

ANALISIS KARAKTERISTIK EKOENZIM DARI KOMBINASI LIMBAH KULIT BUAH***Analysis of Coenzyme Characteristics from Combination of Fruit Peel Waste*****Haqil Triyatdipa^{1*}, Anthoni Agustien², Marlina³**¹Program Studi Magister Bioteknologi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Andalas, Padang²Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang³Program Studi Farmasi, Fakultas Farmasi, Universitas Andalas, Padang*Email: haqiltriyatdipa@gmail.com**Abstract**

Indonesia encounters many significant challenges in organic waste management, with 37.87% of the total 38.7 million tonnes of national waste (in 2024) unmanaged. Organic waste, such as fruit peels, which are often dumped into landfill, contributes to greenhouse gas emissions and environmental pollution. Coenzyme, a fermentation product of organic waste (1:3:10 ratio of sugar, substrate, water), is emerging as an innovative solution for waste conversion into value-added products. Besides reducing waste volume, coenzymes produce ozone (O₃) that suppresses the greenhouse effect, antimicrobial acetic acid, and natural cleaning compounds. Fruit peels such as orange, banana, papaya, watermelon and pineapple are potential substrates due to their cellulose and pectin content, but the characteristics of coenzyme depend on the interaction of chemical (pH, Total Acid Titration/TTA) and biological (Lactic Acid Bacteria/BAL, yeast) parameters. Previous studies focused on coenzymes based on one type of fruit peel, while the potential of combinations of various fruit peels has not been explored holistically. This study aims to analyse the characteristics of fruit peel combination coenzymes through evaluation of chemical (pH, TTA) and microbiological (LAB population, yeast) parameters. The results are expected to provide scientific guidance for the production of high-quality coenzymes while supporting sustainable organic waste reduction strategies.

Keywords: *Coenzyme; Fermentation; Fruit Peel Waste; Lactic Acid Bacteria (LAB); Sustainable Waste Management***Abstrak**

Indonesia menghadapi banyak tantangan signifikan dalam pengelolaan sampah organik, dengan 37,87% dari total 38,7 juta ton sampah nasional (tahun 2024) belum terkelola. Limbah organik, seperti kulit buah, yang kerap dibuang ke TPA, berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca dan pencemaran lingkungan. Ekoenzim, produk fermentasi limbah organik (rasio 1:3:10 gula, substrat, air), muncul sebagai solusi inovatif untuk konversi limbah menjadi produk bernilai tambah. Selain mengurangi volume sampah, ekoenzim menghasilkan ozon (O₃) yang menekan efek rumah kaca, asam asetat antimikroba, dan senyawa pembersih alami. Kulit buah seperti jeruk, pisang, pepaya, semangka dan nanas menjadi substrat potensial karena kandungan selulosa dan pektinnya, namun karakteristik ekoenzim bergantung pada interaksi parameter kimia (pH, Total Titrasi Asam/TTA) dan biologis (Bakteri Asam Laktat/BAL, yeast). Penelitian terdahulu fokus pada ekoenzim berbasis satu jenis kulit buah, sementara potensi kombinasi berbagai kulit buah belum dieksplorasi secara holistik. Studi ini bertujuan menganalisis karakteristik ekoenzim kombinasi kulit buah melalui evaluasi parameter kimia (pH, TTA) dan mikrobiologis (populasi BAL, yeast). Hasil penelitian diharapkan memberikan panduan ilmiah bagi produksi ekoenzim berkualitas tinggi sekaligus mendukung strategi pengurangan sampah organik berkelanjutan.

Kata Kunci: *Bakteri Asam Laktat (BAL); Ekoenzim; Fermentasi; Limbah Kulit Buah; Pengelolaan Sampah Berkelanjutan*

PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara dengan populasi yang besar dan pertumbuhan ekonomi yang pesat, dihadapkan pada tantangan serius dalam pengelolaan sampah, khususnya sampah organik. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengolahan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) per 1 Oktober 2024 hasil input dari 366 kab/kota se Indonesia menyebutkan jumlah timbunan sampah nasional mencapai angka 38,7 juta ton. Dari total produksi sampah nasional tersebut 62,13% atau 24,1 juta ton dapat terkelola, sedangkan sisanya 37,87% atau 14,6 juta ton sampah tidak terkelola (KLHK, 2024). Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah pasal 1, sampah merupakan sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Penumpukan sampah mesti ditanggulangi melalui pengelolaan sampah. Pengelolaan sampah yaitu kegiatan yang sistematis, menyeluruh, dan berkesinambungan yang meliputi pengurangan dan penanganan sampah. Pengurangan sampah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 19 huruf a meliputi kegiatan: pembatasan timbulan sampah, daur ulang sampah, dan/atau pemanfaatan kembali sampah (Prabekti, 2020).

Sampah dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu anorganik dan organik. Sampah anorganik merujuk pada limbah yang bersumber dari materi alam yang tidak dapat diperbaharui, seperti mineral, minyak bumi, plastik, dan aluminium, di mana beberapa di antaranya sangat sulit atau membutuhkan waktu lama untuk terdegradasi oleh alam. Sebaliknya, sampah organik adalah limbah yang mudah terurai secara alami, misalnya kulit buah dan sayuran (Astuti et al., 2020). Secara umum, pengelolaan sampah organik masih menjadi tantangan besar karena limbah tersebut sering langsung dibuang ke TPA tanpa diolah atau dimanfaatkan terlebih dahulu, sehingga menimbulkan masalah seperti emisi gas rumah kaca, gas metana, dan bau tidak sedap akibat proses penguraian anaerobik, serta air lindi yang berpotensi mencemari lingkungan (Susilowati et al., 2021). Berdasarkan hal tersebut, diperlukan strategi untuk mengatasi permasalahan ini dengan mengubah limbah organik menjadi produk bernilai tambah, seperti ekoenzim, yang dapat diterapkan di tingkat rumah tangga guna mengurangi volume sampah dan emisi gas rumah kaca (Putri, 2018).

Ekoenzim adalah produk bioteknologi dari hasil fermentasi sampah organik yang dicampur dengan air dan gula atau molase dengan perbandingan 1:3:10 (gula, limbah dapur berupa tumbuhan, air) (Vama dan Cherekar, 2020). Ekoenzim mempunyai banyak manfaat, selama proses pembuatan ekoenzim berlangsung dihasilkan gas O_3 (ozon), yaitu gas yang memiliki manfaat untuk mengurangi efek rumah kaca (Widayat et al., 2022). Kandungan asam asetat (CH_3COOH) pada ekoenzim juga dapat digunakan untuk membunuh kuman, virus, dan bakteri, sehingga dapat digunakan untuk mengusir hama tanaman dan menetralkan berbagai polutan yang mencemari lingkungan. Ekoenzim mengubah amonia (NH_3) menjadi nitrat NO_3 yang dapat digunakan untuk menutrisi tanaman, selain itu ekoenzim dapat diaplikasikan sebagai produk pembersih dalam kegiatan sehari-hari salah satunya sabun pencuci piring (Muliarta, 2021).

Kulit buah, seperti jeruk, pisang, pepaya, semangka dan nanas, menjadi substrat potensial untuk produksi ekoenzim karena kandungan selulosa, pektin, dan senyawa volatil yang tinggi. Namun, karakteristik ekoenzim sangat bergantung pada komposisi substrat, kondisi fermentasi, serta interaksi mikroorganisme seperti Bakteri Asam Laktat (BAL) dan yeast (Dewi et al., 2020). BAL berperan dalam menghasilkan asam laktat yang menstabilkan pH, sementara yeast mengonversi gula menjadi etanol dan senyawa antimikroba. Dinamika parameter seperti pH, Total Titrasi Asam (TTA), serta populasi BAL dan yeast selama fermentasi menjadi kunci dalam menentukan kualitas dan efektivitas ekoenzim (Wikaningrum et al., 2022).

Penelitian sebelumnya lebih banyak fokus pada ekoenzim dari satu jenis kulit buah, sementara potensi kombinasi berbagai kulit buah belum dieksplorasi secara mendalam. Padahal, diversifikasi substrat dapat meningkatkan keragaman senyawa bioaktif dan mengoptimalkan kinerja mikroba selama fermentasi. Selain itu, studi tentang hubungan sinergis antara parameter kimia (pH, TTA) dan biologis (BAL, yeast) dalam ekoenzim campuran kulit buah masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik ekoenzim berbasis campuran kulit buah dengan pendekatan holistik, mencakup aspek kimia, biologi, dan potensi aplikasinya dalam pengelolaan limbah berkelanjutan. Dengan menggali interaksi antara komposisi substrat, parameter fermentasi, dan

aktivitas mikroba, penelitian ini diharapkan dapat memberikan panduan ilmiah bagi masyarakat dalam memproduksi ekoenzim berkualitas tinggi sekaligus mendukung target Indonesia dalam mengurangi timbunan sampah sebesar 30% pada 2025 sesuai Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN).

METODE

Penelitian ini dilakukan pada bulan September hingga Desember 2024 di Laboratorium Teknologi Hasil Ternak Fakultas Peternakan Universitas Andalas. Metode yang digunakan adalah deskriptif dengan melakukan analisis karakteristik pada sampel ekoenzim.

Alat dan Bahan

Alat : ember tutup, selang kecil 5 m, pisau, gunting, talenan, timbangan kue, neraca analitik, sendok, botol plastik ukuran 1000 ml, saringan teh besar, tabung reaksi, rak tabung, mikro pipet, bunsen, tabung reaksi, cawan petri, pH meter, inkubator, laminar air flow, autoclave, kulkas, labu ukur 100 ml, erlemeyer 250 ml, statif, buret scelbach, gelas ukur 100 ml, gelas beker 500 ml, gelas beker 1000 ml, stirer, dan hotplate.

Bahan : limbah kulit buah-buahan sebagai berikut: kulit jeruk, kulit pisang, kulit pepaya, kulit semangka, kulit nanas, air keran, gula aren, media biakan, MRS Agar, MRS Broth, media PDA, aquades, NaCl, NaOH 0,1 N, indikator fenoltalein, larutan buffer pH 4 dan pH 9, kapas, aluminium foil, kain kasa, plastik wrap, kertas label, plastik, karet, isolasi bening besar, lem stik dan kertas buram.

Cara Kerja

Pembuatan Ekoenzim

Pembuatan ekoenzim dilakukan mengikuti metode yang digunakan oleh (Murdiana et al., 2022) dengan langkah-langkah sebagai berikut. Bahan-bahan organik yang digunakan yaitu kulit buah disortir, dicuci dan dipotong, kemudian bahan dicampurkan dengan air dan gula merah dengan perbandingan air: bahan organik: gula aren adalah 10:3:1 dalam wadah tertutup. Air yang digunakan adalah air keran. Gula merah aren diperoleh dari pasar tradisional.

Ekoenzim dibuat dengan mencampur air keran 900 ml, 270 gram kulit buah (54 gram kulit jeruk, 54 gram kulit pisang, 54 gram kulit pepaya, 54 gram kulit semangka, 54 gram kulit nanas), dan 90 gram gula. Dalam wadah yang volumenya cukup untuk menampung gas dan penambahan volume cairan yang dihasilkan dari proses fermentasi. Campuran untuk membuat ekoenzim diaduk rata, sebelum wadah ditutup rapat. Campuran difermentasi selama 3 bulan. Gas yang dihasilkan selama proses fermentasi akan menumpuk dalam wadah harus dibuang, untuk itu dibuat saluran gas dari wadah yang dialirkan ke wadah lain yang berisi air. Selama proses fermentasi, wadah tempat fermentasi diamati untuk mengetahui apakah terdapat serangga atau ulat yang muncul pada wadah fermentasi dan perlu dikeluarkan.

Ekoenzim yang telah siap panen ditandai dengan cairan yang berwarna coklat dengan aroma asam segar dan menyengat, terdapat jamur putih pada permukaan cairan ekoenzim. Ekoenzim kemudian disaring untuk memisahkan cairan dari ampasnya; cairan hasil penyaringan ditampung dalam botol, sedangkan ampas disisihkan (Murdiana et al., 2022).

Pemilihan bahan organik untuk ekoenzim berupa kulit nanas mengacu pada penelitian Vama and Cherekar (2020), kulit jeruk dan kulit pisang menurut penelitian yang telah dilakukan Hidayah et al., (2020), kulit semangka berdasarkan pada penelitian Benduru (2024) dan kulit pepaya mengacu pada penelitian Utpalāsari and Dahliana (2020). Campuran bahan-bahan untuk pembuatan ekoenzim yang terdiri dari lima kulit buah, air dan gula merah dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Campuran Bahan-Bahan untuk Pembuatan Ekoenzim

Pengujian pH

Pengujian pH larutan dilakukan mengikuti metode Azizah (2012), yaitu dengan menggunakan pH meter yang telah dikalibrasi dengan larutan buffer pH 4 dan 9. Suhu sampel diukur dengan mengatur suhu pH meter. pH meter dinyalakan dan dibiarkan agar stabil selama 15–30 menit. Elektroda dibilas dengan aquades dan dikeringkan dengan tisu. Kemudian elektroda dicelupkan pada sampel hingga diperoleh pembacaan skala pH yang stabil.

Pengujian Total Titrasi Asam (TTA)

Pengukuran total asam ekoenzim dengan cara titrasi metode Aristya et al, (2013). Sampel ekoenzim sebanyak 10 ml dititrasi dengan NaOH 0,1 N dan ditetesi indikator fenolftalein hingga berwarna pink (Vama and Cherekar, 2020). Pengujian total asam dilakukan dengan cara memasukkan 10 ml ekoenzim ke dalam labu ukur 100 ml, kemudian ditambahkan aquades sampai tanda batas lalu dihomogenkan dan disaring. Filtrat diambil 25 ml dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan indikator PP 2–3 tetes. Sampel dalam erlenmeyer dititrasi dengan larutan NaOH 0,1 N sampai terbentuk warna merah muda. Pembacaan skala pada saat warna merah muda terbentuk pertama kali dan bertahan sampai beberapa saat.

Kadar total asam diperoleh dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Total Asam (\%)} = \frac{\text{Volume NaOH} \times \text{N NaOH} \times \frac{100}{25} \times 90}{\text{Volume Sampel 10 ml} \times 1000}$$

Keterangan :

Vol NaOH	=	Vol. NaOH hasil titrasi
N NaOH	=	Normalitas NaOH setelah distandarisasi
BE	=	Berat ekuivalen asam sitrat 90
100/25	=	25 ml sampel dalam 100 ml labu takar (pengenceran)
Vol sampel	=	10 ml sampel yang dititrasi

Pengujian Total Bakteri Asam Laktat (BAL)

Penentuan total bakteri asam laktat mengacu pada metode Purwati *et al.* (2005), Bakteri ditanam pada media MRS Agar (Merck) sebanyak 6,82g dilarutkan dengan 100ml aquades. kemudian dididihkan menggunakan *hot plate* dan diaduk menggunakan *stirrer*. Media kemudian disterilkan pada suhu 121°C selama 15 menit dengan tekanan 15 Lbs dalam *autoclave*. Sampel ekoenzim diencerkan hingga lima kali pengenceran. Sebanyak 1 ml sampel ekoenzim hasil pengenceran dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 ml MRS Broth (10^{-1}) dihomogenkan. Kemudian 100µl dari tabung 10^{-1} dipipet dan dimasukkan ke dalam 900µl tabung (10^{-2}) lalu dihomogenkan. Pengenceran seperti langkah-langkah diatas dilakukan hingga diperoleh sampel dengan pengenceran 10^{-7} . Sampel ekoenzim pada 3 pengenceran terakhir ditanam duplo ke dalam *petridish* sebanyak 100µl kemudian dituang media MRS Agar. Setelah itu diinkubasi pada suhu 37°C selama 48 jam. Pengamatan jumlah koloni dicatat dan dikonversi dengan cara perhitungan bakteri mengikuti metode *Total Plate Count* (TPC) dan perhitungan dengan cara *Standar Plate Count* (SPC). Koloni yang dihitung antara 30 – 300 koloni bakteri.

Total koloni BAL (CFU/mL)

$$\text{Jumlah Koloni BAL} \times \frac{1}{\text{Faktor Pengenceran}} \times \frac{1}{\text{Berat Sampel}}$$

Pengujian Total Yeast

Pengujian total yeast dilakukan mengikuti metode yang digunakan Purwati *et al.* (2005), Media Potato Dextrose Agar (PDA) dicampurkan ke dalam aquades kemudian dididihkan menggunakan *stirrer/ hot plate* dan disterilkan dalam *autoclave* pada suhu 121°C dengan tekanan 1 atm. Sampel ekoenzim diencerkan hingga lima kali pengenceran. Sebanyak 1 ml sampel yang sudah diencerkan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 ml NaCl steril (10^{-1}) lalu dihomogenkan. Sebanyak 1 ml sampel dari tabung pengenceran 10^{-1} diambil dan dipipet ke dalam tabung pengenceran 10^{-2} lalu dihomogenkan. Pengenceran sampel dilakukan sampai diperoleh pengenceran 10^{-5} . Sampel ekoenzim dari 3 pengenceran terakhir dimasukkan ke dalam *petridish* sebanyak 1 ml kemudian dituang media PDA, lalu dihomogenkan, dibekukan, dan diinkubasi selama 48 jam. Pengamatan jumlah koloni dicatat dan dikonversi dengan perhitungan bakteri sesuai metode *Total Plate Count* (TPC) dan perhitungan dengan cara *Standar Plate Count* (SPC). Koloni yang dihitung antara 30 – 300 koloni bakteri.

$$\text{Jumlah Total Yeast (CFU/mL)} = \text{Jumlah Koloni/mL} \times \text{Faktor Pengenceran}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian ekoenzim yang dibuat dari kulit buah yang ada di pasar rakyat Kota Pariaman dihasilkan karakteristik nilai pH 3,22, total titrasi asam (TTA) 0,46%, total bakteri asam laktat $1,8 \times 10^7$ CFU/mL, dan total yeast $5,7 \times 10^7$ CFU/mL. Adapun karakteristik ekoenzim tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rerata Hasil Analisis Karakteristik Ekoenzim

Sampel	Nilai pH	Total Titrasi Asam (TTA)	Total Bakteri Asam Laktat (BAL)	Total Yeast
Ekoenzim	3,22	0,46%	$1,8 \times 10^7$ CFU/mL	$5,7 \times 10^7$ CFU/mL

Berdasarkan hasil penelitian, larutan ekoenzim memiliki pH di bawah 4,00 yang menunjukkan sifatnya yang asam. Ekoenzim berbahan baku kulit jeruk, pisang, nanas, pepaya dan semangka memiliki pH rata-rata 3,22. Kondisi pH yang rendah ini disebabkan oleh proses fermentasi aerobik atau respirasi oksidatif yang dilakukan oleh bakteri dari genus *Acetobacter* dan *Gluconobacter*. Pada fermentasi alkohol mula-mula gula yang terdapat pada bahan baku akan dibongkar oleh khamir menjadi alkohol dan gas O₂ yang berlangsung secara anaerobik. Setelah alkohol dihasilkan maka dilakukan fermentasi asam asetat, dimana bakteri asam asetat akan mengubah alkohol menjadi asam asetat. Kandungan asam organik seperti asam laktat dan asam asetat pada ekoenzim bermanfaat menghambat pertumbuhan bakteri (Kadarin *et al.*, 2023).

Karakteristik ini menjadikan ekoenzim tidak mendukung pertumbuhan bakteri patogen, sehingga berpotensi digunakan sebagai cairan antibakteri. Fermentasi ekoenzim berlangsung optimal pada pH 4–5, namun pada pH di bawah 3, aktivitas enzim menurun sehingga proses penguraian gula oleh mikroba menjadi etanol melambat. Hal serupa juga disampaikan Tuhumury et al., (2024) menyatakan bahwa fermentasi ekoenzim menghasilkan asam-asam organik sehingga menurunkan pH yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri patogen.

Ditambahkan oleh Permatananda et al., (2023) dalam fermentasi ekoenzim selain asam organik seperti asam asetat, asam laktat dan asam sitrat juga memproduksi senyawa bioaktif seperti flavonoid dan tanin yang dapat menghambat sintesis asam nukleat dan mengganggu fungsi membran sel yang menyebabkan kematian sel bakteri patogen.

Pada penelitian ini dihasilkan karakteristik ekoenzim dengan total bakteri asam laktat (BAL) $1,8 \times 10^7$ CFU/mL lebih rendah dibandingkan total yeast/khamir yaitu sebesar $5,7 \times 10^7$ CFU/mL. Hal ini disebabkan dalam proses pembuatan ekoenzim fermentasi awal dilakukan oleh yeast sehingga substrat yang digunakan oleh bakteri asam laktat menjadi berkurang untuk mendukung pertumbuhan BAL. Hal ini serupa juga disampaikan oleh Kamaliya dan Lusiani, (2023) pada tahap awal dalam proses fermentasi ekoenzim, yeast berperan dalam proses fermentasi gula dan kulit buah, dimana yeast akan mengubah gula merah dan substrat kulit buah menjadi etanol dan karbondioksida (CO_2) melalui proses anaerob. Pada kondisi ini pH mulai menurun karena pembentukan asam organik. Ditambahkan oleh Ramos-Suarez et al., (2024) Selanjutnya proses fermentasi asam laktat yang dilakukan oleh bakteri asam laktat (BAL) dengan memanfaatkan gula sisa sebagai substrat untuk menjadi asam laktat. Pada kondisi ini pH semakin menurun yang menyebabkan kondisi asam dan menghambat pertumbuhan bakteri patogen. Ditambahkan oleh Han et al., (2024) bahwa dalam proses fermentasi asam asetat, bakteri asam asetat seperti *Acetobacter* spp. memanfaatkan etanol sebagai substrat. Pada tahap inilah ekoenzim mulai matang dan pH-nya menjadi lebih stabil.

Selain itu produksi asam-asam organik yang diproduksi yeast juga dapat mempengaruhi pertumbuhan BAL. Hal serupa juga disampaikan oleh Gu et al., (2018) peningkatan kadar asam organik dapat menghambat pertumbuhan bakteri asam laktat sehingga mengalami kematian dan menurunkan total BAL. Tingkat keasaman dilakukan untuk mengukur total asam pada sampel ekoenzim berbahan baku limbah sampah buah. Selama proses fermentasi yang menghasilkan ekoenzim, aktivitas mikroba penghasil asam berperan krusial dengan memetabolisme karbohidrat, seperti sukrosa, menjadi asam laktat. Sebagaimana ditambahkan oleh Pau et al., (2024), pembentukan asam laktat sebagai produk utama dari metabolisme karbohidrat ini secara langsung menyebabkan penurunan pH larutan. Penurunan pH inilah yang menciptakan lingkungan asam khas pada ekoenzim, yang penting untuk stabilitas dan efektivitasnya.

Pada penelitian ini total yeast yang dihasilkan dari sampel ekoenzim sebesar $5,7 \times 10^7$ CFU/mL. Berdasarkan penelitian Lubis (2023), Isolat CE2 yang didapatkan dari ekoenzim pada kulit jeruk dan kulit nanas tergolong ke dalam kelompok khamir. Khamir merupakan fungi uniseluler eukariotik yang reproduksi aseksualnya terutama melalui pembentukan tunas (*budding*) atau pembelahan (*fission*) (Prihartini dan Ilmi, 2018). Khamir berperan penting dalam berbagai proses fermentasi terutama fermentasi untuk produksi alkohol dengan cara merombak gula menjadi alkohol. Umumnya khamir tumbuh baik pada kondisi asam dengan pH 3–4,5 dan suhu optimum untuk pertumbuhan khamir adalah 25°C – 30°C (Rorong dan Wilar, 2020). Khamir dapat tumbuh di berbagai lingkungan terutama substrat yang kaya gula seperti pada buah-buahan (Anggraini et al., 2019).

Pada penelitian ini pengujian total titrasi asam pada sampel ekoenzim menghasilkan rata-rata total titrasi asam sebesar 0,46%. Temuan ini sejalan dengan penelitian Suriasih et al., (2012) yang menyatakan bahwa keasaman pada ekoenzim mencerminkan akumulasi asam-asam organik, terutama asam laktat yang dihasilkan dari proses metabolisme laktosa oleh bakteri asam laktat yang tumbuh dalam ekoenzim. Senyawa asam yang terkandung di dalam ekoenzim berupa asam sitrat, asam asetat dan asam laktat tergantung kepada bahan organik yang digunakan untuk pembuatan ekoenzim (Fang et al., 2022). Asam asetat merupakan senyawa organik yang mengandung gugus asam karboksilat yang tak berwarna, berbau menyengat, memiliki rasa asam yang tajam dan larut di dalam air, alkohol, gliserol,

eter. Asam asetat diproduksi melalui fermentasi. Proses fermentasi yang berlangsung menyebabkan sukrosa yang terdapat di dalam larutan fermentasi berubah menjadi alkohol dan berlanjut menjadi asam asetat (Pradnyandari et al., 2017). Menurut Nugrahani et al., (2021) asam asetat didapatkan dari proses fermentasi bahan pangan seperti buah dan sayuran yang mengandung karbohidrat dalam jumlah besar.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Islami, 2022) terlihat kadar asam asetat tertinggi ditemukan pada ekoenzim jeruk asam (jeruk purut) sebesar 5,53%, sedangkan kadar asam asetat terendah ditemukan dalam ekoenzim campuran jeruk manis dan asam sebesar 3,32%. Dalam penelitian ini terlihat bahwa terdapat perbedaan karena kemungkinan dipengaruhi oleh faktor jenis bahan organik, suhu, pH, dan lama fermentasi. Hal ini selaras dengan penelitian Rochyani et al., (2020) hasil fermentasi ekoenzim yang dihasilkan menjadi bersifat asam dengan pH yang rendah. Disamping itu lama waktu fermentasi dan penggunaan molase berpengaruh terhadap tingkat pH dan TDS. Pada penelitian Aditiwati dan Kusnadi, (2003) juga menjelaskan bahwa semakin lama waktu fermentasi maka asam yang dihasilkan akan meningkat. Di sisi lain, salah satu masukan penting dalam pengolahan bahan organik yang dijadikan ekoenzim adalah adanya pengaruh waktu fermentasi, dimana nilai parameter pH akan berkurang seiring waktu fermentasi karena degradasi bahan organik oleh mikroorganisme yang ada dalam larutan enzim (Nazim dan Meera, 2013).

Pada penelitian Rohmah et al., (2020) pembuatan asam asetat pada limbah sampah organik yaitu kulit nanas kering memiliki keunggulan lebih cepat proses fermentasi sehingga dari segi waktu lebih efisien, namun hasil produk sedikit, dibandingkan kulit nanas yang setengah basah dan basah proses fermentasinya lebih lambat namun hasil produk akhir ekoenzim lebih banyak. Hal ini sesuai dengan pernyataan Nugroho et al., (2011) yang menyatakan bahwa semakin tinggi suhu udara yang digunakan untuk pengeringan, maka kadar air bahan juga akan semakin besar, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk pengeringan akan menjadi semakin cepat.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa ekoenzim yang dibuat berbasis kombinasi limbah kulit buah jeruk, pisang, pepaya, semangka, dan nanas memiliki karakteristik nilai pH sebesar 3,22, total titrasi asam (TTA) sebesar 0,46%. Populasi total BAL sebanyak $1,8 \times 10^7$ CFU/mL dan populasi total yeast sebanyak $5,7 \times 10^7$ CFU/mL.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah perlu dilakukan penelitian lebih mendalam untuk mengidentifikasi jenis enzim dan senyawa bioaktif yang dihasilkan selama proses fermentasi. Hal ini penting untuk menentukan potensi ekoenzim sebagai agen antimikroba dan pengendali hama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga artikel ilmiah ini dapat terselesaikan dengan baik. Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Prof. Dr. Anthoni Agustien, MS, dan Ibu Prof. apt. Marlina, MS., Ph.D., atas bimbingan dan saran yang berharga selama penulisan artikel ini. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dan memberikan bantuan, sehingga penelitian dan penulisan artikel ini dapat berjalan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditiwati, P., & Kusnadi, K. (2003). Kultur campuran dan faktor lingkungan mikroorganisme yang berperan dalam fermentasi "tea-cider". *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, 35(2), 147-162.
- Anggraini, I. A., Ferniah, R. S., & Kusdiyantini, E. (2019). Isolasi khamir fermentatif dari batang tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L) dan hasil identifikasinya berdasarkan sekuens internal transcribed spacer. *Berkala Bioteknologi*, 2(2), 12-22.
- Aristya, A. L., Legowo, A. M., & Al-Baarri, A. N. (2013). Total asam, total yeast, dan profil protein kefir susu kambing dengan penambahan jenis dan konsentrasi gula yang berbeda. *Jurnal Pangan dan Gizi*. 4(7), 39-48.
- Astuti, A. P., & Maharani, E. T. W. (2020). Pengaruh variasi gula terhadap produksi ekoenzim menggunakan limbah buah dan sayur. *Edusaintek*, 4, 470-479.

- Azizah, N., Al-Baarri, A. N., & Mulyani, S. (2012). Pengaruh lama fermentasi terhadap kadar alkohol, pH, dan produksi gas pada proses fermentasi bioetanol dari whey dengan substitusi kulit nanas. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 1(2), 72-77.
- Benduru, R. A., & Antoh, A. A. (2024). Pembuatan eco-enzyme untuk meningkatkan kesuburan tanaman kangkung warga Kampung Holtekamp Distrik Muara Tami Kota Jayapura. *Jurnal Humaniora Multidisipliner*, 8(5), 35-40.
- Dewi, I., Ambarsari, L., & Maddu, A. (2020). Utilization of ecoenzyme *Citrus reticulata* in a microbial fuel cell as a new potential of renewable energy. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 23(2), 61-67.
- Fang, W., Yang, Y., Wang, C., & Zhang, P. (2022). Enhanced volatile fatty acid production from anaerobic fermentation of waste activated sludge by combined sodium citrate and heat pretreatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(6), 108518.
- Gu, X. Y., Liu, J. Z., & Wong, J. W. C. (2018). Control of lactic acid production during hydrolysis and acidogenesis of food waste. *Bioresource Technology*, 247, 711-715.
- Han, D., Yang, Y., Guo, Z., Dai, S., Jiang, M., Zhu, Y., & Yu, Y. (2024). A review on the interaction of acetic acid bacteria and microbes in food fermentation: A microbial ecology perspective. *Foods*, 13(16), 2534.
- Hidayah, N., Irianto, R. Y., & Mulyati, S. S. (2025). Analisis eco enzyme berbahan baku kulit jeruk nipis dan kulit pisang sebagai antimikroba. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 24(1), 21-27.
- Islami, A. (2022). Identifikasi kadar asam asetat pada ecoenzyme dari bahan organik kulit jeruk dengan metode titrasi asam basa. *Universitas Negeri Padang*.
- Kadarin, P. D., Legrans, R. R., & Rondonuwu, S. G. (2023). Pemanfaatan air Sungai Malalayang untuk kebutuhan air baku setelah melalui proses pengolahan dengan eco-enzyme. *TEKNO*, 21(86), 2159-2166.
- Kamaliya, N., & Lusiani, C. E. (2023). Effect of baker's yeast concentrations on eco enzyme products by the fermentation process. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 9(4), 412-424.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2024). *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN)*. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>.
- Lubis, E. D. L. S., & Handayani, D. (2024). Cendawan pada cairan ecoenzyme dan mama enzyme dari kulit jeruk dan kulit nenas. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8(2), 17236-17247.
- Muliarta, I. N., & Darmawan, I. K. (2021). Processing household organic waste into eco-enzyme as an effort to realize zero waste. *Agriwar journal*, 1(1), 6-11.
- Murdiana, H. E., Yuhara, N. A., Rahmavika, T., & Danila, D. (2022). Pelatihan pembuatan eco enzyme dari limbah organik rumah tangga di Dasa Wisma Sukun. *Diseminasi: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 4(1), 55-60.
- Nazim, F., & Meera, V. (2013). Treatment of synthetic greywater using 5% and 10% garbage enzyme solution. *Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science*, 3(4), 111.
- Nugrahani, R., Andayani, Y., & Hakim, A. (2021). Karakteristik fisik serbuk ekstrak buncis (*Phaseolus vulgaris* L) dengan variasi lama penyimpanan. *Journal Syifa Sciences and Clinical Research (JSSCR)*, 3(1), 1-8.
- Nugroho, J., Rahmi, N., & Setyowati, P. (2011). Kinerja pengkomposan limbah ternak sapi perah dengan variasi *bulking agent* dan tinggi tumpukan dengan aerasi pasif. In *Seminar Nasional Pertela 2010*.
- Pau, S., Tan, L. C., Arriaga, S., & Lens, P. N. (2024). Lactic acid fermentation of food waste at acidic conditions in a semicontinuous system: Effect of HRT and OLR changes. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(10), 10979-10994.
- Permatananda, P. A. N. K., Pandit, I. G. S., Cahyawati, P. N., & Aryastuti, A. A. S. A. (2023). Antimicrobial properties of eco enzyme: a literature review. *Bioscientia Medicina: Journal of Biomedicine and Translational Research*, 7(6), 3370-3376.
- Prabekti, Y. S., & Ahmadun, A. (2020). Eco-fermentor: Alternatif desain wadah fermentasi eco-enzyme. *Bogor Agricultural University (IPB)*, 43(1), 7728.

- Pradnyandari, A. A. A. T., Dhyana Putri, I. G. A. S., & Jirna, I. N. (2017). Kajian karakteristik objektif dan subjektif tuak aren (*Arenga pinnata*) berdasarkan lama waktu penyimpanan. *Meditory*, 5(2), 13-22.
- Prihartini, M., & Ilmi, M. (2018). Karakterisasi dan klasifikasi numerik khamir dari madu hutan Sulawesi Tengah. *Jurnal Mikologi Indonesia*, 2(2), 112-128.
- Primasari, L. S. (2023). *Karakteristik dan efektivitas eco enzyme berbahan dasar limbah organik yang berbeda sebagai pengawet buah tomat (Solanum esculentum Mill.)* [Tesis Magister, Universitas Lampung].
- Purwati, E., Syukur, S., & Hidayat, Z. (2005). Lactobacillus sp. isolasi dari biovico phitomega sebagai probiotik. *Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta*.
- Putri, R. F. (2018). Pelatihan pemanfaatan barang bekas menjadi barang yang bernilai ekonomi. *Amaliah: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(1), 150–155.
- Ramos-Suarez, M., Zhang, Y., & Heaven, S. (2024). Acidogenic fermentation of organic residual solids: Effect of different alkaline sources on pH, alkalinity, and fermentation performance. *Fermentation*, 10(11), 571.
- Rochyani, N., Utpalasari, R. L. dan Dahliana, I. (2020). Analysis of eco-enzyme conversion result using pineapple (*Ananas comosus*) and Papaya (*Carica papaya* L.). *Journal Fisheries science faculty of fisheries PGI Palembang*. 5(2).
- Rohmah, N. U., Astuti, A. P., & Maharani, E. T. W. (2020). Organoleptic test of the ecoenzyme pineapple honey with variations in water content. In *Seminar Nasional Edusainstek* (Vol. 4, No. 12, pp. 408-413).
- Rorong, J. A., & Wilar, W. F. (2020). Keracunan makanan oleh mikroba. *Techno Science Journal*, 2(2), 47-60.
- Suriasih, K., Aryanta, W. R., Mahardika, G., & Astawa, N. M. (2012). Microbiological and chemical properties of kefir made of Bali cattle milk. *Food Science and Quality Management*, 6, 12-22.
- Susilowati, L. E., Ma'Shum, M., & Arifin, Z. (2021). Pembelajaran tentang pemanfaatan sampah organik rumah tangga sebagai bahan baku eko-enzim. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 4(4), 356-362.
- Tuhumury, N. C., Sahetapy, J. M., Matakupan, J., & Rijoly, S. M. (2024). Aktivitas antibakteri eco enzyme terhadap bakteri yang diisolasi dari rumput laut terinfeksi ice-ice. *TRITON: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, 20(1), 54-61.
- Utpalasari, R. L., & Dahliana, I. (2020). Analisis hasil konversi eco enzyme menggunakan nenas (*Ananas comosus*) dan pepaya (*Carica papaya* L.). *Jurnal Redoks*, 5(2), 135-140.
- Vama, L., & Cherekar, M. N. (2020). Production, extraction and uses of eco-enzyme using citrus fruit waste: Wealth from waste. *Asian Jr. of Microbiol. Biotech. Env. Sc*, 22(2), 346-351.
- Widayat, P., Pahlawan, R., & Rajab, S. (2022). Pembuatan POC pada bank sampah Pematang Pudu Bersih Kecamatan Mandau Kabupaten Bengkalis. *COMSEP: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(2), 236–242.
- Wikaningrum, T., Hakiki, R., Astuti, M. P., Ismail, Y., & Sidjabat, F. M. (2022). The eco enzyme application on industrial waste activated sludge degradation. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, 5(2), 115-133.