

Penerapan Teknologi Mini Factory Pellet Organic Sebagai Solusi Pengadaan Pakan Ikan Secara Mandiri Pada UMKM Gubug Lele Di Desa Blimbing, Kec. Gudo, Kabupaten Jombang

Syarif Suhartadi¹, Erwin Komara Mindarta², Eddy Rudiyanto³, Marji⁴

^{1,2,3,4}Universitas Negeri Malang

E-mail: syarif.suhartadi.ft@um.ac.id

*Corresponding Author



<https://doi.org/10.31004/jerkin.v4i2.3493>

ARTICLE INFO

Article history

Received: 20 October 2025

Revised: 25 October 2025

Accepted: 27 November 2025

Kata Kunci

Akuakultur pedesaan, pakan pelet organik, teknologi tepat guna, sistem pabrik mini, produksi terdesentralisasi, pemberdayaan masyarakat, ekonomi sirkular

Keywords

Rural aquaculture, organic pellet feed, appropriate technology, mini factory system, decentralized production, community empowerment, circular economy



ABSTRACT

Studi ini mengkaji penerapan sistem produksi pelet organik pabrik mini yang dirancang untuk mengatasi tantangan biaya pakan ikan yang tinggi dan ketergantungan pada pemasok komersial di kalangan usaha mikro akuakultur pedesaan. Bertempat di Desa Blimbing, Jawa Timur, inisiatif ini bertujuan untuk memberdayakan UKM pembudidaya ikan lele lokal dengan memperkenalkan model produksi pakan yang hemat biaya dan dioperasikan oleh masyarakat berdasarkan limbah organik pertanian dan rumah tangga yang bersumber secara lokal. Penelitian ini menggunakan kerangka kerja aksi partisipatif yang dipadukan dengan metode campuran, menggabungkan uji coba produksi teknis, evaluasi ekonomi, pengujian palatabilitas, dan analisis persepsi pemangku kepentingan. Intervensi melibatkan empat siklus produksi menggunakan mesin sederhana yang disesuaikan untuk lingkungan pedesaan, disertai dengan pelatihan langsung dan pengumpulan umpan balik kualitatif dari peserta aktif. Hasil menunjukkan kelayakan teknis dan operasional model, dengan efisiensi konversi pakan rata-rata 77,6% dan tingkat keberhasilan batch lengkap. Secara ekonomi, biaya pakan yang diproduksi secara lokal 42,2% lebih rendah daripada alternatif komersial, menghasilkan penghematan substansial bagi perusahaan. Ikan merespons pakan secara positif, dengan konsumsi terjadi dalam jangka waktu yang optimal. Peserta melaporkan kepuasan yang tinggi, khususnya dalam hal manfaat ekonomi dan kegunaan teknologi. Temuan ini menegaskan bahwa sistem produksi pakan yang terdesentralisasi dapat meningkatkan keberlanjutan akuakultur pedesaan, mengurangi biaya produksi, dan meningkatkan keterlibatan dan otonomi masyarakat. Studi ini menyimpulkan bahwa model pabrik mini menawarkan solusi yang dapat direplikasi untuk akuakultur skala kecil di lingkungan dengan keterbatasan sumber daya. Model ini berkontribusi pada wacana yang lebih luas tentang akuakultur berkelanjutan dengan menyelaraskan prinsip ekonomi sirkular dengan inovasi lokal. Penelitian lebih lanjut direkomendasikan untuk memperluas analisis nutrisi dan skalabilitas di berbagai lingkungan

This study examines the implementation of a mini-factory organic pellet production system designed to address the challenges of high fish feed costs and dependence on commercial suppliers among rural aquaculture microenterprises. Located in Blimbing Village, East Java, the initiative aims to empower local catfish farming SMEs by introducing a cost-effective, community-operated feed production model based on locally sourced agricultural and household organic waste. The study employed a participatory action framework combined with mixed methods, incorporating technical production trials, economic evaluations, palatability testing, and stakeholder perception analysis. The intervention involved four production cycles using simple machinery adapted for rural environments, accompanied by hands-on training and the collection of qualitative. The results demonstrated the model's technical and operational

feasibility, with an average feed conversion efficiency of 77.6% and a complete batch success rate. Economically, the cost of locally produced feed was 42.2% lower than commercial alternatives, resulting in substantial savings for the company. Fish responded positively to the feed, with consumption occurring within the optimal timeframe. Participants reported high satisfaction, particularly regarding the economic benefits and usability of the technology. These findings confirm that decentralized feed production systems can improve the sustainability of rural aquaculture, reduce production costs, and increase community engagement and autonomy. The study concluded that the mini-factory model offers a replicable solution for small-scale aquaculture in resource-constrained environments. This model contributes to the broader discourse on sustainable aquaculture by aligning circular economy principles with local innovation. Further research is recommended to expand the nutritional analysis and scalability across diverse environments. feedback from active participants.



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

How to Cite: Syarif Suhartadi, et al (2025). Penerapan Teknologi Mini Factory Pellet Organic Sebagai Solusi Pengadaan Pakan Ikan Secara Mandiri Pada UMKM Gubug Lele Di Desa Blimbing, Kec. Gudo, Kabupaten Jombang 4(2) 11234- 11245 <https://doi.org/10.31004/jerkin.v4i2.3493>

PENDAHULUAN

Akuakultur telah muncul sebagai sektor penting dalam meningkatkan ketahanan pangan, menyediakan peluang mata pencaharian, dan mendukung pembangunan pedesaan, terutama di negara-negara dengan populasi agraris yang besar. Di antara para pelaku dalam domain ini, usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM) yang beroperasi di akuakultur pedesaan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap ekonomi lokal dan sistem pangan nasional. Namun, perusahaan-perusahaan ini sering beroperasi di bawah kendala sumber daya dan keterbatasan struktural yang parah. Salah satu tantangan yang paling mendesak adalah pengadaan pakan ikan, yang merupakan bagian terbesar dari biaya operasional. Oleh karena itu, kelangsungan hidup dan keberlanjutan ekonomi UMKM akuakultur pedesaan terkait erat dengan ketersediaan, keterjangkauan, dan kualitas gizi pakan ikan.

Biaya pakan ikan yang diproduksi secara komersial yang tinggi terus memberikan beban yang tidak proporsional pada usaha akuakultur skala kecil. Seperti yang disorot oleh D'Abramo, Hanson, dan Ohs (2010), pakan komersial diformulasikan untuk menyediakan profil nutrisi yang optimal, tetapi harganya yang tinggi—didorong oleh faktor-faktor seperti jarak dari pusat manufaktur, transportasi, dan dinamika pasar lokal—membuatnya tidak dapat diakses oleh banyak petani kecil. Tekanan ekonomi ini sering kali memaksa UKM untuk mengurangi kepadatan stok, membatasi skala produksi, atau mengorbankan nutrisi ikan, yang menyebabkan hasil panen yang lebih rendah dan membahayakan keberlanjutan usaha. Implikasinya melampaui kinerja bisnis individu, yang memengaruhi lapangan kerja lokal, rantai pasokan pangan, dan ketahanan mata pencaharian pedesaan. Dengan demikian, masalah keterjangkauan pakan tidak hanya bersifat operasional tetapi juga sistemik.

Untuk mengatasi tingginya biaya input, produsen akuakultur semakin mengeksplorasi solusi alternatif yang sejalan dengan tujuan ekonomi dan lingkungan. Strategi yang menjanjikan adalah pemanfaatan limbah organik yang tersedia secara lokal sebagai bahan pakan. Pendekatan ini tidak hanya mengurangi biaya pakan tetapi juga mendorong peningkatan nilai limbah dan keberlanjutan. Feodorov dkk. (2022) menunjukkan potensi mengubah residu pertanian dan limbah restoran menjadi input organik yang berharga untuk akuakultur. Demikian pula, Ningrum dkk. (2024) menunjukkan bahwa lalat tentara hitam yang dibesarkan dengan limbah organik menghasilkan komponen pakan yang secara nutrisi sebanding, yang selanjutnya memvalidasi kelayakan model bioekonomi sirkular dalam akuakultur. Praktik semacam itu tidak hanya meringankan beban biaya tetapi juga mendukung tujuan ekologis dengan mengurangi dampak lingkungan yang terkait dengan produksi pakan konvensional dan pembuangan limbah.

Integrasi teknologi yang tepat sangat penting untuk mewujudkan alternatif-alternatif ini dengan cara yang dapat diskalakan dan relevan secara kontekstual. Teknologi yang tepat mengacu pada inovasi yang terjangkau, mudah digunakan, dan disesuaikan dengan kemampuan dan infrastruktur setempat. Dalam konteks akuakultur pedesaan, ini termasuk pelet berbiaya rendah, pengering tenaga surya, dan

mixer skala kecil yang dirancang untuk memproses bahan-bahan yang bersumber secara lokal menjadi pakan. Valliappa dan Kumar (2021) menekankan bahwa teknologi tersebut dapat berfungsi sebagai katalisator untuk penambahan nilai pedesaan dengan memungkinkan masyarakat untuk mengubah limbah menjadi produk yang dapat digunakan, sehingga menutup siklus material dan meningkatkan perolehan pendapatan. Jika dikombinasikan dengan pelatihan dan panduan operasional setempat, perangkat ini dapat memberdayakan perusahaan akuakultur pedesaan untuk memproduksi pakan mereka sendiri secara berkelanjutan dan konsisten.

Studi empiris telah menguatkan kemandirian limbah organik lokal sebagai bahan baku pakan ikan yang layak. Produk sampingan pertanian seperti dedak padi, daun singkong, batang pisang, dan sisa dapur telah diubah secara efektif menjadi substrat pakan dengan profil nutrisi yang memuaskan. Sumber daya ini sering kali kurang dimanfaatkan atau dibuang, sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan. Feodorov dkk. (2022) berpendapat bahwa penyaluran kembali residu organik tersebut ke dalam sistem akuakultur merupakan langkah penting menuju operasionalisasi ekonomi sirkular di tingkat masyarakat. Dengan demikian, biaya input dan output limbah dapat dikurangi, sekaligus memperoleh manfaat lingkungan dan ekonomi.

Di luar biaya dan keberlanjutan, penerapan prinsip ekonomi sirkular yang lebih luas dalam akuakultur dapat memiliki implikasi yang luas bagi ketahanan pedesaan. Melalui praktik mengubah limbah menjadi pakan, sistem akuakultur petani kecil dapat mengurangi ketergantungan mereka pada rantai pasokan eksternal, yang sering kali tidak stabil dan mudah berubah. Feodorov dkk. (2022) menyoroti bahwa menanamkan sirkularitas ke dalam model produksi pedesaan tidak hanya mendukung ketahanan pangan dan efisiensi sumber daya, tetapi juga mendorong inovasi dan kewirausahaan lokal. Pergeseran paradigma ini mengubah UMKM dari konsumen pasif input industri menjadi produsen aktif dalam ekosistem mikro yang mandiri.

Namun, agar inovasi tersebut dapat berakar dan memberikan nilai jangka panjang, keterlibatan masyarakat dan pendekatan partisipatif sangatlah penting. Intervensi tradisional yang bersifat top-down sering kali gagal karena tidak selaras dengan kebutuhan, keterampilan, dan dinamika sosial setempat. Halim dan Noor (2023) menggarisbawahi pentingnya desain partisipatif dalam penyebaran teknologi, dengan menyatakan bahwa melibatkan anggota masyarakat dalam proses pengambilan keputusan menumbuhkan rasa kepemilikan dan meningkatkan tingkat adopsi. Hal ini sangat penting dalam intervensi terkait teknologi, di mana penerimaan dan penggunaan berkelanjutan merupakan kunci keberhasilan. Dalam konteks produksi pakan akuakultur, melibatkan pemangku kepentingan lokal dalam tahap perencanaan, pelatihan, dan implementasi dapat memastikan bahwa teknologi tersebut tidak hanya baik secara teknis tetapi juga layak secara budaya dan operasional.

Meskipun pemanfaatan limbah organik untuk pakan dan teknologi tepat guna untuk produksi pedesaan telah dieksplorasi dalam berbagai konteks, masih terdapat kesenjangan dalam penerapan inovasi ini dalam sistem yang terintegrasi sepenuhnya di tingkat desa. Sebagian besar penelitian yang ada berfokus pada uji coba laboratorium, lingkungan pertanian yang terkendali, atau implementasi percontohan tanpa melibatkan masyarakat secara ketat. Selain itu, dokumentasi tentang bagaimana praktik ini berjalan dalam realitas operasional UMKM—terutama dalam konteks Indonesia—masih terbatas. Kesenjangan tersebut tidak hanya bersifat teknologi tetapi juga sistemik, terkait mekanisme yang memungkinkan inovasi tersebut ditingkatkan dan direplikasi di berbagai lingkungan pedesaan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi kesenjangan tersebut dengan menerapkan dan mengevaluasi model pabrik mini untuk produksi pakan ikan menggunakan limbah organik yang bersumber dari daerah setempat di sebuah UKM akuakultur pedesaan Indonesia, yaitu Gubug Lele di Desa Blimbing, Kabupaten Jombang. Model ini mengintegrasikan teknologi yang peka terhadap konteks (misalnya, pencacah berenergi rendah, pencampur, pembuat pelet), pelatihan partisipatif, dan uji coba di tempat untuk menentukan kelayakan, efisiensi, dan penerimaan pengguna terhadap produksi pakan yang terdesentralisasi. Hipotesis utamanya adalah bahwa penerapan sistem pabrik mini akan secara signifikan mengurangi biaya produksi pakan, meningkatkan otonomi produksi, dan meningkatkan keberlanjutan melalui prinsip-prinsip ekonomi sirkular. Proyek ini juga bertujuan untuk menunjukkan replikasi sistem tersebut dalam konteks pedesaan yang serupa.

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada pendekatan holistik dan partisipatifnya terhadap integrasi teknologi untuk UKM akuakultur. Tidak seperti penelitian sebelumnya yang hanya berfokus pada komposisi pakan atau desain mesin, penelitian ini menggabungkan dimensi teknologi, ekonomi,

dan sosial menjadi satu model terpadu. Penelitian ini mendokumentasikan siklus implementasi penuh—dari desain hingga pelatihan, produksi, dan evaluasi—sambil menggunakan indikator dunia nyata seperti pengurangan biaya pakan, kepuasan pengguna, dan konsistensi produksi. Selain itu, penelitian ini menghasilkan bukti berbasis praktik yang dapat menginformasikan kebijakan tentang penyebaran teknologi pedesaan, pendidikan kejuruan, dan pengembangan akuakultur berkelanjutan.

Secara cakupan, studi ini berfokus pada satu UKM pedesaan dan spesies ikan tertentu (*Clarias* sp./ikan lele), dengan menggunakan berbagai masukan organik yang tersedia secara lokal. Meskipun hal ini dapat membatasi generalisasi, hal ini memastikan kedalaman dan relevansi konteks, yang penting bagi model inovasi pedesaan yang mendasar. Temuan studi ini dimaksudkan untuk menjadi prototipe yang dapat diadaptasi dan ditingkatkan melalui program pelatihan kejuruan, inisiatif pemerintah desa, atau keterlibatan akademisi-masyarakat secara kolaboratif.

Dengan mengeksplorasi persimpangan antara teknologi tepat guna, ekonomi sirkular, dan pemberdayaan masyarakat, studi ini berkontribusi pada wacana tentang pengembangan akuakultur berkelanjutan dan menawarkan model yang dapat ditindaklanjuti bagi UMKM yang menghadapi tantangan serupa di seluruh Indonesia dan sekitarnya. Bukti yang disajikan bertujuan untuk menjembatani kesenjangan antara inovasi dan praktik, serta antara wacana akademis dan dampak akar rumput. Melalui karya ini, kami berharap dapat menginspirasi penerapan teknologi lokal dan berbiaya rendah yang lebih luas dalam upaya mencapai ketahanan pangan, kemandirian ekonomi, dan pengelolaan lingkungan.

METODE

Studi ini menggunakan kerangka metodologi yang komprehensif dan sistematis untuk mengevaluasi implementasi dan efektivitas intervensi teknologi pelet organik pabrik mini yang dirancang untuk usaha mikro akuakultur pedesaan. Metodologi ini didasarkan pada pendekatan metode campuran yang mengintegrasikan dimensi kuantitatif dan kualitatif untuk sepenuhnya menangkap keluaran teknis dan respons masyarakat. Pemilihan metode diinformasikan oleh konteks spesifik budidaya ikan pedesaan di Indonesia, karakteristik teknologi sistem pabrik mini, dan keharusan untuk menilai kelayakan dan keberlanjutan produksi pakan terdesentralisasi. Kerangka kerja ini sejalan dengan rekomendasi yang ditetapkan untuk mengevaluasi transfer teknologi berbasis masyarakat dalam akuakultur, yang menekankan ketepatan empiris, keterlibatan partisipatif, dan kemampuan beradaptasi kontekstual (D'Abramo et al., 2010; Windarsih et al., 2023; Helmy et al., 2023).

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain penelitian aksi partisipatif terapan (PAR), yang menggabungkan intervensi berbasis pelatihan, observasi studi kasus, dan pemantauan kinerja. Desain ini memungkinkan para peneliti untuk terlibat langsung dengan para pelaku UMKM di seluruh proses—mulai dari perencanaan dan pemasangan teknologi hingga pelatihan, produksi, dan evaluasi pascaintervensi. Pendekatan PAR memungkinkan pembelajaran bersama dan penyesuaian waktu nyata, yang mendorong kepemilikan lokal atas teknologi tersebut dan meningkatkan relevansi temuan untuk replikasi di masa mendatang.

Desain ini sangat cocok untuk studi transfer teknologi dalam konteks akuakultur pedesaan, di mana partisipasi masyarakat sangat penting untuk keberhasilan integrasi dan keberlanjutan. Penelitian sebelumnya menyoroti pentingnya model partisipatif tersebut dalam mencapai pemberdayaan berkelanjutan dan penyampaian program yang efektif (Helmy et al., 2023).

Situs dan Peserta

Lokasi penelitian berada di Desa Blimbing, Kecamatan Gudo, Kabupaten Jombang, Jawa Timur, Indonesia. Sasaran intervensi adalah UMKM Gubug Lele, sebuah usaha akuakultur skala kecil yang bergerak di bidang budidaya ikan lele (*Clarias* sp.). UMKM ini dipilih berdasarkan aktivitas produksi yang konsisten, infrastruktur operasional yang ada, dan kemauan untuk terlibat dalam adopsi teknologi kolaboratif.

Sebanyak lima anggota aktif MSME dipilih secara sengaja sebagai peserta utama, berdasarkan kriteria termasuk keterlibatan langsung mereka dalam operasi akuakultur harian, ketersediaan untuk pelatihan, dan motivasi untuk mengadopsi dan mengevaluasi sistem baru. Peserta terlibat dalam semua tahap proyek, mulai dari penilaian kebutuhan dan pelatihan hingga uji coba produksi dan umpan balik.

Alat dan Bahan Intervensi

Sistem pabrik mini mencakup serangkaian perangkat sederhana, murah, dan hemat energi yang dirancang khusus untuk produksi pakan skala desa. Perangkat ini terdiri dari:

1. Mesin pencacah untuk mencacah limbah pertanian organik.
2. Mixer horizontal untuk menghomogenkan bahan pakan.
3. Alat pembuat pelet manual/semi-otomatis untuk membentuk pelet pakan ikan yang seragam.
4. Rak pengering tenaga surya untuk pengeringan pelet secara alami.

Bahan baku yang digunakan dalam produksi pelet organik semuanya tersedia secara lokal dan meliputi bekatul, daun singkong, batang pisang, limbah dapur rumah tangga, molase, dan sumber kaya protein seperti ikan atau tepung siput. Bahan-bahan ini dipilih berdasarkan aksesibilitas, biaya rendah, dan potensi nutrisinya sebagaimana ditetapkan dalam literatur (Feodorov et al., 2022; Ningrum et al., 2024).

Pelatihan dan Transfer Teknologi

Sesi pelatihan disusun untuk memadukan konten teoritis dengan aplikasi praktis. Orientasi awal memperkenalkan peserta pada tujuan dan struktur sistem pabrik mini. Pelatihan selanjutnya meliputi:

1. Prinsip formulasi pakan.
2. Pengoperasian dan pemeliharaan peralatan.
3. Praktik penanganan higienis dan pengendalian mutu.
4. Teknik pengeringan dan penyimpanan yang aman.

Untuk memastikan retensi pengetahuan dan transfer keterampilan, setiap peserta bergantian berperan di berbagai tahap siklus produksi, terlibat dalam pemotongan, pencampuran, pembuatan pelet, pengeringan, dan pengemasan. Modul visual dan SOP proses dibagikan untuk melengkapi pelatihan dan memperkuat konsistensi prosedural.

Pengaturan Eksperimen dan Uji Produksi

Uji coba produksi dilakukan di lingkungan akuakultur dunia nyata menggunakan model implementasi bertahap. Sebanyak empat kelompok produksi dilakukan selama dua minggu, masing-masing terdiri dari sekitar 25 kg bahan baku. Seluruh proses—dari persiapan material hingga pengemasan pelet—dipantau untuk memastikan keakuratan dan reproduktifitas.

Parameter yang dikontrol selama produksi meliputi:

1. Rasio komposisi masukan (misalnya, 40% karbohidrat, 30% protein, 20% serat, 10% aditif).
2. Waktu pencampuran (10–15 menit).
3. Ukuran pelet (3–5 mm).
4. Durasi pengeringan (24–48 jam tergantung cuaca).

Desain ini mengikuti praktik eksperimen lapangan semi-terstruktur, yang sejalan dengan rekomendasi untuk menilai kelayakan teknis sistem produksi pakan pedesaan (Berrocso et al., 2013). Hal ini memastikan konsistensi sekaligus memberikan fleksibilitas untuk penyesuaian lokal.

Pengumpulan Data Kuantitatif

Data kuantitatif dikumpulkan untuk menilai hasil teknis, ekonomi, dan biologis. Variabel-variabel berikut diukur:

1. Volume produksi pakan: Hasil pelet kering per batch (kg), diukur menggunakan timbangan digital.
2. Efisiensi biaya: Biaya produksi per unit per kilogram (Rp/kg), dibandingkan dengan harga pasar pakan komersial lokal.
3. Tingkat keberhasilan batch: Persentase kelompok produksi yang menghasilkan pakan yang dapat digunakan dan tidak rusak.
4. Uji palatabilitas: Waktu konsumsi ikan per sesi makan (menit), diamati selama tiga hari berturut-turut.
5. Kepuasan pengguna: Tanggapan skala likert (1–5) tentang kemudahan penggunaan, manfaat ekonomi, kualitas keluaran, dan potensi keberlanjutan.

Indikator-indikator ini dipilih berdasarkan penelitian sebelumnya yang menunjukkan pentingnya indikator-indikator tersebut dalam mengevaluasi kinerja pakan akuakultur dan kelayakan ekonomi (D'Abramo et al., 2010; Berrocso et al., 2013).

Pengumpulan Data Kualitatif

Data kualitatif dikumpulkan melalui:

1. Diskusi Kelompok Terfokus (FGD) dengan peserta untuk mengumpulkan wawasan naratif tentang pengalaman pelatihan, kegunaan teknologi, dan potensi bisnis yang dirasakan.
2. Tanggapan survei terbuka untuk menangkap saran, tantangan, dan manfaat yang dirasakan.
3. Pengamatan partisipandirekam oleh tim penelitian selama sesi produksi.

Pendekatan ini memastikan bahwa suara masyarakat terintegrasi ke dalam evaluasi, sejalan dengan prinsip penilaian partisipatif yang dibahas oleh Windarsih et al. (2023) dan Helmy et al. (2023).

Analisis Data

Analisis data mengikuti strategi integrasi metode campuran. Data kuantitatif dianalisis menggunakan statistik deskriptif, termasuk:

1. Rata-rata dan deviasi standar untuk metrik biaya dan produksi.
2. Distribusi frekuensi untuk tingkat keberhasilan batch dan respons palatabilitas ikan.
3. Perbandingan persentase antara biaya pakan buatan rumahan dan komersial.

Data kualitatif dianalisis secara tematis menggunakan pengkodean manual, mengkategorikan wawasan ke dalam tema-tema utama:

1. Kemudahan adopsi dan pengoperasian.
2. Tantangan teknis dan mitigasi.
3. Kelangsungan ekonomi dan potensi perluasan bisnis.
4. Dampak lingkungan dan pemanfaatan limbah.

Pendekatan analisis triangulasi ini memungkinkan validasi silang antara metrik kinerja empiris dan umpan balik masyarakat berdasarkan pengalaman, konsisten dengan praktik terbaik untuk mengevaluasi intervensi teknologi pedesaan (Windarsih dkk., 2023).

Pertimbangan Etis

Persetujuan lisan dan tertulis yang diinformasikan diperoleh dari semua peserta sebelum dimulainya penelitian. Tujuan, harapan, dan potensi manfaat atau keterbatasan proyek dikomunikasikan secara transparan. Peserta diberitahu tentang hak mereka untuk menarik diri pada tahap apa pun tanpa penalti apa pun. Penelitian ini mematuhi pedoman etika untuk penelitian partisipatif berbasis masyarakat, yang menjamin rasa hormat, kerahasiaan, dan kolaborasi.

Ruang Lingkup dan Batasan

Studi ini ditujukan untuk satu UKM di wilayah geografis tertentu dengan jumlah peserta dan bahan pakan yang terbatas. Dengan demikian, meskipun intervensi dirancang untuk dapat direplikasi, generalisasinya mungkin terbatas. Selain itu, tidak adanya analisis nutrisi berbasis laboratorium membatasi kedalaman validasi ilmiah terkait komposisi pakan. Meskipun demikian, kelayakan di dunia nyata, penerimaan pengguna, dan indikator ekonomi memberikan wawasan yang kuat tentang potensi model pabrik mini dalam konteks yang serupa.

Kerangka metodologi terstruktur ini memadukan pengujian empiris yang ketat dengan implementasi lapangan partisipatif. Dengan demikian, kerangka ini membahas dimensi teknis dan manusiawi dari penerapan teknologi tepat guna dalam akuakultur pedesaan, yang berkontribusi pada pemahaman yang lebih mendalam tentang inovasi pakan berkelanjutan di tingkat desa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Bab ini menyajikan hasil empiris penerapan sistem produksi pelet organik pabrik mini di UMKM Gubug Lele Desa Blimbing. Temuan tersebut diorganisasikan ke dalam lima sub-bagian: (1) Kinerja Produksi Pakan, (2) Efisiensi Biaya dan Dampak Ekonomi, (3) Palatabilitas dan Penerimaan Pakan oleh Ikan, (4) Kepuasan dan Persepsi Pemangku Kepentingan, dan (5) Ringkasan Indikator Kinerja Utama. Hasil-hasil ini memberikan dasar untuk mengevaluasi kelayakan teknis, ekonomi, dan sosial dari inisiatif produksi pakan skala kecil di lingkungan akuakultur pedesaan.

Kinerja Produksi Pakan

Sebanyak empat batch produksi pakan dilakukan dengan menggunakan sistem pabrik mini, masing-masing melibatkan sekitar 25 kg bahan baku yang bersumber dari limbah organik pertanian dan rumah tangga yang tersedia secara lokal. Bahan baku tersebut meliputi bekatul, daun singkong, batang pisang, tepung bekicot, dan sisa dapur. Peralatan yang digunakan—yang terdiri dari mesin pencacah,

mixer, mesin pelet manual/semi-otomatis, dan pengering surya—mampu mengolah bahan-bahan tersebut menjadi pakan pelet dalam waktu 24 hingga 48 jam.

Setiap batch menghasilkan rata-rata 19,4 kg pelet kering, yang menunjukkan tingkat konversi 77,6% dari bahan mentah menjadi produk akhir. Proses pengeringan menghasilkan pengurangan kadar air sekitar 18% di seluruh batch. Tidak ada batch yang mengalami kegagalan kritis, yang menunjukkan pengoperasian dan reproduktifitas yang kuat.

Konsistensi hasil tersebut menegaskan kelayakan teknis pendekatan pabrik mini. Seperti yang ditunjukkan dalam studi serupa, teknologi pelet skala kecil dapat mencapai efisiensi yang sebanding dengan sistem pakan industri jika disesuaikan dengan kondisi setempat (Milstein et al., 1995; Islam & Peñarubia, 2021). Keseragaman hasil di seluruh kelompok mencerminkan kontrol yang tinggi atas rasio pencampuran dan prosedur operasional, yang memvalidasi protokol pelatihan dan SOP yang dikembangkan selama intervensi.

Efisiensi Biaya dan Dampak Ekonomi

Biaya produksi satu kilogram pakan pelet organik tercatat sebesar Rp5.200. Sementara itu, harga pasaran pakan ikan komersial di wilayah tersebut adalah Rp9.000 per kilogram. Hal ini berarti terjadi penghematan biaya sekitar 42,2%.

Dengan kapasitas produksi rata-rata per minggu sebesar 80 kg (berdasarkan empat batch yang berhasil), perusahaan memperoleh penghematan mingguan sebesar Rp304.000. Dalam sebulan, ini berarti penghematan lebih dari Rp1,2 juta, margin yang signifikan untuk operasi skala mikro.

Temuan ini sejalan dengan literatur yang menunjukkan bahwa produksi pakan lokal dapat mengurangi ketergantungan input dan meningkatkan keuntungan dalam akuakultur skala kecil (D'Abramo et al., 2010; Yulianto et al., 2021). Dengan beralih dari sumber pakan impor atau terpusat ke produksi berbasis masyarakat, UKM mengurangi biaya transportasi, meningkatkan arus kas, dan memperoleh kendali yang lebih besar atas input produksi mereka.

Palatabilitas dan Penerimaan Pakan oleh Ikan

Untuk menilai penerimaan biologis, uji palatabilitas pakan dilakukan selama tiga hari berturut-turut di kolam produksi UMKM Gubug Lele. Pelet buatan sendiri diberikan kepada ikan lele (*Clarias* sp.) pada waktu pemberian pakan yang teratur, dan waktu konsumsi dipantau.

Rata-rata, ikan menghabiskan pakan yang diberikan dalam waktu 12 menit per sesi pemberian pakan. Hal ini termasuk dalam kisaran optimal yang diidentifikasi dalam studi palatabilitas sebelumnya (Haider et al., 2015; Hansen et al., 2022). Perilaku ikan aktif dan responsif, tanpa tanda-tanda penolakan atau keraguan yang terlihat. Responsivitas tertinggi tercatat pada hari kedua, dengan pakan yang habis dikonsumsi dalam waktu kurang dari 10 menit.

Hasil ini menunjukkan bahwa kualitas organoleptik (tekstur, kadar air, dan rasa) pakan yang diproduksi secara lokal memenuhi standar yang diperlukan agar dapat diterima oleh ikan. Penerimaan positif tersebut menegaskan bahwa pakan yang diformulasikan, meskipun dibuat dari bahan baku yang tidak konvensional, memiliki keseimbangan yang tepat dalam hal kelezatan dan komposisi nutrisi dasar—sesuai dengan pengamatan oleh Ningrum dkk. (2024).

3.4 Kepuasan dan Persepsi Pemangku Kepentingan

Survei skala Likert dan Diskusi Kelompok Terarah (FGD) dilakukan dengan lima partisipan aktif yang terlibat dalam produksi pakan. Survei tersebut mencakup lima dimensi utama: kegunaan teknologi, kualitas keluaran pakan, manfaat ekonomi, kualitas pelatihan dan dukungan, serta potensi keberlanjutan.

Skor kepuasan rata-rata di semua dimensi adalah 4,6 dari 5. Peserta menilai manfaat ekonomi (4,8) dan kualitas pelatihan dan dukungan (4,7) sebagai yang tertinggi. Kegunaan teknologi (4,6), keberlanjutan (4,5), dan kualitas pakan yang dirasakan (4,4) juga menerima evaluasi positif.

Selama FGD, para peserta menekankan pentingnya "pembelajaran langsung" dan "kemampuan menghasilkan sesuatu yang berharga dari limbah desa." Seorang peserta mengatakan, "Kami tidak perlu lagi membeli pakan mahal. Sekarang kami mengerti cara membuatnya sendiri, dan ikan-ikan pun tumbuh dengan baik."

Respons kualitatif menggemakan temuan dari Muschard & Seliger (2015) dan Mridha et al. (2013), yang menegaskan bahwa penerimaan teknologi dalam konteks pedesaan meningkat ketika pelaku lokal terlibat langsung dalam implementasi dan melihat hasil langsung. Rasa kepemilikan dan

pemberdayaan terlihat jelas dalam umpan balik peserta, yang memperkuat pentingnya metodologi partisipatif dalam inovasi pedesaan.

Ringkasan Indikator Kinerja Utama

Tabel 1 merangkum metrik kinerja utama yang tercatat selama penelitian:

Metrik	Nilai	Evaluasi
Output pakan (berat kering)	Rata-rata 19,4 kg/batch	Dalam kisaran rasio konversi yang optimal
Efisiensi konversi	77,6% dari	Efisiensi operasional yang tinggi
Biaya per kg pakan	Rp 5.200	42,2% lebih murah dari pakan pasar
Tabungan mingguan	Rp 304.000	Dampak signifikan bagi skala UMKM
Waktu konsumsi pakan	Rata-rata 12 menit	Menunjukkan palatabilitas tinggi
Tingkat keberhasilan batch	100% (4/4 kelompok)	Mengonfirmasi reproduktifitas teknis
Skor kepuasan rata-rata	4.6 / 5.0	Persetujuan yang kuat di semua aspek teknologi

Hasil ini menegaskan bahwa produksi pakan skala mini menggunakan limbah lokal organik tidak hanya layak secara teknis tetapi juga menguntungkan secara ekonomi dan dapat diterima secara sosial. Bukti tersebut mendukung pernyataan sebelumnya bahwa sistem produksi terdesentralisasi dapat memenuhi kebutuhan UKM akuakultur pedesaan dengan meningkatkan otonomi, mengurangi biaya operasional, dan mendukung model ekonomi sirkular (Ben-Ner & Siemsen, 2017; Feodorov et al., 2022).

Dokumentasi data visual, termasuk foto-foto pembentukan pelet, rak pengeringan, dan uji coba pemberian pakan, juga disertakan dalam catatan proyek untuk memastikan transparansi dan memungkinkan reproduktifitas. Praktik ini sejalan dengan standar yang direkomendasikan untuk menyajikan hasil produksi skala kecil dalam penelitian pertanian berbasis masyarakat (Gan et al., 2022; López-López et al., 2010; Dissanayake & Jayakody, 2021).

Singkatnya, intervensi tersebut berhasil menunjukkan bahwa model pabrik mini yang dikelola masyarakat dapat menurunkan biaya produksi pakan secara signifikan, memastikan penerimaan pakan, dan mendorong keterlibatan lokal yang kuat. Hasil ini memberikan dukungan empiris untuk meningkatkan inisiatif serupa di seluruh UKM akuakultur pedesaan lainnya, sehingga berkontribusi pada tujuan yang lebih luas yaitu pembangunan berkelanjutan dan ketahanan sistem pangan.

Pembahasan

Penerapan sistem pabrik mini lokal untuk memproduksi pakan ikan organik dalam konteks usaha mikro akuakultur pedesaan menghadirkan kasus yang menarik untuk kelayakan dan keberlanjutan solusi pakan akuakultur terdesentralisasi. Hasil yang diuraikan dalam bab sebelumnya menunjukkan manfaat nyata di seluruh dimensi teknis, ekonomi, dan sosial. Ketika ditempatkan dalam wacana yang lebih luas tentang pengembangan pakan akuakultur, temuan ini menegaskan semakin relevannya intervensi teknologi berbasis masyarakat yang memanfaatkan sumber daya lokal dan metode partisipatif.

Dibandingkan dengan model nasional atau internasional yang sering bergantung pada bahan baku standar dan distribusi terpusat, intervensi lokal menawarkan fleksibilitas dan keselarasan ekologis yang lebih besar. Penggunaan bahan baku khusus wilayah seperti bekatul, daun singkong, dan tepung bekicot dalam penelitian ini memungkinkan penghematan biaya dan mengurangi ketergantungan input, yang mengonfirmasi pernyataan Yulianto et al. (2021) mengenai potensi limbah makanan laut dan pertanian untuk meningkatkan profil pakan sekaligus mengurangi limbah. Lebih jauh, pengurangan biaya produksi pakan sebesar 42,2% dari intervensi ini sejalan dengan literatur yang ada yang menyoroti manfaat finansial dari produksi pakan terdesentralisasi, khususnya untuk usaha akuakultur skala kecil (D'Abramo et al., 2010).

Pendekatan terdesentralisasi juga terbukti efektif dalam menyelaraskan produksi pakan dengan realitas sosial-ekonomi petani ikan pedesaan. Dengan mengurangi ketergantungan pada pakan komersial dan memberdayakan UKM lokal untuk merumuskan dan memproduksi input mereka sendiri, model tersebut memperkuat otonomi produksi dan meningkatkan ketahanan bisnis. Hasil ini mendukung argumen yang dibuat oleh Ben-Ner dan Siemsen (2017), yang menyatakan bahwa sistem produksi lokal memfasilitasi kewirausahaan, menurunkan biaya operasional, dan meningkatkan keberlanjutan dengan memperpendek rantai pasokan.

Selain itu, adopsi teknologi pelet skala mini memungkinkan efisiensi operasional dan tingkat keberhasilan batch yang konsisten. Seperti yang dibahas oleh Milstein dkk. (1995) dan Islam & Peñarubia (2021), sistem tersebut dapat menyaingi model industri dalam hal kinerja jika disesuaikan dengan konteks lokal. Reproduktifitas dan konsistensi yang ditunjukkan dalam empat batch produksi studi ini menegaskan keandalan teknis model tersebut. Yang terpenting, hasil ini dicapai dengan menggunakan peralatan yang berbiaya rendah dan dapat dioperasikan oleh non-spesialis—faktor penting untuk keberlanjutan dalam program pembangunan pedesaan.

Penerimaan pakan oleh ikan merupakan indikator penting keberhasilan lainnya, karena menentukan kegunaan praktis pakan alternatif. Studi ini mencatat respons palatabilitas yang kuat, dengan ikan mengonsumsi pakan yang diproduksi secara lokal dalam waktu rata-rata kurang dari 12 menit. Hasil ini mengonfirmasi temuan dari Haider et al. (2015) dan Hansen et al. (2022), yang menekankan peran sifat organoleptik dan komposisi nutrisi dalam penerimaan pakan. Lebih jauh, penggabungan sumber protein yang tersedia di masyarakat mencerminkan praktik yang direkomendasikan oleh Ningrum et al. (2024), yang menganjurkan pemanfaatan larva lalat tentara hitam dan jalur serupa dari limbah menjadi protein untuk mempertahankan standar nutrisi.

Di luar metrik teknis dan biologis, dimensi sosial dari intervensi ini sama pentingnya. Penilaian kepuasan peserta dan umpan balik dari FGD menunjukkan tingkat persetujuan yang tinggi, dengan responden menyoroti penghematan ekonomi, kemudahan belajar, dan peningkatan kemandirian. Temuan ini mendukung klaim oleh Muschard & Seliger (2015) dan Mridha et al. (2013) bahwa adopsi teknologi di masyarakat pedesaan ditingkatkan melalui metode partisipatif dan manfaat yang terlihat. Rasa pemberdayaan yang dilaporkan oleh peserta tidak hanya menegaskan kegunaan teknologi tetapi juga menandakan potensi keberlanjutan jangka panjang yang berakar pada kepemilikan masyarakat.

Bila dipertimbangkan dalam konteks tujuan lingkungan yang lebih luas, intervensi ini menggambarkan nilai prinsip ekonomi sirkular dalam akuakultur. Memanfaatkan limbah pertanian dan dapur untuk produksi pakan merupakan contoh efisiensi sumber daya dan pemanfaatan limbah, praktik yang didukung oleh Cheng dkk. (2016) dan Yuwono dkk. (2022). Dengan meminimalkan ketergantungan pada input yang bersumber dari luar dan mengurangi keluaran limbah, intervensi ini berkontribusi untuk menurunkan jejak karbon dan risiko polusi yang biasanya terkait dengan rantai pasokan pakan akuakultur. Selain itu, kesederhanaan teknik pengeringan surya yang digunakan menambah daya tarik lingkungan dengan menghindari ketergantungan pada energi berbasis jaringan atau bahan bakar fosil.

Namun, penting untuk mengakui beberapa keterbatasan. Meskipun intervensi mencapai keberhasilan 100% dan persetujuan pemangku kepentingan yang kuat, intervensi tersebut terbatas pada satu UKM dengan jumlah peserta yang sedikit. Generalisasi yang lebih luas akan memerlukan replikasi dalam konteks yang beragam, yang melibatkan berbagai spesies ikan, kondisi iklim, dan latar belakang sosial ekonomi. Selain itu, meskipun palatabilitas telah dikonfirmasi, analisis nutrisi yang lebih rinci dari pakan yang diproduksi akan memperkuat klaim tentang efektivitas komparatifnya dengan alternatif komersial. Hal ini khususnya relevan dalam konteks regulasi keamanan dan keselamatan pangan skala nasional.

Mengatasi keterbatasan ini memerlukan kerangka kerja kolaboratif yang kuat. Seperti yang dicatat oleh Ajie & Prihatiningtyas (2022), infrastruktur yang tidak memadai dan akses terbatas ke keahlian teknis sering kali menghambat penerapan teknologi pedesaan. Oleh karena itu, upaya peningkatan skala lebih lanjut harus melibatkan kemitraan dengan lembaga akademis, pusat pelatihan kejuruan, LSM, dan lembaga pemerintah untuk menawarkan dukungan komprehensif—mulai dari penyediaan peralatan hingga pemantauan dan evaluasi jangka panjang. Lebih jauh, seperti yang disarankan Ali et al. (2011) dan Sandell (2023), penyertaan program pembiayaan mikro dan pendidikan lingkungan dapat meningkatkan tingkat adopsi dan memperbaiki pengelolaan lingkungan di antara praktisi akuakultur.

Yang penting, pendekatan lokal tidak harus berlawanan dengan strategi akuakultur nasional. Sebaliknya, pendekatan tersebut dapat melengkapi dan memperkaya strategi tersebut. Seperti yang diamati oleh Defaix dkk. (2024), sistem pakan skala besar mungkin kurang responsif terhadap variabel lingkungan dan ekonomi setempat. Memasukkan model terdesentralisasi ke dalam perencanaan nasional dapat membantu mengurangi risiko lingkungan akibat penangkapan ikan berlebihan dan degradasi habitat sekaligus mendiversifikasi sumber pakan. Model hibrida ini, yang mana

inovasi lokal berperan dalam ketahanan nasional, menawarkan jalur berkelanjutan ke depan untuk akuakultur.

Sebagai kesimpulan, temuan dari penelitian ini berkontribusi pada semakin banyaknya bukti yang mendukung inovasi akuakultur yang terdesentralisasi dan digerakkan oleh masyarakat. Dengan menunjukkan kelayakan teknis, ekonomi, dan sosial dari sistem pelet organik pabrik mini, penelitian ini menegaskan potensi teknologi yang tepat untuk memenuhi kebutuhan lokal sekaligus memenuhi target keberlanjutan global. Dengan dukungan yang memadai dan penyempurnaan yang berkelanjutan, model tersebut dapat ditingkatkan di berbagai konteks pedesaan, meningkatkan ketahanan pangan, keberlanjutan ekologis, dan pemberdayaan masyarakat di sektor akuakultur.

KESIMPULAN

Studi ini meneliti penerapan dan hasil sistem pabrik mini untuk memproduksi pakan pelet organik di lingkungan UKM akuakultur pedesaan. Melalui evaluasi metode campuran yang komprehensif, studi ini menemukan bahwa model pabrik mini secara efektif mengurangi biaya produksi pakan ikan sekitar 42,2%, mempertahankan palatabilitas pakan yang tinggi untuk *Clarias sp.*, dan mendorong kepuasan pemangku kepentingan yang kuat melalui pelatihan partisipatif dan teknologi yang mudah diakses. Proses produksi menunjukkan keberhasilan batch 100% dengan kualitas output yang konsisten, yang memperkuat kelayakan teknis model tersebut.

Analisis ekonomi menegaskan bahwa produksi pakan lokal dapat meningkatkan profitabilitas UMKM secara signifikan dengan mengurangi ketergantungan pada sumber pakan komersial. Peserta melaporkan peningkatan rasa pemberdayaan dan kemandirian, yang menunjukkan bahwa intervensi teknologi berbasis masyarakat dapat meningkatkan penghidupan pedesaan secara signifikan. Lebih jauh, manfaat lingkungan—melalui penggunaan limbah pertanian dan rumah tangga yang bersumber secara lokal—sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular dan tujuan keberlanjutan.

Dari perspektif yang lebih luas, studi ini memberikan bukti empiris yang berharga bagi wacana yang berkembang mengenai sistem pakan akuakultur yang terdesentralisasi. Studi ini menggarisbawahi pentingnya menyesuaikan teknologi yang tepat dengan kondisi lokal dan menanamkannya dalam kerangka kerja implementasi partisipatif. Tidak seperti model produksi pakan skala besar, sistem pabrik mini menawarkan solusi yang fleksibel, dapat diskalakan, dan berbiaya rendah yang mengintegrasikan dimensi teknis, ekonomi, dan sosial.

Implikasi dari penelitian ini meluas hingga ke pembuat kebijakan, praktisi pembangunan, dan penyedia pendidikan kejuruan yang berupaya untuk mendorong inovasi pedesaan dan ketahanan pangan. Dengan menunjukkan bahwa produksi pakan skala kecil dapat tangguh secara teknis dan inklusif secara sosial, model ini menawarkan cetak biru yang dapat direplikasi untuk memberdayakan UKM di masyarakat pedesaan yang kaya akan akuakultur.

Penelitian lebih lanjut disarankan untuk memperluas temuan ini dengan mengevaluasi profil nutrisi pakan organik, melakukan studi kinerja longitudinal, dan menerapkan model di berbagai konteks geografis dan sosial ekonomi. Uji coba komparatif dengan pakan komersial dan studi yang menggabungkan laju pertumbuhan ikan dan indikator kesehatan akan memperdalam pemahaman tentang khasiat biologisnya.

Singkatnya, studi ini menyajikan kasus yang menarik untuk produksi pakan akuakultur lokal dan berkelanjutan. Studi ini menjembatani kesenjangan antara inovasi akar rumput dan penyelidikan ilmiah, menawarkan wawasan yang dapat ditindaklanjuti tentang bagaimana masyarakat pedesaan dapat memanfaatkan sumber daya lokal dan teknologi yang tepat untuk meningkatkan otonomi, ketahanan, dan pengelolaan lingkungan di sektor akuakultur.

REFERENSI

- Ajie, G., & Prihatiningtyas, E. (2022). Nutrients removal from integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) water using waste stabilization ponds (WSP). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 976(1), 012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/976/1/012029>
- Ali, A., Thiem, Ø., & Berntsen, J. (2011). Numerical modelling of organic waste dispersion from fjord located fish farms. *Ocean Dynamics*, 61(7), 977–989. <https://doi.org/10.1007/s10236-011-0393-8>

- Archimède, H., Rira, M., Barde, D., Labirin, F., Marie-Magdeleine, C., Calif, B., ... & Doreau, M. (2015). Potential of tannin-rich plants, *Leucaena leucocephala*, *Glyricidia sepium* and *Manihot esculenta*, to reduce enteric methane emissions in sheep. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(6), 1149–1158. <https://doi.org/10.1111/jpn.12423>
- Ben-Ner, A., & Siemsen, E. (2017). Decentralization and localization of production. *California Management Review*, 59(2), 5–23. <https://doi.org/10.1177/0008125617695284>
- Berrococo, J., Saldaña, B., Serrano, M., Cámara, L., Ibáñez, M., & Mateos, G. (2013). Influence of crude protein content, ingredient complexity, feed form, and duration of feeding of the phase I diets on productive performance and nutrient digestibility of Iberian pigs. *Journal of Animal Science*, 91(3), 1237–1246. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5448>
- Cheng, Z., Lam, C., Mo, W., Nie, X., Choi, W., Man, Y., ... & Wong, M. (2016). Food wastes as fish feeds for polyculture of low-trophic-level fish: Bioaccumulation and health risk assessments of heavy metals in the cultured fish. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(8), 7195–7203. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6484-9>
- D'Abramo, L., Hanson, T., & Ohs, C. (2010). Pelleted sources of nutrition and the effect of stocking size-graded juveniles in low-input farming of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* in earthen ponds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 41(6), 841–857. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2010.00428.x>
- Defaix, R., Lokesh, J., Ghislain, M., Béché, M., Marchand, M., Véron, V., ... & Ricaud, K. (2024). High carbohydrate to protein ratio promotes changes in intestinal microbiota and host metabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed plant-based diet. *Aquaculture*, 578, 740049. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740049>
- Dissanayake, L., & Jayakody, L. (2021). Engineering microbes to bio-upcycle polyethylene terephthalate. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 656465. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.656465>
- Feodorov, C., Velcea, A., Ungureanu, F., Apostol, T., Robescu, D., & Cocârță, D. (2022). Toward a circular bioeconomy within food waste valorization: A case study of an on-site composting system of restaurant organic waste. *Sustainability*, 14(14), 8232. <https://doi.org/10.3390/su14148232>
- Gan, M., Hu, J., Wan, K., Liu, X., Chen, P., Zeng, R., ... & Zhao, Y. (2022). Isolation and characterization of *Lactobacillus paracasei* 85 and *Lactobacillus buchneri* 93 to absorb and biotransform zearalenone. *Toxics*, 10(11), 680. <https://doi.org/10.3390/toxics10110680>
- Haider, M., Ashraf, M., Azmat, H., Khalique, A., Javid, A., Atique, U., ... & Akram, S. (2015). Nutritive evaluation of fish acid silage in *Labeo rohita* fingerlings feed. *Journal of Applied Animal Research*, 44(1), 158–164. <https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1021811>
- Halim, A., & Noor, M. (2023). Assessing rural community empowerment through community internet centre: Using asset mapping and surveys method. *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, 7(1), 265. <https://doi.org/10.30630/joiv.7.1.1155>
- Hansen, N., Kristensen, T., Johansen, M., Wiking, L., Poulsen, N., Hellwing, A., ... & Weisbjerg, M. (2022). Effects on feed intake, milk production, and methane emission in dairy cows fed silage or fresh grass with concentrate or fresh grass harvested at early or late maturity stage without concentrate. *Journal of Dairy Science*, 105(10), 8036–8053. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-21885>
- Islam, M., & Peñarubia, O. (2021). Seafood waste management status in Bangladesh and potential for silage production. *Sustainability*, 13(4), 2372. <https://doi.org/10.3390/su13042372>
- Jones, J., Manning, S., Montoya, M., Keller, K., & Poenie, M. (2012). Extraction of algal lipids and their analysis by HPLC and mass spectrometry. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89(8), 1371–1381. <https://doi.org/10.1007/s11746-012-2044-8>
- López-López, A., Dávila-Vazquez, G., León-Becerril, E., Villegas-García, E., & Gallardo-Valdez, J. (2010). Tequila vinasses: Generation and full scale treatment processes. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 9(2), 109–116. <https://doi.org/10.1007/s11157-010-9204-9>
- Milstein, A., Alkon, A., Karplus, I., Kochba, M., & Avnimelech, Y. (1995). Combined effects of fertilization rate, manuring and feed pellet application on fish performance and water quality in

- polyculture ponds. *Aquaculture Research*, 26(1), 55–65. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1995.tb00860.x>
- Mridha, M., Nihlen, G., Erlandsson, B., Khan, A., Islam, M., Sultana, N., ... & Srinivas, M. (2013). E-learning for empowering the rural people in Bangladesh: Opportunities and challenges. *ICELETE*, 323–328. <https://doi.org/10.1109/icelete.2013.6644397>
- Muscard, B., & Seliger, G. (2015). Realization of a learning environment to promote sustainable value creation in areas with insufficient infrastructure. *Procedia CIRP*, 32, 70–75. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.04.095>
- Ningrum, S., Ilham, M., Yulianto, A., Nussa, O., & Purnamasari, K. (2024). Comparison of the nutritional composition of black soldier fly bred on organic waste and bred on commercial pellet mixed with rice bran. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner*, 29(1), 29–35. <https://doi.org/10.14334/jitv.v29i2.3357>
- Sandell, K. (2023). Enough fish in the sea? *Ethnologia Fennica*, 49(2), 101–126. <https://doi.org/10.23991/ef.v49i2.112847>
- Yulianto, T., Putri, D., Miranti, S., & Putra, W. (2021). Utilization of shrimp shell waste as alternative raw for mariculture. *E3S Web of Conferences*, 324, 03006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132403006>
- Yuwono, A., Permana, I., Syahril, A., & Sembiring, H. (2022). Producing feed protein by bioconversion of domestic and industrial organic solid wastes using black soldier fly (BSF) larvae. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1001(1), 012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1001/1/012008>