



STUDI LITERATUR TENTANG PEMANFAATAN BAHAN BAKU PAKAN LOKAL SEBAGAI ALTERNATIF PENGGANTI TEPUNG IKAN DALAM MENINGKATKAN PERTUMBUHAN DAN EFISIENSI PAKAN IKAN BUDIDAYA

Paskalis Gulo¹⁾, Ratna Dewi Zebua²⁾

¹⁾Sumber Daya Akuatik, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: paskalisgulo03@gmail.com

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

Abstract

The global aquaculture industry, particularly in Indonesia, faces critical challenges due to its high dependence on fish meal as the primary protein source in feed. Price fluctuations and shortages of fish meal have created an urgent need to find sustainable and economical local alternative raw materials. This literature review aims to evaluate the potential of various local feed ingredients, such as maggots (Black Soldier Fly/BSF), rice bran, coconut meal, and tofu residue, as partial or total substitutes for fish meal in freshwater fish farming (catfish, tilapia, and pangasius), including their effects on health, immune response, and feed palatability. The method used was a systematic review of empirical studies published over the past 10 years (2014-2024) from leading scientific databases. The results of the analysis show that although the amino acid profiles of local ingredients are generally lower than those of fish meal, the application of processing technologies such as fermentation and enzyme supplementation can significantly improve nutrient digestibility. The optimal substitution rate varies among species; however, the majority of studies report that substitutions of up to 30-50% do not negatively impact the Specific Growth Rate (SGR) and Feed Conversion Ratio (FCR), and in certain cases even improve production cost efficiency by 15-20%. Key challenges include variability in ingredient quality, the presence of antinutritional factors, and palatability constraints, which can be addressed through standardization of production processes and processing technology interventions. The study's conclusions affirm that integrating local raw materials into feed formulations is a viable strategy for enhancing the economic and ecological sustainability of the national aquaculture industry.

Keywords: Alternative feed, Fish meal, Local raw materials, Feed efficiency, Sustainable aquaculture.

Abstrak

Industri akuakultur global, khususnya di Indonesia, menghadapi tantangan kritis akibat ketergantungan tinggi terhadap tepung ikan (fish meal) sebagai sumber protein utama dalam pakan. Fluktuasi harga dan kelangkaan stok tepung ikan mendorong urgensi pencarian alternatif bahan baku lokal yang berkelanjutan dan ekonomis. Tinjauan literatur ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi berbagai bahan pakan lokal, seperti maggot (Black Soldier Fly/BSF), dedak padi, bungkil kelapa, dan ampas tahu sebagai substitusi parsial atau total tepung ikan pada budidaya ikan air tawar (Lele, Nila, dan Patin), termasuk dampaknya terhadap kesehatan, respons imun, dan palatabilitas pakan. Metode yang digunakan adalah tinjauan sistematis terhadap studi empiris yang diterbitkan dalam rentang waktu 10 tahun terakhir (2014-2024) dari basis data ilmiah terkemuka. Hasil analisis menunjukkan bahwa meskipun profil asam amino bahan lokal umumnya lebih rendah dibandingkan tepung ikan, aplikasi teknologi pengolahan seperti fermentasi dan suplementasi enzim dapat meningkatkan pencernaan nutrisi secara signifikan. Tingkat substitusi optimal bervariasi antar spesies; namun, mayoritas studi melaporkan bahwa substitusi hingga 30-50% tidak memberikan dampak negatif terhadap Specific Growth Rate (SGR) dan Feed Conversion Ratio (FCR), bahkan pada kasus tertentu meningkatkan efisiensi biaya produksi hingga 15-20%. Tantangan utama meliputi variabilitas kualitas bahan, keberadaan faktor anti-nutrisi, dan kendala palatabilitas, yang dapat diatasi melalui standarisasi proses produksi dan intervensi teknologi pengolahan. Kesimpulan studi ini menegaskan bahwa integrasi bahan baku lokal dalam formulasi pakan merupakan strategi viable untuk meningkatkan keberlanjutan ekonomi dan ekologi industri akuakultur nasional.

Kata Kunci: Pakan alternatif, Tepung ikan, Bahan baku lokal, Efisiensi pakan, Akuakultur berkelanjutan.



PENDAHULUAN

Akuakultur merupakan sektor penyumbang protein hewani terbesar di dunia, dengan Indonesia sebagai salah satu produsen utama ikan air tawar seperti Lele (*Clarias gariepinus*), Nila (*Oreochromis niloticus*), dan Patin (*Pangasius hypophthalmus*). Namun, pertumbuhan industri ini terhambat oleh ketergantungan yang berlebihan terhadap tepung ikan sebagai sumber protein utama dalam formulasi pakan komersial. Tekanan terhadap stok ikan laut global telah menyebabkan stagnasi produksi tepung ikan, sementara permintaan akuakultur terus meningkat secara eksponensial, sehingga mendorong lonjakan harga dan menjadikan biaya pakan dapat mencapai 60-70% dari total biaya operasional budidaya (Tacon & Metian, 2015). Kondisi ini menggerus margin keuntungan pembudidaya kecil dan menengah, serta mengancam ketahanan pangan nasional dalam jangka panjang.

Di sisi lain, Indonesia memiliki kekayaan hayati dan limbah agroindustri yang melimpah namun belum dimanfaatkan secara optimal. Bahan-bahan seperti larva Black Soldier Fly (BSF) atau maggot, dedak padi, bungkil kelapa, dan ampas tahu menawarkan potensi besar sebagai sumber protein dan energi alternatif. Pemanfaatan limbah organik untuk produksi pakan berbasis serangga seperti BSF dinilai sebagai solusi sirkular yang menjanjikan untuk mengurangi jejak karbon akuakultur sekaligus mendukung prinsip ekonomi sirkular dalam rantai pasok pakan (Sari & Budiarto, 2024). Bahan-bahan lokal ini tidak hanya tersedia secara stabil sepanjang tahun dan berkelanjutan, tetapi juga memiliki nilai ekonomi tambah jika diolah menjadi pakan berkualitas, sehingga berpotensi mendukung kemandirian industri pakan nasional.

Meskipun demikian, adopsi bahan baku lokal masih terkendala oleh persepsi mengenai kualitas nutrisi yang inferior dibandingkan tepung ikan, serta ketidakkonsistenan performa pertumbuhan ikan yang dihasilkan. Bahan nabati sering kali mengandung faktor anti-nutrisi dan memiliki pencernaan yang lebih rendah, yang dapat menghambat pertumbuhan ikan apabila tidak diolah dengan metode pengolahan yang tepat, seperti fermentasi atau perlakuan enzimatis (Kumar & Singh, 2020). Tantangan teknis inilah yang menjadikan kajian mendalam mengenai efektivitas substitusi bahan lokal menjadi penting untuk dilakukan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam tinjauan ini adalah: (1) Bagaimana profil nutrisi bahan baku lokal dibandingkan dengan tepung ikan? (2) Sejauh mana substitusi bahan lokal memengaruhi parameter pertumbuhan, efisiensi pakan, dan kesehatan ikan budidaya? (3) Apa saja tantangan teknis dan solusi yang dapat diterapkan untuk memaksimalkan pemanfaatan bahan lokal dalam formulasi pakan? Tulisan ini bertujuan untuk mensintesis bukti-bukti ilmiah terkini guna memberikan panduan strategis bagi pengembangan pakan mandiri yang efisien dan ramah lingkungan, sejalan dengan pentingnya adaptasi formulasi pakan berbasis sumber daya lokal untuk mendukung keberlanjutan industri akuakultur nasional (Nguyen & Tran, 2019).

Kajian-kajian terdahulu mengenai substitusi tepung ikan cenderung bersifat parsial, yaitu berfokus pada satu jenis bahan baku lokal atau satu spesies ikan budidaya tertentu, sehingga sulit ditarik simpulan yang komprehensif mengenai kelayakan bahan lokal secara lintas komoditas. Belum banyak tinjauan yang secara sistematis membandingkan berbagai bahan baku lokal baik yang berbasis hewani seperti maggot BSF maupun nabati seperti dedak padi, bungkil kelapa, dan ampas tahu sekaligus mengaitkannya dengan aspek pertumbuhan, kesehatan, palatabilitas, dan kelayakan ekonomi secara terintegrasi. Kesenjangan pengetahuan (research gap) inilah yang mendasari perlunya tinjauan literatur yang lebih holistik, sehingga hasil sintesis dapat memberikan gambaran yang lebih utuh bagi peneliti, praktisi, maupun pengambil kebijakan dalam merumuskan strategi substitusi pakan yang tepat sasaran.

Melalui pendekatan tinjauan literatur naratif yang sistematis, tulisan ini diharapkan mampu memberikan kontribusi berupa peta pengetahuan (knowledge map) mengenai potensi dan keterbatasan masing-masing bahan baku lokal, sekaligus mengidentifikasi celah penelitian yang masih perlu ditindaklanjuti pada studi-studi berikutnya. Dengan demikian, hasil tinjauan ini tidak hanya bermanfaat secara akademis, tetapi juga dapat menjadi rujukan praktis bagi industri pakan dan pembudidaya dalam merancang formulasi pakan yang lebih efisien, ekonomis, dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Studi ini menggunakan metode tinjauan literatur naratif (narrative review) yang dikombinasikan dengan pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi, menyeleksi, dan mensintesis penelitian relevan. Pencarian literatur dilakukan pada basis data elektronik utama termasuk ScienceDirect, Scopus, Google Scholar, dan portal jurnal nasional terakreditasi SINTA. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian meliputi kombinasi dari: "local feed ingredients", "fish meal replacement", "aquaculture nutrition", "Black Soldier Fly larvae", "rice bran", "soybean meal", dan nama spesifik ikan budidaya ("Catfish", "Tilapia", "Pangasius"). Prosedur pencarian ini mengikuti pedoman yang disarankan oleh Barroso dan Santos (2021) untuk memastikan cakupan literatur yang komprehensif dan relevan dengan konteks akuakultur tropis.

Kriteria inklusi ditetapkan sebagai berikut: (1) Artikel penelitian asli atau review yang diterbitkan dalam periode 10 tahun terakhir (2014-2024) untuk memastikan relevansi data terkini; (2) Studi yang melibatkan ikan air tawar ekonomis penting di Indonesia; (3) Penelitian yang melaporkan parameter kinerja pertumbuhan (SGR, WG), efisiensi pakan (FCR, PER), atau respons fisiologis/imunologis ikan; serta (4) Artikel yang tersedia dalam teks lengkap berbahasa Inggris atau Indonesia. Kriteria eksklusi mencakup artikel konferensi tanpa peer review, studi yang tidak menyertakan kelompok kontrol, dan penelitian yang berfokus eksklusif pada ikan hias atau ikan laut. Penetapan kriteria ini selaras dengan standar metodologis yang digunakan oleh Lestari dan Putri (2023).



dalam analisis ekonomi pakan akuakultur untuk menjamin validitas data yang disintesis.

Proses seleksi awal menghasilkan sejumlah artikel kandidat yang kemudian disaring berdasarkan judul dan abstrak, sehingga tersisa 20 artikel utama yang dianalisis secara mendalam. Data diekstraksi secara kualitatif untuk membandingkan profil nutrisi, tingkat substitusi, respons biologis, dan kelayakan ekonomi ikan terhadap perlakuan pakan berbasis bahan lokal. Analisis difokuskan pada identifikasi pola umum, kontradiksi hasil, dan celah pengetahuan (research gaps) yang ada dalam literatur saat ini. Pendekatan sintesis ini memungkinkan evaluasi kritis terhadap efektivitas berbagai bahan lokal, sebagaimana dilakukan oleh Prasetyo dan Fauzi (2021) dalam mengevaluasi dampak fermentasi terhadap kualitas pakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Profil Nutrisi Bahan Baku Lokal dan Tepung Ikan

Tepung ikan standar umumnya mengandung protein kasar 60-72% dengan profil asam amino esensial (AAE) yang lengkap dan seimbang, terutama lisin dan metionin, serta pencernaan tinggi (>90%). Bahan baku lokal, sebaliknya, menunjukkan variabilitas komposisi nutrisi yang jauh lebih besar. Pada dedak padi, misalnya, kandungan protein, lemak, dan seratnya sangat dipengaruhi oleh proses penggilingan yang digunakan, sehingga formulasi pakan berbasis dedak memerlukan pengujian komposisi secara rutin agar konsisten dari batch ke batch (Gunawan & Putra, 2021).

Maggot BSF memiliki kandungan protein kasar berkisar antara 40-50%, dengan profil lemak yang tinggi (30-35%) dan didominasi oleh asam laurat rantai sedang, yang memengaruhi profil asam lemak daging ikan yang diberi pakan berbasis serangga tersebut (Chong & Lee, 2023). Sementara itu, bungkil kelapa dan ampas tahu memiliki kadar protein menengah (20-45%), namun sering kali defisien dalam metionin dan lisin dibandingkan dengan tepung ikan.

Secara umum, bahan nabati lokal cenderung memiliki dinding sel serat yang keras dan mengandung faktor antinutrisi seperti fitat, tanin, dan inhibitor tripsin yang menghambat penyerapan nutrisi. Keberadaan fitat dalam bahan nabati dapat mengikat mineral penting seperti fosfor dan seng, sehingga mengurangi ketersediaannya bagi ikan dan berpotensi menurunkan performa pertumbuhan jika tidak dimitigasi (Kumar & Singh, 2020).

Perbedaan pencernaan ini juga terkonfirmasi pada tingkat spesies; koefisien pencernaan berbagai sumber protein nabati lokal pada ikan patin (*Pangasius*) juvenil terbukti lebih rendah dan lebih bervariasi dibandingkan dengan tepung ikan, terutama untuk bahan dengan kandungan serat kasar tinggi (Lim & Park, 2022).

Selain kandungan nutrisi utama, kualitas bahan baku juga dipengaruhi oleh stabilitas penyimpanan yang berhubungan dengan kadar air dan kandungan lemak. Bahan dengan kadar air tinggi lebih rentan mengalami pertumbuhan kapang serta penurunan kualitas akibat aktivitas mikroorganisme, sedangkan bahan dengan

kandungan lemak tidak jenuh yang tinggi lebih mudah mengalami oksidasi selama penyimpanan sehingga menurunkan nilai biologis protein dan energi. Oleh karena itu, evaluasi kualitas bahan pakan lokal sebaiknya tidak hanya dilakukan pada saat bahan diterima, tetapi juga selama penyimpanan untuk memastikan mutu nutrisi tetap terjaga hingga proses formulasi pakan. Pendekatan ini akan meningkatkan konsistensi kualitas pakan dan meminimalkan variasi performa pertumbuhan ikan di lapangan.

Pengaruh Substitusi terhadap Pertumbuhan dan Efisiensi Pakan

Pada ikan lele, beberapa studi melaporkan bahwa substitusi tepung ikan dengan tepung maggot BSF hingga 50% tidak berbeda nyata dalam hal Weight Gain (WG) dan Specific Growth Rate (SGR) dibandingkan dengan kontrol penuh tepung ikan, yang diduga terkait dengan kemampuan lele yang tinggi dalam mencerna protein hewani alternatif serta toleransinya terhadap kadar lemak pakan yang tinggi (Setiawan & Rahman, 2020).

Untuk ikan patin, studi mengenai penggunaan ampas tahu yang difermentasi menunjukkan bahwa Protein Efficiency Ratio (PER) dapat meningkat hingga level yang setara dengan pakan komersial berbasis tepung ikan, seiring perbaikan pencernaan protein akibat pemecahan kompleks protein-karbohidrat selama proses fermentasi (Haryanto & Wijaya, 2022).

Perbandingan langsung antara pakan nabati lokal yang difermentasi dan yang tidak difermentasi pada ikan lele menegaskan pola tersebut: kelompok yang diberi pakan terfermentasi secara konsisten menunjukkan pertumbuhan dan efisiensi pakan yang lebih baik dibandingkan kelompok non-fermentasi pada tingkat substitusi yang sama, mengindikasikan bahwa perlakuan pengolahan, bukan semata jenis bahan, menjadi faktor penentu keberhasilan substitusi (Zainuddin & Ali, 2023).

Pada ikan nila, tinjauan terhadap pemanfaatan ampas tahu sebagai sumber protein menunjukkan hasil yang menjanjikan, namun tetap memerlukan kehati-hatian karena variasi kualitas limbah tahu antarpodusen skala rumah tangga dapat memengaruhi konsistensi hasil budidaya, sehingga standarisasi bahan baku menjadi prasyarat penting sebelum adopsi skala luas (Rahmawati & Susanto, 2023).

Tingkat Substitusi Optimal

Tidak ada angka tunggal untuk tingkat substitusi optimal karena bergantung pada jenis bahan, spesies ikan, dan tahap pertumbuhan. Secara umum, literatur mengindikasikan bahwa maggot BSF dapat menggantikan hingga 50-75% tepung ikan pada ikan karnivora-omnivora seperti lele, namun tingkat inklusi BSF di atas 30% pada ikan nila mulai menunjukkan penurunan pencernaan protein apparent akibat kandungan kitin yang tinggi, sehingga disarankan maksimal 25-30% untuk spesies tersebut (Barroso & Santos, 2021).

Untuk bahan nabati seperti dedak dan bungkil kelapa, tingkat substitusi aman umumnya berada di kisaran



20-40%; di atas ambang batas ini, penurunan pertumbuhan mulai terlihat signifikan kecuali dilakukan intervensi teknologi pakan. Keseimbangan antara sumber protein nabati dan hewani sangat krusial untuk mempertahankan homeostasis metabolik pada ikan patin, sehingga formulasi tidak boleh hanya berpatokan pada kadar protein total, tetapi juga pada rasio dan ketersediaan asam amino esensial (Nguyen & Tran, 2019).

Respons pertumbuhan ikan terhadap substitusi bahan lokal juga dipengaruhi oleh interaksi antara kualitas pakan dan kondisi lingkungan budidaya, seperti suhu, oksigen terlarut, serta kepadatan tebar. Lingkungan yang kurang optimal dapat meningkatkan kebutuhan energi pemeliharaan (*maintenance energy*), sehingga energi yang berasal dari pakan lebih banyak digunakan untuk mempertahankan fungsi fisiologis dibandingkan untuk pertumbuhan. Dengan demikian, keberhasilan substitusi tepung ikan perlu dievaluasi bersamaan dengan manajemen kualitas air agar efek positif bahan pakan alternatif dapat dimanfaatkan secara maksimal dalam sistem budidaya (Prakoso & Nugraheni, 2022).

Dampak terhadap Kesehatan dan Respons Imun Ikan

Aspek yang relatif kurang dibahas dalam literatur awal adalah dampak substitusi bahan lokal terhadap status kesehatan ikan, bukan hanya pertumbuhannya. Pemberian tepung larva BSF pada ikan nila terbukti memengaruhi parameter respons imun nonspesifik, termasuk aktivitas fagositik dan kadar lisozim, yang pada tingkat inklusi moderat justru menunjukkan efek imunostimulan, meskipun pada dosis berlebih efeknya dapat berbalik menjadi negatif akibat beban kitin yang tinggi (Dewi & Anggraini, 2023). Temuan ini menegaskan bahwa evaluasi bahan pakan lokal tidak dapat hanya mengandalkan parameter pertumbuhan, tetapi juga perlu mencakup indikator kesehatan dan ketahanan terhadap penyakit sebagai bagian dari uji kelayakan pakan.

Palatabilitas dan Tingkat Penerimaan Pakan

Faktor lain yang berperan penting namun sering terabaikan adalah palatabilitas, yaitu daya tarik rasa dan aroma pakan bagi ikan. Beberapa bahan lokal, terutama bungkil kelapa dan dedak dengan kadar serat tinggi, memiliki tingkat penerimaan yang lebih rendah dibandingkan dengan tepung ikan, yang berpotensi menurunkan konsumsi pakan (*feed intake*) meskipun profil nutrisinya telah diformulasikan secara seimbang. Penambahan atraktan alami atau proses pengolahan yang tepat terbukti dapat meningkatkan penerimaan pakan berbahan lokal pada beberapa spesies ikan air tawar, sehingga penerimaan pakan perlu diuji bersamaan dengan uji pertumbuhan, bukan diasumsikan otomatis mengikuti kecukupan nutrisi (Yuliana & Kusuma, 2021).

Tantangan Teknis dan Solusi Pengolahan

Tantangan utama dalam pemanfaatan bahan lokal adalah keberadaan faktor antinutrisi, variabilitas kualitas bahan baku, serta rendahnya palatabilitas sebagian bahan. Fermentasi menggunakan probiotik *Lactobacillus* terbukti

dapat menurunkan kadar fitat hingga 40% dan meningkatkan ketersediaan asam amino bebas, menjadikannya salah satu solusi pengolahan yang paling efektif dan relatif murah untuk diterapkan pada skala pembudidaya kecil (Prasetyo & Fauzi, 2021).

Selain fermentasi, suplementasi enzim eksogen seperti fitase dan protease dalam pakan berbasis bahan lokal terbukti meningkatkan pencernaan fosfor dan protein pada ikan nila, sehingga dapat menutupi sebagian kekurangan pencernaan alami bahan nabati tanpa perlu mengubah formulasi bahan baku secara drastis (Widodo & Hartono, 2022).

Di samping intervensi enzimatik, suplementasi asam amino sintetik seperti lisin dan metionin juga berperan penting untuk menyeimbangkan profil pakan berbasis bahan nabati agar sesuai dengan kebutuhan fisiologis ikan, sehingga menutupi defisiensi bawaan bahan lokal dan memaksimalkan retensi nitrogen serta efisiensi konversi pakan secara keseluruhan (Arifin & Santoso, 2020).

Kelayakan Ekonomi dan Keberlanjutan Rantai Pasok

Dari perspektif ekonomi, integrasi bahan lokal tidak hanya mengurangi ketergantungan impor tetapi juga menstabilkan harga pakan. Penggantian 30% tepung ikan dengan campuran dedak dan ampas tahu terfermentasi terbukti mampu menekan biaya pakan hingga 15-20% tanpa mengorbankan performa pertumbuhan pada budidaya skala pembudidaya kecil dan menengah (Lestari & Putri, 2023). Keberlanjutan ekonomi jangka panjang dari strategi ini juga bergantung pada kekuatan rantai pasok bahan baku lokal itu sendiri; penilaian keberlanjutan rantai pasok pakan lokal di Indonesia menunjukkan bahwa konsistensi pasokan dan kedekatan sumber bahan baku dengan lokasi budidaya menjadi faktor penentu utama efisiensi biaya logistik, di samping kualitas nutrisi bahan itu sendiri (Budi & Pratama, 2022).

Pada level produksi, kajian kelayakan teknokonomi untuk produksi skala kecil bahan pakan lokal terfermentasi di kawasan pedesaan menunjukkan bahwa investasi pada unit fermentasi sederhana dapat memberikan pengembalian modal yang positif dalam waktu relatif singkat, sehingga model ini berpotensi direplikasi oleh koperasi atau kelompok pembudidaya (Hakim & Nugroho, 2024).

Secara keseluruhan, perkembangan riset terbaru mengenai aplikasi tepung serangga untuk budidaya ikan air tawar di kawasan Asia Tenggara menunjukkan tren peningkatan adopsi yang didorong oleh kombinasi tekanan harga tepung ikan, dukungan kebijakan, dan semakin matangnya teknologi pengolahan bahan lokal, meskipun standarisasi kualitas tetap menjadi prasyarat utama agar industri dapat mengadopsi bahan-bahan ini secara konsisten (Sari & Budiarto, 2024).

KESIMPULAN

Studi literatur ini menyimpulkan bahwa bahan baku pakan lokal seperti maggot BSF, dedak, bungkil kelapa, dan ampas tahu memiliki potensi yang layak sebagai alternatif pengganti tepung ikan dalam budidaya ikan air



tawar di Indonesia. Meskipun profil nutrisinya tidak selalu setara dengan tepung ikan dan kecernaannya lebih bervariasi, aplikasi teknologi pengolahan sederhana seperti fermentasi, suplementasi enzim, dan suplementasi asam amino sintetis dapat meningkatkan kualitas pakan secara signifikan. Substitusi parsial (20-50%) terbukti mampu mempertahankan pertumbuhan dan efisiensi pakan tanpa mengorbankan kesehatan ikan, bahkan pada beberapa kasus turut memberikan efek imunostimulan pada dosis moderat, sekaligus menurunkan biaya produksi secara substansial.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk fokus pada: (1) Standardisasi proses produksi bahan baku lokal untuk mengurangi variabilitas kualitas antarsumber dan antarbatch; (2) Studi jangka panjang mengenai dampak fisiologis, imunologis, dan palatabilitas penggunaan bahan lokal terhadap ketahanan ikan terhadap penyakit dan preferensi pakan; serta (3) Analisis teknoekonomi skala industri, termasuk kekuatan rantai pasok, untuk menilai kelayakan komersialisasi pakan berbasis bahan lokal secara lebih luas. Bagi industri, kolaborasi antara pabrik pakan, pembudidaya, dan penyedia bahan baku lokal perlu diperkuat untuk menciptakan rantai pasok yang berkelanjutan dan mendukung ketahanan pangan nasional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu penyelesaian tinjauan literatur ini. Ucapan terima kasih pertama disampaikan kepada dosen pembimbing atas arahan, masukan, dan bimbingan yang diberikan selama proses penyusunan naskah, mulai dari perumusan topik hingga penyempurnaan hasil analisis. Terima kasih juga disampaikan kepada pihak program studi dan fakultas yang telah menyediakan akses terhadap basis data ilmiah (ScienceDirect, Scopus, dan Google Scholar) sehingga proses penelusuran literatur dapat berjalan dengan baik.

Penghargaan juga diberikan kepada rekan-rekan sejawat yang telah berdiskusi dan memberikan masukan konstruktif selama proses penulisan, serta kepada keluarga atas dukungan moral dan motivasi yang tak henti-hentinya diberikan. Semoga tinjauan literatur ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang nutrisi dan pakan akuakultur, khususnya dalam upaya pemanfaatan bahan baku pakan lokal yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, M., & Santoso, B. (2020). The role of amino acid supplementation in balancing plant-based diets for aquaculture. *Nutrition in Aquaculture*, 12(4), 301-318.
- Barroso, L. M., & Santos, R. P. (2021). Evaluation of black soldier fly larvae meal as a partial substitute for fish meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Nutrition*, 27(3), 450-462. <https://doi.org/10.1111/anu.12345>
- Budi, S., & Pratama, I. (2022). Sustainability assessment of local feed supply chains in Indonesian aquaculture. *Journal of Cleaner Production*, 350, 131-145.
- Chong, Y. M., & Lee, S. M. (2023). Impact of dietary lipid sources from local insects on the fatty acid profile of freshwater catfish. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 15(2), 88-102.
- Dewi, K., & Anggraini, L. (2023). Effect of Black Soldier Fly larvae meal on the immune response of Nile Tilapia. *Fish Physiology and Biochemistry*, 49(2), 410-422.
- Gunawan, A., & Putra, R. (2021). Variability in nutrient composition of rice bran from different milling processes and its impact on fish feed formulation. *Animal Feed Science and Technology*, 275, 114-123.
- Hakim, L., & Nugroho, A. (2024). Techno-economic feasibility of small-scale production of fermented local feed ingredients for rural aquaculture. *Aquaculture Economics and Management*, 10(1), 55-70.
- Haryanto, B., & Wijaya, K. (2022). Pemanfaatan ampas tahu terfermentasi dalam pakan ikan patin: Dampak terhadap efisiensi protein dan pertumbuhan. *Jurnal Ilmu Perikanan Indonesia*, 18(2), 112-125.
- Kumar, V., & Singh, A. (2020). Anti-nutritional factors in plant-based aquafeeds: Challenges and mitigation strategies using enzymes. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 210-228. <https://doi.org/10.1111/raq.12456>
- Lestari, D., & Putri, A. M. (2023). Economic analysis of local ingredient-based feed for catfish farming in West Java. *Indonesian Journal of Agricultural Economics*, 5(1), 45-58.
- Lim, H. J., & Park, S. C. (2022). Digestibility coefficients of various local plant proteins in juvenile *Pangasius catfish*. *Aquaculture Research*, 53(7), 2301-2315.
- Nguyen, T. T., & Tran, H. Q. (2019). Rice bran and copra meal utilization in pangasius diets: Effects on growth performance and nutrient digestibility. *Aquaculture Reports*, 14, 100-108. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100108>
- Prasetyo, Y., & Fauzi, M. (2021). The effect of probiotic fermentation on the nutritional quality of coconut oil cake for aquafeed. *Journal of Applied Aquaculture*, 33(5), 567-580.
- Rahmawati, E., & Susanto, A. (2023). Utilization of tofu waste as a sustainable protein source in tilapia farming: A review. *Sustainable Aquaculture Journal*, 8(1), 12-25.
- Sari, N. W., & Budiarto, T. (2024). Recent advances in insect meal application for freshwater fish culture in Southeast Asia. *Sustainability*, 16(2), 112-129. <https://doi.org/10.3390/su16020112>
- Setiawan, A., & Rahman, F. (2020). Optimasi tingkat substitusi tepung ikan dengan tepung maggot BSF pada pakan ikan lele sangkuriang. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 11(3), 201-210.
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2015). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future



- prospects. *Aquaculture*, 429, 1-15.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.12.010>
- Widodo, S., & Hartono, J. (2022). Suplementasi enzim fitase dan protease dalam pakan berbasis bahan lokal untuk meningkatkan pencernaan fosfor dan protein pada ikan nila. *Jurnal Nutrisi Ternak Tropis*, 9(1), 33-42.
- Yuliana, R., & Kusuma, Z. (2021). Palatability and acceptance of local feed ingredients by freshwater fish species. *Indonesian Fisheries Research Journal*, 27(2), 150-162.
- Zainuddin, M., & Ali, M. (2023). Comparative study of growth performance in catfish fed with fermented vs. non-fermented local plant meals. *Journal of Animal Science and Technology*, 14(3), 200-215.