

Peningkatan Kapasitas Petani Aren Melalui Pelatihan Fermentasi Nira Menjadi Bioetanol Berkadar Tinggi di Desa Langke Gorontalo Utara

Hasanuddin^{1*}

¹Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo

e-mail : hasanuddin76@ung.ac.id

Abstract

Palm sap-based bioethanol has the potential to be a renewable energy source while increasing the added value of palm sugar commodities in producing villages, but farmers' technical capacity in managing fermentation is still limited. This community service activity aims to improve the knowledge and skills of palm sugar farmers in Langke Village, North Gorontalo, in applying palm sap fermentation technology to produce high-quality bioethanol. The method used was community-based participatory training with a one-group pretest–posttest design, involving 25 farmers and palm sugar craftsmen selected purposively. The intervention included the delivery of class materials, demonstrations, and direct practice of standardized fermentation: handling fresh sap, equipment sanitation, yeast preparation and activation, pH and temperature adjustment, monitoring fermentation duration, and process recording. Data were collected through a written test to measure knowledge and a performance observation sheet to assess skills, then analyzed descriptively using the average score and N-gain. The results showed an increase in the average knowledge score from 55 to 82 and skills from 50 to 80 with an N-gain value of 0.60 each (moderate category). These findings indicate that the training was able to shift traditional spontaneous fermentation practices toward more standardized and hygienic procedures, although challenges still existed regarding temperature stability and the use of measuring instruments. Overall, this program was effective in strengthening literacy and skills in palm sap fermentation technology as a first step in developing a high-content palm sap bioethanol center in Langke Village and has the potential to be replicated in other palm sap centers with adjustments to the local context.

Keywords: Palm Sap, Bioethanol, Fermentation, Community Training, Langke Village

Abstrak

Bioetanol berbasis nira aren berpotensi menjadi sumber energi terbarukan sekaligus meningkatkan nilai tambah komoditas aren di desa-desa penghasil, namun kapasitas teknis petani dalam mengelola fermentasi masih terbatas. Kegiatan pengabdian ini bertujuan meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani aren Desa Langke, Gorontalo Utara, dalam menerapkan teknologi fermentasi nira aren menuju bioetanol berkadar tinggi. Metode yang digunakan adalah pelatihan partisipatif berbasis komunitas dengan desain one-group pretest–posttest, melibatkan 25 petani dan pengrajin aren yang dipilih secara purposif. Intervensi meliputi penyampaian materi kelas, demonstrasi, dan praktik langsung fermentasi terstandar: penanganan nira segar, sanitasi peralatan, persiapan dan aktivasi ragi, pengaturan pH dan suhu, pemantauan lama fermentasi, serta pencatatan proses. Data dikumpulkan melalui tes tertulis untuk mengukur pengetahuan dan lembar observasi unjuk kerja untuk menilai keterampilan, kemudian dianalisis secara deskriptif menggunakan skor rata-rata dan N-gain. Hasil menunjukkan peningkatan skor rata-rata pengetahuan dari 55 menjadi 82 dan keterampilan dari 50 menjadi 80 dengan nilai N-gain masing-masing 0,60 (kategori sedang). Temuan ini mengindikasikan bahwa pelatihan mampu menggeser praktik fermentasi spontan tradisional menuju prosedur yang lebih terstandar dan higienis, meskipun masih dijumpai kendala pada kestabilan suhu dan penggunaan alat ukur. Secara keseluruhan, program ini efektif dalam memperkuat literasi dan keterampilan teknologi fermentasi nira aren sebagai langkah awal pengembangan sentra bioetanol aren berkadar tinggi di Desa Langke dan berpotensi direplikasi pada sentra aren lain dengan penyesuaian konteks lokal.

Kata kunci: Nira Aren, Bioetanol, Fermentasi, Pelatihan Masyarakat, Desa Langke

PENDAHULUAN

Nira aren sebagai getah manis hasil sadapan bunga jantan mengandung gula terlarut yang relatif tinggi dan pH mendekati netral sehingga sangat sesuai sebagai substrat fermentasi etanol, selain selama ini dimanfaatkan terutama untuk gula merah dan gula semut (Solang et al., 2024; Rahayu et al., 2025). Sejumlah penelitian lima tahun terakhir menunjukkan bahwa ketika proses fermentasi nira aren dikendalikan secara sistematis (pemilihan ragi, kontrol pH dan suhu, serta waktu fermentasi), produksi etanol dapat meningkat signifikan. Zulkahfi et al. (2024) melaporkan bahwa fermentasi nira aren menggunakan ragi tempe yang diikuti proses destilasi menghasilkan rendemen bioetanol sekitar 48% volume dengan kadar etanol $\pm 15\%$ (v/v), sekaligus menegaskan bahwa pengaturan kondisi fermentasi masih menjadi faktor pembatas utama. Kajian lain yang merangkum penelitian Riza et al. (2023) dan Adrianton et al. (2020) menunjukkan bahwa variasi jenis ragi, dosis inokulum, dan lama fermentasi berpengaruh nyata terhadap kadar etanol akhir, viskositas, serta profil sensori produk bioetanol nira aren (Zulkahfi et al., 2024).

Di sisi lain, Ansar, Nazaruddin, Azis, dan Fudholi (2021) yang mengoptimasi fermentasi nira aren dengan *Saccharomyces cerevisiae* menemukan bahwa pengaturan pH awal, suhu fermentasi, dan persentase inokulum yang tepat mampu meningkatkan kadar etanol hingga sekitar 75,6% (v/v) sebelum selanjutnya dimurnikan melalui distilasi bertingkat hingga mencapai $\pm 99,5\%$ (v/v). Temuan-temuan ini menegaskan bahwa teknologi fermentasi yang terkontrol merupakan tahapan kunci menuju produksi bioetanol aren berkadar tinggi, sebelum masuk ke teknologi pemurnian lanjutan seperti multistage distillation atau dehidrasi membran.

Meskipun kemajuan teknologi fermentasi nira aren cukup pesat, praktik pengolahan di tingkat petani umumnya masih bersifat tradisional dengan mengandalkan fermentasi spontan tanpa kontrol parameter proses (Mardin, et. al., 2024). Penelitian Sondakh, Ghiffari, dan Nurwantara (2022) tentang produksi alkohol dari nira aren dengan pemanas logam menunjukkan bahwa pola pengolahan tradisional menghasilkan kadar alkohol yang fluktuatif dan sering kali belum memenuhi standar mutu untuk aplikasi teknis maupun kesehatan, antara lain karena kualitas nira awal dan higiene peralatan yang kurang terjaga. Zulkahfi et al. (2024) juga menyoroti bahwa ketika teknologi fermentasi dibawa keluar dari laboratorium menuju kelompok tani, kendala utama yang muncul adalah kestabilan kualitas nira segar, homogenitas pencampuran ragi, serta ketidakmampuan operator menjaga suhu dan waktu fermentasi sesuai rekomendasi. Dari sisi sosial ekonomi, studi Gobel et al. (2022) di Kecamatan Atinggola, Kabupaten Gorontalo Utara, menunjukkan bahwa mayoritas pengrajin gula aren berpendidikan dasar ($\pm 75\%$ lulusan SD) dengan teknologi pengolahan yang masih sangat sederhana, sehingga adopsi inovasi proses yang lebih kompleks—termasuk fermentasi berstandar—berjalan sangat lambat. Kondisi serupa dapat diasumsikan terjadi pada banyak sentra aren lain di Gorontalo Utara, di mana orientasi utama pengolahan nira masih pada gula cetak, sementara potensi diversifikasi ke produk bioetanol berkadar tinggi belum dimanfaatkan optimal.

Desa Langke di Kecamatan Gentuma Raya, Kabupaten Gorontalo Utara, merupakan salah satu lokus pengembangan aren yang mulai mendapat perhatian

melalui berbagai program penelitian dan pengabdian, termasuk inisiatif pengembangan bioetanol berbasis nira aren dan penguatan ekonomi petani (Mardin, et. al., 2023; Panipi.id, 2024; Mardin, et. al., 2024). Melalui program “Pengembangan Sentra Bibit Aren” di Desa Langke, Hasan et al. (2024) menekankan pentingnya penguatan aspek hulu berupa ketersediaan bibit unggul dan keberlanjutan usahatani aren agar pasokan nira dapat terjamin dalam jangka panjang. Namun, dari sisi hilir, pola pengolahan masih didominasi produksi gula aren, sementara pengembangan proses fermentasi dan destilasi menuju bioetanol berkadar tinggi masih terbatas pada kegiatan demonstratif dan belum terinternalisasi sebagai kompetensi teknis petani. Di wilayah Gorontalo lainnya, kegiatan pelatihan yang selama ini dilakukan lebih banyak berfokus pada peningkatan nilai tambah nira melalui pembuatan gula semut (brown sugar) dan penguatan aspek pemasaran, sebagaimana terlihat pada pelatihan pembuatan brown sugar di Dusun Pahu, Desa Bontula (Solang et al., 2024; Hasan, et. al., 2024; Taan, et. al., 2024), yang menunjukkan betapa besar potensi ekonomi nira tetapi belum menyentuh aspek fermentasi untuk bioetanol. Hal ini menunjukkan adanya celah pengembangan kapasitas di Desa Langke, khususnya terkait pemahaman teknis fermentasi nira aren sebagai fondasi menuju produksi bioetanol berkadar tinggi (Arafat, et. Al., 2025; Hasan, et. al., 2024).

Berdasarkan uraian tersebut, kebutuhan akan model pelatihan fermentasi nira aren yang terstruktur, kontekstual, dan berorientasi pada peningkatan kadar bioetanol menjadi sangat mendesak di Desa Langke. Pelatihan semacam ini diharapkan mampu menjembatani kesenjangan antara hasil riset fermentasi nira aren di laboratorium (Ansar et al., 2021; Zulkahfi et al., 2024) dengan praktik nyata di lapangan, melalui penguatan kapasitas petani dalam mengendalikan parameter proses fermentasi secara sederhana namun efektif.

METODE

Kegiatan pengabdian ini menggunakan pendekatan pelatihan partisipatif berbasis komunitas dengan desain one-group pretest–posttest. Pendekatan ini dipilih untuk memungkinkan transfer teknologi fermentasi nira aren secara langsung melalui kombinasi penyampaian materi, demonstrasi, dan praktik mandiri yang didampingi. Pengukuran kemampuan awal dan akhir dilakukan untuk melihat peningkatan kapasitas pengetahuan (knowledge) dan keterampilan (skill) petani terkait proses fermentasi nira aren menjadi bioetanol berkadar tinggi.

Pengabdian dilaksanakan di Desa Langke, Kecamatan Gentuma Raya, Kabupaten Gorontalo Utara, dengan sasaran utama adalah petani dan pengrajin aren yang selama ini mengolah nira menjadi gula merah/gula semut. Peserta dipilih secara purposif berdasarkan kriteria: (1) aktif menyadap dan mengolah nira aren, (2) memiliki minat mengembangkan produk berbasis bioetanol, dan (3) bersedia mengikuti seluruh rangkaian pelatihan. Jumlah peserta ditargetkan berkisar 20–30 orang yang tergabung dalam kelompok tani atau kelompok usaha bersama setempat, sehingga intervensi dapat difokuskan namun tetap representatif bagi komunitas.

Secara operasional, pelaksanaan pengabdian dibagi dalam tiga tahap utama, yaitu persiapan, pelaksanaan pelatihan inti, dan pendampingan lanjutan. Tahap

persiapan meliputi koordinasi dengan pemerintah desa dan pengurus kelompok tani, survei awal lapangan untuk memetakan pola pengolahan nira yang sudah berjalan, serta identifikasi kebutuhan pelatihan melalui wawancara singkat dan diskusi kelompok terarah (FGD). Pada tahap ini juga dilakukan penyusunan modul pelatihan sederhana yang memuat langkah-langkah fermentasi terstandar, lembar kerja praktik, dan instrumen evaluasi (pretest–posttest dan lembar observasi unjuk kerja).

Tahap pelaksanaan pelatihan inti diawali dengan sesi kelas yang menjelaskan dasar-dasar teknologi fermentasi nira aren: karakteristik nira segar, pentingnya sanitasi peralatan, prinsip kerja ragi (*Saccharomyces cerevisiae* atau starter lain yang disepakati), faktor-faktor yang memengaruhi fermentasi (pH, suhu, waktu, dan rasio inokulum), serta hubungan antara proses fermentasi yang terkontrol dengan peningkatan kadar etanol. Setelah itu dilanjutkan demonstrasi dan praktik langsung: (1) penanganan nira segar (penyaringan dan penambahan anti fermentasi bila diperlukan sebelum fermentasi terkontrol), (2) sterilisasi/pencucian wadah fermentasi, (3) persiapan dan aktivasi ragi, (4) proses inokulasi nira, (5) pengaturan pH awal dengan bahan yang tersedia secara lokal, (6) pengaturan dan pemantauan suhu fermentasi, serta (7) penentuan lama fermentasi optimum. Pada sesi ini peserta dilibatkan dalam pengukuran °Brix, pH, dan suhu menggunakan alat ukur sederhana, serta mempelajari cara membaca perubahan karakteristik nira selama fermentasi disajikan pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Desain One-Group Pretest–Posttest Kegiatan Pelatihan Fermentasi Nira Aren

Komponen	Deskripsi
Kelompok (G)	Petani dan pengrajin aren Desa Langke ($\pm 20\text{--}30$ orang) yang aktif menyadap/mengolah nira dan bersedia ikut pelatihan.
Pretest (O ₁)	Pengukuran awal pengetahuan dan keterampilan peserta tentang fermentasi nira aren menjadi bioetanol berkadar tinggi sebelum pelatihan: • Tes tertulis (pengetahuan konsep fermentasi, faktor pH–suhu–waktu, sanitasi peralatan). • Observasi unjuk kerja sederhana (cara menangani nira, menyiapkan ragi, dan prosedur fermentasi yang biasa dilakukan).
Perlakuan (X)	Pelatihan partisipatif berbasis komunitas tentang teknologi fermentasi nira aren, meliputi: • Penyampaian materi kelas (karakteristik nira segar, sanitasi alat, prinsip kerja <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , pengaruh pH, suhu, waktu, rasio inokulum). • Demonstrasi dan praktik langsung: penyaringan nira, pembersihan/sterilisasi wadah, aktivasi ragi, inokulasi nira, pengaturan pH awal, pengukuran °Brix–pH–suhu, dan penentuan lama fermentasi optimum. • Pendampingan praktik mandiri selama sesi pelatihan.
Posttest (O ₂)	Pengukuran akhir pengetahuan dan keterampilan peserta setelah pelatihan: • Tes tertulis (soal yang setara dengan pretest untuk melihat peningkatan pemahaman). • Observasi unjuk kerja fermentasi terstandar (peserta mempraktikkan langkah-langkah fermentasi sesuai modul: penanganan nira, penyiapan ragi, pengaturan pH–suhu, dan pemantauan fermentasi).
Variabel yang diukur	• Pengetahuan (knowledge): skor tes pretest dan posttest tentang teknologi fermentasi nira aren. • Keterampilan (skill): skor observasi unjuk kerja sebelum dan sesudah pelatihan (checklist prosedur fermentasi terstandar).
Analisis	Membandingkan skor O ₁ dan O ₂ (pengetahuan dan keterampilan) secara deskriptif (rata-rata, persentase peningkatan) dan, bila diperlukan, menggunakan N-gain atau uji statistik sederhana untuk melihat peningkatan kapasitas peserta.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelatihan fermentasi nira aren menjadi bioetanol berkadar tinggi di Desa Langke diikuti oleh 25 peserta yang terdiri dari petani dan pengrajin aren aktif. Seluruh peserta berpartisipasi penuh mulai dari pretest, sesi kelas, praktik fermentasi, hingga posttest sehingga data yang diperoleh merepresentasikan satu kelompok utuh yang menerima intervensi pelatihan. Secara umum, sebelum intervensi peserta hanya mengenal fermentasi spontan tanpa kontrol pH, suhu, dosis ragi, maupun sanitasi peralatan, sehingga kemampuan awal baik dari sisi pengetahuan maupun keterampilan teknis masih terbatas. Pola ini lazim ditemukan pada komunitas tani yang mengandalkan pengetahuan turun-temurun dan belum tersentuh pelatihan teknologi pengolahan berbasis sains dan standar proses.

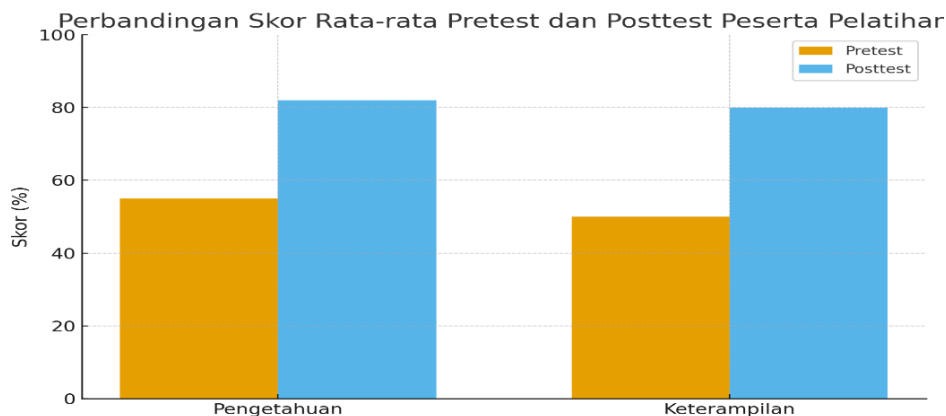
Berdasarkan hasil pengukuran, terjadi peningkatan skor rata-rata baik pada aspek pengetahuan maupun keterampilan setelah pelatihan. Ringkasan hasil pretest–posttest disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ringkasan skor rata-rata pretest dan posttest peserta pelatihan

Aspek	Rerata Pretest (O ₁)	Rerata Posttest (O ₂)	N-Gain*	Kategori N-Gain
Pengetahuan	55	82	0,60	Sedang
Keterampilan	50	80	0,60	Sedang

$$*N-Gain = (O_2 - O_1) / (100 - O_1)$$

Berdasarkan hasil pengukuran, terjadi peningkatan skor rata-rata baik pada aspek pengetahuan maupun keterampilan setelah pelatihan (Tabel 1). Secara numerik, skor pengetahuan meningkat dari rata-rata 55 menjadi 82, sedangkan keterampilan meningkat dari 50 menjadi 80. Nilai N-gain sebesar 0,60 pada kedua aspek menunjukkan peningkatan belajar pada kategori sedang, yang mengindikasikan bahwa pelatihan cukup efektif dalam meningkatkan kapasitas peserta. Kenaikan skor pengetahuan terutama berkaitan dengan pemahaman peserta mengenai pentingnya sanitasi peralatan, peran ragi (*Saccharomyces cerevisiae*), serta pengaruh pH, suhu, dan lama fermentasi terhadap kadar etanol yang dihasilkan.). Secara pedagogis, kategori sedang mengindikasikan bahwa dalam satu siklus pelatihan sudah terjadi peningkatan efektivitas pembelajaran yang bermakna, meskipun masih terdapat ruang perbaikan untuk mencapai kategori tinggi. Temuan ini sejalan dengan berbagai studi pengembangan perangkat pembelajaran yang melaporkan bahwa skor N-gain sekitar 0,6 mencerminkan efektivitas moderat namun signifikan dalam meningkatkan kemampuan konseptual maupun keterampilan peserta.



Gambar I. Perbandingan Skor Rata-Rata Peserta Pelatihan

Gambar 1 menunjukkan peningkatan skor rata-rata pengetahuan dari 55 menjadi 82 dan keterampilan dari 50 menjadi 80 setelah pelatihan. Peningkatan ini menguatkan temuan pada Tabel 1 bahwa pelatihan partisipatif berbasis praktik langsung efektif meningkatkan kapasitas petani dalam memahami dan menerapkan teknologi fermentasi nira aren menjadi bioetanol berkadar tinggi.”

Dari Gambar 1 terlihat jelas bahwa pada kedua aspek terjadi lonjakan skor yang konsisten: bar posttest untuk pengetahuan dan keterampilan lebih tinggi dibandingkan bar pretest. Hal ini sejalan dengan pengamatan selama sesi kelas, di mana peserta mulai mampu menjelaskan kembali langkah-langkah fermentasi terstandar, menyebutkan faktor-faktor kritis yang memengaruhi fermentasi, serta mengaitkan proses yang terkontrol dengan peningkatan kadar bioetanol. Diskusi kelompok setelah sesi pemaparan materi juga menunjukkan perubahan cara pandang peserta terhadap nira aren: dari yang semula hanya diposisikan sebagai bahan baku gula merah, menjadi komoditas yang dapat didiversifikasi menjadi bioetanol berkadar tinggi dengan nilai tambah lebih besar.

Peningkatan keterampilan tercermin dari hasil observasi unjuk kerja peserta saat praktik fermentasi. Sebelum pelatihan, sebagian besar peserta tidak melakukan penyaringan nira dengan baik, tidak mencuci atau mensterilisasi wadah fermentasi, menuang ragi tanpa takaran, dan tidak memantau lama fermentasi secara konsisten. Setelah pelatihan, mayoritas peserta mampu mengikuti prosedur yang tertulis di modul: mereka melakukan penyaringan nira, membersihkan wadah, mengaktivasi ragi dalam air hangat, menentukan rasio ragi terhadap volume nira, serta mengukur pH dan suhu menggunakan alat ukur sederhana. Dalam beberapa kelompok kecil, peserta bahkan mulai terbiasa mencatat data proses (tanggal, volume, pH awal, suhu, dan lama fermentasi) pada lembar logbook yang disediakan.

Pembahasan dari temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi metode penyampaian materi, demonstrasi, dan praktik langsung dalam satu rangkaian pelatihan partisipatif efektif untuk mengubah praktik tradisional menjadi praktik fermentasi yang lebih terstandar. Peningkatan pengetahuan berkontribusi langsung pada perubahan perilaku teknis: peserta tidak hanya “tahu”, tetapi juga “mau” dan

“mampu” menerapkan prosedur fermentasi yang lebih baik. Meskipun kategori N-gain masih pada tingkat sedang, hal ini sudah cukup menunjukkan bahwa dalam satu siklus pelatihan, terjadi lompatan kapasitas yang bermakna, dan membuka peluang untuk siklus pendampingan berikutnya yang berfokus pada konsistensi penerapan serta peningkatan kadar etanol yang dihasilkan.

Pada sisi lain, masih terdapat beberapa tantangan yang muncul dari hasil evaluasi dan observasi lapangan. Beberapa peserta menyampaikan kesulitan menjaga suhu fermentasi yang stabil karena keterbatasan fasilitas penyimpanan dan kondisi iklim setempat, serta belum terbiasanya mereka menggunakan alat ukur seperti pH meter atau termometer. Hal ini menjelaskan mengapa peningkatan yang diperoleh belum mencapai kategori N-gain tinggi. Dengan demikian, hasil pengabdian ini mengindikasikan perlunya penguatan tahap pendampingan lanjutan, misalnya dengan memperkenalkan alat pemantau yang lebih praktis, menyederhanakan panduan penggunaan alat ukur, serta mengembangkan protokol fermentasi yang lebih adaptif terhadap kondisi lapangan tanpa mengorbankan kualitas bioetanol yang dihasilkan. Jika dibandingkan dengan pengabdian masyarakat pada komoditas aren di wilayah lain, hasil ini berada pada jalur yang konsisten namun menawarkan fokus teknologi yang berbeda. Yernisa et al. (2020) melalui pelatihan teknologi pengolahan gula semut aren di Jambi menunjukkan bahwa transfer teknologi sederhana yang dikombinasikan dengan pendampingan mampu menggeser praktik petani dari penjualan nira segar dan gula cetak ke produksi gula semut bernilai tambah.

Anggraini et al. (2021) melaporkan bahwa pelatihan pembuatan gula semut dari nira aren yang dilengkapi demonstrasi mesin pengolah mendorong mitra untuk mengembangkan produk dan meningkatkan kapasitas produksi. Helviani et al. (2024) juga menemukan bahwa pelatihan pengolahan nira menjadi gula semut pada Kelompok Wanita Tani aren dapat meningkatkan pengetahuan dan memberi dampak langsung terhadap pendapatan rumah tangga. Dalam konteks tersebut, pelatihan di Desa Langke memperluas spektrum inovasi aren dari sekadar diversifikasi produk pangan (gula semut) menuju penguatan kapasitas teknologi fermentasi sebagai prasyarat produksi bioetanol berkadar tinggi.

Meski demikian, hasil observasi lapangan masih menampilkan sejumlah tantangan. Beberapa peserta menyampaikan kesulitan menjaga kestabilan suhu fermentasi karena keterbatasan fasilitas penyimpanan dan kondisi iklim setempat, serta belum terbiasanya mereka menggunakan alat ukur pH dan suhu secara rutin. Hal ini menjelaskan mengapa peningkatan yang diperoleh baru mencapai kategori N-gain sedang dan belum masuk kategori tinggi. Tantangan serupa juga tercatat dalam program-program pelatihan teknologi yang lebih maju; misalnya, pelatihan smart farming dan irigasi pintar menegaskan bahwa adopsi teknologi tidak hanya bergantung pada peningkatan pengetahuan, tetapi juga infrastruktur pendukung, kemudahan penggunaan perangkat, dan keberlanjutan pendampingan di lapangan.

Dengan demikian, hasil pengabdian ini mengindikasikan bahwa pelatihan fermentasi nira aren di Desa Langke telah berhasil meningkatkan kapasitas pengetahuan dan keterampilan peserta pada tingkat yang bermakna, sekaligus membuka ruang penguatan pada tahap berikutnya, terutama pada sisi konsistensi penerapan dan integrasi pemantauan berbasis teknologi. Ke depan, pelatihan dapat

diarahkan menuju integrasi sistem pemantauan sederhana (misalnya sensor suhu dan pH yang terhubung ke gawai) sebagai jembatan menuju model pelatihan fermentasi–destilasi berbasis IoT yang lebih komprehensif, sebagaimana telah mulai dikembangkan pada berbagai inisiatif smart farming di Indonesia.

KESIMPULAN

Secara metodologis, pelatihan ini dirancang dengan pendekatan pelatihan partisipatif berbasis komunitas dan menggunakan desain one-group pretest–posttest. Desain ini memungkinkan peneliti dan tim pelaksana untuk membandingkan kemampuan awal dan akhir peserta secara lebih terukur, baik pada aspek pengetahuan maupun keterampilan. Hasil pengukuran kemudian dianalisis untuk melihat sejauh mana intervensi pelatihan mampu mengubah cara pandang dan praktik peserta, khususnya terkait pentingnya sanitasi, kontrol parameter proses fermentasi, serta pencatatan data sebagai dasar menuju penerapan teknologi yang lebih maju di masa mendatang. Oleh karena itu, kesimpulan yang disajikan tidak hanya menggambarkan angka-angka hasil evaluasi, tetapi juga implikasi praktis bagi pengembangan kapasitas petani aren.

1. Kegiatan pelatihan fermentasi nira aren menjadi bioetanol berkadar tinggi di Desa Langke terbukti mampu meningkatkan kapasitas pengetahuan dan keterampilan peserta secara bermakna, yang ditunjukkan oleh kenaikan skor rata-rata pengetahuan dari 55 menjadi 82 dan keterampilan dari 50 menjadi 80 dengan nilai N-gain sebesar 0,60 (kategori sedang).
2. Peningkatan tersebut terutama tampak pada pemahaman peserta mengenai pentingnya sanitasi peralatan, peran ragi dalam proses fermentasi, serta pengaruh pH, suhu, waktu fermentasi, dan rasio inokulum terhadap kualitas dan kadar etanol yang dihasilkan, yang kemudian terefleksikan dalam kemampuan peserta mengikuti prosedur fermentasi terstandar sesuai modul pelatihan.
3. Model pelatihan partisipatif berbasis komunitas dengan desain one-group pretest–posttest efektif sebagai jembatan antara hasil-hasil riset fermentasi nira aren di laboratorium dengan praktik pengolahan di tingkat petani, meskipun masih dijumpai kendala pada kestabilan suhu fermentasi, keterbatasan fasilitas, dan kebiasaan penggunaan alat ukur seperti pH meter dan termometer.
4. Hasil pengabdian ini menegaskan pentingnya pendampingan lanjutan yang berfokus pada konsistensi penerapan prosedur fermentasi, penyederhanaan panduan penggunaan alat, serta pengembangan protokol yang adaptif terhadap kondisi lapangan tanpa mengurangi kualitas bioetanol yang dihasilkan.
5. Secara keseluruhan, program ini menunjukkan bahwa penguatan literasi dan keterampilan teknologi fermentasi nira aren merupakan langkah awal strategis menuju pengembangan sentra bioetanol aren berkadar tinggi di Desa Langke dan dapat direplikasi pada sentra-sentra aren lain di Gorontalo Utara dengan penyesuaian konteks lokal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada para petani dan pengrajin aren di Desa Langke yang telah berpartisipasi aktif sebagai mitra dalam pelatihan fermentasi nira aren, menyediakan waktu, pengalaman, dan komitmennya sehingga proses transfer teknologi dapat berjalan secara partisipatif dan konstruktif. Tanpa keterlibatan dan antusiasme para peserta, luaran dan pembelajaran yang diperoleh dari program ini tidak akan sekomprensif sebagaimana yang dilaporkan dalam artikel ini. Apresiasi juga diberikan kepada Pemerintah Desa Langke, Kecamatan Gentuma Raya, Kabupaten Gorontalo Utara beserta jajaran yang telah memberikan izin, dukungan administratif, serta membantu koordinasi selama proses pelaksanaan kegiatan. Tidak lupa, penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan tim pelaksana, mahasiswa pendamping, serta sejawat yang telah membantu dalam perancangan materi, pendampingan praktik di lapangan, pengumpulan data, dan proses penyusunan naskah. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada para editor dan mitra bebestari jurnal yang telah memberikan masukan konstruktif untuk penyempurnaan artikel ini. Semua dukungan tersebut sangat berarti dalam upaya penguatan kapasitas teknologi fermentasi nira aren bagi masyarakat Desa Langke.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrianton, A., Hasanuddin, M. R., & Jamaluddin, J. (2020). Pemanfaatan nira aren sebagai bahan baku etanol dalam pembuatan hand sanitizer. *Jurnal Dedikatif Kesehatan Masyarakat*, 1(1), 13–23. <https://doi.org/10.22487/dedikatifkesmas.v1i1.144>
- Ansar, A., Nazaruddin, N., & Azis, A. F. (2021). Enhancement of bioethanol production from palm sap (*Arenga pinnata* (Wurmb.) Merr) through optimization of *Saccharomyces cerevisiae* as inoculum. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. (Artikel prosiding; data lengkap dapat ditelusuri melalui judul di IOPscience atau Google Scholar).
- Arafat, M. Y., & Mardin, H. (2025). Penguatan Digital Marketing Kelompok Usaha Bioetanol Desa Lonuo Kabupaten Bone Bolango. *MOPOONUWA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(1), 190-198.
- Gobel, Z., Imran, S., & Boekoesoe, Y. (2023). Analisis pendapatan dan nilai tambah gula aren pada usaha industri rumah tangga di Kecamatan Atinggola, Kabupaten Gorontalo Utara. *Agrinesia*, 7(1), 17–24. <https://doi.org/10.37046/agr.v7i1.18952>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74.
- Hasan, F., Anas, M., Sudiarta, I. M., Taan, H., Hasanuddin, H., Dako, A. Y., & Mardin, H. (2024). Strengthening Sociopreneurship of Sugar Palm Farmers in Langke Village Gentuma Raya District, Gorontalo Province. *Panrannuangku Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(4), 230-235.
- Hasan, F., Anas, M., Sudiarta, I. M., Taan, H., Hasanuddin, H., Dako, A. Y., & Mardin, H. (2024). Entrepreneurship Motivation and Managerial Skills Training for

- Sugar Palm Farmers in Langke Village, North Gorontalo Regency. *Panrannuangku Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(4), 261-266.
- Hasan, F., Hasanuddin, H., Anas, M., Sudiarta, I. M., Taan, H., & Dako, A. (2024). Pengembangan sentra bibit aren sebagai upaya keberlanjutan usahatani aren di Desa Langke Gorontalo Utara. *Artikel ilmiah pengabdian masyarakat* (dapat ditelusuri dengan judul “Pengembangan Sentra Bibit Aren Sebagai Upaya Keberlanjutan Usahatani Aren di Desa Langke Gorontalo Utara” pada portal jurnal/prosiding atau ResearchGate).
- Mardin, H., Hasanuddin, H., & Wolok, E. (2024). Pengelolaan Pengembangan Industri Usaha Boetanol di Desa Lonuo Provinsi Gorontalo. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Borneo*, 8(1), 58-63.
- Mardin, H., Salimi, Y. K., Taan, H., Larosa, E., Arafat, M. Y., Rasyid, A., & Ashari, S. A. (2024). *Bioetanol Dari Nira Aren*. Mafy Media Literasi Indonesia.
- Mardin, H., Taan, H., & Arafat, M. Y. (2024). Proses Fermentasi Nira Aren Menjadi Bioetanol: Pendampingan Kepada Masyarakat Desa Lonuo Kabupaten Bone Bolango. *MOPOONUWA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(3), 141-146.
- Mardin, H., Taan, H., & Salimi, Y. K. (2023). Sociotechnopreneurship As An Alternative For Community Empowerment In Improving The Economy Of Sugar Palm Farmers In Lonuo Village Gorontalo Province. *Mattawang: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(3), 307-312.
- Mustaqimah, N., Solang, M., Ilyas, M., Gobel, Z., & Mulyani, H. (2024). Pelatihan pembuatan brown sugar dari nira aren pada kelompok usaha masyarakat Dusun Pahu, Desa Bontula, Kabupaten Bone Bolango. *Jurnal Pengabdian Nasional Mandiri*. (Data rinci volume–nomor dapat ditelusuri melalui judul artikel di portal JPNM atau Google Scholar). ejournal.staialhikmahpariangan.ac.id
- Niger, V. (2024). Peningkatan produksi bioetanol nira aren (*Arenga pinnata* Merr.) menggunakan ragi tempe selama proses fermentasi. *Pangale*, 4(2), 26–35.
- Panipi.id. (2024, 27 Oktober). *Sosialisasi Pengembangan Bioetanol Berbasis Aren, Potensi Besar di Desa Langke, Gorontalo Utara*. Panipi.id – Rubrik Humaniora. (Berita dapat diakses melalui laman Panipi.id dengan menelusuri judul artikel tersebut).
- Sondakh, R. C., Ghiffari, M. A., & Nurwantara, M. P. (2022). Analisis produksi alkohol dari nira aren menggunakan metal heater. *JAGO TOLIS: Jurnal Agrokompleks Tolis*, 2(2), 46–49. <https://doi.org/10.56630/jago.v2i2.196>
- Taan, H., Mardin, H., Salimi, Y. K., Arafat, M. Y., Larosa, E., Rasyid, A., & Ashari, S. A. (2024). Education to Strengthen the Economy of the Utilization of Aren Nira Producing Bioetanol in Lonuo Village, Bone Bolango District. *Jurnal Pemberdayaan Masyarakat Madani (JPMM)*, 8(1), 29-37.