

Formulasi Sinbiotik Terenkapsulasi Berbasis Fitase untuk Meningkatkan Kadar Fosfor Pakan Unggas

Formulation of Phytase-Based Encapsulated Synbiotics for Enhancement Phosphorous in Poultry Feed

Ihza Agistna¹, Khairil Anwar², Muhamad Ali², Djoko Kisworo², Anwar Rosyidi², Budi Indarsih³, Zaid Al Gifari^{3*}

¹Program Studi Manajemen Sumberdaya Peternakan, Fakultas Peternakan, Universitas Mataram

²Laboratorium Bioteknologi dan Hasil Ternak, Fakultas Peternakan, Universitas Mataram

³Laboratorium Produksi Ternak, Fakultas Peternakan, Universitas Mataram

Jl. Majapahit No. 62 Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat

e-mail^{*}: zaidalgifari@staff.unram.ac.id

Disubmit: 6 April 2025; Direvisi: 19 Juni 2025; Diterima: 28 Juni 2025

ABSTRAK

Dedak padi merupakan salah satu bahan pakan potensial bagi unggas karena ketersediaannya yang melimpah dan biaya yang relatif murah. Namun, kandungan fosfor pada dedak padi sebagian besar terikat dalam bentuk asam fitat yang tidak dapat dicerna oleh unggas monogastrik, sehingga menurunkan nilai nutrisinya. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sinbiotik berbasis bakteri asam laktat *Pediococcus pentosaceus* penghasil enzim fitase, serta mengkaji efektivitas metode enkapsulasi menggunakan natrium alginat dan kitosan dalam mempertahankan viabilitas bakteri pada kondisi saluran pencernaan unggas. Metode penelitian meliputi fermentasi dedak padi menggunakan isolat *P. pentosaceus* untuk mengevaluasi kemampuan hidrolisis asam fitat yang diukur melalui peningkatan kadar fosfor bebas. Sinbiotik kemudian diformulasikan dan dienkapsulasi dengan teknik ekstrusi menggunakan natrium alginat dan variasi konsentrasi kitosan (1%, 2%, dan 3%). Uji viabilitas dilakukan secara in-vitro pada pH 2,0 dan 7,2 selama 1–3 jam inkubasi pada suhu 37°C. Hasil menunjukkan bahwa isolat *P. pentosaceus* efektif dalam meningkatkan ketersediaan fosfor, serta enkapsulasi dengan kitosan 3% mampu mempertahankan viabilitas tertinggi (25,33 log CFU/ml pada pH 7,2 dan 22,00 log CFU/ml pada pH 2,0). Implikasi penelitian ini menunjukkan bahwa sinbiotik terenakapsulasi berpotensi sebagai pakan fungsional yang mendukung efisiensi dan keberlanjutan pemanfaatan dedak padi pada industri peternakan unggas.

Kata kunci: sinbiotik, *Pediococcus pentosaceus*, dedak padi, fitase, enkapsulasi, kitosan.

ABSTRACT

Rice bran is a potential feed ingredient for poultry due to its high availability and relatively low cost. However, most of its phosphorus content is bound in the form of phytic acid, which is indigestible by monogastric animals, thereby limiting its nutritional value. This study aimed to develop a synbiotic formulation containing the lactic acid bacterium *Pediococcus pentosaceus*, a phytase-producing strain, and to evaluate the effectiveness of encapsulation using sodium alginate and chitosan in maintaining bacterial viability under simulated gastrointestinal conditions of poultry. The research involved fermenting rice bran with *P. pentosaceus* to assess its phytate-hydrolyzing capability, as indicated by an increase in free phosphorus levels. The synbiotic was then formulated and encapsulated using an extrusion technique with sodium alginate and varying chitosan concentrations (1%, 2%, and 3%). In vitro viability assays were conducted at pH 2.0 and 7.2 for 1–3 hours of incubation at 37°C. Results showed that *P. pentosaceus* effectively enhanced phosphorus availability, while encapsulation with 3% chitosan provided the highest bacterial viability (25.33 log CFU/ml at pH 7.2 and 22.00 log CFU/ml at pH 2.0). The findings suggest that the encapsulated synbiotic has strong potential as a functional feed additive to enhance the nutritional efficiency and sustainability of rice bran utilization in poultry production.

Keywords: synbiotic, *Pediococcus pentosaceus*, rice bran, phytase, encapsulation, chitosan

Cara Mengutip:

Agistna, I., Anwar, K., Ali, M., Kisworo, D., Rosyidi, A., Indarsih, B., Gifari, Z. A. (2025). Formulasi Sinbiotik Terenkapsulasi Berbasis Fitase untuk Meningkatkan Kadar Fosfor Pakan Unggas. *Agriekstensia*, 24 (1), 46-58. <https://doi.org/10.34145/agriekstensia.v24i1.3745>.

PENDAHULUAN

Mikrobiota usus berperan penting dalam menjaga kesehatan dan efisiensi sistem pencernaan unggas. Komunitas mikroorganisme ini membantu fermentasi substrat, produksi vitamin, detoksifikasi, dan stimulasi imun. Keseimbangan antara bakteri menguntungkan dan patogen di usus berpengaruh langsung terhadap performa unggas (Kogut & Arsenault, 2016). Namun demikian, komunitas ini tidak hanya terdiri dari mikroba yang menguntungkan, tetapi mencakup mikroorganisme patogen. Oleh karena itu, keseimbangan antara bakteri probiotik dan patogen dalam usus sangat menentukan kondisi fisiologis dan produktivitas unggas.

Pakan merupakan faktor utama yang memengaruhi mikrobiota usus, sekaligus menyumbang 65–80% dari total biaya produksi unggas (Mutia, 2023). Dedak padi sebagai bahan pakan alternatif bernilai tinggi karena kandungan nutrisinya, namun penggunaannya terbatas akibat kandungan asam fitat yang mengikat fosfor dan menghambat penyerapannya Wahyuni et al. (2011). Akibatnya, diperlukan tambahan fosfor anorganik dalam formulasi pakan, yang meningkatkan biaya produksi (Yanuartono et al., 2016).

Asam fitat atau fitat adalah senyawa penyimpanan utama fosfor dalam biji-bijian dan dedak. Fitat dikenal konsentrasinya dalam bahan tanaman berkisar antara 0,1% hingga 6,0% (Gupta et al., 2015). Fitat secara alami ditemukan dalam kacang-kacangan, biji-bijian, dan bahan pakan berbasis tumbuhan lainnya. Menurut Samtiya et al. (2020), sekitar 50% hingga 80% dari total fosfor dalam biji terkandung dalam bentuk fitat. Untuk mengatasi hambatan ini, pendekatan biologis dengan menggunakan probiotik penghasil fitase, seperti bakteri asam laktat (BAL), menjadi strategi potensial untuk meningkatkan ketersediaan fosfor dalam pakan.

Probiotik didefinisikan sebagai mikroorganisme hidup yang apabila dikonsumsi dalam jumlah yang cukup dapat

memberikan manfaat kesehatan pada inangnya (Qin et al., 2021). Probiotik berperan dalam menstabilkan mikrobiota usus, menghambat patogen, dan mendukung sistem imun tubuh. Efektivitas probiotik bergantung pada jumlah yang dikonsumsi; penelitian menyarankan setidaknya lebih dari 10^6 CFU/g diperlukan untuk memperoleh manfaat yang nyata (Ding et al., 2022). Akan tetapi, selama proses pengolahan dan penyimpanan hingga perjalanan melalui saluran cerna, banyak probiotik mengalami penurunan viabilitas akibat paparan lingkungan yang ekstrem seperti enzim pencernaan dan garam empedu (Yilmaz et al., 2020).

Teknologi mikroenkapsulasi adalah pendekatan yang telah dikembangkan untuk mengatasi rendahnya viabilitas sel probiotik selama proses pencernaan. Teknik ini bekerja dengan membungkus sel probiotik dalam matriks pelindung, sehingga mampu menjaga kelangsungan hidupnya hingga mencapai usus. Berbagai metode telah diterapkan dalam proses mikroenkapsulasi, di antaranya teknik emulsi, ekstrusi, pengeringan semprot (*spray drying*), dan pengeringan beku (*freeze drying*) (Çanga & Dudak, 2021). Salah satu teknik yang banyak digunakan adalah metode ekstrusi karena tidak memerlukan suhu tinggi ataupun pelarut kimia. Dalam metode ini, probiotik dicampurkan ke dalam larutan hidrokoloid dan diteteskan ke dalam larutan ionik seperti kalsium untuk membentuk mikrogranul (Razavi et al., 2021).

Sodium alginat merupakan bahan enkapsulan yang paling sering digunakan karena murah, ramah lingkungan, serta tidak toksik bagi sel probiotik. Alginat membentuk gel yang stabil dalam larutan ionik melalui ikatan silang antara anion karboksilat dengan ion Ca^{2+} (Razavi et al., 2021). Selain itu, berbagai penelitian telah dilakukan untuk menerapkan pelapisan kitosan (Ch) pada mikrokapsul. Lapisan ini dapat meningkatkan stabilitas, sifat mucoadhesif, dan kerapatan struktural mikrokapsul, sehingga menjadi sistem penghantaran yang kuat dan sesuai untuk kondisi usus (Shamekhi et al., 2018). Kitosan merupakan polisakarida polikationik

yang umum digunakan, bersifat tidak toksik, dan diperoleh melalui proses deasetilasi alkalis dari kitin (Thinkohkaew *et al.*, 2024).

Penggunaan probiotik dan prebiotik secara tunggal dalam pakan unggas menunjukkan keterbatasan efektivitas akibat tantangan fisiologis di saluran pencernaan, seperti pH asam dan garam empedu yang menurunkan viabilitas probiotik, serta degradasi prebiotik sebelum mencapai usus. Sinbiotik, sebagai kombinasi keduanya, menawarkan solusi yang lebih efisien dalam menjaga keseimbangan mikrobiota usus dan meningkatkan kinerja pencernaan. Untuk menjaga stabilitas sinbiotik selama proses pencernaan, teknologi mikroenkapsulasi metode ekstrusi diterapkan sebagai pelindung komponen aktif. Dedak padi dipilih sebagai sumber prebiotik karena ketersediaannya yang melimpah, biaya ekonomis, serta kandungan serat larut dan oligosakarida yang mendukung pertumbuhan bakteri probiotik.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji efektivitas sinbiotik dalam meningkatkan kesehatan dan performa unggas. Namun, hasilnya masih menunjukkan keterbatasan, terutama terkait viabilitas probiotik setelah melewati saluran cerna. Studi oleh Abdel-Wareth *et al.* (2019) menekankan pentingnya formulasi sinbiotik spesifik untuk spesies unggas, namun belum mengevaluasi peran bahan lokal seperti dedak padi. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Zhang *et al.* (2023) melaporkan bahwa efektivitas probiotik dapat ditingkatkan melalui enkapsulasi, tetapi fokusnya lebih pada strain *Lactobacillus* dan belum mencakup *Pediococcus pentosaceus*. Dalam upaya meningkatkan efektivitas sinbiotik pada unggas, sejumlah penelitian terbaru memberikan kontribusi penting terhadap pengembangan formulasi yang lebih stabil dan efisien. Wang *et al.* (2018) menunjukkan bahwa mikroenkapsulasi sinbiotik dengan bahan alginat dan fruktooligosakarida (FOS) mampu meningkatkan pertumbuhan, imunitas, serta populasi *Lactobacillus* pada ayam broiler secara signifikan.

Hasil serupa juga dilaporkan oleh da Silva *et al.* (2014), yang menemukan bahwa mikrokapsul sinbiotik berbasis *Lactobacillus casei* dan inulin menunjukkan efek antiinflamasi tertinggi dan mampu menurunkan lesi kolon dalam model tikus kolitis. Terpou *et al.* (2019) menegaskan pentingnya teknik dan bahan enkapsulasi yang tepat karena sangat memengaruhi viabilitas probiotik, baik selama penyimpanan maupun setelah konsumsi. Selain itu, Pop *et al.* (2019) menyoroti bahwa efektivitas prebiotik sangat tergantung pada kemampuannya bertahan dari proses pencernaan awal dan difermentasi secara selektif oleh mikrobiota usus.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sinbiotik (probiotik-prebiotik) terenkapsulasi (Alginat-kitosan) berbasis BAL penghasil fitase, yang mampu meningkatkan ketersediaan fosfor dalam dedak padi. Dengan pendekatan ini, dedak padi berpotensi menjadi pakan fungsional unggas yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan ekonomis

METODE PENELITIAN

Kultur Bakteri Asam Laktat Penghasil Enzim Fitase

Proses pertumbuhan bakteri asam laktat (BAL) *Pediococcus pentosaceus* diawali dengan pengambilan isolat dari stok gliserol menggunakan mikropipet sebanyak 100 µL, kemudian diinokulasikan ke dalam media MRS cair. Kultur yang diperoleh selanjutnya ditumbuhkan dalam inkubasi menggunakan shaker dengan kecepatan 120 rpm selama 48 jam pada suhu 37°C dalam kondisi *anaerob*. Tahapan ini bertujuan untuk memperoleh populasi bakteri yang aktif dan siap digunakan dalam tahap formulasi berikutnya.

Pembuatan Sinbiotik

Sinbiotik merupakan campuran antara probiotik (BAL) dan prebiotik (dedak padi). Prebiotik disemprotkan menggunakan bakteri probiotik sebanyak 6 ml yang telah

diinkubasi selama 48 jam dalam MRS Broth dalam keadaan anaerob dan 3 sampel prebiotik (30% dari berat prebiotik). Sinbiotik yang sudah jadi dimasukkan ke dalam wadah pengering kemudian dikeringkan menggunakan inkubator dengan suhu 37°C selama 24 jam.

Viabilitas Bakteri Asam Laktat Pada Media Dedak Padi

Perhitungan sel mikroba dilakukan secara tidak langsung dengan metode *Total Plate Count* (TPC). Tujuannya adalah untuk mengetahui viabilitas bakteri yang dinokulasikan pada media dedak padi. Masing-masing sampel perlakuan diambil sebanyak 1 gram, lalu diencerkan dalam larutan garam fisiologis sebanyak 9 ml sebagai pengenceran 10^{-1} dan seterusnya sampai pengenceran 10^{-8} . Diambil sebanyak 1 ml masing-masing dari 3 pengenceran tertinggi dituang ke dalam cawan Petri steril, kemudian ditambahkan medium PCA sebanyak 15 ml. Cawan Petri digoyangkan supaya suspensi dan media tercampur merata (*Pour Plate Method*). Setelah media memadat, diinkubasi dalam inkubator dengan suhu 44 °C selama 12 jam, 24 jam, 36 jam, 48 jam dan 72 jam (*anaerob*). Setelah diinkubasi dihitung jumlah koloni dengan menggunakan *colony counter*. Hasil perhitungan jumlah koloni kemudian dikonversikan ke dalam CFU/gram.

Pengujian Kadar Fosfor pada Media Dedak Padi

Dedak padi diberikan perlakuan penyemprotan bakteri bakteri asam laktat *Pediococcus pentosaceus* dan *Lactiplantibacillus plantarum* diinkubasi pada suhu 44°C selama 0 jam (kontrol) dengan jumlah bakteri 0,73 CFU/gr, 24 jam, 72 jam, diuji kandungan fosfornya. Pengujian kadar fosfor dalam dedak dimulai dengan menimbang sampel dedak sebanyak 5 g, dan dimasukkan ke dalam cawan. Cawan yang berisi sampel ditimbang kembali dan dicatat beratnya, kemudian cawan berisi sampel tersebut di oven dalam tanur selama 1 malam

dan ditimbang kembali untuk mengetahui kadar lengas. Kadar lengas dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Kadar Lengas} = \frac{\text{Berat cawan berisi sampel} - \text{berat cawan berisi sampel dioven}}{\text{Berat cawan berisi sampel dioven} - \text{berat cawan}} \times 100$$

Berdasarkan kadar lengas, faktor koreksi dapat ditentukan dengan rumus:

$$\text{Faktor Koreksi} = \frac{\text{Kadar lengas} + 100}{100}$$

Sampel dengan kadar lengas diketahui dimasukkan ke dalam labu Kjeldahl, ditambahkan 10 ml H₂SO₄, dan didiamkan semalam. Selanjutnya, sampel dipanaskan bertahap: 100°C selama 1 jam, didinginkan, ditambah H₂O₂, lalu dipanaskan kembali pada 200°C selama 1 jam. Setelah didinginkan, ditambah 2 ml H₂O₂ dan dipanaskan hingga 350°C. Proses diulang hingga muncul uap putih dan diperoleh ±1 ml ekstrak jernih. Untuk analisis fosfor (P), 1 ml ekstrak diencerkan dengan 9 ml air bebas ion, lalu diambil 2 ml dan dicampur dengan 10 ml pereaksi warna P. Campuran dikocok hingga homogen dan didiamkan 30 menit, lalu diukur absorbansinya pada 693 nm menggunakan spektrofotometer. Konsentrasi P ditentukan dari kurva kalibrasi dengan persamaan regresi $y = 19,473x - 0,0023$ ($R^2 = 0,9987$). Nilai P (ppm) dihitung menggunakan rumus: $19,47 \times \text{absorbansi} - 0,002$, lalu digunakan untuk menghitung persentase fosfor.

$$\text{Kadar P (\%)} = \frac{\text{PPM kurva} \times \frac{100}{0,25} \times \text{Faktor koreksi}}{10000}$$

Enkapsulasi Sinbiotik dengan Metode Ekstrusi

Proses enkapsulasi dilakukan menggunakan teknik ekstrusi sebagaimana dijelaskan oleh Krasaekoopt *et al.* (2004) dan Pourjafar *et al.* (2012). Larutan natrium alginat 2% disterilisasi pada 121 °C selama 15 menit dan didiamkan semalaman. Sebanyak 1 gram sinbiotik ditambahkan ke dalam larutan tersebut, kemudian campuran disuntikkan ke dalam larutan CaCl₂ 1 M (100

ml) menggunakan jarum insulin steril (0,2 mm) dari ketinggian 20 cm untuk membentuk manik-manik gel. Setelah 60 menit, manik-manik dikumpulkan dan dicuci dengan aquades steril (Mandal *et al.*, 2006).

Untuk pelapisan, manik-manik direndam dalam larutan kitosan (1%, 2%, dan 3%) selama 40 menit sambil diaduk dengan magnet stirrer, lalu disaring dan dicuci kembali dengan aquades steril. Setelah proses pelapisan, viabilitas probiotik dalam sinbiotik dievaluasi melalui simulasi saluran pencernaan secara in-vitro, yang mencakup kondisi pH 2 dan 7 serta inkubasi selama 1–3 jam. Uji toleransi terhadap garam empedu 0,3% juga dilakukan. Dengan perlakuan E0 = Tanpa enkapsulasi, E1 = Enkapsulasi Alginat + Kitosan 1%, E2 = Enkapsulasi Alginat + Kitosan 2%, dan E3 = Enkapsulasi Alginat + Kitosan 3%.

Viabilitas probiotik diukur menggunakan metode pour plate untuk menentukan jumlah sel hidup pasca paparan. Efektivitas bahan enkapsulan dievaluasi berdasarkan stabilitas viabilitas selama penyimpanan pada suhu 4 °C selama 4 minggu dengan perlakuan yang sama.

Analisis Data

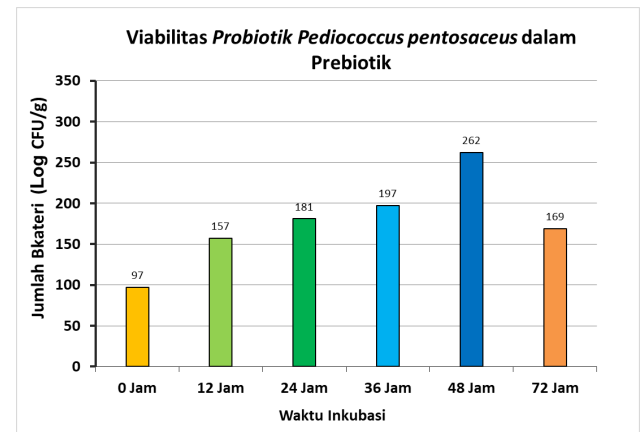
Data dianalisis secara deskriptif dan disajikan dalam bentuk nilai rata-rata (mean) dan standar deviasi (SD) (*mean* ± standar deviasi) untuk menggambarkan kecenderungan umum dan variasi antar data. Penyajian ini bertujuan untuk menunjukkan pola distribusi serta perbedaan antar kelompok perlakuan secara ringkas dan informatif serta disajikan dalam bentuk grafik dan tabel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Viabilitas Bakteri Asam Laktat Penghasil Enzim Fitase pada Media Dedak Padi

Bakteri asam laktat dapat bertahan hidup di media dedak karena mereka bisa memanfaatkan nutrisi yang terkandung dalam dedak sebagai sumber energi. Suhu dan waktu fermentasi berperan penting dalam

menentukan tingkat pertumbuhan bakteri. Berdasarkan penelitian sebelumnya, waktu dan suhu memiliki hubungan erat dengan fase pertumbuhan bakteri. Bakteri fitase dapat berkembang dengan baik pada suhu antara 30°C hingga 45°C. Jika suhu melebihi 45°C, aktivitas enzim akan menurun karena perubahan bentuk enzim yang menyebabkan kerusakan (Sarkar & Paul, 2019).



Grafik 1. Viabilitas Bakteri Hasil Isolasi pada Media Dedak Padi

Grafik 1 di atas menunjukkan perubahan viabilitas probiotik yaitu *Pediococcus pentosaceus*, selama proses inkubasi pada suhu 44°C dalam media prebiotik berbasis dedak padi mengalami perubahan yang signifikan dari waktu ke waktu pada waktu inkubasi 0 hingga 72 jam. Viabilitas diukur dalam satuan Log CFU/g.

Pada awal inkubasi (0 jam), jumlah bakteri tercatat sekitar 97 Log CFU/g. Seiring bertambahnya waktu inkubasi, terjadi peningkatan viabilitas bakteri secara bertahap. Pada 12 jam inkubasi, jumlah bakteri meningkat menjadi sekitar 157 Log CFU/g. Hal ini menunjukkan bahwa kedua bakteri mulai memasuki fase log (pertumbuhan cepat), yang ditandai dengan pembelahan sel yang aktif akibat lingkungan yang mendukung dan nutrisi yang masih tersedia (Madigan *et al.*, 2015).

Ketersediaan nutrisi dalam substrat pakan, seperti dedak padi, menjadi faktor krusial dalam mempertahankan viabilitas dan mendukung proliferasi bakteri probiotik. Unsur makronutrien—karbon, hidrogen,

oksigen, dan nitrogen—berperan penting sebagai sumber energi dan prekursor biosintesis sel mikroba serta memainkan peran penting dalam mendukung viabilitas dan pertumbuhan probiotik. (Bamidele *et al.*, 2025). Pada fase lag, mikroorganisme memproduksi enzim ekstraseluler—misalnya protease dan amilase—yang berfungsi menghidrolisis senyawa makromolekul menjadi komponen yang lebih sederhana dan mudah diasimilasi, sehingga mempercepat transisi ke fase logaritmik dan meningkatkan biomassa (Wang *et al.*, 2018).

Puncak viabilitas terjadi pada inkubasi 48 jam, dengan terus meningkat hingga mencapai sekitar 262 Log CFU/g. Ini mengindikasikan bahwa pertumbuhan kedua bakteri masih berlangsung optimal. Menurut teori dari Stanbury *et al.* (2017), selama fase eksponensial, bakteri mengalami peningkatan jumlah secara drastis karena kecepatan pembelahan sel maksimum.

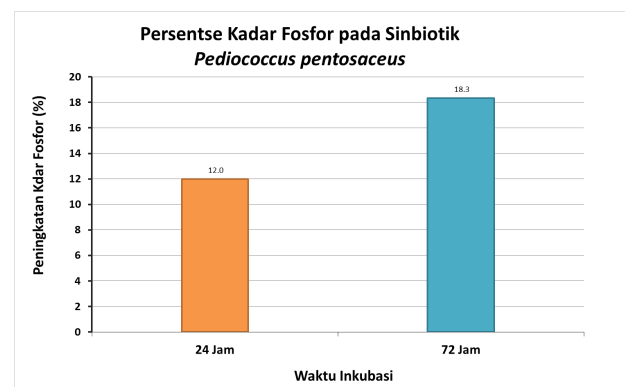
Peningkatan ini menunjukkan bahwa kondisi inkubasi pada suhu 44°C dan keberadaan senyawa prebiotik dalam dedak padi mendukung pertumbuhan dan metabolisme *P. pentosaceus*. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh ketersediaan nutrisi dan senyawa prebiotik seperti arabinoksilan dan oligosakarida dalam dedak padi yang mampu merangsang pertumbuhan bakteri probiotik. Namun, setelah 48 jam terjadi penurunan viabilitas yang cukup signifikan pada 72 jam, di mana jumlah bakteri turun menjadi sekitar 169 Log CFU/g. Penurunan ini bisa disebabkan oleh kehabisan substrat nutrisi, akumulasi metabolit toksik atau kondisi lingkungan yang mulai tidak menguntungkan bagi pertumbuhan bakteri, seperti perubahan pH atau tekanan osmotik yang tinggi akibat fermentasi. Hal ini sejalan dengan temuan da Silva *et al.*, (2014) yang menunjukkan bahwa pertumbuhan probiotik dalam media dedak padi mencapai puncaknya sebelum menurun akibat faktor tersebut.

Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa inkubasi selama 48 jam merupakan waktu optimal untuk mencapai viabilitas maksimum *P. pentosaceus* dalam

media prebiotik dedak padi pada suhu 44°C. Waktu inkubasi yang terlalu panjang justru dapat menyebabkan penurunan viabilitas.

Kadar Fosfor pada Dedak Padi

Tujuan analisa kadar fosfor adalah untuk mengetahui kandungan fosfor dalam dedak padi yang diberikan tambahan BAL penghasil fitase sebagai probiotik. Penelitian Ini menggunakan perlakuan menggunakan penyemprotan dengan akuades dan inkubasi suhu 44°C. Pengujian kadar fosfor dilakukan setelah 24 jam dan 72 jam masa fermentasi. Alasan penggunaan suhu ini ialah bakteri fitase mampu tumbuh pada kisaran suhu 30-45°C. Penggunaan suhu diatas 45°C akan menurunkan aktifitas enzim karena konformasi enzim mengarah pada pertumbuhan destruktif (Sarkar & Paul, 2019). Berikut disajikan hasil pengujian kandungan fosfor dalam dedak padi diberikan penambahan BAL penghasil enzim fitase pada **Grafik 2**.



Grafik 2. Kandungan Fosfor pada Dedak Padi (probiotik *Pediococcus pentosaceus*)

Hasil analisis pada **Grafik 2** menunjukkan adanya peningkatan kadar fosfor pada dedak padi setelah fermentasi dengan *Pediococcus pentosaceus*, bakteri asam laktat (BAL) penghasil enzim fitase. Fermentasi selama 24 jam meningkatkan kadar fosfor secara moderat (12%), sedangkan fermentasi 72 jam memberikan peningkatan lebih tinggi (18%), menunjukkan bahwa durasi fermentasi berpengaruh terhadap aktivitas fitase.

Fitase yang dihasilkan BAL berperan dalam hidrolisis asam fitat menjadi fosfat anorganik yang lebih mudah diserap. Semakin lama fermentasi berlangsung, semakin banyak enzim yang dihasilkan dan semakin optimal pelepasan fosfor dari senyawa kompleks. Hal ini sejalan dengan temuan Haetami *et al.* (2025) yaitu penggunaan enzim fitase berkontribusi signifikan dalam meningkatkan efisiensi penyerapan fosfor hingga mencapai 70–80% serta meningkatkan retensi protein sebesar 15–25%. Peningkatan ini berdampak pada pengurangan ekskresi fosfor yang berlebihan ke lingkungan, sehingga dapat menurunkan risiko pencemaran lingkungan akibat limbah fosfor. Efektivitas fitase dalam memanfaatkan fosfor dari sumber nabati menjadikannya agen penting dalam formulasi pakan berkelanjutan. Produksi enzim ini secara efisien dapat dilakukan melalui proses fermentasi menggunakan mikroorganisme tertentu yang memiliki kemampuan menghasilkan fitase. Aplikasi fitase dalam pakan, khususnya pada sektor akuakultur, tidak hanya meningkatkan ketersediaan fosfor yang sebelumnya terikat dalam bentuk tidak tersedia, tetapi juga mampu meningkatkan tingkat pencernaan protein dalam bahan pakan, sehingga memberikan manfaat ganda terhadap efisiensi nutrisi dan dampak lingkungan.

Peningkatan ketersediaan fosfor dalam dedak padi penting untuk mendukung pertumbuhan dan metabolisme unggas. Penggunaan BAL penghasil fitase, seperti *P. pentosaceus*, merupakan pendekatan potensial dalam meningkatkan nilai gizi dedak sebagai pakan unggas murah dan berkualitas. Meski peningkatan fosfor tidak selalu signifikan, seperti ditunjukkan oleh Santi dan Risal (2021) juga menyatakan bahwa kadar fosfor dalam ransum yang difermentasi dengan BAL tidak menunjukkan perbedaan signifikan,

meskipun ada peningkatan kadar fosfor dari 0,71% menjadi 0,91%. Penggunaan pakan fermentasi ini pada ayam petelur terbukti meningkatkan efisiensi pakan dan produksi telur.

Sinbiotik Terenkapsulasi Alginat- Kitosan dalam Simulasi pH Saluran Pencernaan Unggas dengan Metode In-vitro

Viabilitas sinbiotik terenkapsulasi dalam matriks alginat-kitosan merupakan aspek penting dalam pengembangan produk probiotik dan pakan fungsional. Mikroenkapsulasi dengan manik-manik hidrokoloid terbukti efektif melindungi probiotik dari kondisi ekstrem, seperti pH lambung rendah dan garam empedu. Alginat banyak digunakan karena mampu membentuk gel stabil dengan ion kalsium dan aman untuk pangan (Mahmoud *et al.*, 2020).

Penggunaan alginat dapat meningkatkan viabilitas probiotik hingga 80–95%, dan efektivitasnya meningkat dengan pelapisan kitosan. Kitosan membentuk penghalang semipermeabel yang memperlambat penetrasi zat destruktif, menjaga stabilitas probiotik selama transit gastrointestinal (Calinoiu *et al.*, 2019). Kombinasi alginat-kitosan menjadi strategi potensial dalam formulasi produk sinbiotik. Metode ekstrusi dipilih karena operasionalnya sederhana, biaya rendah, dan tidak merusak sel. Penelitian ini menggunakan alginat 2% dan kitosan (1–3%) untuk mengevaluasi pengaruh konsentrasi kitosan terhadap viabilitas *Pediococcus pentosaceus* yang dicampur dedak padi, diuji selama 1–3 jam inkubasi pada 37°C. Viabilitas sinbiotik pada simulasi pH saluran cerna disajikan pada **Tabel 1**, dan hasil uji toleransi terhadap 0,3% garam empedu ditampilkan pada **Tabel 2**.

Table 1. Jumlah Bakteri Probiotik Terenkapsulasi pada Kondisi Ph 7,2 dan 2,0

Perlakuan	Jumlah Bakteri (Log CFU/ml)					
	pH 7,2			pH 2,0		
	1 Jam	2 Jam	3 Jam	1 Jam	2 Jam	3 Jam
E0	27,33 ± 0,58 ^a	23,33 ± 0,58 ^a	18,67 ± 0,58 ^a	14,33 ± 1,15 ^a	11,33 ± 1,15 ^a	8,33 ± 1,15 ^a
E1	24,67 ± 0,58 ^a	20,67 ± 0,58 ^a	18,33 ± 0,58 ^a	16,67 ± 1,15 ^a	13,67 ± 0,58 ^a	11,33 ± 1,53 ^a
E2	27,67 ± 0,58 ^a	24,33 ± 0,58 ^a	22,00 ± 1,00 ^a	15,33 ± 1,15 ^a	12,57 ± 1,53 ^a	10,67 ± 1,53 ^a
E3	30,00 ± 1,00 ^a	27,67 ± 0,58 ^a	25,33 ± 0,58 ^a	28,00 ± 1,00 ^a	24,67 ± 0,58 ^a	22,00 ± 1,00 ^a

^a Setiap nilai dalam tabel adalah *mean* ± standar deviasi dari tiga percobaan. CFU,colony-forming units.

Table 2. Viabilitas (Log/CFU/ml) Bakteri Probiotik dalam Enakapsulasi pada Perlakuan 0,3% garam empedu

Perlakuan	Jumlah Bakteri (Log CFU/ml)
E0	11,00 ± 0,13 ^a
E1	6,29 ± 0,06 ^a
E2	6,65 ± 0,14 ^a
E3	7,45 ± 0,03 ^a

^a Setiap nilai dalam tabel adalah *mean* ± standar deviasi dari tiga percobaan. CFU,colony-forming units.

Berdasarkan **Tabel 1**, dapat dilihat bahwa viabilitas bakteri probiotik *Pediococcus pentosaceus* yang terenksapsulasi dengan kombinasi alginat-kitosan cenderung lebih baik dibandingkan tanpa enkapsulasi, terutama saat berada pada kondisi pH ekstrem. Pada pH 7,2 (netral), bakteri masih mampu mempertahankan jumlah yang tinggi hingga 3 jam inkubasi, meskipun terjadi sedikit penurunan dari waktu ke waktu. *P. pentosaceus* dengan enkapsulasi alginat-kitosan 3% di mana jumlah bakteri pada pH 2,0 (22,00 ± 1,00 log CFU/ml) lebih rendah dibandingkan pH 7,2 (25,33 ± 0,58 log CFU/ml), namun perlakuan enkapsulasi tetap mampu meningkatkan viabilitas dibandingkan tanpa enkapsulasi.

Tabel 2 menunjukkan viabilitas bakteri probiotik setelah perlakuan dengan 0,3% garam empedu. Hasilnya, *P. pentosaceus* yang dienapsulasi dengan kitosan memiliki viabilitas yang lebih rendah dibandingkan sel bebas. Namun, di antara perlakuan enkapsulasi, konsentrasi kitosan 3% memberikan hasil viabilitas yang lebih tinggi dibandingkan 1% dan 2%. Viabilitas *P. pentosaceus* tertinggi pada kitosan 3% yaitu

7,45 log CFU/ml, dan menurun pada konsentrasi kitosan yang lebih tinggi.

Sehingga enkapsulasi dengan bahan polimer seperti alginat dan kitosan dapat melindungi bakteri probiotik dari kondisi lingkungan yang ekstrem, seperti asam lambung dan garam empedu, dengan membentuk lapisan pelindung di sekitar sel bakteri. Namun, efektivitas perlindungan ini dipengaruhi oleh konsentrasi bahan enkapsulan. Konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menghambat pelepasan bakteri dan menurunkan viabilitasnya, sedangkan konsentrasi yang optimal akan memberikan perlindungan maksimal tanpa mengganggu pelepasan bakteri di saluran pencernaan.

Hasil penelitian ini juga diperkuat oleh berbagai studi terdahulu Tripathi & Giri, (2014) menyatakan bahwa kitosan berperan sebagai lapisan kedua yang membentuk barrier tambahan pada mikrokapsul, memperkuat kestabilan struktur dan meningkatkan resistensi terhadap kondisi pH rendah dan enzim pencernaan di saluran gastrointestinal. Penelitian Gbassi *et al.* (2009) memperkuat temuan ini dengan menunjukkan bahwa mikrokapsul alginat-

kitosan mampu melindungi probiotik dari senyawa berbahaya seperti garam empedu.

Pengaruh Penambahan Bahan Enkapsulan pada Sinbiotik Terhadap Masa Penyimpanan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan enkapsulan pada sinbiotik terhadap masa penyimpanan pada suhu 4°C. Sinbiotik yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari kombinasi probiotik *Pediococcus pentosaceus*

dan prebiotik (dedak padi) yang dibungkus menggunakan bahan enkapsulan (Alginat-Kitosan 1%, 2% dan 3%) untuk melindungi komponen aktifnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan bahan enkapsulan signifikan dalam memperpanjang masa simpan sinbiotik pada suhu rendah. Berdasarkan hasil yang ditampilkan dalam **Tabel 3**, terlihat bahwa penambahan bahan enkapsulan memberikan pengaruh dalam mempertahankan jumlah bakteri probiotik selama masa penyimpanan.

Table 3. Jumlah Bakteri Selama Masa Penyimpanan pada Suhu 4 °C

Perlakuan	Jumlah Bakteri (Log CFU/gr)			
	Penyimpanan Suhu 4 °C			
	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
E0	36,67 ± 1,53 ^a	28,67 ± 2,08 ^a	22,67 ± 2,08 ^a	16,00 ± 1,00 ^a
E1	39,67 ± 2,08 ^a	36,67 ± 1,53 ^a	32,67 ± 2,08 ^a	28,33 ± 0,58 ^a
E2	53,00 ± 1,00 ^a	49,00 ± 1,00 ^a	46,33 ± 1,15 ^a	43,00 ± 2,65 ^a
E3	66,67 ± 0,58 ^a	63,00 ± 2,00 ^a	59,67 ± 2,52 ^a	55,67 ± 2,52 ^a

^a Setiap nilai dalam tabel adalah *mean* ± standar deviasi dari tiga percobaan. CFU,colony-forming units.

Hasil penelitian berdasarkan **Tabel 3** menunjukkan bahwa penambahan bahan enkapsulan alginat-kitosan pada sinbiotik berpengaruh terhadap viabilitas *Pediococcus pentosaceus* selama penyimpanan pada suhu 4°C selama empat minggu. Secara umum, jumlah bakteri mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu penyimpanan, baik pada perlakuan sinbiotik tanpa enkapsulasi maupun yang dienkapsulasi dengan alginat-kitosan. Namun, bakteri yang dienkapsulasi memiliki tingkat kelangsungan hidup yang lebih tinggi dibandingkan sinbiotik tanpa enkapsulasi.

Hasil viabilitas bakteri *Pediococcus pentosaceus* dengan perlakuan sinbiotik tanpa enkapsulasi mengalami penurunan jumlah bakteri dari 36,67 ± 1,53 log CFU/gr pada minggu pertama menjadi 20,33 ± 0,58 log CFU/gr pada minggu keempat. Sementara itu, perlakuan dengan enkapsulasi alginat-kitosan 3% menunjukkan viabilitas tertinggi pada minggu keempat, yakni 55,67 ± 2,52 log CFU/gr.

Hasil ini konsisten dengan penelitian yang dilakukan oleh Rahmawati (2021) yang menyatakan bahwa enkapsulasi dapat

memperlambat penurunan viabilitas dengan melindungi mikroorganisme dari kerusakan akibat oksidasi, suhu rendah, dan perubahan lingkungan penyimpanan. Beberapa bahan enkapsulan yang digunakan dalam penelitian ini, seperti maltodekstrin dan alginat, terbukti efektif dalam menjaga integritas dan kelangsungan hidup mikroorganisme dalam produk sinbiotik, bahkan pada kondisi penyimpanan yang tidak optimal

Temuan penelitian ini mengindikasikan bahwa teknik enkapsulasi dengan bahan dasar alginat-kitosan, khususnya pada konsentrasi kitosan sebesar 3%, secara signifikan mampu menjaga viabilitas bakteri probiotik selama periode penyimpanan bersuhu rendah. Kemampuan ini kemungkinan besar berkaitan dengan terbentuknya struktur matriks pelindung yang efektif dalam mengurangi paparan langsung bakteri terhadap kondisi lingkungan yang tidak stabil. Perlindungan tersebut berperan penting dalam mempertahankan integritas sel probiotik, sehingga meminimalkan penurunan jumlah sel hidup selama penyimpanan. Berdasarkan hasil ini, penerapan metode

enkapsulasi tersebut berimplikasi luas dalam pengembangan sinbiotik berbasis dedak padi, terutama dalam formulasi pakan ternak yang membutuhkan kestabilan mikroba dalam jangka waktu panjang. Strategi ini juga dapat mendukung pengembangan produk pakan fungsional yang lebih tahan terhadap proses distribusi dan penyimpanan, sekaligus mendukung efisiensi sistem produksi yang berorientasi pada keberlanjutan pemanfaatan dedak padi pada industri peternakan unggas.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sinbiotik terenkapsulasi berbasis *Pediococcus pentosaceus* mampu meningkatkan viabilitas bakteri dan efektivitas peningkatan kadar fosfor pada dedak padi. Enkapsulasi dengan kombinasi alginat-kitosan, terutama kitosan 3%, terbukti melindungi bakteri dalam kondisi saluran pencernaan unggas dan selama penyimpanan dingin. Secara keseluruhan, teknologi ini berpotensi menjadikan dedak padi fermentasi sebagai pakan fungsional yang lebih bergizi, mendukung kesehatan dan produktivitas unggas.

SARAN

Melakukan penelitian lanjutan guna mengoptimalkan formulasi sinbiotik terenkapsulasi dan menguji aplikasinya dalam skala industri. Dengan demikian, diharapkan dapat dihasilkan pakan fungsional unggas yang lebih bernutrisi dan meningkatkan kesehatan serta produktivitas ternak.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Wareth, A. A. A., Hammad, S., Khalaphallah, R., Salem, W. M., & Lohakare, J. (2019). Synbiotic as eco-friendly feed additive in diets of chickens under hot climatic conditions. *Poultry Science*, 98(10), 4575–4583. <https://doi.org/10.3382/ps/pez115>
- Bamidele, M. A., Castillo-olvera, G., & Sandoval-cortes, J. (2025). *Next Sustainability Bioengineering in Solid-State Fermentation for next sustainable food bioprocessing*. 6(December 2024). <https://doi.org/10.1016/j.nxsust.2025.100105>
- Calinoiu, L. F., Ștefanescu, B. E., Pop, I. D., Muntean, L., & Vodnar, D. C. (2019). Chitosan coating applications in probiotic microencapsulation. *Coatings*, 9(3), 1–21. <https://doi.org/10.3390/COATINGS9030194>
- da Silva, P. T., Fries, L. L. M., Menezes, C. R. de, Holkem, A. T., Schwan, C. L., Wigmann, É. F., Bastos, J. de O., & Silva, C. de B. da. (2014). Microencapsulation: concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology. *Ciência Rural*, 44(7), 1304–1311. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20130971>
- Ding, X., Xu, Y., Wang, Y., Xie, L., Liang, S., Li, D., Wang, Y., Wang, J., & Zhan, X. (2022). Carboxymethyl konjac glucomannan-chitosan complex nanogels stabilized double emulsions incorporated into alginate hydrogel beads for the encapsulation, protection and delivery of probiotics. *Carbohydrate Polymers*. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119438>
- Gbassi, G. K., Vandamme, T., Ennahar, S., & Marchioni, E. (2009). Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* spp in an alginate matrix coated with whey proteins. *International Journal of Food Microbiology*, 129(1), 103–105. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.11.012>
- Greiner, R., & Konietzny, U. (2006). Phytase for food application. *Food Technology and Biotechnology*, 44(2), 125–140.
- Gupta, R. K., Gangoliya, S. S., & Singh, N. K. (2015). Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains. *Journal of*

- Food Science and Technology*, 52(2), 676–684. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-0978-y>
- Haddadin, M. S. Y., Haddadin, J., Arabiyat, O. I., & Hattar, B. (2009). Biological conversion of olive pomace into compost by using *Trichoderma harzianum* and *Phanerochaete chrysosporium*. *Bioresource Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.04.047>
- Kogut, M. H., & Arsenault, R. J. (2016). Editorial: Gut health: The new paradigm in food animal production. *Frontiers in Veterinary Science*, 3(AUG), 10–13. <https://doi.org/10.3389/fvets.2016.00071>
- Krasaekoopt, W., Bhandari, B., & Deeth, H. (2004). The influence of coating materials on some properties of alginate beads and survivability of microencapsulated probiotic bacteria. *International Dairy Journal*, 14(8), 737–743. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.01.004>
- Lei, X., Porres, J., Mullaney, E., & Brinch-Pedersen, H. (2007). Phytase: Source, Structure and Application. In J. Polaina & A. P. MacCabe (Eds.), *Industrial Enzymes: Structure, Function and Applications* (2nd ed., Issue January, pp. 505–529). CABI. https://doi.org/10.1007/1-4020-5377-0_29
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Bender, K. S., Buckley, D. H., & Stahl, D. A. (2015). *Brock Biology of Microorganisms. (Microbial Growth)* (14th ed.). Pearson Education.
- Mahmoud, M., Abdallah, N. A., El-Shafei, K., Tawfik, N. F., & El-Sayed, H. S. (2020). Survivability of alginate-microencapsulated *Lactobacillus plantarum* during storage, simulated food processing and gastrointestinal conditions. *Heliyon*, 6(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03541>
- Mandal, S., Puniya, A. K., & Singh, K. (2006). Effect of alginate concentrations on survival of microencapsulated *Lactobacillus casei* NCDC-298. *International Dairy Journal*, 16(10), 1190–1195. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.10.005>
- Pop, O. L., Salanță, L. C., Pop, C. R., Coldea, T., Socaci, S. A., Suharoschi, R., & Vodnar, D. C. (2019). Prebiotics and dairy applications. In *Dietary Fiber: Properties, Recovery, and Applications* (Issue June). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816495-2.00008-3>
- Pourjafar, H., Mirzaei, H., Ghasemnezhad, R., & Homayouni, R. A. (2012). Study Of Morphological And Protective Characteristics Of Beads Obtained From Microencapsulation Of *Lactobacillus Acidophilus* Probiotic As A Predominant And Natural Flora In Human Gut. *Annals of Military And Health Science Research*, 9, 233–240.
- Qin, X. S., Luo, Z. G., & Li, X. L. (2021). An enhanced pH-sensitive carrier based on alginate-Ca-EDTA in a set-type W1/O/W2 double emulsion model stabilized with WPI-EGCG covalent conjugates for probiotics colon-targeted release. *Food Hydrocolloids*, 113(June), 106460. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106460>
- Razavi, S., Janfaza, S., Tasnim, N., Gibson, D. L., & Hoorfar, M. (2021). Microencapsulating polymers for probiotics delivery systems: Preparation, characterization, and applications. *Food Hydrocolloids*, 120(April), 106882. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106882>
- Samtiya, M., Aluko, R. E., & Dhewa, T. (2020). Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an

- overview. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5>
- Santi, & Risal, M. (2021). Tingkat Kandungan Kalsium (Ca) dan Fosfor (P) dengan Penambahan Daun Pepaya (Carica papaya L .) dalam Ransum yang Di Fermentasi. *Jurnal Peternakan Lokal*, 3(2), 59–65.
- Sarkar, D., & Paul, G. (2019). a Study on Optimization of Lactic Acid Production From Whey by Lactobacillus Sp. Isolated From Curd Sample. *Research Journal of Life Sciences, Bioinformatics, Pharmaceutical and Chemical Sciences*, 5(2), 816–824. <https://doi.org/10.26479/2019.0502.6>
- Shamekhi, F., Tamjid, E., & Khajeh, K. (2018). Development of chitosan coated calcium-alginate nanocapsules for oral delivery of liraglutide to diabetic patients. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 460–467. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.078>
- Stanbury, P. F., Whitaker, A., & H., S. J. (2017). Chapter 2 - Microbial Growth Kinetics. In P. F. Stanbury, A. Whitaker, & S. J. H. (Eds.), *Principles of Fermentation Technology (Third Edition)* (Third Edit, pp. 21–74). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-099953-1.00002-8>.
- Terpou, A., Papadaki, A., Lappa, I. K., Kachrimanidou, V., Bosnea, L. A., & Kopsahelis, N. (2019). Nutrients-11-01591 (1).Pdf. *Nutrients*, 11(7), 32. <https://www.mdpi.com/2072-6643/11/7/1591>
- Thinkohkaew, K., Jonjaroen, V., Niamsiri, N., Panya, A., Suppavorasatit, I., & Potiyaraj, P. (2024). Microencapsulation of probiotics in chitosan-coated alginate/gellan gum: Optimization for viability and stability enhancement. *Food Hydrocolloids*. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109788>
- Tripathi, M. K., & Giri, S. K. (2014). Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. *Journal of Functional Foods*, 9(1), 225–241. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.04.030>
- Wahyuni, S., Budinuryanto, D. C., Supratman, H., & Suliantari. (2011). Respon Broiler Terhadap Pemberian Ransum Mengandung Dedak Padi Fermentasi oleh Kapang Aspergillus ficuum (Response of Broiler Fed on Diet Containing Fermented Rice Bran by Aspergillus ficuum). *Jurnal Ilmu Ternak*, 1(10), 26–31.
- Wang, C., Su, W., Zhang, Y., Hao, L., Wang, F., Lu, Z., Zhao, J., Liu, X., & Wang, Y. (2018). Solid-state fermentation of distilled dried grain with solubles with probiotics for degrading lignocellulose and upgrading nutrient utilization. *AMB Express*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0715-z>
- Wang, Y., Dong, Z., Song, D., Zhou, H., Wang, W., Miao, H., Wang, L., & Li, A. (2018). Effects of microencapsulated probiotics and prebiotics on growth performance, antioxidative abilities, immune functions, and caecal microflora in broiler chickens. *Food and Agricultural Immunology*, 29(1), 859–869. <https://doi.org/10.1080/09540105.2018.1463972>
- Yanuartono, Y., Nururrozi, A., & Indarjulianto, S. (2016). Fitat dan fitase : dampak pada hewan ternak. *Jurnal Ilmu-Ilmu Peternakan*, 26(3), 59–78. <https://doi.org/10.21776/ub.jiip.2016.026.03.09>
- Yilmaz, M. T., Taylan, O., Karakas, C. Y., & Dertli, E. (2020). An alternative way to

encapsulate probiotics within electrospun alginate nanofibers as monitored under simulated gastrointestinal conditions and in kefir. *Carbohydrate Polymers*, 244(February), 116447. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116447>

Zhang, Q., Ma, L., Cao, J., Zhuang, R., E, J., Yao, C., Wang, R., & Wang, J. (2023). Effects of the repair treatment on improving the heat resistance of *Lactiplantibacillus plantarum* LIP-1. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84(I), 1–19.