

Optimasi Lama Inkubasi Silase Isi Rumen Sapi Terhadap Kualitas Kimia dan Fermentabilitas *In-vitro* sebagai Pakan Alternatif Ternak Ruminansia

Aldy Arjuna Apu^{*1}, M. A. Hilakore², Gusti Ayu Y. Lestari³, Emma D Wie Lawa⁴, David A. Nguru⁵

^{1,2,3,4,5}Fakultas Peternakan, Kelautan, dan Perikanan, Universitas Nusa Cendana, Indonesia
Email: ¹arjunaapu@gmail.com

Abstrak

Limbah isi rumen sapi berpotensi sebagai pakan alternatif namun memiliki kualitas nutrisi rendah. Penelitian ini bertujuan menentukan lama inkubasi optimal fermentasi silase isi rumen sapi Bali terhadap kandungan protein kasar (PK), serat kasar (SK), serta konsentrasi volatile fatty acids (VFA) dan amonia (NH₃) secara in-vitro. Perlakuan yang diuji yaitu P1 : Isi Rumen Sapi 60% + 35% Dedak padi + 5% Gula Lontar + 40 ml MOL difermentasi 4 minggu, P2 : Isi Rumen Sapi 60% + 35% Dedak padi + 5% Gula lontar + 40 ml MOL difermentasi 6 minggu, P3 : Isi Rumen Sapi 60% + 35% Dedak padi + 5% Gula lontar + 40 ml MOL difermentasi 8 minggu, P4 : Isi Rumen Sapi 60% + 35% Dedak padi + 5% Gula lontar + 40 ml MOL difermentasi 10 minggu. Parameter yang diamati yaitu kandungan protein kasar, serat kasar, serta konsentrasi VFA dan NH₃. Analisis statistik menunjukkan perlakuan berpengaruh sangat nyata ($P < 0,01$) terhadap kandungan Protein Kasar dan NH₃ tetapi tidak berpengaruh ($P > 0,05$) terhadap kandungan Serat Kasar dan VFA. Disimpulkan fermentabilitas dan kualitas kimia silase dengan lama inkubasi 8 minggu dapat meningkatkan kandungan protein kasar, dan NH₃ tetapi tidak berpengaruh terhadap konsentrasi VFA dan kandungan serat kasar. Silase isi rumen sapi yang difermentasi 8 minggu direkomendasikan sebagai pakan alternatif ruminansia karena mampu meningkatkan protein tanpa menurunkan kecernaan

Kata kunci: *isi rumen, kecernaan in-vitro, silase, lama waktu inkubasi.*

Abstract

Cow rumen waste has the potential to be an alternative feed but has low nutritional quality. This study aims to determine the optimal incubation period of silage fermentation of Balinese cattle rumen contents against the content of crude protein (PK), crude fiber (SK), and volatile concentration of fatty acids (VFA) and ammonia (NH₃) in vitro. The treatment tested was P1 : Cow Rumen Content 60% + 35% Rice Bran + 5% Palm Sugar + 40 ml MOL fermented 4 weeks, P2 : Cow Rumen Content 60% + 35% Rice Bran + 5% Palm Sugar + 40 ml MOL fermented 6 weeks, P3 : Cow Rumen Content 60% + 35% Rice Bran + 5% Palm Sugar + 40 ml MOL fermented 8 weeks, P4 : Cow Rumen Content 60% + 35% Rice Bran + 5% Palm Sugar + 40 ml MOL fermented 10 weeks. The parameters observed were crude protein content, crude fiber, and VFA and NH₃ concentrations. Statistical analysis showed that treatment had a very significant effect ($P < 0.01$) on the content of Crude Protein and NH₃ but had no effect ($P > 0.05$) on the content of Crude Fiber and VFA. It was concluded that the fermentability and chemical quality of silage with an incubation period of 8 weeks may increase the crude protein content, and NH₃ but have no effect on VFA concentration and crude fiber content. Silage filled with 8-week fermented cow rumen is recommended as an alternative feed for ruminants because it is able to increase protein without lowering digestibility

Keywords: *rumen contents, in-vitro digestibility, silage, long fermentation time.*

1. PENDAHULUAN

Industri peternakan dan rumah potong hewan (RPH) menghasilkan limbah organik dalam jumlah besar yang berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Isi rumen merupakan salah satu limbah RPH yang hingga saat ini belum dimanfaatkan secara optimal (Ramli & Hartono, 2015). Berdasarkan data RPH Beumopu Kota Kupang, pemotongan sapi mencapai 40-45 ekor per hari, dengan estimasi produksi isi rumen sekitar 1,1 ton/hari. Tingginya produksi limbah isi rumen berpotensi menjadi sumber pakan alternatif, namun kendala utamanya adalah kadar air tinggi, bau menyengat, dan mudah mengalami pembusukan (Pamungkas et al., 2025). Kandungan nutrisi isi rumen masih mengandung

komponen pakan yang belum tercerna sempurna seperti selulosa, hemiselulosa, protein, dan mineral (Karim et al., 2023). Beberapa penelitian melaporkan kandungan protein kasar isi rumen berkisar 9–15% tergantung jenis dan pakan ternak sumber (Fitriani, 2017). Limbah isi rumen masih memiliki kandungan nutrisinya cukup tinggi seperti: air 8.8%, protein kasar 9.63%, lemak (1.81%), serat kasar (24.60%), BETN (38.40%), abu 16.76%, kalsium 1.22% dan fosfor 0.29%); sedangkan pada domba meliputi: air 8.28%, protein kasar (14.41%), lemak (3.59%), serat kasar (24.38%), abu (16.37%), kalsium (0.68%) dan fosfor (1.08%) (Amalia et al., 2019; Suhermiyati, 1984). Isi Rumen Sapi (IRS) adalah pakan yang belum dicerna secara sempurna pada lambung pertama ternak sapi, mengandung saliva, mikroba anaerob, selulosa, hemiselulosa, protein, lemak, karbohidrat, mineral dan vitamin (Yakin et al., 2012).

Limbah isi rumen ini dapat dimanfaatkan sebagai pakan tetapi perlu dilakukan teknologi pengolahan karena isi rumen masih memiliki kekurangan yaitu bau yang menyengat sehingga mengakibatkan tingkat palatabilitasnya rendah, sehingga perlu dilakukan pengolahan sebelum dijadikan sebagai pakan. Potensi ini menjadikan isi rumen layak dikembangkan sebagai bahan baku pakan ruminansia, terutama jika diproses melalui teknologi fermentasi. Salah satu pendekatan yang efektif untuk meningkatkan kualitas dan daya simpan limbah isi rumen adalah pembuatan silase (Wolayan et al., 2017). Silase tidak hanya berfungsi sebagai metode pengawetan basah, tetapi juga berpotensi meningkatkan profil nutrisi melalui aktivitas mikroba selama fermentasi (Aglazziyah et al., 2020). Keberhasilan proses silase sangat ditentukan oleh ketersediaan mikroba yang mampu memproduksi asam laktat secara cepat (Datta et al., 2020). Pemanfaatan Mikroorganisme Lokal (MOL) dari cairan rumen menjadi alternatif yang ekonomis dan mudah diaplikasikan karena mengandung konsorsium mikroba lignoselulolitik alami (Hudha et al., 2020). Fermentasi eceng gondok selama 20 hari menghasilkan silase pakan komplit terbaik. Sementara itu, Lina et al., (2022) melaporkan bahwa penambahan MOL 40 ml pada silase isi rumen dengan lama fermentasi 28 hari menghasilkan protein kasar 18,4% dan serat kasar 17,8%. Namun demikian, penelitian tersebut masih terbatas pada satu titik waktu fermentasi (4 minggu) dan belum mengeksplorasi rentang waktu yang lebih panjang.

Padahal, karakteristik bahan baku silase yang berbeda (isi rumen vs hijauan) diduga memerlukan waktu fermentasi yang berbeda pula untuk mencapai puncak akumulasi protein mikroba. Isi rumen memiliki struktur serat yang telah mengalami degradasi parsial di dalam rumen, sehingga kemungkinan pola fermentasinya berbeda dibandingkan silase hijauan segar. Hingga saat ini, belum terdapat penelitian yang secara sistematis mengkaji pengaruh lama fermentasi 4–10 minggu terhadap dinamika kualitas kimia dan fermentabilitas silase berbasis isi rumen sapi Bali. Celah ini penting diisi untuk menentukan waktu panen silase yang optimal.

2. MATERI DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian ini berlangsung selama 12 minggu yang terdiri dari masa persiapan selama 2 minggu dan tahap pelaksanaan 10 minggu. Bertempat di Laboratorium Kimia Pakan Fakultas Peternakan Kelautan dan Perikanan Universitas Nusa Cendana Kupang.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah isi rumen sapi Bali yang diambil dari Rumah Potong Hewan (RPH) Bimoku, dedak padi, gula lontar, air kelapa dan cairan rumen untuk pembuatan mikroorganisme lokal.

Alat yang digunakan yaitu timbangan duduk merek Boeco Germany kapasitas 6000 gr dengan kepekaan 1gr digunakan untuk menimbang isi rumen, ember, termos, gelas ukur, tabung ukur, kantong plastik silo ukuran 40x60cm, isolasi, botol aqua, selang dan lem tembak.

Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan dengan metode eksperimental secara *in vitro* disusun berdasarkan Rancangan Acak Lengkap dengan 4 perlakuan dan 4 ulangan sehingga terdapat 16 unit percobaan. Komposisi silase terdiri dari campuran: Isi Rumen Sapi 60% + 35% dedak padi + 5% Gula lontar + 40 ml MOL dengan perlakuan adalah lama inkubasi berbeda, yakni:

P1 : lama inkubasi 4 minggu

P2 : lama inkubasi 6 minggu

P3 : lama inkubasi 8 minggu

P4 : lama inkubasi 10 minggu

Lama inkubasi 4 minggu dipakai sebagai perlakuan kontrol pada penelitian ini didasarkan pada penelitian silase isi rumen sapi dengan level mikroorganisme yang berbeda, pada penelitian ini level mol yang terbaik yaitu 40 ml dengan lama waktu fermentasi 4 minggu. Persentase komposisi bahan dihitung berdasar kandungan bahan kering isi rumen.

Prosedur Penelitian

Penelitian terdiri atas lima tahap yaitu persiapan alat dan bahan, proses fermentasi, pengambilan sampel, preparasi sampel, dan analisis sampel meliputi analisis kandungan protein kasar, serat kasar, VFA total dan NH_3 secara *in vitro*.

Pembuatan Mikroorganisme Lokal

Sebelum mengambil cairan rumen sapi, termos terlebih dahulu diisi dengan air panas. Selanjutnya air panas dalam termos dibuang. Cairan rumen sapi diambil di RPH Beumopu, disaring menggunakan kain kasa dan ditampung dalam termos yang sudah disediakan sampai termos terisi penuh. Setelah sampai di laboratorium, cairan rumen dipindahkan ke labu beaker. Mikroorganisme lokal dibuat dengan cara mencampurkan cairan rumen sapi dan air kelapa dengan ratio 2:1 (800:400) hingga merata (homogen), kemudian diisi kedalam botol yang sudah disambung dengan selang plastik ke botol berisi air dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruangan dalam suasana anaerob sehingga dapat digunakan sebagai starter fermentasi.

Proses Fermentasi

Isi rumen sapi dijemur selama 4 jam dibawah sinar matahari dan ditimbang sebanyak 600 gram, kemudian dicampur dengan dedak 350 gram, gula lontar 50 gram dan mikroorganisme lokal 40 ml, jumlah bahan dihitung dari bahan kering. Semua bahan yang sudah dicampur dimasukan kedalam plastik kemudian plastik di vakum sampai tidak ada udara yang berada di dalam plastik. Diikat menggunakan tali rafia dan simpan sesuai lama perlakuan.

Tahap Pengambilan Sampel

Setelah lama fermentasi perlakuan tercapai lalu sampel diambil 300-400 gram dikeringkan dengan suhu 60°C selama 2-3 hari. Sebagian sampel diukur pH. Setelah sampel kering, sampel dihaluskan dan dimasukkan dalam plastik klip dan diberi label. Sampel siap dianalisis.

Teknik Pengukuran Penentuan Protein Kasar

Sampel ditimbang sebanyak 0,2-0,3 gram dan dimasukkan ke dalam labu kjeldahl. Ditambahkan pereaksi selen (selen mixture) sebanyak setengah ujung spatula, dan 20 ml H_2SO_4 95-97%. Ditempatkan pada alat digesti atau pemanas listrik, panaskan sampai larutan contoh tersebut berwarna jernih. Kemudian diencerkan sampai 120 mL dengan aquades (dilakukan hati-hati dan perlahan, karena akan timbul panas).

Ambil dengan pipet sebanyak 5 mL contoh tersebut, dan masukkan kedalam alat destilasi, kemudian tambahkan 10 mL larutan NaOH 50% kedalam contoh, dan dibilas dengan aquadest. Destilat ditampung dengan larutan asam borat 2% dalam erlenmeyer yang sudah dibubuhi indikator BCG-MR, sampai volume destilat ± 30 mL, kemudian destilat tersebut dititrasi dengan HCl 0.01 N sampai terbentuk warna

titik akhir merah muda yang tidak hilang dalam 30 detik. Lakukan penetapan kadar blanko, sesuai tahapan no. 5-8, tanpa menggunakan contoh. Protein kasar dihitung menggunakan rumus:

$$\%N = \frac{(Volume\ titrasi\ contoh - blanko) \times 14 \times Normalitas\ HCl \times 24 \times 100}{Bobot\ contoh\ (mg)}$$

$$PK = 6,25 \times \% N$$

Penentuan Serat Kasar

Timbang sampel sebanyak 1g (A gram) dan masukan dalam gelas piala/beaker glass/labu serat khusus, kemudian masukkan H₂SO₄ 0.235N/1,25% (H₂SO₄ 7.8 ml/L H₂O) sebanyak 100 ml kedalam labu. Masak dengan pemanas serat dan biarkan mendidih selama 30 menit, setelah itu angkat dan saring menggunakan gelas crucible lalu bilas dengan air panas agar H₂SO₄ hilang. Masukan NaOH 0,313 N/1,25 % (NaOH 12,52 g/L aq) sebanyak 100 ml ke dalam labu yang berisi sampel, masak dan biarkan mendidih selama 30 menit, kemudian angkat dan saring menggunakan filter yang telah diketahui beratnya (B gram) dan juga telah dipanaskan dalam oven selama 1 jam, lalu dilanjutkan bilasan dengan menggunakan air panas.

Masukan filter berisi sampel dalam cawan porselin yang sudah diketahui beratnya (C gram) lalu dikeringkan dalam oven bersuhu 105⁰ sekurang-kurangnya 20 jam, Kemudian angkat dan dinginkan dalam desikator selama 30 menit lalu ditimbang dan catat beratnya (D gram). Masukan sampel bersama filter dan cawan porselin dalam Tanur bersuhu 600⁰ c selama 6 jam, setelah itu matikan tanur dan biarkan selama 4 jam sampel dalam tanur. Angkat dan dinginkan selama 30 menit dalam desikator, selanjutnya timbang berat cawan berisi abu tersebut (E gram). Kadar serat kasar dapat dihitung dengan rumus :

$$Kadar\ SK = \frac{((d - b - c) - (e - c))}{(ax (\% \frac{BK}{100}))} \times 100\%$$

Keterangan :

- a = berat sampel awal
- b = berat sampel setelah dimasak selama 30 menit
- c = berat sampel dalam cawan porselin
- d = berat sampel setelah dikeringkan dalam oven dengan suhu 105⁰
- e = berat cawan berisi abu
- BK = bahan kering

Pengukuran Konsentrasi VFA (Steam Destillation Method)

Isi presscooker dengan aquades sampai tanda max dan pastikan air dari kran mengalir yang berfungsi sebagai pendingin. Nyalakan kompor gas sehingga aquades yang ada dalam panci presscooker tersebut mendidih dan menghasilkan uap yang akan masuk ke tabung destilasi di mana ini menunjukkan bahwa kita dapat memulai analisis VFA.. Supernatan yang sama dengan analisa NH₃ di ambil sebanyak 5 mL, kemudian masukan kedalam tabung destilasi, selanjutnya tempatkan erlenmeyer yang berisi 5 mL NaOH 0.5 N dibawah selang tumpang.

Tambahkan 1 mL H₂SO₄ 15% didalam tabung destilasi yang sudah ada larutan sampel, kemudian segera tutup penutup kacanya. Bilas dengan aquadest secukupnya, kemudian uap air panas akan mendesak VFA dan akan terkondensasi dalam pendingin. Air yang terbentuk di tampung labu erlenmeyer yang berisi 5 mL NaOH 0,5N sampai mencapai 300 mL, Kemudian indikator PP (Phenol Pthalin) ditambahkan sebanyak 2-3 tetes dan titrasi dengan HCl 0.5N sampai warna titrate berubah dari merah menjadi merah muda seperti yang ditinjau. Catatan : HCl 0,5 N sebagai titran harus distandarisasi sehingga didapat konsentrasi dengan 4 digit dibelakang koma. Pengukuran konsentrasi VFA dapat dihitung menggunakan rumus:

Produksi VFA total dihitung :

$$[mM\ VFA\ total] = \frac{(a-b)\ ml \times N\ HCl \times 1000/5\ ml}{gr\ sampel \times BK\ sampel}$$

Dimana :

1. Volume HCl blanko pereaksi (hanya H₂SO₄ dan NaOH saja, tanpa sampel).
2. Volume HCl sampel.

Pengukuran konsentrasi NH₃ (Metode mikrodifusi Conway)

Tutup bibir cawan conway dan olesi dengan vaselin, selanjutnya supernatan yang berasal dari proses fermentasi diambil 1.0 mL kemudian ditempatkan pada salah satu ujung alur cawan conway. Larutan Na₂CO₃ jenuh sebanyak 1.0 mL ditempatkan pada salah satu ujung cawan conway bersebelahan dengan supernatant (*tidak boleh campur*), Kemudian larutan asam borat berindikator sebanyak 1.0 mL di tempatkan dalam cawan kecil yang terletak di tengah cawan conway, selanjutnya cawan conway yang sudah diolesi vaselin ditutup rapat hingga kedap udara, larutan Na₂CO₃ dicampur dengan supernatant hingga merata dengan cara menggoyang-goyangkan dan memiringkan cawan tersebut dan biarkan selama 24 jam dalam suhu kamar, setelah 24 jam suhu kamar di buka, asam borat berindikator dititrasi dengan H₂SO₄ 0.005 N sampai terjadi perubahan warna dari biru menjadi merah. Pengukuran konsentrasi NH₃ dapat dihitung menggunakan rumus:

Kadar NH₃ di hitung:

$$N \text{ NH}_3 \text{ (mM)} = \frac{\text{ml H}_2\text{SO}_4 \times N \text{ H}_2\text{SO}_4 \times 1000}{\text{gr sampel} \times \text{BK sampel}}$$

Analisis Data

Data yang diperoleh selama penelitian ini ditabulasi dan dianalisis menurut prosedur sidik ragam ANOVA (Analisis of Variance) untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap variabel yang diukur dengan menggunakan software SPSS seri

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \pi_k + \sum_{ijk}$$

di mana :

Y_{ijk} = nilai pengamatan dari perlakuan ke-k dalam baris ke-i dan kelompok ke-j

μ = nilai tengah populasi

α_i = pengaruh aditif dari baris ke-i

β_j = pengaruh aditif dari kolom ke-j

π_k = pengaruh aditif dari perlakuan ke-k

Σ_{ijk} = pengaruh eror/galat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Rerata Kandungan Protein Kasar , Serat Kasar dan Konsentrasi VFA, NH₃, silase isi rumen Sapi dengan lama fermentasi yang berbeda

Parameter %	Perlakuan				P. value
	P1	P2	P3	P4	
Protein kasar (%)	13,433±0,952 ^a	14,388±0,078 ^a _b	14,841±0,559 ^b _c	15,926±0,902 ^c	0,003
Serat kasar (%)	20,202±0,509	19,588±1,233	19,171±1,313	18,173±0,867	0,090
VFA(mM)	107,457±18,6 49	112,435±10,4 59	125,913±13,7 83	128,951±16,7 35	0,191
NH₃(mM)	5,834±0,735 ^a	6,263±0,627 ^{ab}	7,322±0,593 ^{bc}	8,000±1,393 ^c	0,020

Keterangan: superskrip yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan adanya perbedaan yang sangat nyata (P< 0,01). P1= Fermentasi 4 minggu, P2= Fermentasi 6 minggu, P3= Fermentasi 8 minggu, P4= Fermentasi 10 minggu

Pengaruh Perlakuan Terhadap Kandungan Protein Kasar

Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan lama waktu inkubasi berpengaruh sangat nyata ($P < 0.01$) terhadap peningkatan kandungan protein kasar silase isi rumen sapi. Kandungan protein kasar tertinggi diperoleh pada perlakuan lama inkubasi 10 minggu yaitu 15.93%, yang secara statistik tidak berbeda nyata dengan lama inkubasi 8 minggu (14.84%), namun berbeda sangat nyata dengan inkubasi 4 minggu (13.43%). Hal ini mengindikasikan bahwa titik optimum akumulasi protein mikroba kemungkinan telah dicapai pada minggu ke-8 hingga ke-10, di mana laju sintesis protein sel seimbang dengan laju lisis sel atau konversi nitrogen.

Peningkatan kandungan protein kasar ini merupakan indikasi keberhasilan proses protein enrichment oleh mikroba. Isi rumen kaya akan populasi mikroba alami dan substrat. Seiring bertambahnya waktu inkubasi, terjadi korelasi positif antara pertumbuhan mikroba dan akumulasi protein (Mutaqin & Tanuwiria, 2020). Mikroba proteolitik akan merombak sisa protein dan nitrogen non-protein (NPN) dalam isi rumen menjadi amonia (NH_3) (Zurak et al., 2023). Selanjutnya, mikroba amilolitik dan selulolitik menyediakan kerangka karbon yang berasal dari fermentasi karbohidrat (Raharjo & Isnawati, 2022). Kerangka karbon ini akan mengikat NH_3 untuk membentuk asam amino dan kemudian protein sel tunggal (Molitor et al., 2019). Dengan demikian, peningkatan protein kasar tidak hanya berasal dari pembelahan sel mikroba, tetapi juga dari konversi nitrogen sederhana menjadi protein utuh yang terikat dalam biomassa (Ambarwati et al., 2018). Pemanfaatan NH_3 yang efisien oleh mikroba ini juga menjelaskan mengapa dalam fermentasi yang baik, kadar NH_3 cenderung stabil atau tidak terakumulasi.

Peningkatan massa mikroba merefleksikan pengayaan protein substrat (Rahayu et al., 2025). Fermentasi jerami padi menggunakan cairan rumen meningkatkan kandungan protein dari 3,2% menjadi 14,5%. Namun, lebih lanjut, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proses fermentasi isi rumen (sistem anaerob) mampu meningkatkan protein dari 13.43% menjadi 15.93% dalam 10 minggu. Jika dibandingkan dengan fermentasi aerob menggunakan inokulan spesifik seperti *Aspergillus oryzae* (Yuliana & Chuzaemi, 2019), laju peningkatan protein dalam sistem isi rumen memang lebih lambat (Yakin et al., 2012). Hal ini dapat dijelaskan oleh perbedaan lingkungan fermentasi (anaerob vs aerob) serta kompleksitas konsorsium mikroba alami yang mungkin memiliki efisiensi konversi substrat yang berbeda dibandingkan dengan inokulan tunggal yang tumbuh cepat (Pardiansyah et al., 2019). Meskipun lebih lambat, keunggulan fermentasi isi rumen terletak pada kesederhanaan dan tidak perlunya penambahan starter, karena memanfaatkan mikroba yang sudah ada di dalam substrat.

Pengaruh Perlakuan Terhadap Kandungan Serat Kasar

Analisis sidik ragam menunjukkan lama inkubasi berpengaruh tidak nyata ($P > 0.05$) terhadap kandungan serat kasar silase isi rumen sapi. Meskipun secara statistik tidak berbeda nyata yang mengindikasikan bahwa semua perlakuan memberikan hasil yang relatif sama, terdapat kecenderungan penurunan rata-rata kandungan serat kasar dari 20,20% menjadi 18,17%. Penurunan kandungan serat kasar ini, meskipun tidak signifikan, erat kaitannya dengan dinamika peningkatan protein kasar dan produksi NH_3 yang terjadi selama proses fermentasi.

Penurunan serat kasar ini terjadi akibat aktivitas perombakan oleh mikroba. Selama fermentasi, mikroba memanfaatkan fraksi serat (selulosa dan hemiselulosa) sebagai sumber energi (Nuswantara et al., 2020). Proses degradasi ini bersifat enzimatik, dimana mikroba menghasilkan enzim selulase dan hemiselulase untuk memecah ikatan kompleks tersebut menjadi gula-gula sederhana (Suryaningrum & Samsudin, 2018). Gula sederhana ini kemudian difermentasi lebih lanjut menjadi asam-asam organik, terutama asam laktat, serta digunakan untuk sintesis protein sel tunggal mikroba (Aruni et al., 2014). Hal ini menjelaskan korelasi antara penurunan serat kasar dengan potensi peningkatan biomassa protein mikroba (Saputro et al., 2024). Semakin banyak serat yang didegradasi, semakin banyak pula karbon yang tersedia untuk pertumbuhan mikroba, yang pada gilirannya meningkatkan total protein kasar dalam silase (Mullik et al., 2019).

Namun, proses degradasi serat ini sangat bergantung pada ketersediaan sumber energi yang mudah dicerna. Dalam penelitian ini, penambahan molases berperan krusial sebagai sumber karbohidrat cepat tersedia bagi mikroba. Molases menyediakan energi instan yang memicu pertumbuhan mikroba di awal fermentasi (Marlina & Zamroni, 2024). Ketika populasi mikroba sudah besar, mereka secara kolektif

menghasilkan lebih banyak enzim yang mampu mendegradasi serat (Marlina et al., 2020). Proses degradasi serat menyediakan energi jangka panjang, sementara molases menyediakan energi cepat untuk memulai dan mempertahankan aktivitas mikroba (Musyafaah et al., 2019). Interaksi ini yang mendasari hubungan antara peningkatan protein kasar (sebagai cerminan pertumbuhan mikroba) dan penurunan serat kasar (Mirzah & Muis, 2015).

Lebih lanjut, penurunan serat kasar juga berkorelasi dengan potensi peningkatan NH₃ (Salman et al., 2023). Protein yang terdegradasi selama fermentasi akan melepaskan NH₃. NH₃ ini kemudian dapat dimanfaatkan oleh mikroba, bersama dengan kerangka karbon dari gula sederhana hasil degradasi serat, untuk menyusun asam amino dan membangun protein selnya (protein kasar) (Bhimantara & Yayok, 2018). Dengan demikian, terdapat hubungan timbal balik yang kompleks: degradasi serat menyediakan energi dan kerangka karbon, sementara ketersediaan NH₃ menyediakan sumber nitrogen, yang keduanya bersinergi untuk meningkatkan sintesis protein mikroba.

Hasil kandungan serat kasar dalam penelitian ini (18,17%) lebih rendah dibandingkan dengan temuan Heryani et al., (2015) yang melaporkan kandungan serat kasar isi rumen terfermentasi sebesar 25,28%, namun masih dalam rentang yang lebih tinggi dibandingkan hasil Superianto et al., (2018) pada silase limbah sayur kol (11,42%). Perbedaan ini dapat dijelaskan oleh perbedaan substrat dan ketersediaan nutrisi awal. Isi rumen sendiri merupakan substrat yang kompleks dengan kandungan serat yang sudah terdegradasi sebagian, berbeda dengan limbah sayur kol yang memiliki struktur serat lebih mudah dicerna. Penambahan molases dalam penelitian ini juga berkontribusi dalam menyediakan energi yang cukup bagi mikroba untuk mendegradasi serat secara lebih efektif, sehingga menghasilkan penurunan yang lebih nyata dibandingkan fermentasi tanpa tambahan sumber energi cepat yang memadai (Herawati & Royani, 2019).

Pengaruh Perlakuan Terhadap Produksi Volatile Fatty Acid (VFA)

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan lama waktu inkubasi berpengaruh tidak nyata ($P > 0,05$) terhadap konsentrasi VFA silase isi rumen. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan lama waktu inkubasi dari 4 hingga 10 minggu tidak memberikan perubahan signifikan pada konsentrasi VFA yang dihasilkan. Fenomena ini menarik karena secara teoritis terdapat hubungan yang erat dan berbanding terbalik antara kandungan serat kasar dengan konsentrasi VFA. Serat kasar yang tinggi umumnya lebih sulit didegradasi, sehingga berpotensi menurunkan produksi VFA (Prasetyo et al., 2022). Namun dalam penelitian ini, meskipun terjadi penurunan kandungan serat kasar seiring lama fermentasi, konsentrasi VFA justru relatif stabil. Hal ini mengindikasikan bahwa proses degradasi serat oleh mikroba telah mencapai titik optimum sejak minggu ke-4, sehingga peningkatan waktu inkubasi selanjutnya tidak lagi secara linier meningkatkan VFA, melainkan lebih diarahkan pada pemanfaatan VFA itu sendiri untuk pertumbuhan dan metabolisme mikroba.

Korelasi antara peningkatan populasi atau aktivitas mikroba dengan produk metabolismenya. Pada awal fermentasi (hingga minggu ke-4), mikroba mendegradasi komponen karbohidrat terlarut dan serat yang mudah didegradasi, menghasilkan VFA dalam jumlah tinggi. Seiring berjalannya waktu (minggu ke-6 hingga 10), substrat yang tersisa adalah serat dengan lignifikasi tinggi yang lebih sulit didegradasi. Pada fase ini, aktivitas mikroba mungkin tidak lagi fokus pada produksi VFA dalam jumlah besar, tetapi lebih pada pemeliharaan dan kompetisi. Selain itu, sebagian VFA yang diproduksi kemungkinan dimanfaatkan langsung oleh mikroba sebagai sumber karbon dan energi untuk sintesis sel (terutama protein mikroba), yang pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan protein kasar silase (Meak et al., 2022). Peningkatan protein kasar tidak selalu berasal dari protein asli bahan baku, tetapi dari akumulasi biomassa mikroba (protein sel tunggal) yang tumbuh dengan memanfaatkan energi dari VFA hasil degradasi karbohidrat (Fajar et al., 2024). Dengan kata lain, energi yang dihasilkan dari fermentasi (VFA) dialihkan untuk pertumbuhan mikroba, sehingga konsentrasi VFA yang terakumulasi di media menjadi konstan.

Nilai konsentrasi VFA dalam penelitian ini berkisar antara 107,457 mM - 128,951 mM. Rentang ini masih berada dalam kisaran optimal yang dibutuhkan untuk menunjang pertumbuhan mikroba rumen, yaitu VFA antara 107 - 110 mM (Kusumaningrum et al., 2018). Tingginya konsentrasi VFA ini mencerminkan bahwa fraksi bahan organik silase, terutama karbohidrat yang mudah terfermentasi (serat kasar dan bahan ekstrak tanpa nitrogen/BETN), telah mengalami perombakan yang intensif oleh mikroba (Imanda et al., 2016). Hal ini selaras dengan hasil pengamatan terhadap penurunan kandungan

serat kasar dalam penelitian ini. Ketika serat kasar terdegradasi, produk utamanya adalah VFA, yang menjadi bukti adanya aktivitas mikrobiologis (Samsiah et al., 2023). Oleh karena itu, kestabilan konsentrasi VFA antar perlakuan justru dapat diartikan sebagai indikator bahwa ekosistem mikroba dalam silase telah mencapai kondisi *steady state*, di mana laju produksi VFA dari degradasi substrat diimbangi dengan laju pemanfaatannya untuk sintesis sel mikroba (Imanda et al., 2016).

Jika dibandingkan dengan penelitian relevan, hasil konsentrasi VFA dalam penelitian ini menunjukkan nilai yang kompetitif. Rentang yang diperoleh (107,46-128,95 mM) lebih tinggi dibandingkan penelitian pada substrat berkadar lignin tinggi seperti silase sabut kelapa muda yang dilaporkan oleh (Edda et al., 2011), yang hanya mencapai 58,01–97,47 mM setelah fermentasi 7-21 hari. Perbedaan ini menegaskan bahwa isi rumen memiliki fraksi karbohidrat yang lebih mudah didegradasi dibandingkan sabut kelapa. Di sisi lain, hasil penelitian ini berada dalam rentang yang dilaporkan oleh (Purwanto & Weliana, 2018) pada silase rumput gajah (90,5-150,67 mM), meskipun dengan substrat dan lama fermentasi yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa potensi fermentasi suatu bahan sangat ditentukan oleh karakteristik intrinsik substratnya, dan bahwa lama fermentasi tidak selalu berkorelasi positif dengan peningkatan VFA setelah titik optimal tertentu.

Pengaruh perlakuan terhadap produksi NH_3

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan lama waktu inkubasi berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap konsentrasi NH_3 silase isi rumen. Data ini mengindikasikan bahwa lama fermentasi merupakan faktor determinan dalam proses degradasi protein. Hasil uji lanjut Duncan menunjukkan perbedaan nyata terjadi pada beberapa pasangan perlakuan ($\text{P}_1;\text{P}_3$, $\text{P}_1;\text{P}_4$, $\text{P}_2;\text{P}_4$), sementara pasangan lainnya tidak berbeda nyata. Pola ini mengkonfirmasi bahwa akumulasi NH_3 terjadi secara progresif namun tidak selalu linier, kemungkinan dipengaruhi oleh fase pertumbuhan mikroba dan ketersediaan substrat protein pada setiap tahap inkubasi.

Konsentrasi NH_3 dalam penelitian ini berkisar antara 5,834 mM hingga 8,000 mM, dengan nilai tertinggi pada lama inkubasi 10 minggu (P_4) dan terendah pada 4 minggu (P_1). Rentang ini masih berada dalam kisaran normal untuk fermentasi substrat ruminansia, yaitu 6-21 mM (Dioksa et al., 2015), yang mengindikasikan bahwa proses degradasi protein berlangsung dalam kondisi fisiologis yang wajar dan tidak terjadi akumulasi amonia berlebih yang dapat bersifat toksik bagi mikroba. Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang searah (korelasi positif) antara peningkatan protein kasar dengan produksi NH_3 seiring bertambahnya lama waktu inkubasi (Saputro et al., 2024). Semakin lama waktu inkubasi (dari 4 hingga 10 minggu), kandungan protein kasar silase meningkat, dan diikuti pula oleh peningkatan konsentrasi NH_3 . Hal ini menegaskan bahwa NH_3 yang terdeteksi merupakan produk langsung dari aktivitas proteolitik mikroba terhadap protein yang tersedia (Fitriana & Asri, 2022). Peningkatan lama inkubasi memberikan kesempatan yang lebih luas bagi mikroba proteolitik untuk tumbuh dan berkembang biak (Adawiyah et al., 2019). Mikroba ini menghasilkan enzim protease yang memecah ikatan peptida pada protein kasar menjadi peptida pendek dan selanjutnya menjadi asam amino. Asam-asam amino tersebut kemudian mengalami deaminasi, yaitu proses pelepasan gugus amino ($-\text{NH}_2$) yang menghasilkan amonia (NH_3) dan kerangka karbon (Ilmiah et al., 2017). Sehingga semakin tinggi kadar protein kasar yang terdegradasi, semakin banyak substrat bagi reaksi deaminasi, yang berimplikasi pada peningkatan produksi NH_3 .

Proses ini sejalan dengan pernyataan (Amalia et al., 2019) bahwa produksi amonia mencerminkan tingginya kadar protein kasar yang didegradasi oleh mikroorganisme. Protein dengan fermentabilitas yang baik akan lebih mudah didegradasi, sehingga meningkatkan produksi NH_3 . Silase isi rumen, lama waktu inkubasi 4 hingga 10 minggu terbukti efektif memberikan waktu yang cukup bagi mikroba untuk mendegradasi protein secara bertahap, sehingga NH_3 yang dihasilkan terus mengalami peningkatan. Lebih dari sekadar produk limbah metabolisme, NH_3 memiliki peran vital dalam ekosistem fermentasi. NH_3 merupakan sumber nitrogen utama bagi sintesis protein mikroba (protein sel tunggal) (Rahayu et al., 2025). Mikroba rumen, terutama bakteri selulolitik dan amilolitik, membutuhkan nitrogen dalam bentuk amonia untuk membangun asam amino esensial bagi pertumbuhannya (Zubaidah et al., 2019). Dalam penelitian ini, peningkatan NH_3 seiring lama inkubasi mengindikasikan bahwa ketersediaan nitrogen untuk mikroba semakin besar. peningkatan populasi mikroba, yang kemudian berkontribusi pada degradasi komponen lain seperti serat kasar, sekaligus meningkatkan total protein kasar silase

melalui akumulasi biomassa mikroba itu sendiri.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pembahasan maka disimpulkan bahwa: Lama inkubasi 10 minggu dapat meningkatkan kandungan protein kasar dan konsentrasi NH₃ silase isi rumen sapi bali tetapi menghasilkan kandungan serat kasar dan produksi VFA yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah, L., Diarti, M. W., & Tatontos, E. Y. (2019). Lama Waktu Inkubasi Terhadap Morfologi Bakteri *Neisseria gonorrhoeae*. *Jurnal Kesehatan Poltekkes Kemenkes Ri Pangkalpinang*, 7(2), 36–41. <https://doi.org/https://doi.org/10.32922/jkp.v7i2.83>
- Aglazziyah, H., Ayuningsih, B., & Khairani, L. (2020). Pengaruh Penggunaan Dedak Fermentasi Terhadap Kualitas Fisik Dan Ph Silase Rumpun Gajah (*Pennisetum purpureum*). *Jurnal Nutrisi Ternak Tropis Dan Ilmu Pakan*, 2(3), 156–165. <https://doi.org/https://doi.org/10.24198/jnttip.v2i3.30290>
- Amalia, N. Y., Surono, S., & Sutrisno, S. (2019). Pengaruh Penambahan Isi Rumen dalam Ransum terhadap Konsumsi Nutrien pada Domba Pasca Sapih Dini. *Jurnal Sain Peternakan Indonesia*, 14(3), 265–271. <https://doi.org/https://doi.org/10.31186/jspi.id.14.3.265-271>
- Ambarwati, D. P., Yudiati, E., Supriyanti, E., & Maslukah, L. (2018). Pola Pertumbuhan, Biomassa dan Kandungan Protein Kasar pada Kultur Mikroalga *Skeletonema costatum* Skala Massal dengan Konsentrasi Kalium Nitrat () yang Berbeda. *Buletin Oseanografi Marina*, 7(2), 75–80. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/BULOMA.V7I2.20896>
- Aruni, F., Dwitasari, I., & Gunawan, S. (2014). Pengaruh Waktu Fermentasi Menggunakan *Lactobacillus plantarum* terhadap Kandungan Protein pada Tepung Mosof (Modified Sorghum Flour). *Jurnal Teknik Pomits*, 3(2), 160–162. <https://doi.org/https://doi.org/10.12962/J23373539.V3I2.6553>
- Bhimantara, G., & Yayok, S. P. (2018). Proses Deproteinasi Menggunakan Metode Nitrifikasi Pada Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Envirotek*, 10(2), 27–33. <https://doi.org/https://doi.org/10.33005/envirotek.v10i2.1231>
- Datta, F. U., Detha, A., Rihi, D., Foeh, N., & Ndaong, N. (2020). Effect Of Lactic Acid Palm Lactic Bacteria On Silage Quality. *Jurnal Kajian Veteriner*, 8(2), 211–217. <https://doi.org/https://doi.org/10.35508/JKV.V8I2.3304>
- Dioksa, I. M. R., Mudita, I. M., Wibawa, A. A. P. P., & Wirawan, I. W. (2015). Metabolit Rumen Sapi Bali Yang Diberikan Ransum Terfermentasi dengan Inokulum Yang Diproduksi dari Cairan Rumen Sapi Bali dan Rayap. *Jurnal Peternakan Tropika*, 3(2), 386–404.
- Edda, E. R., Yunus, M., & Sobang, Y. U. L. (2011). Evaluasi Parameter Rumen Secara In Vitro Sabut Kelapa Muda Hasil Fermentasi Khamir *Saccharomyces cerevisiae* Dengan Lama Fermentasi Yang Berbeda. *Jurnal Peternakan Lahan Kering*, 3(3), 1687–1692.
- Fajar, M., Salvia, S., & Ramaiyulis, R. (2024). Inokulasi *Aspergillus Niger*, *Trichoderma Viride*, dan *Saccharomyces Cerevisiae* pada Manure Layer dalam Produksi Protein Sel Tunggal untuk Pakan Ternak. *Jurnal Peternakan Lokal*, 6(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.46918/peternakan.v6i2.2309>
- Fitriana, N., & Asri, M. T. (2022). Aktivitas Proteolitik pada Enzim Protease dari Bakteri Rhizosphere Tanaman Kedelai (*Glycine max L .*) di Trenggalek. *Lentera Bio*, 11(1), 144–152. <https://doi.org/https://doi.org/10.26740/lenterabio.v11n1.p144-152>
- Fitriani. (2017). Kandungan Protein Kasar Dan Serat Kasar Pakan Penambahan Azolla Sebagai Pakan Ruminansia. *Jurnal Galung Tropika*, 6(April), 12–18. <https://doi.org/https://doi.org/10.31850/jgt.v6i1.181>
- Herawati, E., & Royani, M. (2019). Pengaruh Penambahan Molasses Dan Tepung Tapioka Terhadap Kandungan Protein Kasar, Serat Kasar Dan Energi Pada Pellet Daun Gamal. *Jurnal Ilmu Peternakan*, 4(1), 6–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.52434/JANHUS.V4I1.685>
- Heryani, E., Kardaya, D., & Sudrajat, D. (2015). Kualitas isi rumen sapi hasil fortifikasi dan fermentasi. *Jurnal Peternakan Nusantara*, 1(April), 49–56. <https://doi.org/10.30997/JPNV.V1I1.217>

- Hudha, M. I., R, K. D., P, V. W., & M, I. I. (2020). Pemanfaatan limbah isi rumen sapi sebagai mikroorganisme lokal (MOL). *Atmosphere*, 1(1), 30–36. <https://doi.org/https://doi.org/10.36040/ATMOSPHERE.V1I1.2958>
- Ilmiah, J., Pertanian, T., & Darmayanti, T. (2017). AGROTECHNO Kajian Asam Amino pada Fermentasi Talas (*Colocasia esculenta* L. Schott) The study of Amino Acids in Fermentation of Talas (*Colocasia esculenta* L. Schott). *Agrotechno*, 2(1), 154–160. <https://doi.org/https://doi.org/10.24843/jitpa/2017.v02.i01.p04>
- Imanda, S., Effendi, Y., Sihono, S., & Sugoro, I. (2016). Evaluasi In Vitro Silase Sinambung Sorgum Varietas Samurai 2 yang Mengandung Probiotic BIOS K2 dalam Cairan Rumen Kerbau. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop Dan Radiasi*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.17146/JAIR.2016.12.1.3193>
- Karim, I., Syahrudin, S., & Bahri, S. (2023). Kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin jerami padi yang difermentasi dengan berbagai probiotik. *Jambura Journal of Animal Science*, 6(1), 13–21. <https://doi.org/https://doi.org/10.35900/jjas.v6i1.19241>
- Kusumaningrum, C. E., Sugoro, I., & Aditiawati, P. (2018). Pengaruh Silase Sinambung Jerami Jagung Terhadap Fermentasi Dalam Cairan Rumen Secara In Vitro. *Jurnal Ilmu Ternak*, 18(1), 26–33. <https://doi.org/10.24198/jit.v18i1.14460>
- Lina, C. M., Hilakore, M. A., & Lestari, G. A. Y. (2022). Silase Isi Rumen Sapi Dengan Level Mikroorganisme Yang Berbeda Terhadap Kandungan Protein, Serat, Volatile Fatty Acids (VFA) dan Amonia (NH₃) secara In-Vitro. *Jurnal Peternakan Lahan Kering*, 5(2), 267–278.
- Marlina, E. T., Badruzzaman, D. Z., Harlia, E., Hidayati, Y. A., & Susilawati, I. (2020). Microbial Population Dynamics And Fiber Reduction In The Initial Decomposition Of Beef Cattle Waste Composting. *Jurnal Ziraa'ah*, 45(1), 94–102. <https://doi.org/https://doi.org/10.31602/ZMIP.V45I1.2657>
- Marlina, E. T. D. Z. B., & Zamroni, M. F. (2024). Pengaruh Dosis Molases Pada Pembuatan Probiotik Dari Filtrat Campuran Lumpur Susu Dan Jerami Padi Terhadap Ph, Total Bakteri Dan Khamir. *Jurnal Ziraa'ah*, 49(1), 81–87. <https://doi.org/https://doi.org/10.31602/zmip.v49i1.13235>
- Meak, P., Hilakore, M. A., Nikolaus, T. T., & Lawa, E. D. W. (2022). Pengaruh Perbedaan Konsentrat dan Limbah Jagung terhadap Konsentrasi VFA, NH₃, Protein Kasar dan Serat Kasar In Vitro Silase Pakan Komplit. *Jurnal Peternakan Lahan Kering*, 4(2), 2136–2142. <https://doi.org/https://doi.org/10.57089/jplk.v4i2.1108>
- Mirzah, M., & Muis, H. (2015). Peningkatan Kualitas Nutrisi Limbah Kulit Ubi Kayu melalui Fermentasi Menggunakan *Bacillus amyloliquefaciens* Improving. *Jurnal Peternakan Indonesia*, 17(2), 131–142. <https://doi.org/https://doi.org/10.25077/JPI.17.2.131-142.2015>
- Molitor, B., Mishra, A., & Angenent, L. (2019). Power-to-protein: converting renewable electric power and carbon dioxide into single cell protein with a two-stage bioprocess. *Energy & Environmental Science*, 1(1), 40–51. <https://doi.org/https://doi.org/10.1039/C9EE02381J>
- Mullik, M. L., Oematan, G., Dato, T. O. D., & Mullik, Y. M. (2019). Rasio Karbon : Nitrogen Dalam Pengawetan Hijauan Sumber Protein Mempengaruhi Kualitas Nutrisi Produk Biofermentasi. *Jurnal Pastura*, 9(1), 11–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.24843/pastura.2019.v09.i01.p03>
- Musyafaah, F., Surahmanto, S., & Achmadi, J. (2019). Degradabilitas Ruminal Secara In Vitro terhadap Pakan Berbasis Bagase Amoniasi dengan Suplementasi Karbohidrat Mudah Tersedia yang Berbeda. *Jurnal Sain Peternakan Indonesia*, 14(1), 1–6. <https://doi.org/https://doi.org/10.31186/JSPI.ID.14.1.1-6>
- Mutaqin, B. K., & Tanuwiria, U. H. (2020). Pengujian Media Tumbuh Mikroba DFM dari Hasil Bioproses Batang Pisang terhadap Jumlah Mikroba pada Dua Jenis Bahan Pakan Ternak Ruminansia. *Jurnal Sumber Daya Hewan*, 1(1), 14–18. <https://doi.org/https://doi.org/10.24198/JSDH.V1I1.30942>
- Nuswantara, L. K., Sunarso, S., Arifin, M., & Setiadi, A. (2020). Komponen Serat Sabut Kelapa yang Difermentasi Menggunakan Mikroba Pencerna Serat dari Rumen Kerbau. *Jurnal Agripet*, 20(April), 1–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.17969/agripet.v20i1.15545>
- Pamungkas, A. C., Okta, A. N., Mubarak, A. F., Kusuma, A. A., & Wicaksana, F. F. (2025). Jurnal Riset dan Inovasi Peternakan. *Jurnal Riset Dan Inovasi Peternakan*, 9(2), 431–443. <https://doi.org/https://doi.org/10.23960/jrip.2025.9.2.431-443>
- Pardiansyah, D., Ahmad, N., Firman, F., & Martudi, S. (2019). Pupuk Organik Cair Dari Air Limbah Lele Sistem Bioflok Hasil Fermentasi Aerob Dan An Aerob. *Jurnal Agroqua*, 17(1), 76–81. <https://doi.org/https://doi.org/10.32663/JA.V17I1.507>

- Prasetyo, A. B., Tampoebolon, B. I. M., & Nuswantara, L. K. (2022). Kandungan Serat Kasar, Kecernaan Serat Kasar, dan Fermentabilitas Bonggol Singkong yang Difermentasi Menggunakan *Aspergillus niger*. *Jurnal Agripet*, 22(2), 204–212. <https://doi.org/https://doi.org/10.17969/agripet.v22i2.24805>
- Purwanto, Y. A., & Weliana, W. (2018). Kualitas Tempe Kedelai pada Berbagai Suhu Penyimpanan. *Journal of Agro-Based Industry*, 35(2), 106–112. <https://doi.org/10.32765/wartaihp.v35i2.4297>
- Raharjo, A. P., & Isnawati, I. (2022). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Selulolitik pada Pakan Fermentasi Eceng Gondok, Tongkol Jagung, dan Bekatul Padi. *Lentera Bio*, 11(1), 44–51. <https://doi.org/https://doi.org/10.26740/lenterabio.v11n1.p44-51>
- Rahayu, Y. P., Nasution, H. M., & Prasetyo, H. A. (2025). Perbedaan Media Fermentasi Terhadap Produksi Protein Sel Tunggal (PST) Menggunakan Kultur *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*, 8(2), 740–752. <https://doi.org/https://doi.org/10.36490/journal-jps.com.v8i2.846>
- Ramli, R., & Hartono, H. (2015). Produksi Biogas Limbah Isi Rumen Sapi Asal Rumah Pemotongan Hewan(RPH). *Jurnal Bionature*, 16(2), 122–126. <https://doi.org/https://doi.org/10.35580/bionature.v16i2.2467>
- Salman, S., Sinaga, K., Indriana, M., Febriani, Y., & Zulfikar, Z. (2023). Effect of *Aspergillus oryzae* fermentation of coffee husk flour with two different amounts of urea and ammonium sulfate on the reduction of crude fiber. *Journal Of Pharmaceutical And Sciences*, 6(1), 167–177. <https://doi.org/https://doi.org/10.36490/journal-jps.com.v6i1.47>
- Samsiah, S., Hilakore, M. A., Lazarus, E. J. L., & Lawa, E. D. W. (2023). Penggunaan Karbohidrat Mudah Larut Dalam Pembuatan Silase Isi Rumen Sapi Terhadap Bahan Kering, Bahan Organik Dan Kecernaan In Vitro. *Jurnal Ilmiah Peternakan*, 5(2), 52–59. <https://doi.org/https://doi.org/10.33474/rekasatwa.v5i2.20807>
- Saputro, W. S., Efendi, K., & Darmawan, M. A. (2024). Hubungan Protein Kasar Tercerhubungan Protein Kasar Tercerna Dan Serat Kasar Tercerna Terhadap Produksi Gas Metan Pada Domba Lokal Jantanna Dan Serat Kasar Tercerna Terhadap Produksi Gas Metan Pada Domba Lokal Jantan. *Tropical Animal Science*, 6(1), 29–34. <https://doi.org/10.36596/tas.v6i1.1344>
- Superianto, S., Harahap, A. E., & Ali, A. (2018). Nilai Nutrisi Silase Limbah Sayur Kol dengan Penambahan Dedak Padi dan Lama Fermentasi yang Berbeda. *Jurnal Sain Peternakan Indonesia*, 13(2), 172–181. <https://doi.org/https://doi.org/10.31186/JSPI.ID.13.2.172-181>
- Suryaningrum, L. H., & Samsudin, R. (2018). Potensi Enzim Selulase Dalam Mendegradasi Material Lignoselulosa Sebagai Bahan Pakan Ikan. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Riset Pengolahan Produk Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan Tahun*, 71–76. <https://doi.org/https://doi.org/10.31227/osf.io/xc9zr>
- Wolayan, F. R., Tulung, Y. R. L., Bagau, B., Liwe, H., & Untu, I. M. (2017). Silase Limbah Organik Pasar Sebagai Pakan Alternatif Ternak Ruminansia. *Pastura*, 7(1), 52–53. <https://doi.org/https://doi.org/10.24843/pastura.2017.v07.i01.p12>
- Yakin, E. A., Ngadiyono, N., & Utomo, R. (2012). Pengaruh Substitusi Silase Isi Rumen Sapi Pada Pakan Basal Rumpot Dan Konsentrat Terhadap Kinerja Sapi Potong. *Buletin Peternakan*, 36(3), 174–180. <https://doi.org/https://doi.org/10.21059/BULETINPETERNAK.V36I3.1626>
- Yuliana, A., & Chuzaemi, S. (2019). Pengaruh Lama Fermentasi Ampas Putak (*Corypha gebanga*) Terhadap Kualitas Fisik Dan Kualitas Kimia Menggunakan *Aspergillus oryzae*. *Jurnal Nutrisi Ternak Tropis*, 2(1), 19–32. <https://doi.org/https://doi.org/10.21776/UB.JNT.2019.002.01.3>
- Zubaidah, A., Prasetyo, D., Handajani, H., Rohmah, S. P., & Puspita, A. (2019). Bakteri selulolitik dan amilolitik pada rumen sapi sebagai kandidat probiotik pada budidaya ikan secara. 14(246), 261–271.
- Zurak, D., Kristina, K., & Aladrović, J. (2023). Metabolism and utilisation of non-protein nitrogen compounds in ruminants. *Journal of Central European Agriculture*, 24(1), 1–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.5513/jcea01/24.1.3645>

Halaman ini dikosongkan