

KECERNAAN DAN FERMENTABILITAS *IN VITRO* RUMEN PADA RANSUM YANG MENGANDUNG KULIT MANGGA

Mega Eva Triana^{1*}, Iin Susilawati¹, Ujang Hidayat Tanuwiria¹

¹)Program Studi Peternakan, Fakultas Peternakan, Univeritas Padjadjaran
Jl. Hegarmanah, Hegarmanah, Kecamatan Jatinangor, Sumedang 45363, Indonesia

* Email: mega21001@mail.unpad.ac.id

(Submitted: 22-05-2025; Revised: 18-06-2025; Accepted: 23-07-2025)

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan kulit mangga (*Mangifera indica* L.) dalam ransum terhadap kecernaan dan fermentabilitas pakan dalam rumen domba secara *in vitro*. Percobaan dirancang menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan lima perlakuan dan lima ulangan. Perlakuan terdiri dari R0 (60% rumput + 40% konsentrat), R1 (10% kulit mangga + 50% rumput + 40% konsentrat), R2 (20% kulit mangga + 40% rumput + 40% konsentrat), R3 (30% kulit mangga + 30% rumput + 40% konsentrat), dan R4 (40% kulit mangga + 20% rumput + 40% konsentrat). Variabel yang diamati meliputi kecernaan bahan kering dan bahan organik, produksi *volatile fatty acids* (VFA), dan konsentrasi amonia (NH₃). Analisis data menggunakan analisis ragam dan dilanjutkan dengan Uji Duncan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kulit mangga dalam ransum memiliki pengaruh nyata ($P<0,05$) terhadap kecernaan bahan kering dan bahan organik, produksi *volatile fatty acids* (VFA), dan konsentrasi amonia (NH₃). Peningkatan proporsi kulit mangga dalam ransum meningkatkan nilai kecernaan bahan kering dari 54,70% (R0) menjadi 61,66% (R4) dan kecernaan bahan organik dari 67,22% (R0) menjadi 74,29% (R4). Konsentrasi VFA menunjukkan peningkatan signifikan dengan nilai tertinggi pada perlakuan R4 sebesar 187,26 mM, sementara konsentrasi NH₃ menurun namun tetap berada dalam kisaran optimal untuk pertumbuhan mikroba rumen (5,49-8,88 mM). Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kulit manga berpotensi sebagai bahan pakan alternatif yang dapat dimanfaatkan hingga level 40% dalam ransum.

Kata kunci: Fermentabilitas, *in vitro*, kecernaan, kulit mangga

IN VITRO RUMEN DIGESTIBILITY AND FERMENTABILITY OF RATIONS CONTAINING MANGO PEEL

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the effects of mango peel (*Mangifera indica* L.) incorporation in rations on digestibility and fermentability parameters in the sheep rumen using an *in vitro* method. The experiment employed a Completely Randomized Design with five treatments and five replications. Treatment formulations consisted of R0 (60% grass + 40% concentrate), R1 (10% mango peel + 50% grass + 40% concentrate), R2 (20% mango peel + 40% grass + 40% concentrate), R3 (30% mango peel + 30% grass + 40% concentrate), and R4 (40% mango peel + 20% grass + 40% concentrate). Variables observed included dry matter and organic digestibility, volatile fatty acids (VFA) production, and ammonia (NH₃) concentration. Data were analyzed using Analysis of Variance, followed by Duncan's Multiple Range Test for treatments showing significant differences. Results demonstrated that mango peel supplementation had significant effects ($P<0,05$) on all measured parameters. Progressive increases in mango peel proportion systematically improved dry matter digestibility from 54,70% (R0) to 61,66% (R4) and organic matter digestibility from 67,22% (R0) to 74,29% (R4). VFA concentration exhibited significant enhancement with the highest value recorded in treatment R4 at 187,26 mM, while NH₃ concentration decreased but remained within the optimal range for rumen microbial proliferation (5,49-8,88 mM). These findings suggest that mango peel shows considerable potential as an alternative feed ingredient that can be effectively incorporated up to 40% level in ruminant rations.

Key words: Fermentability, *in vitro*, digestibility, mango peel

PENDAHULUAN

Pakan merupakan faktor fundamental dalam sistem produksi ternak, menyumbang biaya terbesar yaitu mencapai 60-70% dari total biaya produksi pada usaha peternakan (Hudori *et al.*, 2022), menjadikan pakan sebagai komponen kritis yang memerlukan inovasi untuk meningkatkan efisiensi produksi peternakan (Van Der Poel *et al.*, 2020). Sehingga diperlukan alternatif dalam penyediaan pakan yang lebih ekonomis namun tetap memenuhi kebutuhan nutrisi ternak (Hotea *et al.*, 2023). Salah satu solusi yang potensial adalah pemanfaatan limbah dari industri agro sebagai bahan pakan (Muwakhid *et al.*, 2024). Pemanfaatan limbah pertanian dan agroindustri tidak hanya berperan dalam menurunkan biaya produksi dalam sektor peternakan, tetapi juga berpotensi meningkatkan kesejahteraan ekonomi peternak (Ayuni & Widodo, 2023). Di samping aspek ekonomis, strategi ini merepresentasikan pendekatan yang ramah lingkungan, berkelanjutan, dan efisien dalam mendukung manajemen limbah organik secara terpadu (Abdullah *et al.*, 2022).

Kulit mangga (*Mangifera indica* L.) termasuk jenis limbah organik hasil samping agroindustri yang memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai sumber pakan alternatif bagi ternak ruminansia (Aung *et al.*, 2024). Sebagai negara beriklim tropis yang mendukung pertumbuhan berbagai jenis tanaman buah, Indonesia memiliki keunggulan dalam hal produksi mangga yang berlimpah. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik tahun 2023, total produksi mangga di Indonesia tercatat mencapai 3.302.620 ton. Peningkatan produksi mangga juga didukung oleh berkembangnya berbagai industri pengolahan mangga, seperti industri pembuatan jus, keripik, selai, manisan maupun pembekuan pangan lainnya, yang menghasilkan limbah kulit mangga. Tingginya angka produksi tersebut secara langsung berdampak pada meningkatnya jumlah limbah yang dihasilkan. Kulit mangga dilaporkan menyumbang sekitar 15-20% dari total berat buah (Serna-Cock *et al.*, 2016).

Kulit mangga mengandung sejumlah nutrisi penting seperti serat kasar, karbohidrat, serta nutrisi lainnya yang berpotensi menunjang performa pencernaan ruminansia, khususnya dalam hal kecernaan bahan kering (Wanapat *et al.*, 2024). Kulit mangga memiliki kandungan protein kasar sebesar 5%, lemak 4,72%, abu 3,24%, serat kasar 15,43%, serta karbohidrat sebesar 63,80%. Selain itu, kulit mangga juga mengandung mineral penting seperti kalsium (60,63 mg/100 g), seng (Zn) sebesar 0,66 mg/100 g, besi (Fe) sebesar 12,79 mg/100 g, dan mangan (Mn) sebesar 4,77 mg/100 g (del Pilar *et al.*, 2019; Romelle *et al.*, 2016). Komponen bioaktif dalam kulit mangga juga menjadi nilai tambah penting. Kulit mangga kaya akan senyawa fitokimia yang diketahui memiliki aktivitas antioksidan. Senyawa flavonoid dan fenolik dalam kulit mangga secara biologis dapat memodulasi populasi mikroba rumen, sehingga dapat meningkatkan

degradasi pakan dalam rumen (Zhan *et al.*, 2017). Pendekatan ini sejalan dengan prinsip zero waste dan mendukung pembangunan peternakan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan (Fadilah, 2023).

Hasil-hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kulit mangga memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan pakan dalam ransum bagi ternak. Salah satu studi yang dilakukan oleh De Evan *et al.* (2022) melaporkan bahwa kambing yang diberi pakan berupa campuran alfalfa hay (40%), konsentrat (40%), dan multivitamin blocks yang mengandung pulp serta kulit mangga (20%) menghasilkan konsentrasi asam lemak terbang yang lebih tinggi dibandingkan dengan ransum kontrol. Selain itu, Ibrahim *et al.* (2020) menyatakan mangga yang diolah dengan direndam dan dijemur dapat diberikan sebagai pakan domba hingga 37,5% sebagai pengganti dedak jagung berpengaruh terhadap peningkatan performa pertumbuhan tanpa mengganggu status kesehatan domba. Penelitian Aung *et al.* (2024) menunjukkan bahwa penambahan silase kulit mangga sebanyak 30% yang dikombinasikan dengan konsentrat dan hijauan diketahui meningkatkan kecernaan bahan kering hingga 70,36% dan bahan organik 72,08% dibandingkan dengan ransum kontrol pada pedet sapi perah.

Fermentabilitas dan kecernaan merupakan dua indikator utama yang berperan penting dalam mengevaluasi kualitas pakan dalam sistem pencernaan hewan ruminansia (Maluyu *et al.*, 2019). Fermentabilitas mencerminkan kemampuan mikroba rumen untuk menguraikan komponen pakan secara efisien, sehingga menghasilkan produk fermentasi seperti asam lemak terbang dan amonia (Ge *et al.*, 2023). Kecernaan yang baik menunjukkan bahwa nutrisi yang berada dalam pakan dapat didegradasi dan diserap secara optimal oleh sistem pencernaan hewan ternak, sehingga mendukung pertumbuhan dan produktivitasnya (Fitriani *et al.*, 2020). Analisis terhadap kecernaan dan fermentabilitas *in vitro* suatu bahan pakan menjadi langkah dasar dalam upaya meningkatkan efisiensi pakan, khususnya pada ternak ruminansia. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan kulit mangga (*Mangifera indica* L.) dalam ransum terhadap tingkat kecernaan dan fermentabilitas di dalam rumen domba secara *in vitro*.

BAHAN DAN METODE

Materi

Penelitian *in vitro* dilaksanakan di Laboratorium Nutrisi Ternak Ruminansia dan Kimia Makanan Ternak, Fakultas Peternakan, Universitas Padjadjaran yang berlokasi di Jatinangor, Kabupaten Sumedang, dan berlangsung pada November 2024 sampai Januari 2025. Rumput gajah Taiwan dan konsentrat digunakan sebagai ransum basal. Kulit mangga kemudian ditambahkan sebagai pakan perlakuan. Komponen konsentrat terdiri dari bahan

pakan sumber energi dan protein, yaitu onggok, dedak padi, ampas tahu, bungkil inti sawit, bungkil kelapa, serta bungkil kedelai. Seluruh bahan baku konsentrat diperoleh dari toko pakan ternak dan pemasok bahan pakan yang berlokasi di wilayah Jatinangor, Bandung, dan sekitarnya. Formulasi ransum dilakukan secara sistematis dengan menggunakan perangkat lunak WinFeed 2.8. Sementara itu, hijauan yang digunakan dalam ransum adalah rumput gajah Taiwan, yang diperoleh dari lahan kebun kandang sapi perah milik UKM KSPTP Universitas Padjadjaran. Hijauan dengan konsentrat digunakan sebagai ransum basal dalam penelitian dengan rasio 60:40. Kulit buah mangga

diperoleh dari tempat produksi Frozen Fruit di wilayah Kabupaten Bandung. Komposisi zat makanan dari setiap bahan pakan yang digunakan dalam penyusunan ransum disajikan pada Tabel 1.

Peralatan penelitian yang digunakan meliputi mesin *grinder*, timbangan analitik, kain muslin, corong plastik, beaker glass, *magnetic stirrer*, tabung gas CO₂, tabung fermentor, *waterbath*, termometer, alat sentrifuge, kertas saring Whatman 41, cawan aluminium, oven listrik, tang penjepit, cawan porselen, tanur listrik, eksikator, alat destilasi Markham, kondensor, satu set alat titrasi, cawan Conway, erlenmeyer, dan buret.

Tabel 1. Komposisi nutrisi bahan pakan penyusun ransum dalam bahan kering

Bahan Pakan	Komposisi Nutrien					
	Kadar Air	Abu	Protein Kasar	Lemak Kasar	Serat Kasar	BETN
	%					
Onggok	9,70	3,40	2,26	0,45	13,55	70,66
Dedak padi	8,31	11,26	15,23	9,09	10,98	45,14
Ampas tahu	5,62	3,31	20,53	2,59	14,38	53,58
Bungkil inti sawit	7,29	5,42	11,88	9,84	18,00	47,58
Bungkil kelapa	8,49	8,25	24,36	1,37	6,37	51,18
Bungkil kedelai	8,18	7,72	47,08	1,18	2,45	33,41
Rumput gajah Taiwan	6,98	17,30	13,24	1,57	27,12	33,80
Konsentrat	8,18	6,41	16,99	4,38	11,89	52,15
Kulit mangga	8,41	6,43	5,94	2,19	11,75	65,30

Hasil Analisis Pusat Bioteknologi (*Biotech Center*) Institut Pertanian Bogor (2024)

Desain dan Prosedur

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan menerapkan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Terdapat lima perlakuan, yaitu terdiri atas R0 (60% rumput + 40% konsentrat); R1 (10% kulit mangga + 50% rumput + 40% konsentrat); R2 (20% kulit mangga + 40% rumput + 40% konsentrat); R3 (30% kulit mangga + 30% rumput + 40% konsentrat); R4 (40% kulit mangga + 20% rumput + 40% konsentrat). Setiap kombinasi perlakuan tersebut diulang sebanyak lima kali ulangan. Formulasi masing-masing ransum perlakuan dan kandungan nutriennya secara berturut-turut disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Formulasi ransum perlakuan berdasarkan bahan kering

Bahan Pakan	Formulasi ransum menurut perlakuan (%)				
	R0	R1	R2	R3	R4
Rumput Gajah Taiwan	60	50	40	30	20
Kulit Mangga	0	10	20	30	40
Konsentrat	40	40	40	40	40

R0 (60% rumput + 40% konsentrat); R1 (10% kulit mangga + 50% rumput + 40% konsentrat); R2 (20% kulit mangga + 40% rumput + 40% konsentrat); R3 (30% kulit mangga + 30% rumput + 40% konsentrat); R4 (40% kulit mangga + 20% rumput + 40% konsentrat)

Tabel 3. Komposisi nutrisi ransum perlakuan berdasarkan bahan kering

Kandungan Nutrien	Formulasi ransum menurut perlakuan (%)				
	R0	R1	R2	R3	R4
Bahan Kering	92,54	92,40	92,26	92,11	91,97
Abu	12,01	10,99	9,97	8,95	7,93
Protein Kasar	13,63	12,94	12,26	11,57	10,88
Lemak Kasar	2,49	2,54	2,59	2,65	2,70
Serat Kasar	19,50	18,06	16,61	15,16	13,72

Hasil perhitungan menggunakan software WinFeed 2.8. R0 (60% rumput + 40% konsentrat); R1 (10% kulit mangga + 50% rumput + 40% konsentrat); R2 (20% kulit mangga + 40% rumput + 40% konsentrat); R3 (30% kulit mangga + 30% rumput + 40% konsentrat); R4 (40% kulit mangga + 20% rumput + 40% konsentrat)

Tahapan pelaksanaan penelitian meliputi persiapan sampel, persiapan cairan rumen, penyediaan saliva buatan, serta inkubasi *in vitro*.

1) Tahap Persiapan Sampel

Kulit mangga dan rumput dikeringkan melalui penjemuran di bawah sinar matahari untuk menurunkan kadar air. Kulit mangga dan rumput yang telah kering digiling menggunakan mesin *grinder*

dengan ukuran partikel 50–300 mesh dan kecepatan 2800 rpm. Selanjutnya, bahan pakan penyusun konsentrat yang terdiri atas onggok, dedak padi, bungkil inti sawit, ampas tahu, bungkil kelapa, dan bungkil kedelai ditimbang berdasarkan formulasi ransum yang telah disusun sebelumnya menggunakan perangkat lunak WinFeed 2.8. Bahan-bahan tersebut kemudian dicampurkan hingga homogen sebelum digunakan dalam penyusunan ransum penelitian.

2) Tahap persiapan cairan rumen

Tahap awal dalam proses persiapan cairan rumen dimulai dengan persiapan wadah berupa termos yang sebelumnya telah diisi dengan air bersih yang memiliki suhu berkisar antara 38–40°C. Cairan rumen yang digunakan diperoleh dari tiga ekor domba dari tempat pemotongan hewan. Air dalam termos terlebih dahulu dibuang dan digantikan dengan cairan rumen. Cairan tersebut kemudian disaring dan dimasukkan ke dalam termos menggunakan kain muslin dan corong plastik untuk memisahkan partikel kasar. Setelah cairan rumen dimasukkan ke dalam termos, wadah ditutup rapat guna menjaga kondisi anaerob yang diperlukan untuk mempertahankan aktivitas mikroba rumen. Cairan rumen ini selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk digunakan sebagai media dalam proses fermentasi secara *in vitro*.

3) Tahap penyediaan saliva buatan

Pembuatan saliva buatan mengacu pada larutan McDougall dengan menimbang bahan kimia sesuai takaran yang telah ditetapkan. Seluruh bahan kimia dimasukkan ke dalam beaker glass berkapasitas 1000 ml, kemudian ditambahkan aquadest hingga mencapai volume akhir 1000 ml. Campuran tersebut diaduk hingga homogen menggunakan alat magnetic stirrer.

4) Tahap inkubasi *in vitro*

Seluruh peralatan yang digunakan dalam proses fermentasi *in vitro* terlebih dahulu disiapkan dan disterilisasi. Tabung-tabung fermentor diberi label sesuai dengan perlakuan yang akan diterapkan. Selanjutnya, sampel ditimbang sebanyak 0,5 gram dan dimasukkan ke dalam masing-masing tabung fermentor. Setelah itu, ke dalam setiap tabung ditambahkan cairan rumen domba sebanyak 10 ml dan larutan buffer McDougall sebanyak 40 ml, yang sebelumnya telah disesuaikan suhunya hingga mencapai 39°C menyerupai suhu internal rumen. Gas karbon dioksida (CO₂) dialirkan ke dalam tabung fermentor hingga seluruh rongga tabung terisi. Setelah itu, tabung fermentor ditutup rapat menggunakan karet penutup berventil. Tabung blanko disiapkan dengan prosedur yang sama, namun tanpa penambahan sampel ke dalam tabung. Semua tabung fermentor yang telah berisi campuran cairan rumen, sampel, dan larutan buffer kemudian disusun secara teratur pada rak khusus dan dimasukkan ke dalam alat waterbath, yang suhu airnya diatur stabil pada kisaran 39–40°C. Tabung fermentor dibiarkan selama tiga jam pertama, kemudian dilakukan pengocokan. Selanjutnya,

pengocokan dilakukan secara berkala setiap tiga jam sekali selama 48 jam. Setelah proses inkubasi selesai, sebanyak tiga tetes larutan HgCl₂ jenuh ditambahkan ke dalam masing-masing tabung fermentor untuk menghentikan aktivitas mikroba. Selanjutnya, sampel dalam tabung disentrifugasi pada kecepatan 4000 rpm selama 10 menit. Proses ini bertujuan untuk memisahkan antara cairan supernatan dan material residu padat. Supernatan yang diperoleh kemudian digunakan untuk analisis kimia lebih lanjut, yaitu penentuan konsentrasi asam lemak volatil (VFA) dan kadar amonia (NH₃). Residu yang telah terpisah dari supernatan dimasukkan kembali ke dalam tabung fermentor. Selanjutnya, sebanyak 50 ml larutan pepsin ditambahkan ke dalam tabung, kemudian tabung ditutup menggunakan penutup berventil untuk menjaga sirkulasi udara. Proses inkubasi dilakukan secara aerob selama 48 jam, dengan pengocokan secara kontinu setiap enam jam sekali.

Peubah yang Diamati

Kecernaan bahan kering dan bahan organik serta pengukuran produksi *volatile fatty acids* (VFA) dan konsentrasi amonia (NH₃) merupakan peubah yang diamati dalam penelitian ini.

1. Kecernaan bahan kering

Sampel hasil inkubasi disaring menggunakan kertas saring Whatman 41 yang sebelumnya telah ditimbang untuk mengetahui beratnya. Kertas saring yang berisi sampel dipindahkan ke dalam cawan aluminium dengan bobot yang telah diketahui untuk proses pengovenan. Selanjutnya, kertas saring yang telah berisi residu dikeringkan di dalam oven dengan suhu 60°C selama 48 jam untuk menghilangkan kadar air. Setelah selesai, kertas saring dan cawan aluminium dikeluarkan dari oven dan dimasukkan ke eksikator selama kurang lebih 15 menit kemudian ditimbang dengan tujuan untuk mengetahui berat akhir bahan kering. Nilai kecernaan bahan kering dihitung menggunakan dengan rumus:

$$KcBK = \frac{\text{Berat BK Sampel (gram)} - (\text{BK Residu} - \text{BK Blanko})(\text{gram})}{\text{Berat BK Sampel (gram)}} \times 100\%$$

2. Kecernaan bahan organik

Kertas saring yang berisi residu dimasukkan ke dalam cawan porselen, yang telah diketahui berat awal sebelumnya. Proses berikutnya adalah tahap pengabuan, yaitu membakar residu tersebut di dalam tanur dengan suhu 600°C selama enam jam untuk menghilangkan komponen organik. Setelah pengabuan selesai, cawan porselen yang telah berisi abu didinginkan ke dalam eksikator selama 30 menit, lalu ditimbang untuk mengetahui berat bahan organik dari sampel. Nilai kecernaan bahan organik dapat dihitung menggunakan rumus di bawah ini:

$$KcBO (\%) = \frac{\text{Berat BO Sampel (gram)} - (\text{BO Residu} - \text{BO Blanko})(\text{gram})}{(\text{Berat BO Sampel (gram)})} \times 100\%$$

3. Pengukuran VFA

Pengukuran total VFA dilakukan menggunakan teknik destilasi uap berdasarkan metode Markham (1998). Sebanyak 10 ml larutan NaOH 0,5 N dimasukkan ke dalam Erlenmeyer, kemudian Erlenmeyer tersebut dipasang di bawah kondensor. Supernatan sebanyak 5 ml dan 1 ml H₂SO₄ dimasukkan ke dalam labu destilasi Markham, lalu ditutup dan dialiri uap panas dari alat yang telah disiapkan. Proses destilasi dianggap selesai apabila kondensat yang terkumpul di Erlenmeyer mencapai volume 200 ml. Selanjutnya, ditambahkan tiga tetes indikator fenolftalein ke dalam kondensat, kemudian dilakukan titrasi dengan menggunakan larutan asam klorida (HCl) 0,5 N hingga terjadi perubahan warna dari merah muda menjadi bening. Konsentrasi total VFA kemudian dihitung menggunakan rumus:

$$\text{VFA total (mM)} = \frac{(a-b) \times N \text{ HCl} \times 1000}{5}$$

Keterangan:

a : volume titran blanko pereaksi (H₂SO₄ dan NaOH, tanpa sampel)

b : volume titran sampel

N : normalitas larutan

4. Pengukuran NH₃

Pengukuran konsentrasi amonia (NH₃) dalam sampel dilakukan menggunakan metode cawan Conway (1950). Cawan Conway beserta tutupnya diolesi pada bagian tepinya menggunakan vaseline terlebih dahulu untuk memastikan kondisi kedap udara. Sebanyak 1 ml larutan asam borax yang telah ditetesi indikator metyl red dan brom kresol green ditambahkan ke bagian tengah cawan menggunakan pipet. Selanjutnya, 1 ml supernatan hasil fermentasi dimasukkan ke salah satu sisi ruang sekat dan larutan NaOH jenuh sebanyak 1 ml dimasukkan ke sisi lainnya. Setelah itu, cawan ditutup rapat kemudian digoyangkan secara perlahan agar supernatan dan NaOH jenuh tercampur secara merata. Cawan yang

telah tertutup kemudian dibiarkan selama 24 jam agar seluruh amonia dalam sampel dapat bereaksi dan terikat oleh asam borat berindikator. Setelah inkubasi, dilakukan titrasi menggunakan larutan asam sulfat 0,005 N. titrasi dilakukan hingga terjadi perubahan warna larutan dari hitam ke merah muda. Selanjutnya, konsentrasi amonia (NH₃) selanjutnya dihitung menggunakan rumus:

$$\text{NH}_3 \text{ (mM)} = V \text{ H}_2\text{SO}_4 \times N \text{ H}_2\text{SO}_4 \times 1000$$

Keterangan:

V H₂SO₄ : volume H₂SO₄ yang terpakai untuk titrasi (ml)

N H₂SO₄ : normalitas H₂SO₄ (0,005 %)

Analisis Statistik

Data hasil penelitian diuji dengan metode analisis ragam untuk mengetahui pengaruh perbedaan perlakuan terhadap setiap variabel pengamatan. Apabila hasil uji menunjukkan adanya pengaruh yang nyata (P<0,05), maka analisis dilanjutkan dengan Uji Duncan (*Duncan's Multiple Range Test*). Pengolahan dan analisis data menggunakan perangkat lunak IBM SPSS Statistics.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan secara statistik penambahan kulit mangga (*Mangifera indica* L.) dalam komposisi ransum memberikan pengaruh signifikan terhadap variabel pencernaan dan fermentabilitas rumen secara *in vitro*. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata (P<0,05) pada nilai pencernaan bahan kering (KcBK) dan pencernaan bahan organik (KcBO). Selain itu, perlakuan ini juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap konsentrasi total asam lemak terbang (*volatile fatty acids* atau VFA) serta kandungan amonia (NH₃) (Tabel 4).

Tabel 4. Rataan hasil uji pencernaan dan fermentabilitas *in vitro*

Peubah	Perlakuan				
	R0	R1	R2	R3	R4
			%		
KcBK (%)	54.70 ± 1.12 ^a	56.61 ± 0.79 ^b	58.59 ± 0.81 ^c	59.92 ± 0.98 ^d	61.66 ± 0.63 ^c
KcBO(%)	67.22 ± 2.09 ^a	69.69 ± 1.10 ^{ab}	71.66 ± 1.48 ^{bc}	73.65 ± 1.54 ^c	74.29 ± 2.91 ^c
VFA (mM)	123.71 ± 3.76 ^{ab}	117.34 ± 11.68 ^a	137.23 ± 10.60 ^b	158.50 ± 13.33 ^c	187.26 ± 14.14 ^d
NH ₃ (mM)	8.02 ± 1.06 ^b	8.88 ± 0.81 ^b	8.10 ± 0.86 ^b	6.52 ± 0.61 ^a	5.49 ± 0.78 ^a

^{abcd}Superskrip berbeda pada baris yang sama menunjukkan terdapat pengaruh perbedaan perlakuan yang signifikan (P<0,05). R0 = 60% rumput + 40% konsentrat; R1 = 10% kulit mangga + 50% rumput + 40% konsentrat; R2 = 20% kulit mangga + 40% rumput + 40% konsentrat; R3 = 30% kulit mangga + 30% rumput + 40% konsentrat; R4 = 40% kulit mangga + 20% rumput + 40% konsentrat

Kecernaan Bahan Kering dan Bahan Organik

Berdasarkan hasil analisis ragam, diketahui bahwa penambahan kulit mangga dalam formulasi ransum memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan nilai pencernaan, baik untuk

bahan kering (KcBK) maupun bahan organik (KcBO) dalam kondisi fermentasi *in vitro*. Perlakuan R4 yaitu ransum dengan komposisi 40% kulit mangga, 20% rumput, dan 40% konsentrat, menghasilkan nilai pencernaan tertinggi, dengan KcBK mencapai 61,66%

dan KcBO sebesar 74,29%. Sebaliknya, perlakuan R0, yang terdiri dari 60% rumput dan 40% konsentrat tanpa penambahan kulit mangga, menunjukkan nilai kecernaan terendah, masing-masing sebesar 54,70% untuk KcBK dan 67,22% untuk KcBO (Tabel 4).

Hasil penelitian memperlihatkan adanya peningkatan nilai kecernaan seiring dengan peningkatan proporsi kulit mangga dalam ransum. Kondisi ini menunjukkan ransum yang mengandung campuran kulit mangga dalam berbagai proporsi memiliki karakteristik yang memungkinkan degradasi oleh mikroorganisme rumen secara lebih efisien. Keberadaan kulit mangga dalam ransum mampu meningkatkan ketersediaan substrat yang mudah difermentasi, sehingga proses pencernaan oleh mikroba rumen dapat berlangsung lebih optimal (Zentek *et al.*, 2025). Penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Sánchez-Santillán *et al.* (2020), yang melaporkan bahwa pemanfaatan mangga dalam formulasi pakan berkontribusi positif terhadap peningkatan kecernaan, baik terhadap bahan kering maupun bahan organik. Hasil tersebut memperkuat dugaan bahwa senyawa bioaktif dan komponen nutrisi yang terkandung dalam mangga mampu mendukung proses degradasi pakan di dalam sistem pencernaan ruminansia, sehingga menghasilkan efisiensi pemanfaatan nutrisi.

Peningkatan kecernaan dapat dipengaruhi oleh kandungan glukosa dan karbohidrat yang mudah dicerna dalam kulit mangga. Kulit mangga mengandung karbohidrat non-serat (NFC) yang tinggi, yang dapat dengan cepat difermentasi oleh mikroba dalam rumen, sehingga dapat meningkatkan kecernaan bahan organik (De Evan *et al.*, 2022). Selain itu, kandungan serat dalam kulit mangga yang dapat difermentasi oleh mikroorganisme rumen, serta adanya senyawa bioaktif seperti flavonoid dan polifenol yang dapat meningkatkan aktivitas mikroba rumen (Serna Cock *et al.*, 2015).

Volatile Fatty Acids (VFA)

Volatile Fatty Acids (VFA) atau Asam lemak terbang merupakan hasil utama dari proses fermentasi mikroba yang berlangsung dalam rumen, terutama sebagai produk dari degradasi karbohidrat, baik yang bersifat struktural (seperti selulosa dan hemiselulosa) maupun non-struktural (seperti pati dan gula). Konsentrasi VFA dalam rumen dapat dijadikan indikator penting untuk menilai tingkat aktivitas fermentatif oleh mikroorganisme rumen, karena VFA berperan sebagai salah satu sumber energi utama bagi hewan ruminansia (Yasin *et al.*, 2021). Secara umum, VFA terdiri dari tiga jenis utama, yaitu asam asetat, asam propionat, dan asam butirat, yang masing-masing memiliki peran fisiologis dalam mendukung metabolisme energi, pertumbuhan, serta produktivitas ternak (Armeyanti *et al.*, 2024). Di samping itu, produksi dan proporsi VFA juga memiliki pengaruh langsung terhadap keseimbangan pH rumen yang akan

memengaruhi efisiensi proses fermentasi dan stabilitas lingkungan mikroba di dalam rumen (Liang *et al.*, 2022).

Hasil analisis ragam menunjukkan penambahan kulit mangga dalam formulasi ransum memberikan pengaruh signifikan ($P < 0,05$) terhadap peningkatan konsentrasi asam lemak terbang (VFA) dalam rumen secara *in vitro*. Konsentrasi VFA tertinggi dihasilkan oleh perlakuan R4 (ransum dengan komposisi 40% kulit mangga, 20% rumput, dan 40% konsentrat) sebesar 187,26 mM dan konsentrasi terendah pada perlakuan R1 (10% kulit mangga + 50% rumput + 40% konsentrat) sebesar 117,34 mM. Peningkatan ini menunjukkan bahwa kulit mangga dapat meningkatkan aktivitas fermentasi mikroba rumen, yang menghasilkan lebih banyak VFA. Hal ini sejalan dengan penelitian (Anim-Jnr *et al.*, 2025), yang menemukan bahwa penambahan kulit mangga dalam ransum meningkatkan produksi VFA karena kandungan serat dan karbohidrat yang mudah difermentasi dalam kulit mangga. Limbah buah-buahan termasuk kulit mangga kaya akan pektin dan gula sederhana yang cepat difermentasi menjadi VFA dalam rumen. Selain itu, kulit mangga mengandung senyawa bioaktif seperti polifenol, yang dapat merangsang pertumbuhan mikroba rumen dan meningkatkan efisiensi fermentasi (Serna Cock *et al.*, 2015).

Jumlah produksi asam lemak terbang (VFA) mencerminkan sejauh mana suatu bahan pakan dapat didegradasi oleh mikroorganisme yang ada di dalam rumen (Robles-Rodríguez *et al.*, 2022; Safitri *et al.*, 2021). Menurut pendapat Farda *et al.* (2024), konsentrasi total VFA yang ideal untuk mendukung pertumbuhan mikroba rumen secara optimal berada dalam rentang 80 hingga 160 mM. Pada studi ini, nilai konsentrasi VFA total yang berhasil diperoleh berkisar antara 117,34 hingga 187,26 mM. Nilai konsentrasi VFA Total yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi rumen berada dalam kisaran optimal untuk pertumbuhan mikroba. Hal ini mengindikasikan bahwa pakan yang diberikan dapat difermentasi dengan baik oleh mikroba rumen, menghasilkan produk fermentasi yang cukup untuk aktivitas mikroba dan metabolisme hewan ternak.

Amonia (NH₃)

Amonia (NH₃) merupakan senyawa nitrogen yang dihasilkan dari degradasi protein oleh mikroorganisme rumen. NH₃ berperan penting dalam sintesis protein mikroba, yang selanjutnya akan digunakan oleh ruminansia sebagai sumber protein (Zurak *et al.*, 2023). Kadar amonia (NH₃) yang terkandung dalam rumen perlu berada dalam rentang konsentrasi yang optimal agar dapat menunjang pertumbuhan mikroba rumen secara maksimal serta meningkatkan efisiensi proses fermentasi yang berlangsung di dalamnya. Keseimbangan konsentrasi NH₃ ini sangat penting karena berperan sebagai

sumber nitrogen yang diperlukan mikroorganisme rumen untuk sintesis protein mikroba, yang pada akhirnya akan mempengaruhi ketersediaan nutrisi bagi ternak ruminansia. Jika konsentrasi NH_3 terlalu rendah, sintesis protein mikroba akan terhambat, sedangkan jika terlalu tinggi, dapat menyebabkan toksisitas dan inefisiensi penggunaan nitrogen (Van Soest, 1994).

Hasil analisis ragam menunjukkan penambahan kulit mangga dalam formulasi ransum berpengaruh signifikan ($P < 0,05$) terhadap konsentrasi amonia (NH_3) dalam cairan rumen. Konsentrasi NH_3 menunjukkan perbedaan yang signifikan antara perlakuan R0 hingga R4. Pada perlakuan R0, konsentrasi NH_3 adalah 8,02 mM, sedangkan pada perlakuan R4, konsentrasi NH_3 menurun menjadi 5,49 mM (Tabel 4). Penurunan ini menunjukkan bahwa penambahan kulit mangga dalam ransum dapat mengurangi produksi NH_3 dalam rumen. Salah satu faktor yang kemungkinan besar berkontribusi terhadap fenomena ini adalah adanya senyawa tanin yang terkandung dalam kulit mangga yang dapat mengikat protein dan mengurangi degradasinya, sehingga produksi NH_3 menjadi lebih rendah (Hidayah., 2016).

Hasil penelitian ini sedikit berbeda dengan hasil penelitian oleh Cañaveral-Martínez *et al.* (2023) yang meneliti penggunaan silase limbah mangga dalam pakan sapi dan menemukan bahwa penambahan limbah mangga dalam ransum tidak secara signifikan mempengaruhi konsentrasi NH_3 dalam rumen, meskipun terjadi penurunan produksi biogas dan metana. Hal ini menunjukkan bahwa limbah mangga dapat memodifikasi fermentasi rumen tanpa mengganggu ketersediaan NH_3 untuk sintesis protein mikroba. Selain itu, penelitian oleh Marcos *et al.* (2020) juga menunjukkan bahwa penggunaan limbah buah seperti mangga dalam ransum ruminansia dapat mempengaruhi profil fermentasi rumen, termasuk produksi NH_3 , tanpa menyebabkan defisiensi nitrogen.

Penurunan NH_3 menunjukkan bahwa mikroba rumen lebih banyak mengikat nitrogen untuk sintesis protein mikroba ketika fermentasi meningkat. Ranja *et al.* (2021) menyatakan bahwa kisaran produksi NH_3 yang baik untuk kehidupan mikroba rumen adalah 4-12 mM. Secara umum, semua ransum perlakuan menghasilkan NH_3 dalam kadar normal, yaitu pada kisaran 5,49-8,88 mM. Dengan demikian, kadar amonia (NH_3) yang dihasilkan dari masing-masing perlakuan ransum menunjukkan bahwa kondisi lingkungan rumen masih berada dalam kisaran yang mendukung secara optimal bagi kelangsungan hidup, pertumbuhan, serta aktivitas metabolik mikroorganisme rumen.

SIMPULAN DAN REKOMENDASI

Penambahan kulit mangga (*Mangifera indica* L.) dalam formulasi ransum berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kualitas pencernaan dan fermentabilitas pakan dalam sistem rumen domba

secara *in vitro*. Perlakuan R4 (40% kulit mangga, 20% rumput, dan 40% konsentrat) menghasilkan nilai tertinggi untuk pencernaan bahan kering (KcBK), yakni sebesar 61,66%, serta pencernaan bahan organik (KcBO) sebesar 74,29%, meningkatkan konsentrasi *volatile fatty acids* (VFA) total sebesar 187,26 mM dibandingkan dengan perlakuan lainnya, sementara konsentrasi amonia (NH_3) menurun namun tetap berada dalam kisaran optimal (5,49-8,88 mM).

Kulit mangga berpotensi sebagai bahan pakan alternatif yang dapat dimanfaatkan hingga level 40% dalam ransum ternak ruminansia.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, N., Al-Wesabi, O. A., Mohammed, B. A., Al-Mekhlafi, Z. G., Alazmi, M., Alsaffar, M., ... & Sumari, P. (2022). Integrated approach to achieve a sustainable organic waste management system in Saudi Arabia. *Foods*, 11(9), 1214. <https://doi.org/10.3390/foods11091214>.
- Anim-Jnr, A.S., Ishaq, S.B.Y., Sasu, S., Gyimah, S., Greathead, H.M.R., Boesch, C., Mabiki, F.P., & Emmambux, M.N. (2025). Valorising mango, cashew apple, and papaya by-products for sustainable small ruminant production in low-income food deficit countries—a review. *Front. Sustain. Food Syst.*, 9, 2025. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1529837>.
- Armuyanti, A. K., Luthfi, N., Nuraliah, S., Faradila, S., Khaeruddin., Prima, A., Suryani, H. F., Wati, N. E., Ibrahim., Indah, A. S., Ali, N., Susanti, I., & Utami, R. N. (2024). *Nutrisi Ternak Dasar (Dinamika Teori dan Perkembangannya)*. Jambi: PT. Sopedia Publishing Indonesia.
- Aung, K. T., Win, K. S., Mu, K. S., Aung, M., & Kyawt, Y. Y. (2024). A diet containing mango peel silage impacts upon feed intake, energy supply and growth performances of male dairy calves. *Animal-Open Space*, 3, 100069. <https://doi.org/10.1016/j.anopes.2024.100069>.
- Ayuni, D., & Widodo, S. (2023). Potensi limbah pertanian dan agroindustri sebagai sumber pakan ternak dalam pengembangan ternak sapi di Desa Jambu, Kecamatan Lenteng, Kabupaten Sumenep. *Sigmagri*, 3(1), 1-12. <http://doi.org/10.32764/sigmagri.v3i01.900>.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Produksi Tanaman Buah-Buahan, 2021-2023*. Jakarta, Indonesia: BPS.
- Cañaveral-Martínez, U. R., Sánchez-Santillán, P., Torres-Salado, N., Hernández-Sánchez, D., Herrera-Pérez, J., & Ayala-Monter, M. A. (2023). Effect of waste mango silage on the *in vitro* gas production, *in situ* digestibility, intake, apparent digestibility, and ruminal characteristics in calf diets. *Veterinary World*,

- 16(3), 421. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2023.421-430>.
- De Evan, T., Carro, M. D., Fernández Yepes, J. E., Haro, A., Arbesú, L., Romero-Huelva, M., & Molina-Alcaide, E. (2022). Feeding mango wastes to dairy goats: Effects on diet digestibility, ruminal fermentation, and milk yield and composition. *Animal Feed Science and Technology*, 286, 115252. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115252>.
- del Pilar Sanchez-Camargo, A., Gutierrez, L. F., Vargas, S. M., Martinez-Correa, H. A., Parada-Alfonso, F., & Narvaez-Cuenca, C. E. (2019). Valorisation of mango peel: Proximate composition, supercritical fluid extraction of carotenoids, and application as an antioxidant additive for an edible oil. *The Journal of Supercritical Fluids*, 152, 104574. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104574>.
- Fadilah, A. N. (2023). Diversifikasi pengolahan buah mangga dengan konsep zero waste (minuman serbuk kulit mangga). *Agri Wiralodra*, 15(2), 84-90. <https://doi.org/10.31943/agriwiralodra.v15i2.77>.
- Farda, F.T., Salsabilla, N.S., Erwanto, Liman, Sirat, M.M.P., & Muhtarudin. (2024). Kadar VFA dan NH3 dalam cairan rumen kambing rambon jantan dengan penambahan tepung bungkil kedelai, zinc dan chromium dalam ransum. *Wahana Peternakan*, 8(3), 509–519. <https://doi.org/10.37090/jwputb.v8i3.1877>.
- Fitriani, T., Fauziah, W., Tarmidi, A. R., & Hernaman, I. (2020). Campuran ongkok yang diperkaya sari pepaya (*Carica papaya L*) berpotensi baik sebagai ransum ternak ruminansia. *Jurnal Veteriner*, 21(3), 408-414. <https://doi.org/10.19087/jveteriner.2020.21.3.408>.
- Ge, T., Yang, C., Li, B., Huang, X., Zhao, L., Zhang, X., ... & Zhang, E. (2023). High-energy diet modify rumen microbial composition and microbial energy metabolism pattern in fattening sheep. *BMC Veterinary Research*, 19(1), 32. <https://doi.org/10.1186/s12917-023-03592-6>.
- Hidayah, N. (2016). Pemanfaatan senyawa metabolit sekunder tanaman (tanin dan saponin) dalam mengurangi emisi metan ternak ruminansia. *Jurnal Sain Peternakan Indonesia*, 11(2), 89-98. <https://doi.org/10.31186/jspi.id.11.2.89-98>.
- Hotea, I., Dragomirescu, M., Berbecea, A., & Radulov, I. (2023). *The role of nutrition in enhancing sustainability in sheep production*. In book: Sheep Farming - Sustainability From Traditional to Precision Production. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.113938>.
- Hudori, H. A., Perlambang, R., Chairina, R. R. L., Sutantio, R. A., & Lestari, D. (2022). Manajemen pakan ternak domba untuk meningkatkan efisiensi usaha di peternakan domba Sumber Sari Kabupaten Jember. *Jurnal Agrimas*, 1(2), 42-46. <https://doi.org/10.25047/agrimas.v1i2.10>.
- Ibrahim, T.A., Jamilu, M., Ogboola, L.O., Abdu, S.B., Hasaan, M.R., & Kailani, A.I. (2020). Growth performance of Yankasa sheep fed increasing levels of processed mango (*Mangifera indica*) fruits replacing maize bran. *Livestock Research for Rural Development* 32 (9). 144. <http://www.lrrd.org/lrrd32/9/taibr32144.html>.
- Liang, J., Fang, W., Chang, J., Zhang, G., Ma, W., Nabi, M., Zubair, M., Zhang, R., Chen, L., Huang, J., & Zhang, P. (2022). Long-term rumen microorganism fermentation of corn stover in vitro for volatile fatty acid production. *Bioresource Technology*, 358, 127447. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127447>.
- Maluyu, 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), 95-102. <http://dx.doi.org/10.20884/1.jap.2018.20.2.706>.
- Marcos, C. N., Carro, M. D., Fernández-Yepes, J. E., Arbesu, L., & Molina-Alcaide, E. (2020). Utilization of avocado and mango fruit wastes in multi-nutrient blocks for goats feeding: In vitro evaluation. *Animals*, 10(12), 2279. <https://doi.org/10.3390/ani10122279>.
- Muwakhid, B., Kalsum, U., Ali, U., & Maskur, C. A. (2024). Literatur Review: Limbah Agroindustri Sebagai Sumber Pakan Alternatif untuk Peningkatan Produksi Daging Domba. *Indonesian Research Journal on Education*, 4(3), 183-187. <https://doi.org/10.31004/irje.v4i3.761>.
- Ranja, E.P., Sudarma, M.A., & Hambakodu, M. (2021). Nilai VFA dan NH3 rumput alam padang penggembalaan Kecamatan Haharu Kabupaten Sumba Timur. *Jurnal Ilmu Peternakan Terapan*, 5 (1), 8-12. <https://doi.org/10.25047/jipt.v5i1.2588>.
- Robles-Rodríguez, C., González-Dávalos, L., Domínguez-Hernández, Y., Shimadab, A., & Mora, E.P.O. (2022). Effect of alpha-lipoic acid on productive parameters and ruminal vfa profile in sheep. *Asian Research Journal of Agriculture*, 15(3), 9-18. <https://doi.org/10.9734/arja/2022/v15i330157>.
- Romelle, F. D., Rani, A., & Manohar, R. S. (2016). Chemical composition of some selected fruit peels. *European Journal of Food Science and Technology*, 4(4), 12-21. <https://ejournals.org/ejfst/vol-4-issue-4-september-2016/chemical-composition-selected-fruit-peels/>.
- Safitri, A. D., Suhartati, F. M., & Rimbawanto, E. A. (2021). Concentration of VFA and NH₃ liquid of sheep ruminants floured with in vitro leaves

- and palm oil. *ANGON: Journal of Animal Science and Technology*, 3(2), 149-155. <https://jnp.fapet.unsoed.ac.id/index.php/angon/article/view/1364>.
- Sánchez-Santillán, P., Herrera-Pérez, J., Torres-Salado, N., Almaraz-Buendía, I., Reyes-Vázquez, I., Rojas-García, A. R., & Magadan-Olmedo, F. (2020). Chemical composition, and in vitro fermentation of ripe mango silage with molasses. *Agroforestry Systems*, 94(1), 1511-1519. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-019-00442-z>.
- Serna-Cock, L., García-Gonzales, E., & Torres-León, C. (2015). Agro-Industrial potential of the mango peel based on its nutritional and functional properties. *Food Reviews International*, 32(4), 364-376. <https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1094815>.
- Van Der Poel, A. V., Abdollahi, M. R., Cheng, H., Colovic, R., Den Hartog, L. A., Miladinovic, D., ... & Hendriks, W. H. (2020). Future directions of animal feed technology research to meet the challenges of a changing world. *Animal feed science and technology*, 270, 114692. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114692>.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant (2nd ed.)*. Cornell University Press.
- Wanapat, M., Suriyapha, C., Dagaew, G., Prachumchai, R., Phupaboon, S., Sommai, S., & Matra, M. (2024). The recycling of tropical fruit peel waste-products applied in feed additive for ruminants: food manufacturing industries, phytonutrient properties, mechanisms, and future applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, 101234. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101234>.
- Yasin, M. Y., Hupron, M. Z., Khomarudin, M., Hadiarto, A. F., & Lestariningsih, L. (2021). Peran penting mikroba rumen pada ternak ruminansia. *International Journal of Animal Science*, 4(01), 33-42. <http://dx.doi.org/10.30736/ijasc.v4i01.32>.
- Zentek, J., Brucker, L., Reinhold, C., Krüsselmann, P., Martínez-Vallespín, B., Grześkowiak, L., Schulze Holthausen, J., Saliu, E., & Vahjen, W. (2025). Effects of low levels of mango peels (*Mangifera indica* L.) and apple pectin on *in vitro*-fermentability, digestive-physiological, and microbiological parameters in piglet nutrition. *Livestock Science*, 297, 105724. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2025.105724>.
- Zhan, J., Liu, M., Su, X., Zhan, K., Zhang, C., & Zhao, G. (2017). Effects of alfalfa flavonoids on the production performance, immune system, and ruminal fermentation of dairy cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 30(10), 1416. <https://doi.org/10.5713/ajas.16.0579>.
- Zurak, D., Kljak, K., & Aladrović, J. (2023). Metabolism and utilisation of non-protein nitrogen compounds in ruminants: a review. *Journal of Central European Agriculture*, 24(1), 1-14. <https://doi.org/10.5513/jcea01/24.1.3645>.