

PENGARUH SUPLEMENTASI MINERAL ORGANIK (Cu-Lisinat dan Zn-Lisinat) DAN ASAM AMINO PEMBATA (Metionin) DALAM RANSUM BERBASIS LIMBAH SINGKONG TERHADAP RESPONS FISIOLOGIS PADA KAMBING *CROSS* BOER JANTAN

(Skripsi)

Oleh

Nadira

2214241035



**NUTRISI DAN TEKNOLOGI PAKAN TERNAK
JURUSAN PETERNAKAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

PENGARUH SUPLEMENTASI MINERAL ORGANIK (Cu-Lisinat dan Zn-Lisinat) DAN ASAM AMINO PEMBATAK (Metionin) DALAM RANSUM BERBASIS LIMBAH SINGKONG TERHADAP RESPONS FISILOGIS PADA KAMBING *CROSS BOER* JANTAN

Oleh

Nadira

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dan perlakuan terbaik suplementasi mineral organik (Zn-lisinat dan Cu-lisinat) dan asam amino pembatas (metionin) dalam ransum berbasis limbah singkong terhadap respons fisiologis kambing *cross* Boer jantan. Penelitian dilaksanakan pada November 2025—Desember 2025 di Kahfi Farm, Jati Agung, Lampung Selatan, menggunakan 12 ekor kambing *cross* Boer jantan dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) tiga perlakuan dan empat ulangan. Perlakuan yang diterapkan yaitu P0: ransum basal, P1: ransum basal + 40 ppm Zn-lisinat dan 10 ppm Cu-lisinat, dan P2: ransum basal + 40 ppm Zn-lisinat dan 10 ppm Cu-lisinat + metionin 0,1%. Peubah yang diamati meliputi frekuensi respirasi, denyut jantung, dan suhu rektal, yang dianalisis menggunakan *Analysis of Variance* (Anova). Hasil penelitian menunjukkan bahwa suplementasi mineral organik dan metionin tidak berpengaruh nyata ($P>0,05$) terhadap seluruh parameter respons fisiologis, dengan semua nilai masih berada dalam kisaran normal yang mengindikasikan mekanisme termoregulasi ternak berfungsi dengan baik selama penelitian.

Kata kunci: Kambing *cross* boer, metionin, mineral organik, respons fisiologis.

ABSTRACT

THE EFFECT OF ORGANIC MINERAL SUPPLEMENTATION (Cu-Lysinate and Zn-Lysinate) AND LIMITING AMINO ACID (Methionine) IN CASSAVA WASTE-BASED RATION ON PHYSIOLOGICAL RESPONSES IN MALE CROSS BOER GOATS

By

Nadira

This study aimed to determine the effect and best treatment of organic mineral supplementation (Zn-lysinate and Cu-lysinate) and limiting amino acid (methionine) in cassava waste-based ration on the physiological responses of male cross Boer goats. The study was conducted from November 2025—December 2025 at Kahfi Farm, Jati Agung, South Lampung, using 12 male cross Boer goats arranged in a Completely Randomized Design (CRD) with three treatments and four replications. The treatments applied were P0: basal ration, P1: basal ration + 40 ppm Zn-lysinate and 10 ppm Cu-lysinate, and P2: basal ration + 40 ppm Zn-lysinate and 10 ppm Cu-lysinate + 0.1% methionine. The variables observed included respiration rate, heart rate, and rectal temperature, which were analyzed using Analysis of Variance (Anova). The results showed that organic mineral and methionine supplementation had no significant effect ($P>0.05$) on all physiological response parameters, with all values remaining within the normal range, indicating that the thermoregulation mechanism of the livestock functioned well throughout the study.

Keywords: cross boer goats, methionine, organic minerals, physiological responses.

PENGARUH SUPLEMENTASI MINERAL ORGANIK (Cu-Lisinat dan Zn-Lisinat) DAN ASAM AMINO PEMBATAS (Metionin) DALAM RANSUM BERBASIS LIMBAH SINGKONG TERHADAP RESPONS FISIOLOGIS PADA KAMBING *CROSS BOER* JANTAN

Oleh

Nadira

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA PETERNAKAN

pada

**Jurusan Peternakan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi

: Pengaruh Suplementasi Mineral Organik (Cu-Lisinat dan Zn-Lisinat) dan Asam Amino Pembatas (Metionin) dalam Ransum Berbasis Limbah Singkong terhadap Respons Fisiologis pada Kambing *Cross Boer* Jantan

Nama Mahasiswa

: Nadira

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2214241035

Jurusan/Program Studi

: Peternakan/Nutrisi dan Teknologi Pakan Ternak

Fakultas

: Pertanian

MENYETUJUI

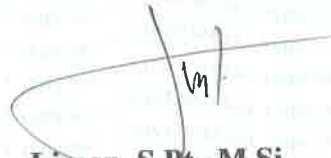
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing Utama



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

Pembimbing Anggota



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

2. Ketua Jurusan Peternakan



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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



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



Penguji : Dr. Ir. Arif Qisthon, M.Si., IPU.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP. 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 12 Mei 2026

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Nadira
NPM : 2214241035
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 Respons Fisiologis pada Kambing *Cross Boer Jantan*” tersebut adalah hasil penelitian saya sendiri yang disusun dengan mengikuti norma dan etika akademik yang berlaku.

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, 12 Mei 2026

Yang membuat pernyataan,



Nadira

NPM. 2214241035

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung pada 14 Oktober 2003, putri ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Purwanto dan Ibu Wiyati. Penulis menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 1 Bandar Lampung pada 2016; Sekolah Menengah Pertama Quran Darul Fattah Bandar Lampung pada 2019; dan Sekolah Menengah Atas Al-Kautsar Bandar Lampung pada 2022.

Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN pada 2022. Selama masa studi penulis cukup aktif sebagai anggota organisasi dan berbagai kegiatan akademik, di antaranya:

1. Staff Bidang Mitra dan Bisnis Ikatan Senat Mahasiswa Peternakan Indonesia (ISMAPETI) Wilayah 1 Sumatera (2024–2025);
2. Staff Bidang Riset dan Teknologi Pengurus Besar Ikatan Senat Mahasiswa Peternakan Indonesia (PB ISMAPETI) (2025–2026);
3. Bendahara *Closed House* Periode 22 Universitas Lampung dalam rangka Teaching Farm (April–Mei 2024);
4. Magang Kerja di CV Mulfapur, Gading Rejo, Lampung Tengah (Juni–Juli 2025);
5. Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode 1 di Desa Hatta, Lampung Selatan (November–Desember 2025).

MOTTO

Beliau ﷺ bersabda:

“Ketahuilah bahwa kemenangan bersama kesabaran, kelapangan bersama kesulitan, dan bersama kesulitan ada kemudahan.”

(HR. Tirmidzi)

“Bermimpilah setinggi Scopus, karena jika jatuh kamu akan berada diantara Sinta-sinta”

(Anonim Instagram)

“Habis gelap terbitlah terang.”

(R.A. Kartini)

“Ingatlah Allah saat hidup tak berjalan sesuai keinginanmu, Allah selalu punya jalan yang terbaik untukmu”

(Ayah&Ibu penulis)

“Allah tidak pernah salah menempatkan proses; bahkan revisi dan kegagalan adalah bagian dari pembentukan diri”

(penulis)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, serta kasih sayang-Nya sehingga saya, Nadira, diberikan kekuatan, kesehatan, dan kemudahan dalam menuntut ilmu hingga mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW.

Dengan penuh rasa cinta dan hormat, karya sederhana ini saya persembahkan kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Purwanto dan Ibu Wiyati. Terima kasih atas doa yang tiada henti, kasih sayang yang tulus, pengorbanan, serta dukungan yang selalu menguatkan langkah saya dalam setiap proses kehidupan. Terima kasih telah menjadi sumber semangat dan kekuatan terbesar dalam perjalanan pendidikan saya.

Saya juga menyampaikan terima kasih kepada seluruh keluarga besar penulis dan mas Ferry sekeluarga yang selalu memberikan nasihat, motivasi, doa, dan dukungan selama saya menempuh pendidikan. Tidak lupa kepada sahabat-sahabat terdekat yang selalu hadir dalam suka maupun duka, yang senantiasa memberikan semangat serta energi positif hingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Ucapan terima kasih yang tulus saya sampaikan kepada Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Peternakan Universitas Lampung atas ilmu, bimbingan, serta kesabaran yang telah diberikan selama masa perkuliahan.

Serta

Almamater Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Suplementasi Mineral Organik (Cu-Lisinat dan Zn-Lisinat) dan Asam Amino Pembatas (Metionin) dalam Ransum Berbasis Limbah Singkong terhadap Respons Fisiologis pada Kambing *Cross Boer Jantan*” yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Jurusan Peternakan di Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih pada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, atas izin dan fasilitas yang telah diberikan;
2. Bapak Dr. Ir. Arif Qisthon, M.Si., IPU., selaku Ketua Jurusan Peternakan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung dan selaku Dosen Pembahas atas masukan, kritik, dan saran yang membangun dalam penyempurnaan skripsi;
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 Ir. Syahrio Tantalo, M.P., selaku Dosen Pembimbing Akademik, atas perhatian, bimbingan, dan nasihat yang telah diberikan kepada penulis;
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhtarudin, M.S., selaku Pembimbing Utama, atas bimbingan, nasihat, dan ilmu yang diberikan dalam penyelesaian skripsi ini;
6. Bapak Liman, S.Pt., M.Si., selaku Pembimbing Anggota, atas saran, motivasi, arahan, ilmu, dan bimbingan selama penulisan skripsi ini;
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Peternakan, Universitas Lampung, atas ilmu pengetahuan, nasihat, serta bimbingan yang telah diberikan kepada penulis;

8. Mas Ferry Pebriansyah, S.Pt., dan Mbak Fera Erviana, S.Pt., selaku pemilik Peternakan Kahfi Farm, penulis menyampaikan terima kasih atas segala bantuan, dukungan, dan ketersediaan fasilitas selama pelaksanaan penelitian;
9. Kedua orang tua tercinta, Bapak Purwanto dan Mamak Wiyati, serta seluruh keluarga dan saudara, terima kasih atas doa yang tak pernah putus, dukungan yang tulus, dan kasih sayang yang selalu menguatkan setiap langkah;
10. Untuk Shofa Nada dan Balqis terima kasih telah menjadi partner dalam banyak hal. Terima kasih telah menemani proses ini agar tetap waras, tetap tenang, dan tetap percaya bahwa semuanya akan selesai pada waktunya;
11. Kepada Fathya, Zalfa, Suci, Iqbal, Icak, Sipa, Nabila, dan Gita terima kasih atas dukungan, bantuan, tawa, serta kesediaan mendengarkan setiap keluhan tanpa bosan;
12. Rekan satu tim penelitian, Monika Yuliana, Tegar Rifa, Tyas Sabrina, dan Syafira Aulia, terima kasih atas kerja samanya;
13. Terima kasih pula untuk semua orang baik yang tidak dapat disebutkan satu per satu, namun jejak kebaikannya begitu berarti dalam perjalanan ini;
14. Last but not least, untuk gadis 22 tahun bernama Nadira, yang juga dikenal sebagai ‘Rexal’ dan Ira—terima kasih sudah bertahan, sudah tetap menjadi diri sendiri, dan sudah berjuang sejauh ini. Terima kasih atas kekuatan yang mungkin tak selalu terlihat, atas kemampuan mengendalikan diri ditengah tekanan, serta atas keberanian untuk terus melangkah meski lelah.

Semoga semua bantuan yang telah diberikan kepada penulis menjadi amal baik dan memperoleh balasan pahala dari Allah SWT dan skripsi ini dapat bermanfaat.

Bandar Lampung, 12 Mei 2026

Penulis,

Nadira

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	3
1.5 Hipotesis	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kambing <i>Cross</i> Boer	6
2.2 Pakan	7
2.2.1 Silase daun singkong	8
2.2.2 Konsentrat dan bahan penyusunnya	8
2.3 Mineral Mikro Organik	10
2.3.1 Mineral tembaga (Cu)	10
2.3.2 Mineral seng (Zn)	12
2.4 Asam Amino Esensial	14
2.4.1 Lisin.....	15
2.4.2 Metionin	15
2.5 Termoregulasi.....	18
2.6 Respons Fisiologis.....	19
2.6.1 Frekuensi denyut jantung	20
2.6.2 Frekuensi pernapasan (respirasi)	21
2.6.3 Suhu rektal.....	22

III. METODE PENELITIAN	23
3.1 Waktu dan Tempat	23
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	23
3.2.1 Alat penelitian	23
3.2.2 Bahan penelitian	23
3.3 Rancangan Penelitian	24
3.4 Pelaksanaan Penelitian	24
3.4.1 Prosedur penelitian	24
3.4.2 Persiapan kandang dan kambing	25
3.4.3 Pembuatan mineral organik	25
3.4.3.1 Pembuatan mineral Zn-lisinat	25
3.4.3.2 Pembuatan mineral Cu-lisinat	25
3.4.4 Pembuatan dan pemberian ransum basal	26
3.4.5 Tahap prelium	28
3.5 Peubah yang Diamati	28
3.5.1 Frekuensi denyut jantung	28
3.5.2 Frekuensi pernapasan	28
3.5.3 Suhu rektal	29
3.6 Analisis Data	29
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1 Pengaruh Perlakuan terhadap Frekuensi Denyut Jantung Kambing <i>Cross Boer</i>	30
4.2 Pengaruh Perlakuan terhadap Frekuensi Respirasi Kambing <i>Cross Boer</i>	33
4.3 Pengaruh Perlakuan terhadap Suhu Rektal Kambing <i>Cross Boer</i>	36
V. KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kandungan nutrisi bahan penyusun ransum	27
2. Kandungan nutrisi ransum	27
3. Kandungan nutrisi ransum perlakuan	28
4. Pengaruh perlakuan terhadap frekuensi denyut jantung	30
5. Pengaruh perlakuan terhadap frekuensi respirasi.....	33
6. Pengaruh perlakuan terhadap suhu rektal	36
7. Suhu lingkungan penelitian.....	48
8. Analisis ragam frekuensi respirasi kambing <i>Cross Boer</i>	48
9. Analisis ragam denyut jantung kambing <i>Cross Boer</i>	48
10. Analisis ragam suhu rektal kambing <i>Cross Boer</i>	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Tata letak perlakuan	24
2. Pembuatan ransum	47
3. Pemberian pakan	47
4. Termometer suhu lingkungan.....	47
5. Pengambilan data respirasi.....	47
6. Pengambilan data denyut jantung.....	47
7. Pengambilan data suhu rektal.....	47

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor peternakan berperan penting dalam ketahanan pangan dan perekonomian nasional. Kambing menjadi komoditas unggulan karena mudah beradaptasi dengan berbagai lingkungan dan berpotensi besar sebagai sumber protein hewani. Menurut data BPS 2024, populasi kambing di Indonesia mencapai 15.710.055 ekor, dengan Provinsi Lampung sebagai salah satu kontributor signifikan dengan jumlah mencapai 1.966.835 ekor (BPS, 2024; BPS Lampung, 2024). Besarnya populasi ini menggambarkan potensi sektor peternakan kambing sebagai kontributor utama dalam penyediaan daging dan sumber pendapatan bagi peternak skala kecil dan menengah di Indonesia.

Upaya peningkatan produktivitas ternak kambing dapat dilakukan melalui perbaikan genetik dan manajemen pemeliharaan. Kambing *cross* Boer merupakan hasil persilangan antara kambing Boer dari Afrika Selatan dengan kambing lokal yang memiliki keunggulan laju pertumbuhan cepat dan kualitas karkas tinggi (Lu, 2001). Untuk mengoptimalkan potensi genetik kambing, pemenuhan nutrisi terutama protein sangat penting bagi pertumbuhan dan produktivitas. Ternak yang berproduksi tinggi membutuhkan protein dari mikrobia dan asam amino dari protein pakan yang tidak terfermentasi di dalam rumen untuk diserap di usus halus (Amrudin *et al.*, 2014).

Salah satu tantangan dalam usaha peternakan kambing adalah tingginya biaya pakan yang mencapai 60—80% dari total biaya produksi. Pemanfaatan limbah daun singkong sebagai bahan pakan alternatif merupakan solusi yang menjanjikan karena ketersediaannya melimpah di Indonesia, dengan kandungan protein kasar

mencapai 22% sehingga mampu mendukung kebutuhan protein kambing sebesar 12—16% dari total ransum (Panyongang, 2023). Selain menekan biaya produksi, pemanfaatan limbah ini juga berkontribusi dalam mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah agroindustri. Namun, kandungan nutrisinya seringkali belum optimal untuk memenuhi kebutuhan fisiologis ternak secara maksimal, sehingga diperlukan strategi suplementasi nutrisi.

Suplementasi mineral mikro organik dan asam amino pembatas merupakan strategi efektif untuk mengoptimalkan pemanfaatan pakan berbasis limbah pertanian. Mineral Cu dan Zn sangat dibutuhkan untuk berbagai proses fisiologis, Zn berperan dalam meningkatkan aktivitas mikroba rumen dan sintesis protein (Arrizqi *et al.*, 2020), sedangkan Cu berperan dalam sintesis mikroba rumen dan proses enzimatik (Tillman *et al.*, 1989). Pemberian mineral dalam bentuk organik seperti Zn-lisinat dan Cu-lisinat memiliki absorpsibilitas tinggi dan lolos degradasi rumen (Prihandono, 2001). Metionin sebagai asam amino pembatas juga penting dalam sintesis protein, terutama pada tahap awal inisiasi (Wiyatna dan Hernaman, 2016). Kombinasi suplementasi ini diharapkan memberikan efek sinergis dalam meningkatkan performa ternak.

Peningkatan aktivitas metabolisme akibat suplementasi nutrisi dapat mempengaruhi respons fisiologis ternak. Suplementasi Zn-lisinat, Cu-lisinat, dan metionin pada ransum berbasis limbah singkong diduga meningkatkan aktivitas metabolisme yang menyebabkan produksi panas tubuh meningkat, sehingga memicu mekanisme termoregulasi untuk mempertahankan suhu tubuh normal (Esmay, 1978). Penelitian Saputra (2018) menunjukkan bahwa suplementasi silase daun singkong dengan mineral mikro organik memberikan hasil terbaik terhadap penambahan bobot badan dan efisiensi pakan kambing. Namun, informasi mengenai pengaruh kombinasi optimal mineral organik (Cu-lisinat dan Zn-lisinat) dan metionin dalam ransum berbasis limbah singkong terhadap respons fisiologis masih terbatas.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini diperlukan untuk mengkaji pengaruh suplementasi mineral organik (Cu-lisinat dan Zn-lisinat) dan metionin dalam ransum berbasis limbah singkong terhadap respons fisiologis kambing *cross* Boer jantan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan strategi nutrisi optimal untuk meningkatkan produktivitas ternak kambing serta memberikan solusi pemanfaatan limbah pertanian yang berkelanjutan.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan:

1. Mengetahui pengaruh suplementasi mineral organik (Cu-lisinat dan Zn-lisinat) dan asam amino pembatas (metionin) dalam ransum berbasis limbah singkong terhadap respons fisiologis pada kambing *cross* Boer jantan;
2. Mengetahui perlakuan terbaik dalam suplementasi mineral organik (Cu-lisinat dan Zn-lisinat) dan asam amino pembatas (metionin) dalam ransum berbasis limbah singkong terhadap respons fisiologis pada kambing *cross* Boer jantan.

1.3 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi bagi para peternak kambing dan masyarakat mengenai pengaruh suplementasi mineral organik (Cu-lisinat dan Zn-lisinat) dan metionin sebagai asam amino pembatas dalam ransum berbasis limbah singkong terhadap respons fisiologis pada kambing *cross* Boer jantan.

1.4 Kerangka Pemikiran

Pakan merupakan faktor penting dalam usaha pemeliharaan dan produktivitas ternak ruminansia, khususnya kambing. Komposisi pakan dan kadar nutrisi yang tepat akan mempengaruhi produktivitas ternak. Penggunaan ransum mempunyai pengaruh paling besar dalam usaha peternakan yakni sebesar 60—80% dari seluruh biaya pemeliharaan (Siregar, 2003). Mengingat tingginya biaya ransum,

perlu diupayakan pembuatan ransum berkualitas baik dengan memanfaatkan bahan pakan alternatif seperti limbah singkong dalam bentuk silase daun singkong. Silase daun singkong memiliki kandungan protein kasar yang tinggi dengan degradabilitas yang tinggi di dalam rumen (Purba *et al.*, 2017). Namun, limbah singkong perlu disuplementasi nutrisi tambahan karena kandungan gizinya tidak mencukupi kebutuhan ternak.

Suplementasi mineral organik dan asam amino pembatas merupakan strategi optimalisasi performa ternak berbasis limbah pertanian. Mineral Cu dan Zn sangat dibutuhkan untuk proses pembentukan hormon, pertumbuhan, dan berbagai proses fisiologis lainnya (Arrizqi *et al.*, 2020). Reaksi antara mineral dengan lisin membentuk Zn-lisinat dan Cu-lisinat yang memiliki absorpsibilitas tinggi dan lolos degradasi rumen (Prihandono, 2001). Metionin sebagai asam amino pembatas berperan penting dalam sintesis protein, terutama pada tahap awal inisiasi (Wiyatna dan Hernaman, 2016). Kombinasi suplementasi mineral organik dan metionin diharapkan memberikan efek dalam meningkatkan performa ternak.

Peningkatan efisiensi metabolisme akibat suplementasi akan berdampak pada respons fisiologis ternak. Pemberian suplementasi Zn-lisinat, Cu-lisinat, dan metionin pada ransum berbasis limbah singkong diduga meningkatkan aktivitas metabolisme. Peningkatan laju metabolisme dari tingginya aktivitas mikroba rumen dan degradasi protein pakan menyebabkan produksi panas dalam tubuh meningkat, sehingga memicu mekanisme termoregulasi berupa peningkatan frekuensi napas dan denyut jantung untuk mempertahankan suhu tubuh tetap normal (Esmay, 1978). Suhu rektal merupakan respons akhir yang menggambarkan kondisi fisiologis ternak dan dapat digunakan sebagai parameter perubahan metabolisme (Marai *et al.*, 2007).

Berdasarkan kerangka pemikiran tersebut, suplementasi mineral organik (Cu-lisinat dan Zn-lisinat) dan metionin dalam ransum berbasis limbah singkong diharapkan berpengaruh terhadap respons fisiologis kambing *cross* Boer jantan yang tercermin pada parameter frekuensi denyut jantung, frekuensi respirasi, dan suhu rektal.

1.5 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan pada penelitian ini:

1. Suplementasi mineral organik (Cu-lisinat dan Zn-lisinat) dan metionin sebagai asam amino pembatas dalam ransum berbasis limbah singkong berpengaruh terhadap respons fisiologis pada kambing *cross* Boer jantan;
2. Suplementasi mineral organik (Cu-lisinat dan Zn-lisinat) dan metionin sebagai asam amino pembatas dalam ransum berbasis limbah singkong menghasilkan perlakuan terbaik terhadap respons fisiologis pada kambing *cross* Boer jantan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kambing *Cross Boer*

Kambing Boer merupakan bangsa kambing pedaging unggul yang berasal dari Afrika Selatan. Ras ini memiliki struktur tubuh padat dan proporsional dengan persentase karkas tinggi, serta laju pertumbuhan yang cepat (Nasich, 2011). Keunggulan lain dari kambing Boer adalah kemampuan adaptasi yang baik terhadap berbagai kondisi lingkungan dan efisiensi reproduksi yang tinggi, yaitu betina mampu beranak hingga tiga kali dalam dua tahun.

Upaya peningkatan produktivitas kambing lokal dapat dilakukan melalui persilangan dengan bangsa unggul. Kambing *cross Boer* merupakan hasil persilangan antara kambing Boer galur murni dengan kambing lokal yang bertujuan menggabungkan sifat-sifat unggul dari kedua tetua. Hasil persilangan ini menunjukkan karakteristik fisik yang khas berupa tubuh besar dan kuat, bulu tebal dan halus berwarna dominan coklat putih, serta memiliki kepala besar dengan telinga panjang. Menurut Parasmawati *et al.* (2013), persilangan kambing Etawa dengan Boer menghasilkan *Litter size* lebih dari satu ekor per kelahiran, menunjukkan peningkatan performa reproduksi dibanding kambing lokal murni.

Evaluasi respons fisiologis kambing terhadap cekaman lingkungan penting untuk menilai tingkat stres dan adaptabilitas ternak. Penelitian Devatama *et al.* (2025) menunjukkan bahwa kambing *cross Boer* memiliki respons fisiologis normal terhadap fluktuasi *Temperature Humidity Index* (THI) dengan parameter denyut jantung 90,31—95,63 denyut/menit, laju respirasi 38,18—51,43 kali/menit, suhu kulit 34,50—35,51°C, dan suhu rektal 38,42—38,65°C. Seluruh parameter mencapai nilai tertinggi pada siang hari ketika THI mencapai 76,26±1,38, dengan

aktivitas berbaring 14,31 kali/hari selama 13,1 jam/hari. Hal ini menunjukkan bahwa kambing *cross* Boer mampu mempertahankan homeostasis tubuh dalam kondisi lingkungan yang bervariasi.

2.2 Pakan

Pakan merupakan faktor krusial dalam sistem produksi ternak yang menentukan pertumbuhan, kesehatan, dan produktivitas. Pakan berkualitas harus mengandung komposisi nutrisi seimbang meliputi protein, karbohidrat, lemak, air, vitamin, dan mineral melalui kombinasi hijauan dan konsentrat. Namun demikian, kandungan nutrisi dari sumber pakan konvensional seringkali belum optimal untuk memenuhi kebutuhan fisiologis ternak, sehingga diperlukan intervensi suplementasi nutrisi (Nainggolan *et al.*, 2025).

Suplementasi didefinisikan sebagai penambahan bahan atau campuran bahan ke dalam ransum dengan tujuan melengkapi atau memperbaiki kandungan nutrisi yang defisit pada pakan basal. Jenis suplemen mencakup vitamin, mineral, asam amino, enzim, maupun mikroba probiotik yang berperan menjaga kesehatan saluran pencernaan, meningkatkan efisiensi konversi pakan, serta mendukung produktivitas optimal (Sihombing *et al.*, 2025).

Waktu pemberian pakan memiliki pengaruh terhadap konsumsi dan nutrisi pada kambing. Umumnya, pemberian pakan dilakukan pada pagi dan sore hari, sedangkan pemberian pada siang hari tidak dianjurkan karena kambing cenderung beristirahat untuk menghindari cekaman panas (Setianah *et al.*, 2004). Dalam kondisi suhu tinggi, kambing mengurangi aktivitas makan sebagai mekanisme adaptasi, yang berakibat pada penurunan konsumsi pakan dan ketersediaan energi metabolis. Selain waktu pemberian, kualitas nutrisi pakan juga mempengaruhi komposisi produk ternak. Pemberian pakan dengan sumber energi bervariasi dapat meningkatkan kandungan protein daging kambing, sehingga pakan harus menyediakan nutrisi memadai baik dari aspek kuantitas maupun kualitas (Mayulu, 2023).

2.2.1 Silase daun singkong

Silase merupakan produk fermentasi limbah pertanian dalam kondisi anaerob yang bertujuan mengatasi kekurangan pakan musiman dan meningkatkan nilai nutrisi. Proses fermentasi pada pembuatan silase menurunkan kadar serat kasar dan meningkatkan ketersediaan protein, sehingga dapat memenuhi kebutuhan nutrisi hewan ruminansia. Daun singkong terfermentasi memiliki keunggulan pada kandungan protein kasar yang tinggi dengan degradabilitas tinggi di dalam rumen. Mikroba rumen mendegradasi protein daun singkong menjadi amonia yang sebagian dikonversi menjadi protein mikroba untuk dimanfaatkan ternak inang (Purba *et al.*, 2017).

Tantangan utama dalam pemanfaatan daun singkong adalah keberadaan senyawa antinutrisi berupa asam sianida (HCN). Kandungan asam sianida (HCN) dalam daun singkong umumnya berkisar antara 20 hingga 80 mg per 100 g berat segar, atau dari 800 hingga 3.200 mg/kg bahan kering (BK). Proses fermentasi dapat mengurangi HCN secara alami, namun persentase penurunan relatif rendah, yaitu berkisar 10—20% (Yusriani, 2009). Kombinasi perlakuan pelayuan sebagai *pre-treatment* sebelum ensilase dapat meningkatkan efektivitas penurunan HCN. Selain itu, keberadaan senyawa makro berupa selulosa, hemiselulosa, dan lignin dalam daun singkong dapat menurunkan pencernaan pada rumen, sehingga metode fermentasi diharapkan dapat memecah struktur serat kompleks menjadi senyawa sederhana yang lebih mudah dicerna (Kurniawan *et al.*, 2015).

2.2.2 Konsentrat dan bahan penyusunnya

Konsentrat didefinisikan sebagai ransum dengan kandungan serat kasar rendah, mudah dicerna, dan padat energi. Peningkatan proporsi konsentrat dalam ransum dapat mengurangi produksi panas tubuh (*heat increment*) yang dihasilkan dari proses pencernaan pakan berserat tinggi, sehingga mengurangi beban termoregulasi pada ternak (Qisthon dan Widodo, 2015). Komposisi konsentrat umumnya terdiri dari beberapa bahan pakan yang masing-masing memiliki fungsi spesifik dalam memenuhi kebutuhan nutrisi.

Onggok merupakan limbah padat pengolahan ubi kayu menjadi tepung tapioka yang masih mengandung protein dan karbohidrat sebagai ampas pati. Onggok memiliki kandungan protein rendah yaitu 2%, serat kasar 15,62%, abu 5,66%, dan BETN 75,37%. Pemanfaatan onggok sebagai pakan dapat mengatasi masalah penyediaan bahan pakan sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan (Syafudin *et al.*, 2020).

Distillers Dried Grains with Solubles (DDGS) merupakan produk samping industri etanol yang berfungsi sebagai sumber protein dan energi. Bahan ini memiliki kandungan nutrisi tinggi meliputi protein kasar 25%, lemak 10,9%, dan serat kasar 8,8% (Syafudin *et al.*, 2020). Meskipun kandungan protein cukup tinggi, profil asam amino DDGS perlu diperhatikan untuk memenuhi kebutuhan optimal ternak ruminansia.

Pollard atau dedak gandum merupakan produk samping penggilingan gandum dengan palatabilitas tinggi dan kandungan nutrisi baik. Bahan ini mengandung protein kasar 16%, serat kasar 3,64%, lemak kasar 4,95%, dan kaya vitamin B kompleks serta fosfor (Syamsi *et al.*, 2020). Pollard memiliki kualitas protein lebih baik dari jagung namun lebih rendah dari bungkil kedelai. Penggunaan pollard perlu dibatasi karena memiliki sifat pencahar, dan sebagian besar kandungan fosfornya dalam bentuk *phytin* dengan ketersediaan rendah (Utama *et al.*, 2013).

Molasses atau tetes tebu merupakan bahan pakan sumber energi dengan kandungan karbohidrat tinggi yang banyak digunakan dalam ransum ruminansia. Bahan ini memiliki kandungan bahan kering 78%, protein kasar 3,84%, TDN 65%, namun rendah serat kasar dan fosfor (Chalisty *et al.*, 2017). Molasses memiliki nutrisi yang mendukung aktivitas bakteri rumen, sehingga dapat meningkatkan ketersediaan dan nilai nutrisi pakan. Molasses berfungsi sebagai aditif yang meningkatkan palatabilitas ransum dan menyediakan karbohidrat mudah terfermentasi sebagai sumber energi bagi mikroba rumen (Sumarsih *et al.*, 2009).

2.3 Mineral Mikro Organik

Mineral dalam tubuh ternak diklasifikasikan menjadi dua golongan berdasarkan konsentrasi dalam tubuh. Defisiensi atau kelebihan salah satu mineral dapat mengganggu proses metabolik dan berdampak pada penurunan produksi atau reproduksi ternak. Kebutuhan mineral pada kambing dan domba dipengaruhi oleh beberapa faktor meliputi jenis dan tingkat produksi, bangsa, proses adaptasi, tingkat konsumsi, umur, serta interaksi antar mineral dan zat makanan lainnya. Pemberian mineral dalam bentuk organik dapat meningkatkan bioavailabilitas sehingga absorpsi dalam tubuh ternak lebih efisien dibanding bentuk anorganik (Muhtarudin *et al.*, 2003).

Mineral dalam bentuk *chelates* memiliki ketersediaan biologis yang lebih tinggi dalam proses pencernaan. Agen *chelating* dapat berupa karbohidrat, lipid, asam amino, fosfat, dan vitamin yang memfasilitasi penetrasi mineral menembus dinding sel usus (Muhtarudin dan Liman, 2006). Secara teoritis, pembentukan ikatan *chelates* meningkatkan efisiensi penyerapan mineral dengan melindungi mineral dari interaksi antagonis dalam saluran pencernaan.

2.3.1 Mineral tembaga (Cu)

Tembaga merupakan mineral mikro yang dibutuhkan dalam jumlah sedikit namun esensial untuk proses fisiologis. Di alam, Cu ditemukan dalam bentuk senyawa sulfida (CuS), dan meskipun dibutuhkan dalam jumlah minimal, kelebihan dapat menyebabkan keracunan (Gelia, 2022). Pada hewan, Cu berfungsi dalam respirasi seluler, pertahanan terhadap radikal bebas, neurotransmitter, dan biosintesis jaringan. *National Research Council* (1998) merekomendasikan kandungan Cu dalam bahan kering ransum sebesar 10 mg/kg.

Rendahnya kandungan Cu dalam hijauan menjadi salah satu penyebab anemia pada ternak. Gejala defisiensi Cu yang paling sering terlihat adalah perubahan warna bulu berupa kerontokan atau warna kusam, selain gejala anemia. Mineral Cu berperan penting dalam sintesis mikroba rumen, sehingga suplementasi Cu diperlukan untuk optimalisasi aktivitas mikroba (Tillman *et al.*, 1989). Faktor

faktor yang mempengaruhi absorpsi Cu meliputi kadar seng, kalsium, dan besi tinggi yang dapat mengurangi penyerapan Cu di intestinum. Rendahnya kadar Cu dalam tubuh dapat mempengaruhi aktivitas berbagai enzim dan menimbulkan penyakit anemia serta gangguan gastrointestinal (Arrizqi *et al.*, 2020).

Pemberian Cu dalam bentuk organik, khususnya Cu-lisinat, memiliki keunggulan absorpsi yang nyata dibandingkan anorganik. Pada bentuk anorganik, ion Cu^{2+} harus bersaing dengan mineral lain (Zn, Fe, Ca) untuk menggunakan transporter protein yang sama di sel mukosa usus halus, sehingga efisiensi absorpsinya sangat rendah, hanya sekitar 1—3% dari Cu yang dikonsumsi (Muhtarudin dan Liman, 2006). Sebaliknya, Cu-lisinat yang berbentuk senyawa chelate stabil tidak mudah terurai di rumen oleh mikroba maupun oleh senyawa antagonis dalam pakan, sehingga dapat mencapai usus halus dalam bentuk utuh. Di usus halus, bagian lisin dari kompleks Cu-lisinat dikenali oleh transporter asam amino spesifik (*peptide transporter system*) sehingga absorpsi berlangsung lebih efisien dan menghasilkan bioavailabilitas yang lebih tinggi dibandingkan garam Cu anorganik (Muhtarudin *et al.*, 2003; Prihandono, 2001).

Setelah diserap di duodenum dan jejunum, Cu^{2+} masuk ke dalam aliran darah portal terikat pada albumin dan histidin plasma, kemudian dibawa menuju hati sebagai organ distribusi mineral utama. Di hati, tembaga diinkorporasikan ke dalam seruloplasmin, yaitu glikoprotein plasma yang berperan sebagai karier utama Cu dalam darah dan mendistribusikannya ke seluruh jaringan yang membutuhkan (Tillman *et al.*, 1989). Dari sirkulasi sistemik, Cu^{2+} diterima oleh sel-sel jaringan target melalui protein transporter spesifik (Ctr1) di membran sel, kemudian dibawa oleh protein chaperon intraseluler (CCS, ATOX1) menuju organel tujuan, terutama mitokondria.

Peran tembaga di dalam sel adalah sebagai komponen esensial sitokrom *c* oksidase (Kompleks IV) dalam rantai transpor elektron mitokondria. Kompleks IV mengandung dua atom Cu (CuA dan CuB) yang bekerja bersama dua gugus heme (sitokrom *a* dan *a*₃) untuk memindahkan elektron dari sitokrom *c* tereduksi ke oksigen molekuler (O_2), menghasilkan air (H_2O) dan proton yang membangun

gradien elektrokimia untuk sintesis ATP oleh ATP sintase (Tillman *et al.*, 1989). Reaksi ini merupakan tahap akhir respirasi seluler aerobik yang menghasilkan sebagian besar ATP seluler atau sumber energi bagi seluruh aktivitas biokimiawi dalam sel, termasuk sintesis protein otot, aktivitas enzim, dan pemeliharaan gradien ion membran.

Selain berperan dalam produksi energi, Cu berfungsi sebagai kofaktor enzim lisil oksidase yang mengkatalisis pembentukan ikatan silang (*crosslink*) antar rantai kolagen dan elastin di jaringan ikat, tulang, dan dinding pembuluh darah. Pembentukan ikatan silang ini memberikan kekuatan tensil pada jaringan, sehingga defisiensi Cu berdampak pada kelemahan struktur jaringan ikat dan fragilitas pembuluh darah (Gelia, 2022). Tembaga juga merupakan komponen enzim Cu/Zn-superoksida dismutase (Cu/Zn-SOD) bersama seng, yaitu antioksidan intraseluler utama yang menetralkan radikal superoksida (O_2^-) yang dihasilkan sebagai produk sampingan dari metabolisme aerobik intensif, sehingga melindungi sel dari kerusakan oksidatif (Arrizqi *et al.*, 2020). Dengan demikian, suplementasi Cu-lisinat tidak hanya mendukung efisiensi produksi energi seluler, tetapi sekaligus menjaga integritas jaringan dan sistem pertahanan antioksidan tubuh ternak.

2.3.2 Mineral seng (Zn)

Seng merupakan mineral mikro esensial yang ditemukan hampir di seluruh jaringan tubuh hewan, dengan akumulasi tertinggi pada tulang dibanding hati sebagai organ penyimpan utama. Zn berfungsi sebagai komponen penting enzim dan stimulator aktivitas mikroba rumen, mineral ini berperan sebagai aktivator dan komponen dari berbagai enzim seperti dehidrogenase, peptidase, dan fosfatase yang terlibat dalam metabolisme asam nukleat, sintesis protein, dan metabolisme karbohidrat (Parakkasi, 1999).

Zn dibutuhkan dalam jumlah sedikit namun bersifat esensial karena tidak dapat dikonversi dari zat lain. *National Research Council* (1998) merekomendasikan kandungan Zn dalam bahan kering ransum sebesar 40 mg/kg. Mineral Zn memiliki tingkat absorpsi rendah, namun reaksi antara Zn dengan lisin

membentuk mineral organik dengan absorpsibilitas tinggi yang lolos degradasi rumen sehingga langsung terdeposisi ke organ target (Prihandono, 2001). Suplementasi Zn dapat mempercepat sintesis protein mikroba melalui pengaktifan enzim-enzim mikroba.

Defisiensi Zn dapat mempengaruhi pertumbuhan, reproduksi, sistem imun, dan ekspresi gen pada ternak ruminansia. Mineral ini berperan penting dalam pembentukan protein dan pertumbuhan sel, kekurangannya menyebabkan gangguan pertumbuhan dan perkembangan. Defisiensi Zn juga mempengaruhi kesehatan reproduksi dengan menurunkan kualitas dan jumlah sperma serta mempengaruhi kemampuan reproduksi. Gejala klinis defisiensi Zn meliputi parakeratosis, penurunan libido, penurunan konsumsi pakan, peningkatan salivasi, dan kehilangan bobot badan pada kambing (Mardalena, 2014).

Zn dalam bentuk organik (Zn-lisinat) memiliki jalur absorpsi yang lebih efisien dibandingkan Zn anorganik. Pada ternak ruminansia, mineral Zn anorganik yang masuk ke rumen berpotensi mengendap sebagai kompleks tidak terlarut bersama fitat, oksalat, dan komponen serat pakan, sehingga sebagian besar tidak dapat diserap. Zn-lisinat yang berbentuk *chelate* stabil lolos dari degradasi rumen dan mencapai usus halus dalam kondisi utuh, kemudian diserap melalui transporter asam amino di sel enterosit duodenum. Absorpsi Zn pada ruminansia terutama terjadi di abomasum (sepertiga bagian) dan usus halus, dengan lokasi paling aktif di duodenum (Underwood, 1977). Setelah masuk ke enterosit, Zn^{2+} terikat pada *metallothionein* intraseluler yang mengatur homeostasis seng sesuai kebutuhan tubuh, kemudian ditransfer ke sirkulasi portal terikat pada albumin plasma untuk dibawa ke hati dan jaringan lainnya (McDowell, 1992).

Zn^{2+} di dalam sel-sel jaringan berfungsi sebagai kofaktor lebih dari 300 reaksi enzimatik yang mencakup tiga kategori fungsi: katalitik, struktural, dan regulator. Dalam fungsi katalitik, Zn berperan sebagai komponen aktif metaloenzim penting, antara lain: (1) karbonat anhidrase di eritrosit yang mengkonversi CO_2 menjadi HCO_3^- untuk memfasilitasi transpor karbon dioksida dari jaringan ke paru-paru; (2) alkohol dehidrogenase dan laktat dehidrogenase yang terlibat dalam

metabolisme energi; serta (3) karbo-ksipeptidase yang membantu pencernaan protein di usus halus dengan memutus ikatan peptida dari ujung karboksil (Parakkasi, 1999; Tillman *et al.*, 1989). Optimalnya fungsi enzim-enzim ini berkat ketersediaan Zn yang cukup berkontribusi pada efisiensi pencernaan nutrisi dan metabolisme energi di seluruh jaringan tubuh ternak.

Zinc berperan dalam fungsi struktural dan regulatornya dengan menstabilkan struktur protein melalui pembentukan domain zinc finger, yaitu struktur khusus yang ditemukan pada berbagai faktor transkripsi dan protein yang bertugas mengikat DNA. Protein-protein ini mengatur ekspresi gen yang mengendalikan proliferasi sel, diferensiasi sel, dan pertumbuhan jaringan, termasuk gen yang mengkode protein kontraktile otot rangka seperti aktin dan miosin (Church dan Pond, 1982; Mardalena, 2014). Seng juga berperan sebagai komponen DNA polimerase dan RNA polimerase, sehingga ketersediaan Zn yang cukup secara langsung menentukan laju replikasi DNA dan transkripsi gen di seluruh sel tubuh ternak yang sedang tumbuh. Di tingkat rumen, Zn-lisinat meningkatkan aktivitas mikroba rumen dengan mengaktifkan enzim-enzim mikrobial (selulase, hemiselulase, protease) dan menstimulasi pertumbuhan ciliata rumen pada konsentrasi rendah (5—10 µg/ml), sehingga fermentasi pakan berjalan lebih efisien dan menghasilkan lebih banyak VFA serta protein mikroba sebagai sumber energi dan asam amino bagi ternak (Arora, 1995). Integrasi kerja Zn pada level rumen dan jaringan inilah yang menjadikan suplementasi Zn-lisinat berdampak luas terhadap metabolisme dan pertumbuhan kambing *cross* Boer.

2.4 Asam Amino Esensial

Asam amino esensial merupakan kelompok asam amino yang tidak dapat disintesis sendiri oleh tubuh hewan dalam jumlah memadai untuk menunjang proses metabolisme. Kekurangan asam amino dapat menghambat pertumbuhan, menurunkan efisiensi pakan, dan mempengaruhi kualitas produk hewani. Oleh karena itu, keberadaannya harus dipenuhi dari pakan yang mengandung sumber protein berkualitas agar kebutuhan metabolik tercapai optimal (Qin *et al.*, 2025).

Optimalisasi nutrisi melalui suplementasi asam amino pada ransum berbasis limbah pertanian diharapkan dapat mengurangi beban metabolik dan mempertahankan homeostasis fisiologis ternak. Lisin dan metionin merupakan asam amino esensial yang krusial bagi ruminansia, berperan penting dalam sintesis protein dan berbagai proses metabolik lainnya (Ny *et al.*, 2022). Suplementasi asam amino ini menjadi strategi nutrisi untuk meningkatkan daya tahan tubuh kambing terhadap berbagai tantangan lingkungan.

2.4.1 Lisin

Asam amino lisin berperan dalam penyusunan protein atau polipeptida dalam tubuh ternak serta membantu reaksi metabolisme sel. Pemberian lisin dalam bentuk suplemen dapat meningkatkan bobot badan dan mendukung pertumbuhan maksimal (Abdusysyakur *et al.*, 2022). Lisin termasuk asam amino pembatas karena ketersediaannya dalam bahan pakan alami relatif rendah dan sering tidak mencukupi kebutuhan ternak.

Kondisi defisiensi lisin dapat menghambat pemanfaatan protein secara optimal dalam tubuh. Menurut Muhtarudin dan Husni (2007), untuk memenuhi kebutuhan nutrisi diperlukan penambahan lisin melalui suplemen atau penggunaan bahan pakan yang kaya lisin, agar keseimbangan asam amino tetap terjaga dan produktivitas ternak optimal. Suplementasi lisin menjadi strategi penting dalam formulasi ransum berbasis bahan pakan lokal yang umumnya defisit asam amino esensial.

2.4.2 Metionin

Metionin merupakan asam amino bersulfur yang berperan penting dalam sintesis protein seluler. Sebagai asam amino yang mengandung belerang, metionin tidak hanya berpartisipasi dalam pembentukan protein tubuh tetapi juga berfungsi sebagai prekursor bagi sistein dan senyawa lain yang mengandung sulfur (Vazquez, 2006). Metionin juga disebut asam amino pembatas karena jumlahnya yang sedikit membatasi pemanfaatan asam amino lain untuk membentuk protein tubuh kambing. Penambahan metionin berarti juga menambah pasokan sulfur

pada ternak ruminansia, yang sangat penting bagi ternak berproduksi tinggi mengingat formylmetionin RNA diperlukan pada tahap awal inisiasi sintesis protein (Wiyatna dan Hernaman, 2016).

Tantangan utama pemberian metionin pada ternak ruminansia adalah bahwa metionin yang masuk ke dalam rumen sebagian besar akan didegradasi dengan cepat oleh bakteri rumen menjadi amonia (NH_3) sebelum sempat diserap oleh tubuh ternak (Scheifinger *et al.*, 1976). Amonia hasil degradasi ini dimanfaatkan oleh mikroba rumen untuk sintesis protein mikroba, bukan langsung tersedia sebagai metionin bagi jaringan tubuh. Oleh karena itu, pemberian metionin dalam bentuk yang terlindungi dari degradasi rumen (*rumen-protected methionine / bypass methionine*) sangat dianjurkan agar metionin dapat mencapai usus halus dalam kondisi utuh. Metionin yang lolos degradasi rumen kemudian masuk ke abomasum dan dicerna oleh enzim proteolitik, kemudian diserap dalam bentuk asam amino bebas melalui mukosa usus halus (Wiyatna dan Hernaman, 2016; Vazquez, 2006).

Setelah diserap melalui epitel usus halus, metionin masuk ke dalam aliran darah vena porta dan dibawa menuju hati. Di hati, metionin mengalami aktivasi menjadi S-adenosilmetionin (SAM) melalui reaksi kondensasi dengan ATP yang dikatalisis oleh enzim metionin adenosiltransferase. SAM merupakan donor gugus metil paling penting dalam tubuh dan terlibat dalam lebih dari 100 reaksi transmetilasi yang esensial, termasuk biosintesis kreatin (cadangan energi otot), fosfatidilkolin (komponen membran sel), karnitin (pengangkut asam lemak ke mitokondria), dan epinefrin (hormon stres) (Vazquez, 2006; Suprayogi *et al.*, 2009). Metionin yang tidak segera diaktivasi dilepaskan ke sirkulasi sistemik dan didistribusikan ke seluruh jaringan yang membutuhkannya, terutama jaringan otot rangka, jaringan ikat, kelenjar, dan organ reproduksi.

Peran metionin dalam sel-sel jaringan adalah sebagai inisiator kodon dalam proses translasi (sintesis protein). Proses translasi selalu diawali dengan pengikatan formilmetionil-tRNA (fMet-tRNA) pada kodon *start* AUG di mRNA yang menempel pada subunit ribosom kecil. Tanpa tersedianya metionin dalam jumlah

cukup, pembentukan kompleks inisiasi ribosom terhambat, sehingga sintesis seluruh protein di dalam sel, mulai dari enzim pencernaan, protein struktural otot, hingga protein imun tidak dapat dimulai atau berjalan lambat (Kahlon *et al.*, 1975). Kondisi inilah yang menjadikan metionin disebut asam amino pembatas: meskipun asam amino lain tersedia berlimpah, ketidakcukupan metionin seorang diri menghentikan laju sintesis protein secara keseluruhan.

Setelah proses inisiasi berlangsung, ribosom melanjutkan tahap elongasi dengan menambahkan asam amino satu per satu sesuai urutan kodon mRNA hingga terbentuk rantai polipeptida lengkap. Pada sel otot rangka (miofibril), rantai polipeptida yang terbentuk mencakup protein kontraktil aktin dan miosin yaitu komponen utama sarkomer yang bertanggung jawab atas kemampuan kontraksi dan relaksasi otot, serta protein struktural titin dan troponin yang mengatur koordinasi kontraksi. Ketersediaan metionin yang optimal melalui suplementasi mengoptimalkan laju sintesis protein-protein ini, sehingga berperan langsung dalam pembentukan dan pemeliharaan massa otot ternak, yang pada akhirnya meningkatkan persentase karkas dan kualitas daging (Maynard *et al.*, 1979; Suprayogi *et al.*, 2009). Di jaringan ikat, sintesis kolagen dan elastin juga bergantung pada ketersediaan metionin karena gugus sulfur dari metionin digunakan dalam pembentukan sistein, dan sistein merupakan asam amino terbanyak kedua dalam struktur kolagen (Vazquez, 2006).

Selain berperan langsung dalam sintesis protein, metionin merupakan satu-satunya sumber sulfur organik bagi tubuh untuk jalur transsulfurasi. Melalui jalur ini, metionin dikonversi menjadi homosistein, yang kemudian bergabung dengan serin membentuk sistationin, dan akhirnya menghasilkan sistein. Sistein yang terbentuk selanjutnya digunakan sebagai: (1) prekursor *glutathion* yaitu antioksidan tripeptida intraseluler utama yang melindungi sel dari kerusakan oksidatif akibat radikal bebas yang dihasilkan selama metabolisme aerobik intensif; (2) komponen koenzim A yang berperan sentral dalam siklus asam sitrat dan oksidasi asam lemak; serta (3) prekursor taurin yang penting untuk fungsi jantung dan sistem saraf (Tillman *et al.*, 1989; Suprayogi *et al.*, 2009). Dengan demikian, suplementasi metionin 0,1% dalam penelitian ini tidak hanya

berpotensi meningkatkan sintesis protein jaringan, tetapi secara bersamaan mendukung sistem pertahanan antioksidan, produksi energi seluler, dan integritas fungsi organ jantung kambing *cross* Boer.

Penggunaan asam amino metionin ke dalam ransum biasanya digunakan dalam bentuk bubuk lalu dicampurkan dengan bahan lain. Suplementasi metionin pada ransum marginal yang defisit protein dapat meningkatkan pertumbuhan ternak. Dalam penelitian Wiyatna dan Hernaman (2016), suplementasi metionin 1% meningkatkan pertambahan bobot badan harian domba sebesar 3,6%. Namun, suplementasi metionin sebanyak 1% yang dilindungi oleh CPO tidak memberikan pengaruh terhadap performa domba. Sejalan dengan penelitian tersebut, penelitian Son *et al.* (2020) pada ayam broiler menunjukkan hasil serupa. Penambahan DL-metionin 0,30% meningkatkan berat badan sebesar 16,19% dibanding kontrol. Pemberian DL-metionin 0,70% memberikan hasil terbaik dengan berat badan mencapai 1539,50 g/ekor dan efisiensi pakan 64,61%. Meskipun konsumsi pakan menurun hingga 2,84%, namun pertambahan berat badan tetap meningkat karena pakan lebih efisien digunakan untuk pertumbuhan.

Kekurangan metionin pada ternak dapat menimbulkan hambatan dalam proses sintesis protein di dalam tubuh. Hal ini terjadi karena metionin berperan sebagai salah satu asam amino esensial yang memiliki fungsi penting dalam pembentukan jaringan tubuh serta metabolisme protein. Sebagai asam amino pembatas utama, jumlah metionin yang tidak mencukupi dapat membatasi pemanfaatan asam amino lain secara optimal, sehingga proses pertumbuhan, perkembangan, dan performa produksi ternak tidak dapat berjalan maksimal (Suprayogi *et al.*, 2009).

2.5 Termoregulasi

Termoregulasi merupakan mekanisme pengaturan suhu tubuh pada hewan homeoterm termasuk kambing untuk mempertahankan suhu tubuh konstan. Mekanisme ini melibatkan keseimbangan antara produksi panas (*heat production*) dan pembuangan panas (*heat loss*), sehingga aktivitas biologis dalam tubuh tetap berjalan optimal. Pusat pengaturan termoregulasi terletak pada bagian anterior

hipotalamus di otak yang mengkoordinasikan respons fisiologis terhadap perubahan suhu lingkungan (Esmay, 1978).

Kondisi lingkungan memiliki pengaruh besar terhadap kemampuan ternak dalam mempertahankan keseimbangan termal tubuh. Menurut Lu (1989), batas toleransi suhu lingkungan bagi kambing berkisar 25—30°C dengan kelembaban relatif (RH) berkisar antara 60—80%. Kambing yang dipelihara dalam kisaran suhu dan kelembaban tersebut berada dalam zona termonetral, yaitu kondisi di mana ternak tidak perlu mengaktifkan mekanisme termoregulasi secara berlebihan untuk mempertahankan suhu tubuh. *Temperature Humidity Index* (THI) kambing apabila $THI < 74$ dianggap normal, 75—78 adalah status siaga, 79—83 adalah status bahaya dan > 84 adalah sangat berbahaya (Helal *et al.*, 2010). Kondisi lingkungan di luar kisaran toleransi tersebut akan memicu aktivasi mekanisme termoregulasi yang dapat berdampak pada penurunan produktivitas ternak.

Mekanisme termoregulasi akan diaktifkan ketika ternak mengalami cekaman panas yang ditandai dengan peningkatan frekuensi respirasi, frekuensi denyut jantung, dan suhu rektal. Upaya mengatasi cekaman panas dapat dilakukan melalui pendekatan eksternal seperti penyediaan naungan dan penyemprotan air, serta pendekatan internal berupa manajemen nutrisi (Qisthon dan Widodo, 2015).

2.6 Respons Fisiologis

Respons fisiologis merupakan tanggapan ternak terhadap berbagai faktor fisik, kimia, maupun lingkungan sekitar yang mempengaruhi kondisi tubuh berkaitan dengan cuaca, nutrisi, dan manajemen pemeliharaan. Cekaman panas membuat ternak melakukan adaptasi yang diekspresikan melalui perubahan frekuensi denyut jantung, frekuensi pernapasan, suhu permukaan tubuh, dan suhu rektal (Santoso *et al.*, 2023). Ternak yang terkena cekaman panas akan memodifikasi tingkah laku, fungsi fisiologis, metabolisme, serta kuantitas dan kualitas produksinya.

Keberhasilan usaha peternakan dipengaruhi oleh faktor genetik 30% dan faktor lingkungan 70%. Pakan memiliki peranan penting karena 60—80% total biaya produksi digunakan untuk pakan (Siregar, 2003). Pemberian pakan pada level berbeda menyebabkan perbedaan kondisi fisiologis akibat perbedaan proses fermentasi atau metabolisme dalam tubuh, yang berpengaruh terhadap respons produksi. Menurut Astuti *et al.* (2015), cara pemberian hijauan dan konsentrat berpengaruh terhadap frekuensi pernapasan, denyut jantung, suhu tubuh, konsumsi ransum, penambahan bobot badan, dan konversi ransum.

Data fisiologis menjadi indikator penting dalam evaluasi kesehatan dan kesejahteraan ternak. Fadilah (2021) menjelaskan bahwa fisiologi ternak kambing merupakan dinamika kondisi fisiologis meliputi frekuensi napas, denyut nadi, dan suhu rektal yang dapat digunakan sebagai pedoman untuk menilai apakah organ tubuh dalam keadaan normal atau mengalami gangguan.

2.6.1 Frekuensi denyut jantung

Frekuensi jantung didefinisikan sebagai jumlah denyut jantung dalam satu menit yang dapat diamati menggunakan stetoskop pada apeks jantung di dinding dada sebelah kiri. Parameter ini dipengaruhi oleh umur, jenis kelamin, dan berat badan (Cunningham, 2002). Cekaman panas menyebabkan denyut jantung tidak stabil, suhu lingkungan tinggi mengakibatkan peningkatan kecepatan denyut jantung sebagai mekanisme termoregulasi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi denyut jantung meliputi aktivitas fisik, ion kalsium, kadar CO₂, asetilkolin, adrenalin, morfin, suhu tubuh, berat badan, dan umur. Aktivitas tinggi meningkatkan frekuensi kerja jantung, sedangkan ion kalsium memicu sistol pada proses pengosongan ruang jantung. Kadar CO₂ dan adrenalin dapat menaikkan frekuensi dan kekuatan kontraksi jantung, sementara asetilkolin dan morfin menurunkan frekuensi jantung. Semakin tinggi suhu tubuh dan berat badan, maka frekuensi denyut jantung semakin meningkat, sedangkan usia muda memiliki frekuensi lebih cepat (Adiswardjo, 2001).

Hewan yang sakit atau stres mengalami peningkatan denyut jantung sementara akibat peningkatan respirasi yang membutuhkan suplai oksigen lebih banyak melalui peningkatan aliran darah. Kamal *et al.* (2025) memperkuat bahwa suhu lingkungan berkaitan dengan persentase denyut jantung. Semakin tinggi suhu lingkungan menyebabkan cekaman panas dan peningkatan denyut jantung. Tingginya beban panas mengharuskan ternak melakukan termoregulasi dengan meningkatkan kerja jantung untuk memompa darah ke seluruh tubuh dan membuang panas melalui kulit, kisaran normal denyut jantung domba dan kambing adalah 70—90 kali per menit (Edey, 1983).

2.6.2 Frekuensi pernapasan (respirasi)

Laju respirasi diukur dengan menghitung siklus respirasi yaitu proses ekspirasi dalam satuan waktu sebagai mekanisme pertukaran gas untuk memenuhi kebutuhan oksigen. Peningkatan frekuensi pernapasan diduga disebabkan oleh peningkatan suhu tubuh akibat kombinasi faktor suhu lingkungan dan proporsi hijauan ransum yang tinggi (Qisthon dan Widodo, 2015). Proporsi hijauan besar menyebabkan produksi panas tubuh (*heat increment*) meningkat sehingga menambah beban panas yang harus dilepaskan.

Aktivitas pernapasan penting untuk meningkatkan pengeluaran panas pada temperatur tinggi. Kenaikan frekuensi napas yang diikuti naiknya frekuensi pulsus dan suhu tubuh menyebabkan gangguan fisiologis pada hewan. Respirasi berperan dalam termoregulasi untuk pengeluaran panas sekitar 20% dari total pembuangan panas tubuh (Karstan, 2006).

Ternak kambing memiliki frekuensi pernapasan normal sekitar 15—30 kali per menit (Gupta dan Mondal, 2019). Menurut Silanikove (2000), tingkat stres berpengaruh pada laju respirasi. Domba dengan stres ringan memiliki laju respirasi 40—60 kali/menit, stres panas tinggi 80—200 kali/menit, dan stres panas berat mencapai 200 kali/menit. Peningkatan frekuensi pernapasan bertujuan mempercepat pengeluaran panas dari dalam tubuh melalui udara yang dihembuskan untuk mencapai suhu tubuh normal (Esmay, 1978).

2.6.3 Suhu rektal

Suhu rektal merupakan bentuk pemeriksaan akurat untuk mengetahui suhu internal tubuh ternak yang diukur dengan memasukkan termometer ke dalam rektum. Suhu rektal dapat digunakan sebagai ukuran representatif suhu tubuh dan parameter adanya cekaman lingkungan terhadap kambing, serta keseimbangan termal tubuh ternak dapat dilihat dari indikator suhu rektal dengan kisaran normal kambing antara 38,3—39,9°C (Marai *et al.*, 2007). Suhu tubuh ternak dipengaruhi oleh berbagai faktor meliputi umur, jenis kelamin, lingkungan, konsumsi pakan dan minum, serta aktivitas fisik. Keadaan lingkungan berpengaruh terhadap suhu rektal, dengan perbedaan suhu tubuh pada pagi dan sore hari akibat fluktuasi suhu lingkungan (Foeh *et al.*, 2021). Terdapat variasi diurnal suhu tubuh antara siang dan malam hari yang mencerminkan pengaruh suhu lingkungan terhadap perubahan suhu rektal.

Pemberian pakan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi nilai parameter fisiologi ternak. Semakin banyak jumlah pakan yang diberikan akan meningkatkan nilai parameter fisiologi akibat tingginya proses metabolisme dalam tubuh (Qisthon dan Widodo, 2015). Ketika metabolisme meningkat, tubuh menghasilkan panas yang harus segera dibuang agar suhu inti tubuh tetap stabil. Mekanisme pembuangan panas ini dilakukan melalui peningkatan respirasi dan sirkulasi darah perifer sebelum panas sempat terakumulasi dan mengubah suhu rektal (Esmay, 1978). Selama mekanisme ini berjalan efektif, suhu rektal akan tetap berada dalam kisaran normal meskipun aktivitas metabolisme meningkat.

Pemantauan suhu rektal secara rutin dapat menjadi indikator dini terjadinya cekaman panas atau gangguan fisiologis pada ternak. Fisiologi ternak kambing merupakan dinamika kondisi fisiologis meliputi frekuensi napas, denyut nadi, dan suhu rektal yang dapat digunakan sebagai pedoman untuk menilai apakah organ tubuh dalam keadaan normal atau mengalami gangguan (Fadilah, 2021). Dengan demikian, suhu rektal bukan hanya mencerminkan kondisi termal sesaat, tetapi juga menggambarkan keberhasilan tubuh ternak dalam mempertahankan homeostasis secara keseluruhan terhadap berbagai tekanan lingkungan maupun nutrisi yang diterima.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada November 2025 sampai Desember 2025 bertempat di Kahfi *Farm*, Jati Agung, Lampung Selatan.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi 12 kandang kambing individu, tempat pakan dan minum, sekop, drum silo, ember, pisau, bak, cangkul, sapu lidi, karung, gunting, plastik, alat tulis, serta kamera *handphone* untuk dokumentasi selama kegiatan penelitian berlangsung. Peralatan untuk pengukuran meliputi *thermometer* digital, *stopwatch*, *thermohygrometer*, stetoskop, dan alat tulis.

3.2.2 Bahan penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu 12 ekor kambing *cross* Boer jantan dengan bobot tubuh 29,75—34,35 kg dan berumur 6—8 bulan yang dipelihara secara intensif pada kandang individu dengan bentuk panggung. Bahan lain yang digunakan pada penelitian ini yaitu ransum basal yang terdiri dari silase daun singkong, DDGS, pollard, onggok press, bungkil sawit, premix dan molases, dan bahan perlakuan terdiri dari mineral organik (Zn-lisinat dan Cu-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.

Adapun perlakuan ransum yang digunakan adalah:

P0: Ransum Basal (silase daun singkong, onggok press, molases, bungkil kelapa sawit, DDGS, *pollard*, dan premix)

P1: P0 + Mineral organik (40 ppm Zn-lisinat dan 10 ppm Cu-lisinat)*

P2: P1 + Asam amino metionin 0,1%**

Sumber :

*Muhtarudin dan Liman (2006)

**sesuai dosis produk

Tata letak perlakuan dapat dilihat pada Gambar 1.

P0U4	P1U2	P1U4	P2U2	P0U3	P2U1	P0U2	P2U3	P1U1	P2U4	PIU3	P0U1
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Gambar 1. Tata letak perlakuan

Keterangan :

P: Perlakuan

U: Ulangan

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Prosedur penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam 6 tahap yaitu:

1. Mempersiapkan kandang kambing;
2. Membuat mineral organik (Zn-lisinat dan Cu-lisinat);
3. Membuat ransum perlakuan suplementasi;
4. Melakukan prelium dan memberikan ransum;
5. Melakukan cek fisiologis (denyut jantung, suhu rektal, dan pernapasan);
6. Menganalisis data.

3.4.2 Persiapan kandang dan kambing

Tahap ini dilakukan dengan membersihkan kandang, membersihkan alas tempat pakan, memberi nomor sesuai dengan tata letak perlakuan, kemudian menimbang kambing dan memasukkan masing-masing kambing kedalam kandang individu sesuai urutan pengacakan.

3.4.3 Pembuatan mineral organik

3.4.3.1 Pembuatan mineral Cu-Lisinat

Berikut ini langkah-langkah pembuatan mineral Cu-lisinat



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

3.4.3.2 Pembuatan mineral Zn-lisinat

Berikut ini langkah-langkah pembuatan mineral Zn-lisinat :



1. Menyiapkan alat dan bahan;
2. Menimbang lisin sebanyak 43,82 g dan memasukkan bahan tersebut kedalam gelas ukur;
3. Menambahkan aquades kedalam gelas ukur tersebut hingga 100 ml, kemudian mengaduknya hingga homogen;

4. Menimbang $ZnSO_4$ sebanyak 16,14 g dan memasukkan bahan tersebut kedalam gelas ukur;
5. Menambahkan aquades kedalam gelas ukur tersebut hingga 100 ml, kemudian mengaduknya hingga homogen;
6. Mencampurkan kedua bahan hingga homogen;
7. Memasukkan larutan ke dalam botol dan mengaduknya kembali hingga homogen kemudian menutup botol dengan rapat.

3.4.4 Pembuatan dan pemberian ransum basal

Pembuatan ransum basal terdiri dari beberapa tahapan yaitu:

1. Menyiapkan alat dan bahan;
2. Menimbang bahan pakan sesuai dengan perhitungan;
3. Mencampurkan bahan pakan dari jumlah kebutuhan yang paling tinggi hingga paling rendah;
4. Membagi campuran tersebut menjadi empat bagian;
5. Mengaduk dari bawah ke atas hingga homogen;
6. Menyatukan kembali menjadi satu kesatuan dengan diaduk kembali hingga homogen sempurna;
7. Memasukan kedalam silo drum;
8. Memberi label keterangan ransum perlakuan;
9. Menutup rapat drum hingga keadaan anaerob.

Pemberian ransum dilakukan sebanyak dua kali sehari, yaitu pada pagi hari pukul 07.00 WIB dan sore hari pukul 16.00 WIB, sedangkan air minum diberikan secara *ad libitum*. Kandungan nutrisi bahan penyusun ransum dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan kandungan nutrisi ransum dapat dilihat pada Tabel 2 dan kandungan nutrisi ransum perlakuan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 1. Kandungan nutrisi bahan penyusun ransum

Pakan	BK (%)	Kandungan nutrisi bahan pakan					
		PK	LK	SK	Abu	BETN	TDN
-----(%BK)-----							
Silase daun singkong*	35	22	9,3	13,86	5,32	49,52	61
Onggok**	30	2	1,35	15,62	5,66	75,37	76,32
DDGS**	89	25	10,9	8,8	5,8	49,5	78
Bungkil sawit***	92	14	14,61	24	13,8	33,59	72,32
Pollard****	86	16	4,95	3,64	3,9	71,51	73
Molases*****	78	3,84	0,3	0,39	7,9	87,57	65
Premix	100	0	0	0	100	0	0
Cu (Tembaga)	100	0	0	0	0	0	0
Zn (Seng)	100	0	0	0	0	0	0
Metionin*****	99,5	59,11	0	0	0,2	0	0

Sumber :

*Ramli dan Rismawati (2007)

Syafudin *et al.* (2020)*Syamsi *et al.* (2020)****Fathul *et al.* (2023)*****Chalisty *et al.* (2017)*****INRAE *et al.* (2024)

Tabel 2. Kandungan nutrisi ransum

Pakan	Imb. (%)	Kandungan nutrisi ransum						
		BK	PK	LK	SK	Abu	BETN	TDN
-----(%BK)-----								
1. Ransum basal								
Silase daun singkong*	35	12,25	7,70	3,26	4,85	1,86	17,33	21,35
Onggok**	30	9	0,60	0,41	4,69	1,70	22,61	22,90
DDGS**	8	7,12	2	0,87	0,70	0,46	3,96	6,24
Bungkil sawit***	22	20,24	3,08	3,21	5,28	3,04	7,39	15,91
Pollard****	3	2,58	0,48	0,15	0,11	0,12	2,15	2,19
Molases*****	1	0,78	0,04	0	0	0,08	0,88	0,65
Premix	1	1	0	0	0	1	0	0
2. Suplementasi								
Cu (Tembaga)	0,001	0,001	0	0	0	0	0	0
Zn (Seng)	0,004	0,004	0	0	0	1	0	0
Metionin*****	0,1	0,09	58,80	0	0	0,11	0	0

Sumber :

*Ramli dan Rismawati (2007)

Syafudin *et al.* (2020)*Syamsi *et al.* (2020)****Fathul *et al.* (2023)*****Chalisty *et al.* (2017)*****INRAE *et al.* (2024)

Tabel 3. Kandungan nutrisi ransum perlakuan

Perlakuan	Kandungan nutrisi ransum perlakuan				
	PK	Abu	SK	LK	BETN
	-----(% BK)-----				
P0	13,20	5,80	16,07	10,11	45,60
P1	14,86	5,31	14,41	11,26	46,84
P2	15,48	4,83	12,62	12,50	46,51

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium Nutrisi dan Makanan Ternak, Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung (2025)

3.4.5 Tahap prelium

Tahap prelium dilakukan selama 14 hari, dimana kambing sudah mulai diberi pakan perlakuan (P0, P1, dan P2) sesuai dengan pengacakan yang telah ditentukan. Tujuan dari tahap ini adalah untuk membiasakan kambing dengan pakan perlakuan dan lingkungan kandang.

3.5 Peubah yang Diamati

Peubah yang diamati dalam penelitian ini adalah frekuensi denyut jantung, frekuensi pernapasan, dan suhu rektal. Pengambilan data dilakukan setiap satu minggu sekali selama 5 minggu pada hari selasa pukul 06.00, 12.00, dan 15.00 WIB.

3.5.1 Frekuensi denyut jantung

Pengukuran denyut jantung dilakukan dengan menggunakan stetoskop yang ditempelkan di bagian tulang *axilla* sebelah kiri (dada sebelah kiri), dilakukan selama satu menit dengan menggunakan alat stopwatch dengan tiga kali ulangan setiap pengukuran (Rosmayanti *et al.*, 2019).

3.5.2 Frekuensi pernapasan

Pengukuran pernapasan dilakukan dengan cara menempelkan telapak tangan bagian luar di depan hidung kambing, lama pengukuran selama satu menit dengan menggunakan alat stopwatch dengan tiga kali ulangan setiap pengukuran (Rosmayanti *et al.*, 2019).

3.5.3 Suhu rektal

Pengukuran suhu rektal dilakukan dengan menggunakan termometer yang dimasukkan ke dalam rektal kambing dalam keadaan tenang. Alat termometer rektal dimasukkan sedalam sekitar 2 cm dan ditunggu hingga termometer berbunyi (2—3 menit), kemudian dilakukan pembacaan angka (Qisthon dan Widodo, 2015).

3.6 Analisis Data

Data respons fisiologis yang diperoleh akan dianalisis dengan *Analysis of Variance* (Anova), dan jika menunjukkan pengaruh nyata ($P < 0,05$) atau sangat nyata ($P < 0,01$) maka analisis akan dilanjutkan dengan Uji Beda Nyata Terkecil (BNT).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa suplementasi mineral organik (Cu-lisinat dan Zn-lisinat) dan asam amino metionin dalam ransum berbasis limbah singkong tidak berpengaruh nyata ($P>0,05$) terhadap frekuensi respirasi, denyut jantung, dan suhu rektal kambing *cross* Boer jantan, serta tidak terdapat perlakuan yang secara nyata memberikan hasil terbaik terhadap respon fisiologis ternak.

5.2 Saran

Perlu dilakukan analisis kandungan mineral dan asam amino aktual dalam ransum basal berbasis limbah singkong sebelum suplementasi agar dosis Cu-lisinat, Zn-lisinat, dan asam amino metionin yang diberikan benar-benar mencerminkan kebutuhan nyata ternak, sehingga pengaruhnya terhadap respons fisiologis kambing *cross* Boer jantan dapat terdeteksi secara statistik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdusysyaktur, A., Suryapratama, W., & Setyaningrum, A. (2022). Pengaruh Supplementasi Asam Amino Metionin dan Lisin pada Domba yang diberi Pakan Karbohidrat Non-Struktural terhadap Persentase Karkas, Daging, dan Luas Urat Daging Mata Rusuk. *Journal of Animal Science and Technology*, 4(2), 225–234.
- Adiswardjo, D. (2001). Buku Ajar Dasar Fisiologi Ternak. Purwokerto.
- Amrudin, R., Sambodho, P., & Suprayogi, T. H. (2014). Pengaruh Frekuensi Pemberian Hijauan yang Berbeda terhadap Produksi dan Bahan Kering Susu Kambing Perah. *Animal Agriculture Journal*, 3(2), 242–248.
- Arora, S. P. (1995). *Pencernaan Mikroba pada Ruminansia*. Edisi ke-2. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Arrizqi, M. D., Tampoebolon, B. I. M., Surahmanto, & Pujaningsih, R. I. (2020). Status Mineral Darah (Ca, P, Mg, Zn, Cu) Kambing Kacang yang diberi Pakan Pelengkap Multinutrien Blok. *Bulletin of Applied Animal Research*, 2(1), 11–16.
- Astuti, A., Erwanto, & Santosa, P. E. (2015). Pengaruh Cara Pemberian Konsentrat Hijauan terhadap Respon Fisiologis dan Performa Sapi Peranakan Simmental. *Jurnal Ilmiah Peternakan Terpadu*, 3(4), 201–207.
- Badan Pusat Statistik. (2024). Populasi Ternak Menurut Provinsi dan Jenis Ternak (ekor) di Indonesia, Tahun 2024.
- Badan Pusat Statistik Lampung. (2024). Populasi Ternak Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Ternak di Provinsi Lampung (ekor), Lampung.
- Chalisty, V. D., Utomo, R., & Bachruddin, Z. (2017). Pengaruh Penambahan Molases, *Lactobacillus plantarum*, *Trichoderma viride*, dan Campurannya terhadap Kualitas Silase Total Campuran Hijauan. *Buletin Peternakan*, 41(4), 431–438. <https://doi.org/10.21059/buletinpeternak.v41i4.17337>
- Church, C. dan W. G. Pond. 1982. *Basic Animal Nutrition and Feeding*. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York.

- Cunningham, J. G. (2002). *Veterinary Physiology*. Saunders Company, USA
- Devatama, K. V., Septian, W. A., & Raharjo, P. P. (2025). *Nilai Temperature Humidity Index terhadap Respon Fisiologis dan Aktivitas Berbaring Kambing Cross Boer di Balai Besar Pelatihan Peternakan (BBPP) Kota Batu*. Skripsi. Universitas Brawijaya.
- Edey, T. N. (1983). *Tropical Sheep and Goat Production*. Australia University International Development Program (AUIDP). Canberra.
- Esmay, M. L. (1978). *Principles of Animal Environment*. AVI Publishing Co, US.
- Fadilah, P. (2021). *Pengaruh Ketinggian Tempat terhadap Kondisi Fisiologis dan Produksi Susu Kambing Peranakan Ettawa*. Skripsi. Universitas Brawijaya.
- Fathul, F., Liman, Purwaningsih N., & Tantalo, S. (2023). *Pengetahuan Pakan dan Formulasi Ransum*. Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Foeh, N., Datta, F. U., Ndaong, N., Detha, A., & Akal, R. (2021). Pengaruh Pakan Kelor terhadap Status Fisiologi Kambing Kacang (*Capra Aegragus Hircus*) dengan Pola Pemeliharaan Insentif di Daerah Lahan Kering. *Jurnal Kajian Veteriner*, 9(1), 8–12. <https://doi.org/10.35508/jkv.v9i1.3909>
- Gelia, F. (2022). *Analisis Kadar Logam Berat Tembaga (Cu) dalam Darah Sapi (Bos sp.) di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Tamangapa Makassar*. Skripsi. Universitas Hasanuddin.
- Gupta, M., & Mondal, T. (2019). Heat Stress and Thermoregulatory Responses of Goats: A Review. *Biological Rhythm Research*. 52(1), 1–27. <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1603692>
- Helal, A., Hashem, A. L. S., Abdel-Fattah, M. S., & El-Shaer, H. M. (2010). Effect of heat stress on coat characteristics and physiological responses of Balady and Damascus goats in Sinai, Egypt. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 7(1), 60–69.
- INRAE, CIRAD, AFZ, & FAO. (2024). *Feedipedia: Animal feed resources information system*.
- Kahlon, T. S., J. C. Meiske, & R. O. Goodrich. (1975). Rumen metabolism of sulfur in sheep and steers fed diets supplemented with methionine hydroxy analog or sodium sulfate. *Journal of Animal Science*. 41(4): 1215–1223.
- Kamal, M., Amran, M., Suryani, & Aldi. (2025). Pengaruh Pemberian Konsentrat dan Hijauan yang Berbeda terhadap Respon Fisiologi (Suhu Rektal, Denyut Jantung dan Frekuensi Pernapasan) Sapi. *Tropical Animal Science*, 7(1), 116–125. <https://doi.org/10.36596/tas.v7i1.1838>

- Karstan, A. H. (2006). Respon Fisiologis Ternak Kambing yang dikandangkan dan ditambatkan terhadap Konsumsi Pakan dan Air Minum. *Jurnal Agroforestri*, 1(1), 64–73.
- Kurniawan, D., Erwanto, & Fathul, F. (2015). Pengaruh Penambahan Berbagai Starter pada Pembuatan Silase terhadap Kualitas Fisik dan pH Silase Ransum Berbasis Limbah Pertanian. *Jurnal Ilmiah Peternakan Terpadu*, 3(4), 191–195. <https://doi.org/10.23960/jipt.v3i4.p%25p>
- Lu, C. D. (1989). Effects of heat stress on goat production. *Small Ruminant Research*, 2(2), 151–162.
- Lu, C. D. (2001). Boer Goat Production: Progress and Perspective. *Proceedings of the International Conference on Boer Goats*.
- Marai, I. F. M., El-Darawany, A., Fadiel, A., & Abdel-Hafez, M. A. M. (2007). Physiological Traits as Affected by Heat Stress in Sheep. *Small Ruminant Research*, 71(1–3), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.10.003>
- Mardalena. (2014). Suplementasi Serbuk Kulit Nenas serta Mineral Cu dan Zn dalam Ransum dan Pengaruhnya terhadap Kandungan Antioksidan Susu Kambing. *Jurnal Sains Peternakan Indonesia*, 9(2), 91–101.
- Maynard, L. A., J. K. Loosli, H. F. Hintz, dan R. G. Warner. 1979. *Animal Nutrition*. 7th ed. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Mayulu, H. (2023). Role of Animal Husbandry Nutrition Science on Feed, Food and Environment Safety. *Technium BioChemMed*, 6, 12–21.
- McDowell, L. R. (1992). *Minerals in Animal and Human Nutrition*. Academic Press, San Diego.
- Muhtarudin, Liman, & Widodo, Y. (2003). Penggunaan Seng Organik dan Polyunsaturated Fatty Acid dalam Upaya Meningkatkan Ketersediaan Seng, Pertumbuhan, serta Kualitas Daging Kambing. Laporan Penelitian Hibah Bersaing Perguruan Tinggi.
- Muhtarudin & Husni, A. (2007). Pengaruh Suplementasi Hidrolisat Bulu Ayam dan Mineral Organik terhadap Kecernaan Zat Makanan, Pertambahan Bobot Badan, dan Efisiensi Ransum Kambing Peranakan Etawa Jantan. *Majalah Ilmiah Peternakan*, 10(3), 1–7.
- Muhtarudin & Liman. (2006). Penentuan Tingkat Penggunaan Mineral Organik untuk Memperbaiki Bioproses Rumen pada Kambing secara *In Vitro*. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 8(2), 132–140. <https://doi.org/10.31186/jipi.8.2.132-140>

- Nainggolan, M. A. S., Qisthon, A., Suharyati, S., & Santosa, P. E. (2025). Pengaruh Penambahan *Milk Replacer* pada Pakan terhadap Respons Fisiologis pada Kambing *Cross Boer Jantan*. *Jurnal Riset dan Inovasi Peternakan*, 9(1), 90–101. <https://doi.org/10.23960/jrip.2025.9.1.90-101>
- Nasich, M. (2011). Produktivitas Kambing Hasil Persilangan antara Pejantan Boer dengan Induk Lokal (PE) Periode Prasapiah. *Jurnal Ternak Tropika*, 12(1), 56–62.
- National Research Council. (1998). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (6th ed.). National Academy of Sciences, USA.
- Ny, V., Needham, T., & Ceacero, F. (2022). Potential Benefits of Amino Acid Supplementation for Cervid Performance and Nutritional Ecology, with Special Focus on Lysine and Methionine: A Review. *Animal Nutrition*, 11, 391.
- Panyongang, A. U. S. (2023). *Tingkat Penggunaan Daun Ketela Pohon dalam Pakan Konsentrat terhadap Kecernaan Bahan Kering, Bahan Organik, dan Protein Kasar pada Kelinci*. Skripsi. Universitas Tribhuwana Tungadewi, Malang.
- Parakkasi, A. (1999). *Ilmu Nutrisi dan Makanan Ternak Ruminansia*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Parasmawati, F., Suyadi, & Wahyuningsih, S. (2013). Performan Reproduksi pada Persilangan Kambing Boer dan Peranakan Etawa (PE). *Jurnal Ilmu-Ilmu Peternakan*, 23(1), 11–17.
- Prihandono, R. (2001). *Pengaruh Suplementasi Probiotik Bioplus, Lisinat Zn dan Minyak Ikan Lemuru terhadap Tingkat Penggunaan Pakan dan Produk Fermentasi Rumen Domba*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- Purba, E. P., Erwanto, & Liman. (2017). Pengaruh Penambahan Silase Daun Singkong dan Mineral Mikro Organik dalam Ransum Berbasis Limbah Kelapa Sawit terhadap Kecernaan Serat Kasar dan Protein Kasar. *Jurnal Riset dan Inovasi Peternakan*, 1(1), 16–19.
- Qin, X., Lin, X., Hanigan, M. D., Zhao, K., Hu, Z., Wang, Y., Hou, Q., & Wang, Z. (2025). *Ruminally Protected Isoleucine, Leucine, Methionine, and Threonine Supplementation of Low-Protein Diets Improved the Performance and Nitrogen Efficiency of Dairy Cows*. *Animals*, 15(9), 10–12.
- Qisthon, A., & Widodo, Y. (2015). Pengaruh Peningkatan Rasio Konsentrat dalam Ransum Kambing Peranakan Etawa di Lingkungan Panas Alami terhadap Konsumsi Ransum, Respons Fisiologis, dan Pertumbuhan. *Jurnal Zootehnik*, 35(2), 351–360. <https://doi.org/10.35792/zot.35.2.2015.9275>

- Ramli, N., & Rismawati. (2007). Integrasi Tanaman Singkong dan Ternak Unggas. Disampaikan pada Rapat Komisi Pakan, 13–15 Juni 2007. Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan IPB, Bogor.
- Rosmayanti, P., Sudrajat, D., & Malik, B. (2019). Pengaruh Pemberian Pakan Tepung *Indigofera Sp*, terhadap Respon Fisiologis Domba Ekor Gemuk. *Jurnal Peternakan Nusantara*, 5(2), 57–64.
- Santoso, K., Tarigan, A. F., & Komariah. (2023). Respons Fisiologis Sapi Pedaging terhadap Pengabutan Air Menggunakan *Sprinkler Water*. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 28(3), 423–432.
<https://doi.org/10.18343/jipi.28.3.423>
- Saputra, A. (2018). *Pengaruh Suplementasi Silase Daun Singkong dan Mineral Mikro Organik pada Ransum Berbasis Limbah Kelapa Sawit terhadap Pertambahan Bobot Tubuh dan Efisiensi Ransum Ternak Kambing*. Skripsi. Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Scheifinger, C., N. Russell, & W. Chalupa. (1976). Degradation of amino acids by pure cultures of rumen bacteria. *Journal of Animal Science*. 43(4): 821-827.
- Septiadi, A., Nur, H., & Handarini, R. (2015). Kondisi Fisiologis Domba Ekor Tipis Jantan yang diberi Berbagai Level Ransum Fermentasi Isi Rumen Sapi. *Jurnal Peternakan Nusantara*, 1(2), 69–76.
<https://doi.org/10.30997/jpnu.v1i2.228>
- Setianah, R., Jayadi, S., & Herman, R. (2004). Tingkah Laku Makan Kambing Lokal Persilangan yang Digembalakan di Lahan Gambut: Studi Kasus di Kalamangan, Palangkaraya, Kalimantan Tengah. *Media Peternakan*, 27(3), 111–122.
- Sihombing, D. W., Ghifari, M. A., Haikal, F., Sajahtra, S. M., Basriwijaya, K. M. Z., & Saragih, F. H. (2025). Pengaruh Suplemen Pakan terhadap Kesehatan dan Pertumbuhan Sapi Pedaging. *Botani: Publikasi Ilmu Tanaman dan Agribisnis*, 2(1), 290–295. <https://doi.org/10.62951/botani.v2i1.205>
- Silanikove, N. (2000). The Physiological Basis of Adaptation in Goats to Harsh Environments. *Small Ruminant Research*. 35(3), 181–193.
- Siregar, S. (2003). *Ransum Ternak Ruminansia*. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Son, D. K., Lisnahan, C. V., & Nahak, O. R. (2020). Pengaruh Suplementasi DL-Methionine terhadap Berat Badan, Konsumsi dan Efisiensi Pakan Ayam Broiler. *Journal of Tropical Animal Science and Technology*, 2(2), 37–44.

- Sumarsih, S., Sutrisno, C. I., & Sulistiyanto, B. (2009). Kajian Penambahan Tetes sebagai Aditif terhadap Kualitas Organoleptik dan Nutrisi Silase Kulit Pisang. *In Prosiding Seminar Nasional Kebangkitan Peternakan*.
- Suprayogi, A., E. Sudarnika, & Windiarisman. (2009). Peran metionin dalam sintesis protein dan metabolisme sulfur pada ternak ruminansia. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner*. 14(1): 12–20.
- Syafrudin, A. I., Pangestu, E., & Christiyanto, M. (2020). Nilai *Total Digestible Nutrient* pada Bahan Pakan *By-Product* Industri Pertanian sebagai Pakan Kambing yang Diuji secara *In Vitro*. *Jurnal Sain Peternakan Indonesia*, 15(3), 302–307.
- Syamsi, A. N., Ifani, M., Widodo, H. S., Rahayu, R. A., & Meilinda, C. L. (2020). Nutrisi dan Indeks Sinkronisasi Protein-Energi Beberapa Jenis Bungkil Pengolahan Pangan untuk Pakan Sapi Perah. *Prosiding Seminar Nasional dan Call for Papers*.
- Tillman, A. D., Hartadi, H., Reksohardiprodjo, S., Prawirokusumo, S., & Lebdoekijo, S. (1989). Ilmu Makanan Ternak Dasar. Fakultas Peternakan Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Underwood, E. J. (1977). *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*. 4th ed. Academic Press. New York.
- Utama, C., Sulistiyanto, B., & Setiani, B. E. (2013). Profil Mikrobiologis *Pollard* yang Difermentasi dengan Ekstrak Limbah Pasar Sayur pada Lama Peram yang Berbeda. *Jurnal Agripet*, 13(2), 26.
<https://doi.org/10.17969/agripet.v13i2.816>
- Vazquez, M., T. Jenkins, C. Staples, & C. J. Newbold. (2006). The role of methionine in ruminant metabolism and production. *Revue Médicale Vétérinaire*. 157(5): 242–249.
- Vazquez, M., Kratzer, D., Gonzalez Esquerro, R., Yi, I. G., & Knight, C. D. (2006). A multiple regression model approach to contrast the performance of 2-hydroxy-4-methylthio butanoic acid and DL-methionine supplementation tested in broiler experiments and reported in the literature. *Poultry Science*, 85(4), 693–705. <https://doi.org/10.1093/ps/85.4.693>
- Wiyatna, M. F., & Hernaman, I. (2016). Pengaruh Suplementasi Metionin-Cpo dalam Ransum terhadap Performa Domba. *Jurnal Ilmu Ternak*, 16(2), 1–6.
- Yusriani, Y. (2009). Pemanfaatan Silase Hijauan sebagai Pakan Nutrisi untuk Ternak. *Nutrisi Ternak*, 2, 7–14.