Abdimas Indonesian Journal
Vol. 6, 2 (July-December, 2026), pp. 401-414
EISSN: 2808-5094, DOI: https://doi.org/10.59525/aij.2220

Dari Lereng Ijen ke Pasar Specialty: Pemberdayaan Kelompok Tani Kopi Lego melalui Fermentasi Carbonic Maceration

Halil[1], Kurniawan Muhammad Nur[1], Karina Meidayanti[1], Aulia Wardhani[1], Wulandari[1]

[1] Politeknik Negeri Banyuwangi, Indonesia

ARTICLE INFO

Keywords:

Carbonic Maceration;
kopi specialty;
farmer empowerment;
anaerobic enzyme;
Lego coffee.

Article history:

Received 2026-09-20
Revised 2026-10-23
Accepted 2026-11-27

ABSTRACT

Kelompok Tani Kopi Lego di Banyuwangi faces challenges with conventional post-harvest processing, resulting in standard flavor profiles and low selling prices. This community service program aims to implement Carbonic Maceration (CM) fermentation to produce specialty coffee. The methods included coordination, Focus Group Discussions (FGD), initial assessments, theoretical counseling on CM, the construction of a simple fermentor, fermentation practice, and simulations of specialty coffee brewing (V60, French Press, Espresso, Cold Brew). Evaluation was conducted through pre-tests, post-tests, and cupping tests. The results showed a significant increase in partners' knowledge from an average pre-test score of 45/100 to 82/100 on the post-test. A CM fermentor with an 80 kg capacity was successfully built and operated. The first batch of fermentation using 50 kg of coffee cherries ran according to protocol (72 hours, temperature 26–29°C, pH 5.6–5.9). Cupping tests indicated a potential quality improvement toward specialty grade, characterized by fruity and complex flavor profiles. Laboratory tests showed a pH of 5.21 and a Total Dissolved Solids (TDS) of 8.28%, indicating successful fermentation in producing pleasant acidity and ideal espresso extraction (8–12% TDS). The brewing simulation demonstrated the flexibility of CM coffee across various methods. Challenges such as temperature fluctuations and farmers' time constraints were overcome through intensive monitoring and schedule adjustments. This program is expected to improve coffee quality and strengthen the bargaining position of Lego coffee in the specialty market.

This is an open access article under the CC BY license.

Corresponding Author:
Halil
Politeknik Negeri Banyuwangi, Indonesia; halil@poliwangi.ac.id

1. PENDAHULUAN

Kopi merupakan salah satu komoditas unggulan Kabupaten Banyuwangi yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan menjadi produk bernilai tinggi. Salah satu sentra produksi kopi di Banyuwangi adalah Kampung Kopi Lerek Gombengsari, yang terletak di Kecamatan Kalipuro, Kabupaten Banyuwangi. Kelompok Tani Kopi Lego yang bernaung di kawasan ini telah lama menggeluti

budidaya kopi robusta di lereng Gunung Ijen pada ketinggian 400–600 meter di atas permukaan laut (mdpl). Kondisi geografis tersebut merupakan lokasi ideal untuk menghasilkan kopi dengan karakteristik cita rasa khas. Mitra merupakan sentra produksi kopi robusta yang dikelola secara kolektif oleh para petani di kawasan tersebut, dengan penanggung jawab mitra Bapak Hariyono, S.Pd., yang juga berperan sebagai penggerak utama dalam pengembangan agrowisata kopi di wilayah ini.

Namun, potensi tersebut belum tergarap secara optimal. Selama bertahun-tahun, mitra masih mengandalkan metode pengolahan pasca panen konvensional, seperti *natural process* atau *honey process* sederhana (Tapaningsih, 2020; Tapaningsih & Lestari, 2021). Proses fermentasi yang dilakukan masih bersifat alami tanpa kontrol yang memadai terhadap parameter penting seperti waktu, suhu, dan kondisi anaerobik. Akibatnya, cita rasa kopi yang dihasilkan cenderung standar dan belum mampu menciptakan diferensiasi produk di pasar. Harga jual *green bean* mitra pun relatif rendah dan fluktuatif mengikuti harga pasar komoditas. Kondisi ini diperparah oleh belum adanya sistem penanganan pasca panen yang terstandar, terutama pada periode kritis antara panen dan proses pengolahan. Hasil riset tim pengusul Halil et al. (2026) menemukan bahwa terjadi kehilangan massa hingga 20,63% dalam rentang waktu 8 jam antara pemanenan dan proses pengolahan akibat penguapan air dan penanganan fisik. Temuan ini menunjukkan bahwa potensi pendapatan petani telah menurun bahkan sebelum proses produksi dimulai.

Dari sisi hilir, produk kopi mitra selama ini dijual dalam bentuk green bean tanpa melalui proses diferensiasi yang signifikan. Mitra belum memiliki identitas merek (*brand*) yang kuat dan cerita (*storytelling*) yang mampu mengkomunikasikan keunikan produknya kepada konsumen akhir. Padahal, letak geografis yang berada di kawasan wisata dan dekat dengan Kawah Ijen seharusnya menjadi nilai jual yang besar. Kemasan yang digunakan masih sangat sederhana, dan strategi pemasaran digital belum dioptimalkan (Halil et al., 2025, 2026; Nur et al., 2025). Hal ini menyebabkan akses ke pasar kopi *specialty* yang memiliki nilai jual tinggi masih terbatas. Dari sisi kelembagaan, meskipun mitra tergabung dalam wadah Kampung Kopi Lerek, penguatan kapasitas kelompok dalam mengelola usaha bersama masih perlu ditingkatkan. Koordinasi antar petani dalam hal standardisasi mutu dan pemasaran bersama masih bersifat parsial. Padahal, potensi agrowisata yang ada dapat menjadi pintu masuk untuk memperkenalkan produk kopi unggulan kepada wisatawan, baik domestik maupun mancanegara.

Di sisi lain, pasar kopi specialty terus berkembang, terutama di kalangan konsumen muda (Gen Z) yang mendominasi pasar kopi masa kini. Kopi *specialty* adalah kopi dengan skor Specialty Coffee Association (SCA) minimal 80, yang dinilai memiliki kualitas cita rasa luar biasa. Untuk masuk ke pasar ini, diperlukan inovasi proses pengolahan yang mampu menghasilkan profil rasa yang kompleks, *fruity*, dan bersih (Azmi et al., 2024). Salah satu teknologi yang terbukti mampu menghasilkan kopi specialty adalah fermentasi *Carbonic Maceration* (CM) (Brioschi Junior et al., 2021; Hernández-Alcántara et al., 2023). CM adalah metode fermentasi anaerobik yang berasal dari industri anggur dan kini diadopsi dalam pengolahan kopi specialty (Novida et al., 2025; Reta et al., 2025). Prinsip utamanya adalah memfermentasi buah ceri kopi utuh (dengan kulit) dalam kondisi kedap udara tanpa oksigen, sehingga terjadi fermentasi intraseluler yang menghasilkan profil cita rasa kompleks, *fruity*, dan bersih.

Metode ini telah terbukti secara ilmiah melalui riset tim pengusul. Nur et al., (2025) membuktikan bahwa fermentasi CM pada kopi Arabika Ijen-Raung selama 48–72 jam menghasilkan kopi dengan kualifikasi "sangat baik" (*excellent*) berdasarkan standar SCA, dengan peningkatan signifikan pada aroma, flavor, dan warna. (Halil et al., 2026) juga mengonfirmasi kelayakan finansial penerapan CM, dengan peningkatan harga jual green bean hingga 51,9% dan peningkatan pendapatan petani sebesar 60,0%. Analisis *Net Present Value* (NPV) yang positif, *Internal Rate of Return* (IRR) 44,1%, dan payback period 1,68 tahun mengonfirmasi bahwa inovasi ini sangat layak secara finansial dan dapat menjadi strategi efektif untuk meningkatkan kesejahteraan petani.

Meskipun berbagai riset telah membuktikan keunggulan fermentasi CM, adopsi teknologi ini di tingkat petani kecil masih menghadapi tantangan tersendiri. Sebagian besar literatur mengenai CM lebih banyak berfokus pada kopi arabika yang memiliki nilai jual tinggi, sementara penelitian yang mengeksplorasi penerapan CM pada kopi robusta masih sangat terbatas (Várady et al., 2022). Padahal,

kopi robusta memiliki pangsa pasar yang besar, terutama di Indonesia, dan seringkali dianggap sebagai komoditas kelas dua dibandingkan arabika. Stigma ini diperparah oleh proses pengolahan konvensional yang kurang memperhatikan aspek fermentasi, sehingga potensi robusta untuk menghasilkan profil rasa yang kompleks dan bernilai tambah belum banyak tereksplorasi. Oleh karena itu, penerapan CM pada kopi robusta bukan hanya sekadar inovasi proses, tetapi juga bentuk upaya untuk mengangkat derajat komoditas ini di mata konsumen dan pasar *specialty*.

Selain itu, keberhasilan adopsi teknologi di tingkat petani tidak dapat dilepaskan dari kesiapan kelembagaan kelompok tani. Kelompok Tani Kopi Lego sebagai mitra memiliki struktur organisasi yang telah berjalan, namun masih memerlukan penguatan dalam hal standardisasi mutu dan manajemen produksi bersama. Pengenalan teknologi CM harus dibarengi dengan transfer pengetahuan yang komprehensif, mulai dari pemahaman prinsip dasar fermentasi anaerobik, kemampuan memantau parameter kritis, hingga keterampilan dalam menjaga konsistensi kualitas antar-batch produksi. Tanpa pendampingan yang berkelanjutan, risiko kegagalan adopsi teknologi—seperti kontaminasi, fermentasi yang tidak terkendali, atau penurunan kualitas—akan sangat tinggi. Hal ini sejalan dengan pandangan Kilian et al. (2006) yang menekankan bahwa adopsi inovasi pertanian oleh petani kecil sangat bergantung pada seberapa besar teknologi tersebut dapat dipahami dan dikendalikan oleh mereka sendiri, bukan hanya pada keunggulan hasil akhirnya.

Aspek hilirisasi dan pemasaran juga menjadi tantangan yang tidak kalah penting. Produk kopi *specialty* tidak hanya ditentukan oleh kualitas biji, tetapi juga oleh kemampuan untuk mengomunikasikan nilai dan cerita (*storytelling*) di balik produk tersebut kepada konsumen. Selama ini, mitra cenderung menjual kopi dalam bentuk *green bean* mentah tanpa identitas merek yang kuat. Padahal, dengan posisi geografis yang strategis di dekat kawasan wisata Kawah Ijen, kopi Lego memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai produk agrowisata yang khas. Integrasi antara produksi kopi berkualitas, pengemasan yang menarik, dan strategi pemasaran digital yang tepat akan menjadi kunci untuk menembus pasar *specialty* yang lebih luas dan menguntungkan.

Berdasarkan uraian tersebut, kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dirancang untuk menjembatani hasil riset tersebut ke dalam implementasi nyata di tingkat petani. Fokus utama kegiatan adalah penerapan inovasi proses *Carbonic Maceration* (CM) untuk menghasilkan kopi *specialty* pada Kelompok Tani Kopi Lego. Melalui kegiatan ini, mitra tidak hanya akan dibekali keterampilan teknis fermentasi, tetapi juga kapasitas untuk menghasilkan kopi dengan kualitas yang mampu bersaing di pasar *specialty*. Tujuan kegiatan ini adalah: (1) menerapkan teknologi fermentasi CM pada proses pasca panen kopi di Kelompok Tani Kopi Lego untuk menghasilkan kopi dengan kualitas specialty (skor SCA ≥ 80); (2) meningkatkan kapasitas teknis mitra dalam mengoperasikan unit fermentor CM sederhana, memantau parameter kritis fermentasi (suhu, pH, durasi), dan menangani pasca fermentasi secara standar; serta (3) mengukur dampak penerapan CM terhadap peningkatan kualitas sensori kopi melalui uji cita rasa (cupping test) dan potensi peningkatan nilai ekonomi bagi mitra.

2. METODE

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan dengan pendekatan partisipatif yang melibatkan mitra secara aktif dalam setiap tahapan. Metode pelaksanaan dibagi menjadi empat tahap utama: (1) persiapan dan koordinasi; (2) pelaksanaan solusi bidang produksi; (3) simulasi penyajian kopi spesialti; dan (4) evaluasi dan keberlanjutan. Secara ringkas, tahapan kegiatan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tahapan Pelaksanaan Kegiatan Pengabdian

Tahap	Kegiatan	Indikator Capaian
Persiapan dan Koordinasi	Koordinasi awal, FGD, *pre-test*	Kesepakatan jadwal, data *baseline* pengetahuan mitra
Pelaksanaan Bidang Produksi	Penyuluhan teori CM, pembuatan fermentor, praktik fermentasi	Peningkatan pengetahuan, 1 unit fermentor, fermentasi batch 1
Simulasi Metode Penyajian Kopi *Specialty*	Pelatihan teknik penyajian (*brewing*) kopi CM: V60, *French Press*, *Espresso*, dan *Cold Brew*	Mitra mampu menyajikan kopi CM dengan berbagai metode dan memahami pengaruhnya terhadap profil rasa
Evaluasi dan Keberlanjutan	*Post-test*, *cupping test*, BAST, rencana keberlanjutan	Data evaluasi, serah terima teknologi, komitmen keberlanjutan

Tahap persiapan dan koordinasi bertujuan untuk membangun pemahaman bersama antara tim pengusul dan mitra mengenai tujuan, manfaat, serta tanggung jawab masing-masing pihak. Kegiatan yang dilakukan meliputi koordinasi dengan ketua mitra, Bapak Hariyono, S.Pd., untuk menyepakati jadwal pelaksanaan dan memastikan kesiapan mitra, termasuk ketersediaan buah ceri kopi untuk praktik fermentasi. Focus Group Discussion (FGD) dilaksanakan pada 25 April 2026 dan dihadiri oleh perwakilan anggota kelompok tani. FGD bertujuan untuk mensosialisasikan program, menyamakan persepsi tentang permasalahan prioritas, mengidentifikasi kebutuhan spesifik mitra, serta menyepakati jadwal pelatihan. Asesmen awal (*pre-test*) dilakukan untuk mengukur tingkat pengetahuan awal mitra tentang fermentasi anaerobik dan Carbonic Maceration. Hasil pre-test menjadi data dasar (*baseline*) untuk mengevaluasi keberhasilan program.

Tahap pelaksanaan solusi di bidang produksi merupakan inti kegiatan, yaitu transfer teknologi fermentasi Carbonic Maceration (CM) kepada mitra. Kegiatan dilaksanakan melalui metode pelatihan partisipatif dan praktik langsung di lokasi mitra. Penyuluhan dilaksanakan pada 10 Oktober 2026 dengan materi meliputi prinsip dasar fermentasi anaerobik, keunggulan metode CM dibandingkan metode konvensional (*natural*, *honey*, *full wash*), parameter kritis fermentasi CM (tingkat kematangan buah ≥95% ceri merah, durasi fermentasi 48–72 jam (Da Silva et al., 2023; Nur et al., 2025), suhu ruang 25–28°C, dan pH 5,5–6,0), serta presentasi hasil riset tim pengusul tentang peningkatan kualitas sensori kopi dengan metode CM. Pembuatan unit fermentor CM dilakukan secara gotong royong bersama mitra dengan spesifikasi sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Unit Fermentor CM Sederhana

Komponen	Spesifikasi	Fungsi
Tabung fermentor	Wadah kedap udara *food-grade* kapasitas 80 kg ceri	Tempat fermentasi buah ceri
Waterlock	Tabung kecil berisi air dengan selang	Membuang gas CO_2 tanpa masuk oksigen
Seal karet	Karet perekat kedap udara	Menjaga kekedapan tabung
Termometer digital	Rentang ukur -10 s.d. 110°C	Memantau suhu fermentasi
pH meter sederhana	Rentang ukur 0–14	Memantau tingkat keasaman

Praktik fermentasi batch pertama dimulai pada 4 Agustus 2026 menggunakan 50 kg buah ceri kopi dari kelompok tani. Langkah-langkah praktik meliputi sortasi buah ceri untuk memastikan tingkat

kematangan ≥95% merah; pengisian buah ke dalam fermentor (maksimal 80% kapasitas) dan penyegelan kedap udara; pemasangan *waterlock* dan pemantauan gelembung gas sebagai indikator aktivitas fermentasi; pemantauan suhu dan pH secara berkala (suhu setiap 4 jam, pH minimal 1 kali sehari); serta penghentian fermentasi setelah 48–72 jam, pengeluaran buah, dan lanjutan proses pengolahan (pencucian, penjemuran) sesuai standar. Selain itu, dilakukan edukasi tentang pentingnya meminimalkan rentang waktu antara panen dan proses fermentasi berdasarkan temuan riset kehilangan massa 20,63% (Halil et al., 2025). Mitra diberikan pemahaman tentang teknik penanganan buah ceri selama panen dan transportasi untuk mengurangi kerusakan fisik dan kehilangan air.

Tahap simulasi penyajian kopi *specialty* bertujuan untuk memperkenalkan mitra pada berbagai metode penyajian kopi *specialty* yang umum digunakan di kafe dan industri kopi modern. Kegiatan ini penting karena kopi CM yang dihasilkan tidak hanya dinilai dari biji mentahnya, tetapi juga dari bagaimana kopi tersebut diseduh dan disajikan kepada konsumen. Mitra diberikan pelatihan tentang teknik penyajian (*brewing*) yang tepat untuk kopi CM, meliputi:

1. V60 (*Pour Over*): Teknik penyajian manual dengan filter kertas yang menghasilkan cita rasa bersih dan *flavor* yang kompleks. Mitra dilatih mengatur rasio kopi-air, suhu air, dan teknik penyeduhan bertahap.
2. *French Press*: Teknik penyajian dengan perendaman penuh yang menghasilkan *body* lebih tebal dan *mouthfeel* yang kaya. Mitra dilatih mengatur waktu perendaman dan teknik penyaringan.
3. *Espresso*: Teknik penyajian dengan tekanan tinggi yang menghasilkan konsentrat kopi pekat. Mitra diperkenalkan pada prinsip dasar *espresso* dan bagaimana profil rasa CM muncul dalam penyajian ini.
4. *Cold Brew*: Teknik penyajian dengan perendaman air dingin selama 12–24 jam yang menghasilkan minuman kopi dengan keasaman rendah dan rasa manis alami. Mitra dilatih menyiapkan *cold brew* dari kopi CM.

Setiap metode penyajian diuji dan dibandingkan profil rasanya melalui *cupping* sederhana. Mitra diajak untuk mengenali perbedaan karakter rasa yang muncul dari setiap metode penyajian dan memahami bagaimana memilih metode yang tepat sesuai preferensi konsumen. Simulasi ini juga menjadi sarana untuk memperkuat pemahaman mitra bahwa kopi CM memiliki fleksibilitas penyajian yang tinggi dan dapat diterima oleh berbagai segmen pasar.

Tahap evaluasi dan keberlanjutan bertujuan untuk mengukur keberhasilan program dan memastikan keberlanjutan adopsi teknologi oleh mitra. Evaluasi pelaksanaan program meliputi *post-test* keterampilan teknis (penilaian kemampuan mitra dalam mempraktikkan proses fermentasi CM secara mandiri), *post-test* keterampilan manajemen (penilaian kemampuan mitra dalam mengisi format pembukuan dan menghitung nilai tambah), uji cita rasa (*cupping test*) untuk evaluasi kualitas kopi hasil fermentasi CM dibandingkan dengan kopi hasil proses konvensional, serta FGD evaluasi untuk menggali umpan balik dari mitra. Serah terima teknologi dilakukan melalui penyerahan resmi unit fermentor CM kepada mitra yang disertai dengan Berita Acara Serah Terima (BAST) dan penyerahan modul pelatihan yang telah didaftarkan Hak Ciptanya. Rencana keberlanjutan meliputi pembentukan tim pendamping internal dari anggota kelompok tani yang akan menjadi fasilitator bagi anggota lain, penyusunan jadwal pendampingan lanjutan secara berkala oleh tim pengusul, serta diseminasi hasil kegiatan melalui publikasi media massa dan jurnal ilmiah.

Partisipasi mitra dalam pelaksanaan program meliputi keikutsertaan dalam FGD, penyediaan lokasi dan bahan untuk pelatihan (buah ceri kopi), keterlibatan aktif dalam perakitan fermentor dan proses fermentasi, keikutsertaan dalam pelatihan pencatatan keuangan dan analisis usaha, serta pemberian umpan balik dalam evaluasi program.

Untuk memastikan validitas dan reliabilitas hasil kegiatan, tim pengusul menggunakan beberapa instrumen evaluasi yang telah disusun secara sistematis. Instrumen *pre-test* dan *post-test* terdiri dari 20 butir pertanyaan pilihan ganda dan esai singkat yang mencakup empat aspek pengetahuan: prinsip fermentasi anaerobik, parameter kritis CM, keunggulan CM dibandingkan metode konvensional, dan teknik pemantauan fermentasi. Masing-masing butir diberi skor dengan skala 1–5, kemudian

dikonversi ke dalam skala 100 untuk memperoleh nilai rata-rata. Instrumen ini telah melalui uji validitas isi oleh dua orang ahli di bidang teknologi pangan dan pengabdian masyarakat sebelum digunakan.

Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif dari *pre-test* dan *post-test* dianalisis dengan menghitung nilai rata-rata, selisih peningkatan (*gain*), dan persentase peningkatan untuk setiap aspek pengetahuan. Data hasil fermentasi (suhu, pH, durasi) dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan nilai pengamatan terhadap nilai ideal yang telah ditetapkan dalam protokol. Data uji laboratorium (Brix, TDS, pH) diolah menggunakan rumus koreksi suhu dan konversi yang telah dijelaskan sebelumnya. Sementara itu, data kualitatif dari FGD, observasi lapangan, dan *cupping test* dianalisis secara tematik untuk mengidentifikasi pola, tantangan, dan peluang yang muncul selama kegiatan. Triangulasi data dilakukan dengan membandingkan hasil dari berbagai sumber data (kuantitatif dan kualitatif) untuk memastikan konsistensi temuan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Tahap Persiapan dan Koordinasi

Kegiatan pengabdian diawali dengan koordinasi bersama Ketua Kelompok Tani Kopi Lego, Bapak Hariyono, S.Pd., pada 25 April 2026. Koordinasi ini menghasilkan kesepakatan mengenai jadwal pelaksanaan, pembagian tugas, serta komitmen mitra untuk menyediakan 50 kg buah ceri kopi sebagai bahan praktik fermentasi. *Focus Group Discussion* (FGD) yang melibatkan perwakilan anggota kelompok tani juga dilaksanakan pada tanggal yang sama. FGD menghasilkan tiga kesepakatan utama: (1) pemahaman bersama mengenai permasalahan prioritas (kualitas pasca panen); (2) jadwal pelatihan teknis; serta (3) komitmen mitra untuk menyediakan bahan praktik fermentasi.

Asesmen awal (*pre-test*) dilakukan untuk mengukur pengetahuan awal mitra tentang fermentasi anaerobik dan *Carbonic Maceration*. Hasil *pre-test* menunjukkan bahwa seluruh mitra (100%) belum memahami konsep dan teknik *Carbonic Maceration*. Nilai rata-rata *pre-test* adalah 45 dari skala 100. Data ini menjadi *baseline* untuk mengukur keberhasilan program.

3.2. Hasil Bidang Produksi: Penerapan Teknologi Carbonic Maceration

Penyuluhan dan diskusi teknologi CM dilaksanakan pada 10 Oktober 2026 dan dihadiri oleh 16 orang anggota kelompok tani (melebihi undangan awal sebanyak 15 peserta). Materi yang disampaikan meliputi prinsip dasar fermentasi anaerobik, keunggulan metode CM, parameter kritis fermentasi, serta hasil riset tim pengusul. Antusiasme mitra terlihat dari banyaknya pertanyaan yang diajukan, terutama terkait cara menjaga kondisi kedap udara dan memantau suhu fermentasi. Setelah penyuluhan, dilakukan *post-test* untuk mengukur peningkatan pengetahuan mitra. Hasil *post-test* menunjukkan nilai rata-rata 82 dari skala 100, meningkat signifikan dari *pre-test* sebesar 45. Peningkatan ini menunjukkan bahwa transfer pengetahuan tentang teknologi CM berhasil dilakukan dengan baik. Secara lebih rinci, peningkatan pengetahuan mitra disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Hasil *Pre-test* dan *Post-test* Mitra

Aspek Pengetahuan	Pre-test (rata-rata)	Post-test (rata-rata)	Peningkatan
Prinsip fermentasi anaerobik	42	80	+38
Parameter kritis CM (suhu, pH, durasi)	40	78	+38
Keunggulan CM vs metode konvensional	48	85	+37
Teknik monitoring fermentasi	50	85	+35
Rata-rata	45	82	+37

Pembuatan satu unit fermentor CM kapasitas 80 kg ceri telah berhasil dilakukan secara gotong royong bersama mitra. Fermentor ini dibuat dari bahan-bahan lokal yang mudah diperoleh dan terjangkau, sesuai dengan prinsip teknologi tepat guna. Unit fermentor ini merupakan luaran wajib yang akan diserahkan kepada mitra melalui Berita Acara Serah Terima (BAST). Keberadaan fermentor ini memungkinkan mitra untuk memproduksi kopi CM secara mandiri dan berkelanjutan.

Praktik fermentasi batch pertama dimulai pada 4 Agustus 2026 menggunakan 50 kg buah ceri kopi dari kelompok tani. Buah ceri yang digunakan telah melalui sortasi ketat untuk memastikan tingkat kematangan ≥95% merah. Proses fermentasi berlangsung dalam kondisi anaerobik dengan pemantauan parameter kritis secara berkala. Ringkasan pelaksanaan fermentasi batch 1 disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Ringkasan Pelaksanaan Fermentasi CM Batch 1

Parameter	Nilai Ideal	Hasil Pengamatan	Keterangan
Tingkat kematangan buah	≥95% merah	95–97% merah	Sesuai standar
Durasi fermentasi	48–72 jam	72 jam	Dipilih untuk profil *fruity* kuat
Suhu ruang	25–28°C	26–29°C	Fluktuasi ringan, terkendali
pH	5,5–6,0	5,6–5,9	Sesuai standar
Kondisi wadah	Kedap udara	Anaerobik	Gelembung gas teramati di *waterlock*

Selama proses fermentasi, tim pendamping melakukan pemantauan suhu setiap 4 jam dan pH minimal 1 kali sehari. Gelembung gas pada *waterlock* teramati mulai jam ke-6, menandakan bahwa fermentasi berjalan aktif. Bau buah dan alkohol yang khas juga tercium saat fermentor dibuka, yang merupakan indikasi normal fermentasi anaerobik. Pada saat penyuluhan tanggal 10 Oktober 2026, dilakukan perbandingan uji cita rasa oleh petani dengan barista dari Politeknik Negeri Banyuwangi. Meskipun data skor *cupping* final belum sepenuhnya terdokumentasi dalam laporan kemajuan, indikasi awal menunjukkan bahwa kopi hasil fermentasi CM memiliki profil rasa yang lebih *fruity* dan kompleks dibandingkan kopi hasil proses konvensional. Uji cita rasa ini menjadi dasar untuk evaluasi kualitas dan penentuan strategi *branding* produk *specialty*.

Berdasarkan pengamatan selama proses fermentasi dan uji cita rasa awal, kopi hasil fermentasi CM menunjukkan profil rasa yang berbeda dari kopi hasil proses konvensional. Perbedaan profil rasa ini disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Profil Rasa Kopi Konvensional dan Kopi CM

Aspek	Kopi Konvensional	Kopi CM
Aroma	Netral, seperti tanah	*Fruity, floral*
Flavor	Standar, kurang kompleks	Kompleks, berlapis
Acidity	Rendah, cenderung datar	Cerah, menyenangkan
Body	Sedang	Sedang hingga penuh
Aftertaste	Pendek	Panjang dan bersih

3.3. Hasil Simulasi Berbagai Metode Penyajian Kopi Specialty

Simulasi berbagai metode penyajian kopi *specialty* dilaksanakan pada 10 Oktober 2026, bersamaan dengan penyuluhan teknologi CM. Kegiatan ini diikuti oleh 16 anggota kelompok tani dan melibatkan barista dari Politeknik Negeri Banyuwangi sebagai fasilitator. Mitra diperkenalkan pada empat metode penyajian utama: V60, *French Press*, *Espresso*, dan *Cold Brew*.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa setiap metode penyajian menghasilkan profil rasa yang berbeda dari kopi CM yang sama. Perbandingan profil rasa berdasarkan metode penyajian disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Profil Rasa Kopi CM Berdasarkan Metode Penyajian

Metode Penyajian	**Aroma**	***Flavor***	***Acidity***	***Body***	***Aftertaste***
V60	*Fruity*, *floral*	Kompleks, berlapis	Cerah, menyenangkan	Sedang	Panjang, bersih
French Press	*Fruity*, manis	Kaya, penuh	Rendah	Tebal	Panjang, lembut
Espresso	Intens, *fruity*	Pekat, kompleks	Sedang	Sangat tebal	Panjang, kuat
Cold Brew	*Fruity*, segar	Manis alami	Sangat rendah	Sedang	Lembut, bersih

Mitra menunjukkan antusiasme tinggi dalam mengikuti simulasi ini. Mereka tidak hanya belajar teknik penyajian, tetapi juga memahami bahwa kopi CM memiliki fleksibilitas tinggi untuk disajikan dalam berbagai format, sesuai dengan preferensi konsumen yang beragam. Simulasi ini juga membuka wawasan mitra tentang peluang pengembangan produk turunan kopi CM, seperti kopi *cold brew* siap saji atau kopi *espresso-based* yang dapat dipasarkan ke kafe dan konsumen muda.

3.4. Hasil Uji Laboratorium Kualitas Kopi CM

Untuk memvalidasi kualitas kopi hasil fermentasi *Carbonic Maceration* (CM) 72 jam, dilakukan uji laboratorium terhadap tiga sampel *espresso* yang diseduh dari kopi CM. Pengujian meliputi pengukuran *Brix* (kepekatan larutan), suhu cairan, dan nilai pH. Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rangkuman Data Hasil Uji Laboratorium Kopi CM

Parameter	**Sampel 1**	**Sampel 2**	**Sampel 3**	**Rata-rata**	**SD**
Brix Terbaca	10	9	8	9,00	1,00
Suhu Cairan (°C)	28,9	30,1	30,4	29,80	0,79
Nilai pH	5,11	5,30	5,22	5,21	0,10

Berdasarkan data pada Tabel 7, dilakukan perhitungan koreksi suhu dan konversi ke *Total Dissolved Solids* (TDS). Karena rata-rata suhu cairan berada pada 29,80°C dan diukur menggunakan refraktometer manual *non-ATC* (*non-Automatic Temperature Compensation*), nilai Brix mentah harus disesuaikan dengan faktor koreksi suhu. Pada suhu ~30°C, faktor koreksi suhu adalah +0,74.

Brix Terkoreksi Aktual:
Brix Terkoreksi = Rata-rata Brix Mentah + Koreksi Suhu
Brix Terkoreksi = 9,00 + 0,74 = 9,74°Brix (1)

***Total Dissolved Solids* (TDS) *Espresso*:**
TDS *Espresso* = Brix Terkoreksi × Faktor Kopi (0,85)
TDS *Espresso* = 9,74 × 0,85 = 8,28% TDS (2)

Nilai TDS sebesar 8,28% menunjukkan bahwa ekstraksi *espresso* dari kopi CM berada pada rentang yang ideal untuk *espresso specialty*, yaitu 8–12% TDS. Hal ini menandakan bahwa kopi CM tidak hanya unggul pada level biji mentah (*green bean*) dan sangrai (*roasted bean*), tetapi juga mampu menghasilkan ekstraksi yang konsisten dan berkualitas tinggi saat disajikan sebagai *espresso*.

Secara alami, kopi robusta tanpa fermentasi memiliki tingkat keasaman yang rendah (pH tinggi berkisar 5,5–6,0) yang membuatnya cenderung terasa pahit pekat atau pahit tanah (*flat bitter*). Angka pH rata-rata 5,21 membuktikan bahwa proses fermentasi pascapanen berhasil merangsang mikroba untuk menghasilkan asam-asam organik (seperti asam laktat atau asetat). Saat diminum, *espresso* ini akan memiliki rasa asam buah yang segar (*pleasant/bright acidity*) yang menyeimbangkan rasa pahit alami robusta. Temuan ini sejalan dengan (Da Silva et al., 2023) yang menyatakan bahwa fermentasi anaerobik memengaruhi komunitas bakteri dan kualitas sensori kopi, terutama dalam pembentukan asam organik yang berkontribusi pada *acidity* yang menyenangkan.

Dengan kepekatan murni kopi sebesar 8,28%, *espresso* robusta *medium roast* ini dikategorikan sebagai *espresso medium-bodied*. Ekstraksi dengan ketebalan sedang seperti ini sangat menguntungkan untuk kopi yang difermentasi. Kekentalannya pas di lidah, sehingga detail rasa (*flavor notes*) buah atau hasil fermentasi di hulu dapat terasa sangat bersih (*clean clarity*), tidak terdistorsi oleh rasa gosong atau kepekatan pahit yang berlebih. Hal ini sejalan dengan temuan (Várady et al., 2022) yang menyatakan bahwa metode pengolahan *specialty* seperti fermentasi dan maserasi menghasilkan senyawa bioaktif dan volatil yang berbeda dibandingkan metode konvensional, yang bertanggung jawab atas pembentukan profil rasa yang khas.

3.5. Hambatan dan Solusi

Selama pelaksanaan kegiatan, tim menemui beberapa hambatan yang berhasil diatasi dengan solusi yang tepat. Hambatan dan solusi tersebut disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hambatan dan Solusi dalam Pelaksanaan Kegiatan

No	Hambatan	Solusi
1	Fluktuasi suhu ruang di lokasi mitra yang terkadang melebihi rentang optimal 25–28°C	Dilakukan pemantauan suhu secara intensif (4 jam sekali) dan memberikan edukasi kepada mitra tentang cara mengatur posisi fermentor di tempat yang lebih teduh serta memberikan alas untuk mengurangi panas dari tanah
2	Kurangnya pengalaman mitra dalam menangani proses anaerobik, sehingga ada keraguan saat melakukan penyegelan	Tim pendamping (dosen dan mahasiswa) memberikan pendampingan intensif dan praktik langsung secara bertahap, memastikan setiap anggota memahami prosedur sebelum melakukannya secara mandiri
3	Keterbatasan waktu petani karena harus mengelola kebun di pagi hari	Jadwal pelatihan dan praktik disesuaikan dengan jam kerja petani, yaitu dilaksanakan pada siang atau sore hari setelah kegiatan di kebun selesai, tanpa mengurangi esensi materi

3.6. Analisis Dampak Ekonomi dan Potensi Pengembangan

Penerapan teknologi CM tidak hanya berdampak pada peningkatan kualitas sensori, tetapi juga berimplikasi pada potensi peningkatan nilai ekonomi bagi mitra. Berdasarkan perhitungan yang mengacu pada temuan Halil et al. (2025), harga jual *green bean* kopi CM berpotensi meningkat hingga 51,9% dibandingkan kopi konvensional. Dengan asumsi produksi rata-rata kelompok tani mencapai 1 ton *green bean* per siklus panen, dan harga konvensional sebesar Rp 50.000/kg, maka penerapan CM dapat meningkatkan pendapatan kotor dari Rp 50 juta menjadi sekitar Rp 76 juta per siklus.

Peningkatan ini signifikan untuk meningkatkan kesejahteraan petani, terutama jika dikelola secara kolektif melalui kelompok tani.

Namun demikian, peningkatan nilai ekonomi ini harus dibarengi dengan kemampuan mitra dalam menjaga konsistensi kualitas dan mengelola kapasitas produksi. Fermentor berkapasitas 80 kg yang telah dibuat memungkinkan mitra untuk melakukan fermentasi secara bertahap sesuai dengan ketersediaan buah ceri. Untuk pengembangan ke depan, mitra dapat mempertimbangkan penambahan unit fermentor guna meningkatkan kapasitas produksi, serta diversifikasi produk turunan seperti kopi *cold brew* siap saji atau kopi bubuk *specialty* yang dikemas secara modern. Diversifikasi ini tidak hanya akan memperluas jangkauan pasar, tetapi juga meningkatkan nilai tambah dan daya saing produk di pasar ritel modern.

Dari perspektif keberlanjutan, program ini telah meletakkan fondasi yang cukup kuat. Keberadaan modul pelatihan yang telah didaftarkan Hak Ciptanya, pembentukan tim pendamping internal, dan komunikasi berkelanjutan melalui grup WhatsApp merupakan modal penting untuk menjaga kesinambungan adopsi teknologi. Ke depan, diperlukan kolaborasi dengan pihak-pihak lain, seperti pemerintah daerah, pelaku industri kopi, dan komunitas barista, untuk memperkuat ekosistem *specialty coffee* di Banyuwangi. Dengan demikian, kopi CM Lego tidak hanya menjadi produk unggulan kelompok tani, tetapi juga dapat menjadi ikon baru kopi robusta *specialty* dari lereng Ijen yang dikenal hingga pasar nasional dan internasional.

Pembahasan

Hasil kegiatan pengabdian ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi *Carbonic Maceration* (CM) pada Kelompok Tani Kopi Lego telah berhasil meningkatkan pengetahuan dan keterampilan mitra secara signifikan. Peningkatan nilai *post-test* dari 45 menjadi 82 (peningkatan 37 poin) menunjukkan bahwa metode penyuluhan dan praktik langsung yang digunakan efektif dalam mentransfer teknologi kepada petani. Keberhasilan transfer pengetahuan ini menjadi fondasi penting bagi adopsi teknologi secara berkelanjutan, karena pemahaman yang memadai tentang prinsip dan parameter fermentasi akan mengurangi risiko kegagalan pada siklus produksi berikutnya. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Kilian et al., 2006) yang menyatakan bahwa adopsi teknologi oleh petani kecil sangat dipengaruhi oleh pemahaman mereka terhadap manfaat dan cara kerja teknologi tersebut.

Keberhasilan pembuatan unit fermentor CM sederhana dan pelaksanaan fermentasi batch pertama menjadi bukti bahwa teknologi ini dapat diadopsi pada skala kelompok tani dengan biaya yang terjangkau. Fermentor yang dibuat dari bahan lokal (drum plastik *food-grade*, selang, *waterlock*) dengan total investasi sekitar Rp 300.000–Rp 335.000 mampu menghasilkan kondisi anaerobik yang diperlukan untuk fermentasi CM. Hal ini sejalan dengan temuan (Da Silva et al., 2023) yang menyatakan bahwa fermentasi anaerobik pada kopi dapat dilakukan dengan peralatan sederhana asalkan parameter kritis (suhu, pH, dan kondisi kedap udara) dikontrol dengan baik. Dengan demikian, keterbatasan modal bukan menjadi penghalang utama bagi petani skala kecil untuk mengadopsi teknologi ini. Temuan ini juga sejalan dengan temuan (Wibowo et al., 2021) yang menyatakan bahwa pengembangan agroindustri kopi Arabika Ijen-Raung memerlukan teknologi yang sesuai dengan kapasitas petani, bukan teknologi yang mahal dan sulit dioperasikan.

Profil rasa kopi hasil fermentasi CM yang lebih *fruity* dan kompleks dibandingkan kopi konvensional juga sejalan dengan temuan Nur et al. (2025) yang melaporkan peningkatan signifikan pada aroma, *flavor*, dan warna kopi Arabika Ijen-Raung setelah fermentasi CM 48–72 jam. Meskipun data skor *cupping* final belum sepenuhnya terdokumentasi, indikasi awal mengarah pada potensi pencapaian skor SCA ≥ 80, yang merupakan ambang batas kategori *specialty*. Hal ini penting karena kopi *specialty* memiliki nilai jual yang lebih tinggi dan akses pasar yang lebih luas, terutama di kalangan konsumen muda (Gen Z) yang mendominasi pasar kopi masa kini. Temuan ini juga sejalan dengan (Várady et al., 2022) yang menyatakan bahwa metode pengolahan *specialty* seperti fermentasi dan maserasi menghasilkan senyawa bioaktif dan volatil yang berbeda dibandingkan dengan metode konvensional, yang bertanggung jawab atas pembentukan profil rasa yang khas.

Keberhasilan penerapan CM pada kopi robusta Lego juga memperluas penerapan teknologi yang sebelumnya lebih banyak diterapkan pada kopi arabika. Ini menunjukkan bahwa CM memiliki potensi untuk diadopsi pada berbagai varietas kopi, dengan penyesuaian parameter fermentasi yang sesuai. Dengan demikian, kegiatan ini tidak hanya memberikan manfaat langsung bagi mitra, tetapi juga membuka peluang untuk pengembangan teknologi serupa di sentra kopi robusta lainnya di Banyuwangi. Temuan ini juga sejalan dengan temuan (Taufiqurrahman et al., 2020) yang menyatakan bahwa nilai tambah kopi dapat ditingkatkan melalui pengolahan yang tepat, terlepas dari varietas kopinya.

Simulasi berbagai metode penyajian kopi *specialty* memberikan nilai tambah yang signifikan bagi mitra. Mitra tidak hanya mampu memproduksi kopi CM, tetapi juga memahami bagaimana mengolah dan menyajikannya untuk mengoptimalkan profil rasa. Hal ini sejalan dengan temuan (Várady et al., 2022) yang menyatakan bahwa metode penyajian memengaruhi senyawa volatil dan bioaktif yang terdeteksi dalam cita rasa kopi. Dengan menguasai berbagai metode penyajian, mitra memiliki fleksibilitas untuk menyesuaikan produk dengan preferensi pasar yang beragam, mulai dari konsumen yang menyukai kopi dengan *acidity* cerah (V60) hingga konsumen yang menyukai kopi dengan *body* tebal (*French Press* atau *Espresso*). Kemampuan ini memperkuat posisi mitra di pasar *specialty* yang menuntut pemahaman holistik tentang kopi, dari hulu hingga hilir.

Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa kopi CM memiliki pH rata-rata 5,21 dan TDS 8,28%. Nilai pH yang relatif rendah (lebih asam dibandingkan kopi robusta tanpa fermentasi) menunjukkan bahwa fermentasi CM berhasil menghasilkan asam-asam organik yang memberikan *acidity* yang menyenangkan. Hal ini penting karena kopi robusta sering dianggap memiliki *acidity* yang rendah dan cenderung pahit. Dengan fermentasi CM, kopi robusta Lego mampu menawarkan profil rasa yang lebih seimbang dan kompleks. Sementara itu, nilai TDS 8,28% menunjukkan bahwa ekstraksi *espresso* berada pada rentang ideal *espresso specialty* (8–12%), yang berarti kopi CM memiliki potensi untuk disajikan sebagai *espresso* berkualitas tinggi. Data ini memperkuat posisi kopi CM sebagai produk *specialty* yang tidak hanya unggul pada level produksi, tetapi juga pada level penyajian.

Dari aspek keberlanjutan, beberapa faktor pendukung telah teridentifikasi. Pertama, mitra telah memiliki unit fermentor yang dapat digunakan berulang kali. Kedua, modul pelatihan yang disusun telah didaftarkan Hak Ciptanya dan dapat menjadi panduan mandiri bagi mitra. Ketiga, tim pendamping internal telah dibentuk dari anggota kelompok tani yang akan menjadi fasilitator bagi anggota lain. Keempat, komunikasi antara tim pengusul dan mitra tetap terjalin melalui grup WhatsApp untuk konsultasi jika menghadapi kendala teknis. Faktor-faktor ini diharapkan dapat menjaga keberlanjutan adopsi teknologi CM di Kelompok Tani Kopi Lego. Hal ini sejalan dengan temuan (Halil et al., 2025) yang menyatakan bahwa keberlanjutan program pengabdian sangat ditentukan oleh adanya sistem pendampingan yang berkelanjutan dan keterlibatan aktif mitra dalam setiap tahapan kegiatan.

Secara keseluruhan, kegiatan pengabdian ini merupakan bentuk hilirisasi hasil riset yang secara langsung menjawab permasalahan riil mitra. Mitra tidak hanya mendapatkan transfer teknologi, tetapi juga memperoleh keyakinan berbasis bukti bahwa upaya yang mereka lakukan akan berdampak positif pada peningkatan kualitas kopi dan daya saing produk di pasar *specialty*. Keberhasilan ini juga sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan, khususnya dalam meningkatkan pendapatan petani kecil dan mendorong praktik pertanian yang lebih bernilai tambah. Meskipun demikian, masih diperlukan pendampingan lanjutan untuk memastikan konsistensi kualitas produk dan penguatan aspek *branding* serta pemasaran digital, sehingga kopi CM Lego dapat diterima secara luas di pasar *specialty*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat di Kelompok Tani Kopi Lego, dapat disimpulkan bahwa penerapan teknologi *Carbonic Maceration* (CM) telah berhasil menjawab ketiga tujuan utama kegiatan. Pertama, teknologi CM berhasil diimplementasikan pada

proses pasca panen dengan menghasilkan kopi yang mengarah pada kualitas *specialty*. Hal ini ditunjukkan melalui peningkatan profil rasa yang lebih *fruity* dan kompleks, serta didukung oleh uji laboratorium yang menunjukkan pH 5,21 dan TDS 8,28%, yang menandakan terciptanya *acidity* yang menyenangkan dan ekstraksi *espresso* yang ideal. Kedua, kapasitas teknis mitra mengalami peningkatan yang signifikan. Hal ini dibuktikan dengan kenaikan nilai rata-rata *post-test* dari 45 menjadi 82 (peningkatan 37 poin), serta keberhasilan mitra dalam mengoperasikan unit fermentor CM berkapasitas 80 kg secara mandiri sesuai dengan standar parameter kritis (suhu 26–29°C, pH 5,6–5,9, durasi 72 jam). Ketiga, dampak penerapan CM terhadap kualitas sensori dan potensi ekonomi terbukti positif, di mana kopi CM tidak hanya unggul sebagai *green bean*, tetapi juga fleksibel disajikan dalam berbagai metode (*V60, French Press, Espresso, Cold Brew*) dengan profil rasa yang dapat disesuaikan dengan preferensi pasar.

Untuk keberlanjutan program, disarankan agar mitra terus melakukan pendampingan internal dan penguatan pada aspek *branding*, *storytelling*, serta pemasaran digital. Hal ini penting agar kopi CM Lego tidak hanya unggul secara kualitas, tetapi juga memiliki daya saing yang kuat dan dapat diterima secara luas di pasar kopi *specialty* nasional maupun internasional. Penelitian dan pengabdian lanjutan juga disarankan untuk melakukan uji *cupping* formal guna mendapatkan skor SCA yang terverifikasi, serta menguji konsistensi kualitas produk pada siklus panen berikutnya.

Ucapan Terimakasih: Tim pelaksana mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi atas dukungan pendanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat tahun anggaran 2026 dengan nomor kontrak 3504.2/DST/PL36/AL.04/2026. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Politeknik Negeri Banyuwangi atas fasilitasi dan dukungan kelembagaan; Jurusan Pertanian dan Program Studi Agribisnis atas arahan dan bimbingan; Bapak Hariyono, S.Pd. selaku Ketua Kelompok Tani Kopi Lego beserta seluruh anggota atas kerja sama dan partisipasi aktifnya; serta seluruh pihak yang telah membantu kelancaran penyusunan dan pelaksanaan kegiatan pengabdian ini.

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan mengenai publikasi artikel ini. (The authors declare no conflict of interest).

REFERENSI

Azmi, N., Abubakar, Y., Widayat, H. P., Nilda, C., Yunika, M., Andini, S., Rahmi, F., & Muzaifa, M. (2024). What is carbonic maceration coffee? A mini review on production and quality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1356*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1356/1/012007

Brioschi Junior, D., Carvalho Guarçoni, R., de Cássia Soares da Silva, M., Gomes Reis Veloso, T., Catarina Megumi Kasuya, M., Catarina da Silva Oliveira, E., Maria Rodrigues da Luz, J., Rizzo Moreira, T., Grancieri Debona, D., & Louzada Pereira, L. (2021). Microbial fermentation affects sensorial, chemical, and microbial profile of coffee under carbonic maceration. *Food Chemistry*, *342*. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128296

Da Silva, M. de C. S., Veloso, T. G. R., Brioschi Junior, D., Bullergahn, V. B., da Luz, J. M. R., Menezes, K. M. S., Guarçoni, R. C., Kasuya, M. C. M., & Pereira, L. L. (2023). Bacterial community and sensory quality from coffee are affected along fermentation under carbonic maceration. *Food Chemistry Advances*, *3*. https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100554

Taufiqurrahman, T., Fajri, F., & Hakim, L. (2020). The Value-Added Analysis of Gayo Arabica Coffee based on Processing. *International Journal of Multicultural and Multireligious Understanding*, *7*(1).

Halil, H., Nur, K. M., & Wicaksono, D. W. (2025). Economic Feasibility Analysis of Carbonic Maceration Fermentation Technique Implementation for Ijen-Raung Arabica Coffee. In N. Puspitasari & Z. Zainuri (Eds.), *Proceedings of the 4th International Conference on Economic, Business, and Accounting Studies (ICEBAST 2025)* (pp. 154–167). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-956-8_13

Halil, H., Nur, K. M., & Wicaksono, D. W. (2026). Carbonic maceration as a value creation strategy for geographical indication coffee in Indonesia. *Asian Journal of Agriculture*, *10*(1), 1–6. https://doi.org/10.13057/asianjagric/g100117

Hernández-Alcántara, G., Alarcón-Gutiérrez, E., Ronzón-Soto, S., & García-Pérez, J. A. (2023). Physical and sensorial quality of yellow caturra coffee after a carbonic maceration process. *Coffee Science*, *18*. https://doi.org/10.25186/.v18i.2134

Kilian, B., Jones, C., Pratt, L., & Villalobos, A. (2006). Is sustainable agriculture a viable strategy to improve farm income in Central America? A case study on coffee. *Journal of Business Research*, *59*(3). https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2005.09.015

Novida, S., R, N. A., & Nirmawati. (2025). Improving Arabica Coffee Quality Using Anaerobic Carbonic Maceration Techniques in East Lombok Regency. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, *11*(11). https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i11.13307

Nur, K. M., Wicaksono, D. W., & Halil, H. (2025). Innovation of Carbonic Maceration Fermentation Process in Enhancing the Appeal of Ijen-Raung Arabica Coffee in the Gen Z Market. In N. Puspitasari & Z. Zainuri (Eds.), *Proceedings of the 4th International Conference on Economic, Business, and Accounting Studies (ICEBAST 2025)* (pp. 183–196). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-956-8_15

Reta, Zaimar, & Poerwanty, H. (2025). Hybrid Carbonic Maceration Techniques for Enhancing Arabica Coffee Flavor Profiles. *Coffee Science*, *20*. https://doi.org/10.25186/.v20i.2326

Tapaningsih, W. (2020). Analisa Perilaku Konsumen Kopi di Kabupaten Bondowoso dan Implikasinya terhadap Strategi Pemasaran Kopi Java Ijen Raung Kabupaten Bondowoso. *Jurnal Ekonomi Pertanian Dan Agribisnis*, *4*(2). https://doi.org/10.21776/ub.jepa.2020.004.02.19

Tapaningsih, W., & Lestari, Y. (2021). Preferensi Konsumen Kopi di Kabupaten Bondowoso dan Implikasinya terhadap Strategi Pemasaran Kopi Java Ijen Raung Kabupaten Bondowoso. *Jurnal Ekonomi Pertanian Dan Agribisnis*, *5*(1). https://doi.org/10.21776/ub.jepa.2021.005.01.05

Várady, M., Tauchen, J., Fraňková, A., Klouček, P., & Popelka, P. (2022). Effect of method of processing specialty coffee beans (natural, washed, honey, fermentation, maceration) on bioactive and volatile compounds. *LWT*, *172*. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114245

Wibowo, Y., Purnomo, B. H., & Kristio, A. (2021). The Agroindustry Development Strategy for Java Ijen-Raung Arabica Coffee, in Bondowoso Regency, East Java. *Industria: Jurnal Teknologi Dan Manajemen Agroindustri*, *10*(2). https://doi.org/10.21776/ub.industria.2021.010.02.5