



ANALISIS LITERATUR TENTANG PENGARUH NUTRISI TERHADAP RESPONS IMUN DAN KETAHANAN PENYAKIT PADA IKAN BUDIDAYA

Florencelin Dwinda Gulo¹⁾, Ratna Dewi Zebua²⁾

¹⁾Sumber Daya Akuatik, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: celindwinda23gulo@gmail.com

²⁾Sumber Daya Akuatik, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: ratmadewizebua@unias.ac.id

Abstract

The intensification of fish farming has led to a high risk of disease outbreaks due to environmental stress and declining water quality. Excessive use of antibiotics has caused problems with antimicrobial resistance, making it necessary to develop more sustainable alternatives for disease control through a nutritional approach. This study aims to analyze the effect of nutrition on the immune response and disease resistance in farmed fish through a literature review. The results of the review indicate that proteins, amino acids, lipids, vitamins, and minerals play a crucial role in enhancing the function of the fish immune system. Additionally, probiotics, prebiotics, synbiotics, phytochemicals, and antioxidants in feed can enhance the nonspecific immune response, maintain the balance of gut microbiota, and improve fish resistance to pathogen infections. Thus, the use of immunostimulant-based functional feed is an effective strategy for supporting fish health and the development of sustainable aquaculture.

Keywords: Nutrition, Immune Response, Disease Resistance, Functional Feed, Farmed Fish.

Abstrak

Peningkatan intensifikasi budidaya ikan menyebabkan tingginya risiko serangan penyakit akibat stres lingkungan dan penurunan kualitas air. Penggunaan antibiotik yang berlebihan menimbulkan masalah resistensi antimikroba sehingga diperlukan alternatif pengendalian penyakit yang lebih berkelanjutan melalui pendekatan nutrisi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh nutrisi terhadap respons imun dan ketahanan penyakit pada ikan budidaya melalui metode studi literatur. Hasil kajian menunjukkan bahwa protein, asam amino, lipid, vitamin, dan mineral berperan penting dalam meningkatkan fungsi sistem imun ikan. Selain itu, probiotik, prebiotik, sinbiotik, fitogenik, dan antioksidan dalam pakan mampu meningkatkan respons imun non-spesifik, menjaga keseimbangan mikrobiota usus, serta meningkatkan ketahanan ikan terhadap infeksi patogen. Dengan demikian, penerapan pakan fungsional berbasis imunostimulan menjadi strategi yang efektif untuk mendukung kesehatan ikan dan pengembangan akuakultur yang berkelanjutan.

Kata Kunci: Nutrisi, Respons Imun, Ketahanan Penyakit, Pakan Fungsional, Ikan Budidaya.



PENDAHULUAN

Perkembangan budidaya ikan secara intensif menyebabkan peningkatan kepadatan tebar dan tekanan lingkungan yang dapat memicu munculnya berbagai penyakit infeksi. Serangan penyakit yang disebabkan oleh bakteri, virus, jamur, maupun parasit menjadi salah satu faktor pembatas utama dalam peningkatan produktivitas budidaya ikan. Kepadatan tebar yang tinggi dapat menurunkan kualitas lingkungan budidaya sehingga meningkatkan tingkat stres dan kerentanan ikan terhadap penyakit. Kondisi tersebut pada akhirnya berdampak pada penurunan pertumbuhan, kelangsungan hidup, dan efisiensi produksi pada usaha budidaya ikan (Difinubun et al., 2023).

Penggunaan antibiotik sebagai metode pengendalian penyakit dalam akuakultur saat ini mulai dibatasi karena berpotensi menimbulkan resistensi antimikroba serta pencemaran lingkungan perairan. Sebagai alternatif, pendekatan peningkatan sistem imun melalui manipulasi nutrisi dan pemberian bahan imunostimulan dalam pakan semakin banyak diterapkan pada berbagai komoditas budidaya. Pendekatan ini bertujuan meningkatkan kemampuan ikan dalam mempertahankan diri terhadap serangan patogen tanpa menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan budidaya (Purbomartono et al., 2022).

Nutrisi memiliki peranan penting dalam mendukung berbagai mekanisme pertahanan tubuh ikan, mulai dari menjaga integritas jaringan mukosa, meningkatkan aktivitas fagositosis, merangsang produksi enzim pertahanan, hingga mengendalikan stres oksidatif. Kecukupan nutrisi yang diberikan melalui pakan akan menentukan kemampuan ikan dalam mempertahankan kondisi fisiologis serta menghadapi infeksi penyakit. Oleh karena itu, formulasi pakan fungsional menjadi salah satu strategi penting dalam budidaya ikan berkelanjutan (Eviani et al., 2019).

Peningkatan intensifikasi budidaya ikan yang ditandai dengan tingginya kepadatan tebar, peningkatan frekuensi pemberian pakan, serta perubahan kualitas lingkungan perairan sering kali menyebabkan ikan mengalami kondisi stres fisiologis. Stres yang berlangsung secara terus-menerus dapat menurunkan fungsi sistem kekebalan tubuh sehingga ikan menjadi lebih rentan terhadap infeksi berbagai agen penyakit. Dampak lainnya adalah meningkatnya mortalitas, menurunnya efisiensi pakan, serta meningkatnya biaya produksi budidaya (Abidin et al., 2022).

Sistem imun ikan terdiri atas sistem pertahanan non-spesifik (innate immunity) dan sistem pertahanan spesifik (adaptive immunity) yang bekerja secara sinergis dalam melindungi tubuh dari serangan patogen. Sistem imun non-spesifik meliputi aktivitas makrofag, neutrofil, lisozim, serta sistem komplemen sebagai garis pertahanan pertama terhadap infeksi. Sementara itu, sistem imun spesifik melibatkan pembentukan antibodi dan memori imunologis yang memberikan perlindungan jangka panjang terhadap patogen tertentu. Efektivitas kedua sistem tersebut sangat dipengaruhi oleh kualitas dan kecukupan nutrisi

yang diperoleh ikan melalui pakan (Purbomartono et al., 2022).

Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian peneliti semakin tertuju pada konsep pakan fungsional (functional feed) yang tidak hanya bertujuan memenuhi kebutuhan energi dan pertumbuhan, tetapi juga mampu meningkatkan kesehatan serta ketahanan tubuh ikan terhadap penyakit. Penambahan probiotik, prebiotik, vitamin, mineral, maupun bahan fitogenik ke dalam pakan telah terbukti mampu meningkatkan parameter imun non-spesifik pada berbagai spesies ikan budidaya. Pendekatan ini dinilai lebih aman dan berkelanjutan dibandingkan penggunaan antibiotik secara terus-menerus dalam sistem budidaya intensif (Eviani et al., 2019).

Seiring berkembangnya penelitian di bidang nutrisi dan imunologi ikan, berbagai informasi mengenai peran nutrisi terhadap mekanisme pertahanan tubuh ikan terus mengalami peningkatan. Namun demikian, hasil penelitian tersebut masih tersebar pada berbagai publikasi dengan fokus kajian yang berbeda sehingga diperlukan suatu sintesis informasi yang komprehensif. Oleh karena itu, studi literatur ini dilakukan untuk mengkaji dan menganalisis berbagai hasil penelitian mengenai pengaruh nutrisi terhadap respons imun dan ketahanan penyakit pada ikan budidaya sebagai dasar pengembangan strategi pemberian pakan yang lebih efektif dan berkelanjutan (Purbomartono et al., 2022).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur (literature review). Data diperoleh dari artikel ilmiah, kata kunci yang digunakan meliputi fish nutrition, immune response, disease resistance, functional feed, dan aquaculture immunology. Artikel yang dipilih merupakan jurnal yang membahas pengaruh nutrisi terhadap sistem imun dan ketahanan penyakit pada ikan budidaya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Protein dan Asam Amino terhadap Sistem Imun

Protein merupakan nutrisi utama yang memiliki peranan sangat penting dalam pembentukan dan pemeliharaan sistem kekebalan tubuh ikan budidaya. Berbagai komponen pertahanan tubuh seperti antibodi, enzim, protein komplemen, hormon, serta berbagai molekul imun lainnya tersusun atas senyawa protein. Apabila kebutuhan protein dalam pakan tidak terpenuhi, maka proses sintesis komponen imun akan terganggu sehingga dapat menyebabkan penurunan aktivitas fagositosis, berkurangnya produksi antibodi, dan meningkatnya kerentanan ikan terhadap infeksi bakteri, virus, maupun parasit. Sebaliknya, penyediaan protein yang cukup dan sesuai kebutuhan mampu meningkatkan efektivitas sistem imun bawaan (innate immunity) maupun sistem imun spesifik (adaptive immunity) pada ikan budidaya sehingga ketahanan terhadap penyakit menjadi lebih baik (Seviana et al., 2022).

Kebutuhan protein pada ikan budidaya umumnya berkisar antara 25–55% dari total formulasi pakan,



tergantung pada spesies ikan, ukuran tubuh, stadia pertumbuhan, tingkat aktivitas, serta kondisi lingkungan pemeliharaan. Protein yang dikonsumsi ikan akan dimanfaatkan untuk pembentukan jaringan baru, perbaikan jaringan yang rusak, sintesis enzim dan hormon, serta pembentukan berbagai komponen sistem imun seperti imunoglobulin dan protein komplemen. Kekurangan protein dalam jangka panjang dapat menyebabkan terjadinya penurunan jumlah sel imun dan gangguan fungsi fisiologis sehingga ikan menjadi lebih rentan terhadap serangan penyakit dan stres lingkungan (Aslamyeh et al., 2022).

Selain jumlah protein, kualitas protein juga menjadi faktor yang sangat menentukan efektivitas respons imun pada ikan. Protein berkualitas tinggi ditandai dengan kandungan asam amino esensial yang lengkap dan seimbang sehingga dapat dimanfaatkan secara optimal oleh tubuh untuk berbagai proses metabolisme. Ketidakseimbangan asam amino esensial dapat menyebabkan terganggunya sintesis protein tubuh, menurunkan efisiensi pemanfaatan pakan, serta menghambat pembentukan komponen pertahanan tubuh yang diperlukan selama proses infeksi dan pemulihan jaringan. Oleh karena itu, formulasi pakan tidak hanya mempertimbangkan kadar protein total, tetapi juga profil asam amino penyusunnya (Kusuma et al., 2022).

Arginin merupakan salah satu asam amino fungsional yang banyak diteliti dalam bidang imunonutrisi ikan karena memiliki peranan penting dalam meningkatkan respons imun seluler. Asam amino ini berfungsi sebagai prekursor sintesis nitrit oksida (nitric oxide) yang diproduksi oleh makrofag untuk menghancurkan mikroorganisme patogen yang masuk ke dalam tubuh ikan. Selain itu, arginin juga berperan dalam merangsang proliferasi limfosit, meningkatkan produksi sitokin, serta mempercepat proses regenerasi jaringan setelah terjadi kerusakan akibat infeksi atau stres lingkungan. Pemberian arginin dalam jumlah yang tepat pada formulasi pakan diketahui mampu meningkatkan daya tahan tubuh ikan terhadap berbagai penyakit infeksi pada sistem budidaya intensif (Wulandari & Junianto, 2024).

Selain arginin, asam amino metionin dan glutamin juga memiliki kontribusi penting dalam menjaga fungsi sistem imun ikan budidaya. Metionin diperlukan dalam pembentukan glutathione, yaitu salah satu antioksidan utama yang berfungsi melindungi sel dari kerusakan akibat stres oksidatif selama proses inflamasi dan infeksi. Sementara itu, glutamin berperan sebagai sumber energi utama bagi sel-sel imun yang aktif, terutama limfosit dan makrofag, sehingga sangat dibutuhkan selama terjadinya respons kekebalan tubuh. Penelitian pada ikan patin menunjukkan bahwa suplementasi glutamin dalam pakan mampu memperbaiki struktur usus, meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi, dan mendukung kondisi fisiologis yang lebih baik untuk menunjang sistem kekebalan tubuh ikan (Dewi et al., 2022).

Peran Lipid dan Asam Lemak Esensial

Lipid merupakan salah satu komponen nutrisi penting dalam pakan ikan yang berfungsi sebagai sumber energi utama setelah protein dan karbohidrat. Keberadaan lipid dalam jumlah yang cukup dapat mengurangi penggunaan protein sebagai sumber energi (protein sparing effect), sehingga protein dapat dimanfaatkan secara lebih efisien untuk pertumbuhan, pembentukan jaringan tubuh, reproduksi, serta sintesis berbagai komponen sistem imun. Selain itu, lipid juga berperan sebagai penyusun utama membran sel, pelarut vitamin larut lemak, serta sumber berbagai senyawa biologis yang terlibat dalam mekanisme pertahanan tubuh ikan terhadap patogen. Oleh karena itu, kecukupan lipid dalam formulasi pakan menjadi salah satu faktor penting dalam menjaga kesehatan dan performa budidaya ikan (Mokoginta et al., 2022).

Asam lemak tak jenuh ganda (polyunsaturated fatty acids atau PUFA), khususnya golongan omega-3 seperti eicosapentaenoic acid (EPA) dan docosahexaenoic acid (DHA), memiliki peranan penting dalam regulasi sistem imun ikan. Asam lemak tersebut berfungsi sebagai prekursor berbagai mediator biologis seperti prostaglandin, tromboksan, dan leukotrien yang terlibat dalam proses inflamasi dan respons imun. Regulasi inflamasi yang berlangsung secara seimbang sangat diperlukan karena respons inflamasi yang terlalu rendah dapat mengurangi kemampuan tubuh dalam melawan patogen, sedangkan inflamasi yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan jaringan dan mengganggu fungsi organ ikan (Yulfiperius & Mokoginta, 2021).

Berbagai penelitian pada ikan laut maupun ikan air tawar menunjukkan bahwa suplementasi asam lemak omega-3 dalam pakan mampu meningkatkan aktivitas lisozim, fagositosis, serta kapasitas antioksidan pada tubuh ikan. Peningkatan aktivitas parameter imun tersebut berhubungan dengan meningkatnya kemampuan ikan dalam menghadapi serangan bakteri oportunistik seperti *Aeromonas hydrophila*, *Vibrio* spp., dan *Streptococcus agalactiae* yang sering ditemukan pada sistem budidaya intensif. Selain itu, pemberian asam lemak esensial juga diketahui mampu memperbaiki integritas membran sel imun sehingga meningkatkan efektivitas komunikasi antar sel selama proses pertahanan tubuh berlangsung (Suprayudi et al., 2023).

Di samping memberikan manfaat terhadap sistem imun, lipid juga berperan penting dalam menjaga keseimbangan fisiologis tubuh ikan selama menghadapi kondisi stres lingkungan seperti perubahan suhu, penurunan kualitas air, maupun kepadatan tebar yang tinggi. Asam lemak esensial diketahui dapat meningkatkan stabilitas membran sel dan membantu mempertahankan fungsi organ vital selama ikan mengalami tekanan lingkungan. Dengan demikian, keberadaan lipid yang seimbang dalam pakan tidak hanya mendukung pertumbuhan, tetapi juga meningkatkan kemampuan adaptasi ikan terhadap perubahan lingkungan budidaya (Setiawati et al., 2022).

Namun demikian, pemberian lipid dalam jumlah yang berlebihan dapat memberikan dampak negatif terhadap kesehatan ikan. Akumulasi lemak pada organ hati dan jaringan tubuh dapat menyebabkan gangguan



metabolisme, penurunan efisiensi penggunaan pakan, serta meningkatkan risiko terjadinya perlemakan hati (fatty liver syndrome). Kondisi tersebut pada akhirnya dapat menurunkan performa pertumbuhan dan respons imun ikan terhadap penyakit. Oleh karena itu, formulasi pakan harus memperhatikan keseimbangan antara kandungan lipid, protein, dan sumber energi lainnya agar manfaat fisiologis dan imunologis dapat diperoleh secara optimal dalam kegiatan budidaya ikan (Iskandar et al., 2021).

Peran Vitamin dalam Meningkatkan Ketahanan Penyakit

Vitamin merupakan kelompok mikronutrien esensial yang dibutuhkan ikan dalam jumlah relatif kecil, tetapi memiliki peranan yang sangat besar dalam mendukung berbagai proses fisiologis, metabolisme, pertumbuhan, reproduksi, serta sistem pertahanan tubuh. Kekurangan vitamin dalam pakan dapat menyebabkan gangguan metabolisme, menurunkan efisiensi pemanfaatan nutrisi, serta meningkatkan kerentanan ikan terhadap serangan penyakit infeksi. Oleh karena itu, pemenuhan kebutuhan vitamin dalam formulasi pakan menjadi salah satu faktor penting dalam mendukung keberhasilan budidaya ikan secara intensif dan berkelanjutan (Mokoginta & Suprayudi, 2021).

Vitamin C merupakan salah satu vitamin yang paling banyak digunakan sebagai imunostimulan dalam pakan ikan karena sebagian besar spesies ikan tidak memiliki kemampuan untuk mensintesis vitamin ini dalam jumlah yang mencukupi untuk memenuhi kebutuhan fisiologisnya. Vitamin C berperan dalam meningkatkan aktivitas fagositosis, merangsang produksi interferon, mempercepat proses penyembuhan luka, serta mendukung pembentukan kolagen pada jaringan yang mengalami kerusakan akibat infeksi maupun stres lingkungan. Selain itu, suplementasi vitamin C juga dilaporkan mampu meningkatkan tingkat kelangsungan hidup ikan setelah uji tantangan dengan bakteri patogen pada berbagai spesies ikan budidaya (Setiawati et al., 2022).

Vitamin E berfungsi sebagai antioksidan utama yang melindungi membran sel dari kerusakan akibat radikal bebas yang dihasilkan selama proses metabolisme maupun respons imun terhadap patogen. Perlindungan terhadap membran sel sangat penting untuk menjaga stabilitas dan fungsi berbagai sel imun seperti makrofag, limfosit, dan neutrofil. Dalam praktik budidaya, kombinasi vitamin C dan vitamin E sering digunakan dalam formulasi pakan karena kedua vitamin tersebut memiliki efek sinergis dalam meningkatkan kapasitas antioksidan, mengurangi stres oksidatif, serta memperbaiki ketahanan tubuh ikan terhadap perubahan kondisi lingkungan (Jusadi et al., 2021).

Selain vitamin C dan vitamin E, vitamin A juga memiliki peranan penting dalam menjaga kesehatan ikan budidaya. Vitamin ini berfungsi mempertahankan integritas jaringan epitel pada kulit, insang, dan saluran pencernaan yang merupakan garis pertahanan pertama terhadap masuknya patogen dari lingkungan perairan. Di samping itu, vitamin A diketahui berperan dalam proses diferensiasi dan proliferasi berbagai jenis sel imun sehingga

berkontribusi terhadap efektivitas respons imun bawaan maupun respons imun spesifik pada ikan budidaya (Yulfiperius et al., 2023).

Vitamin D tidak hanya berfungsi dalam metabolisme kalsium dan fosfor serta pembentukan jaringan tulang, tetapi juga diketahui memiliki peranan penting dalam modulasi sistem imun ikan. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa vitamin D dapat memengaruhi ekspresi berbagai gen yang berkaitan dengan pertahanan tubuh, aktivitas sel fagosit, serta mekanisme inflamasi selama proses infeksi berlangsung. Suplementasi vitamin D dalam jumlah yang tepat dilaporkan mampu meningkatkan ketahanan ikan terhadap infeksi bakteri dan membantu mempertahankan kondisi fisiologis ikan selama menghadapi tekanan lingkungan budidaya yang tinggi (Aslamy et al., 2024).

Peran Mineral terhadap Respons Imun

Mineral merupakan mikronutrien esensial yang dibutuhkan organisme akuatik dalam jumlah relatif kecil, namun memiliki fungsi yang sangat penting dalam menjaga berbagai proses fisiologis dan sistem pertahanan tubuh ikan. Mineral berperan sebagai kofaktor berbagai enzim, penyusun hormon, serta komponen molekul antioksidan yang terlibat dalam regulasi metabolisme dan mekanisme pertahanan nonspesifik maupun spesifik. Ketersediaan mineral yang cukup dalam pakan mampu membantu ikan mempertahankan homeostasis tubuh, meningkatkan toleransi terhadap stres lingkungan, serta memperkuat kemampuan tubuh dalam menghadapi serangan patogen. Sebaliknya, defisiensi mineral dapat mengganggu proses metabolisme dan menurunkan efektivitas sistem imun ikan sehingga meningkatkan kerentanan terhadap penyakit (Sumana et al., 2023).

Salah satu mineral mikro yang memiliki peranan penting dalam sistem imun ikan adalah seng (Zn). Mineral ini terlibat dalam aktivasi dan proliferasi limfosit, sintesis protein, pembentukan DNA, serta proses pembelahan sel yang berhubungan langsung dengan produksi sel imun. Seng juga berfungsi sebagai kofaktor lebih dari 300 jenis enzim yang berperan dalam berbagai jalur metabolisme dan mekanisme pertahanan tubuh. Kekurangan seng dapat menyebabkan penurunan produksi antibodi, berkurangnya aktivitas fagositosis oleh makrofag, serta menurunkan efisiensi respon imun terhadap infeksi bakteri, virus, maupun parasit. Oleh karena itu, suplementasi seng dalam jumlah yang tepat sering digunakan untuk meningkatkan status kesehatan dan performa fisiologis ikan budidaya (Ibrahim et al., 2019).

Selenium (Se) merupakan mineral esensial lainnya yang berfungsi sebagai komponen utama enzim glutathione peroksidase (GSH-Px), yaitu enzim antioksidan yang berperan melindungi sel dari kerusakan akibat radikal bebas dan stres oksidatif. Pada kondisi budidaya intensif, ikan sering mengalami stres akibat perubahan kualitas air, kepadatan tinggi, maupun penanganan selama pemeliharaan sehingga kebutuhan antioksidan meningkat. Pemberian selenium, terutama dalam bentuk organik, terbukti mampu meningkatkan aktivitas enzim antioksidan, memperbaiki



fungsi sistem imun, serta meningkatkan ketahanan ikan terhadap infeksi patogen. Selain itu, selenium juga berkontribusi terhadap peningkatan pertumbuhan dan efisiensi pemanfaatan pakan pada beberapa spesies ikan budidaya seperti lele dan nila (Kurniawan et al., 2023).

Selain seng dan selenium, mineral lain seperti besi (Fe), tembaga (Cu), dan mangan (Mn) juga memiliki kontribusi penting dalam menjaga fungsi sistem imun ikan. Besi diperlukan dalam pembentukan hemoglobin dan transport oksigen yang mendukung aktivitas sel imun, sedangkan tembaga dan mangan berperan sebagai kofaktor enzim antioksidan seperti superoksida dismutase (SOD) yang berfungsi menetralkan radikal bebas. Ketidakseimbangan mineral, baik dalam bentuk kekurangan maupun kelebihan, dapat menyebabkan gangguan fisiologis serta menurunkan efisiensi respon imun ikan. Oleh karena itu, formulasi pakan yang memperhatikan keseimbangan mineral mikro menjadi salah satu strategi penting dalam menjaga kesehatan ikan dan meningkatkan produktivitas budidaya secara berkelanjutan (Dawood, 2021).

Probiotik, Prebiotik, dan Sinbiotik

Probiotik merupakan mikroorganisme hidup yang apabila diberikan dalam jumlah yang memadai mampu memberikan manfaat bagi kesehatan ikan sebagai organisme inang. Dalam kegiatan budidaya perikanan, probiotik banyak diaplikasikan melalui pakan maupun media pemeliharaan untuk meningkatkan keseimbangan mikroflora usus, memperbaiki proses pencernaan, serta meningkatkan efisiensi pemanfaatan nutrisi sehingga pertumbuhan ikan menjadi lebih optimal. Selain itu, penggunaan probiotik juga diketahui dapat memperbaiki kualitas air melalui proses dekomposisi bahan organik dan pengurangan senyawa beracun di lingkungan budidaya (Ardy et al., 2019).

Keberadaan mikrobiota usus yang seimbang memiliki peranan penting dalam mempertahankan kesehatan ikan karena bakteri menguntungkan mampu menghambat kolonisasi mikroorganisme patogen melalui mekanisme kompetisi ruang hidup dan perebutan sumber nutrisi di saluran pencernaan. Di samping itu, beberapa bakteri probiotik juga menghasilkan senyawa antimikroba, enzim, dan metabolit sekunder yang dapat menekan perkembangan bakteri penyebab penyakit sehingga risiko terjadinya infeksi pada ikan budidaya dapat dikurangi secara signifikan (Dewanti et al., 2022).

Prebiotik merupakan senyawa pangan fungsional yang tidak dapat dicerna oleh enzim pencernaan ikan, namun dapat dimanfaatkan sebagai substrat pertumbuhan bagi bakteri menguntungkan di dalam usus. Pemberian prebiotik pada pakan berfungsi untuk merangsang perkembangan populasi bakteri probiotik sehingga tercipta keseimbangan mikrobiota usus yang lebih baik. Kondisi tersebut berkontribusi terhadap peningkatan respons imun mukosa, efisiensi penyerapan nutrisi, serta peningkatan ketahanan tubuh ikan terhadap perubahan lingkungan maupun serangan penyakit (Putra et al., 2022).

Sinbiotik merupakan kombinasi antara probiotik dan prebiotik yang dirancang untuk menghasilkan efek

sinergis dalam meningkatkan kesehatan dan performa pertumbuhan ikan budidaya. Penggunaan sinbiotik telah dilaporkan mampu meningkatkan respons imun non-spesifik, memperbaiki efisiensi pakan, serta meningkatkan tingkat kelangsungan hidup ikan setelah dilakukan uji tantangan dengan bakteri patogen seperti *Aeromonas hydrophila*. Efektivitas tersebut terjadi karena prebiotik mendukung kolonisasi dan aktivitas probiotik sehingga perlindungan terhadap ikan menjadi lebih optimal (Saputra & Jubaedah 2022).

Pemanfaatan Fitogenik dan Imunostimulan Alami

Meningkatnya kasus resistensi bakteri terhadap antibiotik serta adanya tuntutan produksi akuakultur yang lebih aman dan berkelanjutan telah mendorong penggunaan bahan alami sebagai alternatif pengendalian penyakit pada ikan budidaya. Bahan fitogenik yang berasal dari tanaman obat diketahui mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti flavonoid, alkaloid, saponin, fenol, dan terpenoid yang memiliki aktivitas antibakteri, antivirus, antiinflamasi, serta antioksidan. Senyawa-senyawa tersebut mampu membantu meningkatkan sistem pertahanan tubuh ikan sehingga penggunaan antibiotik sintetis dapat dikurangi tanpa menurunkan produktivitas budidaya (Muahiddah & Diamahesa, 2022).

Berbagai jenis tanaman herbal seperti bawang putih (*Allium sativum*), kunyit (*Curcuma longa*), jahe (*Zingiber officinale*), meniran (*Phyllanthus niruri*), dan daun kelor (*Moringa oleifera*) telah banyak diaplikasikan sebagai bahan tambahan pakan pada budidaya ikan air tawar maupun laut. Kandungan senyawa aktif seperti allicin, kurkumin, gingerol, flavonoid, dan polifenol diketahui mampu merangsang aktivitas lisozim, meningkatkan kemampuan fagositosis sel imun, serta memperbaiki respons imun non-spesifik sehingga ikan menjadi lebih tahan terhadap serangan penyakit bakteri dan parasit (Muahiddah & Diamahesa, 2022).

Selain tanaman daratan, sumber daya perairan seperti rumput laut dan mikroalga juga mulai dimanfaatkan sebagai imunostimulan alami dalam sistem akuakultur modern. Polisakarida kompleks, pigmen alami, serta senyawa bioaktif yang terkandung pada rumput laut seperti *Gracilaria*, *Sargassum*, dan *Padina* terbukti mampu meningkatkan jumlah sel imun, aktivitas fagositosis, serta memperkuat sistem pertahanan non-spesifik organisme budidaya terhadap infeksi patogen. Pemanfaatan bahan-bahan tersebut juga dinilai lebih ramah lingkungan dan mendukung konsep budidaya berkelanjutan (Ridlo & Pramesti, 2012).

Meskipun memiliki prospek yang sangat baik, pemanfaatan bahan fitogenik dalam pakan ikan masih menghadapi berbagai tantangan, terutama terkait standarisasi bahan baku, metode ekstraksi, kestabilan senyawa aktif, serta penentuan dosis yang efektif untuk setiap spesies ikan. Penelitian lanjutan mengenai interaksi bahan fitogenik dengan nutrisi pakan dan pengaruh jangka panjang terhadap pertumbuhan, efisiensi pakan, serta kualitas produk budidaya masih sangat diperlukan agar teknologi pakan berbasis bahan alami dapat diterapkan



secara luas pada industri akuakultur nasional (Muahiddah & Diamahesa, 2022).

Hubungan Mikrobiota Usus dengan Sistem Imun Ikan

Saluran pencernaan ikan merupakan ekosistem kompleks yang dihuni oleh berbagai komunitas mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan mikroba lainnya yang hidup secara simbiosis dengan inangnya. Komunitas mikroorganisme ini dikenal sebagai mikrobiota usus dan memiliki peranan penting dalam menjaga keseimbangan fisiologis tubuh ikan. Selain membantu proses pencernaan dan pemecahan senyawa nutrisi menjadi bentuk yang lebih mudah diserap, mikrobiota usus juga berkontribusi dalam meningkatkan efisiensi pemanfaatan pakan serta mendukung pertumbuhan dan kesehatan ikan secara keseluruhan. Keberadaan mikroorganisme yang seimbang di dalam usus menjadi salah satu faktor penting dalam keberhasilan sistem budidaya modern (Dewanti et al., 2022).

Penelitian terkini menunjukkan bahwa mikrobiota usus memiliki hubungan yang sangat erat dengan sistem imun ikan melalui mekanisme komunikasi antara mikroorganisme usus dengan jaringan limfoid yang terdapat pada saluran pencernaan. Interaksi tersebut mampu merangsang aktivitas sel-sel imun, meningkatkan produksi senyawa imunologis seperti sitokin, serta membantu regulasi respons inflamasi ketika ikan terpapar patogen dari lingkungan maupun pakan. Dengan demikian, kondisi mikrobiota yang stabil dapat berperan sebagai garis pertahanan pertama dalam mencegah infeksi penyakit pada ikan budidaya (Ginting et al., 2017).

Komposisi dan keberagaman mikrobiota usus sangat dipengaruhi oleh kualitas pakan dan kandungan nutrisi yang diberikan selama pemeliharaan. Pakan yang diperkaya dengan probiotik, prebiotik, maupun bahan pakan fungsional lainnya terbukti mampu meningkatkan populasi bakteri menguntungkan serta menekan perkembangan bakteri patogen di dalam saluran pencernaan. Dominasi bakteri yang bersifat menguntungkan tersebut akan menciptakan kondisi usus yang lebih stabil sehingga mendukung fungsi imun mukosa dan meningkatkan ketahanan tubuh ikan terhadap serangan penyakit (Nurashila et al., 2023).

Sebaliknya, ketidakseimbangan komposisi mikrobiota usus atau yang dikenal sebagai disbiosis dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan pada ikan. Kondisi ini umumnya dipicu oleh perubahan kualitas air, pemberian antibiotik yang tidak terkontrol, kepadatan tebar yang tinggi, maupun stres lingkungan yang berlangsung dalam waktu lama. Disbiosis dapat menyebabkan terjadinya peradangan pada saluran pencernaan, menurunkan kemampuan penyerapan nutrisi, serta meningkatkan kerentanan ikan terhadap infeksi bakteri, virus, maupun parasit (Purba et al., 2021).

Oleh karena itu, pengelolaan mikrobiota usus melalui pendekatan nutrisi menjadi salah satu strategi yang semakin banyak diterapkan dalam akuakultur modern. Penyediaan pakan yang mampu menjaga keseimbangan komunitas mikroba usus tidak hanya berpengaruh terhadap

efisiensi pertumbuhan, tetapi juga berkontribusi dalam meningkatkan status kesehatan dan daya tahan ikan terhadap penyakit. Pendekatan ini dinilai lebih ramah lingkungan karena mampu mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan antibiotik dalam kegiatan budidaya intensif (Sutrisno et al., 2026).

Pengaruh Antioksidan dalam Pakan terhadap Respons Imun Ikan

Aktivitas metabolisme yang berlangsung secara intensif pada ikan budidaya menyebabkan peningkatan konsumsi oksigen dan proses respirasi seluler yang pada akhirnya menghasilkan senyawa radikal bebas atau Reactive Oxygen Species (ROS). Apabila pembentukan radikal bebas terjadi secara berlebihan dan tidak diimbangi oleh sistem pertahanan antioksidan yang memadai, maka akan terjadi stres oksidatif yang dapat merusak membran sel, protein, lipid, serta materi genetik ikan. Kerusakan tersebut berpotensi mengganggu berbagai fungsi fisiologis, termasuk sistem pertahanan tubuh dan kemampuan ikan dalam melawan serangan penyakit. Oleh karena itu, keseimbangan antara produksi radikal bebas dan kapasitas antioksidan menjadi faktor penting dalam menjaga kesehatan ikan budidaya (Diamahesa & Muahiddah, 2022).

Berbagai faktor lingkungan dalam sistem budidaya intensif seperti fluktuasi suhu, penurunan kualitas air, tingginya kepadatan tebar, serta paparan patogen dapat memicu peningkatan produksi radikal bebas dalam tubuh ikan. Kondisi tersebut menyebabkan terganggunya homeostasis seluler sehingga aktivitas sistem imun menjadi kurang optimal. Ketika mekanisme pertahanan alami mengalami penurunan, ikan menjadi lebih rentan terhadap infeksi bakteri, virus, maupun parasit yang pada akhirnya dapat menurunkan produktivitas budidaya (Lestari & Syukriah, 2020).

Pemberian senyawa antioksidan melalui pakan merupakan salah satu strategi nutrisi yang banyak diterapkan untuk mengurangi dampak negatif stres oksidatif pada ikan budidaya. Berbagai nutrisi seperti vitamin C, vitamin E, selenium, karotenoid, dan senyawa bioaktif dari bahan alami diketahui mampu menangkap radikal bebas serta melindungi jaringan tubuh dari kerusakan oksidatif. Selain itu, keberadaan antioksidan dalam pakan juga berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi metabolisme dan pemanfaatan nutrisi oleh ikan selama masa pemeliharaan (Nurhayati et al., 2023).

Antioksidan tidak hanya berfungsi sebagai pelindung sel dari kerusakan akibat oksidasi, tetapi juga berperan dalam meningkatkan respons imun non-spesifik ikan. Peningkatan aktivitas lisozim, kemampuan fagositosis sel imun, serta stimulasi sistem komplemen merupakan beberapa mekanisme pertahanan yang dipengaruhi oleh kecukupan antioksidan dalam tubuh. Dengan meningkatnya kapasitas imun tersebut, ikan memiliki kemampuan yang lebih baik dalam bertahan terhadap infeksi penyakit dan tekanan lingkungan selama proses budidaya berlangsung (Sholahuddin, 2023).

Perkembangan teknologi nutrisi perikanan saat ini mengarah pada penggunaan kombinasi berbagai jenis



antioksidan baik yang berasal dari bahan sintetis maupun sumber alami untuk memperoleh efek sinergis yang lebih optimal. Pendekatan ini dinilai mampu meningkatkan status kesehatan ikan, memperbaiki performa pertumbuhan, serta meningkatkan tingkat kelangsungan hidup pada sistem budidaya intensif. Pemanfaatan formulasi pakan berbasis antioksidan juga menjadi salah satu upaya penting dalam mendukung budidaya ikan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan (Sinansari et al., 2021).

Interaksi antara Nutrisi, Stres Lingkungan, dan Ketahanan Penyakit

Keberhasilan kegiatan budidaya ikan merupakan hasil dari interaksi yang kompleks antara kualitas pakan dan kondisi lingkungan pemeliharaan. Ketersediaan nutrisi yang baik tidak akan memberikan hasil optimal apabila kualitas air berada di luar kisaran toleransi fisiologis ikan. Parameter lingkungan seperti suhu, pH, oksigen terlarut, amonia, salinitas, serta kepadatan tebar sangat menentukan efisiensi pemanfaatan pakan, laju pertumbuhan, dan tingkat kelangsungan hidup ikan budidaya. Oleh karena itu, pengelolaan nutrisi dan lingkungan perlu dilakukan secara terpadu agar produktivitas budidaya dapat dipertahankan secara berkelanjutan (Safitri et al., 2021).

Perubahan kondisi lingkungan yang melebihi batas toleransi fisiologis ikan dapat menimbulkan stres yang berdampak langsung terhadap proses metabolisme tubuh. Respons stres pada ikan umumnya ditandai dengan peningkatan sekresi hormon kortisol yang menyebabkan terjadinya perubahan penggunaan energi, gangguan keseimbangan osmotik, serta penurunan efektivitas sistem imun. Kondisi tersebut mengakibatkan ikan menjadi lebih rentan terhadap infeksi bakteri, virus, maupun parasit yang sering menimbulkan kerugian ekonomi pada usaha budidaya perikanan (Pratama et al., 2021).

Ketika ikan berada dalam kondisi stres, kebutuhan nutrisi cenderung meningkat karena tubuh memerlukan energi tambahan untuk mempertahankan fungsi fisiologis dan melakukan perbaikan jaringan yang mengalami kerusakan. Nutrien seperti protein berkualitas tinggi, vitamin, mineral, dan asam lemak esensial memiliki peranan penting dalam mendukung proses adaptasi terhadap perubahan lingkungan. Kecukupan nutrisi tersebut mampu membantu mempertahankan keseimbangan metabolisme serta meningkatkan kemampuan ikan dalam menghadapi tekanan lingkungan budidaya (Hidayati et al., 2021).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pemberian pakan dengan komposisi nutrisi yang seimbang dapat menekan dampak negatif stres lingkungan terhadap kesehatan ikan. Nutrisi yang memadai berperan dalam meningkatkan aktivitas enzim antioksidan, menjaga integritas jaringan tubuh, serta mendukung fungsi sel-sel imun dalam melawan agen patogen. Dengan demikian, formulasi pakan yang tepat tidak hanya mendukung pertumbuhan, tetapi juga berfungsi sebagai salah satu strategi pencegahan penyakit pada ikan budidaya (Dwiputra et al., 2021).

Pengelolaan kesehatan ikan yang efektif memerlukan pendekatan yang terintegrasi antara

manajemen nutrisi dan pengendalian kualitas lingkungan budidaya. Pemberian pakan berkualitas tanpa diikuti pengelolaan kualitas air yang baik tidak akan mampu memberikan hasil yang optimal terhadap peningkatan ketahanan penyakit. Oleh karena itu, pemantauan rutin terhadap parameter kualitas air serta penyediaan nutrisi yang sesuai kebutuhan ikan menjadi kunci utama dalam menciptakan sistem budidaya yang produktif dan berkelanjutan (Cahyani et al., 2024).

Prospek Pengembangan Pakan Imunostimulan pada Akuakultur Berkelanjutan

Meningkatnya kesadaran terhadap dampak negatif penggunaan antibiotik dalam budidaya perikanan telah mendorong pengembangan pakan fungsional berbasis imunostimulan sebagai alternatif yang lebih aman dan berkelanjutan. Pakan imunostimulan tidak hanya berperan dalam memenuhi kebutuhan nutrisi untuk pertumbuhan, tetapi juga dirancang untuk meningkatkan respons imun nonspesifik ikan sehingga mampu menekan tingkat kejadian penyakit dan mengurangi ketergantungan terhadap antibiotik dalam sistem budidaya intensif. Pendekatan ini menjadi salah satu strategi penting dalam mendukung akuakultur berkelanjutan dan produksi ikan yang aman bagi konsumen (Usman et al., 2023).

Pemanfaatan berbagai bahan alami sebagai sumber imunostimulan terus berkembang dalam formulasi pakan ikan modern. Probiotik, prebiotik, ekstrak tanaman herbal, fitogenik, mikroalga, serta senyawa bioaktif dari organisme perairan diketahui mampu meningkatkan aktivitas fagositosis, produksi enzim pertahanan, serta memperbaiki keseimbangan mikrobiota usus ikan. Selain meningkatkan status kesehatan ikan, penggunaan bahan alami tersebut relatif aman karena tidak meninggalkan residu berbahaya di lingkungan perairan maupun pada produk hasil budidaya (Affandi & Diamahesa, 2023).

Perkembangan teknologi di bidang nutrisi ikan juga mulai mengarah pada pemanfaatan teknologi nano untuk meningkatkan efektivitas penghantaran nutrisi dan senyawa bioaktif. Teknologi nano memungkinkan bahan aktif diserap lebih cepat dan efisien melalui peningkatan luas permukaan partikel sehingga bioavailabilitas nutrisi menjadi lebih tinggi. Penerapan teknologi ini berpotensi meningkatkan efisiensi pakan, memperkuat sistem imun ikan, serta menurunkan jumlah bahan tambahan yang diperlukan dalam formulasi pakan akuakultur modern (Yunitaningrum et al., 2023).

Meskipun memiliki prospek yang menjanjikan, implementasi pakan imunostimulan dalam skala komersial masih menghadapi berbagai kendala. Tingginya biaya produksi beberapa bahan aktif, keterbatasan ketersediaan bahan baku lokal, serta perbedaan respons fisiologis antarspesies ikan menjadi tantangan dalam pengembangan produk yang seragam dan efektif. Oleh sebab itu, diperlukan penelitian lanjutan untuk menentukan dosis optimal, metode aplikasi, serta formulasi yang sesuai dengan karakteristik masing-masing komoditas budidaya (Tanbiyaskur et al., 2023).



KESIMPULAN

Pengembangan pakan imunostimulan yang didukung oleh kemajuan ilmu nutrisi dan imunologi ikan diharapkan mampu menghasilkan sistem budidaya yang lebih produktif, sehat, dan ramah lingkungan. Integrasi bahan alami, probiotik, serta teknologi baru dalam formulasi pakan dapat menjadi solusi dalam menghadapi meningkatnya risiko penyakit pada budidaya intensif sekaligus mendukung prinsip akuakultur berkelanjutan yang menekan penggunaan antibiotik dan menjaga kualitas lingkungan perairan (Hutagalung et al., 2023).

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, M., & Diamahesa, W. A. (2023). Pemanfaatan Bahan Alami Sebagai Imunostimulan Dalam Budidaya Ikan Untuk Meningkatkan Kesehatan Dan Ketahanan Terhadap Penyakit. *Jurnal Lemuru*, 5(2), 85–95.
- Ardy, F. M., Desrina, D., & Haditomo, A. H. C. (2019). Penambahan Kandidat Probiotik *Bacillus Methylothrophicus* Secara Berkala Pada Media Pemeliharaan Untuk Pencegahan Infeksi Bakteri *Aeromonas Hydrophila* Pada Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus*). *Sains Akuakultur Tropis: Indonesian Journal Of Tropical Aquaculture*, 3(2), 50–59.
- Aslamyiah, S., Badraeni, B., & Zainuddin, Z. (2024). Peran Mikronutrien Dalam Meningkatkan Performa Pertumbuhan Dan Kesehatan Ikan Budidaya Pada Sistem Intensif. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 23(1), 15–28.
- Cahyani, A. P. R., Afifa, F. H., & Hafiludin, H. (2024). Manajemen Kualitas Air Pada Kolam Budidaya Pembesaran Ikan Bandeng (*Chanos Chanos*) Di Balai Besar Perikanan Budidaya Air Payau Jepara, Jawa Tengah. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan Dan Perikanan*.
- Dawood, M. (2021). Imunitas Nutrisi Usus Ikan: Wawasan Penting Untuk Akuakultur Berkelanjutan. *Ulasan Dalam Akuakultur*, 13 (1), 642–663.
- Dewanti, A. R., Putri, A. O., Istiqomah, I., & Isnansetyo, A. (2022). Safety, Adherence, Enzymatic Activities, And Application Effects Of Oral Probiotic Candidates For Shortfin Eel (*Anguilla Bicolor Bicolor*). *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 14(2), 246–260.
- Diamahesa, W. A., & Muahiddah, N. (2022). Pemanfaatan Ampas Kopi Sebagai Sumber Antioksidan Untuk Ikan Budidaya: Review. *Journal Of Fish Nutrition*, 2(2), 131–140.
- Dwiputra, B. P., Harwanto, D., & Samidjan, I. (2021). Pengaruh Penggunaan *Hydrilla Verticillata* Sebagai Fitoremediator Terhadap Kualitas Air Dan Pertumbuhan Ikan Manfish (*Pterophyllum Scalare*) Pada Sistem Resirkulasi. *Sains Akuakultur Tropis: Indonesian Journal Of Tropical Aquaculture*, 5(2), 223–235.
- Ginting, S. S. B., Suryanto, D., & Desrita. (2017). Isolasi Dan Karakterisasi Bakteri Potensial Probiotik Pada Saluran Pencernaan Ikan Bandeng (*Chanos Chanos*). *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 5(1), 35–40.
- Hidayati, S. N., Laili, S., & Santoso, H. (2021). Pengaruh Kualitas Air Kolam Terpal Terhadap Pertumbuhan Ikan Lele Dumbo (*Clarias Gariepinus*). *Jurnal Ilmiah Biosaintropis (Bioscience-Tropic)*, 6(2), 19–25.
- Hutagalung, R., Simanjuntak, D., & Siregar, A. (2023). Strategi Pengembangan Akuakultur Berkelanjutan Melalui Penggunaan Pakan Fungsional Dan Imunostimulan Alami. *Jurnal Sains Akuakultur Indonesia*, 3(1), 12–21.
- Ibrahim, Y., Fadhilah, R., & Karim, A. (2019). Suplementasi Seng (Zn) Anorganik $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ Dalam Pakan Terhadap Motilitas Dan Viabilitas Sperma Ikan Serukan (*Osteochilus*). *Jurnal Akuakultura Universitas*(2), 1–8.
- Jusadi, D., Setiawati, M., & Suprayudi, M. A. (2021). Pengaruh Suplementasi Vitamin Antioksidan Terhadap Performa Pertumbuhan Dan Ketahanan Tubuh Ikan Budidaya. *Media Akuakultur*, 16(2), 79–89.
- Lestari, D. F., & Syukriah. (2020). Manajemen Stres Pada Ikan Untuk Akuakultur Berkelanjutan. *Jami: Jurnal Ahli Muda Indonesia*, 1(1), 23–34.
- Mokoginta, I., & Suprayudi, M. A. (2021). Nutrisi Dan Kebutuhan Mikronutrien Pada Ikan Budidaya Modern. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 21(3), 221–233.
- Muahiddah, N., & Diamahesa, W. A. (2022). Pengaruh Imunostimulan Dari Bahan-Bahan Alami Pada Ikan Dalam Meningkatkan Imun Non-Spesifik Untuk Melawan Penyakit (Review). *Clarias: Jurnal Perikanan Air Tawar*, 3(2), 37–44.
- Nurashila, A. S., Mulyani, Y., Anna, Z., & Agung, M. U. K. (2023). Analysis Of Bacterial Abundance In The Intestines Of Common Carp (*Cyprinus Carpio*) Treated With The Probiotic *Bacillus Subtilis*. *Aquasains: Jurnal Ilmu Perikanan Dan Sumberdaya Perairan*, 11(2), 1269–1276.
- Nurhayati, N., Thaib, A., Handayani, L., Aprizal, M. Y. T., Syahputra, F., & Harun, H. (2023). Efek Suplementasi Arang Aktif Pada Pakan Terhadap Profil Histologi Usus Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus*) Setelah Terpapar Insektisida Organofosfat. *Jurnal Riset Akuakultur*, 18(1), 1–10.
- Pratama, M. A., Arthana, I. W., & Kartika, G. R. A. (2021). Fluktuasi Kualitas Air Budidaya Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus*) Dengan Beberapa Variasi Sistem Resirkulasi. *Current Trends In Aquatic Science*, 4(1), 102–107.
- Purba, S. R., Mulyani, C., & Putriningtias, A. (2021). Pengaruh Pemberian Probiotik Pada Media Pemeliharaan Terhadap Kualitas Air Dan Pertumbuhan Benih Ikan Baung (*Mystus*



- Nemurus). *Journal Of Aquaculture Science*, 6(2), 154–164.
- Putra, A. N., Effendi, I., Setiawati, M., & Jusadi, D. (2022). Evaluation Of Fermented Rice Bran To Replace Soybean Meal In The Diet Of *Clarias* Sp. Fingerling: Evaluasi Fermentasi Dedak Padi Untuk Menggantikan Tepung Kedelai Pada Pakan Benih Ikan Lele *Clarias* Sp. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 21(2), 142–151.
- Ridlo, A., & Pramesti, R. (2012). Aplikasi Ekstrak Rumput Laut Sebagai Agen Immunostimulan Sistem Pertahanan Non Spesifik Pada Udang (*Litopenaeus Vannamei*). *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal Of Marine Sciences*, 14(3), 133–137.
- Safitri, R. N., Ningtyas, S. R. A., Hermawan, W. G., Pramitasari, T. A., & Rachmawati, S. (2021). Dampak Kualitas Air Pada Kawasan Keramba Budidaya Ikan Air Tawar Di Waduk Cengklik, Boyolali. *Journal Of Environmental Science Sustainable*, 2(2), 84–91.
- Saputra, L. R., & Jubaedah, D. (2022). Aplikasi Pemuasaan Dan Pemberian Pakan Berprobiotik Pada Budidaya Ikan Patin Di Upr Fish Under Crew, Indralaya Utara, Ogan Ilir. *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, 7(1), 66–71.
- Setiawati, M., Jusadi, D., & Widanarni. (2022). Pengaruh Suplementasi Vitamin C Terhadap Respons Imun Dan Tingkat Kelangsungan Hidup Ikan Budidaya. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 21(2), 115–126.
- Sholahuddin, M. A. (2023). Pengaruh Perbedaan Konsentrasi Enzim Bromelin Pada Hidrolisat Protein Dari Limbah Jeroan Ikan Nila (*Oreochromis* Sp.) Terhadap Aktivitas Antioksidan. *Saintek Perikanan: Indonesian Journal Of Fisheries Science And Technology*, 19(4), 203–208.
- Sinansari, S., Prakoso, V. A., Hayuningtyas, E. P., Priadi, B., Sundari, S., & Kusrini, E. (2021). Pengaruh Padat Tebar Terhadap Konsumsi Oksigen Dan Respons Stres Ikan Cupang Alam (*Betta Imbellis*). *Oceanologi Dan Limnologi Di Indonesia*, 6(1), 1–10.
- Sumana, Sl, Chen, H., Shui, Y., Zhang, C., Yu, F., Zhu, J., & Su, S. (2023). Pengaruh Selenium Dalam Pakan Terhadap Pertumbuhan Dan Sistem Kekebalan Tubuh Ikan. *Hewan*, 13
- Suprayudi, Ma, Amanullah, Mr, Jusadi, D., Nasrullah, H., & Latif, Ay (2023). Suplementasi Peptida Selenium Dalam Pakan Untuk Meningkatkan Pertumbuhan Ikan Lele Afrika *Claria*. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 22 (1), 80–86.
- Sutrisno, Hasan, O. D. S., Triyanto, Wiradana, P. A., & Sudaryatma, P. E. (2026). Efektivitas Suplementasi Pakan Maggot Dan Probiotik Terhadap Kinerja Pertumbuhan Dan Microbiota Usus Sidat (*Anguilla Bicolor Bicolor*). *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 25(1), 105–118.
- Tanbiyaskur, M., Putra, A. R., & Wibowo, E. S. (2023). Tantangan Dan Peluang Penerapan Immunostimulan Pada Pakan Ikan Budidaya Di Indonesia. *Jurnal Riset Akuakultur*, 18(3), 157–168.
- Usman, A., Rahman, F., & Syafrudin, M. (2023). Pakan Immunostimulan Sebagai Alternatif Pengurangan Penggunaan Antibiotik Pada Budidaya Ikan Intensif. *Semah Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Perairan*, 7(1), 44–53.
- Yulfiperius, Harris, E., & Mokoginta, I. (2023). Peranan Vitamin Larut Lemak Terhadap Kesehatan Dan Sistem Imun Ikan Budidaya. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 15(1), 55–68.
- Yunitaningrum, D., Prasetyo, B., & Kurniawan, A. (2023). Aplikasi Teknologi Nano Dalam Sistem Penghantaran Nutrien Dan Immunostimulan Pada Akuakultur Modern. *Media Gizi Indonesia*, 18(2), 210–219.
- Abidin, Is, Pramono, H., & Putri, Ra (2022). Aplikasi Probiotik Dan Sumber Karbon Pada Kolam Konservasi Udang Vaname (*Litopena*) Di Dalamjurnal *Akuatik*(2), 116–126. <https://doi.org/10.31093>
- Aslamyiah, S., Zainuddin, Z., & Badraeni, B. (2022). Pengaruh Kombinasi Mikroorganisme Sebagai Probiotik Dalam Pakan Terhadap Kinerja Pertumbuhan, Laju Pengosongan Lambung, Dan Kadar Glukosa Darah Ikan Bandeng, *Chanos Chanos* (Forsskal, 1775). *Jurnal Iktiologi Indonesia*,
- Dewi, U., Jusadi, D., Setiawati, M., & Nuryati, S. (2022). Evaluasi Suplementasi Glutamin Dalam Pakan Terhadap Kinerja Pertumbuhan, Struktur Dan Fungsi Usus Ikan Lele *Pangasius Hypophthalmus*(Sauvage, 1878) Goreng. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 22 (1), 35–48.
- Difinubun, Mi, Rahman, Aa, & Tumembouw, Ss (2023). Pengaruh Padat Tebar Yang Berbeda Terhadap Tingkat Kelangsungan Hidup Dan Laju Pertumbuhan Ikan Lele (*Clarias Gariepinus*).*Budidaya Perair*(2),<https://doi.org/1>
- Eviani, E., Prasetyono, E., Robin, R., & Febrianti, D. (2019). Pencampuran Ekstrak Daun Gamal (*Gliricidia Sepium*) Ke *Daloreochro*).*Jurnal Sains*(2), 85–92. <https://doi.org/10.21831/Jsd>
- Iskandar, R., Nurjanah, N., & Lestari, Tp (2021). Pengaruh Kadar Lemak Pakan Terhadap Pertumbuhan Dan Efisiensi Pemanfaatan Pakan Ikan Budidaya. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 20 (2), 95–104.
- Kusuma, Ma, Rachmawati, D., & Sarjito, S. (2022). Pengaruh Asam Amino Lisin Pada Pakan Buatan Terhadap Efisiensi Pemanfaatan Pakan, Pertumbuhan Dan Kelulushidupan Benih Ikan Baung (*Mystus*). *Sains Akuakultur Tropis: Jurnal Budidaya Perairan Tropis Indonesia*, 6 (2), 216–225.



- Mokoginta, I., Suprayudi, Ma, & Yulfiperius. (2022). Nutrisi Lipid Dan Mendukung Pertumbuhan Serta Kesehatan Ikan Budidaya. Jurnal A(1)
- Purbomartono, C., Rizkiyah, U., Mulia, Ds, & Husin, A. (2022). Aktivitas Potensiasi Imun Non-Spesifik Multivitamin Pada Ikan Lele (Clarias Sp.). Sainteks, 18 (2), 157–166. <https://doi.org/10.3>
- Setiawati, M., Jusadi, D., & Widanarni. (2022). Pengaruh Komposisi Nutrisi Pakan Terhadap Respon Fisiologis Ikan Pada Kondisi Lingkungan Budidaya Yang Berbeda-Beda. Jurnal Iktiologi Indonesia, 22 (3), 215–228.
- Seviana, NI, Zubaidah, A., & Hastuti, Sd (2022). Efektivitas Pemberian Probiotik Yang Berbeda Terhadap Respon Imun Ikan Lele Sangkuriang (Clarias Gariepinus) Pada Sistem Budidaya Intensif. Jurnal Riset Akuakultur, 17 (3), 181–190.
- Suprayudi, Ma, Yulfiperius, & Harris, E. (2023). Peran Asam Lemak Esensial Dalam Meningkatkan Kinerja Pertumbuhan Dan Sistem Imun Budidaya Ikan. Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis, 15 (2), 301–314.
- Wulandari, Dk, & Junianto. (2024). Kajian Literatur: Efektivitas Berbagai Bahan Herbal Dalam Meningkatkan Sistem Imunitas Ikan. Jurnal Kolabor(11),
- Yulfiperius, & Mokoginta, I. (2021). Pengaruh Asam Lemak Omega-3 Terhadap Respon Imun Dan Kesehatan Ikan Budidaya: Sebuah Observasi. Media Akuakultur,(1), 45–56.