Pengaruh Perbedaan Jumlah Spora *Trichoderma viride* terhadap Komponen Nutrisi Kulit Kopi Fermentasi sebagai Bahan Pakan Ternak Ruminansia

Effect of Different Trichoderma viride Spore Levels on the Nutritional Components of Fermented Coffee Pulp as a Feed Ingredient for Ruminants

Said Mirza Pratama[1,2]* Samadi[1,2], Halifah[1], Sartika Sri Dewi[1]

[1]Program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala Jalan Tgk. Hasan Krueng Kalee 3, Darussalam-Banda Aceh, Indonesia, 23111

[2]Pusat Riset Inovasi dan Teknologi Pakan, Universitas Syiah Kuala Jalan Tgk. Hasan Krueng Kalee 3, Darussalam-Banda Aceh, Indonesia, 23111

Alamat Email: said.mp@usk.ac.id

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah industri pertanian sebagai bahan pakan ternak ruminansia merupakan salah satu cara alternatif untuk menanggulangi masalah ketersediaan pakan secara berkelanjutan. Kulit kopi berpotensi sebagai bahan pakan alternatif ternak ruminansia, namun pemanfaatannya terbatas oleh kandungan serat kasar yang tinggi dan protein yang rendah sehingga nilai nutrisinya relatif rendah. Penelitian ini bertujuan untuk melihat dampak penggunaan *Trichoderma viride* berdasarkan jumlah spora berbeda terhadap komponen nutrisi kulit kopi. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan empat perlakuan, yaitu TV0 (kontrol), TV5 (10^5 spora/g), TV6 (10^6 spora/g), dan TV7 (10^7 spora/g), dengan empat ulangan. Parameter pada penelitian ini adalah bahan kering, protein kasar, serat kasar, abu, serta Bahan Ekstrak Tanpa Nitrogen. Berdasarkan temuan penelitian, penggunaan *T. viride* berdasarkan jumlah spora berbeda belum mampu meningkatkan komponen nutrisi kulit kopi, meskipun terlihat adanya kecenderungan peningkatan nilai nutrisi pada perlakuan 10^6 spora/g. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan dengan optimasi kondisi fermentasi, seperti lama inkubasi, kombinasi pretreatment, dan penggunaan konsorsium mikroba untuk meningkatkan efektivitas biokonversi kulit kopi. Hasil penelitian ini memberikan implikasi bahwa fermentasi menggunakan *T. viride* berpotensi menjadi salah satu pendekatan biologis dalam pemanfaatan limbah kulit kopi sebagai bahan pakan alternatif ruminansia yang lebih berkelanjutan.

Kata Kunci: Fermentasi, Komponen Nutrisi, Kulit Kopi, Spora Berbeda, *Trichoderma viride*

ABSTRACT

Utilization of agricultural industrial waste as feed for ruminants is considered an alternative strategy to overcome sustainable feed availability problems. Coffee pulp has potential as an alternative feed ingredient for ruminants; however, its utilization is limited by its high crude fiber and low protein contents, resulting in relatively low nutritional value. This study aimed to evaluate the effect of different Trichoderma viride spore levels on the nutritional components of coffee pulp. The experiment employed a Completely Randomized Design (CRD) consisting of 4 treatments i.e TV0 (control), TV5 (10^5 spores/g), TV6 (10^6 spores/g), and TV7 (10^7 spores/g), with four replications. The variables analyzed included dry matter, crude protein, crude fiber, ash, and nitrogen-free extract. The results showed that the application of different T. viride spore levels had not been able to significantly improve the nutritional components of coffee pulp, although there was a tendency toward improved nutritional value at the 10^6 spores/g treatment. Therefore, further studies are recommended to optimize fermentation conditions, such as incubation time, pretreatment combinations, and the use of microbial consortia to enhance the bioconversion effectiveness of coffee pulp. The findings of this study imply that fermentation using T. viride has the potential to serve as a biological approach for utilizing coffee pulp waste as a more sustainable alternative feed ingredient for ruminants.

Keywords: *Coffee Pulp, Fermentation, Nutrient Composition, Spore Levels, Trichoderma viride*

PENDAHULUAN

Peternakan berkontribusi signifikan terhadap pemenuhan kebutuhan protein hewani serta penguatan praktik pertanian berkelanjutan. Akan tetapi, efisiensi usaha sering terhambat oleh tingginya pengeluaran untuk pakan, yang proporsinya dapat mencapai 60–70% dari total biaya produksi (Begna dan Masho, 2024) menjadi kendala utama, terutama bagi peternak skala kecil. Kondisi ini mendorong perlunya eksplorasi bahan pakan alternatif yang ekonomis, tersedia melimpah, dan memiliki nilai nutrisi memadai. Posisi Indonesia sebagai sentra produksi kopi global berimplikasi pada terbentuknya limbah agroindustri berupa kulit kopi dalam kuantitas yang signifikan setiap tahunnya. Data Badan Pusat Statistik, (2024) menunjukkan produksi kopi di Provinsi Aceh adalah 71.084 ton. Secara umum, proses pengolahan kopi menghasilkan limbah kulit sekitar 40–45% dari berat biji kopi basah/*cherry* (Muzaifa et al., 2022). Dengan asumsi ini, potensi limbah kulit kopi yang dihasilkan di Provinsi Aceh dapat mencapai sekitar 28.000–32.000 ton. Apabila tidak dikelola, limbah tersebut berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan. Di sisi lain, kulit kopi masih mengandung nutrien penting seperti protein 8,58%, lemak 0,93%, dan serat 14,54 % (Pratama et al., 2018), sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan pakan ternak.

Pemanfaatan kulit kopi secara langsung memiliki keterbatasan karena tingginya lignin, serat kasar, tanin, dan kafein yang bersifat anti-nutrisi dan menghambat kecernaan (Karyono dan Novita, 2021). Kulit kopi dilaporkan memiliki kandungan lignin berkisar antara 21,6–35,90% (Wardhana et al., 2019), sehingga menyebabkan rendahnya degradasi bahan di dalam saluran pencernaan ternak ruminansia. Kondisi ini menuntut adanya inovasi teknologi pengolahan yang mampu meningkatkan mutu gizi sehingga bahan tersebut lebih layak dimanfaatkan. Fermentasi mikrobiologis merupakan pendekatan yang efektif untuk menurunkan senyawa anti-nutrisi dan meningkatkan kecernaan. *T. viride* menjadi kandidat potensial karena kemampuannya menghasilkan enzim lignolitik yang berperan dalam degradasi lignin (Pérez-Contreras et al., 2025). Penelitian Sunardi et al., (2023) menunjukkan bahwa fermentasi jerami kacang tanah menggunakan *Trichoderma sp.* selama 21 hari menghasilkan kualitas nutrisi yang lebih baik dibandingkan perlakuan lainnya. Hal ini didukung oleh penelitian Yahya et al., (2023) yang menunjukkan bahwa fermentasi tumpi jagung selama 21 hari mampu meningkatkan potensi pemanfaatannya sebagai bahan pakan alternatif ternak ruminansia.

Penelitian terdahulu membuktikan bahwa fermentasi dengan *Trichoderma sp.* dapat meningkatkan kualitas nutrisi kulit kopi (Daning dan Karunia, 2018). Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada penggunaan mikroba fermentasi secara umum tanpa mengevaluasi secara spesifik pengaruh variasi tingkat inokulum atau kepadatan spora terhadap perubahan komponen kimia hasil fermentasi. Padahal, tingkat inokulum merupakan faktor penting yang menentukan keberhasilan fermentasi karena memengaruhi kecepatan kolonisasi substrat, produksi enzim lignoselulolitik, degradasi serat kompleks, serta efisiensi peningkatan kualitas nutrisi bahan. Brata, (2008) melaporkan bahwa variasi persentase inokulum *Trichoderma* berpengaruh terhadap peningkatan mutu bahan fermentasi. Informasi mengenai tingkat inokulum *T. viride* yang optimal pada fermentasi limbah kulit kopi masih terbatas, khususnya pada substrat lokal berbasis limbah kopi di Aceh. Penelitian ini memiliki kebaruan pada evaluasi berbagai tingkat kepadatan spora *T. viride* terhadap perubahan komponen kimia proksimat limbah kulit kopi hasil fermentasi selama 21 hari sebagai upaya optimasi pemanfaatan limbah agroindustri menjadi pakan alternatif ruminansia.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi tingkat inokulum atau kepadatan spora *Trichoderma viride* terhadap komponen kimia proksimat limbah kulit kopi hasil

fermentasi. Penelitian ini diharapkan dapat menentukan tingkat inokulum yang paling efektif dalam meningkatkan kualitas nutrisi bahan melalui perubahan kandungan protein kasar, serat kasar, lemak kasar, abu, dan bahan kering, sehingga limbah kulit kopi berpotensi dimanfaatkan secara optimal sebagai bahan pakan alternatif bagi ternak ruminansia. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat mendukung pemanfaatan limbah pertanian secara lebih efisien dan berkelanjutan dalam sistem produksi peternakan.

METODE

1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli – Oktober 2024 di Laboratorium Ilmu Nutrisi, Teknologi dan Hijauan Pakan Departemen Peternakan Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala serta Pusat Penelitian Sumber Daya Hayati dan Bioteknologi, Pusat Penelitian dan Pemberdayaan Masyarakat, Institut Pertanian Bogor untuk analisis proksimat.

2. Materi Penelitian

Penelitian ini memanfaatkan kulit kopi jenis arabika sebagai bahan utama yang diperoleh dari petani di Kabupaten Aceh Tengah. Bahan tambahan yang digunakan meliputi molases, urea, tepung beras, jagung pecah, dan inokulum *T. viride*. Peralatan penelitian terdiri atas kantong plastik warna gelap berkapasitas 3 kg, timbangan analitik dan digital, oven, *cutting mill*, alat pelindung diri, serta perangkat analisis proksimat.

3. Pembiakan *T. viride*

Terlebih dahulu jagung pecah direndam selama 20 menit dan dicuci bersih lalu ditiriskan, media yang sudah ditiriskan dimasukkan ke dalam plastik tahan panas dan disterilkan menggunakan oven pada suhu 121^{o}C selama 30 menit. Jagung pecah yang telah steril diangkat dan didinginkan serta disebarkan, lalu diinokulasi dengan biang T. viride dan diinkubasi selama 14 hari. Setiap dua hari sekali jagung pecah yang sudah terdapat biang *T. viride* diaduk agar pertumbuhan merata. Perubahan warna kehijauan pada jagung pecah menandakan bahwa *T. viride* telah tumbuh dan siap digunakan.

4. Penentuan Jumlah Spora

Kultur *T. viride* dihancurkan secara aseptis menggunakan blender steril untuk melepaskan spora jamur. Selanjutnya, akuades steril ditambahkan dengan perbandingan 10 g kultur terhadap 90 mL larutan untuk membantu pembentukan suspensi spora. Campuran kemudian dihomogenkan selama 1–2 menit menggunakan *vortex mixer* dan disaring menggunakan kain kasa steril untuk memisahkan sisa padatan sehingga diperoleh suspensi spora yang jernih.

Konsentrasi spora ditentukan menggunakan *hemocytometer*. Sebelum dilakukan perhitungan, suspensi spora dicampurkan dengan larutan lactophenol cotton blue (1:1, v/v) untuk menginaktivasi spora sekaligus memperjelas pengamatan di bawah mikroskop. Spora dihitung pada lima kotak besar ruang *hemocytometer* (empat sudut dan satu bagian tengah), kemudian nilai rata-rata jumlah spora digunakan untuk memperkirakan konsentrasi spora berdasarkan volume ruang hitung. Jumlah spora per mililiter dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Spore/mL} = \text{rata-rata spora per kotak besar} \times 10^4 \times \text{faktor pengenceran}$$

Berdasarkan konsentrasi yang diperoleh, volume inokulum kemudian disesuaikan untuk mendapatkan kepadatan inokulum yang ditargetkan, yaitu 10^5 spora/g, 10^6 spora/g, dan 10^7 spora/g substrat pada masing-masing perlakuan fermentasi. Pendekatan ini dilakukan untuk

menstandarisasi total kepadatan spora pada setiap perlakuan. Perlu diketahui bahwa perhitungan jumlah spora menggunakan *hemocytometer* merepresentasikan total spora dan tidak dapat membedakan antara spora hidup dan spora mati.

5. Pembuatan Kulit Kopi Fermentasi

Kulit kopi segar dihomogenkan dengan tepung beras sebanyak 3% sebelum proses fermentasi. Larutan nutrien yang mengandung 3% molases dan 0,3% urea dilarutkan ke dalam air, kemudian kadar air awal disesuaikan hingga mencapai sekitar 60% dari bobot substrat. Selanjutnya, inokulum jamur ditambahkan ke dalam larutan tersebut hingga diperoleh konsentrasi akhir masing-masing sebesar 10^5 spora/g, 10^6 spora/g, dan 10^7 spora/g kulit kopi, sedangkan perlakuan kontrol tidak diberikan inokulum. Suspensi spora dipersiapkan secara segar sebelum digunakan dan langsung diaplikasikan tanpa penyimpanan.

Larutan yang telah disiapkan kemudian dicampurkan secara merata ke dalam kulit kopi sebanyak kurang lebih 40% dari total bobot substrat dan diaduk secara manual hingga homogen. Proses fermentasi dilakukan menggunakan sistem fermentasi padat (*solid-state fermentation*/SSF) dalam kondisi aerob. Setiap perlakuan dimasukkan ke dalam kantong silo plastik gelap, kemudian dibuat lubang-lubang kecil dengan jumlah dan jarak yang seragam untuk memungkinkan pertukaran udara selama fermentasi berlangsung. Seluruh bahan dan peralatan ditangani secara higienis untuk meminimalkan risiko kontaminasi. Fermentasi dilakukan pada suhu ruang (27–30 °C) selama 21 hari. Setelah masa inkubasi selesai, seluruh sampel dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60 °C selama 48 jam.

6. Parameter yang Diamati

Parameter dalam penelitian ini adalah komponen nutrisi yang dianalisis melalui analisis proksimat, meliputi bahan kering, protein kasar, serat kasar, abu, dan bahan ekstrak tanpa nitrogen (BETN) sesuai AOAC (Latimer, 2023).

7. Analisis Data

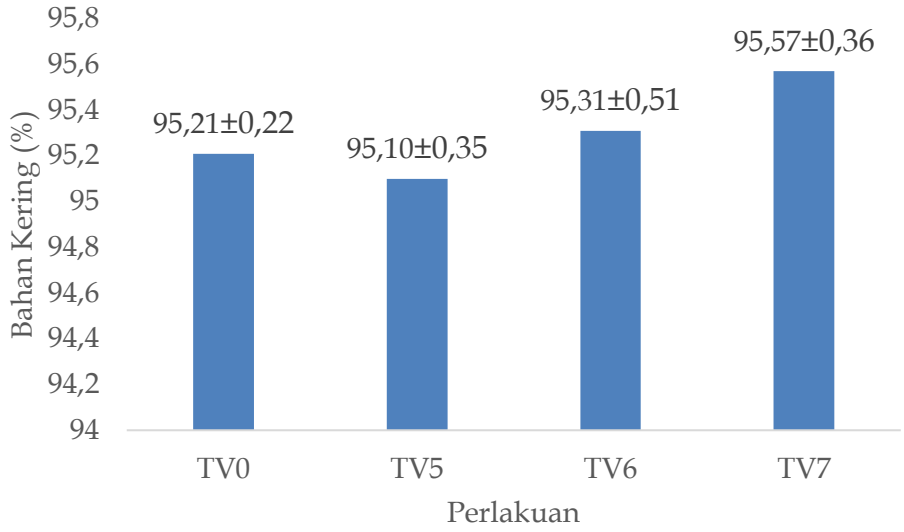
Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 4 perlakuan yaitu TV0 (kontrol), TV5 (10^5 spora/g), TV6 (10^6 spora/g), dan TV7 (10^7 spora/g), masing-masing 4 ulangan. Data hasil penelitian selanjutnya diproses melalui uji analisis ragam (ANOVA) dengan memanfaatkan software SPSS versi 26 pada sistem operasi Windows. Apabila terdapat perbedaan antarperlakuan, pengujian dilanjutkan menggunakan uji lanjut *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kandungan Bahan Kering Kulit Kopi Fermentasi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *T. viride* dengan variasi tingkat inokulum tidak memberikan pengaruh yang signifikan (P>0,05) terhadap kadar bahan kering kulit kopi fermentasi. Nilai bahan kering pada seluruh perlakuan berada pada kisaran yang relatif sempit, yaitu antara 95,10% hingga 95,57%, sebagaimana ditampilkan pada gambar 1. Peningkatan level inokulum *T. viride* pada kulit kopi fermentasi belum mampu menghasilkan perubahan nyata terhadap kandungan bahan kering selama fermentasi 21 hari. Hasil ini sejalan dengan laporan Chalisty, (2021) yang menunjukkan bahwa inokulasi *T. viride* pada substrat hijauan fermentasi juga tidak memberikan pengaruh nyata terhadap kadar bahan kering. Meskipun jenis substrat yang digunakan berbeda dengan kulit kopi, temuan tersebut menunjukkan bahwa respons terhadap inokulasi *T. viride* tidak selalu diikuti oleh perubahan signifikan pada kandungan bahan kering

substrat fermentasi. Meskipun demikian, pada tingkat inokulum yang lebih tinggi terlihat adanya kecenderungan peningkatan kadar bahan kering, yang diduga berkaitan dengan aktivitas pertumbuhan kapang dan perubahan kadar air relatif selama proses fermentasi. Kondisi ini diduga berkaitan dengan meningkatnya aktivitas metabolik *T. viride* pada kepadatan spora yang lebih tinggi sehingga kolonisasi substrat berlangsung lebih intensif. Selain itu, peningkatan aktivitas metabolisme mikroba selama fermentasi juga dapat menghasilkan panas dan pelepasan CO_2 yang berkontribusi terhadap berkurangnya kadar air substrat sehingga persentase bahan kering relatif meningkat. Namun demikian, perubahan tersebut masih relatif kecil sehingga belum memberikan pengaruh nyata terhadap kadar bahan kering secara statistik.



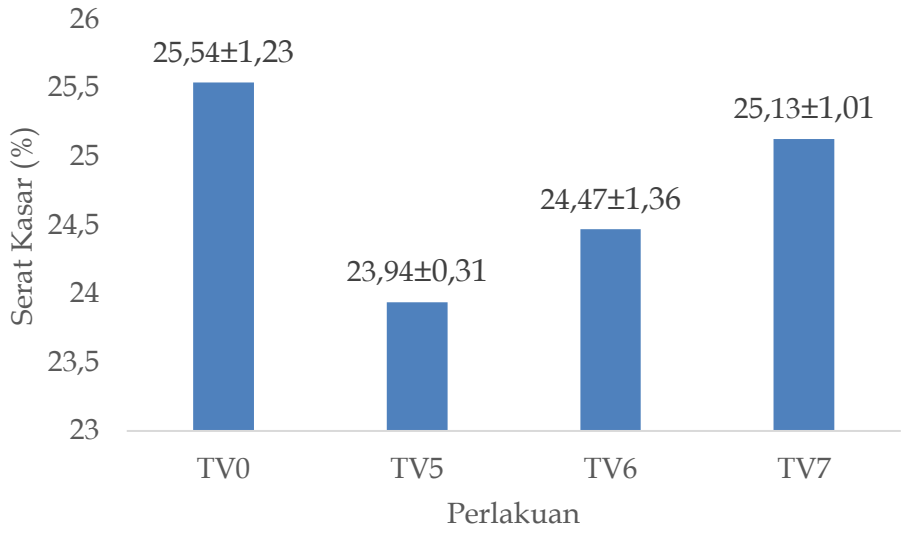
Gambar 1. Rataan bahan kering kulit kopi fermentasi (TV0= Tanpa *T. viride;* TV5= 10^5 spora/g; TV6= 10^6 spora/g; TV7= 10^7 spora/g)

Kulit kopi memiliki kandungan lignin dan senyawa fenolik yang relatif tinggi, yang membentuk ikatan kompleks dengan selulosa dan hemiselulosa sehingga membatasi akses enzim hidrolitik mikroba (Kubiak et al., 2023). Studi terbaru juga mengonfirmasi bahwa limbah kopi tergolong substrat yang resisten terhadap degradasi mikroba tanpa perlakuan pendahuluan (Sugebo, 2022; Pongsiriyakul et al., 2024) sehingga fermentasi dengan *T. viride* pada penelitian ini belum mampu memicu perubahan nyata pada fraksi bahan kering.

Fermentasi yang berlangsung secara aerob mendorong pemanfaatan substrat melalui respirasi mikroba, dengan penggunaan air untuk metabolisme dan pelepasan energi dalam bentuk panas dan CO_2. Namun, pemanfaatan air dan panas metabolik tersebut diduga belum cukup intensif untuk menurunkan kadar air substrat secara berarti, sehingga kandungan bahan kering relatif stabil antar perlakuan (David et al., 2021). Meskipun terdapat kecenderungan peningkatan bahan kering secara numerik seiring peningkatan inokulum, variasi yang dihasilkan relatif kecil dan tidak signifikan.

2. Kandungan Serat Kasar Kulit Kopi Fermentasi

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa fermentasi kulit kopi menggunakan *T. viride* variasi tingkat inokulum tidak memberikan pengaruh yang signifikan (P>0,05) terhadap kandungan serat kasar. Nilai rataan serat kasar tertinggi diperoleh pada perlakuan kontrol (TV0) sebesar 25,54%, sedangkan nilai terendah terdapat pada perlakuan TV5 sebesar 23,94% (Gambar 2).



Gambar 2. Rataan serat kasar kulit kopi fermentasi (TV0= Tanpa *T. viride;* TV5= 10^5 spora/g; TV6=10^6 spora/g; TV7= 10^7 spora/g)

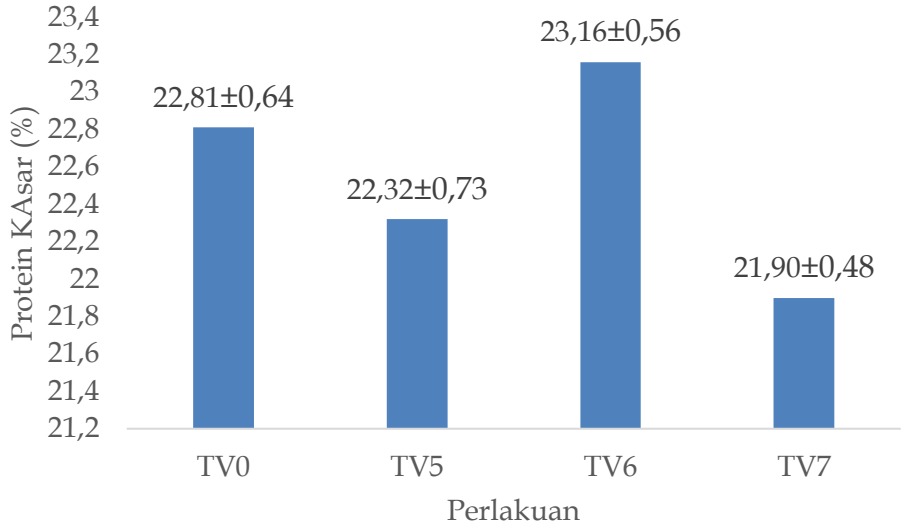
Meskipun secara numerik terjadi penurunan kandungan serat kasar pada perlakuan dengan penambahan *T. viride*, perbedaan tersebut belum menunjukkan respons yang signifikan secara statistik. Secara teoritis, kapang selulolitik seperti *T. viride* mampu menurunkan komponen serat struktural melalui aktivitas enzim selulase dan hemiselulase. Namun, hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa degradasi fraksi serat kulit kopi belum berlangsung optimal. Kondisi ini diduga berkaitan dengan tingginya kandungan lignoselulosa pada kulit kopi, terutama lignin, yang bersifat resisten terhadap degradasi biologis serta dapat menghambat akses enzim terhadap matriks selulosa dan hemiselulosa.

Suksong et al., (2019) melaporkan bahwa fermentasi tidak selalu memberikan pengaruh nyata terhadap serat kasar akibat resistensi substrat, serta dipengaruhi oleh jenis mikroorganisme, dosis inokulum, dan kondisi fermentasi. Chen et al., (2025) juga menyatakan bahwa kemampuan kapang dalam mendegradasi serat sangat bergantung pada kesesuaian antara mikroorganisme dan struktur substrat. Selain itu, kondisi lingkungan seperti suhu, pH, kelembapan, ketersediaan oksigen, dan lama fermentasi berperan penting dalam menentukan aktivitas metabolik mikroba (Walters et al., 2024). Data pH hasil fermentasi yang telah dilaporkan sebelumnya berada pada kisaran 4.05–4.44 (Pratama dan Jamilah, 2024), yang menunjukkan kondisi asam masih optimal bagi aktivitas mikroba fermentatif. Namun, kondisi pH tersebut belum mampu memberikan pengaruh nyata terhadap penurunan kandungan serat kasar substrat fermentasi. Hal ini menunjukkan bahwa degradasi serat kasar tidak hanya dipengaruhi oleh pH, tetapi juga oleh jenis mikroorganisme, aktivitas enzim lignoselulolitik, lama fermentasi, serta kompleksitas struktur lignoselulosa bahan yang digunakan. Pada penelitian ini, fermentasi aerob selama 21 hari diduga belum cukup untuk mendegradasi fraksi lignoselulosa kulit kopi secara optimal. Di sisi lain, peningkatan serat kasar juga dapat terjadi akibat akumulasi biomassa kapang berupa hifa dan miselium yang terukur sebagai fraksi serat dalam analisis proksimat (Muwakhid et al., 2023), sebagaimana dilaporkan pula pada fermentasi kulit buah kakao oleh (Bahari et al., 2023).

3. Kandungan Protein Kasar Kulit Kopi Fermentasi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa fermentasi kulit kopi dengan penambahan *T. viride* variasi tingkat inokulum tidak memberikan pengaruh yang nyata (P>0,05) terhadap kandungan protein kasar. Nilai protein kasar kulit kopi fermentasi berada pada kisaran 21,90–23,16%, dengan

nilai tertinggi diperoleh pada perlakuan TV6 (10^6 spora/g) dan terendah pada TV7 (10^7 spora/g) (Gambar 3).



Gambar 3. Rataan protein kasar kulit kopi fermentasi (TV0= Tanpa *T. viride;* TV5= 10^5 spora/g; TV6= 10^6 spora/g; TV7= 10^7 spora/g)

Kondisi ini mengindikasikan bahwa peningkatan dosis inokulum *T. viride* tidak secara linier meningkatkan kandungan protein kasar selama fermentasi. Bahkan, secara numerik kandungan protein kasar cenderung menurun pada perlakuan dengan tingkat inokulum yang lebih tinggi. Kondisi tersebut diduga berkaitan dengan meningkatnya aktivitas metabolisme kapang seiring bertambahnya kepadatan spora, sehingga nitrogen yang tersedia lebih banyak dimanfaatkan untuk proses pertumbuhan dan pemeliharaan sel mikroba dibandingkan terakumulasi sebagai protein dalam substrat fermentasi. Selain itu, aktivitas degradasi substrat oleh mikroorganisme selama fermentasi aerob juga berpotensi menyebabkan sebagian senyawa nitrogen mengalami kehilangan dalam bentuk volatil atau dimanfaatkan kembali dalam proses metabolisme mikroba. Tidak berbedanya protein kasar antar perlakuan menunjukkan bahwa peningkatan nitrogen belum sepenuhnya terkonversi menjadi protein sejati mikroba, melainkan lebih dipengaruhi oleh nitrogen non-protein (NPN), terutama dari penambahan urea yang meningkatkan nilai protein kasar berdasarkan metode Kjeldahl tanpa diikuti peningkatan biomassa mikroba. Dengan demikian, tingginya protein kasar lebih merefleksikan akumulasi nitrogen total dibandingkan sintesis protein mikroorganisme.

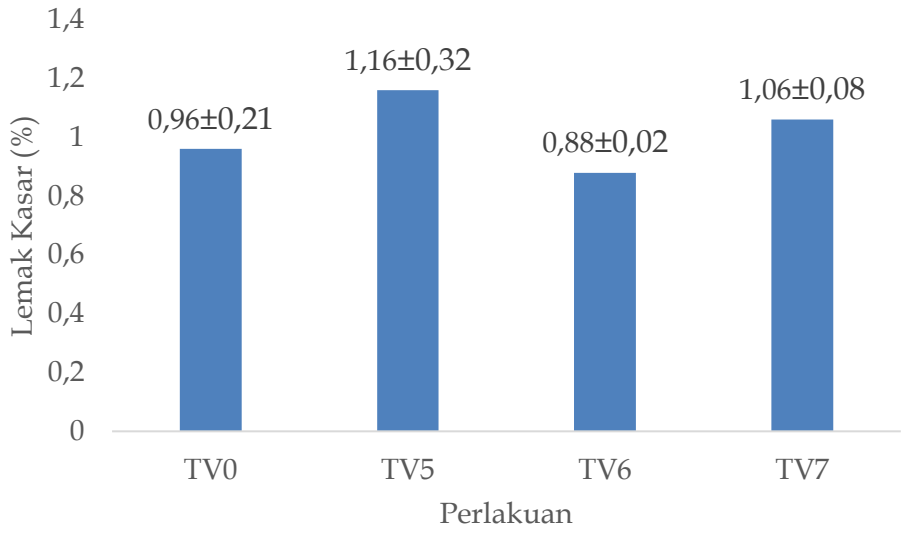
Hasil ini sejalan dengan Muwahid, (2021) yang melaporkan bahwa fermentasi bahan berserat menggunakan *T. viride* tidak berpengaruh signifikan terhadap protein kasar. Tala dan Irfan, (2018) juga menyatakan bahwa keterbatasan sumber karbon yang mudah difermentasi menyebabkan nitrogen lebih banyak dimanfaatkan untuk metabolisme mikroba dibandingkan pertumbuhan sel. Peningkatan dosis *T. viride* hingga 10^7 spora /g diduga menimbulkan kompetisi antar mikroorganisme dalam memanfaatkan substrat, sehingga menurunkan efisiensi fermentasi dan akumulasi protein mikroba. Liliani et al., (2024) melaporkan bahwa kepadatan mikroba yang tinggi pada fermentasi limbah kopi dapat menurunkan efektivitas fermentasi akibat keterbatasan nutrien.

Fermentasi aerobik selama 21 hari juga memengaruhi dinamika nitrogen, di mana sebagian nitrogen digunakan untuk respirasi dan pemeliharaan sel mikroba, bukan sintesis protein struktural. Ketidakseimbangan rasio karbon dan nitrogen dapat membatasi pembentukan biomassa mikroba meskipun inokulum diberikan dalam jumlah tinggi (Priyati et al., 2024). Berbeda dengan hasil

tersebut, Muwakhid et al., (2021) melaporkan peningkatan protein kasar pada fermentasi limbah umbi menggunakan *T. viride*, yang diduga terkait dengan ketersediaan pati sebagai sumber energi bagi pertumbuhan mikroba. *T. viride* menghasilkan enzim hidrolitik seperti selulase dan amilase yang berperan dalam menghidrolisis senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana yang dimanfaatkan untuk sintesis protein mikroba (Sulieman et al., 2023).

4. Kandungan Lemak Kasar Kulit Kopi Fermentasi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan fermentasi kulit kopi menggunakan *T. viride* variasi tingkat inokulum tidak memberikan pengaruh yang signifikan (P>0,05) terhadap kandungan lemak kasar (gambar 4). Nilai lemak kasar yang diperoleh pada seluruh perlakuan berada pada kisaran 0,88–1,16%, yang menunjukkan bahwa peningkatan jumlah koloni *T. viride* belum mampu memodifikasi fraksi lipid kulit kopi secara nyata.



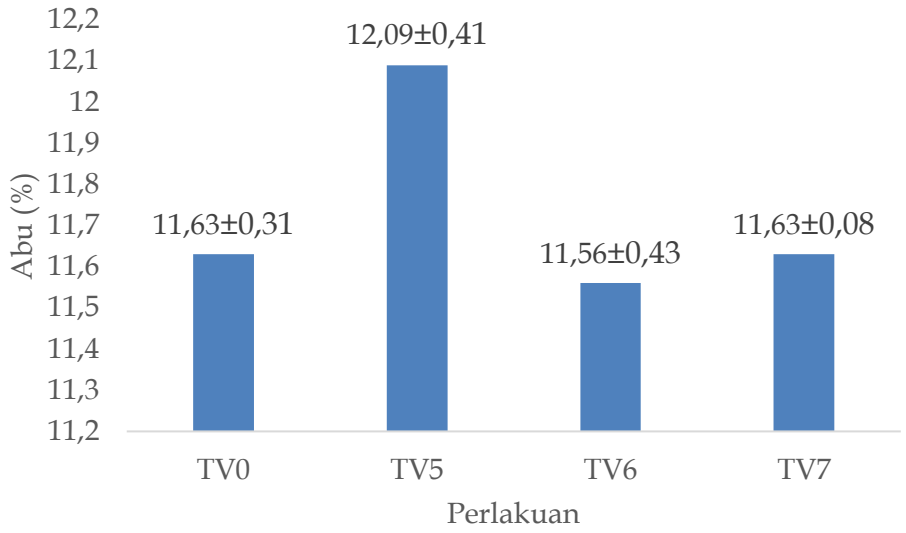
Gambar 4. Rataan lemak kasar kulit kopi fermentasi (TV0= Tanpa *T. viride;* TV5= 10^5 spora/g; TV6= 10^6 spora/g; TV7= 10^7 spora/g)

Tidak berbedanya kandungan lemak kasar antar perlakuan diduga berkaitan dengan rendahnya kandungan lemak awal kulit kopi sebagai substrat fermentasi, sehingga peluang terjadinya perubahan fraksi lipid selama fermentasi menjadi relatif terbatas. Hasil ini tidak sejalan dengan laporan Ngaji et al., (2016) yang menunjukkan bahwa kandungan lemak kasar kulit buah kopi cenderung menurun setelah fermentasi menggunakan *Trichoderma reesei*. Perbedaan hasil tersebut diduga berkaitan dengan perbedaan jenis mikroorganisme, aktivitas enzimatik, dan kondisi fermentasi yang digunakan.

Menurut Juliantoni et al., (2018), lemak kasar merupakan fraksi nutrien yang relatif lebih stabil dan lebih resisten terhadap degradasi mikroba dibandingkan karbohidrat dan protein, sehingga memerlukan aktivitas enzim lipolitik yang cukup tinggi untuk mengalami perubahan. Secara fisiologis, Trichoderma viride lebih dominan menghasilkan enzim selulolitik dan hemiselulolitik untuk mendegradasi komponen lignoselulosa, sedangkan aktivitas lipase bersifat sekunder dan bukan merupakan jalur metabolisme utama (Solehudin et al., 2024). Oleh karena itu, peningkatan tingkat inokulum belum mampu menghasilkan perubahan signifikan terhadap kandungan lemak kasar kulit kopi fermentasi. Chalisty, (2021) juga menyatakan bahwa perubahan kandungan lemak kasar selama fermentasi dipengaruhi oleh aktivitas enzim lipolitik, ketersediaan nutrien, struktur substrat, dan interaksi antar mikroorganisme.

5. Kandungan Abu Kulit Kopi Fermentasi

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa penggunaan *T. viride* variasi tingkat inokulum tidak memberikan pengaruh yang signifikan (P>0,05) terhadap kadar abu kulit kopi fermentasi. Nilai rataan kadar abu pada seluruh perlakuan berada pada kisaran 11,56–12,09%, yang menunjukkan bahwa peningkatan dosis *T. viride* hingga 10^7 spora /g belum mampu mengubah fraksi anorganik kulit kopi secara nyata. Meskipun secara numerik terdapat perbedaan nilai rataan antar perlakuan, variasi tersebut relatif kecil sehingga tidak menghasilkan perbedaan statistik yang signifikan (Gambar 5).



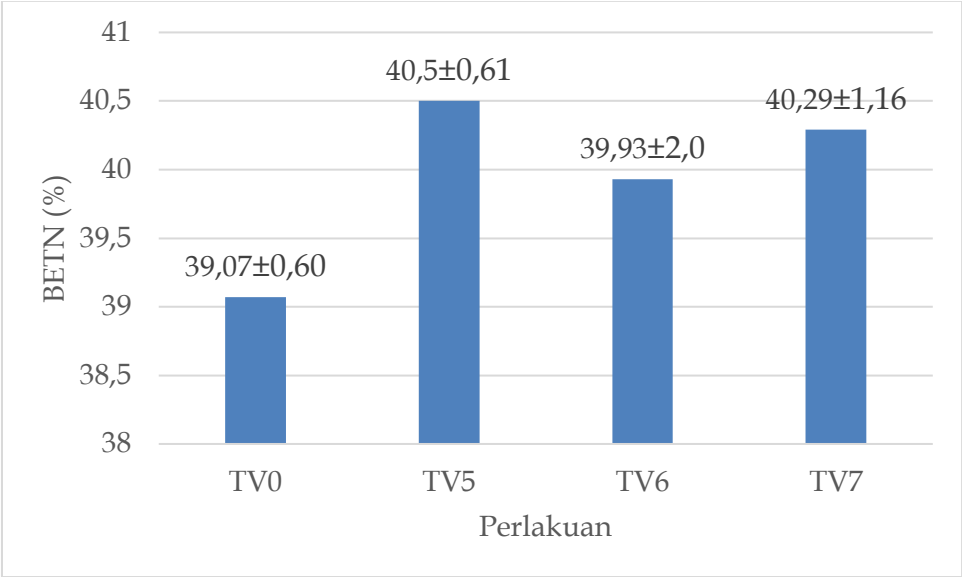
Gambar 5. Rataan abu kulit kopi fermentasi (TV0= Tanpa *T. viride;* TV5= 10^5 spora/g; TV6= 10^6 spora/g; TV7= 10^7 spora/g)

Kadar abu merupakan indikator kandungan mineral total dalam bahan pakan dan relatif stabil terhadap perlakuan biologis, khususnya fermentasi mikroba. Tidak signifikannya kadar abu pada penelitian ini menunjukkan bahwa aktivitas fermentasi oleh *T. viride* lebih berfokus pada degradasi senyawa organik dibandingkan senyawa anorganik. *T. viride* menghasilkan enzim hidrolitik seperti selulase, hemiselulase, dan ligninase yang berperan dalam perombakan dinding sel lignoselulosa tanpa secara langsung mempengaruhi kandungan mineral substrat (Zhang et al., 2023).

Hasil ini sejalan dengan Nurhayati et al., (2020) yang melaporkan *Trichoderma* lebih selektif terhadap fraksi organik, sehingga hal ini mengindikasikan bahwa kapang tersebut tidak selektif pada mineral anorganik. Dengan demikian, stabilnya kadar abu kulit kopi fermentasi mencerminkan bahwa mineral dalam substrat relatif tidak mengalami perubahan akibat aktivitas mikroba. Pada penelitian ini, kondisi fermentasi aerobik selama 21 hari dan dosis *T. viride* yang digunakan diduga belum menyebabkan degradasi bahan organik secara maksimal, sehingga proporsi mineral tetap stabil.

6. Kandungan BETN Kulit Kopi Fermentasi

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam yang disajikan pada gambar 6, pemberian kapang *T. viride* dengan variasi tingkat inokulum tidak berpengaruh nyata (P>0,05) terhadap kadar BETN kulit kopi fermentasi. Nilai rataan BETN pada semua perlakuan berada dalam kisaran yang relatif sempit, yaitu antara 39,07% hingga 40,50%. Hasil ini menunjukkan bahwa aktivitas fermentasi *T. viride* dalam rentang dosis yang diuji tidak secara signifikan mengubah fraksi karbohidrat mudah larut (BETN) dalam substrat.



Gambar 6. Rataan BETN kulit kopi fermentasi (TV0= Tanpa *T. viride;* TV5= 10^5 spora/g; TV6= 10^6 spora/g; TV7= 10^7 spora/g)

Hal ini diduga karena sifat enzimatik *T. viride* yang lebih selektif terhadap komponen struktural tanaman. Kapang ini terutama menghasilkan enzim selulase dan ligninase yang berperan dalam degradasi lignin, selulosa, dan hemiselulosa, sementara fraksi BETN yang tersusun dari karbohidrat non-struktural bukan target degradasi utama (Muwakhid et al., 2023). Oleh karena itu, perbedaan jumlah spora belum cukup menghasilkan variasi degradasi BETN yang nyata.

Meskipun tidak signifikan secara statistik, kecenderungan peningkatan BETN pada perlakuan fermentasi (terutama TV5) dapat dijelaskan melalui perombakan sekunder, di mana degradasi serat kasar menghasilkan senyawa sederhana yang masuk ke fraksi BETN (Yakin dan Mulyono, 2017). Sebaliknya, BETN juga dapat menurun akibat pemanfaatan karbohidrat mudah larut oleh mikroba sebagai sumber energi selama fermentasi (Hofit et al., 2019). Dinamika ini menyebabkan fluktuasi BETN, namun efek akhirnya belum cukup besar untuk menimbulkan perbedaan nyata antar perlakuan. Penelitian ini berbeda dengan yang dilaporkan oleh Ngaji et al., (2016), yang menunjukkan adanya perubahan kandungan nutrient kulit buah kopi akibat aktivitas fermentasi kapang. Perbedaan tersebut mengindikasikan bahwa respons BETN terhadap fermentasi sangat dipengaruhi oleh interaksi antara jenis substrat, aktivitas mikroorganisme, tingkat inokulum, dan kondisi fermentasi yang digunakan.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa fermentasi kulit kopi menggunakan *T. viride* dengan jumlah inokulum yang berbeda selama 21 hari belum memberikan pengaruh terhadap kualitas kimia limbah kulit kopi, yang meliputi komponen nutrisi berupa bahan kering, serat kasar, protein kasar, lemak kasar, abu, serta BETN meskipun terlihat sedikit perubahan pada perlakuan 10^6 spora/g. Stabilnya komposisi nutrien tersebut menunjukkan bahwa peningkatan level inokulum *T. viride* belum mampu mengoptimalkan degradasi nutrien kulit kopi, yang diduga berkaitan dengan tingginya kandungan lignin serta sifat substrat yang resisten terhadap degradasi biologis.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menerapkan perlakuan pendahuluan (*pretreatment*), baik secara fisik maupun kimia, guna menurunkan kompleksitas lignoselulosa dan meningkatkan akses enzim mikroba terhadap substrat.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik. (2024). Statistik Kopi Indonesia. Katalog : 5504006 (Vol. 8). https://www.bps.go.id/id/publication/2024/11/29/d748d9bf594118fe112fc51e/statistik-kopi-indonesia-2023.html.

Bahari, I. K., Iriyanti, N., dan Widiyastuti, T. (2023). Kadar Serat Kasar dan Protein Kasar Kulit Buah Kakao Yang Difermentasi Secara Bertingkat Menggunakan *Trichoderma viride* dan *Saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Peternakan,* 11(1), 18–25. https://doi.org/10.20956/jitp.v11i1.20923.

Begna, R., and Masho, W. (2024). Valuation of livestock population and national feed security to enhance livestock productivity in Ethiopia. *Veterinary Medicine and Science,* 10(3), e1415. https://doi.org/10.1002/vms3.1415.

Brata, B. (2008). Uji Lama Fermentasi dan Persentase Inokulum Melalui Kapang Trichoderma harzianum terhadap Peningkatan Kualitas Isi Rumen Sebagai Pakan Ayam. *Jurnal Sain Peternakan Indonesia*, 2(3), 63–68.

Chalisty, V. D. 2021. Pengaruh Penambahan Molases, *Lactobacillus Plantarum, Trichoderma Viride*, dan Campurannya Terhadap Komposisi Kimia Silase Total Campuran Hijauan. *Jurnal Sains Peternakan Nusantara,* 1(01), 29–36. https://doi.org/10.53863/jspn.v1i01.187.

Chen, M., Li, Q., Liu, C., Meng, E., and Zhang, B. (2025). Microbial Degradation of Lignocellulose for Sustainable Biomass Utilization and Future Research Perspectives. *Sustainability (Switzerland),* 17(9), 4223. https://doi.org/10.3390/su17094223.

Daning, D. R. A., dan Karunia, D. A. (2018). Teknologi Fermentasi Menggunakan Kapang Trichoderma sp untuk Meningkatkan Kualitas Nutrisi Kulit Kopi sebagai Pakan Ternak Ruminansia. *Jurnal Agriekstensia,* 17(1), 70-76. https://doi.org/10.34145/agriekstensia.v17i1.75.

David, L. A., Bagau, B., dan Telleng, M. M. (2021). Pengaruh lama pemeraman berbeda terhadap kualitas fisik dan pH silase sorgum varietas Samurai 2 Ratun ke satu. *Zootec,* 41(2), 464–471. https://doi.org/10.35792/zot.41.2.2021.36739.

Hofit, A., Muwakhid, B., dan Kentjonowaty, I. (2019). Pengaruh Alkalinasi Air Kapur dan Fermentasi Jerami Jagung Menggunakan *Aspergilus niger* Terhadap Kandungan Bahan Kering (BK), Bahan Organik (BO) dan Serat Kasar (SK). *Jurnal Rekasatwa Peternakan,* 1(1), 17–21. https://doi.org/10.33474/rekasatwa.v1i1.2178.

Juliantoni, J., Mucra, D. A., dan Febrina, D. (2018). Kandungan Nutrisi Serat Buah Kelapa Sawit Yang Difermentasi Dengan Feses Kerbau Pada Level Yang Berbeda. *Jurnal Peternakan,* 15(1), 37–46. https://doi.org/10.24014/jupet.v15i1.4319.

Karyono, T., dan Novita, R. (2021). Fermentasi Limbah Kulit Kopi (*Coffea Sp*) dengan Mol Bonggol Pisang Air Kelapa Sebagai Pakan Ternak Ruminansia. *Jurnal Peternakan Indonesia,* 23(3), 276. https://doi.org/10.25077/jpi.23.3.276-283.2021.

Kubiak, A., Pilarska, A. A., Wolna-Maruwka, A., Niewiadomska, A., and Panasiewicz, K. (2023). The Use of Fungi of the Trichoderma Genus in Anaerobic Digestion: A Review. *International Journal of Molecular Sciences,* 24, 17576. https://doi.org/10.3390/ijms242417576.

Latimer, J. (2023). Official Methods of Analysis of AOAC International 22nd Edition. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/9780197610145.002.001.

Liliani, E., Marlida, Y., Yuniza, A., dan Ardani, L. R. (2024). Perbaikan Kandungan Protein Kasar dan Serat Kasar Limbah Kopi (*Coffea canephora*) Yang Difermentasi Menggunakan *Trichoderma reesei*. *Wahana Peternakan,* 8(1), 1–9. https://doi.org/10.37090/jwputb.v8i1.1149.

Muwahid, B. (2021). Pengaruh Level Pemberian *Trichoderma viride* Untuk Fermentasi Jerami Padi Teramoniasi Terhadap Kualitas Nutrisi dan Tingkat Kecernaan. *Prosiding Seminar Nasional Hasil-Hasil Penelitian,* 4(1), 276–280.

Muwakhid, B., Kalsum, U., dan Rifa'i, R. (2023). Kualitas Jerami Jagung (*Zea mays*) yang di Fermentasi dengan *Aspergillus niger* Sebagai Pakan Ternak. *Jurnal Nutrisi Ternak Tropis,* 6(2), 98–103. https://doi.org/10.21776/ub.jnt.2023.006.02.4.

Muwakhid, B., Subagyo, D., dan Rifa'i. (2021). *Trichoderma viride* Pada Fermentasi Limbah Garut Terhadap Kadar Protein Kasar (PK) dan Serat Kasar (SK). *Agriovet,* 4(1), 121-124. https://doi.org/10.51158/agriovet.v4i1.596.

Muzaifa, M., Abubakar, Y., Sulaiman, M. S., Rahmi, F., dan Andini, R. (2022). Pengenalan Produk Inovasi Pengolahan Limbah Biji Kopi Melalui Proses Fermentasi Menjadi Minuman Kesehatan "*Kombucha Cascara*". *ABDIKU: Jurnal Pengabdian Masyarakat Universitas Mulawarman,* 1(2), 12–16. https://doi.org/10.32522/abdiku.v1i2.

Ngaji, H. S., Saleh, A., dan Nenobais, M. (2016). Pengaruh Fermentasi Kulit Buah Kopi dengan Trichoderma Reseei yang Ditambah Zn-Cu Isoleusinat Terhadap Perubahan Kandungan Nutrisi. *Jurnal Nukleus Peternakan*, 3(1), 9–16.

Nurhayati, Berliana, dan Nelwida. 2020. Kandungan nutrisi ampas tahu yang difermentasi dengan *Trichoderma viride*, *Saccaromyces cerevisiae* dan kombinasinya. *Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Peternakan,* 23(12), 104–113. https://doi.org/10.22437/jiiip.v23i2.12938.

Pérez-Contreras, S., Avalos-de la Cruz, D. A., Lizardi-Jiménez, M. A., Herrera-Corredor, J. A., Baltazar-Bernal, O., and Hernández-Martínez, R. (2025). Production of Ligninolytic and Cellulolytic Fungal Enzymes for Agro-Industrial Waste Valorization: Trends and Applicability. In *Catalysts,* 15(1), 1-17. https://doi.org/10.3390/catal15010030.

Pongsiriyakul, K., Wongsurakul, P., Kiatkittipong, W., Premashthira, A., Kuldilok, K., Najdanovic-Visak, V., Adhikari, S., Cognet, P., Kida, T., and Assabumrungrat, S. (2024). Upcycling Coffee Waste: Key Industrial Activities for Advancing Circular Economy and Overcoming Commercialization Challenges. *Processes,* 12(12), 1-69. https://doi.org/10.3390/pr12122851

Pratama, S. M., Wajizah, S., Jayanegara, A., and Samadi. (2018). Evaluation of Agro-Industrial By Products as Potential Local Feed for Ruminant Animals: Chemical Composition, Fiber Fractions and In Vitro Rumen Fermentation. *Animal Production,* 20(3), 155–164. https://doi.org/10.20884/1.jap.2018.20.3.715.

Priyati, A., Rochini Setiawati, M., and Sujana, E. (2024). The Different C/N Ratio of Quail Feces and Rice Straw Mixture Affect Temperature Change, Microbial Count, Organic-C Content, And Total N Content In Early Decomposition Results. *Jurnal Ilmu Ternak Universitas Padjadjaran,* 24(2), 220–227. https://doi.org/10.24198/jit.v24i2.58201.

Solehudin, S., Hernaman, I., Ayuningsih, B., dan Pamungkas, D. (2024). Efektivitas Amoniasi, Fermentasi, dan Amoniasi Fermentasi dengan *Trichoderma harzianum* pada Jerami Sereh Wangi (*Cymbopogon nardus*). *Jurnal Agripet,* 24(1), 51–56. https://doi.org/10.17969/agripet.v24i1.29594.

Sugebo, B. (2022). A review on enhanced biofuel production from coffee by-products using different enhancement techniques. *Materials for Renewable and Sustainable Energy,* 11(2), 91–103. https://doi.org/10.1007/s40243-022-00209-0.

Suksong, W., Mamimin, C., Prasertsan, P., Kongjan, P., and O-Thong, S. (2019). Effect of inokulum types and microbial community on thermophilic and mesophilic solid-state anaerobic digestion of empty fruit bunches for biogas production. *Industrial Crops and Products,* 133, 193–202. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.005.

Sulieman, A. M. E., Siham, M. H., Wasima, A., Alshammari, N., and Salih, Z. A. (2023). Capability of Trichoderma viride to Produce Cellulolytic and Pectolytic Enzymes How to Cite: Capability of *Trichoderma viride* to Produce Cellulolytic and Pectolytic Enzymes. *Advancements in Life Sciences,* 10(3), 491–497. https://doi.org/10.62940/als.v10i3.2097.

Sunardi, Seftian, W., & Daryatmo, J. (2023). Pengaruh Penambahan Trichoderma spdan Lama Fermentasi Terhadap pH, Sifat Fisik dan Kandungan Nutrisi Jerami Kacang Tanah Fermentasi. *Jurnal Ilmiah Peternakan Terpadu*, 5(2), 159-171. https://doi.org/10.36626/jppt.v5i2.1183.

Tala, S., dan Irfan, M. (2018). Efek Lama Penyimpanan Fermentasi Jerami Padi Oleh *Trichoderma sp.* Terhadap Kandungan Protein dan Serat Kasar. *Jurnal Galung Tropika,* 7(3), 162–168. https://doi.org/10.31850/jgt.v7i3.385.

Walters, K. A., Myers, K. S., Ingle, A. T., Donohue, T. J., and Noguera, D. R. (2024). Effect of Temperature and pH on Microbial Communities Fermenting a Dairy Coproduct Mixture. *Fermentation,* 10(8), 1-24. https://doi.org/10.3390/fermentation10080422.

Yahya, R., Irwan, M., dan Armayani, M. (2023). Pengaruh Lama Fermentasi Tumpi Jagung Menggunakan Yakult Sebagai Alternatif Pengolahan Pakan Ternak Ruminansia. *Jurnal Peternakan Lokal*, 5(2), 95-104. https://doi.org/https://doi.org/10.46918/peternakan.v5i2.1876.

Yakin, E. A., dan Mulyono, A. M. W. (2017). Pengaruh Lama Fermentasi Terhadap Aktivitas Enzim Dan Lignin Pada Proses Fermentasi Kulit Buah Kakao Menggunakan Kapang (*Phanerochaete chrysosporium*). *Agrisaintifika Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian,* 1(2), 152–157. https://doi.org/10.32585/ags.v1i2.51.

Zhang, Y., Wang, R., Liu, L., Wang, E., Yang, J., and Yuan, H. (2023). Distinct lignocellulolytic enzymes produced by *Trichoderma harzianum* in response to different pretreated substrates. *Bioresource Technology,* 378, 128990. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128990.