

PENGARUH SUPLEMENTASI MINERAL ORGANIK (Cu-lisinat dan Zn-lisinat) DAN ASAM AMINO PEMBATA (METIONIN) DALAM RANSUM BERBASIS LIMBAH SINGKONG TERHADAP KECERNAAN SERAT KASAR DAN PROTEIN KASAR KAMBING *CROSS BOER* JANTAN

SKRIPSI

Oleh

**Syafira Aulia Rahma
2214241023**



**JURUSAN PETERNAKAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

PENGARUH SUPLEMENTASI MINERAL ORGANIK (Cu-lisinat dan Zn-lisinat) DAN ASAM AMINO PEMBATA (METIONIN) DALAM RANSUM BERBASIS LIMBAH SINGKONG TERHADAP KECERNAAN SERAT KASAR DAN PROTEIN KASAR KAMBING *CROSS BOER* JANTAN

Oleh

Syafira Aulia Rahma

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian mineral organik (Cu dan Zn) dan asam amino pembatas (Metionin) dalam ransum terhadap pencernaan serat kasar dan protein kasar pada kambing *cross boer* jantan. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember--Januari di Kahfi Farm, Jati Agung, Lampung Selatan dan analisis proksimat dilakukan di Laboratorium Nutrisi dan Makanan Ternak, Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Penelitian ini dilakukan menggunakan 12 ekor kambing *cross boer* jantan dengan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) berdasarkan bobot badan yang terdiri dari 3 perlakuan dan 4 kali ulangan. Perlakuan pada penelitian ini yaitu P0 : Ransum Basal 100%, P1 : P0 + mineral Organik (40 ppm Zn-Lisinat dan 10 ppm Cu-Lisinat), P2 : P1 + Asam amino metionin (0,1% sesuai rekomendasi produk). Peubah yang diamati yaitu Kecernaan Protein Kasar dan Kecernaan Serat Kasar. Hasil penelitian yang didapatkan menunjukkan bahwa ransum basal yang diberi penambahan mineral organik (Cu dan Zn) dan asam amino pembatas (Metionin) berpengaruh tidak nyata ($P>0,05$) terhadap nilai pencernaan protein kasar dan serat kasar pada kambing *cross boer* jantan.

Kata kunci : Kambing *cross boer* jantan, Kecernaan Protein Kasar, Kecernaan Serat Kasar, Mineral Organik, Cu dan Zn, Asam amino pembatas Metionin.

ABSTRACT

THE EFFECT OF ORGANIC MINERAL SUPPLEMENTATION (Cu-lysinate and Zn-lysinate) AND LIMITING AMINO ACID (METHIONINE) IN CASSAVA WASTE-BASED RATIO ON THE DIGESTIVENESS OF CRUDE FIBER AND CRUDE PROTEIN IN MALE BOER CROSS GOATS

By

Syafira Aulia Rahma

This study aimed to evaluate the effect of organic mineral supplementation (Cu and Zn) in the diet on crude fiber and crude protein digestibility in male Cross Boer goats. The research was conducted from December to January at Kahfi Farm, Jati Agung, South Lampung, while proximate analysis was carried out at the Laboratory of Animal Nutrition and Feed, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Lampung. The study used 12 male Cross Boer goats arranged in a Completely Randomized Design (CRD) based on body weight, consisting of three treatments with four replications. The dietary treatments were P0: 100% basal diet; P1: P0 supplemented with organic minerals (40 ppm Zn-lysinate and 10 ppm Cu-lysinate); and P2: P1 supplemented with the limiting amino acid methionine (0.1% according to product recommendations). The variables observed were crude protein digestibility and crude fiber digestibility. The results indicated that supplementation of organic minerals (Cu and Zn) and the limiting amino acid (methionine) in the basal diet had no significant effect ($P > 0.05$) on crude protein digestibility and crude fiber digestibility in male Cross Boer goats.

Keywords: Male Cross Boer goats, crude protein digestibility, crude fiber digestibility, organic minerals, Cu and Zn, limiting amino acid methionine.

PENGARUH SUPLEMENTASI MINERAL ORGANIK (Cu-lisinat dan Zn-lisinat) DAN ASAM AMINO PEMBATA (METIONIN) DALAM RANSUM BERBASIS LIMBAH SINGKONG TERHADAP KECERNAAN SERAT KASAR DAN PROTEIN KASAR KAMBING *CROSS BOER* JANTAN

Oleh

Syafira Aulia Rahma

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar SARJANA
PETERNAKAN**

pada

Jurusan Peternakan

Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

Judul Skripsi
: PENGARUH SUPLEMENTASI MINERAL ORGANIK (Cu-lisinat dan Zn-lisinat) DAN ASAM AMINO PEMBATAS (METIONIN) DALAM RANSUM BERBASIS LIMBAH SINGKONG TERHADAP KECERNAAN SERAT KASAR DAN PROTEIN KASAR KAMBING CROSS BOER JANTAN

Nama Mahasiswa : Syafira Aulia Rahma

Nomor Pokok Mahasiswa : 2214241023

Jurusan : Peternakan


Fakultas : Pertanian

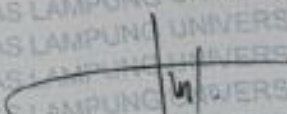


1. Komisi Pembimbing

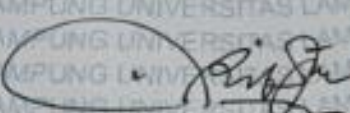
Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota


Prof. Dr. Ir. Muhtarudin, M.S.
NIP 196103071985031006


Liman, S.Pt., M.Si.
NIP 196704221994021001

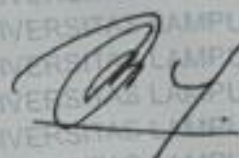
2. Ketua Jurusan Peternakan


Dr. Ir. Arif Qisthon, M.Si., IPU.
NIP 196706031993031002

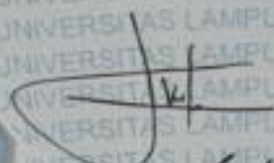
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

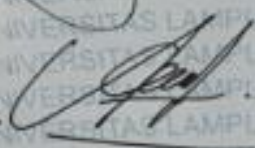
Ketua : Prof. Dr. Ir. Muhtarudin, M.S.



Sekretaris : Liman, S.Pt., M.Si.



Penguji : Dr. Agung Kusuma Wijaya, S.Pt., M.P.

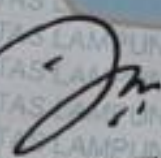


2. Dekan Fakultas Pertanian



Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

0641181989021002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 09 April 2026

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Syafira Aulia Rahma
NPM : 2214241023
Program Studi : Nutrisi dan Teknologi Pakan Ternak
Jurusan : Peternakan
Fakultas : Pertanian

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "Pengaruh Suplementasi Mineral Organik (Cu-lisinat dan Zn-lisinat) dan Asam Amino Pembatas (Metionin) dalam Ransum Berbasis Limbah Singkong terhadap Kecernaan Serat Kasar dan Protein Kasar Kambing *cross boer* Jantan" tersebut adalah hasil penelitian saya kecuali bagian-bagian tertentu yang dirujuk dari sumbernya dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian pernyataan ini saya buat dan apabila dikemudian hari ternyata pernyataan ini tidak benar, maka saya sanggup dituntut berdasarkan undang- undang dan peraturan yang berlaku.

Bandar Lampung, 2 April 2026
Yang membuat pernyataan

The image shows an official stamp of Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) with the text "METERAI TEMPEL" and the number "09ANK651807199". A handwritten signature is written over the stamp.

Syafira Aulia Rahma
NPM 2214241023

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Palembang pada 9 November 2003 sebagai anak kedua dan putri tunggal dari Bapak Dwiantoro Muladi dan Ibu Aini Rezky Emilia.

Penulis menyelesaikan pendidikan pertama di TK Sari Teladan pada 2010, sekolah dasar di SD KARTIKA II-6, penulis mendapatkan nilai 10 besar tertinggi di sekolah pada 2016, sekolah menengah pertama di SMPN 14 Bandar Lampung penulis mendapatkan rangking di tiap semesternya, dan sekolah menengah atas di SMAN 7 Bandar Lampung pada 2022. Pada tahun yang sama, penulis terdaftar sebagai mahasiswa prodi Nutrisi dan Teknologi Pakan Ternak, Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) yang berlokasi di Desa Bumi Agung, Kecamatan Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung pada Januari--Februari 2025.

Selama masa studi penulis aktif menjadi panitia acara di Jurusan Peternakan. Pada Desember--Januari, penulis melaksanakan penelitian di Kahfi Farm, Jati Agung, Lampung Selatan, dan melaksanakan Analisis Proksimat pada Januari 2026 di Laboratorium Nutrisi dan Makanan Ternak, Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

MOTTO

*”Allah tidak mengatakan hidup ini mudah. Tetapi Allah berjanji, bahwa
sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”*

(Q.S Al-Insyirah: 5-6)

“Dan bersabarlah kamu, sesungguhnya janji Allah adalah benar”

(Q.S Ar-rum :60)

“Pada Akhirnya, Ini Semua Hanyalah Permulaan”

(Nadin Amizah)

*“Aku membahayakan nyawa Ibuku untuk lahir ke dunia, jadi tidak mungkin aku
tidak ada artinya”*

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil ‘alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, dan kasih sayang-Nya, sehingga penulis diberi kekuatan, kesabaran, dan kemudahan dalam menuntut ilmu hingga mampu menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, suri teladan umat manusia, yang kelak memberikan syafaat di hari akhir. Aamiin ya Rabbal ‘alamin.

Dengan penuh rasa cinta, hormat, dan haru, karya sederhana ini penulis persembahkan kepada orang-orang istimewa dalam hidup penulis.

Untuk Mama tercinta, AINI REZKY EMILIA,

Terima kasih atas seluruh cinta, doa, pengorbanan, dan ketulusan yang tak pernah terhitung. Mama adalah sosok terkuat dalam hidup penulis, yang dengan segala keterbatasan mampu membesarkan, mendidik, dan mengantarkan penulis hingga ke bangku perkuliahan. Setiap tetes keringat, lelah, dan doa yang Mama panjatkan dalam diam adalah alasan terbesar penulis mampu bertahan dan terus melangkah sampai sejauh ini. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan kesehatan, keberkahan, dan kebahagiaan untuk Mama. Penulis menyadari, karya ini belum sebanding dengan seluruh pengorbanan Mama, namun semoga menjadi langkah awal untuk membahagiakan Mama kelak.

Untuk almarhum Papa tercinta, DWIANTORO MULADI,

Doa dan rindu penulis senantiasa mengalir untukmu. Meski ragamu tak lagi kebersamai langkah penulis, namamu dan doamu akan selalu hidup dalam setiap perjuangan yang penulis tempuh. Semoga Allah SWT mengampuni segala dosa almarhum, menerima seluruh amal ibadahnya, serta menempatkannya di tempat terbaik di sisi-Nya. Aamiin.

Terima kasih.

SANWACANA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya dengan judul “Pengaruh Suplementasi Mineral Organik (Cu-lisinat dan Zn-lisinat) dan Asam Amino Pembatas (Metionin) dalam Ransum Berbasis Limbah Singkong terhadap Kecernaan Serat Kasar dan Protein Kasar Kambing *cross boer Jantan*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana peternakan di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Ir. Arif Qisthon, M.Si., IPU. selaku Ketua Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
3. Bapak Prof. Ir. Akhmad Dakhlan, M.P., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Nutrisi dan Teknologi Pakan Ternak, Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Ir. Erwanto, M.S. selaku dosen pembimbing akademik penulis atas bimbingan dan nasehat kepada penulis;
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhtarudin, M.S. selaku dosen pembimbing utama atas persetujuan, saran dan nasihat serta bimbingannya dalam proses penyusunan skripsi ini;
6. Bapak Liman, S.Pt., M.Si. selaku dosen pembimbing anggota atas bimbingan dan nasehat kepada penulis;
7. Bapak Dr. Agung Kusuma Wijaya, S.Pt., M.P. selaku dosen pembahas atas persetujuan, bimbingan, dan saran dalam proses penyusunan skripsi ini;

8. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung atas bimbingan, nasehat, dan ilmu yang telah diberikan selama studi;
9. Orang tua penulis Bapak Dwiantoro Muladi (Alm), Ibu Aini Rezky Emilia, serta atas semangat, dukungan, dan do'a yang telah diberikan;
10. Sahabat yang telah penulis anggap sebagai saudara penulis yaitu, Hani Dyah Permata Sari, yang selalu mendukung, memberi support, dan selalu setia mendengarkan segala keluh kesah penulis selama ini. Terimakasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan karena berkat dukungan dari nya juga lah penulis bisa sampai dititik ini, selalu ada disaat penulis membutuhkan support batin, selalu bersedia membantu penulis dalam banyak hal. Hanya terimakasih yang dapat peneliti ucapkan semoga bahagia selalu menyertai;
11. Seseorang yang cukup berarti bagi penulis, yaitu Juand Adi Tyo, terima kasih telah hadir dan menjadi bagian penting dalam perjalanan hidup penulis. Terima kasih atas perhatian, serta bantuan yang diberikan selama proses penyusunan karya tulis ini, baik dalam bentuk waktu, materi, tenaga, maupun dukungan lainnya. Kehadiran, dukungan, dan kesediaan untuk mendengarkan telah menjadi sumber semangat dan penguat bagi penulis untuk terus bertahan dan menyelesaikan studi ini dengan sebaik-baiknya;
12. Sahabat terdekat penulis Septiarani, Naqiatu Azzahro dan Thania Naomy Ekydea Putri atas seluruh bantuan dan kebersamaannya yang telah diberikan selama ini;
13. Rekan tim penelitian, Tegar Rifa Pratama, Tyas Sabrina, Nadira dan Monika Yuliana Putri atas perjuangan dan segala bantuan dalam menyelesaikan penelitian ini dari awal hingga akhir;
14. Keluarga besar Jurusan Peternakan angkatan 2022 atas kebersamaannya, serta;
15. Semua sahabat, teman-teman dan kerabat yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Kerangka Pemikiran	4
1.5 Hipotesis	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
1.1 Kambing <i>Cross Boer</i>	7
1.2 Pakan Kambing	8
1.3 Limbah Singkong	9
1.4 Mineral Organik Cu dan Zn.....	11
2.4.1 Tembaga (Cu)	11
2.4.2 Seng (Zn).....	12
1.5 Asam Amino Esensial.....	13
1.6 Serat Kasar.....	14
1.7 Protein Kasar	16
III. METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Waktu dan Tempat.....	18
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	18
3.2.1 Alat penelitian.....	18
3.2.2 Bahan penelitian	18

3.3 Rancangan Penelitian	19
3.4 Peubah yang Diamati	19
3.4.1 Kecernaan serat kasar	19
3.4.2 Kecernaan protein kasar	19
3.5 Pelaksanaan Penelitian	20
3.5.1 Pembuatan ransum basal	20
3.5.2 Pembuatan mineral organik.....	20
3.6 Prosedur Penelitian.....	21
3.6.1 Persiapan penelitian.....	21
3.6.2 Kegiatan penelitian.....	21
3.6.3 Koleksi feses	22
3.6.4 Prosedur analisis proksimat.....	22
3.7 Analisis Data	25
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 Pengaruh Ransum Perlakuan terhadap Kecernaan Serat Kasar pada Kambing <i>Cross boer</i> Jantan.....	26
4.2 Pengaruh Ransum Perlakuan terhadap Kecernaan Protein Kasar pada Kambing <i>Cross boer</i> Jantan.	29
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	33
5.2 Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA.....	34
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Pengaruh ransum perlakuan terhadap pencernaan serat kasar	26
2. Pengaruh ransum perlakuan terhadap pencernaan protein kasar	30
3. Hasil Anova serat kasar	44
4. Hasil Anova protein kasar	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kambing <i>cross boer</i>	8
2. Tata letak perlakuan	19
3. Analisis proksimat.....	48
4. Titrasi	48
5. Pengumpulan feses.....	48
6. Penjemuran feses.....	48

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ruminansia mempunyai peranan yang sangat penting dalam pemenuhan kebutuhan gizi hewani bagi masyarakat. Ternak ruminansia dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu ruminansia besar seperti sapi dan kerbau, serta ruminansia kecil seperti kambing dan domba. Salah satu jenis ruminansia kecil yang memiliki potensi tinggi untuk dikembangkan adalah kambing, terutama kambing hasil persilangan seperti kambing *Cross Boer*. Kambing *Cross Boer* dikenal memiliki laju pertumbuhan yang tinggi, efisiensi pemanfaatan pakan yang baik, serta menghasilkan karkas dan daging dengan kualitas yang baik (Bezerra *et al.*, 2019; Solaiman *et al.*, 2011). Di Provinsi Lampung, pengembangan ternak kambing memiliki prospek yang baik karena didukung oleh meningkatnya minat masyarakat dalam usaha peternakan skala kecil. Usaha peternakan kambing juga memberikan kontribusi signifikan terhadap pemenuhan konsumsi daging nasional dan penyediaan sumber protein hewani bagi masyarakat.

Produktivitas ternak kambing sangat peka terhadap perubahan pakan yang diberikan, karena kualitas pakan akan berpengaruh langsung terhadap pencernaan dan pemanfaatan nutrisi oleh ternak. Secara umum, produktivitas ternak dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu faktor genetik (sekitar 40%) dan faktor lingkungan (sekitar 60%), di mana faktor lingkungan yang paling dominan adalah pakan (Patriani *et al.*, 2019)

Semakin baik kualitas pakan yang dikonsumsi, maka semakin tinggi pula produktivitas yang dihasilkan. Salah satu kendala utama dalam usaha peternakan adalah tingginya harga bahan pakan berkualitas. Pakan bahkan dapat menyumbang hingga 60–70% dari total biaya produksi (Vertygo *et al.*, 2024). Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya untuk memanfaatkan bahan pakan lokal yang lebih ekonomis namun tetap memenuhi kebutuhan nutrisi ternak.

Limbah singkong merupakan salah satu bahan pakan alternatif yang potensial karena ketersediaannya yang melimpah di Indonesia. Namun demikian, limbah singkong memiliki beberapa kelemahan, di antaranya rendah kandungan protein dan tingginya kadar serat kasar, serta mengandung senyawa antinutrisi seperti sianida yang dapat menurunkan palatabilitas dan pencernaan (Irawan *et al.*, 2023). Untuk meningkatkan kualitas nutrisi ransum berbasis limbah singkong, diperlukan strategi suplementasi nutrisi esensial seperti mineral dan asam amino agar pencernaan dan efisiensi pemanfaatan pakan dapat ditingkatkan.

Kecernaan pakan merupakan parameter penting untuk menilai zat nutrisi yang dapat diserap oleh saluran pencernaan ternak. Tingkat pencernaan nutrisi sangat menentukan kualitas ransum dan kemampuan ternak dalam memanfaatkan zat-zat makanan untuk memenuhi kebutuhan hidup pokok maupun pertumbuhan. Dengan demikian, upaya peningkatan pencernaan menjadi faktor utama dalam formulasi ransum yang efisien dan ekonomis.

Salah satu strategi yang dapat diterapkan adalah dengan pemberian bahan pelengkap (suplemen) seperti mineral, vitamin, asam amino, dan asam lemak tambahan. Mineral merupakan komponen penting dalam tubuh ternak yang berperan dalam pertumbuhan, kesehatan, reproduksi, dan sistem kekebalan tubuh (NRC, 2007). Dua mineral penting bagi ternak ruminansia adalah tembaga (Cu) dan seng (Zn). Mineral berperan sebagai kofaktor berbagai enzim yang terlibat dalam metabolisme protein, energi, serta (Tanuwiria dan Ayuningsih, 2008). Suplementasi mineral dalam bentuk organik diketahui memiliki ketersediaan hayati lebih tinggi dibanding bentuk anorganik, sehingga dapat meningkatkan efisiensi penyerapan dan pemanfaatan nutrisi pakan (Muhtarudin dan Liman,

2006)

Selain mineral, penambahan asam amino pembatas seperti metionin juga penting untuk meningkatkan efisiensi penggunaan protein. Metionin merupakan salah satu asam amino esensial yang berfungsi sebagai donor gugus metil dalam proses metabolisme dan sintesis protein. Kekurangan metionin dapat menurunkan efisiensi penggunaan nitrogen dan menekan pertumbuhan ternak (wu, 2013). Dengan demikian, suplementasi metionin diharapkan dapat memperbaiki pemanfaatan protein pakan dan meningkatkan pencernaan protein kasar.

Kambing *Cross Boer* jantan memiliki potensi genetik pertumbuhan yang tinggi, namun potensi tersebut tidak dapat dimaksimalkan tanpa dukungan pakan dengan komposisi nutrisi yang seimbang. Oleh karena itu, pemberian ransum berbasis limbah singkong yang disuplementasi dengan mineral organik (Cu dan Zn) serta asam amino pembatas (Metionin) diharapkan dapat meningkatkan pencernaan serat kasar dan protein kasar, sehingga dapat menunjang produktivitas dan efisiensi pertumbuhan kambing *Cross Boer* jantan.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. mengetahui pengaruh suplementasi mineral organik (Cu dan Zn) dan asam amino pembatas (Metionin) terhadap pencernaan serat kasar dan protein kasar pada kambing cross boer;
2. mengetahui perlakuan terbaik pemberian mineral organik (Cu dan Zn) dan asam amino pembatas (Metionin) pada pencernaan serat kasar dan protein kasar pada kambing cross boer

1.3 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan manfaat bagi peternak atau pihak-pihak tertentu untuk mengoptimalkan penggunaan mineral organik (Cu dan Zn) dan asam amino pembatas (metionin) sebagai suplementasi nutrisi pada pakan ternak.

1.4 Kerangka Pemikiran

Pakan merupakan komponen utama yang menentukan produktivitas ternak ruminansia, dengan kontribusi biaya yang cukup tinggi. Oleh karena itu, efisiensi penggunaan pakan menjadi faktor penting dalam usaha peternakan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menekan biaya produksi tanpa menurunkan performa ternak adalah dengan memanfaatkan bahan pakan lokal, seperti limbah singkong, yang melimpah dan murah.

Limbah singkong, seperti kulit singkong, daun singkong, dan onggok, memiliki kandungan energi yang cukup tinggi, namun memiliki keterbatasan berupa kadar protein kasar yang rendah dan serat kasar yang tinggi (Jauhari *et al.*, 2025). Kandungan serat kasar yang tinggi dapat menurunkan pencernaan, sementara rendahnya protein membatasi pertumbuhan dan aktivitas mikroba rumen yang berperan dalam proses fermentasi. Akibatnya, efisiensi pemanfaatan pakan menurun dan performa pertumbuhan ternak tidak optimal. Oleh karena itu, diperlukan strategi peningkatan nilai nutrisi limbah singkong melalui suplementasi zat gizi tambahan.

Salah satu strategi yang dapat diterapkan adalah dengan penambahan mineral organik. Mineral seperti tembaga (Cu) dan seng (Zn) merupakan mikronutrien penting yang berfungsi sebagai kofaktor berbagai enzim yang berperan dalam metabolisme energi, sintesis protein, sistem imun, serta kesehatan jaringan tubuh (Afzalani *et al.*, 2017). Kekurangan Cu dan Zn dapat menyebabkan gangguan metabolisme, penurunan kinerja enzim, dan terganggunya fungsi fisiologis ternak. Selain itu, Cu dan Zn juga berperan dalam menjaga keseimbangan populasi mikroba rumen, khususnya bakteri selulolitik yang berperan dalam degradasi serat kasar. Cu berperan dalam pembentukan enzim oksidase yang mendukung metabolisme energi dan aktivitas respirasi mikroba, sedangkan Zn berperan dalam pembentukan enzim karbonik anhidrase dan dehidrogenase yang membantu proses pencernaan protein dan karbohidrat.

Bentuk mineral organik diketahui memiliki ketersediaan hayati yang lebih tinggi dibanding bentuk anorganik, karena mampu berikatan dengan asam amino atau peptida yang memudahkan proses absorpsi di saluran pencernaan (Gowda *et al.*, 2024). Mineral organik juga lebih stabil terhadap perubahan pH rumen dan tidak mudah berikatan dengan zat antinutrisi, sehingga lebih efisien diserap dan dimanfaatkan tubuh. Dengan peningkatan ketersediaan mineral organik Cu dan Zn, aktivitas enzim rumen meningkat, fermentasi berjalan lebih efisien, dan hasilnya akan meningkatkan kecernaan serat kasar serta kecernaan protein kasar pada kambing Cross Boer Jantan.

Selain mineral, penambahan asam amino pembatas seperti metionin juga penting untuk meningkatkan efisiensi penggunaan protein pakan. Metionin merupakan salah satu asam amino esensial yang tidak dapat disintesis oleh tubuh ternak dan harus disuplai dari pakan (Antika *et al.*, 2024). Metionin berperan sebagai donor gugus metil dalam berbagai proses biokimia, serta berfungsi dalam sintesis protein dan pembentukan senyawa yang mengandung sulfur penting bagi metabolisme tubuh (Wu, 2013). Kekurangan metionin dapat menurunkan efisiensi pemanfaatan nitrogen dan menyebabkan pertumbuhan yang lambat (Wang *et al.*, 2023). Dengan demikian, suplementasi metionin diharapkan dapat meningkatkan ketersediaan protein yang dapat dicerna, memperbaiki sintesis protein mikroba, dan meningkatkan kecernaan protein kasar.

Kambing *Cross Boer* jantan merupakan hasil persilangan kambing Boer dengan kambing lokal yang memiliki potensi genetik pertumbuhan cepat, konversi pakan efisien, dan kualitas daging yang baik (Budiarto *et al.*, 2021). Namun, potensi tersebut hanya dapat diwujudkan apabila kebutuhan nutrisi, khususnya protein dan mineral, terpenuhi dengan baik. Suplementasi mineral organik (Cu dan Zn) bersama asam amino pembatas (Metionin) dalam ransum berbasis limbah singkong diharapkan dapat meningkatkan keseimbangan nutrisi, aktivitas mikroba rumen, dan proses fermentasi pakan. Peningkatan aktivitas mikroba rumen akan memperbaiki degradasi serat kasar, sedangkan

peningkatan sintesis protein mikroba akan memperbaiki pencernaan protein kasar (Khaeri *et al.*, 2023).

1.5 Hipotesis

Adapun hipotesis pada penelitian ini yaitu:

1. Terdapat pengaruh suplementasi mineral organik (Cu dan Zn) dan asam amino pembatas (Metionin) terhadap pencernaan serat kasar dan protein kasar pada kambing *cross boer*;
2. Terdapat perlakuan terbaik suplementasi mineral organik (Cu dan Zn) dan asam amino pembatas (Metionin) terhadap pencernaan serat kasar dan protein kasar pada kambing *cross boer*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kambing Cross Boer

Kambing Cross Boer termasuk ternak yang telah lama dipelihara oleh peternak karena kambing ini memiliki toleransi tinggi terhadap bermacam-macam hijauan pakan ternak serta mampu beradaptasi dengan baik terhadap berbagai keadaan lingkungan sehingga memungkinkan dapat hidup dan berkembang biak sepanjang tahun. Pemeliharaan dan perawatannya tidak begitu berbeda dengan kambing PE, sehingga kambing Cross Boer lebih dipilih untuk dipelihara dan dikembangkan (Wanapat dan Kang, 2015).

Kambing lokal termasuk Cross Boer memiliki adaptasi lingkungan yang baik pada suatu agroekosistem yang mengikuti lingkungan dan manajemen pemeliharaannya di habitatnya. Menurut Sudirman *et al.* (2025), secara ekonomis ternak kambing memiliki beberapa kelebihan dibandingkan ternak ruminansia lain diantaranya tubuhnya kecil dan cepat mencapai dewasa kelamin, pemeliharaan kambing tidak memerlukan lahan yang luas dan modal yang dibutuhkan relatif kecil.

Ternak kambing memiliki potensi yang baik untuk ketahanan pangan dan sebagai komoditas ekspor yang prospektif (Mertens dan Ely, 1979). Ciri-ciri umum kambing lokal yaitu memiliki tanduk relatif kecil dan pendek, postur tubuh relatif kecil, berbulu lurus dengan tekstur kasar, dahi datar, ekor melengkung ke atas, panjang badan sekitar 66--110 cm, panjang ekor 10--15 cm. Dapat dilihat pada Gambar 1.

Untuk meningkatkan produktivitas daging guna mencukupi kebutuhan daging dalam negeri, maka dilakukan berbagai cara, salah satunya melalui program penyilangan kambing lokal dengan kambing unggul atau jenis kambing unggul dengan kambing unggul (Jauhari *et al.*, 2025).

Menurut Ali *et al.* (2022), Salah satu cara untuk memaksimalkan potensi kambing boer adalah melalui pemberian pakan, pakan merupakan salah satu faktor keberhasilan dalam mengembangkan usaha agribisnis. Pakan kambing berupa hijauan ketersediaannya masih terbatas sehingga peternak menggunakan pakan alternative berupa complete feed.



Gambar 1. Kambing *cross boer*

2.2 Pakan Kambing

Pakan adalah salah satu kebutuhan pokok yang memerlukan banyak pengeluaran di dalam dunia peternakan. Untuk itu, perlu pengetahuan lebih mengenai pakan dan pemberiannya. Pakan menjadi perhatian bagi peternak baik dari segi jumlah maupun kualitas nutrisi. Jumlah pakan yang diberikan kepada ternak umumnya ditentukan oleh jenis dan umur kambing. Faktor penghambat pemenuhan jumlah pakan yang diberikan kepada peternak banyak ditentukan oleh ketersediaan pakan dari jenis hijauan maupun pakan tambahan (*suplemen*).

Ternak membutuhkan pakan yang mengandung nutrisi seperti protein, karbohidrat, lemak, mineral, vitamin dan air (Sudarmono dan Sugeng, 2008). Ternak ruminansia sangat membutuhkan pakan hijauan karena termasuk pakan

utama yang memiliki kualitas baik. Kandungan nutrisi yang cukup di dalam hijauan sangat disukai oleh ternak ruminansia, selain itu hijauan juga sangat dibutuhkan untuk menunjang produktivitas ternak ruminansia (*Kurnianingtyas et al.*, 2012).

Pakan suplemen merupakan pakan tambahan yang berperan untuk meningkatkan produktivitas pada ternak. Tripuratapini *et al.* (2015) menjelaskan bahwa suplementasi pakan dapat meningkatkan nutrisi pakan yang mendukung pertumbuhan dan perkembangbiakan ternak. Pakan komplit merupakan jenis pakan ternak yang tersusun dari beberapa jenis bahan pakan seperti pakan sumber serat, protein dan nutrisi lainnya yang disusun secara seimbang (Wahjuni dan Bijanti, 2006). Pemberian pakan komplit merupakan langkah yang menjanjikan dalam usaha peternakan khususnya pada pemeliharaan secara intensif. Pakan komplit digunakan agar mampu memenuhi kebutuhan ternak, meningkatkan kualitas dan kuantitas (ketersediaan) pakan, serta meningkatkan konsumsi dan pencernaan ternak (Rinduwati dan Mutmainnah, 2019).

2.3 Limbah Singkong

Daun singkong merupakan limbah dari pemanenan umbi tanaman singkong yang diambil daunnya. Biasanya dimanfaatkan untuk pakan baik dalam bentuk segar atau dalam bentuk tepung daun singkong, yaitu daun singkong yang dikeringkan dan digiling. Ketersediaan daun singkong terus meningkat, hal ini diindikasikan dengan semakin meluasnya area penanaman dan produksi tanaman singkong (Rahman *et al.*, 2025)

Limbah daun singkong merupakan limbah yang dihasilkan dari proses pemanenan umbi tanaman singkong yang diambil daunnya. Daun singkong termasuk kedalam bahan pakan hijauan untuk ternak. Kulit dan daun singkong mengandung protein dan serat kasar lebih tinggi di banding singkong (Khaeri *et al.*, 2023), namun selama ini kulit singkong hanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak. Kandungan protein yang cukup tinggi pada daun singkong menjadikannya sumber bahan pakan potensial, namun kadar serat yang tinggi dapat membatasi pencernaan terutama pada ternak ruminansia. Saat ini

pemanfaatan kulit singkong dan daun singkong segar sebagai pakan ternak hanya dilakukan dalam jumlah terbatas sebab kulit dan daun singkong mengandung asam sianida (HCN) yang bersifat racun (Ravindran, 1993)

Pembuatan silase merupakan cara yang tepat untuk mengawetkan daun singkong sebagai pakan untuk pakan pada musim kemarau (Ravindran, 1993). Prinsip pembuatan silase daun singkong dengan mengepres bahan ke penampung (silo atau plastik) untuk menjamin sesegera mungkin mencapai kondisi anaerob. Pertumbuhan mikroorganisme anaerob dan fakultatif anaerob akan terjadi dan berkompetisi dalam memperebutkan nutrisi pada substrat daun singkong. Pada kondisi ini dibutuhkan sumber protein dan energy yang mudah difermentasi substrat. Protein dibutuhkan untuk tumbuh dan berkembangnya mikroorganisme anaerob. Nitrogen yang terkandung pada protein substrat adalah komponen yang penting untuk penyusun protein, asam nukleat, enzim, dan asam amino yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan proses metabolisme bakteri asam laktat. Pemenuhan kebutuhan nutrisi utama seperti protein akan mengoptimalkan pertumbuhan bakteri asam laktat yang melaksanakan proses ensilase (Lloyd *et al.*, 1978).

Selain peningkatan kandungan protein melalui proses ensilase, kualitas daun singkong sebagai bahan pakan juga dapat ditingkatkan dengan penambahan mineral organik seperti tembaga (Cu) dan seng (Zn). Mineral Cu dan Zn berperan penting dalam sistem enzimatik mikroba rumen yang mendukung proses fermentasi dan degradasi serat (Peter, 1994). Cu berfungsi sebagai kofaktor enzim oksidase dan meningkatkan metabolisme energi serta sintesis protein, sedangkan Zn diperlukan dalam pembentukan enzim protease dan amilase yang berperan dalam pencernaan protein dan karbohidrat (Suttle, 2016). Kekurangan Cu dan Zn dalam ransum dapat menurunkan aktivitas mikroba rumen dan menurunkan pencernaan serat kasar (Mayulu *et al.*, 2019).

Suplementasi mineral organik Cu dan Zn dalam pakan berbasis limbah singkong dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan nutrisi dan daya cerna ransum, karena mineral organik lebih mudah diserap dan memiliki ketersediaan hayati

yang lebih tinggi dibandingkan bentuk anorganik (Zhao *et al.*, 2022) Kombinasi pemberian mineral organik bersama bahan lokal seperti daun singkong bersilase diharapkan dapat memperbaiki fermentasi rumen, meningkatkan populasi mikroba, dan pada akhirnya memperbaiki pencernaan serat kasar serta protein kasar pada ternak ruminansia seperti kambing *Cross Boer*.

2.4 Mineral Organik

2.4.1 Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) berperan penting dalam aktivitas enzim-enzim yang berhubungan dengan proses pencernaan dan metabolisme energi pada ruminansia. Cu berfungsi sebagai kofaktor berbagai enzim oksidatif seperti sitokrom oksidase, lisil oksidase, dan superoksida dismutase yang berperan dalam proses respirasi sel dan sintesis protein (Safitri *et al.*, 2025). Keberadaan Cu dalam jumlah yang optimal dapat meningkatkan efisiensi metabolisme mikroba rumen yang berperan dalam degradasi komponen serat seperti selulosa dan hemiselulosa.

Penelitian Wilk *et al.* (2022) melaporkan bahwa suplementasi Cu dalam ransum kambing dapat meningkatkan aktivitas mikroba selulolitik di rumen, yang berdampak pada meningkatnya pencernaan serat kasar. Hal ini dikarenakan Cu membantu menjaga keseimbangan oksidatif dan mendukung kerja enzim selulase yang diproduksi mikroba rumen. Kekurangan Cu dapat menurunkan aktivitas mikroba rumen, menyebabkan akumulasi bahan serat yang tidak tercerna, dan menurunkan efisiensi pakan. Selain itu, Cu juga berpengaruh terhadap pencernaan protein kasar melalui perannya dalam proses pembentukan enzim dan metabolisme asam amino. Suprayitno *et al.* (2020) menyebutkan bahwa peningkatan kadar Cu dalam batas fisiologis dapat meningkatkan sintesis protein mikroba rumen, yang menjadi sumber utama protein bagi hewan ruminansia. Namun, kelebihan Cu dapat bersifat toksik bagi mikroba rumen dan menurunkan aktivitas fermentasi protein.

Secara umum, keseimbangan kadar Cu dalam ransum sangat penting. Cu yang cukup akan mendukung peningkatan pencernaan serat kasar dan protein kasar

melalui optimasi aktivitas enzim rumen dan mikroba fermentatif. Sebaliknya, kekurangan atau kelebihan Cu dapat menurunkan efisiensi pencernaan dan kinerja pertumbuhan ternak (Alonso dan Miranda, 2020).

2.4.2 Seng (Zn)

Seng (Zn) merupakan mineral esensial yang berperan dalam berbagai reaksi enzimatik, terutama yang berkaitan dengan metabolisme protein dan karbohidrat. Zn berfungsi sebagai kofaktor lebih dari 200 enzim, termasuk dehidrogenase, peptidase, dan karboksipeptidase yang berperan langsung dalam degradasi protein dan serat kasar (Suprayitno *et al.*, 2020). Kekurangan Zn dapat menurunkan aktivitas enzim pencernaan dan menyebabkan penurunan efisiensi pemanfaatan nutrisi pakan pada ternak ruminansia.

Doko *et al.* (2024) melaporkan bahwa suplementasi Zn dalam ransum kambing potong meningkatkan pencernaan protein kasar serta penambahan bobot badan. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya aktivitas enzim proteolitik di rumen serta peningkatan populasi mikroba yang mendegradasi bahan organik. Zn juga berperan penting dalam menjaga integritas dinding rumen, sehingga memperbaiki proses penyerapan hasil fermentasi.

Selain memengaruhi protein, Zn juga berperan dalam degradasi serat kasar. Menurut Jung dan Allen (1995), suplementasi Zn dapat meningkatkan aktivitas enzim selulase dan hemiselulase yang dihasilkan oleh mikroba rumen. Zn membantu stabilisasi struktur protein enzim dan memperkuat sistem antioksidan mikroba, sehingga proses fermentasi serat berjalan lebih efisien.

Namun, keseimbangan antara Cu dan Zn perlu diperhatikan karena kedua mineral ini memiliki hubungan antagonistik dalam penyerapan. Asupan Zn yang terlalu tinggi dapat menurunkan ketersediaan Cu, dan sebaliknya (Fatimah, 2021). Oleh karena itu, dalam ransum berbasis limbah singkong yang cenderung rendah mineral, suplementasi Cu dan Zn secara seimbang dapat meningkatkan pencernaan serat kasar dan protein kasar secara optimal, sekaligus mendukung performa pertumbuhan kambing ruminansia.

2.5 Asam Amino Esensial

Lisin merupakan asam amino esensial yang berperan penting dalam pembentukan protein dan peningkatan pemanfaatan nutrisi pada ternak ruminansia. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa suplementasi lisin dapat meningkatkan pencernaan protein kasar dan serat kasar. Zou *et al.* (2023) melaporkan bahwa kombinasi lisin dan metionin dapat menurunkan kebutuhan protein tanpa menurunkan performa ternak, sedangkan Luo *et al.* (2025) dan Yang *et al.* (2025) menemukan bahwa pemberian lisin mampu meningkatkan pencernaan bahan kering, protein, serta fraksi serat pada ternak ruminansia.

Ketersediaan lisin yang cukup juga membantu pertumbuhan mikroba rumen, terutama bakteri yang berperan dalam pemecahan serat. Hal ini membuat proses fermentasi rumen menjadi lebih efisien dan meningkatkan produksi energi bagi ternak. Dengan demikian, suplementasi lisin tidak hanya mendukung pertumbuhan jaringan tubuh, tetapi juga membantu meningkatkan pencernaan pakan dan efisiensi metabolisme pada ruminansia.

Metionin merupakan asam amino esensial yang berperan penting dalam sintesis protein, pertumbuhan jaringan, serta pengaturan metabolisme pada ternak ruminansia. Ketersediaan metionin yang cukup dalam ransum sangat memengaruhi keseimbangan asam amino dan efisiensi pemanfaatan protein kasar. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa suplementasi metionin dapat meningkatkan pencernaan protein kasar dan memperbaiki metabolisme nitrogen pada ruminansia. Zou *et al.* (2023) melaporkan bahwa kombinasi lisin dan metionin mampu menurunkan kebutuhan protein kasar tanpa mengurangi performa pertumbuhan, sedangkan Luo *et al.* (2025) menemukan bahwa suplementasi keduanya dapat meningkatkan pencernaan protein kasar dan keseimbangan nitrogen pada domba melalui perbaikan mikrobioma kolon. Hal ini menunjukkan bahwa metionin memiliki peran penting dalam mengoptimalkan pemanfaatan protein pakan agar lebih efisien digunakan untuk pertumbuhan dan pembentukan jaringan tubuh.

Selain berperan dalam peningkatan pencernaan protein, metionin juga berkontribusi terhadap pencernaan serat kasar melalui peningkatan aktivitas mikroba rumen. Ketersediaan metionin yang cukup dapat mendukung sintesis protein mikroba dan produksi enzim selulolitik yang membantu proses degradasi serat. Rizal (2010), menyatakan bahwa suplementasi metionin dalam pakan domba lokal jantan yang diberi onggok kukus mampu meningkatkan konsumsi dan pemanfaatan protein, meskipun tidak berpengaruh nyata terhadap retensi nitrogen. Sementara itu, Lestianto (2010) menemukan bahwa penambahan metionin dalam pakan kambing meningkatkan efisiensi penggunaan protein kasar dan memperbaiki pencernaan nutrisi tanpa menurunkan konsumsi serat kasar. Secara keseluruhan, suplementasi metionin dapat meningkatkan efisiensi pencernaan protein dan serat kasar melalui optimalisasi fermentasi rumen, sehingga mendukung peningkatan produktivitas ternak ruminansia.

2.6 Kecernaan Serat Kasar

Serat kasar terdiri dari polisakarida yang tidak larut (selulosa dan hemiselulosa) serta lignin. Serat kasar tidak dapat dicerna oleh nonruminansia, tetapi merupakan sumber energi mikroba rumen dan bahan pengisi lambung bagi ternak ruminansia. Serat kasar ataupun senyawa-senyawa yang termasuk di dalam serat mempunyai sifat kimia yang tidak larut dalam air, asam ataupun basa meskipun dengan pemanasan atau hidrolisis.

Bagi ternak ruminansia fraksi serat dalam pakannya berfungsi sebagai sumber utama, dimana sebagian besar selulosa dan hemiselulosa dari serat dapat dicerna oleh mikroba yang terdapat dalam sistem pencernaannya. Ruminansia dapat mencerna serat dengan baik, dimana 70--80% dari kebutuhan energinya berasal dari serat (Sitompul dan Martini, 2005).

Serat kasar terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Serat kasar bagi ternak ruminansia merupakan sumber energi bagi mikroorganisme dalam rumen dan sebagai bahan pengisi rumen, sedangkan bagi ternak nonruminansia serat kasar adalah komponen yang tidak dapat dicerna. Serat kasar pada ruminansia menjadi

sangat penting karena bahan ini digunakan dalam membantu proses pencernaan makanan. Kadar serat yang tinggi akan menurunkan kadar Total *Digestible Nutrient* (TDN) dari bahan makanan. Setiap penambahan 1% serat kasar dalam tanaman menyebabkan penurunan daya cerna bahan organiknya sekitar 0,7-1,0 unit pada ruminansia (Pasaribu dan Pratiwi, 2014).

Konsumsi serat kasar adalah jumlah serat kasar yang dikonsumsi oleh ternak dalam bentuk bahan kering yang diperoleh dari hasil perhitungan jumlah serat kasar yang diberikan dikurangi jumlah serat kasar sisa dalam satu hari. Serat kasar bagi ruminansia digunakan sebagai sumber energi utama dan lemak kasar merupakan sumber energi yang efisien serta berperan penting dalam metabolisme tubuh sehingga perlu diketahui kecernaannya dalam tubuh ternak (Suprpto *et al.*, 2013). Menurut Aling *et al.* (2021), serat kasar memiliki hubungan yang negatif dengan kecernaan karena semakin rendah serat kasar maka semakin tinggi kecernaan pada ransum.

Tillman *et al.* (1998), menyatakan bahwa kecernaan serat kasar tergantung pada kandungan serat kasar dalam ransum dan jumlah serat kasar yang dikonsumsi. Daya cerna serat kasar dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kadar serat dalam pakan, komposisi penyusun serat kasar dan aktivitas mikroorganisme (Nurkhasanah *et al.*, 2020).

Meningkatnya konsumsi serat kasar terutama karbohidrat mudah larut akan dimanfaatkan oleh mikroba rumen sebagai sumber energi sehingga dapat memproduksi enzim pencerna serat secara optimal sehingga kecernaan serat kasar menjadi meningkat (Nurkhasanah *et al.*, 2020).

Mcdonald *et al.* (2002), menyatakan bahwa serat kasar yang terkandung pada pakan tiap perlakuan sangat penting pengaruhnya terhadap daya cerna serat kasar ternak terhadap pakan tersebut. Kecernaan pakan didefinisikan dengan cara menghitung bagian zat makanan yang tidak dikeluarkan melalui feses dengan asumsi zat makanan tersebut telah diserap oleh ternak, biasanya

dinyatakan berdasarkan bahan kering dan sebagai suatu koefisien atau persentase. Selisih antara nutrient yang dikandung dalam bahan pakan dengan nutiren yang ada dalam feses merupakan bagian nutrient yang dicerna.

2.8 Kecernaan Protein Kasar

Protein kasar merupakan salah satu zat makanan yang sangat dibutuhkan oleh ternak. Jumlah protein yang dibutuhkan ternak tergantung pada ukuran tubuh, kebutuhan ternak dan pertumbuhan. Perbedaan konsumsi protein kasar kemungkinan disebabkan perbedaan kandungan nutrien pada pakan dimana banyaknya pakan yang dikonsumsi akan mempengaruhi besarnya nutrien lain yang dikonsumsi, sehingga semakin banyak pakan yang dikonsumsi akan meningkatkan konsumsi nutrien lain yang ada dalam pakan (Polii *et al.*, 2020).

Protein merupakan nutrien dalam pakan yang penting bagi ternak. Protein berguna bagi mikroba rumen dalam sintesis protein tubuhnya di samping membutuhkan ATP sebagai sumber energi untuk terjadinya reaksi kimiawi (Soetanto, 2019).

Protein kasar salah satu kebutuhan bagi tubuh ternak yang dipengaruhi oleh masa pertumbuhan, umur, fisiologis, ukuran dewasa, kebuntingan, laktasi, kondisi tubuh dan rasio energi protein. Protein dalam jumlah yang cukup sangat dibutuhkan untuk menjaga kondisi tubuh dalam keadaan normal. Seluruh protein yang berasal dari makanan pertama kali dihidrolisis oleh mikrobia rumen.

Kecernaan protein kasar tergantung pada kandungan protein di dalam ransum. Ransum yang kandungan proteinnnya rendah, umumnya mempunyai kecernaan yang rendah pula dan sebaliknya. Tinggi rendahnya kecernaan protein tergantung pada kandungan protein bahan pakan dan banyaknya protein yang masuk dalam saluran pencernaan (Prawitasari *et al.*, 2012).

Protein kasar merupakan senyawa organik kompleks yang mempunyai berat molekul tinggi seperti karbohidrat dan lipida. Protein kasar juga protein yang

sulit dicerna dan terdiri dari semua ikatan yang mengandung nitrogen, baik protein sesungguhnya maupun zat –zat yang mengandung protein (Afriani dan Hasan, 2020).

Kecernaan protein kasar adalah total protein pakan yang diserap oleh tubuh dan tidak diekresikan dalam feses. Protein kasar tidak hanya mengandung protein saja tetapi juga mengandung nitrogen yang bukan berasal dari protein (non protein nitrogen). Kecernaan protein pada ternak ruminansia tergantung pada sifat bahan pakannya diantaranya memiliki sifa tahan degradasi di dalam rumen, bahan pakan mampu menyumbangkan proteinnya untuk pertumbuhan mikrobia rumen (Sumadi *et al.*, 2017).

Peningkatan kecernaan protein menjadi indikasi banyaknya asupan protein yang menjadi substrat dalam pembentukan massa protein daging. Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecernaan protein maka menghasilkan massa protein daging yang semakin tinggi juga. Kecernaan protein yang meningkat mengindikasikan tingginya substrat berupa protein untuk meningkatkan massa protein daging. Semakin tinggi massa protein daging maka semakin tinggi pula bobot akhir yang dihasilkan (Yuliyanti *et al.*, 2020).

Menurut Tillman *et al.* (1998), mikroorganisme retikulo-rumen dapat mendegradasi semua protein dan asam amino baru dari nitrogen dan kerangka karbon yang terdapat dalam retikulorumen, asam amino protein yang keluar dari rumen tidak mencerminkan asam amino protein pakan. Tingginya protein diharapkan dapat meningkatkan jumlah protein retensi dalam tubuh ternak sehingga dapat dimanfaatkan oleh ternak untuk memenuhi kebutuhan hidup pokok dan untuk produksi (Gultom *et al.*, 2016)

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Desember 2025--Januari 2026 selama 35 hari di Kahfi *Farm*, Jati Agung, Lampung Selatan. Analisis proksimat sampel untuk perhitungan pencernaan Serat Kasar dan Protein Kasar dilakukan di Laboratorium Nutrisi dan Makanan Ternak, Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kandang dengan tipe individu yang berjumlah 12 unit, timbangan digital, timbangan gantung, tali, ember, karung, terpal, sekop, sapu lidi penampung feses, kantong plastik, buku tulis, pena, alat penghapus, dan satu set analisis proksimat.

3.2.2 Bahan penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah 12 ekor kambing *cross boer* jantan, ransum basal (silase daun singkong, DDGS, polard, onggok press, bungkil, dan molases), dan penggunaan mineral organik (Cu-lisinat dan Zn-lisinat) dan asam amino pembatas (Metionin).

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 12 ekor kambing *cross boer* jantan dengan menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari 3 perlakuan dengan 4 ulangan. Setiap ternak ditempatkan secara acak ke dalam masing-masing perlakuan untuk meminimalkan bias dan memastikan bahwa variasi yang muncul berasal dari pengaruh perlakuan, bukan faktor luar.:

Adapun perlakuan ransum yang digunakan adalah:

P0: Ransum Basal (ransum berbasis limbah singkong)

P1: P0 + Mineral Organik (40 ppm Zn-Lisinat dan 10 ppm Cu-Lisinat) *

P2: P1 + Asam amino metionin (0,1% sesuai rekomendasi produk) **

Sumber:

*Muhtarudin dan Liman (2006)

**Sesuai dosis produk

POU4	P1U2	P1U4	P2U2	POU3	P2U1	POU2	P2U3	P1U1	P2U4	P1U3	POU1
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Gambar 2. Tata letak perlakuan

3.4 Peubah yang Diamati

3.4.1 Kecernaan serat kasar

Nilai kecernaan protein ransum yang dimiliki diukur dengan menghitung selisih protein yang dikonsumsi dengan protein yang keluar Bersama feses lalu dibagi dengan protein ransum yang dikonsumsi dan dikali 100%. Rumus kecernaan protein kasar yaitu:

$$KSK = \frac{[\sum[konsumsi\ ransum(g) \times SK\ ransum(\%)] - [\sum[feses(g) \times SK\ feses(\%)]]}{\sum\ konsumsi\ ransum\ (g)\ \times\ SK\ ransum\ (\%)} \times 100\%$$

3.4.2 Kecernaan protein kasar

Nilai kecernaan serat kasar ransum yang dimiliki diukur dengan cara menghitung selisih serat kasar yang dikonsumsi dengan serat kasar yang keluar bersama feses lalu dibagi dengan serat kasar ransum yang dikonsumsi dan dikali 100%. Rumus kecernaan serat kasar yaitu:

$$KPK = \frac{[\Sigma[\text{konsumsi ransum}(g) \times PK \text{ ransum}(\%)] - [\Sigma[\text{feses}(g) \times PK \text{ feses}(\%)]]}{\Sigma \text{konsumsi ransum}(g) \times PK \text{ ransum}(\%)} \times 100\%$$

3.5 Pelaksanaan Penelitian

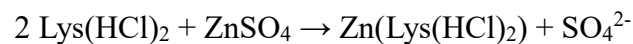
3.5.1 Pembuatan ransum basal

Dalam pembuatan ransum basal, hal pertama yang dilakukan yaitu menyiapkan bahan pakan berupa silase daun singkong, DDGS, polard, onggok press, bungkil, dan molases. Persentase jumlah bahan pakan harus dihitung terlebih dahulu lalu kemudian dicampur hingga homogen. Pencampuran dilakukan dengan mencampurkan bahan pakan dengan presentase yang paling besar hingga paling kecil dan dengan cara mengaduk ke atas sampai pakan teraduk dengan sempurna.

3.5.2 Pembuatan Mineral Organik

3.5.2.1 Pembuatan mineral organik Zn

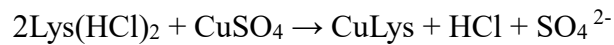
Berikut cara pembuatan mineral organik Zn:



1. Menyiapkan alat dan bahan;
2. Menimbang lisin sebanyak 43,8 g dan memasukan bahan tersebut kedalam gelas ukur;
3. Menambahkan aquades ke dalam gelas ukur tersebut hingga 100 ml, kemudian mengaduknya hingga homogen;
4. Menimbang ZnSO_4 sebanyak 16,14 g dan memasukan bahan tersebut kedalam gelas ukur;
5. Menambahkan aquades ke dalam gelas ukur tersebut hingga 100 ml, kemudian mengaduknya hingga homogen;
6. Mencampurkan kedua bahan hingga homogen;
7. Memasukan larutan ke dalam botol dan mengaduknya Kembali hingga homogen kemudian menutup botol dengan rapat.

3.5.2.2 Pembuatan mineral organik Cu

Berikut cara pembuatan mineral organik Cu:



1. Menyiapkan alat dan bahan;
2. Menimbang lisin sebanyak 43,82 gr dan memasukan bahan tersebut kedalam gelas ukur;
3. Menambahkan aquades ke dalam gelas ukur tersebut hingga 100 ml, kemudian mengaduknya hingga homogen;
4. Menimbang CuSO_4 sebanyak 15,96 gr dan memasukan bahan tersebut kedalam gelas ukur;
5. Menambahkan aquades ke dalam gelas ukur tersebut hingga 100 ml, kemudian mengaduknya hingga homogen;
6. Mencampurkan kedua bahan hingga homogen;
7. Memasukan larutan ke dalam botol dan mengaduknya Kembali hingga homogen kemudian menutup botol dengan rapat.

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Persiapan penelitian

Melakukan persiapan kandang dengan sanitasi kandang terlebih dahulu, melakukan penimbangan kambing, kemudian memasukkan kambing ke kandang sesuai dengan rancangan percobaan dan tata letak yang telah ditentukan. Lalu menyiapkan ransum yang akan diberikan kepada ternak. Sebelum itu dilakukan masa prelium kepada ternak untuk mengadaptasikan ransum basal kepada ternak dan mengadaptasikan ternak dengan lingkungan.

3.6.2 Kegiatan penelitian

Penelitian ini dilaksanakan 3 tahap. Tahap pertama yaitu prelium, yaitu kambing percobaan diberikan ransum perlakuan selama kurang lebih 7--14 hari. Tahap kedua yaitu pengambilan data yang dilakukan setelah ternak melalui tahap prelium. Pengambilan data ini dilakukan dengan mengkoleksi feses yang

berlangsung selama 7 hari, menghitung jumlah ransum yang di konsumsi dan jumlah ransum yang tersisa. Selain itu, sampel ransum dan sampel feses selama periode diambil dilakukan analisis proksimat yang bertujuan untuk mengetahui banyaknya nutrisi yang tercemar terutama protein kasar dan serat kasar. Tahap ketiga yaitu pengolahan data hasil analisis proksimat.

3.6.3 Koleksi feses

Prosedur yang dilakukan untuk koleksi feses yaitu:

menyiapkan wadah penampungan feses, lalu mengumpulkan feses yang dihasilkan kambing dan menimbang feses yang dihasilkan selama 24 jam yang dilakukan pada pagi hari pukul 07.00 – 08.00 WIB sebelum ternak diberikan ransum, yang berlangsung selama 7 hari, setelah itu menghomogenkan feses yang dihasilkan selama 24 jam dalam 7 hari berdasarkan jenis perlakuan, lalu mengeringkan feses dibawah sinar matahari hingga kering dan menimbang Kembali feses untuk mengetahui bobot kering udara (BKU), setelah itu mengambil sampel feses sebanyak 10% BKU/hari, kemudian menghaluskan sampel menggunakan blender agar menjadi tepung dan melakukan analisis proksimat terhadap sampel tepung feses berupa kandungan protein kasar dan serat kasarnya.

3.6.4 Prosedur analisis proksimat

Setelah melakukan koleksi feses, dilakukan analisis data, menurut AOAC (2006), analisis dilakukan sebagai berikut;

3.6.4.1 Protein kasar

Pengukuran protein kasar dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Menimbang sampel analisis sebanyak 0,5 g dan mencatat bobotnya;
2. memasukan sampel feses ke dalam labu kjeldahl dan menambahkan 5 ml H_2SO_4 pekat;
3. Menyalakan alat destruksi dan memulai proses destruksi. Mematikan alat destruksi apabila sampel berubah menjadi larutan jernih dan mendinginkan hingga dingin;

4. Menambahkan 200 ml air suling dan 50 ml NaOH 45% ke dalam labu kjehdahl. Menyiapkan 25 ml H₃BO₃ dalam gelas Erlenmeyer, kemudian menambahkan 2 tetes *indicator metile red and blue* (larutan berubah menjadi biru)
5. Menyalakan alat destilasi dan mengangkat ujung alat kondensor yang terendam apabila larutan telah menjadi sebanyak 150ml;
6. Membilas ujung alat kondensor dengan air suling menggunakan botol semprot dan menyiapkan alat untuk titrasi. Mengisi buret dengan larutan HCl 0,1 N, mengamati dan membaca angka pada buret, kemudian mencatat nya;
7. Melakukan titrasi secara perlahan dan menghentikan titrasi apabila larutan berubah menjadi warna hijau, mengamati dan membaca angka pada buret, kemudian mencatat nya (L2);
8. Melakukan langkah di atas tanpa menggunakan sampel sebagai blanko;
9. Menghitung presentasi nitrogen dengan rumus;

$$N(\%) = \frac{(L \text{ sampel} - L \text{ blanko}) \times N \text{ basa} \times \frac{N}{1000}}{B - A} \times 100\%$$

Keterangan :

- N : kandungan nitrogen (%)
 L blanko : volume titran blanko (ml)
 L sampel : volume titran sample (ml)
 N basa : normalitas NaOH
 N : berat atom N
 A : bobot kertas saring (gram)

10. menghitung kadar protein dengan rumus:

$$KP = N \times Fp$$

Keterangan :

- KP : kadar protein (%)
 N : kandungan nitrogen (%)
 Fp : angka faktor protein

11. melakukan analisis secara duplo dan menghitung rata – rata kadar protein kasar sampel.

3.6.4.2 Serat kasar

Pengukuran kadar serat kasar dilakukan dengan prosedur:

1. Memanaskan kertas saring biasa (6x6 cm²) di dalam oven 105° selama 6 jam, lalu mendinginkan dengan desikator selama 15 menit, kemudian menimbang dan mencatat bobot kertas saring (A);
2. Menambahkan sampel kedalam kertas saring sebanyak 0,1 gram, kemudian menimbang kertas saring berisi sampel tersebut dan mencatat bobotnya (B);
3. Menuangkan sampel kedalam Erlenmeyer dan menambahkan H₂SO₄ 0,25 N sebanyak 200 ml dengan kondensor dan dipanaskan. Memanaskan selama 30 menit terhitung sejak awal mendidih;
4. Menyaring dengan corong kaca beralaskan kain linen, kemudian membilas dengan air suling panas menggunakan botol semprot hingga bebas asam. Melakukan uji kertas lakmus untuk mengetahui bebas asam, kemudian memasukan residu bersama kedalam Erlenmeyer;
5. Menuangkan 200 ml NaOH 0,313, kemudian hubungkan erlenmeyer dengan kondensor dan memasukan selama 30 menit terhitung sejak mendidih. Menyaring dengan corong kaca beralaskan dengan kertas saring *whatman ashles* yang telah diketahui bobotnya (C);
6. Membilas dengan air suling panas menggunakan botol semprot sampai bebas basa. Melakukan uji kertas lakmus untuk mengetahui bebas basa, kemudian bilas dengan aseton;
7. Melipat kertas saring *whatman ashles* berisi residu dan memanaskan didalam oven 105° C selama 6 jam. Mendinginkan dalam desikator selama 15 menit kemudian menimbang dan mencatat bobotnya (D);
8. Memasukan residu kedalam cawan porselin yang telah diketahui bobotnya dan mencatat bobotnya (D);
9. Mengabukan dengan cara memasukan kedalam tanur 600° C selama 2 jam, lalu mematikan tanur dan mendinginkan sampai warna merah membara pada cawan sudah tidak terlihat. Memasukkan kedalam desikator, sampai mencapai suhu kamar, lalu menimbang dan mencatat bobotnya (F);
10. Menghitung kadar serat kasar dengan rumus;

$$\text{KS (\%)} = \frac{(D-C) - (F-E)}{(B-A)} \times 100\%$$

Keterangan :

KS : kadar serat kasar (%)

A : bobot kertas saring (gram)

B : bobot kertas saring berisi sampel (gram)

C : bobot kertas saring *whatman ashless* (gram)

D : bobot kertas saring *whatman ashless* berisi residu (gram)

E : bobot cawan porselen berisi residu (gram)

F : bobot cawan porselen berisi abu (gram)

1. melakukan analisis secara duplo, lalu menghitung rata – rata kadar serat kasar sampel.

3.7 Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis dengan Anova. Apabila diperoleh hasil berpengaruh nyata, maka analisis akan dilanjutkan dengan Uji Beda Nyata Terkecil (BNT).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Penambahan mineral (Cu dan Zn) dan asam amino pembatas (Metionin) dalam ransum pada kambing *cross boer* jantan tergolong baik untuk meningkatkan nilai pencernaan protein kasar (KcPK) dengan hasil rata-rata tertinggi yaitu pada P2 sebesar 71,55%, dan rata-rata terendah yaitu pada P1 sebesar 68,75%, sedangkan pada pencernaan serat kasar (KcSK) mendapatkan hasil yang kurang baik rata-rata tertinggi yaitu pada P0 sebesar 39,42%, dan serat kasar terendah yaitu pada P2 sebesar 34,85%, yang menyatakan bahwa perlakuan penambahan mineral organik (Cu dan Zn) dan asam amino pembatas (Metionin) tidak lebih baik dari kontrol
2. Pemberian mineral organik (Cu dan Zn) dan asam amino pembatas (Metionin) dalam ransum basal tidak memiliki hasil rata-rata tertinggi terhadap pencernaan protein kasar dan serat kasar pada kambing *cross boer* jantan dibandingkan dengan perlakuan ransum lainnya. Yang menyatakan bahwa perlakuan tidak lebih baik dari kontrol.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan kesimpulan di atas yaitu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui level pemberian mineral organik (Cu dan Zn) dan Asam amino pembatas (Metionin) yang lebih tepat untuk meningkatkan nilai pencernaan protein kasar dan serat kasar pada kambing *cross boer* jantan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afzalani, A., Musnandar, E., & Raguati, R. (2017). Efek Suplementasi Ampas Tahu dan Mineral Zn-Cu Organik terhadap Pertambahan Bobot Badan pada Penggemukan Sapi Bali yang Diberi (Pakan Rumput Rawa (*Hyampeacne amplexicaules* Rudge Ness) (Effect of Supplementation of Tofu Waste and organic mineral of Zn. *Jurnal Ilmu-Ilmu Peternakan*, 20(2), 97–108.
- Ali, U., Adhim, M. A., & Kentjonowaty, I. (2022). Efek Level Protein Kasar Dalam Complete Feed Untuk Penggemukan Kambing Hibrid BoerPE. *Jurnal Buana Sains*, 22(3), 1412–1638.
- Aling, C., Tuturoong, R. A. V., Tulung, Y. L. R., & Waani, R. M. (2021). Kecernaan Serat Kasar dan BETN (Bahan Ekstrak tanpa Nitrogen) Ransum Komplit Berbasis Tebon Jagung pada Sapi Perah Ongole. *Zootec*, 32(3), 167–186.
- Amelia, A. R. (2024). Pengaruh Pemberian Mineral Makro (Ca dan Mg) Terhadap Kecernaan Serat Kasar dan Protein Kasar Ransum Pada Domba Ekor Tipis Jantan. In *Edu Research Indonesian Institute For Corporate Learning And Studies (IICLS)* (Vol. 5, Number 1).
- Anam, M. S., Astuti, A., Widyobroto, B. P., & Agus, A. (2023). Effect of dietary supplementation with zinc-methionine on ruminal enzyme activities , fermentation characteristics , methane production , and nutrient digestibility : An in vitro study. *JOURNAL OF ADVANCED VETERINARY AND ANIMAL RESEARCH*, 7710(December), 696–703.
- Antika, D. M., Husni, A., Muhtarudin, M., & Erwanto, E. (2024). Perbandingan Suplementasi Mineral Kalsium dan Magnesium Metionin dengan Kalsium dan Magnesium Sabun dalam Ransum Terhadap Kecernaan Bahan Kering dan Bahan Organik Kambing Rambon. *Jurnal Riset Dan Inovasi Peternakan*, 8(2), 210–217.
- Tanuwiria, U. H., & Ayuningsih, B. (2008). Pengaruh Suplemen Zn-Proteinat, Cu-Proteinat Dan Kompleks Ca-Minyak Ikan Dalam Ransum Berbasis Pucuk Tebu Amoniasi Terhadap performans Domba Jantan Persilangan priangan x barbados. *Jurnal Ilmu Ternak*, 8(1), 7–12

- Baharuddin, Z. K. (2022). *Kandungan Protein Kasar dan Serat Kasar Silase Rumput Gajah (*Pennisetum purpureum*) Menggunakan Inokulum Bakteri Asam Laktat Asal Cairan Rumen pada Lama Fermentasi Berbeda* (Number 8.5.2017).
- Bezerra, H., Santos, E., Oliveira, J., Carvalho, G., Silva, F., Cassuce, M., Perazzo, A., Zanine, A., & Pinho, R. (2019). Performance and Ruminant Parameters of Boer Crossbred Goats Fed Diets that Contain Crude Glycerin. *Animals*, 1–10.
- Budiarto, A., Susanto, A., Ciptadi, G., Putri, A. R. I., & Sunaryo, Moch. A. (2021). Quantitative and Qualitative Characteristics of Boer x Local Goats Crossbred. *Animal Production*, 23(2), 77–83. <https://doi.org/10.20884/1.jap.2021.23.2.109>
- Caldera, E., Weigel, B., Kucharczyk, V. N., Sellins, K. S., Archibeque, S. L., Wagner, J. J., Han, H., Spears, J. W., & Engle, T. E. (2019). Trace Mineral Source Influences Ruminant Distribution of Copper and Zinc and Their Binding Strength to Ruminant Digesta. *Journal of Animal Science*, 97(4), 1852–1864. <https://doi.org/10.1093/jas/skz072>
- Danuraen, M. A. (2024). Pengaruh Pemberian Probiotik Rabal terhadap Konsumsi Ransum, Pertambahan Berat Tubuh dan Efisiensi Ransum pada Kambing Rambon. In *Edu Research Indonesian Institute For Corporate Learning And Studies (IICLS)* (Vol. 5, Number 1).
- Didi, Y. E. M., & Hambakodu, M. (2025). Pengaruh Pemberian Pakan Multinutrien Blok Terhadap Konsumsi Dan Kecernaan Protein Kasar Dan Serat Kasar Kambing Kacang. *Jurnal Peternakan Sabana*, 3(3), 143–149. <https://doi.org/10.58300/jps.v3i3.1023>
- Doko, H., Hartati, E., Jelantik, I. G. N., & Oematan, G. (2024). Pengaruh Pemberian Silase Pakan Komplit Berbasis Sorgum dan Clitoria ternatea dengan Penambahan Konsentrat Mengandung ZnSO₄ dan Zn-CU Isoleusinat Terhadap Konsumsi, Kecernaan Protein Kasar dan Retensi Nitrogen Kambing Kacang. *Animal Agricultura*, 2(1), 259–272. <https://doi.org/10.59891/animacultura.v2i1.31>
- Duplessis, M., Ouellet, D. R., Royer, I., & Petri, R. M. (2025). Ruminant and post-ruminal absorption of copper, manganese, and zinc of nonlactating and nonpregnant Holstein cows fed sulfate trace minerals above recommendations. *JDS Communications*, 6(5), 649–653. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2025-0780>
- Fatimah, I. (2021). *Pengaruh Suplementasi Mineral Organik Terhadap Produksi dan Kualitas Susu Kambing Perah Jawa Randu* (Vol. 32, Number 3).

- Genther, O., & Hansen, S. (2014). *Effects of Supplemental Availa ® Zn on Growth and Carcass Characteristics of Finishing Cattle Fed Diets With or Without Optaflexx*.
- Genther-Schroeder, O. N., Smerchek, D. T., Penner, G. B., & Hansen, S. L. (2025). Examination of the role of the rumen in zinc metabolism. *Journal of Animal Science*, 103(February).
<https://doi.org/10.1093/jas/skaf052>
- Gowda, N. K. S., Pal, D. T., & Dey, D. K. (2024). Organic trace minerals in ruminant nutrition: production, reproduction, health, economics, and environmental implications. In *Feed Additives and Supplements for Ruminants* (pp. 69–86). Springer.
- Gultom, E. P., Wahyuni, H. T., & Tafsir, M. (2016). Kecernaan Serat Kasar dan Protein Kasar yang Mengandung Pelepah Daun Kelapa Sawit dengan Perlakuan Fisik, Biologis, Kimia dan Kombinasinya pada Domba. *Jurnal Peternakan Integratif*, 4(2), 193–202.
- Hamanay, U. M. L., Manu, A., & Maranatha, G. (2024). Pengaruh Pemberian Pakan Komplit Dengan Level Silase Campuran Shorgum dan Daun Gamal dan Konsentrat yang Berbeda Terhadap Konsumsi, Kecernaan BETN dan Energi Ternak Kambing Lokal Betina. *Animal Agricultura*, 1(3), 160–170.
<https://doi.org/10.59891/animacultura.v1i3.24>
- Irawan, S. A., Hakiki, N., Alfarisy, M. A. F., Budi, A. T., Antika, L. L., & Alda, M. K. (2023). Pemanfaatan Silase Daun Singkong untuk Pakan Ternak Sebagai Peningkatan Kualitas Ternak. *Eastasouth Journal of Positive Community Services*, 01(03), 152–160.
<https://doi.org/10.58812/ejpcs.v1.i03>
- Jauhari, A. N., Hidayat, R., Setiyatwan, H., & Mayasari, N. (2025). Analisis Kualitas Fisik dari Silase Chicory dan Onggok dalam Berbagai Rasio dengan Tambahan EM4 dan Tanin Sebagai Aditif. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 13(1), 105–114.
- Jung, H. G., & Allen, M. S. (1995). Characteristics of Plant Cell Walls Affecting Intake and Digestibility of Forages by Ruminants. *Journal of Animal Science*, 73(9), 2774–2790.
<https://doi.org/10.2527/1995.7392774x>
- Khaeri, A., Agustini, A. L. D., & Atma, C. D. (2023). Analisa Kandungan Nutrisi Pada Limbah Daun, Batang Dan Kulit Singkong (Manihot utilissima) Yang Difermentasi Untuk Pakan Ternak Ruminansia. *Mandalika Veterinary Journal*, 3(1), 1.
<https://doi.org/10.33394/mvj.v3i1.7727>

- Kurnianingtyas, I. B., Pandansari, P. R., Astuti, I., Widyawati, S. D., & Suprayogi, W. P. S. (2012). Pengaruh macam akselerator terhadap kualitas fisik, kimiawi, dan biologis silase rumput kolonjono. *Tropical Animal Husbandry*, *1*(1), 7–14.
- Lestianto, E. (2010). *Pengaruh Pengukusan Dedak Padi dan Suplementasi Analog Hidroksi Metionin dalam Ransum Terhadap Retensi Nitrogen dan Rasio Efisiensi Protein Domba Lokal Jantan*.
- Lloyd, L. E., McDonald, B. E., & Crampton, E. W. (1978). *Fundamentals of Nutrition*. (Number Ed. 2).
- Alonso, L. M., & Miranda, M. (2020). Copper supplementation, a challenge in cattle. *Animals*, *10*(10), 1–21. <https://doi.org/10.3390/ani10101890>
- Luo, Z., Ou, H., Tan, Z., & Jiao, J. (2025). Rumen-Protected Methionine and Lysine Supplementation to the Low Protein Diet Improves Animal Growth Through Modulating Colonic Microbiome in Lambs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, *16*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40104-025-01183-z>
- Mayulu, H., Fauziah, N., Christiyanto, M., Sunarso, S., & Haris, M. I. (2019). Digestibility Value and Fermentation Level of Local Feed-Based ration for Sheep. *Animal Production*, *20*(2), 95. <https://doi.org/10.20884/1.jap.2018.20.2.706>
- Mertens, D. R., & Ely, L. O. (1979). A Dynamic Model of Fiber Digestion and Passage in the Ruminant for Evaluating Forage Quality D . R . Mertens and L . O . Ely The online version of this article , along with updated information and services , is located on the World Wide Web at : A D Y N A. *Journal of Animal Science*, 1085–1095.
- Morand-Fehr, P. (1981). *Nutrition and Feeding of Goats: Application to Temperate Climatic Conditions*.
- Muhtarudin, M., & Liman, L. (2006). Penentuan Tingkat Penggunaan Mineral Organik Untuk Memperbaiki Bioproses Rumen pada Kambing Secara IN Vitro. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, *8*(2), 132–140.
- NRC. (2007). *Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids*.
- Nurkhasanah, I., Nuswantara, Limbang, K., Christiyanto, M., & Pangestu, E. (2020). Kecernaan Neutral Detergen Fiber (NDF) Acid Detergent Fiber (ADF) dan Hemiselulosa Hijauan Pakan Secara In Vitro. *Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah*, *Volume 18*, 55–63.
- Patriani, P., Hafid, H., Hasnudi, R., & Mirwandhono, E. (2019). *Klimatologi Dan Lingkungan Ternak. Medan (Indones): USU Pr.*

- Peter, V. S. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell university press.
- Rahman, F., Nitisapta, M., Rauf, R., & Subando, T. R. (2025). *Singkong, Pangan Harapan Masa Depan yang Menyehatkan Jilid 1*. Penerbit Andi.
- Ravindran, V. (1993). Cassava Leaves as Animal Feed: Potential and Limitations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 61(2), 141–150.
- Rinduwati, R., & Mutmainnah, M. (2019). Kandungan Protein Kasar dan Serat Kasar Silase Ransum Komplit Pada Berbagai Bentuk dan Lama Penyimpanan. *Buletin Nutrisi Dan Makanan Ternak*, 13(1).
- Rizal, A. (2010). *Pengaruh Pengukusan Onggok dan Suplementasi Metionin Hidroksi Analog dalam Ransum Terhadap Retensi Nitrogen dan Rasio Efisiensi Protein Domba Lokal Jantan*.
- Safitri, A., Marsudi, M., Anjani, F. M., Febrianta, H., Rizqiana, S., Setiadi, D., & Nelzi, F. (2025). *Peranan Nutrisi Dalam Budidaya Ternak*. Azzia Karya Bersama.
- Sitompul, R., & Martini, T. (2005) Penetapan Serat Kasar dalam pakan Ternak tanpa Ekstrak Lemak. Prsiding Temu Teknis Nasional Tenaga Fungsional Nasional.
- Soetanto, H. (2019). *Pengantar Ilmu Nutrisi Ruminansia*. Universitas Brawijaya Press.
- Solaiman, S., Kerth, C., Willian, K., Min, B. R., Shoemaker, C., Jones, W., & Bransby, D. (2011). Growth Performance , Carcass Characteristics and Meat Quality of Boer-Cross Wether and Buck Goats Grazing Marshall Ryegrass. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 24(3), 351–357.
- Sudarmono, A. S., & Sugeng, Y. B. (2008). Sapi Potong Edisi Revisi. *Penebar Swadaya, Semarang*.
- Sudirman, S., Sugara, H. A., Amrullah, A., Budiman, C., Hamdani, A., & Yani, A. (2025). Analisis Pendapatan dan Kelayakan Usaha Ternak Kambing (Studi Kasus: di CV SG Farm). *Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Peternakan*, 28(1), 24–39.
- Suparwi, S., Santoso, D., & Samsi, M. (2017). Kecernaan Bahan Kering Dan Bahan Organik, Kadar Amonia Dan Vfa Totalin Vitro Suplemen Pakan Domba. *Prosiding Seminar Nasional LPPM Unsoed*, 7(1).
- Suprpto, H., Suhartati, F. M., & Widiyastuti, T. (2013). Kecernaan Serat Kasar dan Lemak Kasar Complete Feed Limbah Rami dengan Sumber

- Protein Berbeda pada Kambing Peranakan Etawa Lepas Sapih. *Jurnal Ilmiah Peternakan*, 1(3), 938–946.
- Suprayitno, I., Humaidah, N., & Suryanto, D. (2020). Efektivitas Penambahan Mineral pada Pakan Terhadap Produksi Ternak Ruminansia. *JURNAL DINAMIKA REKASATWA*, 3(2), 83–89.
- Suttle, N. F. (2016). Ruminant Nutrition–Digestion and absorption of minerals and vitamins. *Reference Module in Food Science*. Elsevier.
- Tillman, A. D., Hartadi, S., Reksohadiprodjo, S., Prawirokusumo, & Lepdosoeckojo, S. (1998). *Ilmu makanan ternak dasar*. Gadjah Mada University Press.
- Tripuratapini, S., Mudita, I. M., & Candrawati, D. (2015). Kandungan Bahan Kering dan Nutrien Suplemen Berprobiotik Yang Diproduksi Dengan Tingkat Limbah isi Rumen Berbeda. *J. Peternakan Tropika Udayana*, 3(1), 105–120.
- Vertygo, S., Medan, M. S., Nope, J. S., Jera, A., Yanti, M. Y., Abu. Felixsius, Pengawelu, Z. I., Foeh, E., Mesak, D. D., Bere, P. C., Pahnael, G. M., & Sabuna, C. (2024). Optimalisasi Pengolahan Pakan Ternak Berbasis Fermentasi Dengan Menggunakan EM4. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Peternakan*, 9(2), 45–50.
<https://journal.ipb.ac.id/index.php/actavetindones/article/view/11198/8739>
- Wahjuni, R. S., & Bijanti, R. (2006). Uji Efek Samping Formula Pakan Komplit Terhadap Fungsi Hati dan Ginjal Pedet Sapi Friesian Holstein. *Media Kedokteran Hewan*, 22(3), 174–179.
- Wanapat, M., & Kang, S. (2015). Cassava Chip (*Manihot esculenta* Crantz) as an Energy Source For Ruminant Feeding. *Animal Nutrition*, 1(4), 266–270. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2015.12.001>
- Wang, W., Ye, L., Dou, X., Liu, H., & Han, D. (2023). Effects of Rumen-Protected Methionine Supplementation on Growth Performance, Nutrient Digestion, Nitrogen Utilisation and Plasma Amino Acid Profiles of Liaoning Cashmere Goats. *Animals*, 13(19), 1–12.
<https://doi.org/10.3390/ani13192995>
- Wilk, M., Pecka-Kiełb, E., Pastuszek, J., Asghar, M. U., & Mól, L. (2022). Effects of Copper Sulfate and Encapsulated Copper Addition on In Vitro Rumen Fermentation and Methane Production. *Agriculture (Switzerland)*, 12(11), 1–9. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111943>
- Wu, G. (2013). Functional amino acids in nutrition and health. *Amino Acids*, 407–411. <https://doi.org/10.1007/s00726-013-1500-6>

- Yang, B., Zhu, Y., Li, Y., Gao, Y., Si, H., & Li, Z. (2025). Effects of rumen-protected lysine on antler growth performance, fecal bacterial community, and blood gene expression in sika deer. *Frontiers in Veterinary Science*, *12*. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1583605>
- Zhao, X., Hao, L., Xue, Y., Degen, A., & Liu, S. (2022). Effect of Source and Level of Dietary Supplementary Copper on In Vitro Rumen Fermentation in Growing Yaks. *Fermentation*, *8*(12), 1–11. <https://doi.org/10.3390/fermentation8120693>
- Zou, S., Ji, S., Xu, H., Wang, M., Li, B., Shen, Y., Li, Y., Gao, Y., Li, J., Cao, Y., & Li, Q. (2023). Rumen-Protected Lysine and Methionine Supplementation Reduced Protein Requirement of Holstein Bulls by Altering Nitrogen Metabolism in Liver. *Animals*, *13*(5). <https://doi.org/10.3390/>

