

Inisiasi Pengolahan Limbah Kulit Buah Menjadi Eco-Enzyme sebagai Rintisan Pengelolaan Sampah Organik Mandiri di MAN 1 Samarinda

Initiation of Fruit Peel Waste Processing into Eco-Enzyme as a Pilot for Independent Organic Waste Management at MAN 1 Samarinda

Nur Fadilah Maulidya^{1*}, Nabila Azzahra², Karinda Cintia Ranita³, Maya Tri Wardani⁴,
Dinda Pratiwi⁵, Muhammad Al Ghifari⁶, Lustin Oktaviani Putri⁷, Nanda Arista Rizki⁸,
Siti Rahmah⁹

^{1,8}Program Studi Pendidikan Matematika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mulawarman,
Indonesia

²Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mulawarman,
Indonesia

³Program Studi Pendidikan Komputer, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mulawarman,
Indonesia

⁴Program Studi Pendidikan Ekonomi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mulawarman,
Indonesia

⁵Program Studi Pendidikan Geografi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mulawarman,
Indonesia

⁶Program Studi Pendidikan Jasmani, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mulawarman,
Indonesia

⁷Program Studi Pendidikan Bahasa dan Sastra Indonesia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas
Mulawarman, Indonesia

⁹MAN 1 Samarinda, Indonesia

*Penulis Korespondensi: nurfadilahmaulidya0@gmail.com

Riwayat Artikel:

Naskah Masuk: 23 Juli 2026;
Revisi: 20 Agustus 2026;
Diterima: 25 September 2026;
Terbit: 01 Oktober 2026

Keywords: Circular Economy;
Eco-Enzyme; Fruit Peel Waste;
Madrasah; Organic Waste.

Abstract: The Free Nutritious Meal Program (MBG) and fruit-processing business activities around the madrasah environment generate a daily volume of fruit peel waste that has not yet been managed. This activity aims to initiate the processing of fruit peel waste into eco-enzyme at MAN 1 Samarinda as a pilot for independent organic waste management. A total of 3,000 grams of fruit peel waste was collected on 2 September 2026 from a fruit juice processing business near the activity location, consisting of orange and watermelon peels. Of this amount, 3,000 grams were processed into 1 fermentation container with a sugar : organic waste : water ratio of 1 : 3 : 10. Fermentation began on 2 September 2026 and was observed at the beginning and end of the observation period, namely day 0 and day 14, through organoleptic parameters including color, aroma, and gas formation. Observation results on day 14 compared to day 0 showed a change in solution color from clear pale yellow to light brown/murky brown.

Abstrak

Program Makan Bergizi Gratis (MBG) dan aktivitas usaha pengolahan buah di sekitar lingkungan madrasah menghasilkan limbah kulit buah dalam volume harian yang belum dikelola. Kegiatan ini bertujuan menginisiasi pengolahan limbah kulit buah menjadi eco-enzyme di MAN 1 Samarinda sebagai rintisan pengelolaan sampah organik secara mandiri. Limbah kulit buah sebanyak 3.000 gram dikumpulkan pada 2 September 2026 dari usaha pengolahan jus buah di sekitar lokasi kegiatan, terdiri atas kulit jeruk dan semangka. Sebanyak 3.000 gram tersebut diolah menjadi 1 wadah fermentasi dengan rasio gula : limbah organik : air sebesar 1 : 3 : 10. Fermentasi dimulai pada 2 September 2026 dan diamati pada awal dan akhir periode fermentasi, yaitu hari ke-0 dan hari ke-14, melalui parameter organoleptik berupa warna, aroma, dan pembentukan gas. Hasil pengamatan kondisi pada hari ke-14 dibandingkan hari ke-0 menunjukkan perubahan warna larutan dari bening kekuningan menjadi cokelat muda hingga cokelat keruh, aroma dari segar khas kulit buah.

Kata Kunci: Eco-Enzyme; Ekonomi Sirkular; Limbah Kulit Buah; Madrasah; Sampah Organik.

1. PENDAHULUAN

Program Makan Bergizi Gratis (MBG) merupakan salah satu kebijakan strategis nasional yang dirancang untuk meningkatkan kualitas sumber daya manusia Indonesia melalui pemenuhan gizi anak usia sekolah. Di lingkungan institusi pendidikan, termasuk Madrasah Aliyah Negeri (MAN) 1 Samarinda, implementasi program ini memberikan dampak positif terhadap kesehatan dan konsentrasi belajar peserta didik. Kendati demikian, penyediaan makanan harian dalam skala massal secara niscaya menghasilkan residu berupa peningkatan volume sampah organik, termasuk limbah kulit buah dari distribusi konsumsi buah segar. Kementerian Lingkungan Hidup memperkirakan potensi timbulan sampah sisa makanan dari program MBG mencapai sekitar 2.400 ton per hari atau setara 624.000 ton per tahun, dengan asumsi setiap siswa menghasilkan 50–100 gram sisa makanan per hari.

Limbah organik yang tidak dikelola dengan baik berpotensi menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan, mulai dari timbulnya bau tidak sedap, hadirnya vektor penyakit, hingga kontribusi terhadap emisi gas rumah kaca akibat proses dekomposisi anaerobik di tempat pembuangan akhir. Persoalan serupa tidak hanya bersumber dari program MBG. Aktivitas usaha pengolahan buah, seperti pedagang jus di sekitar lingkungan madrasah, juga menghasilkan limbah kulit buah secara rutin dalam jumlah yang relatif tetap setiap hari. Ketersediaan aliran limbah yang berkesinambungan ini justru menjadi peluang apabila tersedia intervensi teknologi tepat guna yang mampu mengalihkan beban limbah menjadi produk bernilai ekologis.

Limbah kulit buah sesungguhnya menyimpan potensi pemanfaatan yang besar. Kulit buah seperti jeruk, nanas, pisang, dan pepaya kaya akan gula sederhana, asam organik, serta senyawa yang dapat menjadi substrat bagi aktivitas mikroorganisme. Melalui proses fermentasi, komponen-komponen tersebut dapat dikonversi menjadi cairan yang mengandung enzim aktif. Galintin et al. (2021) melaporkan bahwa eco-enzyme hasil fermentasi limbah buah dan sayuran mengandung enzim protease, lipase, dan amilase yang bermanfaat sebagai agen pembersih maupun pengurai bahan organik.

Eco-enzyme merupakan cairan hasil fermentasi sampah organik dapur bersama gula merah atau molase dan air, yang pertama kali diperkenalkan oleh Rosukon Poompanvong dan kini banyak dikaji sebagai alternatif pengelolaan limbah organik berbasis ekonomi sirkular. Widhiarso et al. (2023) menunjukkan bahwa limbah kulit buah efektif diolah menjadi eco-enzyme untuk keperluan disinfektan di lingkungan bank sampah. Viza et al. (2023) melaporkan keberhasilan pengolahan limbah kulit buah menjadi eco-enzyme pada lingkungan sekolah menengah, sementara Viza (2022) mendokumentasikan perubahan organoleptik eco-enzyme

dari limbah kulit buah sebagai parameter pemantauan jalannya fermentasi. Zulyetti et al. (2023) menerapkan pembuatan eco-enzyme sebagai upaya pengurangan limbah organik di lingkungan tempat tinggal siswa SMP dan SMA, sedangkan Aldo et al. (2025) melaporkan bahwa pendampingan fermentasi selama 90 hari menghasilkan cairan dengan derajat keasaman pada rentang 3,5–4,5 sekaligus meningkatkan pemahaman peserta terhadap konsep ekonomi sirkular. Dari sisi karakterisasi produk, Widiani dan Novitasari (2023) serta Sihite (2024) menguraikan karakteristik dan ragam pemanfaatan eco-enzyme yang dihasilkan dari limbah kulit buah dan sayuran.

Kendati demikian, sebagian besar kajian tersebut berfokus pada komunitas rumah tangga dan bank sampah, serta umumnya melaporkan hasil akhir produk setelah masa fermentasi penuh. Laporan yang secara terperinci mendokumentasikan tahap awal fermentasi pada konteks institusi pendidikan, fase yang justru paling dinamis dan paling menentukan keberhasilan proses, pada konteks institusi pendidikan yang memiliki aliran limbah harian tetap masih terbatas. Kondisi di MAN 1 Samarinda menunjukkan celah yang relevan: peningkatan suplai buah harian melalui program MBG serta ketersediaan limbah dari usaha pengolahan buah di sekitarnya belum dimanfaatkan, dan belum terdapat rintisan pengolahan limbah organik berbasis fermentasi di lingkungan madrasah.

Berdasarkan uraian tersebut, kegiatan ini bertujuan untuk (1) menginisiasi pengolahan limbah kulit buah menjadi eco-enzyme di MAN 1 Samarinda, (2) membandingkan karakteristik organoleptik larutan pada awal dan akhir periode pengamatan, dan (3) menyerahkan unit fermentasi beserta panduan pemantauannya kepada pihak madrasah agar proses dapat dilanjutkan secara mandiri hingga masa panen.

deskripsi tentang analisis situasi atau kondisi obyektif subyek pengabdian (komunitas dampingan), isu dan fokus pengabdian, alasan memilih subyek pengabdian, dan perubahan sosial yang diharapkan atau tujuan pengabdian masyarakat yang didukung dengan data-data kualitatif maupun kuantitatif, serta didukung dengan *literature review* yang relevan. Referensi menggunakan.

2. METODE

Waktu dan Tempat

Kegiatan dilaksanakan pada 2 September 2026 sampai 14 September 2026 di laboratorium MAN 1 Samarinda, Jalan Pangeran Suryanata, Kec.Samarinda Ulu, Kota Samarinda, Kalimantan Timur. Pengumpulan limbah kulit buah dilakukan pada 1-2 September 2026 sedangkan proses fermentasi dimulai pada 2 September 2026.

Bahan Baku dan Sumbernya

Bahan baku berupa limbah kulit buah diperoleh dari dua sumber, yaitu (1) limbah harian usaha pengolahan jus buah di sekitar lokasi kegiatan dan (2) sisa kulit buah dari distribusi Program Makan Bergizi Gratis di MAN 1 Samarinda. Jenis kulit buah yang terkumpul meliputi jeruk dan semangka. Limbah yang telah dikumpulkan disortasi terlebih dahulu; bagian yang busuk, berjamur, berminyak, atau telah melalui proses pemasakan disisihkan karena tidak memenuhi kriteria bahan baku eco-enzyme. Limbah kulit buah yang memenuhi syarat dan digunakan dalam penelitian ini sebanyak 3.000 g, terdiri atas 2.000 g kulit jeruk dan 1.000 g kulit semangka.

Alat dan Bahan Pendukung

Alat yang digunakan meliputi timbangan digital kapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 g, pisau, talenan, gelas ukur, dan wadah plastik bertutup ulir berkapasitas 20 L sebanyak 1 buah. Wadah berbahan plastik dipilih dan bukan kaca karena tekanan gas yang terbentuk selama fermentasi berpotensi memecahkan wadah berbahan kaca (Al-Rosyid et al., 2024). Bahan pendukung yang digunakan adalah gula merah sebanyak 1.000 g dan air bersih sebanyak 10.000 ml.

Formulasi

Formulasi mengikuti rasio baku gula : limbah organik : air sebesar 1 : 3 : 10 (b/b/v) sebagaimana digunakan oleh Rukmini dan Herawati (2023) serta Viza et al. (2023). Pada setiap wadah dimasukkan air bersih maksimum 60% dari volume wadah, gula sebanyak 10% dari berat air, serta cacahan kulit buah sebanyak 30% dari berat air. Pembatasan volume air hingga 60% dimaksudkan untuk menyediakan ruang bagi gas yang terbentuk selama fermentasi. Rincian formulasi setiap wadah disajikan pada Tabel 2.

Tahapan Pelaksanaan

Pengumpulan dan sortasi limbah kulit buah dari kedua sumber. Penimbangan limbah total serta pencatatan jenis dan proporsi masing-masing kulit buah. Pencacahan kulit buah hingga berukuran sekitar [2–3] cm untuk memperluas permukaan kontak dengan larutan. Pengisian wadah secara berurutan: air bersih, pelarutan gula hingga homogen, kemudian penambahan cacahan kulit buah. Penutupan wadah tidak rapat penuh pada minggu pertama untuk melepaskan tekanan gas, kemudian ditutup rapat pada tahap berikutnya. Pengamatan dan pendokumentasian dilakukan pada dua titik waktu, yaitu hari ke-0 (awal fermentasi) dan hari ke-14 (akhir periode pengamatan). Serah terima unit fermentasi beserta panduan pemantauan kepada pihak madrasah pada 14 September 2026

Parameter Pengamatan dan Analisis Data

Parameter yang diamati bersifat organoleptik dan visual, meliputi (a) warna larutan, (b) aroma, dan (c) intensitas pembentukan gas atau gelembung. Pengamatan dirancang sebagai perbandingan kondisi awal dan akhir periode, sehingga dinamika perubahan di antara kedua titik tersebut tidak terekam. Pengukuran pH belum dilakukan pada tahap ini. Data disajikan secara deskriptif dalam bentuk tabel dan dokumentasi foto pembanding kondisi awal dan akhir, kemudian dibandingkan dengan pola perubahan organoleptik eco-enzyme yang dilaporkan pada kajian terdahulu.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik dan Jumlah Limbah Kulit Buah

Limbah kulit buah yang berhasil dikumpulkan pada 2 September 2026 berjumlah 3 kg dengan komposisi jenis sebagaimana disajikan pada Tabel 1. Kondisi limbah sebelum diolah serta proses penimbangannya ditampilkan pada Gambar 1.

Tabel 1. Jenis, sumber, dan jumlah limbah kulit buah yang dikumpulkan.

Jenis kulit buah	Sumber	Berat terkumpul (g)	Berat terpakai (g)	Proporsi (%)
Jeruk	Toko Jus Buah	2 kg	2 kg	100
Semangka	Buah MBG siswa	1 kg	1 kg	100
Total	–	3 kg	3 kg	100

Berdasarkan Tabel 1, jenis kulit buah yang paling dominan adalah jeruk sebesar 66,67%. Dominasi tersebut mengikuti ketersediaan bahan dari Toko Jus Buah, sehingga komposisi campuran yang diperoleh bersifat mengikuti aliran limbah riil di lapangan dan bukan hasil perancangan komposisi tertentu. Dari total limbah yang terkumpul, sebanyak 100% memenuhi syarat untuk digunakan, tanpa ada bahan yang disisihkan karena kondisi busuk, berjamur, berminyak, maupun telah dimasak.

Penggunaan campuran beberapa jenis kulit buah sejalan dengan temuan kajian terdahulu. Viza (2022) melaporkan bahwa jenis kulit buah yang digunakan berpengaruh terhadap warna dan aroma eco-enzyme yang dihasilkan, sementara Suprayogi et al. (2022) menunjukkan bahwa kombinasi kulit nanas dan jeruk menghasilkan karakteristik produk yang berbeda dibandingkan penggunaan satu jenis kulit buah saja. Al-Rosyid et al. (2024) bahkan menyatakan bahwa eco-enzyme sebaiknya dibuat dari campuran berbagai jenis kulit buah karena berpengaruh terhadap warna dan aroma produk akhir. Dengan demikian, komposisi campuran pada kegiatan ini turut menentukan karakteristik organoleptik yang teramati pada

tahap-tahap berikutnya.



Gambar 1. Kondisi awal limbah kulit buah: (a) sebelum sortasi dan pencacahan; (b) proses penimbangan.

Formulasi dan Proses Pembuatan

Limbah kulit buah yang telah disortasi selanjutnya dicacah dan diformulasikan ke dalam satu (1) wadah fermentasi. Rincian formulasi setiap wadah disajikan pada Tabel 2, sedangkan tahapan proses pembuatan ditampilkan pada Gambar 2.

Tabel 2. Formulasi setiap wadah fermentasi.

Wadah	Kapasitas (L)	Kulit buah (g)	Gula (g)	Air (mL)	Rasio
W1	15	3000	1000	10000	1 : 3 : 10
Total	15	3000	1000	10000	—

Rasio 1 : 3 : 10 dipilih karena merupakan formulasi yang paling banyak dirujuk pada praktik pembuatan eco-enzyme di Indonesia, antara lain oleh Rukmini dan Herawati (2023) yang mengamati fermentasi selama 90 hari pada tujuh bioreaktor dengan perbandingan tersebut. Variasi terhadap rasio tersebut memang dijumpai pada beberapa kajian; Aldo et al. (2025), misalnya, menggunakan perbandingan tiga bagian air, satu bagian gula merah, dan satu bagian kulit buah. Pada kegiatan ini rasio baku dipertahankan agar hasil pemantauan dapat dibandingkan secara langsung dengan pola yang dilaporkan pada literatur, sekaligus agar prosedur mudah direplikasi oleh pihak madrasah tanpa memerlukan perhitungan tambahan. Penggunaan wadah plastik bertutup ulir serta pembatasan volume pengisian hingga 60%

merupakan langkah antisipasi terhadap tekanan gas hasil fermentasi. Gas yang terbentuk pada tahap awal fermentasi dapat meningkatkan tekanan internal wadah secara signifikan sehingga berisiko menyebabkan wadah terbuka mendadak atau pecah apabila ruang udara tidak memadai.



Gambar 2. Tahapan pembuatan eco-enzyme: (a) pencacahan kulit buah; (b) penimbangan gula; (c) pencampuran bahan; (d) penutupan wadah fermentasi.

Perubahan dilakukan pada dua titik waktu, yaitu hari ke-0 dan hari ke-14

Pemantauan dilakukan sebanyak 2 (dua) kali selama 14 hari terhitung sejak Kamis, 3 September 2026 (hari mulai fermentasi), yaitu pada hari ke-0 dan hari ke-14. Hasil pengamatan terhadap warna, aroma, dan pembentukan gas disajikan pada Tabel 3, sedangkan dokumentasi visual kondisi larutan pada setiap waktu pengamatan ditampilkan pada Gambar 3.

Tabel 3. Hasil pengamatan berkala selama 14 hari fermentasi.

Hari ke-	Tanggal	Warna	Aroma	Gas/gelembung	Keterangan
0	2 September 2026	Bening kekuningan	Segar khas kulit buah + manis gula	Belum ada/minim	Kondisi awal fermentasi belum menunjukkan aktivitas mikroorganisme; larutan masih bening dan kulit buah dalam keadaan segar karena proses penguraian oleh enzim dan mikroba belum berlangsung.
14	14 September 2026	Cokelat muda–cokelat keruh	Dominan jeruk, asam-manis khas fermentasi	Ada gelembung, tanda aktivitas mikroorganisme	Proses fermentasi berjalan normal – ditandai pembentukan gas, aroma khas fermentasi (asam-manis dominan jeruk), serta bahan yang mulai melunak dan berubah warna, sesuai pola umum fermentasi eco-enzyme.

Perubahan warna. Selama periode pengamatan, warna larutan berubah dari bening kekuningan pada hari ke-0 menjadi cokelat muda-coklat keruh pada hari ke-14. Perubahan ke

arah warna coklat yang semakin pekat dan keruh merupakan gejala yang lazim dijumpai pada fermentasi eco-enzyme. Rukmini dan Herawati (2023) juga melaporkan bahwa cairan eco-enzyme berubah menjadi lebih coklat dan keruh dibandingkan kondisi awal fermentasi. Warna tersebut berasal dari gula merah atau molase yang digunakan sebagai sumber karbon dan kemudian bercampur dengan residu kulit buah selama proses berlangsung (Widiani & Novitasari, 2023).

Perubahan aroma. Aroma larutan pada hari ke-0 tercatat Segar khas kulit buah + manis gula, kemudian berubah menjadi dominan jeruk, asam-manis khas fermentasi pada hari ke-14. Pola ini sesuai dengan tahapan fermentasi eco-enzyme yang dilaporkan Rukmini dan Herawati (2023), yaitu aroma cairan berangsur menjadi semakin asam memasuki bulan kedua dan tetap membawa ciri khas bahan organik asalnya. Aroma asam segar yang menjadi indikator kematangan produk umumnya baru muncul setelah sekitar dua bulan fermentasi, sehingga kondisi pada hari ke-14 belum menunjukkan karakteristik tersebut dan hal ini bukan merupakan indikasi kegagalan proses.

Pembentukan gas. Intensitas gelembung pada hari ke-0 dibanding hari ke-14, lalu satu kalimat bahwa waktu kemunculan puncaknya tidak dapat ditentukan karena tidak ada pengamatan di antaranya. Pembentukan gas menandakan berlangsungnya aktivitas mikroorganisme yang menguraikan gula dan bahan organik. Intensitas gelembung yang tinggi pada minggu pertama menjadi alasan wadah tidak ditutup rapat penuh pada tahap tersebut.

Pada hari ke-14, yaitu tanggal 14 September 2026 seluruh wadah menunjukkan perubahan warna larutan menjadi coklat muda hingga coklat keruh, aroma dominan jeruk dengan ciri asam-manis khas fermentasi, serta pembentukan gas/gelembung yang menandakan aktivitas mikroorganisme berjalan aktif, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3. Larutan belum memasuki tahap panen, mengingat fermentasi eco-enzyme umumnya memerlukan waktu sekitar 90 hari sebelum cairan dapat disaring dan dimanfaatkan (Viza et al., 2023; Rukmini & Herawati, 2023; Aldo et al., 2025). Dengan demikian, hasil yang dilaporkan pada bagian ini merupakan capaian tahap awal fermentasi, bukan karakteristik produk akhir.



Gambar 3. Perubahan kondisi larutan selama 14 hari fermentasi: (a) hari ke-0; (b) hari ke-14.

Kendala dan Tindakan Korektif

Selama pelaksanaan kegiatan dijumpai kendala teknis berupa peningkatan tekanan gas di dalam wadah fermentasi akibat aktivitas mikroorganisme yang menghasilkan gas secara terus-menerus. Kendala tersebut diduga disebabkan oleh wadah yang tertutup rapat sehingga gas hasil fermentasi tidak memiliki jalur keluar, berisiko menyebabkan wadah menggelembung atau bahkan pecah apabila dibiarkan. Tindakan korektif yang dilakukan adalah memasang selang pada tutup wadah yang dihubungkan ke botol berisi air sebagai penampung gas (sistem airlock sederhana), sehingga gas yang terbentuk dapat disalurkan keluar tanpa membuka wadah utama dan tanpa memasukkan udara/kontaminan dari luar. Setelah tindakan tersebut, tekanan dalam wadah dapat dikendalikan dan proses fermentasi berjalan lebih aman dan stabil. Selain kendala tersebut, tidak dijumpai permasalahan teknis lain yang berarti selama periode pengamatan berlangsung.

Serah Terima dan Rencana Keberlanjutan

Seluruh unit fermentasi sebanyak 1 wadah galon berkapasitas 15 liter direncanakan diserahkan kepada pihak MAN 1 Samarinda pada 14 September 2026, untuk diterima oleh Hj. Siti Rahmah, S.Pd., selaku Kepala Laboratorium. Serah terima akan disertai penyerahan panduan pemantauan tertulis dan lembar pencatatan berkala yang memuat jadwal pengamatan, parameter yang perlu dicatat, serta tindakan yang perlu diambil apabila dijumpai kendala. Berdasarkan tanggal mulai fermentasi (2 September 2026), masa panen diperkirakan jatuh pada 1 Desember 2026 (hari ke-90). Setelah dipanen, cairan eco-enzyme direncanakan dimanfaatkan sebagai pembersih lantai dan pupuk organik cair di lingkungan madrasah,

sedangkan residu padatnya dimanfaatkan sebagai kompos untuk tanaman dan perawatan selokan di area madrasah. Pemanfaatan di lokasi penghasil limbah ini merupakan penerapan langsung prinsip ekonomi sirkular, yaitu limbah dari suatu aktivitas diolah kembali untuk mendukung keberlanjutan lingkungan di area sumbernya.

4. KESIMPULAN

Inisiasi pengolahan limbah kulit buah menjadi eco-enzyme telah dilaksanakan di MAN 1 Samarinda dengan memanfaatkan 3.000 gram limbah kulit buah (kulit jeruk dan kulit semangka) yang diolah menjadi 1 wadah fermentasi berkapasitas 15 liter dengan formulasi 1:3:10 . Perbandingan kondisi pada hari ke-0 dan hari ke-14 menunjukkan perubahan warna larutan dari bening kekuningan menjadi cokelat muda hingga cokelat keruh, aroma dari segar khas kulit buah menjadi dominan asam-manis khas jeruk, serta munculnya gas/gelembung sebagai indikator aktivitas mikroorganisme yang aktif - pola ini sejalan dengan dinamika umum fermentasi eco-enzyme pada tahap awal. Seluruh unit fermentasi direncanakan diserahkan kepada pihak madrasah pada 14 September 2026 untuk dilanjutkan hingga masa panen pada hari ke-90 (sekitar 1 Desember 2026).

Keterbatasan kegiatan ini terletak pada rentang pemantauan yang baru mencakup 14 hari pertama fermentasi serta belum dilakukannya pengukuran derajat keasaman maupun pengujian kandungan enzim, sehingga kualitas akhir produk belum dapat disimpulkan. Pemantauan lanjutan hingga hari ke-90 disertai pengukuran pH dan uji karakteristik produk direkomendasikan sebagai tindak lanjut, demikian pula pelibatan peserta didik sebagai sarana pembelajaran sains terapan di lingkungan madrasah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dede Rohimat, M.Pd., selaku Kepala MAN 1 Samarinda, dan Hj. Siti Rahmah, S.Pd., selaku guru pembina, atas izin serta bimbingan selama pelaksanaan kegiatan, serta kepada [nama usaha pengolahan jus buah] yang telah menyediakan limbah kulit buah sebagai bahan baku kegiatan ini.

DAFTAR REFERENSI

- Afrianti, N. P., Furqon, W. A., & Wulandari, A. (2024). Pengaruh poster peduli lingkungan terhadap perilaku siswa dalam menjaga lingkungan sekolah. *Jurnal Ilmiah PGMI*, 3(2), 213–221.
- Al Wafi, A., Setiadi, S., & Failasuf, C. (2025). Multilingualism in the linguistic landscape at Granada Islamic Heritage School. *ISHEL*, 1(1). <https://doi.org/10.21009/ishel.v1i1.57333>
- Branch, R. M. (2009). *Instructional design: The ADDIE approach*. Springer.
- Elidia, E., & Tabroni, T. (2025). Penerapan media poster untuk meningkatkan rasa kepedulian siswa terhadap lingkungan Madrasah Ibtidaiyah Al-Munawwarah Kota Jambi. *Akhlak*, 2(2), 340–358. <https://doi.org/10.61132/akhlak.v2i2.690>
- Hidayat, F., & Nizar, M. (2021). Model ADDIE (analysis, design, development, implementation and evaluation) dalam pembelajaran Pendidikan Agama Islam. *JIPAI: Jurnal Inovasi Pendidikan Agama Islam*, 1(1), 28–37. <https://doi.org/10.15575/jipai.v1i1.11042>
- Khairi, A., Azis, A., & Syarifudin, S. (2025). Penggunaan poster edukatif sebagai alat pembinaan hidup bersih pada kelas IX MTs Darul Amin Palangka Raya. *LEMBAH: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(1), 40–47. <https://journal.sti pancamargapalu.ac.id/index.php/lembah/article/view/41>
- Koniah, R., Hendratno, & Sukartiningsih, W. (2025). Keefektifan media poster sebagai sarana penyampaian informasi: Studi literatur tinjauan multi perspektif. *JS (Jurnal Sekolah)*, 9(2), 281–291. <https://doi.org/10.24114/js.v9i2.64841>
- RimahDani, D. E., Shaleh, S., & Nurlaeli, N. (2023). Variasi metode dan media pembelajaran dalam kegiatan belajar mengajar. *Al-Madrasah: Jurnal Ilmiah Pendidikan Madrasah Ibtidaiyah*, 7(1), 372–379. <https://doi.org/10.35931/am.v7i1.1829>
- Rustandi, A., & Rismayanti, R. (2021). Penerapan model ADDIE dalam pengembangan media pembelajaran di SMPN 22 Kota Samarinda. *Jurnal Fasilkom*, 11(2), 57–60. <https://doi.org/10.37859/jf.v11i2.2546>
- Silvia, V., Taufiqurrahman, T. M., Sofiaturrahmi, S., & Ahmad, F. (2025). Peningkatan kepedulian lingkungan melalui pemasangan poster edukasi di Desa Lam Keumok. *Karya Nyata: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 2(3), 154–162. <https://doi.org/10.62951/karyanyata.v2i3.1600>
- Srirahmawati, I., Putra, A., & Mahdin, M. (2025). Analisis penggunaan media pembelajaran poster sebagai upaya pencegahan bullying di sekolah dasar. *JANAH: Jurnal Pendidikan dan Pengajaran*, 2(1), 76–83. <https://doi.org/10.66371/janah.v2i1.28>
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Wahyuni, L., Faizi, A., Islahuddin, I., Sohnui, S., & Novitasari, M. (2024). Culturally responsive learning: Linguistic landscape study of MINHA Tebuireng Jombang, Indonesia. *Jurnal Kependidikan: Jurnal Hasil Penelitian dan Kajian Kepustakaan di Bidang Pendidikan, Pengajaran dan Pembelajaran*, 10(2), 749–759. <https://doi.org/10.33394/jk.v10i2.10976>