



Analisis Komparatif Pengaruh Faktor Lingkungan Abiotik dan Biotik terhadap Diversitas Flora Normal Ayam: Sebuah Tinjauan Sistematis

Lestari^{1*}, Rizki Amelia Nasution²

^{1,2} Biologi, Universita Islam Negeri Sumatera Utara, Indonesia

Penulis Korespondensi: Lestariashari17@gmail.com^{1}

Abstract. *The normal flora of chickens refers to the microbial communities that naturally inhabit the gastrointestinal tract and body surfaces of chickens, playing a crucial role in health, digestion, and immunity. This community consists of beneficial bacteria such as Lactobacillus, Bifidobacterium, and Bacillus, which assist in feed fermentation, vitamin synthesis, and inhibition of pathogenic growth. Additionally, the normal flora may include potential pathogenic bacteria such as Escherichia coli, Salmonella spp., and Campylobacter, which can cause diseases if microbial balance is disrupted. The diversity and balance of the microbiota are influenced by various abiotic factors, including feed quality, access to clean water, ambient temperature, humidity, and environmental hygiene. Biotic factors, such as microbial interactions, rearing systems, and contact with other animals, also play a significant role in determining microbial composition. Several studies have shown that the use of feed additives, such as probiotics and phytogenics, can enhance populations of beneficial bacteria while suppressing pathogenic bacteria. Extensive rearing systems, which provide chickens with more space and exposure to natural environments, tend to increase microbiota diversity compared to semi-intensive systems with more restricted conditions. Understanding these factors is essential for developing effective health management strategies and optimizing safe and sustainable poultry production.*

Keywords: Bacterial Diversity; Beneficial Microbes; Chicken Normal Flora; Gut Health; Rearing Management.

Abstrak. Flora normal ayam merupakan komunitas mikroba yang hidup secara alami di saluran pencernaan dan permukaan tubuh ayam, yang berperan penting dalam kesehatan, pencernaan, dan kekebalan ayam. Komunitas ini terdiri dari bakteri yang bermanfaat, seperti Lactobacillus, Bifidobacterium, dan Bacillus, yang membantu proses fermentasi pakan, sintesis vitamin, dan penghambatan pertumbuhan patogen. Selain itu, flora normal juga dapat mengandung bakteri patogen potensial seperti Escherichia coli, Salmonella spp., dan Campylobacter, yang dapat menimbulkan penyakit bila terjadi ketidakseimbangan mikroba. Keberagaman dan keseimbangan mikrobiota ini dipengaruhi oleh berbagai faktor abiotik, termasuk kualitas pakan, penggunaan air yang bersih, suhu kandang, kelembaban, serta kebersihan lingkungan. Faktor biotik, seperti interaksi antar mikroba, sistem pemeliharaan, dan kontak dengan hewan lain, juga berperan penting dalam menentukan komposisi mikroba. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan aditif pakan berupa probiotik dan fitogenik dapat meningkatkan populasi bakteri menguntungkan dan menekan pertumbuhan patogen. Sistem pemeliharaan ekstensif, yang memberikan ayam lebih banyak ruang bergerak dan paparan lingkungan alami, cenderung meningkatkan diversitas mikrobiota dibandingkan sistem semi-intensif yang lebih terbatas. Pemahaman mengenai faktor-faktor ini penting untuk strategi manajemen kesehatan ayam dan optimalisasi produksi yang aman serta berkelanjutan.

Kata kunci: Diversitas Bakteri; Flora Normal Ayam; Kesehatan Usus; Manajemen Pemeliharaan; Mikroba Menguntungkan.

1. LATAR BELAKANG

Ayam merupakan salah satu komoditas unggas yang paling banyak dikonsumsi di dunia, termasuk di Indonesia. Sebagai sumber protein hewani, ayam memiliki peran strategis dalam memenuhi kebutuhan gizi masyarakat karena ketersediaannya yang melimpah dan harga yang relatif terjangkau. Namun, di balik manfaatnya, ayam juga menjadi reservoir berbagai mikroorganisme, baik yang bersifat menguntungkan maupun patogen. Mikroorganisme tersebut secara alami hidup pada saluran pencernaan, kulit, dan permukaan tubuh ayam, serta

membentuk flora normal. Keberadaan flora normal ini sangat penting karena berfungsi menjaga keseimbangan ekosistem mikroba, meningkatkan efisiensi pencernaan, serta melindungi inang dari kolonisasi patogen melalui mekanisme kompetisi dan produksi senyawa antimikroba.

Lingkungan tempat ayam hidup dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu abiotik dan biotik. Lingkungan abiotik mencakup faktor-faktor fisik dan kimia seperti pakan, air, suhu, kelembaban, sanitasi, dan manajemen kandang. Sementara itu, lingkungan biotik mencakup interaksi antar mikroba, interaksi ayam dengan hewan lain, serta hubungan simbiotik atau antagonistik antar komunitas bakteri. Kedua lingkungan ini berkontribusi besar terhadap diversitas bakteri yang terbentuk dalam flora normal ayam. Perubahan sistem pemeliharaan ayam, termasuk intensifikasi peternakan dan penggunaan bahan tambahan pakan, turut memengaruhi keseimbangan mikrobiota. Studi-studi terbaru menunjukkan bahwa faktor lingkungan serta penggunaan feed additive seperti probiotik dan fitogenik dapat memodulasi komposisi mikrobiota ayam. Oleh karena itu, pemahaman tentang diversitas bakteri pada flora normal ayam dalam konteks lingkungan abiotik dan biotik menjadi penting untuk mendukung kesehatan ayam, meningkatkan produktivitas, dan menjamin keamanan pangan.

Berdasarkan urgensi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis dan diversitas bakteri yang terdapat pada flora normal ayam serta menganalisis pengaruh faktor lingkungan abiotik terhadap komposisi flora normal tersebut. Selain itu, kajian ini juga bertujuan mengkaji peran faktor lingkungan biotik dalam membentuk keseimbangan mikrobiota ayam dan menjelaskan hubungan antara diversitas bakteri flora normal dengan kesehatan serta produktivitas ayam. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah dalam upaya peningkatan kesehatan ayam dan keamanan pangan, serta memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu mikrobiologi veteriner dan peternakan unggas.

2. KAJIAN TEORITIS

Dinamika Flora Normal dan Kesehatan Saluran Cerna

Flora normal atau mikrobiota saluran cerna ayam memegang peranan vital dalam fungsi fisiologis, termasuk pencernaan nutrisi, metabolisme, dan regulasi sistem imun. Keseimbangan mikrobiota ini sangat dinamis dan rentan terhadap gangguan. Studi terbaru menunjukkan bahwa penggunaan antibiotik, meskipun efektif membunuh patogen, dapat menyebabkan penurunan drastis pada diversitas mikrobiota dan mengganggu stabilitas komunitas bakteri yang menguntungkan (Guo et al., 2025). Oleh karena itu, strategi modulasi mikrobiota tanpa

antibiotik menjadi fokus utama penelitian saat ini untuk menjaga integritas barier usus dan mencegah kolonisasi patogen.

Pengaruh Lingkungan Abiotik: Suhu dan Kualitas Air

Faktor abiotik, khususnya suhu lingkungan dan kualitas air, memiliki dampak langsung terhadap homeostasis mikrobiota. Pemanasan global yang memicu stres panas (heat stress) pada unggas telah terbukti mendisrupsi keseimbangan mikrobiota usus, yang berdampak pada penurunan performa pertumbuhan dan imunitas (Abo Ghanima et al., 2025). Lebih jauh, stres panas tidak hanya memengaruhi komposisi bakteri tetapi juga memicu perubahan respons serotonin enterik inang, yang berkorelasi dengan pergeseran profil mikrobiota sekum (Sun et al., 2025).

Selain suhu, kualitas air minum merupakan vektor krusial bagi masuknya mikroba. Analisis jangka panjang pada peternakan unggas menunjukkan bahwa air minum sering kali menjadi sumber kontaminasi kimiawi dan mikrobiologis yang signifikan (Rehm et al., 2024). Sebagai solusi, penggunaan air minum dengan konsentrasi asam hipoklorit rendah dilaporkan efektif menurunkan beban mikroba patogen dalam usus broiler tanpa mengganggu performa pertumbuhan secara keseluruhan (Al-Khalaifah, 2025).

Pengaruh Lingkungan Biotik: Sistem Pemeliharaan

Lingkungan biotik, yang mencakup interaksi ayam dengan lingkungan fisiknya melalui sistem pemeliharaan, sangat menentukan profil mikrobiota. Terdapat perbedaan signifikan antara mikrobiota ayam yang dipelihara secara intensif (kandang konvensional) dengan sistem alternatif (organik atau free-range). Penelitian menunjukkan bahwa sistem pemeliharaan memengaruhi barier usus dan metabolit mikroba; ayam pada sistem free-range cenderung memiliki paparan mikroba lingkungan yang lebih beragam yang dapat menstimulasi perkembangan mikrobiota yang lebih kaya (Bai et al., 2025; Krysiak et al., 2025). Studi komparatif pada berbagai ras ayam lokal juga mengonfirmasi bahwa faktor geografis dan metode pemeliharaan berkontribusi besar terhadap variasi struktur komunitas bakteri usus (Wang et al., 2023).

Modulasi Melalui Pakan: Fitogenik dan Probiotik

Untuk memitigasi dampak negatif lingkungan, penggunaan feed additive alami semakin berkembang. Aditif fitogenik (berbasis tanaman) terbukti mampu memodulasi kesehatan usus melalui mekanisme antioksidan dan antimikroba alami (Abd El-Hack et al., 2025). Suplementasi fitogenik tidak hanya meningkatkan bobot badan tetapi juga secara efektif menekan populasi bakteri patogen dalam usus (Al-Sagheer et al., 2023). Bahkan, penggunaan

fitogenik pada pakan dengan densitas energi rendah tetap mampu mempertahankan performa ayam broiler dan kesehatan usus yang optimal (El-Kholy et al., 2025).

Selain fitogenik, probiotik—khususnya dari genus *Bacillus*—menjadi strategi unggulan. *Bacillus subtilis* strain PS-216, misalnya, dilaporkan efektif meningkatkan produksi asam lemak rantai pendek (SCFA) dan memodulasi mikrobiota ke arah yang menguntungkan, yang berdampak positif pada kualitas daging (Smolinski et al., 2025). Pendekatan pemberian probiotik sejak dini, seperti metode *in ovo* (dalam telur) dan pemberian pakan awal (*early feeding*), terbukti memperkuat kesehatan usus dan produktivitas jangka panjang (Mazza et al., 2025). Tinjauan sistematis terbaru juga menegaskan bahwa probiotik tidak hanya memengaruhi kesehatan fisik, tetapi juga dapat memengaruhi perilaku dan kesejahteraan ayam melalui poros usus-otak (Puri et al., 2025).

3. METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi kepustakaan (*literature review*). Desain ini dipilih untuk mengkaji, mensintesis, dan mengonstruksi kerangka teoritis baru berdasarkan data empiris dari berbagai penelitian terdahulu. Fokus utama kajian adalah analisis komparatif mengenai pengaruh faktor lingkungan abiotik dan biotik terhadap diversitas bakteri pada flora normal ayam.

Sumber Data dan Strategi Pencarian

Data penelitian berupa data sekunder yang diperoleh dari artikel ilmiah bereputasi nasional dan internasional. Penelusuran literatur dilakukan melalui basis data elektronik seperti *Google Scholar*, *PubMed*, *ScienceDirect*, dan *Frontiers*. Strategi pencarian menggunakan kata kunci spesifik dan operator Boolean, antara lain: "*chicken gut microbiota*", "*normal flora*", "*abiotic stress in poultry*", "*rearing systems*", "*probiotics*", dan "*phytogenics*".

Kriteria Inklusi dan Seleksi Data

Pemilihan artikel dilakukan berdasarkan kriteria inklusi yang ketat untuk menjamin validitas dan kebaruan informasi:

- 1) Relevansi Topik: Artikel harus membahas secara spesifik tentang diversitas bakteri saluran cerna ayam (broiler, petelur, atau ayam kampung) dan hubungannya dengan faktor lingkungan.
- 2) Rentang Waktu: Prioritas diberikan pada artikel yang diterbitkan dalam kurun waktu 5 tahun terakhir (2020–2025) untuk menangkap tren penelitian mikrobiota terkini.

- 3) Tipe Artikel: Meliputi artikel penelitian asli (*original research*) dan artikel ulasan (*review article*).

Berdasarkan proses seleksi tersebut, ditetapkan sebanyak 20 artikel utama sebagai sampel literatur yang akan dianalisis secara mendalam dalam penelitian ini.

Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis isi (*content analysis*) dan sintesis naratif. Proses analisis dilakukan melalui tiga tahapan:

- 1) Ekstraksi Data: Mengidentifikasi temuan kunci dari setiap artikel terkait jenis bakteri (taksonomi), variabel lingkungan (suhu, pakan, sistem kandang), dan dampak kesehatan.
- 2) Kategorisasi: Mengelompokkan temuan ke dalam dua klaster utama, yaitu dampak lingkungan abiotik (fisik dan kimia) dan dampak lingkungan biotik (interaksi biologis dan manajemen).
- 3) Sintesis Komparatif: Membandingkan hasil temuan antar-studi untuk mencari pola persamaan (konsensus) atau perbedaan (kontradiksi), kemudian menyusunnya menjadi kesimpulan yang komprehensif mengenai strategi modulasi flora normal ayam.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan tinjauan sistematis terhadap 20 artikel terpilih, ditemukan bahwa diversitas flora normal ayam tidak berdiri sendiri, melainkan hasil dari interaksi dinamis antara tekanan lingkungan abiotik dan respons biotik inang. Berikut adalah analisis perbandingan mengenai dampak faktor-faktor tersebut.

Analisis Komparatif Faktor Abiotik: Stres Lingkungan vs. Intervensi Nutrisi

Hasil kajian menunjukkan adanya dikotomi dampak antara faktor fisik (suhu dan air) yang cenderung mendisrupsi, dengan intervensi pakan yang bersifat merestorasi keseimbangan mikrobiota.

a) Dampak Destruktif Suhu dan Kualitas Air: Studi menunjukkan bahwa faktor abiotik ekstrem seperti stres panas (*heat stress*) secara konsisten menurunkan diversitas mikrobiota menguntungkan. Penelitian Abo Ghanima et al. (2025) dan Sun et al. (2025) mengonfirmasi bahwa peningkatan suhu lingkungan mendisrupsi homeostasis usus dan memicu perubahan respons serotonin, yang berkorelasi dengan penurunan populasi *Lactobacillus*. Hal ini sejalan dengan temuan mengenai kualitas air, di mana air yang terkontaminasi menjadi vektor utama patogen *Salmonella* spp. dan *Campylobacter*. Namun, studi komparatif oleh Al-Khalaifah (2025) menemukan bahwa intervensi pada faktor abiotik ini, yaitu melalui pemberian air dengan asam hipoklorit konsentrasi rendah, mampu secara signifikan menurunkan beban

mikroba patogen tanpa merusak performa pertumbuhan, sebuah solusi yang berbeda dibandingkan penggunaan antibiotik konvensional.

b) Dampak Restoratif Pakan Fungsional: Berbeda dengan antibiotik yang terbukti menurunkan diversitas komunitas mikroba secara umum (Guo et al., 2025), penggunaan *feed additive* alami menunjukkan efek modulasi yang lebih spesifik dan aman.

Probiotik vs. Fitogenik: Analisis literatur menunjukkan bahwa probiotik (khususnya *Bacillus subtilis* dan *Lactobacillus*) bekerja dengan cara kompetisi ruang (eksklusi kompetitif) dan produksi asam lemak rantai pendek (SCFA) yang meningkatkan kualitas daging (Mazza et al., 2025; Smolinski et al., 2025). Sementara itu, fitogenik (ekstrak tanaman) memiliki mekanisme ganda: sebagai antimikroba alami terhadap patogen sekaligus antioksidan yang memperkuat barier usus (Abd El-Hack et al., 2025). Menariknya, El-Kholy et al. (2025) menemukan bahwa fitogenik tetap efektif menjaga kesehatan usus bahkan pada pakan dengan densitas energi rendah, menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan strategi pakan konvensional.

Analisis Komparatif Faktor Biotik: Sistem Pemeliharaan dan Genetika Inang

Perbandingan lintas studi memperlihatkan bahwa lingkungan tempat ayam dipelihara (biotik eksternal) memiliki pengaruh yang lebih dominan terhadap diversitas alfa mikrobiota dibandingkan genetika inang semata.

a) Sistem Intensif vs. Ekstensif: Terdapat konsensus yang kuat dalam literatur bahwa sistem pemeliharaan ekstensif (*free-range*) atau akses ke luar kandang meningkatkan kekayaan spesies bakteri. Susanti dan Christijanti (2022) serta Lengur et al. (2023) melaporkan diversitas yang lebih tinggi pada ayam kampung yang dipelihara secara umbaran dibandingkan sistem kandang. Temuan ini didukung oleh studi global terbaru dari Bai et al. (2025) dan Krysiak et al. (2025) yang menjelaskan mekanisme di baliknya: paparan terhadap tanah dan lingkungan alami memperkaya mikrobiota usus, yang pada gilirannya menstimulasi perkembangan sistem imun mukosa yang lebih tangguh. Sebaliknya, sistem intensif dengan kepadatan tinggi dan sanitasi buruk berkorelasi kuat dengan dominasi *Escherichia coli* dan *Salmonella* spp..

b) Profil Mikrobiota Ras Lokal vs. Komersial: Secara spesifik, Wang et al. (2023) menyoroti bahwa ayam ras lokal memiliki profil mikrobiota yang unik, didominasi oleh filum *Firmicutes* dan *Bacteroidota* yang efisien dalam fermentasi serat kasar. Hal ini berbeda dengan profil mikrobiota ayam broiler komersial yang sering kali mengalami disbiosis akibat tekanan seleksi genetik untuk pertumbuhan cepat dan penggunaan pakan yang sangat mudah dicerna.

Sintesis Temuan: Peta Interaksi Faktor Lingkungan

Untuk memperjelas hubungan antar-variabel yang ditemukan dalam kajian literatur ini, berikut disajikan tabel sintesis perbandingan dampak:

Tabel 1. intesis Perbandingan Dampak Faktor Lingkungan terhadap Flora Normal

Kategori Faktor	Variabel	Dampak terhadap Flora Normal	Mekanisme Utama	Referensi Kunci
Abiotik (Fisik)	Stres Panas (Heat Stress)	Menurunkan diversitas; Disbiosis	Perubahan respons serotonin & stres oksidatif	Abo Ghanima et al. (2025); Sun et al. (2025)
	Air Terkontaminasi	Meningkatkan patogen (Salmonella)	Transmisi oral-fekal	
Abiotik (Kimia)				Sujatmiko et al. (2023); Rehm et al. (2024)
Abiotik (Intervensi)	Fitogenik & Probiotik	Meningkatkan bakteri bermanfaat (LAB)	Eksklusi kompetitif & produksi SCFA	Daud et al. (2024); Puri et al. (2025)
Biotik	Sistem Ekstensif	Meningkatkan total diversitas (Richness)	Paparan mikroba lingkungan alami	Susanti (2022); Bai et al. (2025)
Biotik	Penggunaan Antibiotik	Menurunkan total diversitas	Pembunuhan non-selektif	Guo et al. (2025)

Implikasi terhadap Keamanan Pangan Tingginya prevalensi patogen *E. coli* (90%) dan *Salmonella* spp. (36%) pada ayam broiler di pasar tradisional mengindikasikan kegagalan barier flora normal dalam menahan kolonisasi patogen pada sistem pemeliharaan konvensional. Kajian ini menegaskan bahwa strategi manipulasi mikrobiota melalui kombinasi perbaikan faktor abiotik (sanitasi air, pakan fitogenik) dan biotik (sistem pemeliharaan yang memperhatikan kesejahteraan hewan) adalah langkah preventif yang lebih efektif dibandingkan penggunaan antibiotik untuk menjamin keamanan pangan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil tinjauan sistematis, dapat disimpulkan bahwa dinamika diversitas flora normal ayam sangat ditentukan oleh interaksi kompleks antara tekanan lingkungan abiotik dan respons biotik inang. Faktor abiotik, khususnya stres panas dan kontaminasi air minum, terbukti menjadi pemicu utama disbiosis yang meningkatkan kolonisasi patogen zoonosis seperti *Salmonella* spp. dan *Escherichia coli*. Sebaliknya, faktor biotik melalui penerapan sistem pemeliharaan ekstensif berkontribusi signifikan terhadap peningkatan kekayaan spesies

(species richness) mikrobiota yang memperkuat imunitas inang. Temuan krusial dari kajian ini menegaskan bahwa penggunaan pakan fungsional berbasis probiotik dan fitogenik merupakan strategi intervensi yang efektif untuk memodulasi keseimbangan usus dan merestorasi dampak negatif dari stres lingkungan tanpa bergantung pada antibiotik. Dengan demikian, integrasi manajemen lingkungan fisik yang ketat dengan strategi nutrisi presisi menjadi kunci utama dalam menjamin kesehatan unggas serta keamanan pangan nasional.

Berkaitan dengan temuan tersebut, disarankan kepada praktisi peternakan untuk memprioritaskan perbaikan sanitasi air minum dan mempertimbangkan penggunaan aditif pakan fitogenik atau probiotik secara rutin sebagai langkah preventif terhadap kolonisasi patogen. Bagi peneliti selanjutnya, direkomendasikan untuk memperluas kajian menggunakan teknologi sekuensing genetik tingkat lanjut (metagenomik) guna memetakan fungsi spesifik dari mikrobiota "unik" yang ditemukan pada ayam sistem ekstensif, serta melakukan studi longitudinal untuk memahami stabilitas flora normal dalam menghadapi fluktuasi iklim tropis.

DAFTAR REFERENSI

- Abd El-Hack, M. E., El-Saadony, M. T., Elbestawy, A. R., & El-Tarabily, K. A. (2025). Gut health modulation through phytochemicals in poultry: Mechanisms, benefits, and applications. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1616734. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1616734>
- Abo Ghanima, M. M., El-Hady, A. M., & Abd El-Hack, M. E. (2025). Heat stress and gut microbiome dynamics in poultry: Interplay, consequences, and mitigation strategies. *Research in Veterinary Science*, 168, 105–115.
- Al-Khalaifah, H. (2025). Low-concentration hypochlorous acid drinking water alleviates broiler gut microbial load while preserving overall growth performance. *Toxics*, 13(1), 48. <https://doi.org/10.3390/toxics13010048>
- Al-Sagheer, A. A., El-Hack, M. E. A., & Al-Naggar, K. (2023). Effects of phytochemical feed additives on body weight gain and gut bacterial load in broiler chickens. *World's Veterinary Journal*, 13(1), 205–213. <https://doi.org/10.54203/scil.2023.wvj22>
- Bai, S., Wang, Y., & Zhang, L. (2025). Multi-omics analysis of gut microbiota and metabolites reveals the effects of rearing systems on the duodenum and cecum gut barriers of Lueyang black-bone chickens. *Poultry Science*, 104(2), 103–115.
- Daud, M., Aman, M., Yaman, Z., & Mulyadi. (2024). Populasi mikroba pada saluran cerna ayam pedaging yang diberi probiotik dan fitogenik sebagai feed additive dalam ransum. *Jurnal Sain Veteriner*, 42(3). <https://doi.org/10.22146/jsv.78131>

- El-Kholy, M. S., El-Hindawy, M. M., & Al-Agamy, E. I. (2025). Effects of a natural phytogenic feed additive on broiler performance, carcass traits, and gut health under diets with optimal and reduced energy. *Poultry Science*, 104(3), 125402. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105014>
- Guo, Y., Li, X., & Zhang, Q. (2025). Effects of antibiotics on chicken gut microbiota: Community alterations and pathogen identification. *Frontiers in Microbiology*, 16, 1562510. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1562510>
- Handoko, S., Suhardi, E. C., & Wulandari, W. (2020). Evaluasi pola konsumsi dan gambaran mikroflora ayam petelur strain Lohman Brown fase II dengan pemberian pakan free choice feeding. *Tropical Animal Science*, 2(2). <https://doi.org/10.36596/tas.v2i2.371>
- Khairil, A., Ryan, A., & Ine, K. (2025). Screening and characterization of lactic acid bacteria from the gastrointestinal tract of a native chicken (*Gallus gallus* f. domesticus) as probiotics. *Biodiversitas*. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d260610>
- Krysiak, K., Konieczka, P., & Smulikowska, S. (2025). The chicken gut microbiome in conventional and alternative production systems: A review. *Poultry Science*, 104(4), 126288.
- Lengur, E. R. A., Jatmiko, Y. D., Arisoelaningsih, E., & Widodo, E. (2023). Microbial diversity and composition in the cecum of free-range chickens from East Nusa Tenggara: Environmental influences, beneficial bacteria, and food safety implications. *Journal of Tropical Life Science*, 13(2). <https://doi.org/10.11594/jtls.13.02.13>
- Mazza, F., Tellez-Isaias, G., & Dridi, S. (2025). Boosting broiler health and productivity: The impact of in ovo probiotics and early posthatch feeding with *Bacillus subtilis*. *Microorganisms*, 13(6), 1219. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13061219>
- Puri, A., Singh, P. K., & Kumar, A. (2025). Impact of probiotics on chicken gut microbiota, immunity, behavior, and productive performance: A systematic review. *Frontiers in Animal Science*, 6, 1562527. <https://doi.org/10.3389/fanim.2025.1562527>
- Rehm, K., Visscher, C., & Abd El-Wahab, A. (2024). Long-term analysis of drinking water quality in poultry and pig farms in Northwest Germany. *Frontiers in Animal Science*, 5, 1467287. <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1467287>
- Smolinski, D., Kaczmarek, S. A., & Rutkowski, A. (2025). Probiotic effect of *B. subtilis* PS-216 in broiler chickens: Modulation of weight, feed conversion, short chain fatty acids, microbiota and meat quality. *Scientific Reports*, 15, 2854.
- Sujatmiko, P. S., Noor, R. S., Siregar, Y. S., Amir, U., Mohtar, L., Lefiana, D., Engki, Z., & Suliha. (2023). Keberadaan *Escherichia coli* dan *Salmonella* spp. pada saluran pencernaan ayam broiler dari pasar tradisional dan implikasinya terhadap keamanan pangan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Peternakan Indonesia*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/ani12182460>
- Sun, Y., Liu, Y., & Song, Z. (2025). Heat stress in chickens induces temporal changes in the cecal microbiome concomitant with host enteric serotonin responses. *Frontiers in Physiology*, 16, 11889389.

- Susanti, R., & Christijanti, W. (2022). Pengaruh sistem pemeliharaan terhadap keanekaragaman mikrobiota usus dan respon imun pada ayam kampung (*Gallus gallus domesticus*) di Indonesia. *Biodiversitas*, 23. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230252>
- Wang, L., Li, J., & Wu, Y. (2023). Gut microbial diversity analysis of different native chickens and screening of chicken-derived probiotics. *Animals*, 13(23), 3672. <https://doi.org/10.3390/ani13233672>