

Peningkatan Kapasitas Kelompok Tani Hutan Wono Klampok Lestari melalui Adopsi Teknologi Fermentasi Terkontrol pada Pengolahan Kopi di Desa Klampok, Malang

Enhancing the Capacity of Wono Klampok Lestari Forest Farmer Groups through the Adoption of Controlled Fermentation Technology for Coffee Processing

Afifa Husna^{*1}, Mochammad Amir Mochtar², Isa Abdullah Ahmad¹, Faidullah Ramadhan³, Geovanny Zakaria Irfan¹, Fatihul Khoiri², Luthfia Rizqul Fadlila¹, Hachika Rahma Festy Basrulindani⁴, Najwa Azizia Ilyas¹, Siti Solehatus Hanifah¹, Ihwannul Muslimin⁵, Nadine Rahmalia Nur'aisyah¹, Nurul Fitriyatul Mukarramah⁵, Dinda Pasca Sang Saka¹, Karenia Althafunnisa¹, Gusti Karina Wahyudi¹, Ilmam Zul Fahmi⁴

¹Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian-Peternakan, Universitas Muhammadiyah Malang
Jl. Raya Tlogomas No. 246, Malang, Indonesia

²Program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian- Peternakan, Universitas Muhammadiyah Malang
Jl. Raya Tlogomas No. 246, Malang, Indonesia

³Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian- Peternakan, Universitas Muhammadiyah Malang
Jl. Raya Tlogomas No. 246, Malang, Indonesia

⁴Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian- Peternakan, Universitas Muhammadiyah Malang
Jl. Raya Tlogomas No. 246, Malang, Indonesia

⁵Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang
Jl. Raya Tlogomas No. 246, Malang, Indonesia

*Email: afifahusna@umm.ac.id

(Diterima 24-08-2026; Disetujui 23-09-2026)

ABSTRAK

Desa Klampok memiliki potensi perkebunan kopi Arabika seluas 450 hektar, namun pengelolaannya masih didominasi pola tradisional sehingga membatasi nilai tambah produk. Kegiatan pengabdian masyarakat ini bertujuan meningkatkan pengetahuan teoretis dan keterampilan praktis anggota Kelompok Tani Hutan (KTH) "Wono Klampok Lestari" dalam mengolah kopi metode *carbonic maceration* menggunakan fermentor dengan sistem terkontrol (dilengkapi sensor pH, suhu, dan tekanan). Metode pelaksanaan menerapkan pendekatan *Participatory Rural Appraisal* (PRA) yang meliputi penyuluhan teori fermentasi terkontrol, demonstrasi praktik langsung, serta evaluasi berbasis *pre-test*, *post-test*, observasi partisipatif, dan wawancara mendalam. Peralatan utama yang digunakan mencakup unit fermentor berkapasitas 120 kg *cherry*, sensor suhu, tekanan, dan pH, tabung CO₂, serta pengaduk. Hasil kegiatan menunjukkan peningkatan pemahaman teoretis mitra yang signifikan pada seluruh indikator soal terkait konsep, tujuan, alat-bahan, tahapan produksi, hingga parameter kontrol. Sesi praktik langsung membuktikan keberhasilan adopsi teknologi, di mana mitra mampu mengoperasikan alat secara mandiri sesuai Standar Operasional Prosedur (SOP), yakni mulai dari pemuatan bahan, pembuangan oksigen, pemantauan otomatis tekanan, suhu, dan pH suaya mencapai target, hingga tahap pengeluaran lendir serta biji kopi. Dapat disimpulkan bahwa program ini berhasil meningkatkan kapasitas mitra dalam mengoperasikan teknologi pascapanen kopi terkontrol. Disarankan agar mitra menerapkan SOP ini secara konsisten pada musim panen mendatang, sementara kegiatan pengabdian lanjutan disarankan berfokus pada penanganan pascafermentasi, uji cita rasa (*cupping test*), serta pengembangan sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT).

Kata kunci: *Carbonic Maceration*, Fermentasi Kopi, KTH Wono Klampok Lestari, Fermentor Otomatis

ABSTRACT

Klampok Village possesses an Arabica coffee plantation area of 450 hectares, yet traditional processing methods still limit the product's added value. This community engagement activity aimed to enhance the theoretical knowledge and practical skills of the Forest Farmer Group (KTH) "Wono Klampok Lestari" members in processing coffee using the *carbonic maceration* method with a Smart Multifunctional Fermentor. The methodology applied a *Participatory Rural Appraisal* (PRA) approach comprising controlled fermentation lectures, direct practical demonstrations, and evaluations via *pre-tests*, *post-tests*, *participatory observations*, and *in-depth interviews*. Primary equipment utilized included a fermentor unit with a capacity of 120 kg of

coffee cherries, temperature, pressure, and pH sensors, a CO₂ cylinder, and a screw stirrer. The results demonstrated a significant increase in theoretical understanding across all indicator questions regarding concepts, objectives, equipment, production stages, and control parameters. The practical sessions confirmed successful technology adoption, with partners operating the equipment independently according to Standard Operating Procedures (SOP), including material loading, purging, automatic monitoring of pressure and temperature until reaching the target pH, and separating mucilage from the coffee beans. It can be concluded that this program successfully improved the partners' capacity to operate controlled post-harvest coffee technology. It is recommended that partners consistently apply this SOP during the upcoming harvest season, while future community engagement initiatives should focus on post-fermentation handling, cupping tests, and the integration of an Internet of Things (IoT)-based monitoring system.

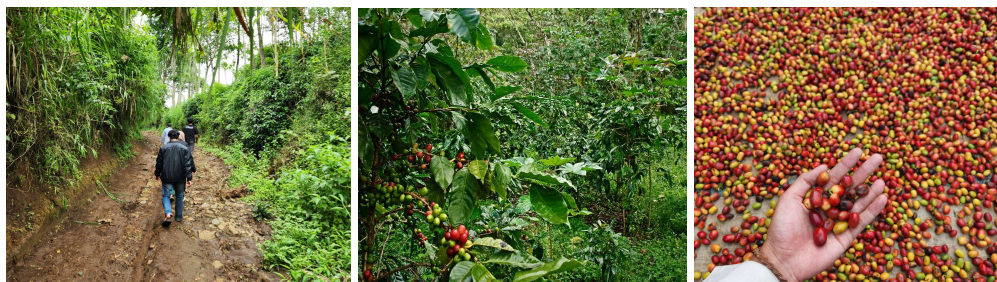
Keywords: Carbonic Maceration, Coffee Fermentation, KTH Wono Klampok Lestari, Automatic Fermentor

PENDAHULUAN

Kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan yang memiliki potensi ekonomi tinggi dan berperan penting dalam upaya peningkatan pendapatan masyarakat perdesaan (Muzaifa, Hasni, & Rahmi, 2019). Saat ini, kopi tidak lagi sekadar menjadi komoditas primer untuk perdagangan, melainkan telah berkembang menjadi produk dengan nilai tambah yang sangat ditentukan oleh kualitas bahan baku, proses penanganan pascapanen, dan karakteristik sensori yang dihasilkannya (Sunarharum, Williams, & Smyth, 2014). Salah satu tahapan pascapanen yang paling krusial dan sangat berpengaruh terhadap pembentukan karakteristik cita rasa kopi adalah proses fermentasi (De Bruyn et al., 2017).

Berdasarkan berbagai tinjauan pustaka dan kajian teknologi pangan, fermentasi merupakan proses biologis yang sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan (Silva, Batista, Abreu, Dias, & Schwan, 2008). Fermentasi yang berlangsung secara terkontrol terbukti mampu memengaruhi degradasi lendir, perkembangan mikroorganisme yang menguntungkan, serta pembentukan metabolit dan prekursor senyawa aroma dan cita rasa secara optimal, yang nantinya akan terbentuk sempurna saat pengeringan dan penyangraian (Bressani, Martinez, Evangelista, Dias, & Schwan, 2018). Sebaliknya, perbedaan suhu, kondisi awal buah, dan waktu fermentasi dapat memicu kecepatan reaksi biologis yang berbeda. Fermentasi yang terlalu singkat mengakibatkan perkembangan karakter rasa belum optimal, sedangkan fermentasi yang tidak terkendali atau terlalu lama berisiko tinggi menghasilkan karakter rasa yang tidak diinginkan atau cacat mutu (Schwan, Fleet, & Hade, 2015).

Potensi pengembangan kopi berbasis masyarakat ini salah satunya terdapat di Desa Klampok, Kecamatan Singosari, Kabupaten Malang. Desa Klampok merupakan desa dengan karakter agraris yang kuat, di mana komoditas kopi menjadi salah satu sumber mata pencaharian utama masyarakat, terutama di Dusun Sumbul. Berdasarkan wawancara dengan kelompok petani kopi, kawasan ini memiliki luas areal tanam sekitar 450 hektar yang berada pada ketinggian 1100-1200 mdpl. Dari luasan tersebut, produktivitas kopi mencapai 350 hingga 400 ton buah kopi segar per tahun. Hasil panen ini diproyeksikan mampu menghasilkan perputaran ekonomi sebesar kurang lebih Rp4,2 miliar per tahun jika dijual dalam bentuk segar. Namun, pengelolaan kopi masih didominasi pola tradisional pada tahap pascapanen, seperti penjualan buah kopi segar secara langsung kepada pengepul dengan harga rendah (sekitar Rp12.000 - Rp15.000/kg), minim higienitas, serta pengeringan yang belum terstandar.



Gambar 1. Kondisi Lahan Kopi dan Buah Kopi Hasil Petik Asalan oleh Petani Desa Klampok

Keberadaan kelompok tani kopi di Desa Klampok menjadi modal sosial dan ekonomi yang sangat baik untuk mengembangkan produk unggulan kopi yang potensinya sangat besar seperti yang telah dipaparkan. Namun, urgensi dari pengabdian ini muncul dari adanya permasalahan di tingkat mitra, di mana kelompok tani masih menghadapi keterbatasan dalam menerapkan teknologi fermentasi yang terstandar dan terukur. Selama ini, aktivitas fermentasi kopi oleh petani umumnya lebih banyak mengandalkan pada pengalaman, perkiraan waktu, dan pengamatan visual semata (Yusianto & Widyotomo, 2013). Parameter-parameter kritis selama proses fermentasi, khususnya fluktuasi suhu dan pH, belum dikendalikan dan terdokumentasi secara sistematis, serta perubahan tekanan belum dimanfaatkan sebagai indikator pemantauan proses. Padahal, proses fermentasi merupakan kunci utama untuk membentuk cita rasa kopi yang kaya dan bermutu tinggi (*specialty coffee*).

Keterbatasan pengetahuan serta ketersediaan alat fermentasi yang terintegrasi dengan perangkat pemantauan dan dokumentasi tersebut berdampak pada sulitnya mempertahankan konsistensi mutu produk kopi antar-produksi (*batches*). Hal ini mengakibatkan potensi kelompok tani untuk menghasilkan *specialty coffee* atau kopi dengan karakteristik sensori spesifik bernilai jual tinggi belum dapat dimanfaatkan secara optimal. Oleh karena itu, peningkatan nilai jual kopi di Desa Klampok tidak cukup hanya didorong melalui peningkatan kapasitas produksi, tetapi sangat mendesak untuk diintervensi melalui penerapan proses pascapanen yang terdokumentasi dan sistem fermentasi yang dapat dikendalikan mutunya.



Gambar 2. Proses Penjemuran sebagai Salah Satu Tahap Pascapanen Biji Kopi yang Dilakukan Petani di Desa Klampok

Berdasarkan analisis situasi dan urgensi tersebut, kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas kelompok tani kopi di Desa Klampok dalam menerapkan teknologi fermentasi kopi yang lebih terukur, terkendali, dan terdokumentasi melalui pemanfaatan inovasi fermentor berbasis pengendalian suhu, pH, dan tekanan. Secara lebih khusus, kegiatan ini diarahkan untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan mitra, menghasilkan Standar Operasional Prosedur (SOP) beserta sistem pencatatan (*logbook*) fermentasi, meningkatkan konsistensi proses produksi, serta membuka peluang peningkatan mutu dan nilai tambah produk kopi lokal secara berkelanjutan.

BAHAN DAN METODE

Lokasi dan Waktu Pelaksanaan

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini akan dilaksanakan di Dusun Sumbul, Desa Klampok, yang terletak di kawasan lereng Gunung Arjuno pada ketinggian geografis 1100-1200 mdpl. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada potensi perkebunan kopi Arabika seluas ± 450 hektar yang membutuhkan intervensi teknologi pascapanen. Waktu pelaksanaan kegiatan pengabdian ini berlangsung selama 4 (empat) bulan, terhitung mulai bulan Juni hingga September 2026.

Kelompok Sasaran

Kelompok sasaran mitra (khalayak sasaran) dalam kegiatan pengabdian ini adalah Kelompok Tani Hutan (KTH) "Wono Klampok Lestari" di Desa Klampok. Kelompok ini beranggotakan 48 orang petani kopi yang rata-rata mengelola lahan seluas 1 hingga 3 hektar per orang. Pemilihan mitra sasaran ini didasarkan pada pertimbangan bahwa mereka adalah aktor utama penggerak ekonomi

budidaya kopi di desa tersebut yang selama ini masih menggunakan pola pengolahan pascapanen tradisional, sehingga sangat tepat untuk diberikan introduksi teknologi pengolahan kopi modern.

Alat dan Bahan

Dalam pelaksanaan program pengabdian ini, baik untuk tahap pelatihan maupun implementasi teknologi pascapanen, digunakan beberapa alat meliputi unit fermentor (dilengkapi komponen sensor suhu, tekanan, dan pH), dome dryer, alat ukur kadar air biji kopi (*moisture meter*), timbangan digital (kapasitas besar dan presisi), wadah perendaman dan sortasi buah kopi (*cherry*), mesin pengupas kulit ceri kopi (*pulper*), mesin pengupas kulit tanduk (*huller*). Adapun bahan yang digunakan adalah buah kopi segar (*coffee cherry*) jenis Arabika hasil panen KTH Wono Klampok Lestari, air bersih untuk proses pencucian dan sortasi rambang (pengapungan), ragi tape, *pouch* plastik berbahan PP.

Metode Pelaksanaan

Kegiatan pengabdian ini menggunakan metode *Participatory Rural Appraisal* (PRA) yang melibatkan mitra secara aktif. Pendekatan ini dilakukan melalui dua tahapan utama, yaitu:

- Penyuluhan (Pemaparan Teori): Pemberian materi edukasi mengenai prinsip dasar fermentasi kopi, perbedaan metode pascapanen, serta pengenalan komponen dan fungsi alat tangki fermentor dengan sensor pH, suhu, dan tekanan.
- Praktik Langsung (Demonstrasi dan Uji Coba): Pendampingan secara langsung kepada anggota KTH dalam mengoperasikan alat fermentor, mulai dari penyiapan bahan (buah *cherry*), pengaturan parameter fermentasi (suhu, tekanan, pH), hingga proses pengakhiran fermentasi.

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data difokuskan pada evaluasi tingkat keberhasilan transfer pengetahuan dan teknologi. Teknik yang digunakan meliputi:

- Kuesioner (Pre-test dan Post-test): Dibagikan sebelum dan sesudah sesi penyuluhan untuk mengukur peningkatan pemahaman teoretis mitra terkait fermentasi kopi. Adapun soal *pre-test* dan *post-test* yang diberikan adalah sebagai berikut:
Soal 1: Apa yang anda ketahui tentang fermentasi kopi metode *carbonic maceration*?
Soal 2: Apa tujuan utama dilakukannya fermentasi metode *carbonic maceration* pada biji kopi?
Soal 3: Sebutkan alat dan bahan yang digunakan dalam proses fermentasi kopi metode *carbonic maceration*?
Soal 4: Jelaskan urutan tahapan produksi kopi metode *carbonic maceration*!
Soal 5: Mengapa proses fermentasi dalam *carbonic maceration* perlu dikendalikan (suhu dan waktu)?
- Observasi Partisipatif: Pengamatan langsung yang dilengkapi dengan rubrik penilaian (ceklis) selama sesi praktik langsung untuk mengevaluasi kemampuan dan keterampilan psikomotorik mitra dalam mengoperasikan fermentor dengan sensor pH, suhu, dan tekanan.
- Wawancara dan Dokumentasi: Menggali umpan balik (kesan dan kendala) dari mitra selama praktik, serta mengumpulkan bukti visual berjalannya kegiatan.

Analisis dan Penyajian Data

Data yang diperoleh dari proses penyuluhan dan praktik akan dianalisis menggunakan metode deskriptif, baik secara kuantitatif maupun kualitatif. Untuk analisis kuantitatif, data hasil pre-test dan post-test dari penyuluhan teori dianalisis dengan membandingkan nilai rata-rata (mean) untuk melihat persentase peningkatan pengetahuan mitra. Sementara analisis kualitatif menggunakan data hasil observasi praktik dan wawancara dianalisis secara deskriptif naratif untuk menilai tingkat kemandirian, keberhasilan pengoperasian alat, serta kendala teknis yang dihadapi mitra selama praktik langsung.

Hasil evaluasi kegiatan akan disajikan dalam bentuk narasi deskriptif yang komprehensif. Data kuantitatif berupa tingkat pemahaman (hasil pre-test dan post-test) akan disajikan dalam bentuk tabel dan diagram batang untuk memperjelas perbandingan sebelum dan sesudah intervensi. Sementara itu, proses perkembangan keterampilan operasional mitra selama praktik akan disajikan secara naratif, didukung oleh dokumentasi foto kegiatan langkah demi langkah operasional alat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fermentasi Kopi dengan Sistem Terkontrol

Kegiatan pengabdian di Desa Klampok diawali dengan penyuluhan fermentasi kopi dengan sistem terkontrol. Fermentasi pada pengolahan kopi pascapanen merupakan proses biokimia yang krusial dalam menentukan profil cita rasa (*cup profile*) dan mutu biji kopi (*specialty coffee*). Secara ilmiah, fermentasi kopi melibatkan degradasi mukilase (lapisan lendir kaya glukosa, fruktosa, dan pektin yang menyelubungi biji kopi) oleh aktivitas enzimatis mikroorganisme seperti bakteri asam laktat, ragi (*yeast*), dan bakteri asam asetat (Bressani et al., 2020). Aktivitas metabolik mikroorganisme ini menghasilkan metabolit sekunder berupa asam-asam organik (seperti asam laktat, asam sitrat, dan asam suksinat), alkohol, ester, serta senyawa volatil lainnya. Senyawa-senyawa tersebut meresap ke dalam porositas embrio biji kopi dan bertindak sebagai prekursor aroma yang akan terkaramelisasi saat proses penyangraian (*roasting*) (Lee et al., 2015).

Dalam konteks penerapan teknologi fermentor dengan sensor suhu, pH, dan tekanan di KTH Wono Klampok Lestari, metode fermentasi yang diintroduksi difokuskan pada *carbonic maceration* dan fermentasi anaerobik terkontrol. *Carbonic maceration* merupakan teknologi yang diadaptasi dari industri pembuatan anggur, dimana teknik ini dilakukan dengan menempatkan buah kopi segar (*cherry*) utuh dalam wadah kedap udara yang diinjeksi dengan gas karbondioksida (CO_2) untuk mendesak oksigen keluar (Haile & Kang, 2019). Lingkungan kaya CO_2 ini mendorong terjadinya fermentasi intraseluler di dalam daging buah kopi sebelum integritas dinding sel rusak, yang menghasilkan profil rasa buah-buahan yang kompleks (*fruity*), keasaman yang cerah (*bright acidity*), dan konsistensi rasa yang tinggi (Pereira et al., 2014). Pengenalan teknologi fermentasi kopi kepada mitra sasaran dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Penyuluhan Teknologi Fermentasi Kopi kepada KTH Wono Klampok Lestari

Pengendalian parameter proses seperti suhu, tekanan, pH, dan durasi fermentasi menjadi faktor penentu utama untuk mencegah terjadinya *over-fermentation* yang dapat menghasilkan cacat rasa (*off-flavor*) seperti rasa busuk atau asam yang tajam (Silva, 2014).

- Suhu: Laju reaksi metabolik mikroorganisme sangat bergantung pada suhu. Suhu ideal fermentasi anaerobik berkisar antara 20°C hingga 28°C ; suhu yang terlalu tinggi akan mempercepat aktivitas mikroba secara tidak terkendali yang memicu pembentukan asam asetat berlebih.
- pH dan Keasaman: Seiring berlangsungnya fermentasi, konsentrasi asam organik meningkat sehingga nilai pH mukilase akan menurun dari rata-rata 5,5–6,0 menjadi 3,8–4,2. Nilai pH ini berfungsi sebagai indikator biologis utama untuk menghentikan proses fermentasi agar biji tidak mengalami degradasi fisik.
- Waktu: Durasi fermentasi yang terkontrol (biasanya berkisar antara 48 hingga 72 jam tergantung kondisi lingkungan) memastikan pemecahan mukilase berjalan sempurna tanpa merusak struktur seluler biji kopi.

Pemahaman mendalam mengenai dinamika biokimia ini menjadi alasan utama mengapa peningkatan pengetahuan mitra KTH Wono Klampok Lestari sangat vital, sebagaimana ditunjukkan oleh kenaikan nilai post-test. Dengan menguasai teori fermentasi terkontrol dan memanfaatkan fermentor bersensor pH, suhu, dan tekanan, petani tidak lagi bergantung pada metode tradisional yang rentan

terhadap fluktuasi cuaca dan kontaminasi mikroba liar, melainkan mampu memproduksi kopi Arabika mutu tinggi dengan profil rasa yang konsisten dan berdaya saing tinggi di pasar modern.

Hasil Evaluasi Peningkatan Pengetahuan setelah Penyuluhan

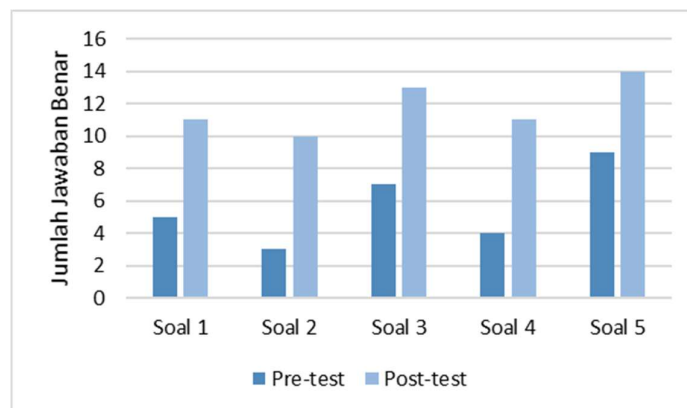
Kegiatan penyuluhan mengenai teori dasar fermentasi kopi dan pengenalan teknologi fermentor dengan sensor pH, suhu, dan tekanan telah dilaksanakan dan dievaluasi menggunakan instrumen kuesioner. Kuesioner ini diberikan sebelum kegiatan (pre-test) dan sesudah kegiatan (post-test) kepada 13 orang anggota KTH Wono Klampok Lestari. Hasil evaluasi tersebut disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1, terlihat adanya peningkatan pemahaman yang signifikan dari mitra setelah diberikan penyuluhan. Sebelum kegiatan, rata-rata tingkat pengetahuan mitra mengenai metode fermentasi modern dan fungsi alat berada pada angka 67,14. Setelah pemaparan materi, rata-rata nilai melonjak menjadi 92,57. Hal ini menunjukkan persentase peningkatan pemahaman sebesar 37,88%, yang membuktikan bahwa materi penyuluhan dapat diterima dan dipahami dengan baik oleh kelompok sasaran.

Tabel 1. Rekapitulasi Nilai Pre-test dan Post-test Peserta Penyuluhan

Indikator Penilaian	Nilai Rata-rata	Nilai Terendah	Nilai Tertinggi
<i>Pre-test</i>	67,14	40	80
<i>Post-test</i>	92,57	80	100

Untuk mengukur efektivitas penyampaian materi secara lebih spesifik, evaluasi pengetahuan peserta dipecah ke dalam 5 (lima) pertanyaan utama yang merepresentasikan pemahaman komprehensif mengenai metode fermentasi carbonic maceration. Berdasarkan grafik perbandingan hasil pre-test dan post-test (Gambar 1), terjadi peningkatan jumlah peserta yang mampu menjawab dengan benar pada seluruh indikator soal. Pada soal 1 tentang Konsep Dasar Fermentasi Carbonic Maceration terdapat hanya 5 peserta yang memahami definisi metode ini pada pre-test. Setelah penyuluhan, jumlah peserta yang mampu mendefinisikan carbonic maceration dengan benar meningkat tajam menjadi 11 peserta. Terkait dengan Tujuan Utama Fermentasi (pada soal nomor 2), pemahaman peserta mengenai tujuan spesifik metode ini (seperti pembentukan profil rasa dan aroma) mengalami kenaikan. Jumlah jawaban benar meningkat dari 3 peserta pada pre-test menjadi 10 peserta pada post-test. Di soal nomor 3 terkait Identifikasi Alat dan Bahan yang dibutuhkan selama fermentasi, pengenalan terhadap perangkat modern dan bahan penunjang terbukti efektif. Peserta yang berhasil menyebutkan kelengkapan fermentasi dengan benar bertambah dari 7 orang menjadi 13 orang.

Pada soal terkait dengan Urutan Tahapan Produksi (nomor 4), jumlah peserta yang mampu mengurutkan tahapan produksi secara tepat naik secara signifikan dari 4 peserta menjadi 11 peserta. Tahapan ini merupakan tahap yang krusial untuk operasional di lapangan, pemberian materi terkait SOP telah terbukti berhasil diserap dengan baik. Di soal nomor 5 tentang Urgensi Pengendalian Parameter, peserta yang menyadari pentingnya mengendalikan suhu dan waktu fermentasi meningkat dari 9 orang menjadi 14 orang. Secara keseluruhan, tren positif pada grafik tersebut membuktikan bahwa pendekatan penyuluhan teoretis yang dilakukan mampu mengubah paradigma dan tingkat pengetahuan mitra, dari yang awalnya hanya mengenal pola pascapanen tradisional menjadi paham akan konsep pengolahan *specialty coffee* modern.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Jawaban Benar pada Pre-test dan Post-test

Praktik Penggunaan Alat Fermentor

Demonstrasi praktik langsung fermentasi kopi dilaksanakan untuk memberikan pemahaman teknis kepada mitra mengenai operasional fermentor bersistem terkontrol (Gambar 4). Sistem terintegrasi ini dilengkapi dengan komponen utama meliputi tangki fermentor, pengaduk berbentuk screw, motor penggerak, panel kontrol, tabung CO₂, katup pengaman, serta sensor pH, suhu, dan tekanan. Tahap awal dimulai dengan memastikan kondisi tangki bersih dan kering, memeriksa kerapatan seal karet, memastikan tekanan tabung CO₂ mencukupi, serta menguji keterbacaan sensor pada layar panel kontrol. Setelahnya, tutup atas tangki dibuka untuk memasang screw conveyor beserta frame penyangga. Buah kopi *cherry* segar yang telah disortasi dimasukkan ke dalam tangki, diratakan permukaannya tanpa dipadatkan, lalu tangki ditutup dan dikunci rapat.



Gambar 4. Pengenalan Alat Fermentor dengan Sistem Terkontrol (pH, Suhu, dan Tekanan) kepada KTH Wono Klampok Lestari

Proses pembuangan oksigen (*purging*) diawali dengan membuka katup *outlet* atas dan mengatur regulator CO₂. Saat tombol START diaktifkan pada panel kontrol, gas CO₂ secara otomatis dialirkan dari *sparger* bawah hingga indikator berubah dari kuning menjadi hijau dan *buzzer* berhenti. Selanjutnya, proses fermentasi berlangsung selama 2 hari hingga pH mencapai target. Selama proses ini, alat bekerja presisi dalam mendeteksi serta menjaga kestabilan suhu dan tekanan tangki sehingga kondisi fermentasi lebih terjaga. Tahap pengakhiran dilakukan dengan membuka katup *outlet* perlahan untuk menurunkan tekanan tangki hingga mencapai 0 bar(g). Setelah indikator layar menunjukkan angka 0 dan *buzzer* berhenti, kran di dasar tangki dibuka secara bertahap untuk mengeluarkan dan menampung cairan lendir terlebih dahulu. Setelah lendir terkuras habis, jalur pengeluaran utama dibuka untuk mengalirkan biji kopi hasil fermentasi ke dalam wadah penampung yang bersih.



Gambar 5. Praktek Fermentasi Kopi Menggunakan Fermentor Otomatis

Hasil Evaluasi Keterampilan Praktik (Demonstrasi Alat)

Evaluasi keterampilan praktik pengoperasian fermentor dengan sistem terkontrol dilakukan melalui wawancara mendalam (*in-depth interview*) kepada pengurus dan anggota Kelompok Tani Hutan (KTH) "Wono Klampok Lestari" sesuai demonstrasi langsung. Secara keseluruhan, hasil wawancara menunjukkan antusiasme tinggi serta persepsi positif mitra terhadap kemudahan adopsi teknologi berbasis kontrol terkendali ini. Meskipun pada awal kegiatan sebagian petani merasa canggung menghadapi panel kontrol digital dan rangkaian sensor, pendampingan langsung secara bertahap berhasil menumbuhkan rasa percaya diri mereka. Berdasarkan hasil wawancara, respon mitra terhadap setiap tahapan pengoperasian meliputi:

- Tahap Persiapan dan Pemuatan: Pemasangan *screw conveyor*, *frame* penyangga, hingga pemuatan buah *cherry* segar dinilai mudah dipahami. Petani mengapresiasi kejelasan SOP yang melarang pemadatan kopi agar sirkulasi gas CO₂ tetap berjalan optimal.
- Tahap *Purging* dan Indikator Visual: Proses pembuangan oksigen dirasakan sangat praktis. Petani menyatakan bahwa perubahan lampu indikator (kuning ke hijau) serta penanda suara *buzzer* memberikan kepastian operasional tanpa menimbulkan keraguan saat bekerja.
- Monitoring Parameter Fermentasi: Mitra sangat terkesan dengan otomatisasi pemantauan suhu, tekanan, serta pembacaan nilai pH target pada layar. Pengurus KTH menyampaikan bahwa fitur ini menjawab kelemahan fermentasi konvensional yang rentan mengalami *over-fermentation* atau pembusukan.
- Tahap Pengeluaran Produk: Pemisahan penampungan cairan lendir dari biji kopi dinilai efisien, meningkatkan higienitas hasil panen, serta mempermudah penanganan pascafasilitas di area kebun.

Secara keseluruhan, hasil wawancara menyimpulkan bahwa seluruh perwakilan KTH yang terlibat merasa yakin dan mampu menjalankan alat fermentor terkontrol ini secara mandiri pada musim panen kopi berikutnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pelaksanaan program pengabdian kepada masyarakat di KTH "Wono Klampok Lestari" Desa Klampok telah berhasil mencapai tujuannya dalam mengoptimalkan pemahaman teoretis serta keterampilan praktis petani terkait pengolahan pascapanen kopi. Melalui kegiatan penyuluhan, terjadi peningkatan pengetahuan yang signifikan mengenai metode *carbonic maceration*, di mana para peserta terbukti mampu memahami konsep dasar, tujuan proses, identifikasi alat, urutan tahapan produksi, hingga urgensi pengendalian parameter suhu dan waktu sebagaimana ditunjukkan oleh kenaikan jumlah jawaban benar pada seluruh indikator soal dari pre-test ke post-test. Selain itu, sesi demonstrasi dan praktik langsung berhasil membekali mitra dengan kemampuan operasional fermentor bersistem terkontrol. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara mendalam, seluruh perwakilan KTH kini memiliki rasa percaya diri dan mampu menjalankan fermentasi secara mandiri, mulai dari tahap persiapan tangki, pemuatan buah *cherry* segar, pembuangan oksigen, pemantauan otomatis parameter suhu, pH, dan tekanan tangki, serta teknik pemisahan lendir dan pengeluaran biji kopi hasil fermentasi secara higienis.

Sebagai langkah keberlanjutan dari pencapaian program ini, direkomendasikan beberapa upaya strategis yang dapat ditindaklanjuti. Secara praktis, KTH "Wono Klampok Lestari" disarankan untuk mengimplementasikan SOP fermentasi terkontrol ini secara konsisten pada setiap musim panen mendatang serta membentuk tim khusus untuk perawatan berkala alat, seperti kalibrasi sensor pH dan suhu serta pengecekan tekanan tabung CO₂. Untuk program pengabdian kepada masyarakat lanjutan, fokus kegiatan perlu diarahkan pada pendampingan tahap pascafermentasi, mencakup standardisasi penjemuran, uji cita rasa (*cupping test*), serta penguatan strategi branding dan pemasaran digital guna memperluas jangkauan pasar *specialty coffee*. Dari sudut pandang pengembangan teknologi, sistem pada fermentor bersistem terkontrol ini dapat dikembangkan lebih lanjut melalui integrasi Internet of Things (IoT) berbasis aplikasi seluler, sehingga pemantauan parameter suhu, pH, dan tekanan selama proses fermentasi dapat diakses oleh petani secara *real-time* dari jarak jauh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim pelaksana menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Pembelajaran dan Kemahasiswaan, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi melalui Program Penguatan Kapasitas Organisasi Kemahasiswaan atas dukungan pendanaan, kepercayaan, serta kesempatan yang diberikan untuk menyelenggarakan program pengabdian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bressani, A. P. P., Martinez, S. J., Evangelista, S. R., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2018). Characteristics of fermented coffee inoculated with yeast starter cultures using different roasting conditions. *LWT - Food Science and Technology*, 92, 212-219.
- De Bruyn, F., Sjostrom, S. L., Bobadilla, M., Mikael, L., Rahmdel, S., ... & De Vuyst, L. (2017). Exploring the impacts of postharvest processing on the microbiota and metabolite profiles during green coffee bean production. *Applied and Environmental Microbiology*, 83(1), e02398-16.
- Haile, M., & Kang, W. H. (2019). The role of microbes in coffee fermentation and their impact on coffee quality. *Journal of Food Quality*, 2019, 1-15.
- Lee, L. W., Cheong, M. W., Curran, P., Yu, B., & Liu, S. Q. (2015). Coffee fermentation and flavor—An intricate relationship. *Food Chemistry*, 185, 182-191.
- Muzaifa, M., Hasni, D., & Rahmi, F. (2019). Karakteristik mutu kopi arabika fermentasi dengan penambahan ragi *Saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 29(3), 268-275.
- Pereira, G. V. d. M., Soccol, V. T., Pandey, A., Medeiros, A. B. P., Lara, J. M. A. R., Gollo, A. L., & Soccol, C. R. (2014). Isolation in solid medium and screening of lactic acid bacteria and yeasts with potential to produce aroma compounds in coffee fermentation. *Food and Bioprocess Technology*, 7(7), 2039-2048.
- Schwan, R. F., Fleet, G. H., & Hade, S. (2015). *Cocoa and Coffee Fermentations*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Silva, C. F., Batista, L. R., Abreu, L. M., Dias, E. S., & Schwan, R. F. (2008). Succession of bacterial and fungal communities during natural coffee (*Coffea arabica*) fermentation. *Food Microbiology*, 25(8), 951-957.
- Sunarharum, W. B., Williams, D. J., & Smyth, H. E. (2014). Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective. *Food Research International*, 62, 315-325.
- Yusianto, Y., & Widyotomo, S. (2013). Mutu dan cita rasa kopi arabika hasil beberapa perlakuan fermentasi: Suhu, jenis wadah, dan penambahan biakan murni. *Pelita Perkebunan (A Coffee and Cocoa Research Journal)*, 29(3), 220-239.