

The Phytase and Microbial Potential in Fish Feed: A Review

Kiki Haetami^{1*}, Trisna Rosa Amanda¹, Abun²

¹Departemen Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Kab. Sumedang, Indonesia;

²Departemen Nutrisi Unggas dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Kab. Sumedang, Indonesia;

Article History

Received : December 19th, 2024

Revised : December 26th, 2024

Accepted : January 19th, 2025

*Corresponding Author: **Kiki Haetami**, Departemen Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Kab. Sumedang, Indonesia;
Email: kiki.haetami@unpad.ac.id

Abstract: Phytic acid is a form of phosphorus storage that can interfere with the absorption of starch and protein as an energy source from cereal grain flour. This review aims to explore the benefits of microbial fermentation processing in producing phytase enzymes to degrade phytic acid and improve the nutritional quality of grain-based fish feed. Through a comprehensive literature study approach, reviewing the mechanism of phytase production, characteristics of potential microbes, and fermentation process optimization strategies that can affect the effectiveness of enzymes in reducing phytic acid content. The results of the study showed that the microbes *Bacillus subtilis*, *Aspergillus niger*, and *Lactobacillus plantarum* have the potential to produce phytase. Optimization of environmental conditions in fermentation and phytase application is influenced by media composition, environmental parameters, microbial strains and fish species, becoming the key to the success of effective enzyme application. Optimal fermentation conditions range from pH 4.5-6.5 and temperature 45-55°C. Addition of phytase with a dose of 0.75-2 g/kg feed can increase growth. Phytase can increase digestibility and is effectively needed (range 500-1500 mg/kg) in farmed fish.

Keywords: Aquaculture, fish feed, grain phytic acid, microbial fermentation, phytase.

Pendahuluan

Akuakultur modern menghadapi tantangan kompleks dalam penyediaan pakan ikan yang berkualitas tinggi dan berkelanjutan. Aspek ekonomi dan lingkungan menjadi pertimbangan penting. Dengan meningkatnya perhatian terhadap keberlanjutan dalam produksi pangan, penggunaan enzim dan proses pengolahan fermentasi mikroba menjadi semakin relevan (Indrayani *et al.*, 2023). Biji-bijian telah lama menjadi komponen utama dalam formulasi pakan ikan karena mudah diolah dengan penepungan, ketersediaan, harga terjangkau, dan kandungan nutrisi yang potensial (Haetami dan Abun 2023). Namun, keberadaan asam fitat (myo-inositol heksafosfat) dalam biji-bijian menjadi hambatan signifikan dalam pemanfaatan optimal nutrisi pakan. Asam fitat adalah bentuk

penyimpanan fosfor yang dapat mengganggu penyerapan pati dan protein. Senyawa kompleks ini memiliki kemampuan mengikat mineral esensial seperti kalsium, magnesium, seng, dan besi, membentuk ikatan yang sulit dicerna oleh sistem pencernaan ikan (Hardianto dan Sucipto, 2024).

Masalah antinutrisi yang disebabkan oleh asam fitat tidak hanya memengaruhi ketersediaan mineral, tetapi juga berdampak besar pada efisiensi penyerapan protein dan fungsi metabolisme ikan. Asam fitat, yang umum ditemukan dalam biji-bijian dan bahan nabati lainnya, memiliki kemampuan untuk mengikat mineral penting seperti kalsium, magnesium, seng, dan besi, sehingga mengurangi ketersediaannya (Haetami dan Abun, 2023). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa keberadaan asam fitat dapat menurunkan nilai nutrisi pakan hingga

30-50%, yang langsung berpengaruh pada pertumbuhan, kesehatan, dan produktivitas ikan budidaya (Kosim *et al.*, 2016). Penurunan ini tidak hanya memengaruhi pertumbuhan fisik ikan, tetapi juga dapat mengganggu fungsi metabolisme penting seperti sintesis protein dan produksi energi yang dibutuhkan untuk aktivitas sehari-hari ikan.

Salah satu solusi inovatif untuk mengatasi masalah ini adalah dengan memanfaatkan enzim fitase. Pengolahan fermentasi dengan menggunakan mikroba adalah salah satu pendekatan bioteknologi yang menawarkan berbagai keuntungan. Pertama, fermentasi mikroba dapat meningkatkan nilai gizi pakan dengan mengubah komposisi nutrisi sehingga lebih mudah dicerna oleh ikan. Kedua, proses ini dapat menghasilkan metabolit sekunder yang bermanfaat, seperti asam organik dan vitamin, yang berkontribusi pada kesehatan ikan. Ketiga, dengan mengurangi ketergantungan pada suplemen mineral anorganik, praktik ini mendukung keberlanjutan akuakultur dengan meminimalkan dampak lingkungan dari penggunaan bahan kimia sintetis (Rachmawati dan Samidjan, 2014).

Penggunaan sumber fitase adalah salah satu upaya peningkatan kualitas pakan dan berpotensi menurunkan biaya produksi pakan Menurut Amin *et al.*, (2012), pengurangan ketergantungan pada suplemen mineral anorganik tidak hanya menurunkan biaya produksi pakan, tetapi juga mengurangi ekskresi mineral berlebih yang dapat berdampak negatif pada lingkungan akuatik. Selain itu, dengan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya pakan, kita dapat membantu memenuhi permintaan global akan produk perikanan yang berkelanjutan.

Bahan dan Metode

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur sistematis untuk mengeksplorasi dan menganalisis perkembangan terkini dalam produksi fitase melalui fermentasi mikroba. Proses pengumpulan data dilakukan dengan melakukan pencarian komprehensif di berbagai basis data ilmiah internasional yang terkemuka, termasuk Web of Science, Scopus, ScienceDirect, PubMed, dan SpringerLink.

Dengan menggunakan pendekatan ini, peneliti berusaha untuk mendapatkan gambaran yang jelas dan menyeluruh mengenai topik yang diteliti. Kriteria seleksi artikel yang diterapkan dalam penelitian ini mencakup publikasi berbahasa Inggris yang diterbitkan dalam rentang tahun 2014-2022, dengan fokus khusus pada produksi fitase dari mikroba serta relevansinya terhadap konteks pakan ikan dan biji-bijian.

Hasil dan Pembahasan

Enzim Fitase sebagai Bahan Tambahan

Fitase adalah enzim fosfatase spesifik yang dapat menghidrolisis ikatan fosfor dalam molekul asam fitat. Fitase sintetis dalam formulasi pakan ikan membawa transformasi signifikan dalam kualitas nutrisi. Degradasi asam fitat tidak hanya membebaskan mineral terjerap, tetapi juga meningkatkan ketersediaan protein dan asam amino esensial. Amin *et al.* (2012); Rachmawati dan Samidjan (2014) melaporkan peningkatan penyerapan fosfor hingga 70-80% dan peningkatan retensi protein sebesar 15-25% pada ikan yang diberi pakan dengan suplemen fitase.

Fitase berperan dalam memecah asam fitat, senyawa yang mengikat mineral penting seperti fosfor, sehingga menghambat ketersediaan nutrisinya. Penambahan fitase ke dalam pakan memungkinkan pemecahan ikatan asam fitat dengan mineral, sehingga meningkatkan pencernaan dan penyerapan nutrisi. Hal ini menjadi sangat penting karena bahan pakan ikan seperti jagung dan kedelai mengandung asam fitat dalam jumlah tinggi. Penggunaan enzim fitase mikroba telah terbukti meningkatkan penyerapan fosfor secara signifikan, yaitu peningkatannya hingga 70–80% pada ikan yang diberi pakan dengan suplemen fitase (Amin *et al.*, 2012). Pada Tabel 1 memperlihatkan beberapa penggunaan fitase komersial sebagai bahan pakan tambahan (*feed additive*) dalam pakan. Penambahan fitase pada Tabel 1, bervariasi dari 0,75 g/kg pada ikan jelawat dengan aplikasi enzim fitase dalam pakan yang kemudian difermentasi (Sintia *et al.*, 2020), hingga 2 g/kg dalam penggunaan fitase komersial dalam pakan ikan nilam (Anggani *et al.*, 2021).

Tabel 1. Fitase sebagai Bahan Pakan Tambahan pada Ikan

No	Pengolahan	Ikan yang Digunakan	Dosis Fitase	Hasil	Penulis
1	Pakan buatan diberi enzim fitase.	Ikan Baung	0, 500, 1000, & 1500 mg/kg.	Fitase 1000 mg/kg meningkatkan pertumbuhan.	Siahaan <i>et al.</i> (2021)
2	Penambahan enzim fitase dalam pakan komersial	Ikan Nilem	0, 0,5, 1, 1,5 & 2 g/kg.	Dosis 2 g/kg meningkatkan pertumbuhan panjang dan bobot mutlak.	Anggani <i>et al.</i> (2021)
3	Pakan komersil+fitase, preservasi selama 24 jam.	Ikan Jelawat	0, 250, 500 & 750 mg/kg.	Perlakuan terbaik yaitu dengan dosis 750 mg/kg pakan.	Sintia <i>et al.</i> (2020)
4	Fitase pada pakan rendah protein	Kakap putih	0, 0,5, 1 & 1,5 g/kg.	Dosis 1,5 g/kg pakan menunjukkan rasio konversi pakan yang rendah.	Panjaitan <i>et al.</i> (2019)
5	Penambahan Enzim Fitase pada pakan buatan terhadap efisiensi pakan dan pertumbuhan	Ikan Bawal Bintang	0, 0,5, 1 & 1,5 g/kg.	Asam fitat di dalam pakan dapat terhidrolisis oleh enzim fitase dengan dosis 1,5 g/kg pakan.	Siburian <i>et al.</i> (2019)

Karakteristik dan Potensi Beberapa Mikroba Penghasil Fitase

Eksplorasi literatur mengungkapkan sejumlah mikroba dengan potensi superior dalam produksi fitase. *Bacillus subtilis* merupakan salah satu kandidat paling menjanjikan, memiliki kemampuan menghasilkan fitase ekstraselular yang stabil pada berbagai kondisi lingkungan (Abun *et al.*, 2022). Hal ini sejalan dengan hasil riset Yusra dan Efendi (2019) bahwa galur *B. subtilis* mampu memproduksi fitase dengan aktivitas mencapai 250-300 U/mL, yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan mikroba lainnya.

Aspergillus niger, jamur mikroskopis yang umum digunakan dalam proses bioteknologi, karena mampu beradaptasi dengan berbagai substrat dan stabilitas termal enzim yang dihasilkan menjadikannya sangat sesuai untuk aplikasi industri pakan. Menurut Ningsih *et al.* (2017) menunjukkan bahwa fitase dari *A. niger* memiliki aktivitas optimal pada rentang suhu 50-60°C dan pH 5,5-6,5.

Lactobacillus plantarum adalah jenis mikroba asam laktat dengan keunggulan tambahan sebagai probiotik bawaan. Selain menghasilkan fitase, bakteri ini dapat meningkatkan kesehatan saluran pencernaan ikan, menciptakan sinergi antara degradasi asam fitat dan dukungan mikrobiom usus. Singh *et al.*

(2021) dalam penelitiannya menemukan bahwa *L. plantarum* tidak hanya efektif dalam menurunkan asam fitat, tetapi juga meningkatkan penyerapan nutrisi secara keseluruhan.

Produksi Fitase Mikrobial: Kompleksitas dan Strategi Optimasi

Proses produksi fitase melalui fermentasi mikroba melibatkan serangkaian tahapan kompleks yang memerlukan pendekatan sistematis. Tahap seleksi strain mikroba menjadi fundamental, yang meliputi karakterisasi genetik, potensi produksi enzim, dan toleransi terhadap kondisi lingkungan yang beragam. Optimasi media fermentasi merupakan faktor kritis yang memengaruhi kuantitas dan kualitas fitase yang dihasilkan. Komposisi nutrisi media, termasuk sumber karbon, nitrogen, dan mineral, secara langsung memengaruhi metabolisme mikroba dan produktivitas enzim. Gull *et al.* (2013) menyatakan bahwa bahan yang digunakan untuk produksi fitase melalui fermentasi keadaan padat (*solid state fermentation*, SSF) antara lain, dedak gandum, kacang hijau, gandum oat, dan jagung. Substrat-substrat ini dipilih karena kandungan asam fitatnya yang dapat berfungsi sebagai inducer untuk produksi fitase oleh jamur yang diuji parameter lingkungan seperti pH, suhu, waktu fermentasi, dan aerasi memainkan peran signifikan dalam mengoptimalkan produksi fitase.

Bacillus subtilis menunjukkan aktivitas enzimatis tertinggi di antara mikroba yang diteliti, dengan nilai mencapai 275 ± 12 U/mL dan efisiensi degradasi fitat sebesar 42,3%. Keunggulan ini menjadikan *B. subtilis* sebagai kandidat utama untuk aplikasi industri dalam proses fermentasi pakan ikan. Kemampuan strain ini untuk bertahan pada suhu 55°C dan pH 5,5-6,0 memberikan keuntungan tambahan dalam konteks fermentasi skala besar, di mana kondisi tersebut sering kali diperlukan untuk meningkatkan stabilitas dan efektivitas enzim.

Aspergillus niger juga menunjukkan potensi yang signifikan dengan aktivitas enzimatis 213 ± 9 U/mL. Suhu optimal untuk pertumbuhannya berkisar antara 50°C , dan pH optimalnya berada pada kisaran 4,5-5,5. Dengan efisiensi degradasi fitat mencapai 38,7%, *A. niger* merupakan pilihan baik untuk aplikasi yang memerlukan kondisi asam.

Lactobacillus plantarum memiliki aktivitas

enzimatis terendah di antara ketiga mikroba dengan nilai 187 ± 7 U/mL dan efisiensi degradasi fitat sebesar 25,6%. Suhu optimalnya berkisar antara $37-42^{\circ}\text{C}$, dengan pH optimal antara 6,0-7,0. Meskipun tidak seefisien *B. subtilis* atau *A. niger* dalam hal produksi fitase, *L. plantarum* tetap relevan dalam konteks aplikasi probiotik dan fermentasi makanan.

Analisis Komparatif Produksi Fitase oleh Mikroba Berbeda

Kompleksitas biokimia pada tiga jenis mikroba berbeda dengan perbedaan pH dan suhu berbeda saat aktivasi enzim karena adanya adaptasi enzimatik atau adaptasi evolusi pada habitat tertentu sehingga memungkinkan pada setiap mikroorganisme berperan pada yang spesifik (Abun, dkk. 2020; Utami, 2020). Perbandingan karakteristik mikroba penghasil fitase (Tabel 2) menunjukkan adanya perbedaan pH dan suhu optimal untuk degradasi asam fitat.

Tabel 2. Perbandingan Karakteristik Mikroba Penghasil Fitase

No	Mikroba	Aktivitas Fitase (U/mL)	pH Optimal	Suhu Optimal ($^{\circ}\text{C}$)	Efisiensi Degradasi Fitat (%)	Referensi
1	<i>Bacillus subtilis</i> ATCC 6051	225 ± 12	5,5-6,0	55	42.3 ± 3.2	Yuanita et al., (2012)
2	<i>Aspergillus niger</i> NRRL 3135	221 ± 9	4,5-5,5	50	38.7 ± 2.8	Ningsih et al. (2017)
3	<i>Lactobacillus plantarum</i>	185 ± 7	6,0-6,5	45	25.6 ± 2.1	Singh et al. (2021)

Tabel 2 menunjukkan perbedaan pH, suhu optimal pada tiga jenis mikroba, yaitu bakteri *B. subtilis*, kapang *A. niger*, dan bakteri asam laktat. Hal tersebut menunjukkan perbedaan mekanisme produksi fitase oleh bakteri dan jamur mencerminkan kompleksitas biokimia yang menarik. *Bacillus subtilis* memiliki suhu optimal 55°C dan pH 5,5–6,0, sehingga cocok untuk fermentasi pada suhu tinggi. Sebaliknya, *Aspergillus niger* bekerja optimal pada suhu lebih rendah (50°C) dan pH asam, menjadikannya pilihan ideal untuk pakan yang memerlukan stabilitas enzim dalam lingkungan asam. Berdasarkan riset Yuanita et al., (2012) tersebut, *Bacillus subtilis* ATCC 6051 adalah sebagai salah satu mikroba penghasil fitase dengan aktivitas tertinggi, yaitu mencapai rata-rata produktivitas 275 ± 12 U/mL saat ditumbuhkan pada media fermentasi berbasis dedak padi.

Enzim yang dihasilkan menunjukkan stabilitas optimal pada pH 5,5 hingga 6,0 dan suhu

55°C , menjadikannya kandidat yang sangat baik untuk aplikasi industri, termasuk dalam formulasi pakan ikan. Keunggulan ini diperoleh melalui komparasi dengan galur *Bacillus* lainnya, *Bacillus subtilis* menunjukkan efisiensi produksi yang lebih baik serta karakteristik enzimatis yang lebih unggul. Penggunaan *Aspergillus niger* NRRL 3135 juga memberikan kontribusi signifikan dalam produksi fitase (Ningsih et al., 2017), dengan aktivitas fitase 215 ± 9 U/mL yang stabil pada kondisi asam (pH 4,5-5,5). Keunikan mekanisme produksi fitase pada jamur ini dibandingkan dengan bakteri mencerminkan kompleksitas biokimia yang menarik dan dapat dimanfaatkan dalam pakan ikan untuk meningkatkan pencernaan nutrisi.

Implikasi Fermentasi dan Hidrolisis Fitase dalam Akuakultur

Penggunaan fitase dari mikroba seperti *Bacillus subtilis* dan *Aspergillus niger* dalam pakan ikan sangat relevan untuk mengatasi masalah

ketersediaan fosfor pada pakan berbasis tanaman yang sering kali tinggi kandungan asam fitat. Tabel 3 menunjukkan ketersediaan fosfor, daya cerna

protein, dan mineral bebas dari hasil Fermentasi pakan oleh *Bacillus subtilis*.

Tabel 3. Perubahan Nutrisi pada Fermentasi Pakan Ikan oleh Mikroba *B. subtilis*

No	Parameter Nutrisi	Sebelum Fermentasi (%)	Setelah Fermentasi (%)	Peningkatan (%)
1	Fosfor tersedia	0.22 ± 0.02	0.35 ± 0.0	58.9
2	Protein dapat dicerna	12.5 ± 0.8	16.2 ± 0.7	29.6
3	Mineral bebas	0.15 ± 0.01	0.28 ± 0.02	86.7

Sumber: Singh *et al.* (2021)

Penambahan enzim fitase dalam pakan memiliki dampak pada peningkatan proses hidrolisis asam fitat sehingga meningkatkan ketersediaan mineral, asam amino dan energi, dimana pada akhirnya mengakibatkan terjadinya peningkatan kinerja pertumbuhan (Khan *et al.*, 2013). Ketika proses hidrolisis oleh fitase terjadi, kapasitas fitat dalam mengikat Ca menurun sehingga melepaskan Ca untuk kemudian diserap dalam usus halus (Selle *et al.*, 2009). Konsentrasi Ca dalam ransum dan rasio keseluruhan Ca:P merupakan faktor penting yang mempengaruhi aktivitas fitase dalam saluran pencernaan (Beutler, 2009).

Penambahan enzim fitase sebesar 500 mg/kg pakan terbukti mampu meningkatkan tingkat pencernaan pakan pada ikan lele sangkuriang, yaitu sebesar 84,55±4,40%, dengan Rasio Efisiensi Protein (pertumbuhan bobot dibagi protein pakan) sebesar 2,69±0,05 (Kosim *et al.*, 2016). Sedangkan menurut Winata *et al.* (2018), pada ikan sidat yang bersifat karnivora pemberian fitase 1000 mg/kg menghasilkan pencernaan pakan terbaik hanya sebesar 16,11%. Demikian pula pada ikan kerapu bebek, dosis 1000 mg/kg, memiliki pencernaan lebih baik, namun mencapai 28,46%±1,66% (Zulaeha *et al.*, 2015).

Enzim fitase sebesar 500 mg/kg pada ikan mas memiliki nilai pencernaan pakan sebesar 43,01%±6,14 (Pratama *et al.*, 2015). Namun riset pada jenis ikan lain yang tergolong herbivora (ikan nilam), penambahan enzim fitase terbaik sebesar 1,5 g/kg pakan menghasilkan kecernaannya 71,26% (Anggani *et al.*, 2021). Hal tersebut menunjukkan fitase lebih dibutuhkan dalam dosis 500-1500 mg/kg pada pakan ikan omnivora atau herbivora yang berbasis tanaman, mutlak diperlukan.

Enzim fitase untuk meningkatkan efisiensi protein pakan lebih besar pada pakan ikan berbasis biji-bijian tanaman karena enzim fitase tersebut

tidak hanya memecah fitat, tetapi juga meningkatkan aksesibilitas protein secara signifikan. Fitat dapat mengikat protein dalam pakan, sehingga mengurangi daya cernanya. Dengan dosis yang lebih tinggi ±1,5 g/kg, fitase memastikan lebih banyak protein yang dilepaskan dari kompleks fitat-protein (Panjaitan *et al.* (2019). Selain itu, ikan memiliki kebutuhan protein yang lebih spesifik, sehingga dosis fitase yang cukup untuk mendukung efisiensi protein lebih besar dibanding hanya untuk pencernaan. Pada dosis rendah ±500-1000 mg/kg fokus enzim fitase adalah memecah fitat untuk fosfor, sementara pada dosis tinggi, lebih berfokus pada efek sinergis pada protein dan nutrisi lainnya (Siahaan *et al.* 2021),.

Potensi penggunaan mikroba penghasil fitase dapat mendukung upaya produksi fitasi untuk mengolah pakan. Sebagai tinjauan aplikasinya pada ikan, Rachmawati dan Samidjan (2014) menemukan bahwa penambahan fitase dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi secara keseluruhan. Fitase meningkatkan penyerapan fosfor hingga 70-80% dan retensi protein sebesar 15-25% sehingga dapat mengurangi dampak lingkungan akibat ekskresi fosfor yang berlebih. Penelitian Baruah *et al.* (2004) juga melaporkan bahwa penggunaan fitase mampu mengurangi pencemaran fosfor di lingkungan dengan meningkatkan efisiensi pemanfaatan fosfor dari bahan nabati. Dengan memanfaatkan mikroorganisme tertentu dalam proses fermentasi, enzim fitase dapat diproduksi secara efisien dan diterapkan pada pakan ikan. Metode ini tidak hanya meningkatkan ketersediaan mineral yang terikat tetapi juga dapat meningkatkan pencernaan protein dalam pakan.

Secara keseluruhan, pemanfaatan enzim fitase melalui proses fermentasi mikroba merupakan langkah maju yang menjanjikan dalam menghadapi tantangan nutrisi di akuakultur

modern. Dengan menambahkan fitase ke dalam formulasi pakan, potensi penyerapan fosfor dapat meningkat secara signifikan, sehingga meningkatkan nilai gizi pakan ikan. Hal ini tidak hanya berkontribusi pada efisiensi pakan tetapi juga dapat membantu mengurangi dampak lingkungan dari limbah pertanian. Dengan pendekatan ini, kita tidak hanya meningkatkan kualitas pakan tetapi juga mendukung praktik akuakultur yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Kesimpulan

Mikroba penghasil fitase seperti *Bacillus subtilis*, *Aspergillus niger*, dan *Lactobacillus plantarum* memiliki potensi tinggi dalam meningkatkan ketersediaan nutrisi pakan ikan. Aktivitas enzim fitase berada pada kondisi optimal pada saat fermentasi dengan pH sebesar 4,5-6,5 dan suhu 45-55°C. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa Hidrolisis oleh Fitase dosis optimal 500 mg/kg pada lele sangkuriang meningkatkan pencernaan pakan (84,55±4,40%), sedangkan pada ikan mas kecernaannya 43,01%±6,14. Dosis 1,5 g/kg pakan menghasilkan pencernaan 71,26% pada ikan nilem. Fitase lebih dibutuhkan (kisaran 500-1500 mg/kg) pada ikan omnivora dengan pakan berbasis biji-bijian.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih peneliti ucapkan kepada semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini.

Referensi

- Abun, A. Widjastuti, T. & Rusmana D. 2020. Teknik Fermentasi menggunakan Mikroba BLS (*Bacillus l.*, *Lactobacillus sp.*, dan *Sacharomyces c.*) dan Formulasi Pakan Ayam Lokal. *Media Kontak Tani Ternak* 2(20):24-34. 1024198/mkttv2i2.28718
- Abun A., Widjastuti T. & Haetami K. 2022. Effect of fermented shrimp shell supplementation of low protein diet on the performance of Indonesian native chicken. *Journal of Applied Animal Research*, 50 (1): 612–619. <https://doi.org/10.1080/09712119.2022.2123810>.
- Amin M., Jusadi D. & Mokoginta I. 2012. The Use of Phytase Enzyme to Increase Phosphorus Bioavailability of the Diets and Growth Performance of Catfish (*Clarias sp.*). *Jurnal Saintek Perikanan*, 6 (2): 53–62. <https://doi.org/10.14710/ijfst.6.2.53-62>.
- Anggani D., Rusliadi & Putra I. 2021. Penambahan Enzim Phytase pada Pakan terhadap Pertumbuhan dan Kelulushidupan Ikan Nilem (*Osteochilus hasselti*) dengan Sistem Resirkulasi. *Jurnal Ilmu Perairan (Aquatic Science)*, 9 (3): 207–14. <https://garuda.kemdikbud.go.id/document/s/detail/2539905>.
- Baruah K., Sahu N. P., Pal A. K. & Debnath D. 2004. Dietary Phytase: an Ideal Approach for a Cost Effective and Low-Polluting Aqua Feed. *NAGA, World Fish Center Quarterly*, 27 (3&4): 15–19. <https://hdl.handle.net/20.500.12348/2061>.
- Beutler, A. L. 2009. *The efficacy of Quantum TM phytase in laying hens fed corn-soybean meal based diets*. Thesis. University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.
- Gull I., Hameed A., Aslam M. S. & Athar M. A. 2013. Optimization of phytase production in solid state fermentation by different fungi. *Afr. J. Microbiol. Res*, 7 (46): 5207–12. <https://doi.org/10.5897/AJMR2013.6136>.
- Haetami, K and Abun. 2024. Improving the Quality of Feed Ingredients using Enzymes *Jurnal Perikanan dan Kelautan Vol 29(1): 107-112*. <https://jpk.ejournal.unri.ac.id/index.php/JPK/article/view/7071/pdf>
- Hardianto, T. & Sucipto. 2024. *Manajemen Industri Budidaya Perikanan*. PT Media Penerbit Indonesia. Medan. ISBN: 978-623-8702-31-2.
- Indrayani, E., Runtuboi, D. Y. P., Ohee, H. L. & Kalor, J. D. 2023. *Inovasi Akuakultur Dunia Teknologi Ikan*. PT Media Penerbit Indonesia. Medan. ISBN: 978-623-09-9095-3. <https://mediapenerbitindonesia.com/product/buku-referensi-inovasi-akuakultur-dunia-teknologi-ikan/>
- Khan S. A., Chaudhry H. R., Mustafa Y. S. & Jameel T. 2013. The effect of phytase enzyme on the performance of broilers.

- Biol Pakistan*, 59: 99–106.
<https://doi.org/10.22069/psj.2013.1478>.
- Kosim M., Rachmawati D. & Samidjan I. 2016. Pengaruh Penambahan Enzim Fitase dalam Pakan Buatan Terhadap Laju Pertumbuhan Relatif, Efisiensi Pemanfaatan Pakan, dan Kelulushidupan Lele Sangkuriang (*Clarias gariepinus*). *Journal of Aquaculture Management and Technology*, 5 (2): 26–34. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jamt>.
- Ningsih D. A., Kusdiyantini E. & Raharjo B. 2017. Uji Aktivitas Enzim Fitase yang Dihasilkan Oleh *Aspergillus niger* dan *Neurospora* sp. pada Kondisi Fermentasi yang Berbeda. *Jurnal Biologi*, 6 (4): 19–28.
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/biologi/article/view/19597>.
- Panjaitan M. N. N., Yulianto T. & Miranti S. 2019. Pengaruh Penambahan Enzim Fitase dalam Pakan Buatan terhadap Efisiensi Pakan dan Pertumbuhan Ikan Kakap Putih (*Lates calcarifer*, Bloch). *Intek Akuakultur* 3 (2): 11–21.
<https://doi.org/10.31629/intek.v3i2.1338>.
- Pratama A. P., Rachmawati D. & Samidjan I. 2015. Pengaruh Penambahan Enzim Fitase Pada Pakan Buatan terhadap Efisiensi Pemanfaatan Pakan, Pertumbuhan dan, Kelulushidupan Ikan Nila Merah Salin (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Aquaculture Management and Technology*, 4 (4): 150–58. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jamt>.
- Rachmawati D. & Samidjan I. 2014. Penambahan Fitase dalam Pakan Buatan sebagai Upaya Peningkatan Kecernaan, Laju Pertumbuhan Spesifik dan Kelulushidupan Benih Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Saintek Perikanan*, 10 (1): 48–55.
<https://ejournal.undip.ac.id/index.php/sainstek>.
- Selle P. H., Cowieson A. J. & Ravindran V. 2009. Consequences of calcium interactions with phytate and phytase for poultry and pigs. *Livest Sci*, 124: 126–41.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.01.006>.
- Siahaan A., Mulyadi & Pamukas N. A. 2021. The Effect of Addition Phytase Enzymes with Different Doses to Feed on The Growth and Survival Rate of *Hemibagrus nemurus* with Recirculation System. *Jurnal Universitas Riau*.
<https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFAP/ERIKA/article/view/31388>.
- Sibirian S. T. J., Putra W. K. A. & Miranti S. 2019. Efisiensi Pakan dan Pertumbuhan Ikan Bawal Bintang (*Trachinotus blochii*) dengan penambahan enzim fitase. *Jurnal Intek Akuakultur*, 3 (2): 1–10.
<https://doi.org/10.31629/intek.v3i2.1317>.
- Singh B., Kumar G., Kumar V. & Singh D. 2021. Enhanced Phytase Production by *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* in Solid State Fermentation and its Utility in Improving Food Nutrition. *Protein Pept Lett*, 28 (10): 1083–89.
<https://doi.org/10.2174/0929866528666210720142359>.
- Sintia N., Utomo D. S. C. & Yudha I. G. 2020. The Effect of Phytase Enzymes Addition on Artificial Feed on Hoven's Carp Growth, *Leptobarbus hoevenii* (Bleeker, 1851). *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Budidaya Perairan*, 8 (2): 991–1000.
<http://dx.doi.org/10.23960/jrtbp.v8i2.p991-1000>.
- Utami, W. M. 2020. *Aktivitas Antioksidan Tempe Kacang Merah (Phaseolus vulgaris L.) sebagai Pangan Fungsional Antioksidan*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Syarif hidayatullah Jakarta.
- Winata G. A., Suminto & Chilmawati D. 2018. Pengaruh Penambahan Enzim Fitase dengan Dosis yang Berbeda pada Pakan Buatan terhadap Efisiensi Pemanfaatan Pakan, Pertumbuhan, dan Kelulushidupan Ikan Sidat (*Anguilla bicolor*). *Jurnal Sains Akuakultur Tropis*, 2 (1): 11–19.
<https://doi.org/10.14710/sat.v2i1.2462>.
- Yuanita L., Puspita A., Surodjo S., Hidayati S., Al Amin F. & Budiman A. 2012. Isolasi, Pemurnian dan Karakterisasi Fitase *Bacillus subtilis* dari Holiwood Gresik. *Berkala Penelitian Hayati*, 15 (2): 113–19.
<https://doi.org/10.23869/263>.
- Yusra dan Efendi Y. 2019. Kemampuan *Bacillus subtilis* VITNJ1 dari Saluran Pencernaan Ikan Nila dalam Memproduksi Enzim Protease. *Jurnal Riset Akuakultur*, 4 (2): 87–93.
[112](http://ejournal-</p></div><div data-bbox=)

balitbang.kkp.go.id/index.php/jra.
Zulaeha S., Rachmawati D. & Samidjan I. 2015.
Pengaruh Penambahan Enzim Fitase pada
Pakan Buatan terhadap Efisiensi
Pemanfaatan Pakan, dan Pertumbuhan

Ikan Kerapu Bebek (*Cromileptes altivelis*).
*Journal of Aquaculture Management and
Technology*, 3 (4): 35–42.
[https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/ja
mt/article/view/9803](https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jamt/article/view/9803)