiotik hadir sebagai salah satu pendekatan alternatif yang mulai banyak diterapkan dalam praktik akuakultur modern. Dalam akuakultur, probiotik dapat dipahami sebagai mikroorganisme hidup yang diberikan dalam jumlah tertentu untuk meningkatkan inang maupun lingkungan sekitarnya. Kelompok *Bacillus* dan *Lactobacillus* banyak digunakan dan dikaji sebagai salah satu jenis umum yang digunakan (Rahmayanti et al., 2020). Probiotik sendiri bekerja melalui beberapa mekanisme, antara lain berkompetisi dengan mikroorganisme patogen dalam memperoleh nutrisi atau tempat kolonisasi, menghasilkan senyawa yang bersifat antimikroba, serta membantu dalam peningkatan respon imun ikan terhadap infeksi (Aini et al., 2026). Selain berperan pada aspek kesehatan, sejumlah jenis probiotik juga dilaporkan membantu proses dekomposisi bahan organik sisa pakan dan feses, sehingga berkontribusi pada perbaikan keseimbangan mikroorganisme dan stabilitas kualitas air di lingkungan budidaya. Manfaat yang bersifat ganda ini membuat probiotik menarik untuk dikaji sebagai bagian dari pengelolaan kesehatan ikan dan lingkungan budidaya.

Berbagai penelitian telah menunjukkan potensi probiotik memberikan manfaat terhadap kesehatan ikan sekaligus memperbaiki kondisi kualitas air pada sistem budidaya (Rahmayanti et al., 2020; Aini et al., 2026). Efektivitas probiotik dapat dipengaruhi oleh jenis dan karakteristik mikroorganisme yang digunakan, dosis, cara pemberian, spesies ikan, kondisi lingkungan, serta

sistem pemeliharaan. Kajian Hasan dan Banerjee (2020) juga menekankan bahwa bukti mengenai efektivitas dan mekanisme probiotik masih memiliki keterbatasan, terutama karena sebagian penelitian dilakukan pada kondisi laboratorium sehingga hasilnya dapat berbeda ketika diterapkan pada lingkungan budidaya yang lebih kompleks. Diperlukan upaya untuk mengintegrasikan temuan-temuan dari berbagai penelitian tersebut agar diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai kontribusi probiotik terhadap pengelolaan kesehatan ikan dan kualitas air. Artikel ini bertujuan menganalisis peran probiotik dalam pengelolaan kesehatan ikan dan kualitas air pada sistem akuakultur berdasarkan hasil penelitian terdahulu.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur (*literature review*) dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Pendekatan ini digunakan untuk menelaah, menginterpretasikan, dan mensintesis hasil penelitian terdahulu yang membahas peran probiotik dalam kesehatan ikan, pengendalian dan pencegahan penyakit, respons imun ikan, kualitas air, keseimbangan mikroorganisme, serta pengelolaan lingkungan akuakultur. Melalui pendekatan ini, gambaran mengenai peran probiotik disusun berdasarkan pola dan kecenderungan temuan yang telah dilaporkan pada berbagai kondisi budidaya, bukan melalui pengujian atau pengamatan langsung di lapangan (Ramdhan, 2021).

Pada penelitian ini literatur ditelaah melalui basis data dan mesin pencarian akademik seperti Google Scholar, ScienceDirect, dan jurnal nasional terakreditasi. Literatur yang diprioritaskan berupa artikel jurnal ilmiah yang membahas probiotik, kesehatan ikan, kualitas air, penyakit ikan, mikroorganisme akuakultur, dan sistem budidaya ikan. Pemilihan sumber dilakukan dengan mempertimbangkan kesesuaian topik, kejelasan informasi penelitian, dan relevansi hasil terhadap tujuan kajian. Literatur yang

lebih lama tetap dapat digunakan apabila memiliki konsep dasar yang masih relevan dengan pembahasan.

Analisis data dilakukan secara deskriptif kualitatif (Roosinda et al., 2021). Literatur yang memenuhi kriteria dikumpulkan dan dipelajari untuk mengidentifikasi informasi yang berkaitan dengan tujuan penelitian. Pembahasan akan dikelompokkan ke dalam dua tema utama, yaitu peran probiotik terhadap kesehatan ikan dan peran probiotik terhadap kualitas air atau lingkungan budidaya. Hasil penelitian dari berbagai sumber dapat dibandingkan dengan pola, kecenderungan, serta perbedaan temuan kemudian akan diperoleh gambaran mengenai peran probiotik dalam pengelolaan kesehatan ikan dan kualitas air pada sistem akuakultur (Tampubolon, 2023).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Probiotik dalam Sistem Akuakultur

Probiotik dalam konteks akuakultur secara umum dipahami sebagai mikroorganisme hidup dengan jumlah tertentu yang memberikan manfaat bagi organisme budidaya atau lingkungan pemeliharaannya. Sejumlah kelompok mikroorganisme yang umum digunakan dalam praktik akuakultur mencakup *Lactobacillus*, *Bacillus*, dan *Lactococcus* yang dipilih berdasarkan kemampuannya beradaptasi pada situasi perairan budidaya serta potensinya dalam mendukung kesehatan organisme akuatik (Zein et al., 2012; Xue et al., 2026). Aplikasi probiotik pada praktiknya dapat dilakukan melalui dua jalur utama, yaitu pencampuran ke dalam pakan atau pemberian langsung ke media pemeliharaan, dengan pemilihan metode umumnya disesuaikan dengan tujuan penggunaan serta karakteristik sistem budidaya yang diterapkan (Telaumbanua et al., 2023).

Pemberian probiotik dapat dilakukan melalui pakan maupun secara langsung ke media pemeliharaan. Salah satu mekanisme yang paling banyak dibahas adalah kompetisi antara mikroorganisme probiotik dan mikroorganisme patogen dalam memperebutkan ruang serta nutrisi, sehingga peluang patogen untuk



berkembang menjadi terbatas. Selain kompetisi, sejumlah strain probiotik juga dilaporkan mampu memproduksi senyawa antimikroba yang bersifat menghambat pertumbuhan mikroorganisme merugikan (Xue et al., 2026). Mekanisme lain yang turut dilaporkan meliputi penelitian Seviana et al (2022), misalnya menggunakan probiotik yang dicampurkan ke dalam pakan ikan lele dan menemukan perbedaan respons imun antar jenis probiotik yang digunakan. Sebaliknya, penelitian Panjaitan et al (2024) memberikan probiotik secara langsung pada media pemeliharaan benih ikan patin dan menemukan pengaruh terhadap kualitas air. Keragaman mekanisme tersebut menegaskan bahwa peran probiotik tidak terbatas pada satu aspek saja, melainkan saling berkaitan dan menjadi dasar bagi pembahasan mengenai kualitas air dan kesehatan ikan pada bagian selanjutnya.

Beberapa kajian telah mencatat bahwa pemilihan strain probiotik pada praktiknya tidak dilakukan secara acak, melainkan mempertimbangkan kesesuaian dengan spesies ikan target serta karakteristik sistem budidaya yang akan diterapkan. Probiotik dapat berkompetisi dengan mikroorganisme patogen dalam memperoleh nutrisi dan ruang kolonisasi, memodifikasi komunitas mikroba, menghasilkan senyawa penghambat, serta memengaruhi respons imun ikan. Perhatian terhadap kesesuaian strain ini menjadi dasar penting sebelum membahas lebih lanjut bagaimana pemberian probiotik secara spesifik berkaitan dalam kualitas air serta mendorong degradasi senyawa nitrogen serta bahan organik.

Peran Probiotik terhadap Kesehatan Ikan

Sejumlah penelitian melaporkan bahwa pemberian probiotik dapat meningkatkan respon imun ikan, baik melalui peningkatan aktivitas sel pertahanan nonspesifik maupun perbaikan parameter hematologis yang berkaitan dengan ketahanan tubuh. Seviana et al (2022) menunjukkan bahwa pemberian jenis probiotik yang berbeda pada ikan lele sangkuriang menghasilkan respon

imun yang berbeda pula. Temuan tersebut sejalan dengan hasil kajian yang menunjukkan bahwa kombinasi probiotik dan prebiotik dalam bentuk sinbiotik mampu memperkuat mekanisme pertahanan bawaan ikan terhadap tekanan lingkungan maupun serangan patogen (Shija et al., 2026). Kesamaan hasil dari kedua penelitian ini menunjukkan bahwa probiotik berpotensi memperkuat sistem imun ikan melalui jalur yang saling melengkapi, dan berhubungan dengan peningkatan kesiapan sistem pertahanan ikan, meskipun tingkat responsnya tidak selalu sama pada setiap perlakuan.

Pada aspek pengendalian mikroorganisme patogen, probiotik dilaporkan bekerja melalui kompetisi memperoleh nutrisi dan ruang kolonisasi sehingga menekan peluang patogen untuk menempel dan berkembang pada permukaan tubuh maupun saluran pencernaan ikan (Rahmi et al., 2021). Mekanisme ini diperkuat oleh temuan bahwa perubahan kondisi mikrobiologis akibat kehadiran probiotik dapat menciptakan lingkungan yang kurang mendukung pertumbuhan bakteri patogen tertentu, sehingga tekanan infeksi pada ikan budidaya dapat ditekan (Khairani et al., 2025). Pola hasil dari kedua kajian tersebut relatif konsisten, meskipun tingkat penghambatan yang dilaporkan bervariasi tergantung jenis patogen sasaran dan strain probiotik yang diuji, sehingga menunjukkan bahwa kemampuan antagonistik probiotik bersifat spesifik dan tidak dapat digeneralisasi secara luas.

Kesehatan saluran pencernaan menjadi bagian lain yang berkaitan dengan penggunaan probiotik. Peran ini penting dipahami bukan semata sebagai bagian dari upaya menjaga kondisi fisiologis ikan tetap stabil. Temuan ini menunjukkan bahwa manfaat probiotik terhadap kesehatan ikan tidak hanya berkaitan dengan kemampuan menghadapi patogen, tetapi juga dengan pemeliharaan lingkungan mikrobiologis di dalam tubuh ikan.

Peran Probiotik terhadap Kualitas Air

Akumulasi sisa pakan dan feses yang tidak terkonsumsi sempurna dalam sistem budidaya secara bertahap membentuk bahan organik yang apabila tidak dikelola dapat memicu penurunan kualitas lingkungan perairan. Probiotik berpotensi membantu proses ini melalui aktivitas mikroorganisme yang memanfaatkan atau menguraikan sebagian bahan organik. Telaumbanua et al. (2023) menunjukkan bahwa penggunaan EM4 dikaitkan dengan perbaikan kondisi media budidaya, sedangkan Panjaitan et al. (2024) menemukan bahwa penambahan probiotik pada media pemeliharaan benih patin memberikan pengaruh nyata terhadap kualitas air. Kesamaan arah temuan dari kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa probiotik berpotensi berperan sebagai agen biologis yang membantu mempercepat siklus penguraian bahan organik di lingkungan budidaya meskipun tingkat efektivitasnya tetap dipengaruhi oleh beban organik awal dan kepadatan mikroorganisme yang diaplikasikan.

Pada aspek pengelolaan senyawa nitrogen, aktivitas mikroorganisme probiotik dilaporkan turut berperan dalam transformasi amonia menjadi bentuk senyawa nitrogen yang tidak terlalu toksik bagi ikan, sehingga tekanan fisiologis akibat paparan amonia dan nitrit dapat berkurang (Zhao et al., 2025). Penggunaan probiotik juga dilaporkan memengaruhi komposisi komunitas mikroorganisme dalam media budidaya, dengan kecenderungan peningkatan proporsi mikroorganisme yang menguntungkan dan penurunan proporsi mikroorganisme yang berpotensi merugikan. Peran tersebut berkaitan erat dengan siklus nitrogen dalam media budidaya. Amonia dan nitrit merupakan senyawa yang perlu dikendalikan karena akumulasinya dapat mengganggu kondisi fisiologis ikan.

Rangkuman dari berbagai kajian literatur juga menunjukkan pola yang relatif konsisten, yaitu bahwa penerapan probiotik pada sistem akuakultur cenderung diarahkan pada dua tujuan sekaligus. Pola tersebut memperkuat gambaran bahwa peran probiotik terhadap

kualitas air tidak berdiri sendiri, melainkan menjadi bagian dari strategi pengelolaan akuakultur yang lebih luas, sekaligus menjadi jembatan menuju pembahasan mengenai keterkaitan probiotik dengan kesehatan ikan pada bagian berikutnya.

Keterkaitan Probiotik, Kesehatan Ikan, dan Kualitas Air

Hubungan antara probiotik, kesehatan ikan dan kualitas air dapat dipahami melalui dua jalur mekanisme yang saling melengkapi. Jalur pertama bersifat langsung, yaitu ketika probiotik berinteraksi langsung dengan tubuh ikan melalui modulasi respons imun dan perbaikan mikrobiota saluran pencernaan, sebagaimana dibahas pada bagian sebelumnya. Jalur kedua bersifat tidak langsung, yaitu ketika probiotik memengaruhi kondisi lingkungan melalui pengelolaan bahan organik, transformasi senyawa nitrogen, dan pembentukan komunitas mikroorganisme yang lebih stabil di media budidaya (Zhao et al., 2025; Amri, 2021). Kedua jalur ini pada akhirnya bertemu pada satu titik yang sama, yaitu kondisi ikan yang lebih tahan terhadap tekanan lingkungan dan infeksi penyakit.

Temuan Panjaitan et al. (2024) memperlihatkan hubungan tersebut secara praktis. Pemberian probiotik pada media benih patin tidak hanya berpengaruh terhadap parameter kualitas air, tetapi juga diikuti perubahan pada kelulushidupan dan performa ikan. Pada penelitian Seviana et al. (2022), pemberian probiotik melalui pakan juga berkaitan dengan peningkatan sejumlah indikator respons imun ikan lele. Kajian Gadhiya et al. (2025) juga menempatkan probiotik sebagai pendekatan multifungsi yang menggabungkan pengendalian mikroorganisme, modulasi imun, dan perbaikan kualitas air. Pandangan ini sejalan dengan Shija et al (2026), yang menunjukkan bahwa manipulasi mikrobiota melalui probiotik dan pendekatan turunannya dapat berhubungan dengan respons imun dan ketahanan terhadap penyakit. Meski bukti tersebut mendukung potensi probiotik, hasil penelitian belum



cukup untuk menyatakan bahwa satu jenis probiotik dapat memberikan manfaat yang sama pada seluruh sistem akuakultur. Probiotik dapat dipandang sebagai pendekatan pengelolaan akuakultur yang menghubungkan kesehatan organisme budidaya dengan kualitas lingkungan pemeliharaan secara terintegrasi, bukan sekadar dua manfaat yang berdiri terpisah satu sama lain.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil telaah literatur, probiotik berpotensi menjadi salah satu pendekatan biologis dalam pengelolaan sistem akuakultur karena dapat berperan secara bersamaan terhadap kesehatan ikan dan kondisi lingkungan budidaya. Pada aspek kesehatan ikan, probiotik dapat mendukung respons imun dan pertahanan nonspesifik, membantu mengendalikan mikroorganisme patogen melalui kompetisi dan aktivitas antimikroba, serta menjaga keseimbangan mikrobiota saluran pencernaan. Pada aspek lingkungan, probiotik dapat membantu penguraian bahan organik dari sisa pakan dan feses, mendukung pengelolaan senyawa nitrogen seperti amonia dan nitrit, serta memengaruhi komunitas mikroorganisme dalam media budidaya. Kedua aspek tersebut saling berkaitan karena perubahan komunitas mikroorganisme dan kondisi kualitas air dapat memengaruhi tekanan lingkungan yang dihadapi ikan. Probiotik dapat bekerja secara langsung melalui interaksi dengan ikan dan mikrobiota tubuh maupun secara tidak langsung melalui perubahan kondisi mikrobiologis lingkungan budidaya. Meski menunjukkan potensi yang baik, efektivitas probiotik tidak bersifat seragam pada seluruh sistem akuakultur karena dipengaruhi oleh jenis dan strain mikroorganisme, dosis, metode dan frekuensi pemberian, spesies ikan, serta kondisi lingkungan seperti suhu, salinitas, pH, kandungan bahan organik, dan komunitas mikroorganisme yang telah ada. Penggunaan probiotik lebih tepat ditempatkan sebagai bagian dari strategi pengelolaan kesehatan ikan dan kualitas lingkungan, sehingga pemilihan dan

penerapannya perlu disesuaikan dengan karakteristik organisme budidaya serta kondisi sistem akuakultur.

REFERENCE

- Adi, C. P., Panjaitan, P. S., Soeprijadi, L., Hidayah, E., Wulan, D. R., & Prajayanti, V. T. F. (2024). *Strategi manajemen kesehatan dan parameter kualitas air dalam budidaya ikan nila*. Penerbit P4i.
- Aini, N., Khiftiyah, A. M., Hartanti, D. A. S., Puspaningrum, Y., Chusnah, M., & Ciptadi, G. (2026). *Aplikasi Probiotik dalam Bidang Akuakultur*. Universitas Brawijaya Press.
- Aminah, S. K., Azzahrah, B. A., Asiyah, N., Yoga, I. K. A. D., Sumardi, S., Yolida, B., & Meriza, N. (2026). Studi Literatur Pengaruh Pemberian Probiotik dalam Budidaya Perikanan untuk Meningkatkan Produktivitas dan Kualitas Ikan. *Haumeni Journal of Education*, 6(1), 374-379.
- Amiri, H., Hadizadeh, B., Mooselu, M. G., Azadi, S., & Sayyahzadeh, A. H. (2021). Evaluating the water quality index in dam lake for cold water fish farming. *Environmental Challenges*, 5, 100378.
- Amri, K. (2021). Penggunaan probiotik pada wadah pemeliharaan benih ikan nila (*Oreochromis niloticus*) sebagai pengendali kualitas air. *Arwana: Jurnal Ilmiah Program Studi Perairan*, 3(2), 141-149.
- Apriani, I., & Noordin, H. (2025). *Kualitas Air, Hama, dan Penyakit Ikan*. Deepublish.
- Gadhiya, A., Katariya, S., Khapandi, K., & Chhatrodiya, D. (2025). Probiotics as a sustainable alternative to antibiotics in aquaculture: a review of the current state of knowledge. *The Microbe*, 8, 100426.
- Gustaman, R. F., Mustofa, R. F., Mulyana, D., & Hamdan, A. (2023). Penggunaan Teknologi Akuakultur Sistem Bioflok Dalam Proses Produksi Pembesaran Ikan Konsumsi Di Lahan Sempit. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Indonesia*, 1(4), 148-152.
- Khairani, M., Damanik, A. S. H., Lubis, I. R., Nabilla, M., & Nahombang, S. Z. (2025). Analisis Literatur Jurnal Pada Variasi Pengendalian Mikroorganisme. *Philosophiamundi*, 3(1), 414-422.
- Khudoyberdiev, A., Jaleel, M. A., Ullah, I., & Kim, D. (2023). Enhanced water quality control based on predictive optimization for smart fish

- farming. *Computers, Materials and Continua*, 75(3), 5471-5499.
- Laoli, D., Susanti, N. M., Tillah, R., Telaumbanua, B. V., Zebua, R. D., Dawolo, J., ... & Zega, A. (2024). Efektivitas bahan alami sebagai agen antimikroba dalam pengobatan penyakit ikan air tawar: Tinjauan literatur. *Zoologi: Jurnal Ilmu Peternakan, Ilmu Perikanan, Ilmu Kedokteran Hewan*, 2(1), 26-39.
- Marlida, R. (2020). Bioflok sebagai solusi mengatasi permasalahan lingkungan untuk akuakultur masa depan berkelanjutan: Sebuah tinjauan. *Rawa Sains: Jurnal Sains STIPER Amuntai*, 10(1), 38-44.
- Nurshahida Azreen, M. J., Abdullah, A. F., Muhamad Saufi, M. K., Murni Marlina, A. K., Abdulsalam, M., & Muhadi, N. A. (2024). Improved accuracy in IoT-based water quality monitoring for aquaculture tanks using low-cost sensors: Asian seabass fish farming.
- Özcan, F., & Arserim, N. B. (2026). Antibacterial immunity in teleost fish: Integrating innate and adaptive responses for sustainable aquaculture. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 111113.
- Panjaitan, R. J. S., Harwanto, D., & Amalia, R. (2024). Pengaruh penggunaan probiotik terhadap kualitas air, pertumbuhan dan kelulushidupan benih ikan patin (*Pangasius sp.*). *Sains Akuakultur Tropis: Indonesian Journal of Tropical Aquaculture*, 8(2), 218-228.
- Rahmayanti, F., Mahendra, M., Munandar, M., Febrina, C. D., & Rahma, E. A. (2020). Pemanfaatan probiotik untuk budidaya perikanan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat: Darma Bakti Teuku Umar*, 2(1), 179-185.
- Rahmi, N., Wulandari, P., & Advinda, L. (2021). Pengendalian cemaran mikroorganisme pada ikan— Mini Review. In *Prosiding Seminar Nasional Biologi* (Vol. 1, No. 2, pp. 611-623).
- Ramdhan, M. (2021). *Metode penelitian*. Cipta Media Nusantara.
- Roosinda, F. W., Lestari, N. S., Utama, A. G. S., Anisah, H. U., Siahaan, A. L. S., Islamiati, S. H. D., ... & Fasa, M. I. (2021). *Metode penelitian kualitatif*. Zahir Publishing.
- Seviana, N. L., Zubaidah, A., & Hastuti, S. D. (2022). Efektivitas pemberian probiotik yang berbeda terhadap respon imun ikan lele sangkuriang (*clarias gariepinus*) pada budidaya sistem intensif. *Jurnal Riset Akuakultur*, 17(3), 191-203.
- Shija, V. M., Tran, N. T., Shehata, A. I., Zheng, X., Zhang, M., Bakky, M. A. H., ... & Li, S. (2026). Synergistic impacts of probiotics and prebiotics (synbiotics) in fish farming. *Fish & Shellfish Immunology*, 111358.
- Syahrizal, H., & Jailani, M. S. (2023). Jenis-jenis penelitian dalam penelitian kuantitatif dan kualitatif. *QOSIM: Jurnal Pendidikan Sosial & Humaniora*, 1(1), 13-23.
- Tampubolon, M. (2023). *Metode penelitian*.
- Telaumbanua, B. V., Telaumbanua, P. H., Lase, N. K., & Dawolo, J. (2023). Penggunaan probiotik em4 pada media budidaya ikan. *Triton: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, 19(1), 36-42.
- Wicaksono, E. A. (2022). Ancaman pencemaran mikroplastik dalam kegiatan akuakultur di Indonesia. *Journal of fisheries and marine science*, 5(2), 77-91.
- Widjaya, D., Nababan, Y. R., & Sari, T. P. Accountability Brief: Upaya Pencegahan Resistensi Antimikroba dalam Perikanan Budidaya di Indonesia.
- Wulandari, D. K. (2024). Kajian Literatur: Efektivitas Berbagai Bahan Herbal Dalam Meningkatkan Sistem Imunitas Ikan. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 7(11), 4357-4366.
- Xue, S. J., Zhao, F. Y., Zhang, Y. J., Feng, F., Liu, M. L., & Zhang, J. Y. (2026). Screening of autochthonous intestinal yeasts from marine fish for probiotic and nutritional potential in aquaculture. *Food Bioscience*, 109625.
- Zega, A., Laoli, D., Zebua, R. D., Telaumbanua, B. V., Dawolo, J., & Zebua, O. (2024). Pengaruh probiotik dalam sistem budidaya ikan berkelanjutan: Sebuah pendekatan berbasis kajian pustaka. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 1(1), 30-36.
- Zein, A., Nurhayati, D., Rahmatia, F., Cahyati, T. N., Hidayatullah, D., Afrilasari, W., & Christyaningsih, N. (2012). Seleksi Bakteri Probiotik Untuk Akuakultur. *Laporan Praktikum*, 90.
- Zhao, X., Shi, B., Wang, C., Cheng, H., Wang, C., Ma, X., ... & Chen, Y. (2025). Effects of compound probiotics on the growth of Conger myriaster, water quality parameters, and microbial communities in industrial recirculating aquaculture systems. *Aquaculture Reports*, 45, 103138.