



Antibacterial Activity Of Eco-Enzyme From Tomato (*Solanum Lycopersicum*) And Carrot (*Daucus Carota* L.) Sorting Waste Against *Staphylococcus Aureus*

Slamet Eko¹, Khafid Mahbub^{1*}

¹Fakultas Farmasi, Universitas Pekalongan, Pekalongan, Indonesia

Artikel Info	ABSTRAK
Received: 10-06-2026 Revised: 19-07-2026 Accepted: 29-07-2026	Background: Vegetable sorting waste, such as tomatoes and carrots, contains organic compounds that have the potential to be processed into eco-enzymes through a fermentation process. This liquid is rich in organic acids, particularly acetic acid, which has natural antibacterial properties. Research on the antibacterial activity of tomato and carrot sorting waste against <i>Staphylococcus aureus</i> is still very limited, especially those comparing antibacterial activity directly. Objective: This study aimed to test the antibacterial effectiveness of eco-enzymes from tomato sorting waste and carrot sorting waste specifically against <i>Staphylococcus aureus</i>. Methods: The method used was a laboratory experiment. Eco-enzymes were prepared using a ratio of sugar, sorting waste, and water of 1:3:19 for three months. Antibacterial activity testing was conducted using a well method with varying solutions of 5%, 10%, and 15%. Chloramphenicol was used as a positive control and DMSO as a negative control. The inhibition zone data were then analyzed using a one-way ANOVA. Results: The study showed that both eco-enzymes met the pH quality standard below 4.0 (tomato sorting waste eco-enzyme 2.87 and carrot sorting waste eco-enzyme 2.71). All solutions successfully formed inhibition zones, with the highest effectiveness at a 15% solution, producing a diameter of 16.8 mm for the tomato sorting waste eco-enzyme and 18.3 mm for the carrot sorting waste eco-enzyme. Conclusion: Eco-enzymes derived from both tomato and carrot sorting waste exhibit antibacterial activity against <i>Staphylococcus aureus</i>. Increasing the concentration increased the inhibitory effectiveness, while different types of raw materials did not significantly affect antibacterial activity. Keywords: Antibacterial; Carrot sorting waste; Eco-enzyme; <i>Staphylococcus aureus</i>; Tomato sorting waste

PENDAHULUAN

Limbah sortasi merupakan hasil pemilahan pascapanen berupa buah atau sayuran yang tidak memenuhi standar mutu pemasaran akibat ukuran yang seragam, cacat fisik seperti retak, atau telah memasuki tingkat kematangan berlebih, tetapi belum mengalami pembusukan total sehingga masih layak untuk digunakan (Maryanti & Wulandari, 2023). Limbah organik seperti buah tomat (*Solanum*

lycopersicum) dan wortel (*Daucus carota* L.) memiliki potensi tersembunyi karena mengandung senyawa bioaktif tinggi, seperti likopen, beta-karoten, serta berbagai antioksidan yang dapat dikonversi menjadi produk bernilai tambah melalui bioteknologi sederhana (Arfa et al., 2022). Salah satu solusi pengolahan limbah sortasi organik yang ramah lingkungan adalah pemanfaatan eco-enzyme, yaitu cairan multifungsi hasil fermentasi limbah buah

atau sayuran dengan gula dan air selama 90 hari (Low, 2021). Proses fermentasi biokatalis ini memecah molekul kompleks menjadi asam organik, terutama asam asetat, yang kaya manfaat (Wales, 2023).

Pengembangan eco-enzyme dari limbah sortasi tomat dan wortel dipilih karena merupakan komoditas hortikultura dengan volume limbah yang tinggi di kabupaten Batang. Selain jumlahnya yang melimpah, kedua bahan tersebut mengandung senyawa aktif yang kompleks. Tomat mengandung senyawa likopen, flavonoid, dan asam askorbat yang berfungsi sebagai antioksidan serta antibakteri (Wales et al., 2023). Sementara, wortel mengandung beta-karoten, asam fenolat, dan flavonoid seperti quercetin yang mampu mengganggu metabolisme energi, sitoplasma, serta menghambat DNA *gyrase* pada bakteri (Aprianto et al., 2023). Di sisi lain, kandungan asam asetat hasil fermentasi menyebabkan eco-enzyme memiliki pH sangat asam (di bawah 4), yang terbukti efektif mengganggu membran sel dan menghambat pertumbuhan berbagai mikroorganisme patogen (Vama & Cherekar, 2020). Kandungan metabolit sekunder pada bahan alam dipengaruhi oleh karakteristik bahan baku serta metode pengolahan yang digunakan. Variasi proses preparasi diketahui dapat memengaruhi kadar senyawa bioaktif sehingga berdampak terhadap aktivitas biologis yang dihasilkan (Larasati & Mahbub, 2024).

Potensi antibakteri eco-enzyme ini sangat penting diuji secara spesifik terhadap bakteri *Staphylococcus aureus*, sejenis bakteri Gram positif penyebab infeksi kulit, luka, hingga infeksi sistemik berbahaya yang dikenal memiliki kemampuan tinggi dalam mengembangkan resistensi (Robert, 2022). Beberapa penelitian terdahulu telah mengonfirmasi aktivitas antibakteri eco-enzyme. Eco-enzyme dari kulit jeruk dan

pisang terbukti efektif menghambat *S. aureus* (Irianto et al., 2023). Begitu pula dengan pemanfaatan limbah tomat sebagai bahan formulasi hand sanitizer yang menunjukkan adanya daya hambat terhadap bakteri yang sama (Ratiani et al., 2024).

Meskipun demikian, penelitian yang membandingkan dan menguji secara langsung efektivitas antibakteri antara eco-enzyme limbah sortasi tomat (*Solanum lycopersicum*) dengan eco-enzyme limbah sortasi wortel (*Daucus carota* L.) terhadap bakteri target tunggal *S. aureus* menggunakan metode sumuran masih sangat terbatas. Keunikan penelitian ini terletak pada penggabungan efek sinergis senyawa bioaktif bawaan bahan baku (likopen dan beta-karoten) dengan asam asetat hasil fermentasi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan menentukan potensi daya hambat terbaik antara eco-enzyme limbah sortasi tomat dan wortel dalam menghambat pertumbuhan bakteri *S. aureus*.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi cawan petri 150 mm, autoklaf, inkubator (Memmert), peralatan gelas seperti gelas ukur, gelas beker, tabung reaksi, dan Erlenmeyer (Pyrex), mikropipet (Dragon Lab), pipet tetes, cork borer 6 mm, timbangan analitik, jangka sorong, hot plate, Laminar Air Flow (LAF), pH meter digital, jarum ose, bunsen, dan kapas medis.

Bahan-bahan utama yang digunakan terdiri dari limbah sortasi buah tomat (*Solanum lycopersicum*) kondisi setengah busuk dan limbah sortasi wortel (*Daucus carota* L.) kondisi retak/tidak masuk kriteria pasar yang diperoleh dari kawasan pertanian Desa Gerlang, Kecamatan Blado, Kabupaten Batang. Bahan kimia dan media yang digunakan meliputi gula merah, air,

media Nutrient Agar (NA, Merck), Nutrient Broth (NB, Oxoid), bakteri *Staphylococcus aureus*, etanol 96% (Brataco), NaCl 0,9%, serbuk kloramfenikol (sebagai kontrol positif), dan Dimetil Sulfoksida (DMSO, sebagai kontrol negatif).

Metode/Langkah Penelitian

Pembuatan Eco-Enzyme

Proses pembuatan eco-enzyme dilakukan melalui fermentasi anaerob menggunakan rasio standar 3:1:10, yang terdiri dari 3 bagian limbah sortasi organik, 1 bagian gula merah, dan 10 bagian air. Galon pertama diisi dengan 10 L air, 1 kg gula merah yang telah dicacah, dan 3 kg limbah sortasi tomat. Komposisi yang sama diterapkan pada galon kedua dengan mengganti limbah sortasi organik menggunakan wortel. Wadah selanjutnya ditutup rapat secara anaerob dan proses fermentasi berlangsung selama 3 bulan tanpa membuka tutup wadah (Febrianti & Tivani, 2024). Setelah 3 bulan, cairan eco-enzyme disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan residu padat, dan diambil sebanyak 10 mL secara aseptis di dalam LAF untuk preparasi sampel. Sampel eco-enzyme tomat dan wortel kemudian diencerkan dengan DMSO hingga diperoleh variasi konsentrasi larutan uji sebesar 5%, 10%, dan 15%.

Penyiapan Media dan Sterilisasi

Media NA dibuat dengan melarutkan 9,4 gram serbuk instan NA ke dalam 390 mL aquadest di dalam Erlenmeyer, kemudian dipanaskan di atas hot plate sambil diaduk hingga mendidih dan homogen (Kherid et al., 2020). Sterilisasi media dan peralatan gelas (glassware) yang telah dibungkus dilakukan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15–20 menit (Anggraini & Retnaningsih, 2022; Mubarak et al., n.d.). Peralatan logam seperti jarum ose dan

pinset disterilkan menggunakan metode panas kering di atas api Bunsen

Peremajaan dan Standarisasi Suspensi Bakteri

Peremajaan bakteri dilakukan dengan menginokulasikan biakan murni *S. aureus* secara tusukan atau goresan pada media NA miring steril, yang dilanjutkan dengan inkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C (Artama, 2024). Pembuatan standar kekeruhan larutan McFarland 0,5 dilakukan dengan mencampurkan 0,05 mL larutan BaCl₂ 1% ke dalam labu ukur 10 mL, lalu ditambahkan larutan H₂SO₄ 1% hingga tanda batas (Bhakti et al., 2023). Kekeruhan larutan ini setara dengan konsentrasi suspensi bakteri sebesar 1,5 x 10⁸ CFU/mL. Suspensi bakteri uji dibuat dengan mengambil koloni bakteri *S. aureus* dari media peremajaan secara aseptis di dalam LAF, lalu disuspensikan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 mL larutan NaCl 0,9% hingga mencapai tingkat kekeruhan yang setara dengan standar McFarland 0,5 (Anggraini & Retnaningsih, 2022).

Pengujian pH dan Aktivitas Antibakteri

Karakteristik derajat keasaman (pH) dari produk eco-enzyme diukur menggunakan pH meter digital yang telah dikalibrasi dengan larutan buffer pH 7,0 dan pH 4,0, dengan pengulangan sebanyak 3 kali replikasi.

Pengujian aktivitas antibakteri dilakukan menggunakan metode difusi sumuran (well diffusion method). Sebanyak 25 mL media NA steril hangat dituang ke dalam cawan petri berukuran 150 mm hingga memadat. Selanjutnya, 20 µL suspensi bakteri diinokulasikan dan diratakan ke seluruh permukaan agar menggunakan spreader steril hingga homogen. Lubang sumuran berdiameter 6 mm dibuat pada media menggunakan cork borer steril. Masing-masing lubang diisi

secara aseptis dengan 20 µL larutan sampel konsentrasi 5%, 10%, dan 15%. Sebagai pembanding, digunakan 20 µL kloramfenikol 0,3% (kontrol positif) (Nurhamidin & Antasionasti, 2021) dan 20 µL DMSO murni (kontrol negatif). Seluruh cawan petri dibungkus rapat, lalu diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Setelah masa inkubasi, diameter zona bening yang terbentuk di sekeliling lubang sumuran diukur menggunakan jangka sorong pada sisi vertikal dan horizontal untuk dihitung nilai rata-ratanya melalui persamaan (1)

$$Diameter\ Zona\ Hambat\ (mm) = \left(\frac{D_v + D_h}{2} \right) - D_c \tag{1}$$

Keterangan:

Dv = Diameter vertikal zona bening (mm)

Dh = Diameter horizontal zona bening (mm)

Dc = Diameter cork borer (6 mm)

Data kuantitatif berupa diameter zona hambat bersih yang didapatkan selanjutnya dianalisis secara statistik menggunakan SPSS versi 23 melalui uji One-Way ANOVA dan uji lanjut Post Hoc.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Eco-Enzym

Proses fermentasi *eco-enzyme* limbah sortasi buah tomat (*Solanum lycopersicum*) dan sayur wortel (*Daucus carota* L.) dilakukan secara anaerob selama 90 hari dengan rasio bahan organik, gula merah, dan air sebesar 3:1:10 (Febrianti & Tivani, 2024; Hikmatriana & Fitra, 2022). Karakteristik visual awal fermentasi menunjukkan cairan yang cenderung lebih keruh akibat aktivitas mikroorganisme dalam merombak glukosa dan nutrisi substrat menjadi partikel organik terlarut (Dewi et al., 2022). Secara biokimia, kondisi anaerob memicu pemecahan glukosa melalui jalur glikolisis menjadi asam piruvat, yang didekarboksilasi oleh enzim piruvat dekarboksilase menjadi asetaldehid, lalu

direduksi menjadi etanol oleh alkohol dehidrogenase (Febrianti & Tivani, 2024). Kehadiran bakteri *Acetobacter* selanjutnya mengoksidasi etanol kembali menjadi asetaldehid hingga dikonversi menjadi asam asetat yang menjadi komponen aktif utama antimikroba (Rukmini & Astuti, 2023).

Evaluasi produk akhir dilakukan melalui uji organoleptis untuk mengenali karakteristik fisik produk melalui aroma, warna, dan bentuk (Utami et al., 2018). Data hasil uji organoleptis disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Organoleptis			
Organoleptis	Eco-enzyme tomat	Eco-enzyme wortel	Reverensi
Aroma	Asam menyengat dan segar	Asam wortel dan segar	Asam khas bahan
Warna	Kuning kecoklatan	Kuning keputihan	Sesuai bahan
Bentuk	Cair	Cair	Cair

Hasil organoleptis menunjukkan bahwa kedua *eco-enzyme* memiliki karakteristik yang sesuai dengan produk fermentasi yang baik. Aroma asam terbentuk dari terbentuknya asam organik selama fermentasi, sedangkan perbedaan warna dipengaruhi oleh pigmen alami bahan baku. Tomat mengandung likopen yang mmberikan warna kuning kecoklatan setelah fermentasi, sedangkan wortel mengandung beta-karoten yang menghasilkan kuning lebih terang. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa *eco-enzyme* memiliki aroma asam segar akibat akumulasi asam asetat yang bertindak sebagai disinfektan alami, dengan wujud cair yang dipengaruhi oleh dominasi volume air (Dewi et al., 2022).

Derajat Keasaman (pH)

Pengukuran pH dilakukan untuk mengevaluasi keberhasilan proses

fermentasi karena pembentukan asam irganik merupakan indicator utama terbentuknya eco-enzyme. Hasil pengukuran pH dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil uji pH		
Sampel	Nilai pH Rata – Rata ± SD	Keterangan
Eco-enzyme limbah sortasi tomat	2,87 ±0,01	Asam kuat
Eco-enzyme limbah sortasi wortel	2,71 ± 0,02	Asam kuat

Rata-rata nilai pH eco-enzyme tomat (2,87) dan wortel (2,71) menunjukkan korelasi positif dengan penelitian Rasit (2019) yang memperoleh nilai pH rata-rata sebesar 2,76. Rendahnya nilai pH ini dipengaruhi oleh durasi fermentasi; semakin lama proses berlangsung, dekomposisi karbohidrat dari limbah sortasi menjadi asam-asam organik volatil akan semakin meningkat (Canny et al., 2025; Rukmini & Astuti, 2023). Nilai Standard Deviation (SD) yang berada jauh di bawah 2% mengindikasikan bahwa data pengukuran instrumen memiliki tingkat presisi dan validitas yang tinggi (Defi, 2004). Nilai pH di bawah 4 hingga 2,5 ini juga telah memenuhi standar karakteristik asam asetat yang dimuat dalam Farmakope Indonesia (Kemenkes RI, 2020).

Aktivitas Antibakteri terhadap Staphylococcus aureus

Pengujian aktivitas antibakteri dilakukan menggunakan metode difusi sumuran untuk mengamati kemampuan difusi senyawa aktif melewati media Nutrient Agar (NA) guna menghambat pertumbuhan bakteri target *Staphylococcus aureus* (Balouiri et al., 2016). Hasil pengujian diameter zona hambat bersih disajikan pada **Tabel 3**.

Berdasarkan Tabel 3, menunjukkan bahwa seluruh konsentrasi eco-enzyme

mampu menghambat pertumbuhan *Staphylococcus aureus*. Pada konsentrasi rendah (5%), aktivitas antibakteri masuk kategori lemah karena zona hambat berada di bawah 5 mm (Zidni & Walid, 2024). Namun, pada konsentrasi 15%, diameter zona hambat meningkat signifikan hingga mencapai daya hambat kuat, yaitu 18,3 mm (wortel) dan 16,8 mm (tomat). Peningkatan ini dipicu oleh densitas molekul asam organik yang lebih tinggi pada konsentrasi pekat, sehingga probabilitas interaksi dengan sel bakteri menjadi lebih optimal (Sudipa et al., 2023). Hasil tersebut menunjukkan bahwa limbah hortikultura yang difermentasi masih mampu mempertahankan aktivitas biologisnya. Fenomena ini sejalan dengan penelitian Hexa et al. (2025) yang melaporkan bahwa peningkatan konsentrasi ekstrak daun lili paris meningkatkan aktivitas antibakteri terhadap bakteri uji.

Mekanisme penghambatan diduga kuat didorong oleh penetrasi asam asetat (CH₃COOH) tak terdisosiasi menembus membran sel bakteri patogen. Di dalam sitoplasma bakteri yang bersifat netral, asam asetat terdisosiasi melepaskan ion hidrogen (H⁺) yang memicu asidifikasi internal, denaturasi protein enzimatis esensial, serta merusak dinding peptidoglikan sel bakteri (Ashvin et al., 2020; Ratiani et al., 2024). Akibatnya, terjadi tekanan osmotik ekstrem yang menyebabkan influks air secara masif, menginduksi gangguan gradien proton pada membran sel, menghentikan transportasi nutrisi, dan berakhir pada osmolisis sel bakteri (Ashvin et al., 2020; Ratiani et al., 2024).

Tabel 3. Hasil Uji Antibakteri			
Kelompok Uji	Konsentrasi (%)	Rata-rata (mm) ± SD	Kategori Kekuatan
Eco-Enzyme	5	4,1 ±0,58	Lemah

Wortel	10	9,3 ±1,26	Sedang Kuat
	15	18,3 ±1,04	
Eco-Enzyme Tomat	5	4,2 ±0,25	Lemah Sedang Kuat
	10	8,8 ±1,89	
	15	16,8 ±1,61	
Kontrol (-) DMSO	100	0,0 ±0,00	Tidak Ada
Kontrol (+) Kloramfenikol	0,3	31,4 ±1,20	Sangat Kuat

Kondisi asam ekstrem (pH < 4) dari produk ini menjadi lingkungan letal bagi *S. aureus* yang secara fisiologis membutuhkan pH pertumbuhan optimal cenderung netral (6,5–7,0).

Selain asam asetat, aktivitas antibakteri kemungkinan juga dipengaruhi oleh keberadaan senyawa fenolik, flavonoid, likopen pada tomat, serta beta-karoten pada wortel yang masih tersisa setelah proses fermentasi. Senyawa-senyawa tersebut diketahui berkontribusi terhadap aktivitas biologis berbagai bahan alam, sebagaimana dilaporkan oleh [Mutiananda dan Mahbub \(2023\)](#) pada ekstrak daun bakau yang menunjukkan aktivitas antioksidan tinggi akibat kandungan metabolit sekundernya.

Penggunaan Dimetil Sulfoksida (DMSO) sebagai kontrol negatif menghasilkan zona hambat 0 mm, membuktikan bahwa pelarut bersifat inert dan tidak memengaruhi bioaktivitas sampel, melainkan murni meningkatkan permeabilitas membran sel untuk penetrasi metabolit aktif eco-enzyme tanpa merusaknya secara langsung ([Ardiansyah et al., 2023](#); [Irianto et al., 2023](#); [Schrader et al., 2022](#)). Sebaliknya, kontrol positif kloramfenikol 0,3% menghasilkan zona hambat kategori sangat kuat (>30 mm) melalui mekanisme biokimia spesifik berupa pengikatan subunit ribosom 50s untuk memblokir sintesis protein bakteri ([Katrin et al., 2015](#)).

Analisis Statistik

Uji statistik dilakukan menggunakan SPSS versi 23 melalui metode *One-Way* ANOVA untuk mengetahui signifikansi perbedaan efek antarperlakuan ([Rahayu et al., 2025](#)). Sebelum uji anova, uji prasyarat menunjukkan seluruh kelompok data memiliki distribusi normal berdasarkan parameter *Shapiro-Wilk* (sig. > 0,05) karena ukuran sampel kecil (n = 3). Selanjutnya, uji homogenitas varians menggunakan *Levene’s test* menghasilkan nilai signifikansi sebesar \$0,066\$ (sig. > 0,05), yang mengindikasikan varians data antarkelompok adalah homogen.

Hasil uji *One-Way* ANOVA menunjukkan nilai sig. = 0,000 (p < 0,05), yang berarti terdapat perbedaan rata-rata diameter zona hambat yang signifikan secara statistik antara berbagai kelompok konsentrasi dengan kontrol. Analisis kemudian dilanjutkan dengan uji komparasi ganda *Post Hoc*. Hasil uji *Post Hoc* memaparkan temuan statistik yang penting:

- Faktor Konsentrasi:** Peningkatan konsentrasi pada masing-masing bahan (eco-enzyme tomat maupun wortel) memberikan perbedaan diameter zona hambat yang sangat signifikan secara bertahap dari konsentrasi 5%, 10%, hingga 15% (p < 0,05\$). Selisih rata-rata terbesar ditemukan antara kelompok konsentrasi 5% dan 15%.
- Faktor Jenis Bahan:** Pada konsentrasi yang sama, perbandingan efektivitas antibakteri antara eco-enzyme wortel dan tomat tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik. Hal ini dibuktikan dari perbandingan konsentrasi wortel 5% vs tomat 5% (p = 1,000), wortel 10% vs tomat 10% (p = 0,995), serta wortel 15% vs tomat 15% (p = 0,681). Karena nilai p > 0,05, hipotesis nol diterima

untuk komparasi antar bahan. Secara statistik dapat disimpulkan bahwa parameter paling dominan yang memengaruhi luas zona hambat bakteri *S. aureus* adalah tingkat konsentrasi sediaan, bukan perbedaan jenis bahan baku organik. Baik limbah sortasi wortel maupun tomat memiliki kapabilitas biologis yang setara dalam menghambat pertumbuhan bakteri *S. aureus* selama diberikan pada tingkat konsentrasi yang sama.

KESIMPULAN

Eco-enzyme yang dihasilkan dari limbah sortasi tomat maupun wortel memiliki aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus*. Peningkatan konsentrasi meningkatkan diameter zona hambat secara signifikan, sedangkan perbedaan jenis bahan baku tidak memberikan perbedaan aktivitas yang bermakna pada konsentrasi yang sama. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua limbah hortikultura tersebut berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber antibakteri alami melalui proses fermentasi eco-enzyme.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, masukan, dan bantuan dalam penelitian ini.

KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan, baik finansial maupun non finansial, yang dapat mempengaruhi hasil penelitian, interpretasi data, maupun penulisan naskah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, N. O., Zubair, A., Mangarengi, N. A. P., Rachman, R. M., Tumpu, M., & Djameluddin, D. (2023). Identification of eco enzyme characteristics from organic waste. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1268(1), 012015.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1268/1/012015>
- Anggita, D., Nurisyah, S., & Wiriansya, E. P. (2022). Mekanisme kerja antibiotik: Review article. *UMI Medical Journal*, 7(1), 46–58.
<https://doi.org/10.33096/umj.v7i1.149>
- Anggraini, S., & Retnaningsih, A. (2022). Skrining fitokimia dan uji daya hambat ekstrak bawang bombay (*Allium cepa* L.) terhadap bakteri *Escherichia coli* penyebab diare. *Jurnal Analisis Farmasi*, 7(1), 1–12.
<https://doi.org/10.33024/jaf.v7i1.7287>
- Aprianto, D., Isusilaningtyas, E., & Pangesti, I. (2023). Formulasi dan evaluasi self nano emulsifying drug delivery system (SNEDDS) ekstrak umbi wortel sebagai antibakteri terhadap *Escherichia coli*. *Sains Indonesiana: Jurnal Ilmiah Nusantara*, 1(2), 20–28.
- Ardiansyah, F. F., Latifa, M. F., & Rohmawati, L. (2023). Uji sifat fisik dan antibakteri salep ekstrak daun katuk (*Sauropus androgynus* (L.) Merr.). *Seminar Nasional Fisika (SNF)*, 11(1), 127–133.
<https://doi.org/10.48144/jiks.v11i1.90>
- Arfa, M., Salasa, A. M., & Rachmawaty, D. (2022). Aktivitas antibakteri ekstrak etanol daun wortel (*Daucus carota* L.) terhadap *Klebsiella pneumoniae* dan *Pseudomonas aeruginosa*. *Jurnal Farmasi Tinctura*, 4(1), 7–17.
<https://doi.org/10.35316/tinctura.v4i1.2313>
- Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibnsouda, S. K. (2016). Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6(2), 71–79.
<https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005>

- Bhakti, T. S., Porwanti, R., & Rahmawati, D. (2023). Total plate number test at 0.5 McFarland standard in *Escherichia coli* culture. *Jurnal Laboratorium Khatulistiwa*, 25(2), 45–52.
- Canny, R., Lubis, F., & Hasfita, F. (2025). Pengaruh waktu fermentasi terhadap kualitas eco-enzyme dari sampah kulit buah dan sayuran dengan penambahan EM-4 (Effective Microorganisme–4). *Jurnal Teknologi Pertanian*, 4(2), 598–609. <https://doi.org/10.29103/cejs.v5i04.22332>
- Defi, F. (2004). *Petunjuk pelaksanaan validasi metode dan cara perhitungannya*. Bagian Pengembangan Metode Analisis, Pusat Pengawasan Obat dan Makanan Nasional.
- Dewi, S. P., Devi, S., & Ambarwati, S. (2022). Pembuatan dan uji organoleptik eco-enzyme dari kulit buah jeruk. *Prosiding Seminar Nasional Hukum, Bisnis, Sains dan Teknologi*, 2(1), 649–657.
- Febrianti, M. N. S., & Tivani, I. (2024). Pengaruh lama fermentasi bahan organik pada karakteristik kimia eco-enzyme. *Justek: Jurnal Sains dan Teknologi*, 7(1), 92–100.
- Hexa, D., Ralphsody, G., & Lindawati, N. Y. (2025). Pengaruh Konsentrasi Etanol Terhadap Aktivitas Antibakteri Ekstrak Daun Lili Paris (*Chlorophytum comosum*). *BENZENA Pharmaceutical Scientific Journal*, 04(01), 30–42.
- Hikmatriana, M., & Fitra, N. (2022). Pembuatan dan analisis eco enzyme dengan memanfaatkan limbah sortasi rumah tangga. *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat*, 1(1), 479–482.
- Irianto, I. D. K., Purnomo, K., Amanati, A., Savila, D., & Mardiyarningsih, A. (2023). Antibacterial activity of eco-enzyme waste of *Citrus sinensis*, *Musa paradisiaca* L. var. Bluggoe, and their combination against *Staphylococcus aureus*. *Majalah Farmasetik*, 19(4), 504–13.
- Katrin, D., Idiawati, N., & Sitorus, B. (2015). Uji aktivitas antibakteri dari ekstrak daun malek (*Litsea gracie* Vidal) terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 4(1), 7–12.
- Kementerian Kesehatan RI. (2020). *Farmakope Indonesia* (Edisi VI). Direktorat Jenderal Kefarmasian dan Alat Kesehatan.
- Kherid, M. T., Sari, D. D., & Nuri, N. (2020). Uji aktivitas antibakteri ekstrak etanol daun kacapiring (*Gardenia augusta* Merr.) dan fraksinya terhadap *Salmonella typhi*. *Pharmaceutical Journal of Indonesia*, 5(2), 97–102. <https://doi.org/10.21776/ub.pji.2020.005.02.5>
- Larasati, I., & Mahbub, K. (2024). Pengaruh Pelarut Terhadap Kadar Saponin Ekstrak Daun Teratai (*Nymphaea Nouchali* Burm . F .). *BENZENA Pharmaceutical Scientific Journal*, 03(02), 1–9.
- Low, C. W., Ling, R. L. Z., & Teo, S. S. (2021). Effective microorganisms in producing eco-enzyme from food waste for wastewater treatment. *Applied Microbiology: Theory & Technology*, 2(1), 28–36. <https://doi.org/10.37256/amtt.212021726>
- Mubarak, M. T., Ozsahin, I., & Ozsahin, D. U. (2019). Evaluation of sterilization methods for medical devices. *Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, 1–4.
- Mutiananda, F., & Mahbub, K. (2023). Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol 96% Daun Bakau (*Rhizophora apiculate* Blum) Dengan Metode ABTS. *BENZENA Pharmaceutical Scientific Journal*, 02(02), 91–99.

- Nurhamidin, A. P. R., & Antasionasti, I. (2021). Antibacterial activity test of n-hexane extract of langsung fruit seeds (*Lansium domesticum* Corr.) against *Staphylococcus aureus* and *Klebsiella pneumoniae* bacteria. *Jurnal Ilmiah Farmasi*, 10(2), 94–101.
- Rahayu, W. I., Maresti, F. A., Wardana, A. R., & Ramadhani, F. U. (2025). Penerapan ANOVA One Way untuk menganalisis pengaruh pendidikan terhadap pendapatan individu menggunakan Python serta visualisasi data dengan Looker Studio. *Jurnal Analisis Data Statistik*, 4(2), 85–95.
- Rasit, N., Fern, L. H., & Ghani, W. A. W. A. K. (2019). Production and characterization of eco enzyme produced from tomato and orange wastes and its influence on the aquaculture sludge. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 10(3), 967–980.
- Ratiani, S. T., Amir, R., Shapira, S. B., & Wahyuni, N. S. (2024). Utilization of eco-enzyme technology from tomato waste as raw material for making hand sanitizer and testing its inhibitory power against *Staphylococcus aureus* bacteria. *Science and Education*, 3(5), 905–912.
- Robert, H. (2022). *Staphylococcus aureus* and characteristics of infection. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 15(2), 201–207.
- Rukmini, P., & Astuti, D. (2023). Eco-enzyme dari fermentasi sampah organik dan potensinya. *Jurnal Bioteknologi Lingkungan*, 4(1), 12–19.
- Schrader, A. M., Cheng, C., Israelachvili, J. N., & Han, S. (2022). Contrasting effects of glycerol and DMSO on lipid membrane surface hydration dynamics and forces. *Journal of Chemical Physics*, 148(12), 124504. <https://doi.org/10.1063/1.4959904>
- Sudipa, P. H., Kedokteran, P., Hewan, F. K., & Veteriner, L. P. D. (2023). Uji daya hambat ekoenzim terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus* spp. yang diisolasi dari jaringan ektodermal kulit anjing. *Buletin Veteriner Udayana*, 15(2), 278–285. <https://doi.org/10.24843/bulvet.2023.v15.i02.p14>
- Utami, P. I., Ryandita, I., & Sundhani, E. (2018). Uji organoleptik dan standarisasi mutu produk fermentasi limbah perkotaan. *The 8th University Research Colloquium*, 2(1), 129–135.
- Vama, L., & Cherekar, M. N. (2020). Production, extraction and uses of eco-enzyme using citrus fruit waste: Wealth from waste. *Journal of Biotechnology and Environmental Science*, 22(2), 2020–2025.
- Wales, S., Tulung, S. M. T., & Mamarimbing, R. (2023). Growth and production of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) on several types of growing media. *Jurnal Agroekoteknologi Terapan*, 4(1), 84–93. <https://doi.org/10.35791/jat.v4i1.44124>
- Zidni, M. I., & Walid, M. (2024). Daya hambat bakteri *Staphylococcus aureus* pada ekstrak metanol daun jambu biji merah (*Psidium guajava* L. var. Pomifera). *OBAT: Jurnal Riset Ilmu Farmasi dan Kesehatan*, 2(3), 87–91. <https://doi.org/10.61132/obat.v2i3.366>