Sibatik Journal
Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, dan Pendidikan
E-ISSN: 2809-8544

PENGARUH PEMBERIAN FERMENTASI EM- 4 DAN ENZIMATIS BATANG PISANG (*MUSA PARADISIACA*) TERHADAP KANDUNGAN PROTEIN DAN FRAKSI SERAT KASAR

THE EFFECT OF EM-4 AND ENZYMATIC FERMENTATION OF BANANA STEMS (MUSA PARADISIACA) ON PROTEIN CONTENT AND CRUDE FIBER FRACTION

Agni Ayudha Mahanani[1]*, Rifa'i[2]
Universitas Sulawesi Barat, Indonesia[1]
Universitas Kahuripan Kediri, Indonesia[2]
***Email Correspondence:** agniayudhamahanani@unsulbar.ac.id

Abstract

This study aimed to evaluate the impact of EM4 and Cellulase Enzyme supplementation on the crude protein content and crude fiber fractions (crude fiber, NDF, ADF, hemicellulose) of banana stems. The research was conducted at the Animal Husbandry Laboratory, Universitas Sulawesi Barat, with nutritional analyses performed at Si Cinta Feed Laboratory from July to August 2024. The study involved two distinct stages, each comprising five treatments, including a control group. EM4 and cellulase enzyme concentrations varied from 0.25% to 1%. A Completely Randomized Design (CRD) with five replicates was utilized, and data were analyzed using ANOVA followed by Duncan's multiple range test. Results indicated that EM4 supplementation significantly (P<0.01) increased crude protein and reduced fiber fractions. An optimal EM4 dosage of 0.75% yielded the best outcomes, decreasing crude fiber (9.05%), NDF (46.56%), ADF (29.9%), and hemicellulose (16.66%), while simultaneously increasing crude protein (7.1%). Similarly, cellulase enzyme treatment demonstrated a significant effect (P<0.01), enhancing crude protein and reducing fiber. The 0.75% enzyme dosage produced the lowest crude fiber (6.98%), NDF (40.20%), ADF (24.8%), and hemicellulose (15.4%) levels, alongside the highest crude protein content (8.87%). This research suggests the promising potential of EM4 and cellulase enzymes in enhancing the nutritional value of banana stems for feed.

Keywords: *Banana Stem, EM4, Protein, Crude Fiber Fractions.*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak penambahan EM4 dan Enzim Selulase pada kadar protein kasar dan fraksi serat kasar (serat kasar, NDF, ADF, hemiselulosa) batang pisang. Studi ini dilaksanakan di Laboratorium Peternakan Universitas Sulawesi Barat, dengan analisis nutrisi di Si Cinta Laboratorium Pakan dari Juli hingga Agustus 2024. Penelitian terbagi dalam dua tahap, masing-masing menggunakan lima perlakuan termasuk kontrol, dengan konsentrasi EM4 dan enzim selulase bervariasi dari 0,25% hingga 1%. Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan lima ulangan digunakan, dan data dianalisis menggunakan ANOVA diikuti uji Duncan. Hasil menunjukkan bahwa penambahan EM4 secara signifikan (P<0.01) meningkatkan protein kasar dan menurunkan fraksi serat. Dosis EM4 0,75% memberikan hasil optimal, dengan penurunan serat kasar (9,05%), NDF (46,56%), ADF (29,9%), hemiselulosa (16,66%), serta peningkatan protein kasar (7,1%). Demikian pula, perlakuan enzim selulase menunjukkan efek signifikan (P<0.01), meningkatkan protein kasar dan mengurangi serat. Dosis enzim 0,75% menghasilkan kadar serat kasar terendah (6,98%), NDF (40,20%), ADF (24,8%), hemiselulosa (15,4%), dan protein kasar tertinggi (8,87%). Penelitian ini mengindikasikan potensi EM4 dan enzim selulase dalam meningkatkan nilai nutrisi batang pisang sebagai pakan.

Kata kunci: Batang Pisang, EM4, Protein, Fraksi Serat Kasar.

DOI: https://doi.org/10.54443/sibatik.v4i7.3079

PENDAHULUAN

Penyediaan pakan menjadi salah satu tantangan krusial dalam keberlanjutan usaha peternakan modern. Fungsi pakan tidak hanya sekadar memenuhi kebutuhan hidup pokok ternak, melainkan juga menopang proses pertumbuhan, reproduksi, dan produksi secara optimal. Oleh karena itu, ketersediaan pakan yang memadai, baik dari segi kuantitas maupun kualitas, menjadi faktor penentu utama keberhasilan suatu usaha peternakan. Signifikansi pakan semakin diperkuat oleh dominasinya dalam struktur biaya produksi, yang dapat mencapai rentang 60% hingga 80% dari total pengeluaran operasional. Aspek kualitas pakan mutlak diperhatikan guna memastikan performa ternak mencapai potensi maksimal. Pakan yang ideal harus mengandung nutrisi esensial, tersedia dalam jumlah yang cukup, dan dapat diakses sepanjang tahun. Namun, realitas ketersediaan hijauan makanan ternak seringkali fluktuatif, melimpah pada musim hujan dan terbatas secara signifikan pada musim kemarau, sehingga menuntut adanya solusi alternatif untuk menjaga kontinuitas pasokan pakan (Purwaka et al. 2024).

Guna mengatasi keterbatasan hijauan makanan ternak, pengembangan bahan pakan alternatif menjadi strategi yang prospektif. Sumber bahan pakan alternatif dapat berasal dari beragam kategori, meliputi limbah pertanian, hasil sampingan dan limbah agro-industri, hasil ikutan dari sektor peternakan dan perikanan, serta bahan non-konvensional. Kriteria utama dalam pemilihan pakan alternatif adalah kandungan nutrisi yang sesuai dengan kebutuhan ternak, harga yang terjangkau, ketersediaan yang melimpah, dan kemudahan dalam pengadaan, sehingga tidak membebani biaya produksi secara signifikan. Pemanfaatan limbah pertanian, seperti limbah batang pisang, memiliki potensi besar untuk menjadi solusi inovatif dalam penyediaan pakan (Muhammad Ridhwan 2019). Hal ini disebabkan oleh karakteristik tanaman pisang yang mudah tumbuh di Indonesia tanpa memerlukan input pupuk dan pestisida intensif, serta siklus panen tunggal pada buahnya, menyisakan batang pisang sebagai limbah berlimpah.

Meskipun batang pisang menawarkan potensi besar sebagai bahan pakan alternatif, terdapat beberapa faktor pembatas yang perlu diatasi. Salah satu kendala utama adalah daya simpan yang rendah akibat kadar air yang sangat tinggi. Kandungan air yang berlebih mempercepat proses pembusukan, sehingga menuntut penanganan yang cepat dan tepat untuk mencegah degradasi kualitas. Selain itu, nilai nutrisi batang pisang menjadi pertimbangan penting. Batang pisang umumnya memiliki kadar protein yang rendah dan serat kasar yang tinggi. Lebih lanjut, kandungan NDF (Neutral Detergent Fiber) dan ADF (Acid Detergent Fiber) yang menyusun dinding sel relatif kompleks, sehingga sulit dicerna oleh ternak. Tingginya kadar NDF dan ADF, khususnya pada limbah pertanian dan hijauan berserat tua, dapat mengurangi kecernaan dan pemanfaatan nutrisi oleh ternak (Indah 2016).

Dinding sel tanaman, yang terdiri dari komponen seperti NDF dan ADF, memainkan peran krusial dalam penentuan nilai nutrisi pakan, terutama pada limbah pertanian dan hijauan berserat. NDF merepresentasikan total komponen dinding sel yang meliputi hemiselulosa, selulosa, dan lignin, sementara ADF merupakan fraksi serat yang lebih resisten terhadap pencernaan, terdiri dari selulosa dan lignin. Kandungan NDF dan ADF yang tinggi pada pakan dapat membatasi konsumsi sukarela ternak serta menurunkan tingkat

DOI: https://doi.org/10.54443/sibatik.v4i7.3079

kecernaan nutrisi esensial. Hal ini disebabkan oleh sifat komponen-komponen tersebut yang sulit dipecah oleh enzim pencernaan ternak. Oleh karena itu, penting untuk menyesuaikan kadar NDF dan ADF dalam formulasi pakan dengan kebutuhan spesifik ternak guna memastikan efisiensi pemanfaatan pakan yang optimal (Indah 2016).

Dalam konteks penyediaan pakan alternatif, khususnya yang berasal dari limbah pertanian seperti batang pisang, adaptasi nutrisi menjadi krusial. Konsep penyesuaian kandungan NDF dan ADF dengan kebutuhan ternak tidak hanya berlaku untuk pakan konvensional, melainkan menjadi lebih relevan ketika memanfaatkan sumber daya dengan karakteristik serat yang tinggi. Ternak memiliki kapasitas pencernaan serat yang berbeda-beda, tergantung pada spesies, usia, dan fase produksi. Misalnya, ruminansia memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mencerna serat dibandingkan monogastrik berkat keberadaan mikroorganisme dalam rumen mereka. Oleh karena itu, strategi formulasi pakan harus mempertimbangkan interaksi kompleks antara komposisi dinding sel pakan dengan kapasitas pencernaan spesifik ternak, guna memaksimalkan penyerapan energi dan nutrien, sekaligus menghindari potensi gangguan pencernaan atau penurunan performa.

Mengingat keterbatasan nutrisi dan daya simpan batang pisang, diperlukan upaya inovatif untuk meningkatkan nilai gizinya sebelum dapat dimanfaatkan secara optimal sebagai pakan ternak. Solusi yang paling menjanjikan adalah penerapan teknologi aplikasi yang mampu memodifikasi struktur kompleks dinding sel dan meningkatkan ketersediaan nutrisi. Dua pendekatan utama yang sering dipertimbangkan adalah fermentasi dan aplikasi enzimatis. Fermentasi, melalui aktivitas mikroorganisme, dapat memecah ikatan kompleks pada serat kasar, meningkatkan kecernaan, dan bahkan memperkaya pakan dengan protein mikroba. Sementara itu, perlakuan enzimatis menggunakan enzim spesifik dapat menghidrolisis polisakarida non-pati dan serat, sehingga mengurangi kandungan NDF dan ADF, serta meningkatkan aksesibilitas nutrien bagi ternak. Implementasi teknologi ini diharapkan dapat mengubah limbah batang pisang menjadi sumber pakan yang ekonomis dan berkualitas.

Integrasi teknologi fermentasi dan enzimatis dalam pengolahan batang pisang merupakan langkah progresif menuju pemanfaatan limbah pertanian secara lebih efektif. Pendekatan ini tidak hanya berpotensi mengatasi kendala nutrisi dan daya simpan, tetapi juga berkontribusi pada praktik peternakan yang lebih berkelanjutan dan efisien. Dengan meningkatkan nilai gizi limbah batang pisang, peternak dapat mengurangi ketergantungan pada pakan konvensional yang seringkali mahal dan fluktuatif harganya. Penelitian lebih lanjut perlu fokus pada optimasi parameter fermentasi dan dosis enzimatis yang tepat, serta evaluasi dampak jangka panjang terhadap performa dan kesehatan ternak. Keberhasilan dalam pengembangan pakan alternatif berbasis limbah pertanian akan membuka peluang baru dalam menekan biaya produksi dan meningkatkan profitabilitas usaha peternakan, sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular.

TINJAUAN PUSTAKA

Potensi Batang Pisang sebagai Bahan Pakan Ternak

DOI: https://doi.org/10.54443/sibatik.v4i7.3079

Batang pisang, sebagai produk samping dari industri pertanian pisang yang melimpah di daerah tropis, memegang potensi signifikan sebagai bahan pakan alternatif untuk berbagai jenis ternak, terutama ruminansia. Pemanfaatan limbah ini tidak hanya berkontribusi pada pengurangan volume limbah pertanian dan dampak lingkungan negatifnya, tetapi juga menawarkan solusi ekonomis untuk penyediaan pakan. Mengingat ketersediaan batang pisang yang kontinu sepanjang tahun di sentra-sentra produksi pisang, pengembangan teknologi pengolahan untuk meningkatkan nilai nutrisinya menjadi sangat relevan. Proses fermentasi, khususnya, telah terbukti menjadi metode yang efektif dalam meningkatkan kualitas pakan dari bahan berserat tinggi seperti batang pisang, membuka jalan bagi optimalisasi sumber daya lokal yang selama ini kurang termanfaatkan.

Analisis nutrisi batang pisang menunjukkan kandungan protein kasar bervariasi antara 3% hingga 12%, dengan serat kasar yang relatif tinggi, berkisar 29% hingga 42%, abu 25–26%, lemak rendah (1,7–1,8%), dan ekstrak tanpa nitrogen (18–28%) (Putra et al., 2023; Muhfahroyin et al., 2020). Selain makronutrien, batang pisang juga diketahui mengandung senyawa fitokimia bioaktif seperti flavonoid, tanin, saponin, dan terpenoid (Putra et al., 2023), yang berpotensi memberikan manfaat kesehatan tambahan bagi ternak. Untuk mengatasi keterbatasan daya cerna akibat tingginya serat kasar, metode fermentasi menggunakan enzim atau probiotik telah terbukti efektif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fermentasi secara signifikan dapat meningkatkan kandungan protein kasar dan menurunkan kadar serat kasar (Hasnudi et al., 2022; Reza et al., 2022; Asriany et al., 2020), sehingga meningkatkan nilai gizi dan daya cerna batang pisang.

Batang pisang yang telah difermentasi dapat diaplikasikan sebagai bahan pakan konsentrat atau komponen campuran pakan untuk berbagai ternak, termasuk sapi, kambing, domba, dan babi (Muhfahroyin et al., 2020; Gutiérrez et al., 2021; Seel-Audom et al., 2020). Penggunaan batang pisang yang diolah ini tidak hanya mempertahankan performa produksi ternak, tetapi dalam beberapa kasus, bahkan menunjukkan peningkatan pada morfologi usus babi ketika difermentasi (Gutiérrez et al., 2021; Seel-Audom et al., 2020). Studi juga menunjukkan bahwa kombinasi batang pisang fermentasi dengan konsentrat konvensional dapat meningkatkan kecernaan dan performa ternak secara keseluruhan dibandingkan dengan pemberian batang pisang murni (Seel-Audom et al., 2020). Durasi fermentasi optimal berkisar antara 7 hingga 14 hari dengan penambahan enzim atau jamur seperti Trichoderma sp. atau eco enzyme, yang secara konsisten menghasilkan peningkatan protein dan penurunan serat kasar (Hasnudi et al., 2022; Asriany et al., 2020).

Pemanfaatan batang pisang sebagai pakan ternak memiliki implikasi positif yang luas terhadap keberlanjutan lingkungan dan ekonomi pertanian. Dengan mengubah limbah pertanian menjadi sumber daya yang bernilai, praktik ini secara langsung berkontribusi pada pengurangan volume limbah yang menumpuk di lahan pertanian, sehingga meminimalisir potensi polusi lingkungan yang diakibatkan oleh dekomposisi biomassa yang tidak terkontrol (Reza et al., 2022). Lebih lanjut, integrasi limbah pisang dalam sistem produksi pakan ternak berpotensi menurunkan biaya pakan, yang pada gilirannya dapat meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan usaha tani secara keseluruhan (Gutiérrez et al., 2021; Reza et al., 2022). Strategi ini mendukung konsep ekonomi sirkular dalam pertanian, di mana limbah

DOI: https://doi.org/10.54443/sibatik.v4i7.3079

dari satu sektor dapat menjadi masukan berharga bagi sektor lain, menciptakan sistem yang lebih resilien dan ramah lingkungan.

Peran Fermentasi dalam Peningkatan Kualitas Pakan

Fermentasi telah diakui sebagai strategi krusial dalam meningkatkan kualitas pakan ternak, khususnya dalam mengonversi bahan baku bernutrisi rendah menjadi pakan yang lebih mudah dicerna, kaya gizi, dan aman bagi hewan. Proses ini tidak hanya meningkatkan ketersediaan nutrisi, tetapi juga secara signifikan mengurangi keberadaan faktor antinutrisi, yang pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan kesehatan dan performa produksi ternak secara keseluruhan (Tóth et al., 2025; Mukherjee et al., 2015; Wang et al., 2023; Haryuni et al., 2024). Melalui aktivitas mikroorganisme, senyawa kompleks dalam bahan pakan dipecah menjadi bentuk yang lebih sederhana, memfasilitasi penyerapan nutrisi yang lebih efisien oleh sistem pencernaan ternak. Optimalisasi pakan melalui fermentasi menawarkan solusi berkelanjutan untuk menghadapi tantangan ketersediaan pakan berkualitas tinggi dan menekan biaya produksi dalam industri peternakan.

Fermentasi memberikan beragam manfaat substantif bagi kualitas pakan ternak melalui beberapa mekanisme kunci. Pertama, proses ini meningkatkan ketersediaan nutrisi dengan memecah serat kasar dan makromolekul kompleks, sehingga protein, asam amino, dan peptida menjadi lebih mudah diserap (Tóth et al., 2025; Mukherjee et al., 2015; Wang et al., 2023; Haryuni et al., 2024). Kedua, fermentasi berperan dalam menurunkan faktor antinutrisi seperti tanin, fitat, trypsin inhibitor, dan gossypol, yang dapat menghambat pencernaan dan penyerapan nutrisi, sehingga pakan menjadi lebih aman dan efisien (Tóth et al., 2025; Mukherjee et al., 2015; Wang et al., 2023). Ketiga, pakan hasil fermentasi cenderung memiliki palatabilitas dan kecernaan yang lebih tinggi, yang secara langsung meningkatkan asupan pakan, pertumbuhan, dan efisiensi konversi pakan (Islam et al., 2024; Tóth et al., 2025; Fu et al., 2019; Zhao et al., 2025; Haryuni et al., 2024). Terakhir, fermentasi berkontribusi pada peningkatan kesehatan usus dan imunitas ternak dengan memperkaya kandungan probiotik dan asam organik, memperbaiki mikrobiota usus, dan memperkuat sistem kekebalan tubuh (Islam et al., 2024; Zhao et al., 2025; Ranjitkar & Sugiharto, 2018; Min et al., 2021).

Pemberian pakan fermentasi terbukti memiliki dampak positif yang signifikan terhadap performa dan kualitas produk ternak. Pada berbagai spesies seperti babi, unggas, dan ikan, suplementasi pakan fermentasi telah dilaporkan meningkatkan pertambahan bobot badan harian, efisiensi konversi pakan, serta kecernaan nutrisi secara keseluruhan (Islam et al., 2024; Tóth et al., 2025; Mukherjee et al., 2015; Fu et al., 2019; Zhao et al., 2025; Haryuni et al., 2024; Min et al., 2021). Selain itu, fermentasi juga dapat meningkatkan kualitas daging, yang mencakup perbaikan warna, pola marbling, dan rasa, serta mengurangi drip loss pada produk daging (Fu et al., 2019). Pada unggas dan ruminansia, suplementasi pakan fermentasi berkorelasi positif dengan peningkatan kesehatan saluran pencernaan, produksi susu, dan ketahanan tubuh terhadap penyakit (Haryuni et al., 2024; Ranjitkar & Sugiharto, 2018; Min et al., 2021). Oleh karena itu, penerapan teknologi fermentasi pada bahan pakan

DOI: https://doi.org/10.54443/sibatik.v4i7.3079

menawarkan potensi besar untuk mengoptimalkan produktivitas dan keberlanjutan sektor peternakan.

Peranan Enzim Selulase dalam Degradasi Serat

Enzim selulase memegang peranan fundamental dalam proses degradasi biomassa berserat, utamanya selulosa, yang merupakan polisakarida dominan pada dinding sel tumbuhan. Fungsi utama selulase adalah memutus ikatan β-1,4-glikosidik yang menyusun rantai panjang selulosa, menghasilkan unit-unit gula yang lebih sederhana, seperti glukosa. Proses ini krusial tidak hanya untuk pencernaan pada hewan, tetapi juga sangat relevan dalam berbagai aplikasi industri. Dengan mendegradasi struktur selulosa yang kompleks, selulase memfasilitasi akses terhadap nutrisi yang terkandung di dalam bahan berserat, sehingga meningkatkan ketersediaan energi dan senyawa bioaktif lainnya. Efisiensi kerja selulase sangat memengaruhi nilai guna limbah lignoselulosa dalam sistem biologis maupun industri.

Degradasi selulosa oleh selulase merupakan proses kompleks yang melibatkan aksi sinergis dari beberapa sub-enzim utama. Secara umum, selulase terdiri dari endoglukanase, eksoglukanase, dan β-glukosidase. Endoglukanase bekerja memutus ikatan glikosidik secara acak di tengah rantai selulosa, menciptakan fragmen yang lebih pendek. Selanjutnya, eksoglukanase menyerang dari ujung rantai selulosa, melepaskan unit-unit disakarida atau monosakarida. Terakhir, β-glukosidase menghidrolisis disakarida, seperti selobiosa, menjadi unit glukosa tunggal yang siap dimanfaatkan (Banerjee et al., 2024; Kosugi et al., 2005; Granada et al., 2022). Dalam beberapa sistem, seperti cellulosome, enzim-enzim ini bekerja secara terkoordinasi pada tingkat nanoskopis, memaksimalkan efisiensi degradasi serat (Seelich et al., 2021).

Perlakuan bahan berserat dengan enzim selulase memberikan dampak signifikan pada komposisi dan sifat fisik serat. Aktivitas selulase secara efektif menurunkan kandungan selulosa, hemiselulosa, dan bahkan dapat memengaruhi struktur lignin secara tidak langsung. Hasil degradasi ini adalah peningkatan porositas serat dan eksposur situs pengikatan, yang secara kolektif meningkatkan kapasitas serat dalam menahan air dan minyak, serta kemampuan menyerap kolesterol (Lin et al., 2020). Lebih lanjut, degradasi serat oleh selulase secara langsung meningkatkan kecernaan serat kasar dan fraksi polisakarida non-pati pada bahan pakan. Hal ini memungkinkan ternak untuk memanfaatkan nutrisi yang sebelumnya tidak dapat diakses, berujung pada peningkatan efisiensi pakan dan performa produksi (Fu et al., 2024; Duan et al., 2022).

Enzim selulase memiliki spektrum aplikasi yang sangat luas, melampaui bidang pakan ternak. Kemampuannya untuk mendegradasi limbah lignoselulosa menjadikannya agen kunci dalam industri biofuel (konversi biomassa menjadi etanol), tekstil (pengolahan kain dan denim finishing), serta pengolahan limbah (penguraian materi organik) (Banerjee et al., 2024; Krishnan et al., 2022; Roy et al., 2020). Dalam sektor pakan, penggunaan selulase, baik sebagai aditif langsung maupun dalam proses ensilase atau fermentasi, secara signifikan meningkatkan ketersediaan energi dan nutrisi dari bahan pakan berserat bagi ternak (Fu et al., 2024; Duan et al., 2022). Oleh karena itu, enzim selulase esensial dalam mengubah

DOI: https://doi.org/10.54443/sibatik.v4i7.3079

biomassa berserat yang semula memiliki nilai rendah menjadi produk bernilai tambah tinggi, berkontribusi pada keberlanjutan dan efisiensi di berbagai sektor industri.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Universitas Sulawesi Barat, dengan fokus pada proses fermentasi dan enzimatis batang pisang. Analisis kandungan protein dan fraksi serat kasar sampel dilakukan di Laboratorium Pakan Si Cinta. Pelaksanaan penelitian dijadwalkan pada Juli hingga Agustus 2024, mencakup tahapan persiapan bahan dan alat, eksperimen, pengumpulan data primer dan sekunder, analisis statistik, serta penyusunan laporan. Lokasi pengambilan batang pisang sebagai objek penelitian adalah perkebunan masyarakat di Kota Majene, yang memanfaatkan limbah batang pisang pasca-panen buah yang sudah tidak produktif. Tujuan penelitian ini adalah mengoptimalkan pemanfaatan limbah pertanian melalui peningkatan nilai nutrisinya sebagai pakan. Menurut Sugiyono (2009), penelitian yang baik harus dilaksanakan secara sistematis, meliputi tahapan yang jelas dari perencanaan hingga pelaporan.

Bahan utama yang digunakan adalah batang pisang (Musa spp.) dari perkebunan rakyat di Kota Majene, yang merupakan limbah biomassa melimpah. Bahan pendukung meliputi dedak padi, enzim selulase, Effective Microorganism 4 (EM4), dan aquades dari pemasok lokal. Sampel batang pisang fermentasi digunakan untuk analisis kandungan protein dan fraksi serat kasar. Peralatan yang digunakan dalam proses fermentasi meliputi timbangan digital, parang, talenan, baskom, plastik kedap udara, selotip, alat tulis, kamera, sarung tangan, termometer, pH meter, gelas ukur 500 ml, dan pipet tetes. Penggunaan peralatan yang akurat dan kondisi eksperimen yang terkontrol sangat penting untuk memastikan reliabilitas data. Sugiyono (2009) menekankan bahwa pemilihan bahan dan alat yang tepat merupakan aspek krusial dalam keberhasilan suatu penelitian eksperimental.

Penelitian ini mengadopsi Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan lima perlakuan dan lima ulangan untuk menjamin validitas statistik dan reliabilitas hasil. Dua set perlakuan utama diterapkan: penambahan EM4 dan penambahan enzim selulase. Kombinasi perlakuan EM4 (BPF0-BPF4) dan enzim selulase (BPE0-BPE4) dirancang untuk mengevaluasi dampak berbagai konsentrasi aditif terhadap kualitas nutrisi. Batang pisang dipotong ± 5 cm, dikeringkan hingga kadar air 60-70%, kemudian ditimbang 100 gram per unit. EM4/enzim, dedak, dan aquades ditambahkan sesuai persentase, dicampur homogen, dan difermentasi anaerob selama lima hari. Setelah fermentasi, sampel dianalisis kandungan protein, serat kasar (SK), NDF, ADF, dan hemiselulosa. Menurut Sugiyono (2009), rancangan penelitian yang jelas dan prosedur yang terstandarisasi adalah fundamental untuk menghasilkan data yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Protein Kasar (PK)

Kandungan protein kasar dari fermentasi dan enzimatis batang pisang dengan penambahan EM4 dan selulase disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Kandungan Protein kasar Fermentasi EM4 dan Enzimatis batang pisang

DOI: https://doi.org/10.54443/sibatik.v4i7.3079

Protein Kasar Fermentasi EM4		Protein Kasar Enzimatis	
Perlakuan	**Rata-rata**	**Perlakuan**	**Rata-rata**
BPF0	4,58a	BPE0	4,58a
BPF1	5,23b	BPE1	7,61b
BPF2	6,55c	BPE2	7,74c
BPF3	7,1e	BPE3	8,87e
BPF4	6,98d	BPE4	8,56d

Keterangan: Superskrip yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perlakuan berpengaruh nyata (p<0,05)

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan penambahan EM4 dan enzim selulase secara signifikan memengaruhi (p<0,05) kandungan protein kasar batang pisang. Konsentrasi enzim selulase pada perlakuan BPE3 menghasilkan nilai protein kasar tertinggi sebesar 8,56%, meskipun tidak berbeda nyata dengan perlakuan EM4 pada BPF3 yang mencapai 7,1%. Peningkatan kadar protein kasar ini konsisten pada level penambahan 0,25% hingga 0,75% untuk kedua aditif, namun terjadi penurunan pada level 1%. Penurunan pada konsentrasi tertinggi ini kemungkinan diakibatkan oleh durasi fermentasi yang optimal terlampaui. Uji Duncan lebih lanjut mengonfirmasi bahwa perlakuan BPF3 dan BPE3 secara signifikan (p<0,05) menghasilkan protein kasar yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya, menunjukkan efektivitas kedua aditif dalam batas konsentrasi tertentu.

Peningkatan kandungan protein kasar ini dapat dijelaskan oleh aktivitas mikroba yang intens, baik dari EM4 maupun enzim selulase. Menurut Hendra (2011), peningkatan protein kasar disebabkan oleh kemampuan mikroba untuk mengikat nitrogen dari lingkungan dan menggunakannya sebagai bahan dasar sintesis protein seluler mereka. Bakteri, sebagai protein sel tunggal, secara efisien mengubah substrat menjadi biomassa protein, yang pada gilirannya meningkatkan total kadar protein kasar pada limbah biomassa. Khususnya untuk enzim selulase, peningkatan protein juga dikaitkan dengan kemampuannya merusak struktur dinding sel tumbuhan. Selulase memecah ikatan lignoselulosa dan mengurangi kadar lignin, sehingga melepaskan protein yang sebelumnya terikat dan tidak dapat diakses, seperti yang dijelaskan oleh Mahanani et al. (2020), sehingga meningkatkan persentase protein kasar yang terukur.

Meskipun terjadi peningkatan protein pada konsentrasi optimal, penelitian ini juga mengamati penurunan kandungan protein kasar pada perlakuan BPF4 dan BPE4 (level 1%). Fenomena ini diyakini berkaitan dengan durasi fermentasi yang lebih lama, yang pada tahap tertentu dapat menyebabkan degradasi protein. Mikroorganisme, baik bakteri maupun jamur, mampu menghasilkan enzim proteolitik yang dapat memecah ikatan protein menjadi bentuk yang lebih sederhana atau bahkan merusak struktur protein, sehingga mengurangi kadar protein kasar total. Indah (2016) menyatakan bahwa penurunan kadar protein kasar dapat disebabkan oleh aktivitas bakteri Clostridia yang memecah protein dan membentuk amonia. Beberapa mikroorganisme anaerob juga dapat memanfaatkan protein sebagai sumber energi,

DOI: https://doi.org/10.54443/sibatik.v4i7.3079

menghasilkan senyawa volatil seperti asam lemak rantai pendek dan gas metana, dengan sebagian kecil protein hilang dalam prosesnya (Afifah & Sopiany, 2017).

Serat Kasar (SK)

Kandungan Serat Kasar dari batang pisang dengan penambahan EM4 dan enzim Seulase disajikan dalam tabel 2.

Tabel 2. Kandungan Serat Kasar Fermentasi EM4 dan Enzimatis batang pisang

Serat Kasar Fermentasi EM4		Serat Kasar Enzimatis	
Perlakuan	**Rata-rata**	**Perlakuan**	**Rata-rata**
BPF0	16,89d	BPE0	16,89e
BPF1	14,5c	BPE1	10,33d
BPF2	11b	BPE2	9,70c
BPF3	9,05a	BPE3	6,98a
BPF4	9,44a	BPE4	7,66b

Keterangan: Superskrip yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perlakuan berpengaruh nyata (p<0,05)

Analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh nyata atau signifikan (p<0,05) terhadap penambahan EM4 dan Enzim selulose. Kandungan Serat Kasar terendah seperti pada tabel 2. Penambahan enzim selulose (BPE3) dengan rata-rata nilai kandungan sebesar 6,98% namun tidak berbeda nyata penambaan EM4 (BPF3) dengan nilai rata-rata kandungan sebesar 9,65%. Penambahan EM4 dan Enzim Selulase dengan level 0,25%-1% berpengaruh nyata (p<0,05) terhadap menurunnya kandungan Serat Kasar batang pisang.

Neutral Detergent Fiber (NDF)

Kandungan NDF dari batang pisang dengan penambahan EM4 dan enzim Seulase disajikan dalam tabel 3.

Tabel 3. Kandungan NDF Fermentasi EM4 dan Enzimatis batang pisang

NDF Fermentasi EM4		NDF Enzimatis	
Perlakuan	**Rata-rata**	**Perlakuan**	**Rata-rata**
BPF0	64,12e	BPE0	64,12e
BPF1	60,72d	BPE1	54,63c
BPF2	60,12c	BPE2	60,40d
BPF3	46,56a	BPE3	40,20a
BPF4	50,80b	BPE4	45,45b

Keterangan: Superskrip yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perlakuan berpengaruh nyata (p<0,05)

Analisis Ragam menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh nyata atau signifikan (p<0,05) terhadap penambahan EM4 dan Enzim selulose. Kandungan NDF terendah seperti pada tabel 2. Penambahan enzim selulose (BPE3) dengan rata-rata nilai kandungan sebesar 40,20% namun tidak berbeda nyata penambaan EM4 (BPF3) dengan nilai rata-rata

DOI: https://doi.org/10.54443/sibatik.v4i7.3079

kandungan sebesar 46,56%. Penambahan EM4 dan Enzim Selulase dengan level 0,25%-1% berpengaruh nyata (p<0,05) terhadap menurunnya kandungan NDF fermentasi batang pisang. Kandungan NDF berkaitan dengan kecernaannya, dimana semakin tinggi nilai NDF maka semakin rendah kecernaannya.

Nilai NDF yang rendah menunjukkan potensi kecernaan yang tinggi dan memiliki potensi yang baik sebagai pakan. Nilai NDF yang paling berpengaruh adalah pada penambahan Enzim selulosa karena Enzim selulase secara spesifik memecah selulosa, sementara hemiselulase memecah hemiselulosa yang merupakan kompenen dari NDF. NDF terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Karena enzim ini dirancang untuk memecah struktur kompleks serat (selulosa dan hemiselulosa). Hal ini, enzim selulase merupakan enzim yang dapat merombak selulosa katalis dengan proses kerja yang sinergis mengubah selulosa menjadi glukosa (Santos et al. 2012). Degradasi enzim bekerja dengan cara yang sangat efisien dan langsung, menghasilkan penurunan NDF yang signifikan karena kemampuan mereka untuk memecah ikatan glikosidik dalam selulosa dan hemiselulosa, mengubahnya menja di gula yang lebih sederhana yang dapat digunakan hewan atau mikroorganisme sedangkan pada penambaan EM4 degraradasi bekerja dengan cara cenderung lebih lambat dan tidak sebesar penurunan yang disebabkan oleh enzim.

Acid Detergent Fiber (ADF)

Kandungan ADF dari batang pisang dengan penambahan EM4 dan enzim Selulase disajikan dalam tabel 4.

Tabel 4. Kandungan ADF Fermentasi EM4 dan Enzimatis batang pisang

ADF Fermentasi EM4		ADF Enzimatis	
Perlakuan	**Rata-rata**	**Perlakuan**	**Rata-rata**
BPF0	33,09b	BPE0	33,09c
BPF1	41,18d	BPE1	37,83d
BPF2	41,62e	BPE2	43,85e
BPF3	29,9a	BPE3	24,8a
BPF4	33,42c	BPE4	29,56b

Keterangan: Superskrip yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perlakuan berpengaruh nyata (p<0,05)

Analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh nyata atau signifikan (p<0,05) terhadap penambahan EM4 dan Enzim selulose. Kandungan ADF terendah seperti pada tabel 5. Penambahan enzim selulose (BPE3) dengan rata-rata nilai kandungan sebesar 24,8% namun tidak berbeda nyata penambaan EM4 (BPF3) dengan nilai rata-rata kandungan sebesar 29,9%. Penambahan EM4 dan Enzim Selulase dengan level 0,25%-1% berpengaruh nyata (p<0,05) terhadap menurunnya kandungan ADF fermentasi batang pisang. Hal ini disebabkan terurainya ADF menjadi turun menurut Karim (2014) menurunnya ADF disebabkan terjadinya penguraian kandungan ADF menjadi senyawa yang lebih sederhana dan mudah larut. Penurunan kadar ADF terjadi karena perombakan dinding sel yang Sebagian besar selulosa menjadi komponen yang lebih sederhana yaitu hemiselulosa dan

DOI: https://doi.org/10.54443/sibatik.v4i7.3079

glukosa selama proses biokenversi. Sesuai dengan (Putri 2020) penurunan kandungan ADF bahan pakan setelah diberi perlakuan fermentasi dengan mikroba terjadi karena adanya pemutusan ikatan lignoselulosa yang berkomponennnya terdiri dari lignin, selulosa dan hemiselulosa akibat aktifitas mikroba yang terus berkembang selama proses fermentasi.

Hemiselulosa

Kandungan Hemiselulosa dari batang pisang dengan penambahan EM4 dan enzim Seulase disajikan dalam tabel 5.

Tabel 5. Kandungan Hemiselulosa Fermentasi EM4 dan Enzimatis batang pisang

Hemiselulosa Fermentasi EM4		Hemiselulosa Enzimatis	
Perlakuan	**Rata-rata**	**Perlakuan**	**Rata-rata**
BPF0	31,03e	BPE0	33,03e
BPF1	19,54d	BPE1	16,99d
BPF2	18,5c	BPE2	16,55c
BPF3	16,66a	BPE3	15,4a
BPF4	17,38b	BPE4	15,89b

Keterangan: Superskrip yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perlakuan berpengaruh nyata (p<0,05)

Analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh nyata atau signifikan (p<0,05) terhadap penambahan EM4 dan Enzim selulose. Kandungan Hemiselulosa terendah seperti pada tabel 5. Penambahan enzim selulose (BPE3) dengan rata-rata nilai kandungan sebesar 15,4% namun tidak berbeda nyata penambaan EM4 (BPF3) dengan nilai rata-rata kandungan sebesar 16,66%. Penambahan EM4 dan Enzim Selulase dengan level 0,25%-1% berpengaruh nyata (p<0,05) terhadap menurunnya kandungan Hemiselulosa batang pisang. Hal ini disebabkan Hemiselulosa turun menurut (Pratama 2014), menurunnya kandungan Hemiselulosa disebabkan tleh terjadinya perenggangan ikatan lignohemiselulosa selama proses fermentasi, sehingga memudahkan penetrasi enzim hemiselulase untuk mencerna hemiselulosa menajdi sumber energi bagi mikroorganisme..

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penambahan Effective Microorganism (EM4) dan Enzim Selulase pada substrat batang pisang secara signifikan memengaruhi profil nutrisi. Konsentrasi EM4 dan enzim selulase dalam rentang 0,25% hingga 1% terbukti efektif dalam meningkatkan kandungan protein kasar dan pada saat yang bersamaan menurunkan fraksi serat kasar, termasuk Neutral Detergent Fiber (NDF), Acid Detergent Fiber (ADF), dan hemiselulosa. Peningkatan protein kasar mengindikasikan adanya sintesis biomassa mikroba dan pemecahan protein kompleks, sementara penurunan fraksi serat menunjukkan peningkatan kecernaan dan ketersediaan nutrisi. Temuan ini menyoroti potensi besar limbah batang pisang sebagai sumber pakan alternatif yang lebih bernilai setelah melalui proses fermentasi dan enzimatis.

DOI: https://doi.org/10.54443/sibatik.v4i7.3079

Lebih lanjut, dari berbagai perlakuan yang diuji, penambahan Enzim Selulase menunjukkan hasil yang paling optimal dalam meningkatkan kualitas nutrisi batang pisang. Secara spesifik, perlakuan BPE3, dengan konsentrasi enzim selulase tertentu, memberikan performa terbaik. Perlakuan ini berhasil meningkatkan kadar protein kasar hingga 8,87%, sebuah peningkatan yang substansial dibandingkan kontrol. Selain itu, BPE3 juga secara efektif menurunkan fraksi serat kasar, mencapai 6,98% untuk serat kasar, 40,20% untuk NDF, 24,8% untuk ADF, dan 15,4% untuk hemiselulosa. Data ini mengindikasikan bahwa enzim selulase pada konsentrasi optimal mampu mendegradasi komponen serat secara efisien, sehingga meningkatkan nilai gizi dan potensi pemanfaatan batang pisang sebagai pakan ternak yang lebih berkualitas.

Saran

Penulis menyarankan untuk memperluas studi tentang aplikasi Effective Microorganism (EM-4) dan Enzim Selulase pada batang pisang sebagai pakan alternatif, terutama pada skala yang lebih besar untuk memvalidasi efektivitasnya di luar kondisi laboratorium. Penelitian selanjutnya dapat mencakup pengujian pada berbagai varietas batang pisang dan optimasi konsentrasi EM-4 serta enzim selulase secara lebih presisi, bertujuan mencapai peningkatan nutrisi maksimal dengan efisiensi biaya. Sangat penting juga untuk menyelidiki dampak jangka panjang pemberian batang pisang yang difermentasi dan dienzimatisasi terhadap performa produksi ternak, seperti pertambahan bobot badan, efisiensi pakan, dan kesehatan hewan secara keseluruhan. Analisis ekonomi mengenai kelayakan komersial produksi pakan ini juga direkomendasikan, dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, biaya operasional, dan potensi nilai jual produk.

DAFTAR PUSTAKA

Afifah, I., and H. M. Sopiany. 2017. “Penurunan Produksi Gas MetanaDari Cairan Rumen Kerbau Dengan Substrat Jerami SorgumMenggunakan Bakteri Denitrifikasi Aktif Dan Inaktif.” 87(1,2): 149–200.

Asriany, A., , I., & Islamiyati, R. (2020). Nutritive value of banana stem with applicative technology Trichoderma sp. as ruminant feed. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 492. https://doi.org/10.1088/1755-1315/492/1/012016.

Banerjee, P., Sutaoney, P., Sinha, S., Choudhary, R., Singh, S., Gupta, A., & Rai, S. (2024). Current perspective in research and industrial applications of microbial cellulases.. International journal of biological macromolecules, 130639. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130639.

Duan, Y., Liu, S., Wang, J., Shang, Z., Bao, C., Dong, B., & Cao, Y. (2022). Complete genome sequencing and investigation on the fiber-degrading potential of Bacillus amyloliquefaciens strain TL106 from the tibetan pig. BMC Microbiology, 22. https://doi.org/10.1186/s12866-022-02599-7.

Fu, J., Zhu, L., Jin, M., Li, Z., Xu, B., & Wang, Y. (2019). Overall assessment of fermented feed for pigs: a series of meta-analyses.. Journal of animal science. https://doi.org/10.1093/jas/skz350.

Fu, Z., Wang, Y., Zhong, J., Liu, S., Wang, T., Jin, S., Hu, J., Yun, F., Xia, T., Tahir, M., Zhang, X., Teng, K., & Wang, S. (2024). Lactobacillus cocktail and cellulase synergistically improve the fiber transformation rate in Sesbania cannabina and sweet sorghum mixed silage. Chemical and Biological Technologies in Agriculture. https://doi.org/10.1186/s40538-024-00605-w.

Granada, C., Domingues, S., & Timmers, L. (2022). Cellulase production by bacteria is a strain-specific characteristic with a high biotechnological potential. A review of cellulosome of highly studied strains. Cellulose, 29, 8065 - 8083. https://doi.org/10.1007/s10570-022-04790-5.

H., Aziez, A., & Priyadi, S. (2024). Addition To Green-Based Feed Preparations With Fermentation Technology Innovation Good Ruminant Feeding Practices. Journal of Community Capacity Empowerment. https://doi.org/10.36728/jcce.v2i1.3113.

H., Ginting, N., & Hidayat, S. (2022). Effect of Fermentation Duration and Dosage of Eco Enzyme Use on Nutrient Content of Kepok Banana Stem (Musa Paradisiaca L.). Jurnal Peternakan Integratif. https://doi.org/10.32734/jpi.v9i3.7579.

Indah, Andi Sukma. 2016. "Kandungan Protein Serat Kasar Dan Serat Kasar Silase Pakan Lengkap Berbahan Utama Batang Pisang (Musa Paradisiaca) Dengan Lama Inkubasi Yang Berbeda." Skripsi 15(1): 165–75. https://core.ac.uk/download/pdf/196255896.pdf.

Islam, S., Siddik, M., Francis, D., & Julien, B. (2024). Fermentation in aquafeed processing: Achieving sustainability in feeds for global aquaculture production. Reviews in Aquaculture. https://doi.org/10.1111/raq.12894.

Kosugi, A., Inui, M., Yukawa, H., Cho, H., Doi, R., & Koukiekolo, R. (2005). Degradation of Corn Fiber by Clostridium cellulovorans Cellulases and Hemicellulases and Contribution of Scaffolding Protein CbpA. Applied and Environmental Microbiology, 71, 3504 - 3511. https://doi.org/10.1128/AEM.71.7.3504-3511.2005.

Krishnan, M., Saharay, M., & Penneru, S. (2022). CelS-Catalyzed Processive Cellulose Degradation and Cellobiose Extraction for the Production of Bioethanol. Journal of chemical information and modeling. https://doi.org/10.1021/acs.jcim.2c00239.

Lin, B., Zhang, H., Liu, Y., Yi, C., & Quan, K. (2020). Chemical composition, structure, physicochemical and functional properties of rice bran dietary fiber modified by cellulase treatment.. Food chemistry, 128352. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128352.

Mahanani, A A, I H Djunaidi, and O Sjofjan. 2020. "Nutrient Content of Cocoa Husk by Cellulose Treatment." Research Journal of Advanced … 5(1): 270–73. http://irjaes.com/wp- content/uploads/2020/10/IRJAES-V5N1P262Y20.pdf.

Min, Y., Li, J., Liu, Y., Guo, L., Feng, J., Lv, J., & Wang, Y. (2021). Fermented Corn–Soybean Meal Mixed Feed Modulates Intestinal Morphology, Barrier Functions and

Cecal Microbiota in Laying Hens. Animals : an Open Access Journal from MDPI, 11. https://doi.org/10.3390/ani11113059.

Muhammad Ridhwan. 2019. "Kandungan Fraksi Serat Silase Tanaman Kiambang (Salvinia Molesta) Yang Difermentasi Dengan Efektive Microorganisme (EM4) Dengan Level Yang Berbeda." skripsi.Program Studi Peternakan.Fakultas Pertanian Dan Peternakan.Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Pekanbaru.

Muhfahroyin, M., Devri, A., & Santoso, H. (2020). MANFAAT BATANG PISANG DAN AMPAS TAHU SEBAGAI PAKAN KONSENTRAT TERNAK SAPI. BIOLOVA. https://doi.org/10.24127/biolova.v1i1.33.

Mukherjee, R., Dutta, A., & Chakraborty, R. (2015). Role of Fermentation in Improving Nutritional Quality of Soybean Meal — A Review. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 29, 1523 - 1529. https://doi.org/10.5713/ajas.15.0627.

Pratama, J. 2014. "Kandungan ADF, NDF Dan Hemiselulosa Pucuk Tebu (Saccharumofficinarum L) Yang Difermentasi Dengan Kalsium Karbonat, Urea Dan Molases." Fakultas Peternakan Universitas Hasanuddin Makasar, Makasar. doi:10.3390/ani11061713.

Purwaka, Muhammad Imam, Syarifuddin, N, A, Habibah, H, Rizqiana, and S. 2024. "Kandungan Fraksi Serat Silase Batang Pisang Kepok (Musa Paradisiaca Acuminata Balbisiana) Yang Diberi Effective Microorganism 4 (Em4) Pada Level Yang Berbeda." JURNAL PENELITIAN PETERNAKAN LAHAN BASAH 4(2): 29–36.

Putra, B., Handayani, U., Narwastu, A., Endayani, A., & Sanjaya, R. (2023). Banana Waste (Musa acuminata Cavendish Subgroup) as A Sources Eco-Feed for Ruminants in Lampung Province: Potential and Nutrient Content. JURNAL ILMIAH PETERNAKAN TERPADU. https://doi.org/10.23960/jipt.v11i2.p106-120.

Putri, Pramisti Wildany. 2020. "Kandungan Neutral Detergent Fibre (NDF), Acid Detergent Fibre (ADF), Hemiselulisa, Selulosa Dan Lignin Onggok Yang Difermentasi Trichoderma Reesei Dengan Suplementasi N, S, P." Bulletin of Applied Animal Research 2(1): 33–37. doi:10.36423/baar.v2i1.227.

Ranjitkar, S., & Sugiharto, S. (2018). Recent advances in fermented feeds towards improved broiler chicken performance, gastrointestinal tract microecology and immune responses: A review. Animal Nutrition, 5, 1 - 10. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.11.001.

Reza, A., Rozi, A., Falih, A., & Azar, M. (2022). PEMANFAATAN BATANG PISANG SEBAGAI PAKAN TERNAK. Jurnal Pengabdian Masyarakat : BAKTI KITA. https://doi.org/10.52166/baktikita.v3i1.3143.

Roy, R., Banerjee, S., & Maiti, T. (2020). Production, purification, and characterization of cellulase from Acinetobacter junii GAC 16.2, a novel cellulolytic gut isolate of Gryllotalpa africana, and its effects on cotton fiber and sawdust. Annals of Microbiology, 70. https://doi.org/10.1186/s13213-020-01569-6.

Santos, Dos, Tamires Carvalho, Gomes, D, P, P, Bonnomo, et al. 2012. "Optimisation of Solid State Fermentation of Potato Peel for the Production of Cellulolytic Enzymes." Food Chemistry 133(4): 1299–1304. doi:10.9775/kvfd.2019.21721.

Seel-Audom, M., Arjin, C., Souphannavong, C., Mekchay, S., Sartsook, A., & Sringarm, K. (2020). Efficiency of Fresh and Fermented Banana Stem in Low Protein Diet on Nutrient Digestibility, Productive Performance and Intestinal Morphology of Crossbred Pig ((Thai native x Meishan) x Duroc). Veterinary Integrative Sciences. https://doi.org/10.12982/vis.2021.005.

Seelich, K., Zajki-Zechmeister, K., Eibinger, M., Nidetzky, B., & Kaira, G. (2021). Processive Enzymes Kept on a Leash: How Cellulase Activity in Multienzyme Complexes Directs Nanoscale Deconstruction of Cellulose. ACS Catalysis, 11, 13530 - 13542. https://doi.org/10.1021/acscatal.1c03465.

Tóth, T., Katu, J., & Varga, L. (2025). Enhancing the Nutritional Quality of Low-Grade Poultry Feed Ingredients Through Fermentation: A Review. Agriculture. https://doi.org/10.3390/agriculture15050476.

Wang, C., Hou, R., Mao, X., Li, L., Qiu, X., & Liu, J. (2023). Improvement of soybean meal quality by one-step fermentation with mixed-culture based on protease activity. Innovative Food Science & Emerging Technologies. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103311.

Zhao, Y., Yang, Y., Cao, G., Rong, X., Li, H., Wu, Y., Ji, M., Zhao, X., Guo, X., & Li, B. (2025). Effects of Fermented Liquid Feed with Compound Probiotics on Growth Performance, Meat Quality, and Fecal Microbiota of Growing Pigs. Animals : an Open Access Journal from MDPI, 15. https://doi.org/10.3390/ani15050733.

DOI: https://doi.org/10.54443/sibatik.v4i7.3079