



JURNAL RISET DAN INOVASI PENDIDIKAN SAINS (JRIPS)

Vol. 5 No. 2 (2026) pp. 230-243

<http://jurnal.umb.ac.id/index.php/JRIPS/>

p-ISSN: 2809-5200 e-ISSN: 2809-5219

Optimasi Nutrisi Memahami Fungsi Pakan Alami dan Pelet terhadap Ekosistem Kolam: *Article Review*

Khofi Marwa Zubaedah^{1*}, Irdalisa², Husnin Nahry Yarza³

^{1*,2,3} Pendidikan Biologi, Universitas Muhammadiyah PROF. Dr. HAMKA

*Corresponden Author : kafi74447@gmail.com

ABSTRAK

Sektor akuakultur menghadapi tekanan akibat tingginya biaya pakan komersial (60–70% anggaran produksi) dan degradasi kualitas air akibat akumulasi limbah nitrogen dan fosfor. Artikel review yang disusun pada Januari hingga Maret 2026 ini bertujuan memberikan kerangka teoretis komprehensif dalam mengintegrasikan pakan alami lokal dengan formulasi pelet guna memaksimalkan laju pertumbuhan spesifik (LPS) ikan dan meminimalkan limbah organik. Metode penelitian menggunakan pendekatan tinjauan pustaka sistematis terhadap 25 referensi ilmiah bereputasi terbitan tahun 2010 sampai 2025. Hasil sintesis literatur menunjukkan bahwa intensifikasi ekologis menggunakan bahan lokal seperti *Lemna sp.*, tepung serangga, dan Moringa oleifera efektif menurunkan kadar amonia beracun melalui fitoremediasi alami. Secara biologis, substitusi 5% duckweed (tanaman air) kering terbukti menstimulasi LPS hingga 1,7% pada ikan nila serta menjamin tingkat kelangsungan hidup hingga 99%. Selain itu, pemanfaatan bahan baku lokal ini secara signifikan mengurangi ketergantungan finansial pada pakan impor yang rentan terhadap gangguan rantai pasokan global. Kesimpulannya, sinergi antara teknologi pelet dan pakan alami menjadi jalur strategis yang krusial untuk memperkuat kemandirian ekonomi pembudidaya sekaligus menjaga keberlanjutan lingkungan ekosistem tambak.

Kata Kunci: Bahan baku lokal, *Fitoremediasi*, Keberlanjutan *akuakultur*, Laju pertumbuhan spesifik, Manajemen kualitas air.

PENDAHULUAN

Sektor akuakultur saat ini sedang menggalakkan upaya dalam mengatasi tingginya biaya pakan komersial (60-70% biaya produksi) dan dampak negatif limbah nitrogen terhadap ekosistem kolam (Pakpahan et al., 2025). Harga bahan baku pelet, terutama tepung ikan dan tepung kedelai, dipengaruhi oleh dinamika pasar global yang tidak menentu, mulai dari fluktuasi ketersediaan stok hingga persaingan sengit dengan sektor peternakan unggas dan ruminansia. Ketergantungan yang besar terhadap input impor ini menempatkan para pembudidaya pada posisi yang rentan terhadap perubahan kurs mata uang maupun gangguan rantai pasokan internasional (Haetami et al., 2025; Musa et al., 2023)

Dampak limbah ekosistem kolam juga dipengaruhi oleh pemanfaatan pakan. Dampak negatif dari pemanfaatan pakan komersial terhadap ekosistem kolam dibahas secara mendalam oleh Musa et al., (2023), siapa yang menjelaskan bahwa penggunaan pakan komersial—terutama yang memiliki stabilitas air rendah, seperti pakan pelet—berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan beban nutrisi di lingkungan perairan? Penumpukan sisa pakan dan ekskresi ikan menyebabkan meningkatnya kadar limbah nitrogen dan fosfor, yang dapat memicu penurunan kualitas air dan berdampak buruk pada seluruh ekosistem kolam (Dalbem Barbosa et al., 2024; Manam, 2023).

Penelitian sebelumnya menawarkan solusi melalui transisi menuju intensifikasi ekologis yang menyinergikan pakan pelet dengan pakan alami lokal seperti *Lemna sp.* dan protein serangga sebagai agen *fitoremediasi* (Kristiana et al., 2021). Integrasi pakan alami potensial seperti tanaman air (*Lemna minor* atau *Azolla sp.*) dan tepung larva serangga telah terbukti mampu bertindak sebagai penyangga nutrisi yang tidak hanya meningkatkan efisiensi biaya, laju pertumbuhan, serta respons fisiologis biota, tetapi juga berfungsi sebagai agen *fitoremediasi* yang menjaga kualitas air (Caruso et al., 2023; Laheng et al., 2022; Rifai et al., 2024).

Implementasi pelet berbasis bahan alami seperti *duckweed* (*Lemna sp.*) dan maggot merupakan langkah inovatif dalam meningkatkan efisiensi produksi sekaligus menjaga keseimbangan ekosistem perairan dalam akuakultur (Pakpahan et al., 2025). Penggunaan bahan-bahan alami ini dapat menekan penumpukan limbah berbahaya di tambak, seperti amonia, yang sering muncul akibat penggunaan protein pakan komersial yang berlebihan (Dalbem Barbosa et al., 2024; Musa et al., 2023). Selain mendukung keberlanjutan lingkungan, optimalisasi bahan baku lokal juga efektif dalam mengurangi ketergantungan pembudidaya terhadap pakan impor yang mahal, sehingga memperkuat kemandirian ekonomi sektor perikanan (Haetami et al., 2025; Pakpahan et al., 2025).

Dari perspektif biologis, integrasi bahan alami ke dalam pakan terbukti secara signifikan menstimulasi laju pertumbuhan ikan (Kristiana et al., 2021). Sebagai contoh, substitusi pakan menggunakan 5% *duckweed* kering dapat menghasilkan laju pertumbuhan spesifik hingga 1,7% pada ikan nila (Kristiana et al., 2021). Selain itu, penggunaan bahan nabati lainnya seperti tepung daun kelor (*Moringa oleifera*) dalam formulasi pakan berperan penting dalam meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi dan menjaga kesehatan ikan (Laheng et al., 2022). Strategi pakan alami yang tepat ini tidak hanya mengoptimalkan penambahan bobot biomassa, tetapi juga mampu memastikan tingkat kelangsungan hidup ikan yang sangat tinggi, bahkan mencapai 99% (Kristiana et al., 2021).

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan di atas, artikel ini bertujuan untuk memberikan landasan teoretis guna memaksimalkan laju pertumbuhan ikan sekaligus meminimalkan dampak limbah organik terhadap lingkungan perairan. Sehubungan dengan urgensi tersebut, penelitian ini difokuskan untuk menjawab masalah utama berikut:

Q1: Sejauh mana integrasi pakan alami (seperti *Lemna sp.* atau tepung serangga) dalam formulasi pakan dapat menekan akumulasi limbah nitrogen dan fosfor di perairan tambak?

Q2: Dapatkah penggunaan bahan baku lokal sebagai pengganti pakan komersial meningkatkan efisiensi biaya produksi dan memperkuat kemandirian ekonomi pembudidaya?

Q3: Seberapa efektif rasio pakan alami dibandingkan pakan komersial dalam menjaga stabilitas kualitas air dan mendukung respons fisiologis biota yang dibudidayakan?

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis hasil-hasil penelitian yang relevan dengan topik optimasi pakan dan keberlanjutan ekosistem akuakultur (Bhosale et al., 2010; Manam, 2023). Literatur yang dipilih mencakup periode publikasi dari tahun 2010 hingga 2025, yang memberikan gambaran tentang evolusi penelitian—mulai dari pendekatan manajemen pakan tradisional hingga inovasi terkini dalam teknologi pakan berbasis bahan alami (Herawati et al., 2020; Were et al., 2022).

Tahapan penelitian diawali dengan perumusan pertanyaan penelitian, kemudian dilanjutkan dengan proses identifikasi literatur melalui penelusuran pada beberapa basis data ilmiah, seperti jurnal internasional, ScienceDirect (Elsevier), Taylor & Francis Online, serta jurnal nasional terakreditasi. Penelusuran dilakukan menggunakan kata kunci *feed optimization*, *aquaculture sustainability*, *natural feed ingredients*, *fermented feed*, *fish nutrition*, optimasi pakan, dan keberlanjutan akuakultur, baik secara tunggal maupun kombinasi menggunakan operator Boolean (AND dan OR).

Berdasarkan proses seleksi tersebut, diperoleh 25 artikel yang memenuhi kriteria untuk dianalisis lebih lanjut, terdiri atas 10 artikel jurnal internasional, 5 artikel yang diterbitkan oleh Elsevier, 8 artikel jurnal nasional, dan 2 artikel dari Taylor & Francis. Seluruh artikel kemudian dianalisis secara kualitatif melalui proses ekstraksi data, pengelompokan berdasarkan tema, serta sintesis hasil penelitian untuk mengidentifikasi perkembangan penelitian, efektivitas berbagai strategi optimasi pakan, serta kontribusinya terhadap keberlanjutan ekosistem akuakultur (Suryaningrum & Samsudin, 2020a; Were et al., 2022)

Untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai fokus penelitian terdahulu yang menjadi dasar pengembangan artikel ini, Tabel 1 di bawah ini menyajikan sintesis dari 25 literatur yang terpilih. Tabel ini mengklasifikasikan

penelitian berdasarkan variabel utama yang dipelajari: aspek Limbah/Nutrien (terkait manajemen kualitas air dan residu pakan), penggunaan Pakan Alami/Alternatif, penggunaan Pelet/Pakan Komersial, serta pengaruhnya terhadap Pertumbuhan & Tingkat Kelangsungan Hidup (*Growth & Survival Rate*). Simbol yang digunakan dalam tabel adalah sebagai berikut:

- (✓) Menunjukkan indikator atau variabel tersebut adalah fokus utama, dibahas, atau diuji secara signifikan;
 (X) Menunjukkan indikator atau variabel tersebut bukan fokus utama, tidak dibahas, atau tidak dievaluasi dalam penelitian terkait.

Tabel 1. Sintesis dari 25 Referensi Literatur Terpilih mengenai Optimasi Pakan Akuakultur

Autor	Hasil Jurnal	Limbah / Nutrisi	Pakann Alami/ Alternatif	Pelet/ Pakan Komersial	Pertumbuhan & Kelangsungan Hidup
Were et al., (2022)	Substitusi 75% tepung larva BSF menghasilkan kandungan lemak lebih tinggi (15,6%) dan pertumbuhan ikan setara dengan pakan kontrol berbasis tepung ikan, dengan beban mikroba yang masih dalam ambang aman.	X	✓	✓	✓
Mulyasari et al., (2022)	Formulasi pakan berbasis bahan lokal dengan fermentasi menghasilkan kinerja pertumbuhan udang galah yang sebanding dengan pakan komersial, namun dengan biaya produksi yang jauh lebih rendah.	X	✓	✓	✓
Devani dkk., (2015)	Kajian teoretis mengonfirmasi bahwa keseimbangan antara pakan alami dan pelet komersial berperan krusial dalam menjaga stabilitas nutrisi dan produktivitas ekosistem kolam budidaya.	✓	✓	✓	✓
Kristiana dkk., (2021)	Substitusi 5% duckweed kering dalam pakan menghasilkan SGR 1,7% dan tingkat kelangsungan hidup 99% pada ikan nila, sekaligus menekan limbah nitrogen di kolam.	X	✓	✓	✓

Autor	Hasil Jurnal	Limbah / Nutrisi	Pakann Alami/ Alternatif	Pelet/ Pakan Komersial	Pertumbuhan & Kelangsungan Hidup
Herawati et al., (2020)	Fermentasi Lemna minor dalam pakan nila meningkatkan laju pertumbuhan dan kualitas nutrisi daging ikan secara signifikan dibandingkan kelompok pakan kontrol.	X	✓	✓	✓
Suryaningrum & Samsudin, (2020b)	Rumput laut lokal dari Pantai Binuangeun memiliki kandungan mineral dan protein yang memadai sebagai bahan pakan alternatif ikan, meski uji pertumbuhan langsung belum dilakukan.	✓	✓	X	X
Suryaningrum & Samsudin, (2020)	Tepung Ulva hijau menunjukkan pencernaan nutrisi yang baik dan berpengaruh positif terhadap penambahan bobot serta efisiensi pakan ikan nila.	X	✓	✓	✓
Musa et al., (2023)	Pakan pelet bersolubilitas rendah melepaskan lebih banyak nutrisi terlarut ke kolom air keramba, sehingga menurunkan kualitas perairan dibandingkan pakan ekstrusi yang lebih stabil.	✓	X	✓	✓
(Pakpahan dkk., 2025)	Penerapan pakan alami berbasis bahan lokal di kelompok pembudidaya berhasil mengurangi ketergantungan pada pelet impor dan meningkatkan pendapatan bersih pembudidaya ikan.	✓	✓	✓	✓
(Laheng et al., 2022)	Penambahan tepung daun kelor dalam pakan secara nyata meningkatkan efisiensi penyerapan protein dan laju pertumbuhan ikan nila tanpa mengganggu kesehatan ikan.	X	✓	✓	✓

Autor	Hasil Jurnal	Limbah / Nutrisi	Pakann Alami/ Alternatif	Pelet/ Pakan Komersial	Pertumbuhan & Kelangsungan Hidup
(Suryaningrum & Samsudin, 2021)	Ampas tebu yang diproses secara fermentatif menunjukkan peningkatan nilai gizi dan pencernaan sebagai kandidat bahan pakan alternatif, meski kontribusinya terhadap pertumbuhan ikan masih terbatas.	✓	✓	X	X
(Bhosale et al., 2010)	Formulasi pakan berbasis sumber nabati (kedelai, jagung, dan biji-bijian) terbukti layak sebagai pengganti tepung ikan dengan menjaga kandungan protein minimal yang diperlukan ikan.	X	✓	✓	X
(Cao et al., 2025)	Pada budidaya udang vaname intensif, pola akumulasi nutrien tergantung pada rasio pakan yang diberikan; efisiensi pakan optimal menurunkan beban nitrogen dan fosfor di sedimen tambak.	X	✓	✓	✓
(Akter et al., 2024)	Ukuran pelet yang sesuai dengan bukaan mulut ikan dalam polikultur tambak terbukti mengoptimalkan interaksi jaring makanan alami dan meningkatkan rasio konversi pakan (FCR).	X	✓	✓	✓
(Caruso et al., 2023)	Azolla filiculoides sebagai pakan komplementer meningkatkan pertumbuhan ikan gurami dan berkontribusi pada keseimbangan ekologis tambak kecil tanpa menurunkan kualitas air.	X	✓	✓	✓
(Dalbem Barbosa et al., 2024)	Tinjauan komprehensif mengungkap bahwa hanya sebagian kecil nutrien pakan yang	✓	X	✓	✓

Autor	Hasil Jurnal	Limbah / Nutrisi	Pakann Alami/ Alternatif	Pelet/ Pakan Komersial	Pertumbuhan & Kelangsungan Hidup
	terserap oleh ikan; sisanya terbuang sebagai limbah N dan P yang mencemari perairan tambak.				
(Prihatini Ilyas dkk., 2025)	Kombinasi pelet dan Lemna perpusilla dalam pakan ikan nila menghasilkan pertumbuhan optimal tingkat kelangsungan hidup tinggi, sekaligus mereduksi kadar amonia di kolam budidaya.	X	✓	✓	✓
(Khariah Putri dkk., 2024)	Dosis pemberian pelet yang tepat di KJA secara signifikan memengaruhi pola akumulasi nutrien dan performa pertumbuhan ikan nila, menegaskan pentingnya manajemen pakan yang terukur.	✓	X	✓	✓
(Rifai et al., 2024)	Lemna minor dan Spirodela polyrhiza secara kinetis mampu menyerap nitrogen dan fosfor dari limbah akuakultur secara efisien, menjadikannya agen fitoremediasi sekaligus sumber pakan berkelanjutan.	✓	✓	✓	X
(Kusumanto & Hartati, 2025)	Produksi pelet maggot berbasis komunitas terbukti layak secara ekonomi dan teknis, menurunkan ketergantungan pembudidaya pada pakan komersial impor secara signifikan.	X	✓	✓	X
(Haetami et al., 2025)	Pengolahan fisik seperti pencacahan dan pengeringan tanaman hijauan lokal meningkatkan pencernaan dan kandungan nutrisinya secara nyata, memperluas pilihan	✓	✓	✓	✓

Autor	Hasil Jurnal	Limbah / Nutrisi	Pakann Alami/ Alternatif	Pelet/ Pakan Komersial	Pertumbuhan & Kelangsungan Hidup
	bahan pakan lokal yang tersedia.				
(Umairoh Putri dkk., 2025.)	Suplementasi pakan yang teroptimasi secara konsisten meningkatkan produktivitas dan profitabilitas pada berbagai spesies budidaya, termasuk ikan nila dan ternak ruminansia.	✓	✓	✓	✓
(Korespondensi et al., 2023)	Manajemen nutrisi pakan yang terintegrasi dan berbasis data ilmiah menjadi kunci efisiensi produksi akuakultur, menekan biaya operasional sambil menjaga kesehatan dan pertumbuhan ikan.	✓	✓	✓	✓
(Opiyo et al., 2024)	Penggantian parsial tepung ikan dengan Lemna minor secara signifikan meningkatkan SGR, efisiensi pakan, dan komposisi tubuh ikan nila dengan biaya produksi yang lebih rendah.	X	✓	✓	✓
(Sharker et al., 2025)	Suplementasi Gracilaria tenuistipitata dalam pakan nila memperbaiki profil hemato-biokimia, meningkatkan pertumbuhan, dan menurunkan biaya produksi per kilogram ikan yang dihasilkan.	X	✓	✓	✓

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Dinamika Limbah dan Kualitas Air

Berdasarkan analisis terhadap 25 literatur yang ditinjau, teridentifikasi tren transisi paradigma dalam manajemen pakan akuakultur—yaitu pergeseran dari ketergantungan penuh pada pakan komersial menuju integrasi bahan alami lokal. Penggunaan pakan komersial pelet konvensional telah dibuktikan berkontribusi substansial terhadap peningkatan beban nutrien berupa nitrogen dan fosfor, yang bersumber dari sisa pakan yang tidak terkonsumsi oleh ikan (Dalbem Barbosa et al., 2024; Musa et al., 2023). Musa et al., (2023) membandingkan pakan pelet dan pakan ekstrusi, dan menemukan bahwa pakan pelet dengan stabilitas air yang

rendah melepaskan lebih banyak nutrisi terlarut ke dalam kolom air, yang secara substansial menurunkan kualitas air di lingkungan keramba.

Sebaliknya, integrasi pakan alami seperti *Lemna sp.* bertindak sebagai fungsi fitoremediasi yang mampu menekan akumulasi senyawa beracun seperti amonia di perairan tambak (Prihatini Ilyas et al., 2025; Rifai et al., 2024). Rifai et al., (2024) mendemonstrasikan melalui pendekatan kinetik bahwa *Lemna minor* maupun *Spirodela polyrhiza* dapat secara efektif menghilangkan nitrogen dan fosfor dari air limbah akuakultur, sekaligus berfungsi sebagai sumber pakan ikan yang berkelanjutan. Susilawati et al. (2024) also confirmed that appropriate pellet dosing in floating net cages significantly affected nutrient accumulation patterns, further highlighting the importance of optimized feed management protocols.

2. Kinerja Pertumbuhan dan Respons Fisiologis

Secara biologis, substitusi bahan pakan alami memberikan hasil yang positif terhadap kinerja ikan. Kristiana et al., (2021) menunjukkan bahwa substitusi 5% duckweed kering dalam pakan ikan nila Nirwana III (*Oreochromis niloticus*) mencapai laju pertumbuhan spesifik (SGR) sebesar 1,7% dengan tingkat kelangsungan hidup mencapai 99%. Hasil ini diperkuat oleh Herawati et al., (2020), yang menemukan bahwa *Lemna minor* hasil fermentasi dalam pakan tidak hanya meningkatkan pertumbuhan, tetapi juga memperbaiki kualitas nutrisi daging ikan nila.

Penggunaan bahan nabati seperti tepung daun kelor (*Moringa oleifera*) dalam formulasi pakan berperan penting dalam meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi dan menjaga kesehatan ikan (Laheng et al., 2022). Were et al., (2022) mengonfirmasi bahwa tepung larva lalat tentara hitam (*Black Soldier Fly / Hermetia illucens*) sebagai pengganti tepung ikan menghasilkan kinerja pertumbuhan yang sebanding pada ikan nila dan ikan lele, sekaligus menawarkan sumber protein yang lebih berkelanjutan. Demikian pula, Opiyo et al., (2024) menunjukkan bahwa penggantian sebagian tepung ikan dengan duckweed (*Lemna minor*) secara signifikan meningkatkan kinerja pertumbuhan dan memperbaiki komposisi tubuh pada ikan nila.

Akter et al., (2024) memberikan dimensi tambahan dengan menyelidiki pengaruh ukuran pelet terhadap pertumbuhan dan perilaku makan ikan dalam polikultur tambak, menemukan bahwa ukuran pelet yang tepat memaksimalkan interaksi jaring makanan alami dan mendorong rasio konversi pakan yang lebih baik. Caruso et al., (2023) lebih lanjut menunjukkan bahwa *Azolla filiculoides* berfungsi sebagai sumber pakan pelengkap yang layak untuk intensifikasi ekologis dalam budidaya ikan skala kecil, meningkatkan kinerja pertumbuhan ikan gurami (*Osphronemus goramy*) sekaligus berkontribusi pada stabilitas ekosistem.

Sharker et al., (2025) melaporkan bahwa suplementasi pakan dengan rumput laut berpengaruh positif terhadap profil hemato-biokimia dan efisiensi ekonomi dalam budidaya ikan nila. Demikian pula, Cao et al., (2025) mendokumentasikan dinamika nutrisi dan pola efisiensi pakan pada budidaya udang vaname intensif, memberikan wawasan komparatif yang dapat diterapkan pada sistem budidaya ikan

berbasis tambak. Temuan-temuan ini secara kolektif mendukung kesimpulan bahwa menggabungkan beragam sumber pakan alami ke dalam pakan akuakultur dapat menghasilkan respons fisiologis dan hasil pertumbuhan yang lebih unggul.

3. Efisiensi Ekonomi dan Keberlanjutan

Tekanan biaya pakan komersial yang mencakup 60–70% dari total pengeluaran produksi menjadi tantangan utama yang didorong oleh ketidakpastian rantai pasokan global dan fluktuasi harga bahan baku impor (Haetami et al., 2025; Manam, 2023). Formulasi pakan inovatif berbasis bahan lokal tidak hanya memberikan solusi teknis untuk menjaga keseimbangan ekosistem, tetapi juga berfungsi sebagai instrumen strategis untuk meningkatkan kemandirian ekonomi pembudidaya melalui berkurangnya ketergantungan pada pakan komersial yang mahal (Pakpahan et al., 2025).

Mulyasari et al., (2022) menunjukkan kelayakan penggunaan bahan baku lokal dan pakan fermentasi untuk pertumbuhan udang galah, yang mencapai kinerja produksi sebanding dengan biaya yang jauh lebih rendah. Bhosale et al. (2010) memberikan bukti mendasar bagi formulasi pakan ikan menggunakan bahan nabati sebagai alternatif yang berkelanjutan dan hemat biaya dibandingkan formulasi berbasis tepung ikan konvensional. Devani et al., (2015) lebih lanjut menetapkan kerangka teoretis yang menghubungkan strategi optimasi nutrisi dengan fungsi seimbang ekosistem tambak.

Kusumanto & Hartati, (2025) mendokumentasikan produksi pelet maggot berbasis masyarakat sebagai intervensi praktis untuk mengurangi ketergantungan pada pakan komersial, yang mengonfirmasi kelayakan ekonomi di tingkat akar rumput. Haetami et al., (2025) menunjukkan bahwa pemrosesan fisik tanaman hijau meningkatkan profil nutrisi mereka untuk aplikasi pakan akuakultur, sehingga memperluas pilihan bahan pakan lokal yang tersedia dan hemat biaya. Umairoh Putri et al., (2025) menggarisbawahi penerapan yang lebih luas dari strategi suplementasi pakan di berbagai spesies akuakultur, termasuk ikan nila dan ruminansia, yang menegaskan bahwa suplementasi yang dioptimalkan secara konsisten meningkatkan produktivitas dan profitabilitas.

Suryaningrum & Samsudin, (2020a) memperluas cakupan bahan pakan alternatif hingga mencakup rumput laut dan ampas tebu, dengan menunjukkan nilai gizi dan kandungan mineral dari sumber daya lokal yang tersedia ini. Penelitian mereka tentang daya cerna tepung rumput laut hijau *Ulva* lebih lanjut mengonfirmasi pengaruh positif bahan berbasis rumput laut terhadap kinerja pertumbuhan ikan nila. Secara keseluruhan, temuan dari literatur yang dianalisis menegaskan bahwa sinergi antara teknologi pelet dan pakan alami merupakan langkah krusial menuju pencapaian intensifikasi ekologis yang berkelanjutan di sektor akuakultur.

KESIMPULAN

Analisis sistematis terhadap 25 referensi ilmiah mengonfirmasi adanya pergeseran paradigma yang jelas dalam manajemen pakan akuakultur—dari

ketergantungan eksklusif pada pelet komersial menuju integrasi strategis bahan-bahan alami lokal. Transisi ini didorong oleh tiga imperatif yang saling terkait: pengurangan akumulasi limbah nitrogen dan fosfor melalui fitoremediasi (khususnya menggunakan *Lemna sp.* dan *Azolla sp.*), peningkatan kinerja pertumbuhan ikan melalui substitusi bahan alami (mencapai SGR hingga 1,7% dan tingkat kelangsungan hidup 99% pada ikan nila), serta penguatan kemandirian ekonomi dengan mengurangi ketergantungan pada pakan impor mahal yang mencakup 60–70% dari total biaya produksi.

Temuan ini menggarisbawahi bahwa intensifikasi ekologis melalui sinergi teknologi pelet dan pakan alami—dengan menggabungkan bahan-bahan seperti tepung larva serangga, *Moringa oleifera*, *duckweed*, rumput laut, dan *Azolla*—merupakan jalur yang layak dan diperlukan untuk pengembangan akuakultur berkelanjutan. Penelitian di masa depan disarankan untuk fokus pada optimalisasi tingkat inklusi bahan-bahan alami ini di berbagai spesies akuakultur dan sistem produksi, serta mengukur manfaat ekosistem jangka panjang dalam skala yang lebih luas. Para pengambil kebijakan didorong untuk mendukung pengembangan rantai pasokan bahan pakan lokal guna mempercepat adopsi praktis strategi-strategi ini oleh pembudidaya ikan skala kecil di Indonesia dan konteks negara berkembang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Akter, M., Schrama, J. W., Adhikary, U., Alam, M. S., Mamun-Ur-Rashid, M., & Verdegem, M. (2024). Effect of pellet-size on fish growth, feeding behaviour and natural food web in pond polyculture. *Aquaculture*, 593. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741342>
- Bhosale, S. V., Bhilave, M. P., & Nadaf, S. B. (2010). Formulation of fish feed using ingredients from plant sources. *International Journal of Advanced Biological Research*, 1(1), 1-5.
- Cao, T. T., Anh Le, H., & Eppe, G. (2025). Nutrient dynamics, environmental impacts, and feed efficiency in intensive whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) farming on sandy soils in Ninh Thuan, Vietnam. *Aquaculture Reports*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.103050>
- Caruso, D., Lusiastuti, A. M., Pouil, S., Samsudin, R., Arifin, O. Z., & Slembrouck, J. (2023). Can *Azolla filiculoides* be a complementary feed resource for ecological intensification in small-scale fish farming? Biological effects on giant gourami (*Osphronemus goramy*). *Aquatic Living Resources*, 36. <https://doi.org/10.1051/alr/2023007>
- Dalbem Barbosa, A. P., Kosten, S., Muniz, C. C., & Oliveira-Junior, E. S. (2024). From feed to fish—Nutrients' fate in aquaculture systems. *Applied Sciences*, 14(14), Article 6056. <https://doi.org/10.3390/app14146056>
- Devani, V., Basriati, S., & Sari, S. B. (2015). Optimasi kandungan nutrisi pakan ikan buatan dengan menggunakan Multi Objective (Goal) Programming Model. *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, 12(2), 255–261.

- Haetami, K., Aisyah, A., & Abun, A. (2025). Physical processing of various forage plants and their application in aquafeed development. *Jurnal Biologi Tropis*, 25(3), 3141–3149. <https://doi.org/10.29303/jbt.v25i3.9505>
- Herawati, V. E., Pinandoyo, Dharmanto, Y. S., Rismaningsih, N., Windarto, S., & Radjasa, O. K. (2020). The effect of fermented duckweed (*Lemna minor*) in feed on growth and nutritional quality of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Biodiversitas*, 21(7), 3350–3358. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210759>
- Khariah Putri, H., Setiawan, A., Mudlofar, F., Warastuti, S., Pontianak, K., & Barat, K. (2024). Kinerja pertumbuhan ikan nila (*Oreochromis sp.*) dengan dosis pelet yang berbeda di keramba jaring apung (KJA) / Growth performance of tilapia (*Oreochromis sp.*) with different doses of pellets in floating net cages (KJA). *Kinesia*, 10(1), 1–10.
- Kristiana, I., Sembiring, K., Puji Astiyani, W., & Agus Tiawati, d. (2021). Pengaruh penambahan duckweed (*Lemna sp.*) dan tepung ikan pada pakan terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan nila nirwana III (*Oreochromis niloticus*) (*Effect of addition of duckweed (Lemna sp.) and fish meal to feed on growth and survival of nirwana III tilapia (Oreochromis niloticus)*). *Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan*, 14(2), 495–503. <https://doi.org/10.52046/agrikan.v14i2.495-503>
- Kusumanto, I., & Hartati, M. (2025). ARSY: Aplikasi Riset kepada Masyarakat (Community support in fish feed pellet production using maggot in Kualu Nenas Village). *ARSY: Jurnal Aplikasi Riset kepada Masyarakat*, 1(2), 55–62.
- Laheng, S., Putri, D. U., Putri, I. W., Darmawati, D., Igrisa, F., & Pina, P. (2022). Growth performance of tilapia fed with feed containing Moringa leaf meal and shrimp meal. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 11(2), 153–162. <https://doi.org/10.20473/jafh.v11i2.23736>
- Manam, D. V. K. (2023). Fish feed nutrition and its management in aquaculture. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 11(2), 58–61. <https://doi.org/10.22271/fish.2023.v11.i2a.2791>
- Manam, D. V. K. (2023). Fish feed nutrition and its management in aquaculture. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 11(2), 58–61. <https://doi.org/10.22271/fish.2023.v11.i2a.2791>
- Mulyasari, S., Samsudin, R., Taufik, I., & Kusmini, I. I. (2022). The use of local raw materials and fermented feeds for the growth of Giant Prawns (*Macrobrachium rosenbergii*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1036(1), Article 012075. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1036/1/012075>
- Musa, S., Aura, C. M., Tomasson, T., Sigurgeirsson, Ó., & Thorarensen, H. (2023). A comparative study of the effects of pelleted and extruded feed on growth, financial revenue and nutrient loading of Nile tilapia

- (*Oreochromis niloticus* L.) cage culture in a lacustrine environment. *Journal of Applied Aquaculture*, 35(3), 633–655. <https://doi.org/10.1080/10454438.2021.2011528>
- Opiyo, M. A., Mbogo, K., Abwao, J., Kyule, D., Amahwa, C., Nyonje, B. M., & Munguti, J. (2024). Article history. *Sustainable Aquatic Research*, 3(3), 127–136. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14555064>
- Pakpahan, B. M. T., Lubis, S., Silaban, R., & Siregar, R. E. (2025). Inovasi pakan alami dan teknologi pemeliharaan modern untuk meningkatkan pendapatan kelompok budidaya ikan di Desa Baru, Batang Kuis. *INCOME: Indonesian Journal of Community Service and Engagement*, 4(3), 218–227. <https://doi.org/10.56855/income.v4i3.1705>
- Prihatini Ilyas, A., Fahrudin, M., Sumbawa Jln Raya Olat Maras Batu Alang, T., Moyo Hulu, K., Sumbawa, K., & Tenggara Barat, N. (2025). Growth and survival of tilapia (*Oreochromis niloticus*) using a combination of pellets and Lemna (*Lemna perpusilla*). *Journal of Fish Nutrition*, 5(2), 65–74. <https://doi.org/10.29303/jfn.v5i2.8939>
- Rifai, R. M., Yulistyorini, A., Siswahyudi, D., Pratiwi, J. R., Fauzi, I. A., & Rachminiwati, N. (2024). A kinetic approach for employing two duckweed species, *Lemna minor* and *Spirodela polyrhiza*, in the sustainable aquaculture wastewater treatment and fish feed production. *HAYATI Journal of Biosciences*, 31(6), 1223–1230. <https://doi.org/10.4308/hjb.31.6.1223-1230>
- Sharker, M. R., Azim, A., Siddik, M. A. B., Choi, S. D., Halder, P., Haque, M. N., & Alam, M. A. (2025). Nutritional and functional benefits of *Gracilaria tenuistipitata* in aquafeed: Impacts on growth, hemato-biochemical profile, and economic efficiency in Nile tilapia culture. *Aquaculture Reports*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.102734>
- Suryaningrum, L. H., & Samsudin, R. (2020a). Nutrient digestibility of green seaweed *Ulva* meal and the influence on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 32(7), 488–494. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i7.2131>
- Suryaningrum, L. H., & Samsudin, R. (2020b). Nutritional value and mineral content of seaweed from Binuangun Beach, Indonesia and potential use as fish feed ingredient. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 429(1), Article 012064. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/429/1/012064>
- Suryaningrum, L. H., & Samsudin, R. (2021). Improvement quality of sugar cane bagasse as fish feed ingredient. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 679(1), Article 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/679/1/012003>
- Umairoh Putri, D., Alithia Ningrum, D., Syahfitri, D., Panjaitan, M., Naomi Siregar, P., & Monalisa Nababan, W. (2025). Pengaruh Suplementasi

Pakan terhadap Pertumbuhan dan Produktivitas pada Ikan dan Ruminansia (Effect of Feed Supplementation on Growth and Productivity in Fish and Ruminants). *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Peternakan Indonesia*, 11(1), 20–29.

Were, G. J., Irungu, F. G., Ngoda, P. N., Affognon, H., Ekesi, S., Nakimbugwe, D., Fiaboe, K. K. M., Mutungi, C. M. (2022). Nutritional and microbial quality of extruded fish feeds containing black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as a replacement for fish meal for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and African sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*). *Journal of Applied Aquaculture*, 34(4), 1036–1052. <https://doi.org/10.1080/10454438.2021.1922327>