

PRESERVASI KANDUNGAN NUTRISI DALAM PENGOLAHAN PAKAN IKAN BUDIDAYA

Preservation of Nutritional Content in Farmed Fish Feed Processing

Kiki Haetami¹, Mohammad Badai Putra Surahman^{1*}

¹Magsiter Ilmu Perikanan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran Jl. Raya Bandung-Sumedang KM. 21 Jatinangor, Sumedang, Indonesia

*Korespondensi email: mohammad18007@mail.unpad.ac.id

ABSTRACT

Feed rich in nutrients such as protein, essential fatty acids, vitamins, and minerals plays a central role in successful aquaculture. However, feed processing processes, including extrusion, drying, and encapsulation, often involve extreme conditions such as high temperatures and pressures that can damage sensitive nutrients. The purpose of this literature review is to explore various preservation techniques in aquaculture feed processing to minimize nutrient damage, including temperature control, water content reduction, addition of preservative agents, and modification of chemical composition in an effort to produce feed with good nutritional quality. The method used in compiling this review is the systematic review method. By combining the latest insights from various studies, this review provides strategic guidance for the development of fish feed that is not only efficient and nutritionally stable, but also environmentally friendly. The implications of this innovation are expected to improve the sustainability of aquaculture operations and support responsible fisheries resource management. Based on the results of the study, methods such as drying, fermentation, microencapsulation, and vitamin addition have the potential to increase nutrition in feed and have a good impact on farmed fish.

Key words : *fish feed, nutrition, preservation, processing*

ABSTRAK

Pakan yang kaya nutrisi seperti protein, asam lemak esensial, vitamin, dan mineral memainkan peran sentral dalam keberhasilan budidaya. Namun, proses pengolahan pakan, termasuk ekstrusi, pengeringan, dan enkapsulasi, sering kali melibatkan kondisi ekstrem seperti suhu dan tekanan tinggi yang dapat merusak nutrisi sensitif. Tujuan dari kajian literatur ini, yaitu untuk mengeksplorasi berbagai teknik preservasi pada pengolahan pakan ikan budidaya sehingga dapat meminimalkan kerusakan nutrisi, termasuk pengontrolan suhu, pengurangan kadar air, penambahan agen pengawet, dan modifikasi susunan kimia sebagai upaya menghasilkan pakan dengan kualitas nutrisi yang baik. Metode yang digunakan dalam penyusunan kajian ini adalah metode studi literatur (*systematic review*). Dengan memadukan wawasan terkini dari berbagai penelitian, kajian ini memberikan panduan strategis bagi pengembangan pakan ikan yang tidak hanya efisien dan stabil secara nutrisi, tetapi juga ramah lingkungan. Implikasi dari inovasi ini diharapkan dapat

meningkatkan keberlanjutan operasional akuakultur dan mendukung pengelolaan sumber daya perikanan yang bertanggung jawab. Berdasarkan hasil kajian, metode seperti pengeringan, fermentasi, mikroenkapsulasi, dan penambahan vitamin berpotensi meningkatkan nutrisi pada pakan serta memberikan dampak yang baik terhadap ikan budidaya.

Kata Kunci: *nutrisi, pakan ikan, preservasi, pengolahan*

PENDAHULUAN

Perkembangan besar dalam industri pembuatan pakan hewani ini kemudian dikenal dengan istilah pembuatan pelet atau *pelletizing*. Pelet kini telah menjadi jenis pakan yang paling banyak digunakan dalam budidaya organisme akuatik. Proses tersebut merupakan tindakan fisik dalam mencampurkan berbagai bahan baku pakan untuk kemudian diarahkan ke celah silinder untuk menghasilkan ukuran pelet yang diinginkan. Selain untuk menciptakan pakan sesuai kandungan nutrisi yang dibutuhkan, tindakan ini juga bertujuan untuk meningkatkan kualitas fisik pakan sehingga dapat menjaga ketersediaan nutrisinya (Aarseth *et al.* 2006; Kannadhasan *et al.* 2011).

Kualitas pelet dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti formulasi campuran, ukuran partikel bahan baku, pengkondisian, spesifikasi cetakan pelet, dan metode

pendinginan dan pengeringan (Lancheros *et al.* 2020). Proses pembuatan pelet seringkali melibatkan kondisi ekstrem yang diterapkan selama proses produksinya ekstrusi, yaitu suhu dan tekanan tinggi. Tindakan ini menginduksi perubahan pada komponen pakan yang dapat meningkatkan daya cerna protein, peningkatan fisik pakan dan optimalisasi ketersediaan nutrisi bagi ikan. Mekanisme ini mengakibatkan serangkaian reaksi kompleks, termasuk gelatinisasi pati, denaturasi protein, dan inaktivasi enzim anti-nutrisi. Perubahan fisikokimia tersebut tidak hanya bermanfaat dalam meningkatkan kualitas nutrisi pakan, tetapi juga memungkinkan formulasi pakan yang lebih fleksibel untuk memenuhi kebutuhan nutrisi berbagai spesies akuakultur dan meningkatkan stabilitas pelet dalam air yang mana mencegah terbentuknya limbah akibat pelet yang terurai di perairan. (Khater *et al.* 2014; Ge *et al.* 2023). Optimasi

yang efektif merupakan kunci untuk menghasilkan pelet dengan kualitas fisik dan nutrisi yang tinggi, sekaligus mengurangi biaya produksi (Stokjov *et al.* 2025)

Peningkatan kualitas pakan ikan yang dihasilkan melalui pembuatan pelet tidak luput dari tantangan baru yang perlu diperhatikan, yaitu upaya dalam menjaga stabilitas dan ketersediaan nutrisi selama proses pengolahan. Nutrisi seperti vitamin, asam amino esensial, dan asam lemak tak jenuh ganda sangat rentan terhadap kerusakan akibat suhu tinggi, tekanan, dan oksidasi. Komponen penting seperti vitamin B, C, dan E, yang berperan dalam imunitas ikan, dapat mengalami degradasi selama proses ekstrusi bila tidak dilindungi dengan perlakuan khusus (Khater *et al.* 2014).

Berdasarkan hasil riset Zaenuri (2014) terjadi penurunan kadar protein pada proses pembuatan pelet yang disebabkan oleh proses pengukusan bahan sebelum pelet dibentuk. Hal ini diperkuat oleh pendapat Irfak (2013) bahwa protein rawan rusak terhadap pemanasan suhu tinggi. Selain itu, hasil riset Madhubalaji *et al.* (2021) menunjukkan bahwa penggunaan

metode pengeringan dengan *drum drying* pada suhu 120°C mengalami penurunan kadar protein yang signifikan, penurunan kadar protein mencapai 44% dari kadar protein sebelum pengeringan.

Berdasarkan tinjauan di atas, kajian literatur ini tercipta dengan tujuan untuk membahas berbagai tantangan dan solusi terkait preservasi kandungan nutrisi selama pengolahan pakan ikan budidaya. Kajian ini akan mengulas penelitian terbaru mengenai teknik ekstrusi, inovasi dalam perlindungan nutrisi, dan dampaknya terhadap kualitas biologis pakan serta keberlanjutan lingkungan. Dengan fokus pada pentingnya keseimbangan antara kualitas fisik dan kandungan nutrisi, diharapkan kajian ini dapat memberikan wawasan yang bermanfaat bagi pengembangan industri pakan ikan yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penyusunan jurnal ini adalah metode studi literatur (*systematic review*). Studi literatur adalah kegiatan yang mencakup pengumpulan data dari berbagai sumber pustaka,

membaca, membuat catatan, dan mengelola bahan penelitian (Zed, 2008). Metode ini memungkinkan peneliti untuk menganalisis dan mensintesis materi yang relevan, sehingga dapat memberikan wawasan lebih terhadap topik yang dibahas. Pencarian dan pemilihan literatur dilakukan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria inklusi dalam studi literatur ini adalah artikel-artikel yang terbit dari tahun 2008-2023 yang membahas mengenai teknik preservasi pada proses pengolahan pakan dan pengaruhnya terhadap kandungan nutrisi pakan. Sedangkan kriteria eksklusi dalam studi literatur ini adalah artikel-artikel yang terbit di bawah tahun 2008.

HASIL DAN PEMBAHASAN

PRESERVASI NUTRISI PADA PAKAN IKAN

Preservasi nutrisi dalam pakan ikan merupakan langkah penting untuk mempertahankan kualitas nutrisi, meningkatkan efisiensi konversi pakan, serta memperpanjang umur simpan bahan pakan. Kegiatan tersebut dilakukan dalam berbagai perlakuan terhadap pakan yang secara

umum dilakukan dalam rangka memperpanjang masa simpan, kondisi fisik, serta efektif dalam menjaga komponen nutrisi di dalamnya (Diana *et al.* 2013).

Preservasi dalam produksi pakan tidak dapat diabaikan, terutama dalam konteks produksi penyediaan pangan. Sama halnya dengan bahan pangan lainnya, preservasi dalam penyediaan pakan bertujuan untuk mencapai nutrisi pakan selayaknya bahan baku yang belum mengalami degradasi nutrisi akibat transformasi fisik, kimia, dan biologi. Penggunaan metode preservasi yang tepat, berperan penting dalam mengurangi kerugian ekonomi akibat kerusakan pakan, menjamin ketersediaan nutrisi berkelanjutan, dan meningkatkan efisiensi hasil produksi pangan (Speranza *et al.* 2021).

PERBANDINGAN BERBAGAI TEKNIK PRESERVASI PAKAN IKAN BUDIDAYA

Preservasi pakan ikan budidaya merupakan aspek krusial dalam industri akuakultur modern yang bertujuan untuk mempertahankan kualitas nutrisi dan memperpanjang masa simpan pakan.

Pemahaman mendalam tentang perbandingan berbagai teknik preservasi menjadi sangat penting mengingat pakan merupakan komponen biaya terbesar dalam budidaya ikan, menurut Salamah dan Zulpikar (2020) biaya pakan mencapai 60-70% dari total biaya produksi. Pemilihan metode preservasi yang

tepat tidak hanya berdampak pada kualitas pakan, tetapi juga berpengaruh signifikan terhadap efisiensi ekonomi dan keberlanjutan operasional budidaya ikan. Berikut pada Tabel 1. adalah variasi berbagai teknik preservasi pakan yang umum digunakan dalam budidaya ikan.

Tabel 1. Perbandingan Berbagai Teknik Preservasi Pakan Ikan Budidaya

Teknik Preservasi	Prinsip	Manfaat	Kekurangan	Referensi
Ekstrusi dengan pengontrolan suhu	Pemrosesan pakan dengan kombinasi pemanasan pakan pada suhu (90 - 120°C) dan tekanan tinggi.	• Meningkatkan daya cerna protein dan kualitas fisik pakan • Memperpanjang daya simpan pakan secara signifikan • Sebagai metode dalam menciptakan pakan yang terapung	Proses suhu tinggi dapat merusak nutrisi sensitif seperti vitamin	Ge <i>et al.</i> , 2023; Ismail <i>et al.</i> , 2023
Penambahan Antioksidan	Menambahkan zat yang dapat mencegah reaksi oksidasi pada pakan	• Mencegah terjadinya perubahan warna pada pakan • Mengurangi oksidasi lemak yang menyebabkan bau tengik selama penyimpanan	Penambahan biaya produksi	Restuccia <i>et al.</i> , 2010
Enkapsulasi	Memberi lapisan pelindung pada pakan dengan polisakarida atau protein	Melindungi nutrisi pakan terhadap panas, oksigen, kelembaban, dan perubahan fisik selama masa penyimpanan	Memerlukan infrastruktur yang memadai pada produksi skala besar	Restuccia <i>et al.</i> , 2010
Penyimpanan suhu rendah	Memanfaatkan suhu rendah dalam mencegah	• Memperpanjang daya simpan pakan secara signifikan • Menjaga	Memerlukan infrastruktur pada penyimpanan dan sarana distribusi	Wong <i>et al.</i> , 2023

	aktivitas mikroorganisme	ketersediaan seluruh nutrisi pakan selama masa simpan		
Penambahan zat pengawet	Mencegah aktivitas mikroba dengan penambahan zat antimikroba	• Memperpanjang daya simpan pakan secara signifikan • Mencegah hilangnya nutrisi pakan akibat aktivitas mikroba	Metode ini memerlukan ketelitian dalam penggunaannya, apabila tidak sesuai prosedur dan mematuhi standar keamanan yang ditetapkan dapat menurunkan kualitas dan keamanan pakan serta bahaya.	Rajaganapathy & Xavier 2009; Pelyuntha <i>et al.</i> , 2023
Fermentasi	Memanfaatkan aktivitas mikroba dalam rangka mengubah bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana	• Meningkatkan daya cerna pakan. • Mengurangi patogen dan zat anti-nutrisi. • Menekan pertumbuhan mikroba pembusuk • Sebagai tambahan probiotik yang bermanfaat untuk sistem pencernaan ikan	• Proses fermentasi sensitif terhadap kondisi lingkungan seperti suhu, pH, dan kadar oksigen. • Dibutuhkan durasi tertentu dalam prosesnya	Siddik <i>et al.</i> , 2024
Penambahan vitamin	Menambahkan vitamin sebagai bahan tambahan pada pakan	Memastikan ketersediaan nutrisi ikan meskipun proses pengolahan dan penyimpanan menyebabkan degradasi.	Beberapa vitamin sintetis dapat memiliki residu yang berdampak pada lingkungan jika tidak sepenuhnya diserap oleh ikan	Barrows <i>et al.</i> , 2008

pakan melalui berbagai pendekatan. Penggunaan berbagai teknik preservasi seperti fermentasi, penambahan agen pengawet, enkapsulasi, atau metode lainnya memungkinkan peningkatan kualitas pakan melalui berbagai pendekatan yang berbeda. Dengan mengkombinasikan teknik yang tepat sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik pakan, maka efisiensi dalam mempertahankan kandungan

protein, asam lemak, dan vitamin dapat mendukung pertumbuhan dan kesehatan organisme budidaya. Selain itu, variasi teknik ini juga memberikan fleksibilitas kepada produsen dalam menyesuaikan metode preservasi terhadap kebutuhan spesies ikan tertentu dan kondisi operasional produsen, termasuk suhu dan

dioptimalkan, yang pada akhirnya kelembaban di lingkungan penyimpanan. Pemilihan metode yang sesuai tidak hanya meningkatkan kualitas pakan tetapi juga mengurangi kerugian ekonomis akibat kerusakan pakan selama distribusi dan penyimpanan.

Tabel 2. Hasil Berbagai Teknik Preservasi Terhadap Pakan Ikan Budidaya

Bahan	Teknik preservasi	Proses	Hasil	Sumber
<i>Chlorella</i>	Pengeringan	Oven (durasi 6 jam, suhu 60° C)	Kadar air 9,91% dan protein 35,31%	Madhubalaji <i>et al.</i> , (2021)
Pering kelapa	Fermentasi	Fermentasi aerob menggunakan mikroba <i>Saccharomyces</i> sp. dan <i>Neurospora</i> sp. selama 5 hari	Terjadi peningkatan kadar protein dan penurunan kadar serat kasar	Haetami <i>et al.</i> (2020)
Ekstrak kasar maggot	Mikroenkapsulasi	Matrik menggunakan telur bebek dan inklusi menggunakan ekstrak maggot	kandungan air sebanyak 12,87% dan kadar protein kasar 33,56%.	Prasetyo <i>et al.</i> (2020)
Probiotik <i>Bacillus cereus</i> ND2 dan <i>Staphylococcus lentus</i> L1K	Mikroenkapsulasi	Menggunakan metode spray drying pada pakan buatan	Suplementasi probiotik mikroenkapsulasi memberikan pengaruh dalam meningkatkan survival rate, respon imun pada ikan lele dengan dosis 2%.	Lusiastuti, <i>et al.</i> (2017)
Rotifera dan <i>Artemia</i>	Bioenkapsulasi Vitamin C	Suplementasi vitamin pada	Suplementasi vitamin C	Khairiman <i>et al.</i> (2022)

		pakan alami rotifera dan artemia	sebanyak 200 mg/L merupakan dosis yang mampu memberikan pengaruh paling baik pada ikan.	
--	--	----------------------------------	---	--

Pengeringan merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan dalam preservasi pakan. Riset Madhubalaji *et al.* (2020) membandingkan berbagai metode pengeringan dalam proses preservasi *Chlorella*, meliputi pengeringan matahari, pengeringan oven, pengeringan semprot dan liofilisasi. Berdasarkan hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pengeringan menggunakan oven pada suhu 60 °C selama 6 jam merupakan metode pengeringan yang paling baik karena mampu menghasilkan *Chlorella* dengan kadar air yang paling rendah dan mampu menjaga kandungan nutrisi protein, karbohidrat dan lemak dibandingkan dengan metode pengeringan yang lain. Penelitian yang dilakukan oleh Enyidi (2017), menunjukkan hasil yang baik pada ikan lele (*Clarias gariepinus*) dengan pemberian pakan tepung *C. vulgaris* sebanyak 25% yang ditunjukkan dengan adanya peningkatan bobot rata-rata, laju pertumbuhan spesifik, *protein efficiency ratio* (PER) dan *daily feed intake* (DFI).

Teknik preservasi pakan selanjutnya, yaitu menggunakan proses fermentasi. Berdasarkan hasil uji laboratorium terjadi peningkatan kualitas limbah pering kelapa dengan teknik fermentasi. Kandungan protein meningkat dari 5,75% menjadi 11,32% (produk *Neurospora*) dan 12% (produk *Saccharomyces*). Sedangkan kandungan serat kasar menurun, dari 26,48% menjadi 11,79% (produk *Neurospora*) dan 12,26% (produk *Saccharomyces*). Hal tersebut menunjukkan bahwa produk fermentasi pering kelapa cukup memenuhi syarat untuk dijadikan pakan ikan nila, sebagai ikan omnivore (Haetami *et al.* 2020). Menurut Haetami *et al.* (2022) pakan substitusi dedak padi dengan testa kelapa sebanyak 75% tidak menyebabkan adanya penurunan durabilitas pakan. Selain itu, substitusi dedak oleh testa kelapa fermentasi hingga 75% dapat digunakan sebagai alternatif sumber protein basal dalam pelet ikan.

Teknik preservasi yang dapat digunakan sebagai salah satu upaya

meningkatkan nutrisi pakan ikan budidaya, salah satunya adalah mikroenkapsulasi. Riset Prasetyo *et al.* (2020) berdasarkan hasil pengamatan stabilitas pakan mikroenkapsulasi ekstrak kasar maggot menunjukkan bahwa stabilitas pakan mikrokapsul dalam air yang telah diamati yaitu, daya tahan dipermukaan air selama 25-30 menit. Pakan mikrokapsul setelah 45-60 menit mulai tenggelam ke dasar. Pakan mikrokapsul pada menit ke 75-98 menit mulai terurai menjadi partikel-partikel lebih kecil. Pakan mikrokapsul yang dihasilkan memiliki kandungan air sebanyak 12,87% dan kadar protein kasar 33,56%. Penggunaan pakan mikrokapsul ekstrak kasar maggot sebagai pakan substitusi pada proses penyapihan larva ikan nila menunjukkan bahwa proses penyapihan menggunakan pakan buatan mikrokapsul maggot pada larva ikan nila (*Oreochromis niloticus*) secara co-feeding telah berhasil dilakukan. Perlakuan penyapihan dengan waktu yang berbeda berpengaruh terhadap pertumbuhan dan kelulushidupan (sintasan) larva ikan nila. Berdasarkan hasil pengamatan pertumbuhan dan sintasan larva ikan nila dengan

perlakuan penyapihan terbaik terdapat pada usia larva 9 hari.

Lusiastuti *et al.* (2017) dalam risetnya menggunakan probiotik mikroenkapsulasi *Bacillus cereus* ND2 dan *Staphylococcus lentus* L1K yang ditambahkan pada pakan buatan. Suplementasi probiotik mikroenkapsulasi pada pakan buatan memberikan pengaruh dalam meningkatkan survival rate, respon imun pada ikan lele dengan dosis 2%.

Preservasi pakan juga dapat dilakukan dengan cara penambahan vitamin pada pakan ikan budidaya. Salsabila (2019) menyatakan bahwa pengkayaan rotifera juga dilakukan dengan menambahkan vitamin C pada setiap perlakuan. Hal ini dilakukan karena vitamin C merupakan vitamin yang dibutuhkan untuk meningkatkan daya tahan tubuh sehingga dapat mencegah terjadinya stress dan diharapkan dapat meningkatkan kelulushidupan larva. Pada riset Khairiman *et al.* (2022) menyebutkan bahwa pengkayaan pakan alami rotifera dan artemia dengan vitamin C sebanyak 200 mg/L memberikan pengaruh terbaik terhadap terhadap rasio RNA/DNA, pertumbuhan dan tingkat kelangsungan hidup pada larva ikan bandeng.

KESIMPULAN

Teknik pengolahan pakan sangat berperan penting dalam mempertahankan kualitas nutrisi dan meningkatkan efisiensi pertumbuhan ikan budidaya. Metode seperti pengeringan, fermentasi, mikroenkapsulasi, dan penambahan vitamin berpotensi meningkatkan nutrisi pada pakan serta memberikan dampak yang baik terhadap ikan budidaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aarseth, K. A., Perez, V., Bøe, J. K., & Jeksrud, W. K. 2006. Reliable pneumatic conveying of fish feed. *Aquacultural Engineering*, 35(1), 14-25.
- Barrows, F. T., Gaylord, T. G., Sealey, W. M., Porter, L., & Smith, C. E. 2008. The effect of vitamin premix in extruded plant-based and fish meal based diets on growth efficiency and health of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 283(1-4): 148-155.
- Diana, J. S., Egna, H., Chopin, T., Peterson, M. S., Cao, L., Pomeroy, R., & Cabarubias, J. 2013. Responsible aquaculture in 2050: Valuing local conditions and human innovations will be key to success. *Bioscience*, 63(4); 255-262.
- Enyidi, U. D. 2017. *Chlorella vulgaris* as protein source in the diets of African catfish *Clarias gariepinus*. *Fishes*, 2(4): 17.
- Ge, C., Xue, M., Hooft, J. M., Øverland, M., Liang, X., Wang, J., Meng, P., Qin, Y., & Wang, H. 2023. Impact of physiochemical properties of protein ingredients on pellet quality and microstructure. *Aquaculture Reports*, 31(101632), 1-9.
- Han, J. H., & Floros, J. D. 2011. Innovations in food packaging. *Packaging Technology and Science*, 24(5): 273-289.
- Haetami, K., Junianto, Abun. 2020. Teknik Fermentasi sebagai Upaya Pemanfaatan Pering Kelapa untuk Pakan Ikan di Desa Margaasih Kecamatan Cicalengka Kabupaten Bandung. *Media Kontak Tani Ternak*, 2(1):12-17.
- Haetami, K., Abun. 2022. Evaluasi Substitusi Dedak Padi dengan Testa Kelapa Terfermentasi Terhadap Kualitas Fisik Pakan dan Kinerja Pertumbuhan Ikan Nila Merah (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Ruaya*, 10(1): 8-14.
- Irfak, K. 2013. Desain Optimal Pengolahan Sludge Padat Biogas Sebagai Bahan Baku Pakan Ikan Lele. Di Magetan, Jawa Timur. Skripsi. Fakultas Pertanian UB. Malang.
- Ismail, R. I., Khor, C. Y., & Mohamed, A. R. 2023. Cracking the Code: Process Parameter Effects on Khaya senegalensis Energy Pellet Moisture Content. *Advanced and Sustainable*

- Technologies* (ASET), 2(2): 55-64.
- Kannadhasan, S., Muthukumarappan, K., & Rosentrater, K.A. 2011. Effect of Starch Sources and Protein Content on Extruded Aquaculture Feed Containing DDGS. *Food Bioprocess Technology*, 4: 282-294
- Khairiman, Mulyani, S., Budi, S. 2022. Pengaruh Bioenkapsulasi Vitamin C Pada Rotifer dan Artemia Terhadap Rasio RNA/DNA, Pertumbuhan dan Tingkat Kelangsungan Hidup Larva Ikan Bandeng *Chanos chanos*. *Journal of Aquatic Environment*, 4(2):33-38.
- Khater, E. S. G., Bahnasawy, A. H., & Ali, S. A. 2014. Physical and mechanical properties of fish feed pellets. *Food Process Technol*, 5(10):1-6.
- Lancheros J.P., Espinosa C.D., Stein H.H. 2020. Effects of particle size reduction, pelleting, and extrusion on the nutritional value of ingredients and diets fed to pigs: a review. *AnimFeed Sci Tech*, 268:114603.
- Lusiastuti, A.M., Andriyanto, S., Samsudin, R. 2017. Efektivitas Kombinasi Probiotik Mikroenkapsulasi Melalui Pakan untuk Pengendalian Penyakit Motile *Aeromonas Septicemia* pada Ikan Lele, *Clarias gariepinus*. *Jurnal Riset Akuakultur*, 12(2):179-186.
- Madhubalaji, C. K., Mudaliar, S. N., Chauhan, V. S., & Sarada, R. 2021. Evaluation of drying methods on nutritional constituents and antioxidant activities of *Chlorella vulgaris* cultivated in an outdoor open raceway pond. *Journal of Applied Phycology*, 33: 1419–1434.
- Mukherjee, R., & Nandi, B. 2004. Microbial transformation in feed biotechnology. *Biotechnology and Bioengineering*, 87(6): 743-755.
- Pelyuntha, W., Yafa, A., Charoenwong, B., & Vongkamjan, K. 2022. Effectiveness of the organic acid-based antimicrobial agent to prevent bacterial contamination in fish meal. *Animals*, 12(23): 3367.
- Prasetyo, H., Mamani, S., Sukardi, P. 2020. Mikroenkapsulasi Ekstrak Kasar Maggot Sebagai Pakan Substitusi pada Penyapihan Pakan Larva Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Indonesian Journal of Maritime*, 1(2):65-74.
- Priya, Virmani, I., Pragya, Goswami, R. K., Singh, B., Sharma, J. G., & Giri, B. 2023. Role of microbial phytases in improving fish health. *Reviews in Aquaculture*, 15(4): 1480-1500.
- Rajaganapathy, V., & Xavier, B. 2009. Preservatives in veterinary feed. *Veterinary World*, 2(6): 236-239.
- Ramos, A. M., Ibañez, E., & Cifuentes, A. 2013. Advanced strategies for food preservation. *Food Chemistry*, 138(2-3): 1524-1536.

- Restuccia, D., Spizzirri, U. G., & Parisi, O. I. 2010. New EU regulation aspects and global market of active and intelligent packaging for food industry. *Food Control*, 21(11): 1425-1436.
- Robertson, G. L. 2012. *Food packaging: Principles and practice*. CRC Press, Brisbane.
- Salamah, S., & Zulpikar, Z. 2020. Pemberian probiotik pada pakan komersil dengan protein yang berbeda terhadap kinerja ikan lele (*Clarias* sp.) menggunakan sistem bioflok. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 7(1): 21-27.
- Salsabila, G., Suminto, Nugroho, R.A. 2019. Pengaruh pengkayaan *Brachionus rotundiformis* dengan dosis vitamin (B1, B6, B12 dan vitamin C) berbeda dalam feeding regimes terhadap kelulushidupan dan pertumbuhan larva bandeng (*Chanos chanos*). *Jurnal Sains Akuakultur Tropis*, 2: 11-20.
- Siddik M.A.B., Julien B.B., Islam S.M. M., Francis D.S. 2024. Fermentation in aquafeed processing: Achieving sustainability in feeds for global aquaculture production. *Rev Aquac* 16(3):1244-1265.
- Stojkov, V., Rakita, S., Banjac, V., Rakić, D., Fišteš, A., Vidosavljević, S., & Pinotti, L. 2025. Optimising soybean molasses in broiler feed diet: influence on pelleting process and pellet physical quality. *Italian Journal of Animal Science*, 24(1): 677-688.
- Speranza, B., Racioppo, A., Bevilacqua, A., Buzzo, V., Marigliano, P., Mocerino, E., ... & Sinigaglia, M. 2021. Innovative preservation methods improving the quality and safety of fish products: *Beneficial effects and limits*. *Foods*, 10(2854): 1-26.
- Victor, R.P. & Heldman, D.R. 2001. *Introduction to food engineering*. 3rd ed. London: Academics Press. 120 pp.
- Wong, J. X., Ramli, S., & Son, R. 2023. A review: Characteristics and prevalence of psychrotolerant food spoilage bacteria in chill-stored meat, milk and fish. *Food Research International*, 7(1): 23-32.
- Zaenuri, R., Suharto, B., & Haji, A. T. S. 2014. Kualitas pakan ikan berbentuk pelet dari limbah pertanian. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 1(1): 31-36.
- Zed, M. 2008. *Metode penelitian kepustakaan*. Yayasan Pustaka Obor Indonesia, Jakarta.