

Kandungan Nutrisi Kulit Kopi Sebagai Pakan Mendukung Sistem Pertanian Berkelanjutan Berbasis Sumber Daya Lokal

Nutritional Content Of Coffee Husk As Animal Feed To Support A Sustainable Agricultural System Based On Local Resources

¹Nandari Dyah Suretno, ²Reny Debora Tambunan, ³Meidaliyantisyah, ⁴Danarsi Diptaningsari, ⁵Zahara

¹Pusat Riset Peternakan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kawasan Sains dan Teknologi (KST) Soekarno Jl. Raya Jakarta-Bogor KM 46, Cibinong, Kab. Bogor - Indonesia 16911, Telepon: 081119333626

²Pusat Riset Peternakan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kawasan Sains dan Teknologi (KST) Soekarno Jl. Raya Jakarta-Bogor KM 46, Cibinong, Kab. Bogor – Indonesia 16911, Telepon: 081119333626

³Pusat Riset Teknologi Lingkungan dan Teknologi Bersih, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Gedung 720 KST B.J. Habibie Serpong Jalan Puspitek, Muncul, Kec. Setu, Kota Tangerang Selatan, Banten-Indonesia 15314, Telepon: 081119333604

⁴Pusat Riset Tanaman Pangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kawasan Sains dan Teknologi (KST) Soekarno, Jl. Raya Jakarta-Bogor KM 46, Cibinong, Kab. Bogor – 16911, Indonesia, Telepon/WA: 081119333624

⁵Pusat Riset Ekonomi Perilaku dan Sirkuler, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Gedung Sasana Widya Graha BRIN - Lantai 9 Jl. Jenderal Gatot Subroto No. 10, Jakarta Selatan - Indonesia 12710, Telepon: 081110646806

¹E-mail korespondensi: nand022@brin.go.id

ABSTRAK

Luas areal perkebunan kopi di Lampung mencapai sekitar 152.378-152.512 hektar dengan total produksi kopi mencapai 141.918 ton. Kabupaten penghasil utama kopi meliputi Lampung Barat, Tanggamus, Way Kanan, dan Lampung Utara (Dinas Perkebunan Provinsi Lampung, 2024). Limbah kulit kopi dihasilkan dari proses pengupasan buah kopi mencapai 40-50% dari bobot buah kopi segar sehingga diperkirakan menghasilkan puluhan ribu ton kulit kopi setiap tahunnya. Sampel kulit kopi diambil dari kabupaten Tanggamus dan Lampung Barat. Analisis kandungan nutrisi dilakukan melalui analisis proksimat, Acid Detergent Fiber (ADF), Neutral Detergent Fiber (NDF) dan lignin di Laboratorium Bioteknologi Serpong, Badan Riset dan Inovasi Nasional. Sedangkan Analisa X-Ray Fluorescence (XRF) untuk kandungan mineral dilakukan di Laboratorium Laboratorium Mineral Terpadu Lampung, Badan Riset dan Inovasi Nasional. Hasil analisa menunjukkan bahwa rata-rata kandungan protein kasar 11,5%; lemak kasar 0,60%; serat kasar 43,07%; abu 7,95%; karbohidrat 23,95%, ADF 52,31%; NDF 53,23% dan Lignin 30,69%. Mineral

makro yang teridentifikasi adalah kalsium (Ca) 38,83%; fosfor (P) 1,54%; kalium (K) 47,13% dan sulfur (S) 2,04%. Sedangkan mineral mikro adalah besi (Fe) 5,44%; mangan (Mn) 0,58%; tembaga (Cu) 0,14% serta zink (Zn) 0,07%. Teridentifikasi juga beberapa mineral lainnya seperti silikon (Si) 2,60%; titanium (Ti) 0,59%, rubidium (Rb) 0,38%, stronsium (Sr) 0,32% dan timah (Sn) 0,20%. Hasil ini menunjukkan bahwa kulit kopi berpotensi tinggi sebagai sumber pakan ternak.

Kata kunci: kulit kopi, mineral, nutrisi

ABSTRACT

The coffee plantation area in Lampung Province spans approximately 152,378 to 152,512 hectares, yielding a total coffee production of 141,918 tons. The main coffee-producing regions include West Lampung, Tanggamus, Way Kanan, and North Lampung. Coffee husk, a byproduct of the coffee pulping process, represents about 40–50% of the fresh coffee fruit's weight, resulting in tens of thousands of tons of waste each year. Samples of coffee husk were collected from the Tanggamus and West Lampung Regencies. Nutritional content analysis, such as proximate analysis, Acid Detergent Fiber (ADF), Neutral Detergent Fiber (NDF), and lignin, was conducted at the Serpong Biotechnology Laboratory of the National Research and Innovation Agency. X-Ray Fluorescence (XRF) analysis of mineral content was performed at the Lampung Integrated Mineral Laboratory of the same agency. The analysis results indicated the following average nutritional content: crude protein was 11.5%, crude fat 0.60%, crude fiber 43.07%, ash was 7.95%, carbohydrate 23.95%, ADF 52.31%, NDF 53.23%, and lignin 30.69%. The identified macro minerals included calcium (Ca) at 38.83%, phosphorus (P) at 1.54%, potassium (K) at 47.13%, and sulfur (S) at 2.04%. The identified micro minerals comprised iron (Fe) at 5.44%, manganese (Mn) at 0.58%, copper (Cu) at 0.14%, and zinc (Zn) at 0.07%. Other minerals detected were silicon (Si) at 2.60%, titanium (Ti) at 0.59%, Rubidium (Rb) at 0.38%, Strontium (Sr) at 0.32%, and tin (Sn) at 0.20%. Coffee husk demonstrates significant potential as a source of animal feed

Kata kunci: coffee husk, mineral, nutrients

PENDAHULUAN

Provinsi Lampung merupakan salah satu sentra produksi kopi terbesar di Indonesia, khususnya kopi robusta yang juga merupakan komoditas unggulan perkebunan rakyat. Berdasarkan data Dinas Perkebunan Provinsi Lampung tahun 2024, luas areal perkebunan kopi di Lampung mencapai sekitar 152.378–152.512 hektar dengan total produksi sebesar 141.918 ton. Kabupaten penghasil utama kopi di Lampung meliputi Lampung Barat, Tanggamus, Way Kanan, dan Lampung Utara.

Tingginya produksi kopi tersebut memberikan kontribusi penting terhadap perekonomian daerah dan pendapatan petani, namun di sisi lain menghasilkan juga limbah agroindustri dalam jumlah besar, terutama kulit kopi (coffee husk). Limbah kulit kopi dihasilkan dari proses pengupasan buah kopi dan bisa mencapai sekitar 40-50% dari bobot buah kopi segar. Dengan produksi kopi Lampung yang mencapai lebih dari 141 ribu ton per tahun, diperkirakan limbah kulit kopi yang dihasilkan mencapai puluhan ribu ton setiap tahunnya. Apabila limbah tersebut tidak dikelola dengan baik,

maka dapat menimbulkan pencemaran lingkungan, penurunan kualitas tanah, serta gangguan sanitasi di sekitar lokasi pengolahan kopi. Diperlukan upaya pemanfaatan limbah kulit kopi secara berkelanjutan agar memiliki nilai tambah ekonomi dan ekologis.

Kulit kopi memiliki potensi besar sebagai bahan baku pakan ternak alternatif. Kandungan nutrisi berupa bahan organik, serat kasar, protein kasar, dan mineral menjadikan limbah ini berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pakan ternak ruminansia. Pemanfaatan limbah pertanian termasuk kulit kopi sebagai sumber pakan lokal menjadi penting mengingat biaya pakan merupakan komponen terbesar dalam usaha peternakan. Namun demikian, penggunaan kulit kopi secara langsung masih memiliki keterbatasan karena tingginya kandungan lignin, selulosa, tanin, dan kafein yang dapat menurunkan pencernaan dan palatabilitas pakan. Sehingga diperlukan teknologi pengolahan seperti fermentasi, amoniasi, maupun suplementasi untuk meningkatkan kualitas nutrisi kulit kopi sebagai bahan pakan. Penelitian terbaru melaporkan bahwa fermentasi kulit kopi menggunakan mikroorganisme mampu meningkatkan kandungan protein serta menurunkan kadar serat kasar dan senyawa antinutrisi sehingga lebih aman digunakan dalam ransum ternak.

Pemanfaatan kulit kopi sebagai pakan merupakan bagian dari konsep circular agriculture dan zero waste agriculture yang mengintegrasikan subsektor perkebunan, peternakan, dan pertanian. Sistem ini tidak hanya mampu mengurangi limbah agroindustri kopi, tetapi juga meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya lokal, mengurangi pencemaran lingkungan, dan memberikan nilai tambah ekonomi bagi petani. Dengan besarnya potensi produksi kopi dan limbah kulit kopi di Lampung, diperlukan kajian lebih lanjut mengenai potensi pemanfaatan kulit kopi sebagai sumber pakan alternatif dan pupuk organik untuk mendukung sistem pertanian berkelanjutan berbasis sumber daya lokal.

MATERI DAN METODE

Sampel kulit kopi diambil dari kecamatan Air Naningan dan Ulu Belu kabupaten Tanggamus serta kecamatan Air Hitam dan Gunung Surian kabupaten Lampung Barat. Analisis kandungan nutrisi dilakukan pada bulan Maret - September 2025. Analisis proksimat, analisis fraksi serat dilakukan di Laboratorium Bioteknologi Serpong, Badan Riset dan Inovasi Nasional. Sedangkan Analisa X-Ray Fluorescence (XRF) untuk kandungan mineral dilakukan di Laboratorium Laboratorium Mineral Terpadu Lampung, Badan Riset dan Inovasi Nasional. Analisis proksimat Protein kasar melalui metode Kjeldahl; Lemak Kasar, Serat Kasar, Abu menggunakan metode Gravimetri; dan Karbohidrat diperoleh dari perhitungan. Analisis fraksi serat berupa Acid Detergent Fiber (ADF), Neutral Detergent Fiber (NDF), dan Lignin menggunakan metode Gravimetri. Kandungan makro mineral, mikro mineral dan mineral lainnya menggunakan metode X-Ray Fluorescence – Komposisi Kimia. Hasil analisis diolah secara deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis proksimat kulit kopi dari empat lokasi pada penelitian ini memiliki kandungan nutrisi yang bervariasi yaitu rataan protein kasar sebesar 11,50%, lemak

kasar 0,60%, serat kasar 43,07%, abu 7,95%, dan karbohidrat 23,95%. Hasil ini tidak jauh berbeda dengan komposisi nutrisi limbah pengolahan kopi hasil penelitian Adoyo et.al. (2026) yang melaporkan kandungan protein kasar 5-16 g/100 g, serat kasar 44-62 g/100 g, dan karbohidrat 17-39 g/100 g. Kandungan protein kasar tertinggi diperoleh pada sampel asal Air Hitam, Lampung Barat (12,84%), terendah diperoleh pada Ulu Belu, Tanggamus (8,29%). Perbedaan kandungan protein kasar tersebut menunjukkan adanya pengaruh kondisi lingkungan tumbuh, kesuburan tanah, umur panen, dan fase fisiologis tanaman terhadap akumulasi nitrogen di dalam jaringan tanaman. Hijauan dengan kandungan protein kasar di atas 10% umumnya telah mampu memenuhi kebutuhan nitrogen mikroba rumen sehingga mendukung proses fermentasi dan sintesis protein mikroba secara optimal (Despal et al., 2023).

Tabel 1. Hasil Analisa Proksimat, ADF, NDF dan Lignin (%)

No	Asal	Protein Kasar	Lemak Kasar	Serat Kasar	Abu	Karbohidrat	ADF	NDF	Lignin
1.	Air Hitam, Lampung Barat	12,84	0,42	47,61	5,21	20,58	57,74	54,04	30,92
2.	Air Naningan, Tanggamus	12,26	0,86	41,10	6,36	26,75	45,71	53,86	29,14
3.	Ulu Belu, Tanggamus	8,29	0,61	40,00	11,35	27,28	50,79	54,04	31,29
4.	Gunung Surian, Lampung Barat	12,62	0,49	43,58	8,87	21,18	54,98	50,98	31,39
Rata-rata		11,50	0,60	43,07	7,95	23,95	52,31	53,23	30,69

Sumber. Data hasil analisis (2025)

Kandungan NDF, ADF, dan lignin pada penelitian ini tergolong tinggi dengan rata-rata masing-masing sebesar 52,31%; 53,23%; dan 30,69%. Nilai NDF yang diperoleh relatif seragam (50,98-54,04%), hasil ini menunjukkan bahwa kapasitas konsumsi antar lokasi diperkirakan tidak berbeda jauh. Namun demikian, semakin tinggi kandungan NDF maka efek pengisian rumen (*rumen fill*) juga meningkat sehingga konsumsi bahan kering dapat menurun apabila kulit kopi diberikan sebagai pakan tunggal. Selain kadar NDF, ukuran partikel hijauan dan serat efektif (*physically effective NDF*) juga berperan penting dalam mempertahankan aktivitas mengunyah, stabilitas pH rumen, serta efisiensi fermentasi. Dengan demikian, kualitas hijauan tidak hanya ditentukan oleh kandungan nutrisi, tetapi juga karakteristik fisik seratnya (Grant, 2023).

Kandungan lignin tertinggi pada kulit kopi asal Gunung Surian (31,39%), sedangkan terendah dari Air Naningan (29,14%). Sedangkan menurut Kusmiati et al. (2024) kandungan lignin maksimal dalam pakan ruminansia adalah 7%. Lignin merupakan komponen dinding sel yang sulit didegradasi oleh mikroba rumen dan berperan sebagai faktor pembatas utama pemanfaatan selulosa maupun hemiselulosa. Oleh karena itu, peningkatan kandungan lignin umumnya diikuti oleh penurunan nilai degradasi serat dan pencernaan bahan kering hijauan (Foster et al., 2023).

Kulit kopi asal Air Naningan memiliki kualitas nutrisi yang relatif lebih baik karena mengombinasikan kandungan protein kasar cukup tinggi (12,26%) dan nilai ADF

(45,71%) serta lignin (29,14%) yang lebih rendah dibandingkan lokasi lainnya. Sebaliknya, kulit kopi dari Air Hitam dan Gunung Surian meskipun memiliki kandungan protein kasar yang tinggi, namun kandungan ADF dan lignin lebih besar sehingga berpotensi menurunkan tingkat pencernaan. Hasil ini menunjukkan bahwa evaluasi kualitas kulit kopi sebagai sumber pakan tidak hanya didasarkan pada kandungan protein kasar, tetapi juga mempertimbangkan fraksi serat terutama ADF, NDF, dan lignin karena parameter tersebut sangat menentukan tingkat pemanfaatan nutrisi oleh ternak ruminansia (Grant, 2023; Foster et al., 2023).

Kandungan mineral makro kulit kopi bervariasi antar lokasi dengan rata-rata kalsium (Ca), fosfor (P), kalium (K), dan sulfur (S) masing-masing sebesar (%) 38,83; 1,54; 47,13; dan 2,04. Variasi kandungan mineral makro erat kaitannya dengan karakteristik tanah, ketersediaan unsur hara, pH tanah, serta kemampuan tanaman dalam menyerap mineral dari tempat tumbuhnya.

Kalsium berperan penting dalam pembentukan tulang, kontraksi otot, dan aktivitas enzim. Fosfor berfungsi dalam metabolisme energi dan pertumbuhan jaringan. Keseimbangan kandungan Ca dan P dalam hijauan sangat penting untuk mendukung produktivitas ternak ruminansia (Khan et al., 2023). Kalium berkontribusi terhadap keseimbangan kation-anion ransum yang berpengaruh terhadap kesehatan serta performa produksi pada ternak ruminansia (Goff 2018). Namun kadar K yang terlalu tinggi dalam hijauan dapat mengganggu penyerapan magnesium (Mg) dan kalsium (Ca). Sulfur merupakan makro mineral yang diperlukan dalam sintesis protein mikroba, tetapi pemberian sulfur yang berlebihan dapat meningkatkan produksi hidrogen sulfida (H_2S) yang dapat mengganggu kesehatan rumen dan fungsi saluran pencernaan (Wu et al. 2021).

Tabel 2. Hasil Analisa Kandungan Makro dan Mikro Mineral (%)

No	Asal	Kalsium (Ca)	Fosfor (P)	Kalium (K)	Sulfur (S)	Besi (Fe)	Mangan (Mn)	Tembaga (Cu)	Zink (Zn)
1.	Air Hitam, Lampung Barat	45,14	1,66	39,59	2,44	5,31	1,11	0,19	0,10
2.	Air Naningan, Tanggamus	35,11	1,47	54,65	1,85	4,02	0,41	0,19	0,07
3.	Ulu Belu, Tanggamus	32,12	1,27	55,29	1,60	4,54	0,28	0,12	0,04
4.	Gunung Surian, Lampung Barat	42,98	1,75	39,01	2,28	7,88	0,50	0,09	0,09
Rata-rata		38,83	1,54	47,13	2,04	5,44	0,58	0,14	0,07

Sumber. Data hasil analisis (2025)

Kandungan mineral mikro pada kulit kopi juga menunjukkan variasi antar lokasi. Besi (Fe) berkisar antara 4,02-7,88% dengan nilai tertinggi berasal dari Gunung Surian, sedangkan kandungan mangan (Mn), tembaga (Cu), dan zink (Zn) masing-masing memiliki rata-rata (%) sebesar 0,58; 0,14; dan 0,07. Besi berperan penting dalam pembentukan hemoglobin dan transport oksigen. Sehingga kekurangan besi dapat menyebabkan anemia, menurunkan performa pertumbuhan, dan mengurangi

produktivitas ternak (Sampath et al., 2023; Marques, 2024). Mineral mikro Mn, Cu, dan Zn merupakan kofaktor berbagai enzim yang terlibat dalam sistem antioksidan, metabolisme protein, reproduksi, serta fungsi imun. Perbedaan kandungan mineral mikro umumnya dipengaruhi oleh sifat kimia tanah, kandungan bahan organik, curah hujan, dan tingkat ketersediaan unsur mikro di daerah tumbuh. Evaluasi kandungan mineral kulit kopi menjadi bagian penting dalam penyusunan ransum agar mampu memenuhi kebutuhan mineral ternak secara optimal (Spears & Weiss, 2024).

Kulit kopi asal Air Hitam dan Gunung Surian Kabupaten Lampung Barat menunjukkan kandungan Ca, S, dan Fe yang relatif lebih tinggi dibandingkan lokasi lainnya, sedangkan kulit kopi dari Air Naningan dan Ulu Belu memiliki kandungan K yang lebih tinggi. Kualitas dan kandungan mineral kulit kopi sangat dipengaruhi oleh kondisi agroekologi masing-masing lokasi. Meskipun seluruh kulit kopi berpotensi sebagai sumber mineral bagi ternak ruminansia, namun formulasi ransum tetap perlu mempertimbangkan keseimbangan mineral makro maupun mikro agar efisiensi pemanfaatan nutrisi dan performa ternak dapat dicapai secara optimal.

Kandungan mineral tambahan dari kulit kopi yang terdeteksi besar pada empat lokasi adalah silikon (Si), titanium (Ti), rubidium (Rb), stronsium (Sr), dan timah (Sn) dengan konsentrasi bervariasi. Rataan kandungan Si, Ti, Rb, Sr, dan Sn masing-masing sebesar (%) 2,60; 0,59; 0,38; 0,32; dan 0,20. Kandungan Si tertinggi ditemukan pada hijauan asal Gunung Surian, Lampung Barat (3,31%), sedangkan kandungan terendah dari Air Naningan (1,05%). Faktor lingkungan memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap kandungan mineral hijauan dibandingkan faktor genetik tanaman (White & Brown, 2023). Suplementasi silikon atau mineral berbasis silikat pada ransum ternak ruminansia mampu memperbaiki fermentasi rumen, meningkatkan efisiensi pemanfaatan nutrisi, serta membantu mengurangi efek toksin dalam saluran pencernaan, sehingga berpotensi meningkatkan kesehatan dan produktivitas ternak (Adawi 2024).

Tabel 3. Hasil Analisa Kandungan Mineral lainnya (%)

No	Asal	Silikon (Si)	Titanium (Ti)	Rubidium (Rb)	Stronsium (Sr)	Tin (Sn)
1.	Air Hitam, Lampung Barat	2,74	0,64	0,40	0,26	0,31
2.	Air Naningan, Tanggamus	1,05	0,42	0,33	0,24	0,20
3.	Ulu Belu, Tanggamus	3,29	0,37	0,32	0,45	0
4.	Gunung Surian, Lampung Barat	3,31	0,93	0,46	0,34	0,28
Rata-rata		2,60	0,59	0,38	0,32	0,20

Mineral Titanium tertinggi dideteksi pada kulit kopi yang berasal dari Gunung Surian Lampung Barat. Fungsi fisiologis yang esensial mineral titanium belum diketahui bagi ternak, tetapi dalam jumlah sangat rendah dilaporkan dapat berperan sebagai unsur yang merangsang pertumbuhan tanaman melalui peningkatan aktivitas fotosintesis dan metabolisme nitrogen (Tripathi et al., 2024). Sehingga Ti hanya unsur

yang terdeteksi, dan keberadaannya tidak memberikan manfaat nutrisi yang telah terbukti pada ternak. Demikian juga untuk Rubidium dan stronsium, hingga saat ini belum terdapat bukti bahwa Rb dan Sr memberikan dampak negatif terhadap performa ternak ruminansia. Sebaliknya, kedua unsur tersebut lebih banyak dimanfaatkan sebagai indikator geokimia untuk mempelajari hubungan antara karakteristik tanah dan akumulasi mineral pada tanaman pakan (Kabata-Pendias, 2023).

Secara keseluruhan, variasi kandungan Si, Ti, Rb, Sr, dan Sn antar lokasi menunjukkan bahwa karakteristik agroekologi berpengaruh terhadap komposisi mineral kulit kopi. Meskipun unsur-unsur tersebut tidak secara langsung menentukan kualitas nutrisi seperti protein atau mineral makro, informasi mengenai kandungannya tetap penting sebagai bagian dari evaluasi komprehensif kualitas hijauan, terutama untuk memahami interaksi antara lingkungan tumbuh dan komposisi kimia tanaman.

KESIMPULAN

Rata-rata kandungan protein kasar 11,5%; lemak kasar 0,60%; serat kasar 43,07%; abu 7,95%; karbohidrat 23,95%, ADF 52,31%; NDF 53,23% dan Lignin 30,69%. Mineral makro yang teridentifikasi adalah kalsium (Ca) 38,83%; fosfor (P) 1,54%; kalium (K) 47,13% dan sulfur (S) 2,04%. Sedangkan mineral mikro adalah besi (Fe) 5,44%; mangan (Mn) 0,58%; tembaga (Cu) 0,14% serta zink (Zn) 0,07%. Teridentifikasi juga beberapa mineral lainnya seperti silikon (Si) 2,60%; titanium (Ti) 0,59%, rubidium (Rb) 0,38%, stronsium (Sr) 0,32% dan timah (Sn) 0,20%. Kulit kopi asal Air Naningan memiliki kualitas nutrisi yang relatif lebih baik karena mengombinasikan kandungan protein kasar yang cukup tinggi (12,26%) dengan nilai ADF (45,71%) dan lignin (29,14%) yang lebih rendah dibandingkan lokasi lainnya. Kulit kopi asal Kabupaten Lampung Barat kandungan Ca, S, dan Fe relatif lebih tinggi, sedangkan kulit kopi dari Kabupaten Tanggamus memiliki kandungan K yang lebih tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Bioteknologi Serpong, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), atas bantuan dalam pelaksanaan analisis proksimat dan fraksi serat, serta kepada Laboratorium Mineral Terpadu Lampung, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), atas bantuan dalam analisis mineral menggunakan metode X-Ray Fluorescence (XRF).

DAFTAR PUSTAKA

Al Adawi, S. A., El-Zaiat, H. M., Morsy, A. M., & Soltan, Y. A. (2024). *Lactation Performance and Rumen Fermentation in Dairy Cows Fed a Diet Supplemented with Monensin or Gum Arabic–Nano Montmorillonite Compost*. **Animals**, **14**(11), 1649. <https://doi.org/10.3390/ani14111649>

- Adoyo G.O., Owino W.O., Wafula E.N., Engelsen S.B., Abong G.O., Nyonje W.A. 2026. Biochemical and microbiological characterization of Coffea arabica sidestreams for food ingredient applications. *Discover Sustainability* 7 (71) : 1-24
- Badan Pusat Statistik. 2024. *Provinsi Lampung Dalam Angka 2024*. BPS Provinsi Lampung, Bandar Lampung.
- Despal, Yulianti Y. I., Zahera R., Agustiya I., Rosmalia A., Afnan I. M., Zain M., Tanuwiria, U. H. (2023). *Comparison of Chemical Composition, In Vitro Digestibility, and Near Infrared Reflectance Spectroscopy in Estimating In Situ Rumen Degradable Protein of Tropical Foliage*. **Tropical Animal Science Journal** 46(2), 211-220. <https://doi.org/10.5398/tasj.2023.46.2.211>
- Dinas Perkebunan Provinsi Lampung. 2024. *Statistik Perkebunan Kopi Provinsi Lampung Tahun 2024*. Bandar Lampung.
- Foster, J. L., Smith, W. B., Rouquette, F. M., & Tedeschi, L. O. (2023). *Forages and pastures symposium: An update on in vitro and in situ experimental techniques for approximation of ruminal fiber degradation*. **Journal of Animal Science**, 101, skad097. <https://doi.org/10.1093/jas/skad097>
- Goff J.P. 2018. Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid–base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *J. Dairy Sci.* 101:2763–2813
- Grant, R. J. (2023). *Symposium review: Physical characterization of feeds and development of the physically effective fiber system*. **Journal of Dairy Science**, 106(6), 4454–4463. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22419>
- Kabata-Pendias, A. (2023). *Trace Elements in Soils and Plants* (5th ed.). CRC Press.
- Khan, Z. I., Ugulu, I., Ahmad, K., Ashfaq, A., Bashir, H., Dogan, Y., & Akram, N. A. (2023). Mineral composition of forage and its importance for livestock nutrition: A review. *Journal of Elementology*, 28(1), 1–18.
- Kusmiati R., Syaputri1 Y., Abun, Safitri R. 2024. Pretreatment and fermentation of lignocellulose from oil palm fronds as a potential source of fibre for ruminant feed: a review. *J Sustain Agric Environ.* 2024;3:1–18.
- Marques, R. (2024). *Physiological and health implications of trace mineral nutrition*. **Journal of Animal Science**, 102(Supplement_3), 76–77. <https://doi.org/10.1093/jas/skae234.085>
- Sampath, V., Sureshkumar, S., Seok, W. J., & Kim, I. H. (2023). *Role and functions of micro and macro-minerals in swine nutrition: A short review*. **Journal of Animal Science and Technology**, 65(3), 479–489. <https://doi.org/10.5187/jast.2023.e9>
- Spears, J. W., & Weiss, W. P. (2024). Trace minerals in ruminant nutrition: Recent advances and future perspectives. *Animals*, 14(2), 245.

- Suttle, N. F. (2022). *Mineral Nutrition of Livestock* (5th ed.). CABI Publishing.
- Tripathi, D. K., Singh, S., Chauhan, D. K., Sharma, S., & Prasad, S. M. (2024). Beneficial effects of titanium and silicon on plant growth, physiology, and stress tolerance: Current advances and future prospects. *Plant Physiology and Biochemistry*, 207, 108355.
- White, P. J., & Brown, P. H. (2023). Plant nutrition for sustainable development and the role of mineral elements in crop quality. *Annals of Botany*, 131(5), 689–704.
- Wu H., Li Y., Meng Q., Zhou Z. 2021. Effect of High Sulfur Diet on Rumen Fermentation, Microflora, and Epithelial Barrier Function in Steers. *Animals* 11 (2545): 1-19.