

Aplikasi Mikroba pada Upaya Peningkatan Kualitas Bahan Baku Pakan Ikan melalui Fermentasi

LUSI HERAWATI SURYANINGRUM¹

¹Balai Riset Perikanan Budidaya Air Tawar dan Penyuluhan Perikanan (BRPBATPP)
Jl. Sempur No. 1 Bogor, Indonesia. 16129
Email: lusihera@gmail.com

ABSTRACT

Advances in aquaculture technology have made the aquaculture industry develop very dynamically, and the increase of aquaculture productivity is in line with the demand for consistency in feed supply. On the other hand, the increasing price of feed has become a crucial problem. The limited availability of fish meal, which is the primary ingredient for protein sources, is one of the factors causing the high feed price. Efforts to find unconventional ingredients are carried out to overcome. Unconventional ingredients are relatively economical, but their direct use in feed is constrained by several factors that adversely affect digestibility, nutrient utilization, growth, and fish health. Quality improvement is needed so that the utilization of unconventional ingredients in feed can be optimal, and the application of microbes through the fermentation method can be one of the choices. This paper aims to review the use of unconventional fermented ingredients to support sustainable aquaculture activities.

Keywords: fermentation; fish feed; ingredient; microbes; quality improvement

INTISARI

Kemajuan teknologi budidaya telah membuat industri akuakultur berkembang sangat dinamis dan peningkatan produktivitas budidaya tersebut sejalan dengan kebutuhan terhadap konsistensi pasokan pakan. Di sisi lain, harga pakan yang terus meningkat menjadi masalah yang krusial. Keterbatasan ketersediaan tepung ikan yang merupakan bahan baku sumber protein utama, merupakan salah satu faktor penyebab tingginya harga pakan. Upaya pencarian bahan baku non konvensional dilakukan untuk mengatasi hal tersebut. Bahan baku non konvensional memang relatif ekonomis, tetapi penggunaannya secara langsung dalam pakan terkendala oleh beberapa faktor yang berpengaruh buruk terhadap pencernaan, pemanfaatan nutrisi, pertumbuhan hingga kesehatan ikan. Perbaikan kualitas diperlukan agar pemanfaatan bahan baku non konvensional di dalam pakan bisa optimal dan aplikasi mikroba melalui metode fermentasi menjadi salah satu pilihan. Tulisan ini bertujuan untuk mengulas pemanfaatan bahan baku non konvensional hasil fermentasi dalam mendukung kegiatan akuakultur berkelanjutan.

Kata kunci: bahan baku; fermentasi; mikroba; pakan ikan; perbaikan kualitas

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi budidaya telah membuat industri akuakultur berkembang sangat dinamis dalam beberapa tahun terakhir (Zorriehzahra *et al.*, 2016). Peningkatan produktivitas budidaya tersebut memerlukan konsistensi pasokan pakan. Biaya pakan mencapai sekitar 70% dari total biaya produksi budidaya (Dossou *et al.*, 2018) dan harga pakan yang terus meningkat menjadi masalah yang krusial (El Basuini *et al.*, 2017). Keterbatasan ketersediaan tepung ikan yang merupakan bahan baku sumber protein utama dalam pakan, merupakan salah satu faktor penyebab tingginya harga pakan. Di sisi lain, peningkatan

produksi tepung ikan konvensional berpotensi menimbulkan masalah ekonomi dan lingkungan. Hal ini menjadi kendala bagi industri akuakultur yang membutuhkan konsistensi pasokan pakan dengan biaya minimum (Olsen & Hasan, 2012).

Penggunaan bahan baku lokal non konvensional merupakan salah satu upaya untuk menekan biaya produksi. Namun demikian, untuk dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pakan, bahan baku non konvensional harus memiliki nilai nutrisi yang memadai, tidak beracun, ekonomis, keberadaannya melimpah, dan tidak bersaing dengan kebutuhan manusia (Yan *et al.*, 2017). Bahan baku non konvensional memang relatif

ekonomis, tetapi penggunaannya secara langsung dalam pakan buatan terbatas oleh kandungan serat kasar dan zat anti nutrisi yang tinggi, yang berpengaruh buruk terhadap pencernaan pakan (Bu *et al.*, 2018). Dengan demikian, pada beberapa jenis bahan baku non konvensional perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu agar dapat dimanfaatkan dalam pakan. Aplikasi mikroorganisme dalam upaya perbaikan kualitas bahan baku pakan ikan telah banyak dilakukan. Fermentasi adalah salah satu pemanfaatan mikroba dalam upaya perbaikan kualitas bahan baku pakan. Rostika & Safitri (2012) menyatakan bahwa fermentasi dapat meningkatkan kualitas nutrisi bahan pakan melalui penurunan kadar serat kasar dan lemak, serta peningkatan protein kasar dan pencernaan pakan. Mulia *et al.* (2015) melaporkan bahwa ampas tahu yang difermentasi dengan *Rhizopus oligosporus*, mampu menurunkan kandungan serat kasar sekitar 38–40%. Aslamyah *et al.* (2017) melaporkan bahwa beberapa jenis rumput laut yaitu *Kappaphycus alvarezii* strain hijau dan coklat, *Gracillaria gigas*, *Sargasum* sp., dan *Caulerpa* sp., yang difermentasi selama 72 jam menggunakan campuran dari *Bacillus* sp., ragi tape *Rhizopus* sp., dan ragi roti *Saccharomyces* sp. dengan komposisi 1 ml+1 g+1 g/100 g tepung rumput laut, terbukti meningkatkan kadar protein dan BETN (bahan ekstrak tanpa nitrogen) serta menurunkan kadar serat kasar, abu dan lemak. Pangestika & Putra (2020) melakukan perbaikan kualitas dedak untuk digunakan sebagai bahan pakan ikan Nila (*Oreochromis niloticus*), melalui fermentasi menggunakan kombinasi urea dengan kapang *Aspergillus niger*, sebanyak 5% dari pakan. Dedak yang telah difermentasi meningkatkan kandungan proteinnya dari 16,66% menjadi 23,78%, dan menurunkan kandungan serat kasar. Dedak padi merupakan produk samping dari proses penggilingan padi. Dedak memiliki kandungan energi dan serat kasar yang tinggi. Namun tingginya kadar serat kasar dapat direduksi dengan menggunakan mikroorganisme.

Ulasan ini memaparkan bahan baku pakan ikan hasil fermentasi yang melibatkan mikroorganisme, sebagai strategi alternatif

untuk meningkatkan kualitas bahan baku, pencernaan, serta penyerapan dan pemanfaatan nutrisi pakan untuk menunjang pertumbuhan ikan air tawar. Luaran yang diharapkan adalah tersajinya informasi tentang aplikasi mikroorganisme di bidang teknologi pakan ikan air tawar untuk mendukung kegiatan akuakultur berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penyusunan ulasan ini dilakukan menggunakan teknik studi literatur berupa data primer dari jurnal nasional dan internasional selama sepuluh tahun terakhir (2011-2021). Penelusuran dilakukan menggunakan media daring dan situs web jurnal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tepung ikan merupakan sumber protein utama dalam industri pakan ikan karena nilai nutriennya yang tinggi, palatabilitas yang dimiliki, serta mudah dicerna oleh ikan. Namun, terbatasnya sumber daya dan harga yang fluktuatif sangat berpengaruh terhadap penggunaan tepung ikan dalam pakan. Berbagai upaya telah dilakukan untuk menemukan bahan baku yang potensial untuk menggantikan tepung ikan. Para ahli nutrisi di bidang akuakultur memberi perhatian khusus pada pengembangan bahan baku alternatif pengganti tepung ikan melalui pendekatan fermentasi dan bioproses lanjutan (Yan *et al.*, 2017). Secara umum, bahan baku pakan ikan bisa diklasifikasikan dalam 2 kelompok utama, yaitu nabati dan hewani, yang masing-masing memiliki karakteristik spesifik. Perbaikan kualitas diperlukan agar pemanfaatan bahan baku alternatif di dalam pakan bisa optimal. Fermentasi adalah salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas bahan baku melalui pemanfaatan mikroba (Sugiharto & Ranjitkar, 2019). Sel bakteri (*Bacillus* sp., *Enterococcus* sp., dan *Lactobacillus* sp.), khamir (*Saccharomyces*), dan jamur (*Aspergillus* sp.) semuanya telah digunakan dalam fermentasi (Mukherjee *et al.*, 2016). Karena

mikroorganisme yang berbeda akan merespon substrat secara berbeda, maka mikroorganisme yang akan digunakan dalam proses fermentasi tergantung pada produk yang dihasilkan seperti asam laktat, etanol, atau asam asetat. Contohnya *Lactobacillus* sp. akan digunakan pada proses fermentasi yang produk akhirnya adalah asam laktat dan asam sitrat, sedangkan khamir akan digunakan pada proses fermentasi yang produk akhirnya adalah etanol dan CO₂ (Subramaniam & Vimala, 2012). Jenis dan sifat substrat berperan dalam proses fermentasi khususnya terhadap produk yang dihasilkan. Kualitas fermentasi antara lain ditentukan oleh suhu, pH, sifat dan komposisi medium, O₂ dan CO₂ terlarut, sistem operasional, penambahan prekursor serta lamanya proses fermentasi.

Fermentasi dapat meminimalkan risiko adanya aflatoksin dalam bahan pakan (Mwihia *et al.*, 2018), bermanfaat bagi organisme saluran pencernaan yang membantu meningkatkan pencernaan pakan (Xie *et al.*, 2016) dan dengan demikian akan meningkatkan efisiensi pakan, kinerja pertumbuhan, kekebalan, dan toleransi terhadap berbagai cekaman penyebab stres pada ikan (Jannathulla *et al.*, 2019).

Sumber protein berbasis nabati terbatas penggunaannya dalam pakan ikan air tawar karena kandungan protein dan palatabilitasnya yang rendah, adanya faktor anti nutrisi serta dan profil asam amino yang tidak seimbang, sedangkan sumber protein berbasis hewani berpotensi menggantikan tepung ikan karena kandungan proteinnya yang tinggi serta faktor anti nutrisi yang relatif lebih sedikit jika dibandingkan dengan bahan nabati. Proses fermentasi telah terbukti kontribusinya terhadap peningkatan kualitas nutrisi bahan baku non konvensional baik yang berbasis nabati maupun hewani.

Bahan nabati dianggap sebagai alternatif yang layak digunakan sebagai pengganti tepung ikan, berdasarkan pertimbangan ketersediaan jangka panjang dan biaya yang ekonomis

karena beberapa di antaranya merupakan produk samping atau produk yang berasal dari limbah pertanian atau olahan hasil pertanian sehingga juga memberikan dampak positif terhadap lingkungan. Namun, karena kekurangan asam amino esensial seperti triptofan, lisin, dan asam amino yang mengandung belerang, penggunaan bahan baku nabati dalam jumlah tertentu dapat menurunkan kinerja pertumbuhan pada beberapa jenis ikan. Faktor lain yang harus dipertimbangkan ketika menggunakan bahan baku pakan non konvensional berbasis nabati adalah keberadaan zat anti nutrisi yang akan berpengaruh terhadap pencernaan dan pemanfaatan nutrisi pakan, seperti misalnya lektin dan penghambat tripsin dalam tepung kedelai, glukosinolat, tannin dan fitat pada jagung (Zhang *et al.*, 2017). Selain itu, kandungan serat kasar yang tinggi dan kandungan protein yang rendah, membatasi penggunaan bahan pakan non konvensional.

Fermentasi dapat meningkatkan pemanfaatan bahan baku non konvensional dengan menurunkan kandungan serat kasar, meningkatkan protein kasar dan lemak, meningkatkan ketersediaan vitamin, meningkatkan kelarutan protein, memperbaiki profil asam amino, menurunkan zat anti nutrisi dan menghilangkan racun dalam bahan pakan serta meningkatkan palatabilitas bahan pakan (Jakobsen *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2017). Bahan organik, nitrogen, asam amino, serat, dan kalsium dapat ditingkatkan melalui fermentasi (Hassaan *et al.*, 2018). Jannathulla *et al.* (2017) menggunakan metode fermentasi dengan bakteri pada bahan baku nabati dan hasilnya kandungan asam amino esensial meningkat. Penggunaan bakteri dalam pengolahan bahan baku nabati memungkinkan penggantian tepung ikan dalam persentase yang lebih tinggi. Karena zat anti nutrisi yang terkandung dalam bahan baku nabati seperti tripsin, asam fitat, saponin, tanin, glukosinolat, berkurang jumlahnya setelah fermentasi.

Bakteri juga dapat mencerna material seperti selulosa dan lignin yang umumnya terdapat dalam bahan nabati, dan mengubahnya menjadi produk akhir seperti asam lemak rantai pendek. Selain itu, bakteri menghasilkan enzim yang meningkatkan kinerja pencernaan, seperti yang ditunjukkan oleh udang *Litopenaeus vannamei* (Becerra-Dorame *et al.*, 2012).

Fermentasi mampu meningkatkan kualitas nutrisi bahan baku pakan non konvensional sekaligus mengurangi zat anti nutrisi. Enzim fitase yang dihasilkan oleh mikroorganisme selama fermentasi dapat mendegradasi dan menurunkan kadar asam fitat (Del Carmen Flores-Miranda *et al.*, 2015). Fermentasi memiliki kemampuan untuk mendetoksifikasi senyawa beracun seperti senyawa glikosida sianogenik, phorbolsters dan isothiocyanates (Kobawila *et al.*, 2005). Kandungan phorbolster tanaman jarak pagar dan kandungan isothiocyanate menurun secara signifikan setelah fermentasi (Dossou *et al.*, 2018).

Fermentasi meningkatkan ketersediaan vitamin, kelarutan protein, memperbaiki profil asam amino serta meningkatkan palatabilitas pakan (Dawood *et al.*, 2018). Penggunaan sumber protein hasil fermentasi potensial digunakan sebagai pengganti tepung ikan untuk mendukung kegiatan akuakultur yang berkelanjutan karena sifatnya yang ekonomis, ketersediaannya dalam jangka panjang serta kemampuannya untuk meningkatkan pertumbuhan serta ketahanan terhadap penyakit pada ikan (Ha *et al.*, 2019).

Bahan baku pakan non konvensional hasil fermentasi dapat menggantikan sebagian atau seluruh tepung ikan, sehingga biaya produksi budidaya bisa ditekan sehingga memberikan lebih banyak keuntungan pada kegiatan budidaya. (Siddik *et al.*, 2018). Tepung ikan dapat diganti hingga 35% dengan tanaman Lemna terfermentasi, tanpa mempengaruhi kelangsungan hidup dan pertumbuhan udang (*L. vannamei*) (del Carmen

Flores-Miranda *et al.*, 2015). Fermentasi menggunakan *Lactobacilli* meningkatkan kualitas nutrisi lupin (*Lupinus angustifolius*) sehingga meningkatkan level inklusi (Van Vo *et al.*, 2015), sedangkan fermentasi menggunakan *S. cerevisiae* memiliki potensi untuk menggantikan tepung ikan hingga 75% dalam pakan barramundi (*Lates calcarifer*) (Ilham & Fotedar, 2017). Tepung biji jarak pagar (*Jatropha curcas*) dapat menggantikan tepung ikan hingga 50% dalam pakan ikan nila (Hassaan *et al.*, 2017). Tepung ikan juga dapat diganti hingga 50% dengan tepung biji bunga matahari yang difermentasi *S. cerevisiae* dan *B. subtilis* dalam pakan ikan Nila, tanpa menimbulkan pengaruh negatif terhadap pertumbuhan dan fungsi fisiologis ikan (Hassaan *et al.*, 2018). Tepung biji kapuk yang difermentasi dapat menggantikan tepung ikan hingga 50% tanpa mempengaruhi pertumbuhan atau pemanfaatan nutrisi pada udang (*L. vannamei*) (Sun *et al.*, 2016). Jannathulla *et al.* (2017) melaporkan bahwa tepung biji guar yang difermentasi, dapat digunakan sebagai sumber protein potensial dalam pakan udang *Penaeus vannamei*. Substitusi tepung ikan sebanyak 64-80% dengan hidrolisat dedak jamur yang difermentasi, mampu meningkatkan pertumbuhan, aktivitas enzim pencernaan, dan kapasitas antioksidan pada ikan mas (*C. auratus gibelio*) (Zhang *et al.*, 2017).

Bahan baku hewani memiliki kandungan protein yang tinggi dan zat anti nutrisi yang relatif lebih sedikit jika dibandingkan dengan bahan baku nabati, sehingga lebih potensial digunakan sebagai pengganti tepung ikan dalam formulasi pakan (Oliva-Teles *et al.*, 2015). Secara umum, bahan baku hewani yang merupakan hasil samping atau buangan yang berasal dari peternakan atau olahan hasil peternakan memiliki tingkat kelembaban yang tinggi, substansi yang sulit dicerna dan kontaminan mikroba yang semuanya dapat diminimalkan melalui fermentasi menggunakan mikroba yang sesuai untuk

meningkatkan kualitasnya (Siddik *et al.* 2019). Bahan baku hewani yang berasal dari produk samping atau buangan yang telah difermentasi, menunjukkan peningkatan efisiensi pakan dan meningkatkan kualitas nutrisi pakan, serta mengurangi pengaruh negatif terhadap lingkungan (Samaddar *et al.*, 2015).

Proses fermentasi juga terbukti mampu meningkatkan kualitas nutrisi pada bahan baku hewani termasuk yang berasal dari produk samping atau buangan. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa fermentasi meningkatkan pencernaan dan profil asam amino bahan baku hewani. Fermentasi juga dapat memecah karbohidrat pada bahan hewani menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan berat molekul yang lebih rendah sehingga meningkatkan energi dan mengoptimalkan penyerapan mineral (Ilham & Fotedar, 2017). Kombinasi fermentasi dan suplementasi hidrolisat protein ikan juga telah digunakan untuk meningkatkan kualitas bahan baku hewani (Siddik *et al.*, 2019). Hidrolisat protein ikan merupakan atraktan yang berasal dari ikan utuh atau produk samping perikanan yang digunakan sebagai imunostimulan dalam pakan ikan (Khosravi *et al.*, 2015). Hidrolisat protein ikan mengandung peptida bioaktif dengan berat molekul rendah dan konsentrasi tinggi yang memiliki sifat imunomodulator dan antibakteri (Ha *et al.*, 2019). Hidrolisat protein ikan dikaitkan dengan peningkatan respons imun dan peningkatan resistensi penyakit pada ikan (Kotzamanis *et al.*, 2007). Pada ikan air tawar merah (*P. major*), hidrolisat krill, udang, dan nila meningkatkan kekebalan dan ketahanan terhadap *Edwardsiella tarda* (Khosravi *et al.*, 2015).

Campuran darah dari limbah pemotongan hewan, limbah organ dalam ikan, tepung bulu unggas, dan hidrolisat tuna yang difermentasi, mampu menggantikan tepung ikan sebagai sumber protein dalam pakan, tanpa mengurangi kinerja pertumbuhan atau status kesehatan ikan (Siddik *et al.*, 2019). Hasil penelitian Samaddar

et al. (2015) menunjukkan bahwa 21,11% penggantian tepung ikan oleh limbah darah dari rumah potong hewan yang difermentasi menggunakan *L. acidophilus* (NCIM 2903) memberikan hasil yang optimal untuk pertumbuhan *L. rohita*. Bioproses hidrolisat tuna sebanyak 10% yang ditambahkan *S. cerevisiae* dan *L. casei* dapat meningkatkan kinerja pertumbuhan ikan dengan meningkatkan jumlah pakan yang dikonsumsi dan morfologi mukosa usus (Siddik *et al.*, 2019).

Saat ini sektor akuakultur mengalami peningkatan produksi yang signifikan yang diiringi dengan meningkatnya permintaan pakan ikan. Industri pakan dihadapkan pada tingginya permintaan untuk menghasilkan pakan berkualitas yang memenuhi persyaratan fisiologis ikan. Pakan untuk akuakultur harus memiliki kualitas yang unggul untuk memastikan pertumbuhan dan kesehatan ikan. Penggunaan bahan baku pakan hasil fermentasi dapat mengurangi biaya pakan sehingga memberikan lebih banyak keuntungan pada kegiatan budidaya. Dengan demikian penelitian untuk mengeksplorasi peran dan fungsi lebih lanjut dari bahan baku pakan hasil fermentasi untuk menunjang pertumbuhan dan kesehatan ikan, sangat diperlukan.

KESIMPULAN

Fermentasi menggunakan mikroba merupakan salah satu proses yang digunakan untuk meningkatkan nilai nutrisi bahan baku pakan non konvensional yang pada umumnya memiliki beberapa keterbatasan. Bahan baku pakan hasil fermentasi memiliki kualitas yang lebih baik yang mendukung proses fisiologis ikan sehingga mengoptimalkan kinerja pertumbuhan, pemanfaatan pakan, kelangsungan hidup, ketahanan terhadap penyakit dan toleransi terhadap stres.

DAFTAR PUSTAKA

Aslamyah S, Karim MY, Badraeni. 2017. Fermentasi tepung rumput laut dengan berbagai fermentor

- untuk meningkatkan kualitas sebagai bahan baku pakan ikan. *Jurnal Akuakultur Indonesia*. vol. 16(1): 11-17.
- Becerra-Dorame MJ, Martinez-Porchas M, Martinez-Cordova LR, Rivas-Vega ME, Lopez-Elias JA, Porchas-Cornejo MA. 2012. Production response and digestive enzymatic activity of the Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) intensively pregrown in microbial heterotrophic and autotrophic-based systems. *The Scientific World Journal*. vol. 2012: 1-6. doi:10.1100/2012/723654.
- Bu XY, Wang YY, Chen FY, Tang BB, Luo CZ, Wang Y, Ge XP. 2017. An evaluation of replacing fishmeal with rapeseed meal in the diet of *Pseudobagrus ussuriensis*: growth, feed utilization, nonspecific immunity, and growth related gene expression. *J World Aquacult Soc*. Vol. 49:1068–1080.
- Dawood MAO, Koshio S, Esteban MA. 2018. Beneficial roles of feed additives as immunostimulants in aquaculture: a review. *Rev Aquacult*. Vol. 10(4): 950–974.
- Del Carmen Flores-Miranda M, Luna-González A, Cortés-Espino DV, Álvarez-Ruiz P, Cortés-Jacinto E, Valdez-González FJ. 2015. Effects of diets with fermented duckweed (*Lemna* sp.) on growth performance and gene expression in the Pacific white shrimp. *Litopenaeus vannamei*. *Aquacult Int*. vol. 23: 547–561.
- Dossou S, Koshio S, Ishikawa M, Yokoyama S, Dawood MAO, El Basuini MF. 2018. Growth performance, blood health, antioxidant status and immune response in red sea bream (*Pagrus major*) fed *Aspergillus oryzae* fermented rapeseed meal. *Fish Shellfish Immunol*. Vol. 75: 253–262.
- El Basuini MF, El-Hais AM, Dawood MAO, Abou-Zeid AS, EL-Damrawy SZ, Khalafalla MS, Koshio S, Ishikawa M, Dossou S. 2017. Effects of dietary copper nanoparticles and vitamin C supplementations on growth performance, immune response and stress resistance of red sea bream, *Pagrus major*. *Aquac Nutr*. vol. 23(6): 1329–1340.
- Ha N, Jesus GF, Gonçalves AF, de Oliveira NS, Sugai JK, Pessatti ML. 2019. Sardine (*Sardinella* spp.) protein hydrolysate as growth promoter in South American catfish (*Rhamdia quelen*) feeding: productive performance, digestive enzymes activity, morphometry and intestinal microbiology. *Aquacult*. vol. 500: 99–106.
- Hassaan MS, Soltan MA, Mohammady EY, Elashry MA, El-Haroun ER, Davies SJ. 2018. Growth and physiological responses of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* fed dietary fermented sunflower meal inoculated with *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus subtilis*. *Aquacult*. vol. 495: 592–601.
- Ilham I, Fotedar R. 2017. Growth, enzymatic glutathione peroxidase activity and biochemical status of juvenile barramundi (*Lates calcarifer*) fed dietary fermented soybean meal and organic selenium. *Fish Phy Bio*. vol. 43(3): 775–790.
- Jakobsen GV, Jensen BB, Knudsen KE, Canibe N. 201. Improving the nutritional value of rapeseed cake and wheat dried distiller grains with solubles by addition of enzymes during liquid fermentation. *Animal Feed Sci Tech*. vol. 208: 198–213.
- Jannathulla R, Dayal JS, Vasanthakumar D, Ambasankar K, Panigrahi A, Muralidhar. 2019. Apparent digestibility coefficients of fungal fermented plant proteins in two different penaeid shrimps: A comparative study. *Aquacult Res*. vol. 50(5): 1491–500.
- Khosravi S, Rahimnejad S, Herault M, Fournier V, Lee CR, Bui HT. 2015. Effects of protein hydrolysates supplementation in low fish meal diets on growth performance, innate immunity and disease resistance of red sea bream *Pagrus major*. *Fish & Shellfish Immunol*. vol. 45: 858–868.
- Kobawila SC, Louembe D, Keleke S, Hounhouigan J, Gamba C. 2005. Reduction of the cyanide content during fermentation of cassava roots and leaves to produce bikedi and ntoba mbodi, two food products from Congo. *Afr J Biotech*. vol. 4: 689–696.
- Mukherjee R, Chakraborty R, Dutta A (2016) Role of fermentation in improving nutritional quality of soybean meal—a review. *Asian-Australasian J Anim Sci*. vol. 29(11): 1523.
- Mulia DS, Yulyanti E, Maryanto H, Purbomartono C. 2015. Peningkatan kualitas ampas tahu sebagai bahan baku pakan ikan dengan fermentasi *Rhizopus oligosporus*. *Sainteks*. vol. XII(1): 10-20.
- Mwihia E, Mbuthia P, Eriksen G, Gathumbi J, Maina J, Mutoloki S. 2018. Occurrence and levels of aflatoxins in fish feeds and their potential effects on fish in Nyeri, Kenya. *Toxins*. vol. 10(12): 543-552.
- Oliva-Teles A, Enes P, Peres H. 2015. Replacing fishmeal and fish oil in industrial aquafeed. Feed and feeding practices in aquaculture. In: Davis A (ed) *Feed and Feeding Practices in Aquaculture*, pp. 203–233. Waltham, MA: Woodhead Publishing Limited.
- Olsen RL, Hasan MR. 2012. A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production. *Trends Food Sci Technol*. vol. 27(2): 120-128.
- Pangestika W dan Putra S. 2020. Fish feed formulation with the addition of sludge of dairy wastewater and fermented wheat bran. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. vol 12(1): 21-30.

- Rostika R, Safitri R. 2012. Influence of fish feed containing corn-cob was fermented by *Trichoderma* sp., *Aspergillus* sp, *Rhizopus oligosporus* to the rate of growth of Java Barb (*Puntius Gonionitus*). *APCBEE Procedia*. vol. 2: 148-152. doi: 10.1016/j.apcbee.2012.06.027.
- Samaddar A, Kaviraj A, Saha S. 2015. Utilization of fermented animal by-product blend as fishmeal replacer in the diet of *Labeo rohita*. *Aquacult Rep*. vol. 1: 28–36.
- Siddik MA, Howieson J, Fotedar R. 2019. Beneficial effects of tuna hydrolysate in poultry by-product meal diets on growth, immune response, intestinal health and disease resistance to *Vibrio harveyi* in juvenile barramundi, *Lates calcarifer*. *Fish Shell Immunol*. vol. 89: 61–70.
- Siddik MA, Howieson J, Ilham I, Fotedar R. 2018. Growth, biochemical response and liver health of juvenile barramundi (*Lates calcarifer*) fed fermented and non-fermented tuna hydrolysate as fishmeal protein replacement ingredients. *PeerJ*. vol. 6: 1-22.
- Subramaniyam R, Vimala R. 2012. Solid state and submerged fermentation for the production of bioactive substances: a comparative study. *Int J Sci Nat*. vol. 3(3): 480–486.
- Sugiharto S, Ranjitkar S. 2019. Recent advances in fermented feeds towards improved broiler chicken performance, gastrointestinal tract microecology and immune responses: a review. *Anim Nutr*. vol. 5(1): 1–10.
- Sun H, Tang JW, Yao XH, Wu YF, Wang X, Liu Y. 2016. Effects of replacement of fish meal with fermented cottonseed meal on growth performance, body composition and haemolymph indexes of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* Boone, 1931. *Aquacult Res*. vol. 47: 2623–2632.
- Van Vo B, Bui DP, Nguyen HQ, Fotedar R. 2015. Optimized fermented lupin (*Lupinus angustifolius*) inclusion in juvenile barramundi (*Lates calcarifer*) diets. *Aquacult*. vol. 444: 62–69.
- Xie PJ, Huang LX, Zhang CH, Zhang YL. 2016. Nutrient assessment of olive leaf residues processed by solid-state fermentation as an innovative feedstuff additive. *J App Microb*. vol. 121(1): 28–40.
- Yan J, Guo C, Dawood MAO, Gao J. 2017. Effects of dietary chitosan on growth, lipid metabolism, immune response and antioxidant-related gene expression in *Misgurnus anguillicaudatus*. *Beneficial Microbes*. vol. 8(3): 439–449.
- Zhang D, Zhang Y, Liu B, Jiang Y, Zhou Q, Wang J. 2017. Effect of replacing fish meal with fermented mushroom bran hydrolysate on the growth, digestive enzyme activity, and antioxidant capacity of allogynogenetic crucian carp (*Carasius auratus gibelio*). *Turkish J Fish Aqua Sci*. vol. 17(5): 1039–1048.
- Zorriehzakra MJ, Delshad ST, Adel M, Tiwari R, Karthik K, Dhama K, Lazado CC. 2016. Probiotics as beneficial microbes in aquaculture: an update on their multiple modes of action: a review. *Vet. Q*. vol. 36: 228-241.