

## Pemanfaatan Limbah Kulit Buah menjadi *Eco Enzyme* dan Aktivitas Antibakterinya dalam Menghambat Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*

Ulfayani Mayasari<sup>1\*</sup>, Annisa Puji Astuti Nasution<sup>2</sup>, Rasyidah<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia

### ABSTRAK

Limbah kulit buah merupakan limbah organik yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Salah satu upaya pemanfaatannya adalah melalui fermentasi menjadi *eco enzyme*, yaitu produk ramah lingkungan yang berpotensi memiliki aktivitas antibakteri. Penelitian ini bertujuan memanfaatkan limbah kulit buah jeruk, apel, pir, nanas, mangga, serta kombinasinya dan mengevaluasi aktivitas antibakterinya terhadap *Pseudomonas aeruginosa*. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan memfermentasi masing-masing limbah kulit buah dan campurannya selama 90 hari menggunakan perbandingan kulit buah, molase, dan air sebesar 3:1:10. Karakteristik *eco enzyme* dianalisis melalui uji organoleptik dan pH, sedangkan aktivitas antibakteri diuji secara *in vitro* menggunakan metode difusi cakram pada konsentrasi 25%, 50%, 75%, dan 100%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *eco enzyme* memiliki karakteristik warna coklat muda hingga coklat tua, aroma khas asam fermentasi, dan pH bersifat asam. Seluruh perlakuan menunjukkan adanya aktivitas antibakteri terhadap *Pseudomonas aeruginosa* dengan variasi zona hambat yang dihasilkan. Aktivitas tertinggi diperoleh pada sampel Mix Padatan konsentrasi 75% dengan zona hambat sebesar 13,78 mm, diikuti kombinasi kulit jeruk, nanas, dan mangga sebesar 12,53 mm. Sampel tunggal menghasilkan zona hambat berkisar 7,63–8,23 mm, sedangkan kontrol positif menunjukkan zona hambat 10,65 mm. *Eco enzyme* limbah kulit buah mampu menghambat pertumbuhan *Pseudomonas aeruginosa*.

### ABSTRACT

Fruit peel waste is organic waste that can pollute the environment if not managed properly. One method of utilization is fermentation into "eco-enzyme," an eco-friendly product with potential antibacterial activity. This study aimed to utilize peel waste from oranges, apples, pears, pineapples, and mangoes—both individually and in combination—and to evaluate their antibacterial activity against *Pseudomonas aeruginosa*. An experimental approach was employed, fermenting each type of peel waste and their mixtures for 90 days using a ratio of 3:1:10 for fruit peel, molasses, and water. Eco-enzyme characteristics were analyzed via organoleptic and pH tests, while antibacterial activity was assessed *in vitro* using the disc diffusion method at concentrations of 25%, 50%, 75%, and 100%. The results showed that the eco-enzymes ranged in color from light to dark brown, possessed a characteristic fermented-acid aroma, and had an acidic pH. All treatments demonstrated antibacterial activity against *Pseudomonas aeruginosa*, producing varying inhibition zones. The highest activity was observed in the "Solid Mix" sample at a 75% concentration, yielding an inhibition zone of 13.78 mm, followed by the combination of orange, pineapple, and mango peels at 12.53 mm. Single-fruit samples produced inhibition zones ranging from 7.63 to 8.23 mm, whereas the positive control showed an inhibition zone of 10.65 mm. Fruit peel eco-enzymes are capable of inhibiting the growth of *Pseudomonas aeruginosa*.

Kata Kunci: *Eco enzyme*; *Pseudomonas aeruginosa*; antibakteri; limbah; kulit buah.

Email: \* [ulfayani.mayasari@uinsu.ac.id](mailto:ulfayani.mayasari@uinsu.ac.id)

DOI: <http://dx.doi.org/10.30829/jistech.v11i1.31183>



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

### Pendahuluan

Limbah organik merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan aktivitas manusia, salah satunya berasal dari limbah kulit buah[1]. Kulit buah umumnya belum dimanfaatkan secara optimal dan sebagian besar dibuang sebagai sampah rumah tangga maupun industri pengolahan pangan. Akumulasi limbah kulit buah yang tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan berbagai permasalahan lingkungan, seperti timbulnya bau tidak sedap, peningkatan beban pencemaran, serta menjadi

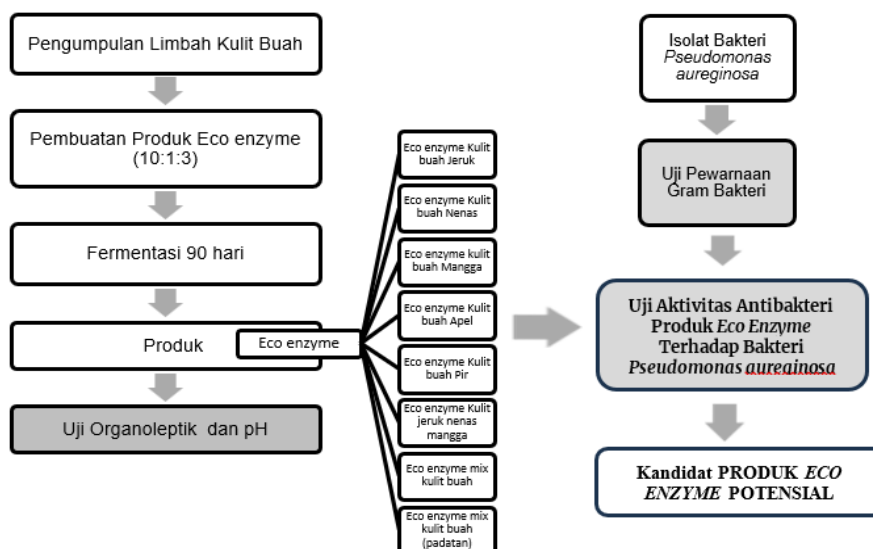
sumber pertumbuhan mikroorganisme yang berpotensi mengganggu kesehatan. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengelolaan limbah organik yang efektif dan berkelanjutan melalui pendekatan bioteknologi. Salah satu inovasi pengolahan limbah organik adalah pembuatan *eco enzyme* melalui proses fermentasi, yang menghasilkan larutan dengan kandungan metabolit seperti asam organik, enzim, dan senyawa bioaktif lainnya yang berpotensi memiliki aktivitas antimikroba. *Eco enzyme*, tidak hanya mengurangi limbah organik tetapi juga berkontribusi pada lingkungan yang lebih sehat dan berkelanjutan.

*Eco enzyme* adalah hasil fermentasi sisa makanan yang berasal dari sisa sayuran dan kulit buah. *Eco enzyme* dihasilkan melalui proses fermentasi dengan menambahkan gula aren atau molase dan air bersih pada sisa sayur dan kulit buah dengan perbandingan limbah, molase dan air yaitu 3: 1: 10. Menurut penelitian yang dilakukan oleh [2] proses fermentasi memerlukan waktu 90 hari atau 3 bulan untuk mencapai hasil akhir. Menurut penelitian yang dilakukan [3] *eco enzyme* mempunyai kandungan mikroba baik seperti bakteri *Lactobacillus*, *Acetobacter xylinum* dan jamur. Selain itu, *eco enzyme* menghasilkan enzim berupa protease, amilase dan lipase. Metabolit sekunder yang terdapat pada *ecoenzyme* berupa polifenol, alkaloid dan antioksidan. Selain itu juga, *ecoenzyme* dapat menghasilkan asam asetat dan juga bersifat antimikroba terhadap patogen. Kandungan bioaktif dalam *eco enzyme* diketahui dapat memengaruhi pertumbuhan bakteri melalui mekanisme penghambatan metabolisme sel, kerusakan membran, serta gangguan terhadap pembentukan biofilm.

Salah satu mikroba patogen yang dapat menyebabkan penyakit yaitu *Pseudomonas aeruginosa* (penyebab infeksi nosokomial.) Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* adalah bakteri gram negative berbentuk batang, Bakteri ini dapat menyebabkan patogen, menimbulkan infeksi dengan menyerang bagian jaringan organ, terutama pada individu dengan sistem imun rendah, seperti pasien rumah sakit. Bakteri ini dikenal memiliki kemampuan membentuk biofilm yang menyebabkan peningkatan resistensi terhadap berbagai agen antimikroba, sehingga proses pengendalian dan pengobatannya menjadi semakin kompleks. Selain itu, keberadaan *Pseudomonas aeruginosa* pada lingkungan, limbah, maupun fasilitas pelayanan kesehatan dapat menjadi sumber kontaminasi yang berpotensi menimbulkan risiko kesehatan masyarakat. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa bahan alami hasil fermentasi dapat menghasilkan senyawa yang mampu menghambat pertumbuhan bakteri patogen. *Eco enzyme* dari limbah kulit buah diduga memiliki aktivitas antibakteri karena kandungan asam organik, senyawa fenolik, flavonoid, dan metabolit sekunder hasil proses fermentasi. Kombinasi berbagai jenis kulit buah juga berpotensi meningkatkan aktivitas antibakteri melalui mekanisme sinergis antar komponen bioaktif yang dihasilkan. Berdasarkan potensi tersebut, penelitian mengenai pemanfaatan limbah kulit buah menjadi *eco enzyme* serta pengujian aktivitas antibakterinya terhadap *Pseudomonas aeruginosa* perlu dilakukan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai potensi *eco enzyme* sebagai produk hasil pengolahan limbah organik yang ramah lingkungan sekaligus sebagai sumber alternatif agen antibakteri dalam menghambat pertumbuhan bakteri patogen.

### Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorium. Penelitian dilakukan dilaboratorium mikrobiologi. Alat yang digunakan yaitu; wadah *eco enzyme*, pisau, cawan petri, Erlenmeyer, beaker glass, jarum ose, Lamiar Air Flow, autoklaf, oven, incubator, mikroskop. Bahan yang digunakan yaitu; aquades, air, molase, media NA, Media MHA, set larutan pewarnaan Gram, serta kertas cakram dan Isolat bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. Sampel limbah organik yang digunakan dalam penelitian ini berupa limbah kulit buah yang diperoleh dari beberapa pedagang buah. Sampel kulit buah yang digunakan terdiri dari kulit buah jeruk, nenas, pir, apel dan mangga.



Gambar 1. Diagram alur penelitian

### Pembuatan Cairan *Eco enzyme*.

Pembuatan *Eco enzyme* berasal dari kulit buah yang sejenis dan kombinasi dari beberapa campuran kulit buah. *Eco enzyme* yang dibuat terdiri dari 7 jenis dari kulit buah yang berbeda yaitu kulit buah ;1) jeruk, 2) nenas, 3) pir, 4) apel, 5) mangga, 6)jeruk+nenas+mangga 7) mix 5 jenis kulit buah 8) mix 5 jenis kulit buah(padatan) . Setiap kulit buah yang berbeda dipisah dalam wadah yang berbeda sebanyak. Dengan perbandingan 10 bagian air ditambahkan 1 bagian molase, selanjutnya sebanyak 3 bagian limbah kulit buah ditambahkan. Kulit buah dipotong kecil-kecil, ditimbang sebanyak 90 gram selanjutnya ditambahkan molase 30 gram dan air 300 ml. Setelah itu wadah diisi hingga volumenya mencapai 80% dari isi wadah. Bahan yang telah dimasukkan diaduk hingga homogen dan ditutup. Fermentasi dibiarkan hingga 3 bulan. Diminggu awal fermentasi *eco enzym*, cairan dibuka setiap harinya selama beberapa detik dengan tujuan agar gas yang dihasilkan dari proses fermentasi keluar. Selanjutnya *Eco enzyme* dibiarkan selama 3 bulan dan setelah 3 bulan diperoleh cairan *Eco Enzyme* dengan penyaringan terlebih dahulu untuk memisahkan antara cairan dengan ampas dari *eco enzyme* tersebut. Cairan *eco enzyme* sudah dapat digunakan.

### Identifikasi Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*.

Identifikasi awal bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dilakukan dengan pewarnaan Gram. Sejumlah satu ose dari bakteri diletakkan diobjek glass dan ditetaskan aquades selanjutnya difiksasi. Setelah fiksasi sampel selanjutnya diuji pewarnaan Gram. Secara berurut sampel ditetaskan kristal violet. Untuk mengikat wana violet dari larutan tersebut. Selanjutnya ditetaskan iodine dan dibilas dengan alkohol. Tahap akhir adalah pemberian safranin untuk mengikat warna merah apabila bakteri tersebut tergolong Gram negatif . Selanjutnya untuk bentuk morfologi mikroba diamati dibawah mikroskop (Bimantara, 2022).

### Uji Karakteristik *Eco enzyme*

Pengujian karakteristik *eco enzyme* meliputi uji organoleptic yang dilakukan terhadap sampel *eco enzyme* baik warna yang dihasilkan serta aroma yang dikeluarkan dari setiap cairan *eco enzyme* tersebut. Kedua parameter ini diamati ketika masa panen dari *eco enzyme* tersebut. Selanjutnya pengujian pH dilakukan dengan menggunakan pH meter.

### Pengujian Aktivitas *Eco enzyme* terhadap bakteri *Pseudomonas auruginosa*

Sejumlah 0,1 ml inoculum isolat *Pseudomonas auruginosa* diswab diatas permukaan media MHA yang telah memadat pada masing- masing cawan petri. Selanjutkan kertas cakram direndam ke dalam cairan *eco enzyme* dan selanjutnya diletakkan pada permukaan media MHA pada titik yang telah ditentukan. Inkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C. Zona hambat yang terbentuk diamati dan diukur dengan jangka sorong. Selanjutnya pengujian juga dilakukan dengan kontrol positif dan kontrol negative dengan aquades steril. Pengujian dilakukan dengan pengulangan masing-masing *eco enzyme*. Hasil pengujian diameter zona bening dengan jangka sorong yang dihasilkan dalam pengujian aktivitas *eco enzyme* selanjutnya diklasifikasikan sesuai kategori Davis and Stout yaitu:

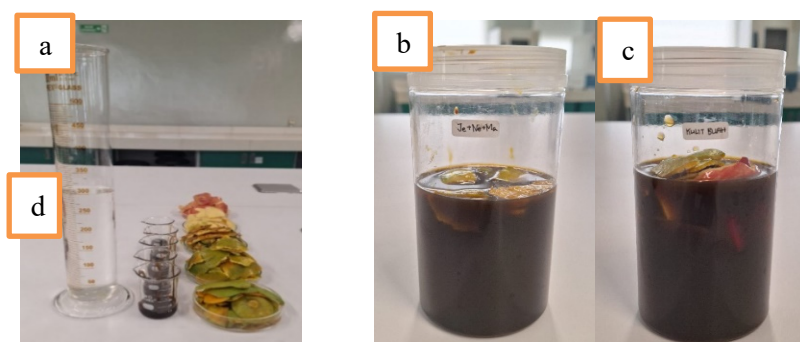
**Tabel 1** Kategori diameter zona bening dalam pengukuran Aktivitas Antimikroba

| No | Diamter zona bening (mm) | Kategori    |
|----|--------------------------|-------------|
| 1  | >20                      | Sangat kuat |
| 2  | 10-20                    | Kuat        |
| 3  | 5-10                     | Sedang      |
| 4  | <5                       | Lemah       |

### Hasil dan Pembahasan

#### 1. Karakteristik Ecoenzyme

Limbah organik dari berbagai kulit buah yang sebelumnya telah diisi air dan molase dan difermentasi selama 90 hari menjadi produk ecoenzyme. Hasil dari penggabungan bahan pembuatan ecoenzyme ini dapat dilihat pada gambar 2 berikut:





**Gambar 2.** (a)Bahan Pembuatan eco enzyme (b) mangga+jeruk +nenas (c) mix buah (d )mangga, jeruk, nenas, pir, apel

Sampel selanjutnya dikarakterisasi baik secara organoleptik : warna dan aroma, selain itu juga diukur kadar pH nya. Hasil karakterisasi organoleptik aroma dapat dilihat pada tabel 2. berikut

**Table 2.** Karakteristik Aroma Produk *Eco enzyme*

| No | Kulit Buah                            | Sebelum                               | Sesudah                                |
|----|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|
| 1  | Jeruk                                 | Aroma Kulit Buah yang Segar dan manis | Aroma asam khas jeruk                  |
| 2  | Nenas                                 | Aroma Kulit Buah yang Segar dan manis | Aroma asam dan manis khas nanas        |
| 3  | Pir                                   | Aroma Kulit Buah yang Segar dan manis | Aroma manis khas buah pir sedikit asam |
| 4  | Apel                                  | Aroma Kulit Buah yang Segar dan manis | Aroma asam kecut                       |
| 5  | Mangga                                | Aroma Kulit Buah yang Segar dan manis | Aroma manis dan kecut                  |
| 6  | Jeruk Nenas Mangga                    | Aroma Kulit Buah yang Segar dan manis | Aroma asam segar dan manis             |
| 7  | Jeruk Nenas Pir Apel Mangga           | Aroma Kulit Buah yang Segar dan manis | Aroma manis kecap sedikit asam         |
| 8  | Jeruk Nenas Pir Apel Mangga (Padatan) | Aroma Kulit Buah yang Segar dan manis | Aroma manis kecap sedikit kecut        |

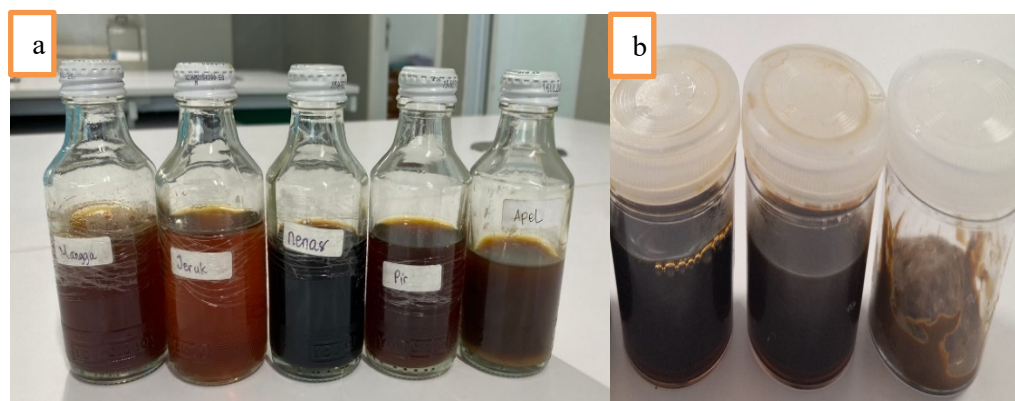
Pada Tabel 2 diatas terlihat bahwa semua varian *eco enzyme* beraroma asam. Pada buah jeruk, nenas, pir dan kombinasi jeruk nenas mangga dihasilkan aroma asam yang lebih segar dibandingkan sampel kulit buah lainnya. Pada *eco enzyme* dari kulit buah apel dan mangga aroma asam yang dihasilkan mengarah kepada kecut. Aroma kecut yang paling dominan dihasilkan oleh padatan dari kombinasi berbagai kulit buah. Untuk padatan, aroma yang dihasilkan manis kecap sedikit kecut sedangkan pada cairannya aroma manis kecap namun aroma asam yang dihasilkan hanya sedikit. selama pengamatan ditemukan bahwa *eco enzyme* pada peneilitian ini beraroma asam yang khas, ada pula yang beraroma asam kecut, asam segar buah yang manis, dan manis kecap. Hasil ini juga sejalan dengan laporan penelitian Rusdianasari et al., (2021) yang menunjukkan bahwa hasil akhir *eco enzyme* berwarna cokelat dan memiliki aroma asam segar yang khas. Hasil serupa juga ditemukan pada penelitian Nururrahmani et al., (2023) yang memperoleh *eco enzyme* yang berwarna kuning kecokelatan dan memiliki aroma asam khas fermentasi yang segar. Aroma asam yang dihasilkan berasal dari asam asetat yang terdapat pada larutan *eco enzyme* tersebut. Asam asetat umumnya akan memberikan rasa asam dan aroma asam pada hasil akhir *eco enzyme* [6]. Asam asetat diproduksi dari penguraian gula oleh bakteri *Acetobacter* yang mengubah alkohol menjadi *asetaldehid* dan air yang selanjutnya diubah menjadi asam asetat. *Acetobacter* adalah mikrobiota yang umum ditemukan pada buah-buahan. Keberadaan *Acetobacter* ditandai dengan rendahnya nilai pH dikarenakan bakteri tersebut beraktivitas dan tumbuh baik dalam rentang pH 3-6 yang berarti bersifat asam [7]. Selanjutnya hasil pengamatan karakteristik warna *eco enzyme* dapat dilihat pada tabel 3 berikut ini:



**Tabel 3.** Karakteristik Warna Produk *eco enzyme*

| No | Kulit Buah                            | Sebelum       | Setelah                       |
|----|---------------------------------------|---------------|-------------------------------|
| 1  | Jeruk                                 | Coklat Bening | Coklat kekuningan             |
| 2  | Nenas                                 | Coklat Bening | Coklat Tua Pekat              |
| 3  | Pir                                   | Coklat Bening | Coklat tua kemerahan          |
| 4  | Apel                                  | Coklat Bening | Coklat muda                   |
| 5  | Mangga                                | Coklat Bening | Coklat muda kemerahan         |
| 6  | Jeruk Nenas Mangga (H)                | Coklat Bening | Coklat Tua Pekat              |
| 7  | Jeruk Nenas Pir Apel Mangga           | Coklat Bening | Coklat Tua Pekat              |
| 8  | Jeruk Nenas Pir Apel Mangga (Padatan) | Coklat Bening | Coklat muda sedikit kehijauan |

Hasil karakteristik warna *eco enzyme* memperlihatkan bahwa produk *eco enzyme* pada semua variabel berwarna coklat dengan tingkat kepekatan warna yang berbeda-beda. Mulai dari coklat muda, coklat kekuningan, coklat kemerahan, coklat kehijauan hingga coklat tua. Warna produk *eco enzyme* yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut:



**Gambar 3** (a) cairan *eco enzyme* mangga, jeruk, nenas, pir dan apel (b) cairan *eco enzyme* jeruk+nenas+mangga, cairan *eco enzyme* buah-buahan mix, padatan *eco enzyme* buah-buahan mix

*Eco enzyme* yang berasal dari limbah kulit buah jeruk, nenas, pir, apel, manga, menunjukkan keberhasilan produksi *eco enzyme* yang dibuktikan dengan bentuk cairan berwarna coklat yang khas dan sifat asam, serta pH yang rendah. Menurut Permatananda & Pandit, (2023) *eco enzyme* itu sendiri merupakan larutan organik kompleks yang berasal dari fermentasi limbah organik, gula, dan air. Prinsip pembuatan *eco enzyme* pada dasarnya sama dengan pembuatan kompos, tetapi pada *eco enzyme* ditambahkan air sehingga terbentuklah larutan yang lebih mudah digunakan sebagai hasil produk akhir. Pada penelitian ini ditemukan bahwa masing-masing hasil akhir *eco enzyme* dari limbah kulit buah jeruk, nenas, pir, apel, dan mangga, serta campuran buah-buahan tersebut memiliki warna coklat muda hingga coklat tua pekat. Perubahan warna pada larutan *eco enzyme* masing-masing sangat bergantung pada bahan utama yang menjadi substratnya, perubahan itu dikarenakan adanya proses pencampuran residu dari kulit buah dengan molase [7].

Hasil pengamatan karakterisasi pH *eco enzyme* sebelum fermentasi dan setelah fermentasi, terlihat telah terjadi penurunan angka pH, perubahan nilai pH tersebut dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut :

**Tabel 4** Hasil pengujian karakterisasi pH berbagai *eco enzyme* kulit buah

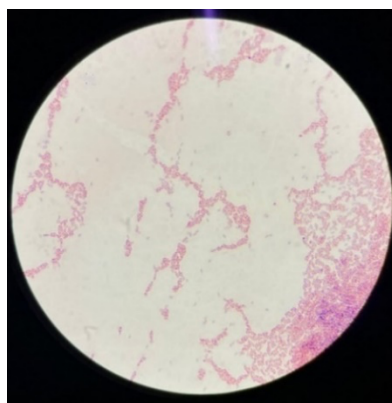
| No | Kulit Buah | pH Sebelum Fermentasi | pH Setelah Fermentasi |
|----|------------|-----------------------|-----------------------|
| 1  | Jeruk      | 6,74                  | 4,29                  |
| 2  | Nenas      | 6,55                  | 3,81                  |
| 3  | Pir        | 6,82                  | 3,21                  |

|   |                                          |      |      |
|---|------------------------------------------|------|------|
| 4 | Apel                                     | 6,40 | 4,93 |
| 5 | Mangga                                   | 5,74 | 4,17 |
| 6 | Jeruk Nenas Mangga                       | 6,15 | 4,46 |
| 7 | Jeruk Nenas Pir Apel Mangga              | 6,72 | 4,49 |
| 8 | Jeruk Nenas Pir Apel Mangga<br>(Padatan) | 6,72 | 3,88 |

Hasil pengamatan karakterisasi pada pH setelah fermentasi menunjukkan nilai pada kategori 3 hingga 4, rendahnya pH *eco enzyme* disebabkan oleh kandungan asam organik yang tinggi. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya dimana secara kimia *eco-enzim* bersifat asam dengan pH antara 3 sampai 4 (Rochyani *et al.*, 2020), hal ini didukung penelitian (Rasit *et al.*, 2019) semakin besar asam organik yang terkandung, maka pH *eco-enzim* akan semakin rendah, karena asam organik sebagai indikator keasaman pH.

## 2 . Aktivitas Antibakteri *Eco enzyme* Kulit Buah terhadap Bakteri *Pseudomonas aureginosa*

Bakteri uji yang digunakan dalam pengujian aktivitas antibakteri *eco enzyme* adalah *Pseudomonas auruginosa*. *Pseudomonas aureginosa* tergolong bakteri Gram negative. Bakteri kemudian di uji pewarnaan Gram untuk memastikan kesesuaian isolate yang digunakan. Hasil pewarnaan Gram dari isolat bakteri *Pseudomonas aureginosa* dapat dilihat pada gambar 4 berikut:



**Gambar 4** Pengamatan mikroskopik hasil pewarnaan Gram bakteri *Pseudomonas aureginosa*

Hasil pewarnaan Gram bakteri *Pseudomonas aeruginosa* menunjukkan warna yang dihasilkan adalah merah yang merupakan karakteristik dari bakteri Gram negatif. Warna tersebut menunjukkan ketidakmampuan dinding sel bakteri mempertahankan kompleks kristal violet–iodin pada tahap dekolorisasi akibat struktur peptidoglikan yang relatif tipis. Pemberian pewarna tandingan safranin menyebabkan sel bakteri menyerap warna merah muda hingga merah, sehingga dapat diamati secara mikroskopis. Pada pengamatan mikroskopik memperlihatkan sel bakteri berbentuk basil, bakteri ini terlihat sebagai bakteri tunggal, berpasangan dan beberapa membentuk rantai pendek.

*Eco enzyme* dari berbagai limbah kulit buah dengan berbagai konsentrasi diuji aktivitas antibakterinya terhadap bakteri *Pseudomonas auruginosa*. Setiap konsentrasi dengan 4 ulangan. Hasil pengujian menunjukkan nilai diameter zona hambat yang bervariasi. Data hasil pengujian aktivitas antibakteri *Eco enzyme* terhadap bakteri *Pseudomonas aureginosa* dapat dilihat pada tabel 5 berikut :

**Tabel 5** Diameter rata-rata zona hambat (mm) hasil uji aktivitas antibakteri *eco enzyme* pada berbagai kulit buah terhadap bakteri *Pseudomonas aureginosa*

| No | Sampel      | Konsentrasi |       |       |      |
|----|-------------|-------------|-------|-------|------|
|    |             | 25%         | 50%   | 75%   | 100% |
| 1  | Jeruk       | 6.98        | 7.08  | 7.88  | 8.23 |
| 2  | Nenas       | 7.35        | 7.43  | 7.88  | 8.23 |
| 3  | Pir         | 6.73        | 8.15  | 7.75  | 7.55 |
| 4  | Apel        | 6.88        | 7.33  | 7.68  | 8.05 |
| 5  | Mangga      | 6.78        | 7.08  | 7.53  | 7.63 |
| 6  | J+N+M*      | 6.88        | 10.48 | 12.53 | 9.83 |
| 7  | J+N+P+A+M** | 6.23        | 7.15  | 8.35  | 9.30 |

|    |                |      |       |       |       |
|----|----------------|------|-------|-------|-------|
| 8  | Mix Padatan*** | 8.00 | 10.80 | 13.78 | 11.23 |
| 9  | K+             |      |       | 10.65 |       |
| 10 | K-             |      |       | 0     |       |

Ket :

\* Jeruk +Nenas + Mangga

K+ :Kontrol Positif

\*\* Jeruk +Nenas + Pir +Apel+ Mangga

K- :Kontrol Negatif

\*\*\* Jeruk +Nenas +Pir+Apel+ Mangga (padatan)

Hasil pengujian aktivitas antibakteri *eco enzyme* berbasis limbah kulit buah terhadap *Pseudomonas aeruginosa* menunjukkan adanya kemampuan penghambatan dengan variasi diameter zona hambat pada setiap perlakuan dan konsentrasi. Seluruh sampel *eco enzyme* menghasilkan zona hambat pada konsentrasi 25–100%, sedangkan kontrol positif menunjukkan zona hambat sebesar 10,65 mm dan kontrol negatif tidak menunjukkan aktivitas penghambatan (0 mm). Pada sampel tunggal, *eco enzyme* kulit jeruk menghasilkan zona hambat berkisar 6,98–8,23 mm, kulit nanas 7,35–8,23 mm, kulit pir 6,73–8,15 mm, kulit apel 6,88–8,05 mm, dan kulit mangga 6,78–7,63 mm. keseluruhan sampel tunggal dari msding-msdinh kulit bush berada pada kategori sedang. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *eco enzyme* dari limbah kulit buah tunggal memiliki aktivitas antibakteri terhadap *P. aeruginosa*, meskipun dengan kemampuan penghambatan yang relatif rendah.

Peningkatan konsentrasi *eco enzyme* secara umum menunjukkan peningkatan aktivitas antibakteri, yang ditunjukkan dengan semakin besarnya diameter zona hambat pada beberapa perlakuan. [9]Konsentrasi 100% menghasilkan zona hambat tertinggi pada sebagian besar sampel tunggal, yaitu kulit jeruk dan nanas sebesar 8,23 mm serta kulit apel sebesar 8,05 mm. Aktivitas antibakteri yang dihasilkan diduga berkaitan dengan keberadaan metabolit hasil fermentasi, terutama asam organik yang menyebabkan penurunan pH dan mengganggu permeabilitas membran sel bakteri, melalui mekanisme kerusakan dinding sel, gangguan metabolisme, dan penghambatan sintesis komponen sel bakteri. Perlakuan kombinasi limbah kulit buah menunjukkan aktivitas antibakteri yang lebih tinggi dibandingkan sampel tunggal. Sampel kombinasi kulit jeruk, nanas, dan mangga (J+N+M) menghasilkan zona hambat tertinggi sebesar 12,53 mm pada konsentrasi 75%, sedangkan kombinasi seluruh kulit buah (J+N+P+A+M) menghasilkan zona hambat maksimum sebesar 9,30 mm pada konsentrasi 100%.

Aktivitas antibakteri tertinggi diperoleh pada sampel Mix Padatan dengan zona hambat sebesar 13,78 mm pada konsentrasi 75%, lebih tinggi dibandingkan kontrol positif (10,65 mm) kategori kuat. Tingginya aktivitas pada perlakuan ini diduga karena kandungan senyawa aktif dari campuran limbah kulit buah dalam bentuk padatan yang masih mempertahankan komponen bioaktif selama proses fermentasi. Berdasarkan hasil tersebut, *eco enzyme* berbasis limbah kulit buah, khususnya kombinasi padatan, memiliki potensi sebagai agen antibakteri alami dalam menghambat pertumbuhan *Pseudomonas aeruginosa*. Hasil penelitian ini mendukung pemanfaatan limbah organik sebagai produk bernilai tambah yang ramah lingkungan sekaligus berpotensi dikembangkan dalam aplikasi bioteknologi.

Sifat antibakteri *eco enzyme* tidak hanya disebabkan oleh kandungan senyawa aktif, menurut Hupitoyo et al. tahun 2024, sifat antibakteri itu juga dikarenakan oleh sifat asam lemah koenzim. Sebagai antibakteri mekanisme asam-asam organik yang terkandung pada koenzim seperti asam asetat, asam laktat dan asam sitrat dilakukan dengan cara melintasi membran sel bakteri dengan gradien pH, mengganggu pembentukan ATP, mengasamkan sitoplasma, dan akhirnya akan merusak DNA bakteri sehingga bakteri akan mati. Tidak hanya terfokus sebagai antibakteri, diketahui bahwa hasil *eco enzyme* juga memiliki mekanisme antifungal (Zahira et al. 2023). Kerusakan sel pada fungi oleh koenzim disebabkan oleh senyawa aktif dengan cara kerja merusak permeabilitas membran-membran tiap sel. Kerusakan membran sel akan menyebabkan kebocoran sehingga komponen-komponen penting di dalam sel seperti protein, asam nukleat, nukleotida dan nutrisi lainnya yang sangat diperlukan oleh sel fungi akan mengalir keluar. Sehingga sel tidak lagi dapat melakukan aktivitas hidup akibat dari pertumbuhannya yang terhambat atau bahkan mati. Hasil yang diperoleh pada penelitian tersebut berupa daya hambat kategori kuat pada konsentrasi 50% yaitu 15,822 mm terhadap fungi penyebab dermatofitosis yaitu *Tricophyton rubrum* oleh koenzim limbah kulit nanas. Pada *eco enzyme* senyawa yang paling berperan dalam menekan pertumbuhan bakteri adalah tanin [12]. Sifat antimikroba pada larutan *eco enzyme* berasal zat organik yang terurai dan menghasilkan senyawa metabolit sekunder yang dikenal sebagai senyawa bioaktif atau fitokimia selama proses fermentasi berlangsung [13].

Sebagai kandidat produk multifungsi, berdasarkan hasil pengamatan yang diperoleh dapat ditentukan bahwa koenzim cair berbahan campuran kulit jeruk, nanas, dan mangga serta koenzim padatan berbahan campuran seluruh buah adalah hasil koenzim yang paling berpotensi. Hasil ini berbanding lurus dengan pernyataan Wulandari & Winarsih (2023) bahwa koenzim kulit mangga memiliki kemampuan sebagai antimikroba dikarenakan adanya kandungan mangiferin yang kaya akan senyawa fenolik. Koenzim kulit nanas kaya akan senyawa bromelin dan senyawa tanin. Koenzim jeruk kaya akan kandungan vitamin C, pektin, serta tinggi asam laktat. Kulit apel dan pir mengandung flavonoid yang merupakan golongan terbesar dari senyawa fenolik yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri, jamur, dan virus. Sehingga gabungan dari kulit-kulit buah yang digunakan dalam penelitian ini saling bersinergi dalam menghasilkan metabolit sekunder yang dapat dimanfaatkan sebagai antimikroba

potensial yang akan dilanjutkan dengan pembuatan produk sebagai hasil akhir untuk farmakoterapi.

### Kesimpulan

*Eco enzyme* dari berbagai limbah kulit buah memiliki karakteristik aroma khas asam berwarna kecoklatan dengan nilai pH asam. *Econzyme* memiliki kemampuan dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Pseudomonas auruginosa* dengan kemampuan hambat tertinggi 13,78mm dengan kategori kuat.

### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sumatera Utara atas dukungannya dalam penelitian ini melalui dana DIPA. Terimakasih juga kepada laboran mikrobiologi UIN Sumatera Utara yang telah mendukung dalam pelaksanaan penelitian ini selama dilaboratorium.

### Daftar Pustaka

- [1] L. Vama and M. N. Cherekar, "PRODUCTION , EXTRACTION AND USES OF ECO-ENZYME USING CITRUS FRUIT WASTE : WEALTH FROM WASTE," vol. 22, no. 2, pp. 346–351, 2020.
- [2] C. W. Low, R. Leong, Z. Ling, and S. Teo, "Effective Microorganisms in Producing Eco-Enzyme from Food Waste for Wastewater Treatment," pp. 28–36, 2021.
- [3] S. Salvi, R. Sabale, S. Bobade, and A. Dhawale, "Innovative Use of Eco-Enzymes for Domestic Wastewater Purification," vol. 13, no. 3, pp. 435–439, 2024.
- [4] R. Rusdianasari *et al.*, "Utilization of Eco-Enzymes from Fruit Skin Waste as Hand Sanitizer," *AJARCDE | Asian J. Appl. Res. Community Dev. Empower.*, vol. 5, no. 3, pp. 1–5, 2021, doi: 10.29165/ajarcde.v5i3.72.
- [5] A. Nururrahmani, M. R. Hibatulloh, R. A. Nabila, Kusnadi, and P. Djuarsa, "Ekoenzim dari Berbagai Jenis Kulit Jeruk," *Hig. J. Kesehat. Lingkung.*, vol. 9, no. 1, pp. 30–35, 2023.
- [6] I. G. N. B. S. D. Putra and I. N. G. Suyasa, "Perbedaan Kualitas Cairan Eco Enzyme Berbahan Dasar Kulit Jeruk, Kulit Mangga Dan Kulit Apel," *J. Skala Husada J. Heal.*, vol. 19, no. 1, pp. 1–4, 2022, doi: 10.33992/jsh:tjoh.v19i1.1847.
- [7] N. Tsaqila and Ubaidillah, "Analisis Warna, Aroma Dan Volume Akhir Produk Eco-Enzyme Dari Sampah Kulit Buah Jeruk Berastagi (Citrus Sinensis L)," *J. Permata Indones.*, vol. 14, no. 2, pp. 87–100, 2023, doi: 10.59737/jpi.v14i2.267.
- [8] P. Ayu, N. Kasih, and I. G. S. Pandit, "Characteristic of Orange Peel Waste-Based on Eco Enzyme at Different Fermentation Duration," vol. 9, no. 6, pp. 4289–4293, 2023, doi: 10.29303/jppipa.v9i6.3527.
- [9] U. Mayasari, "Uji Aktivitas Antibakteri ekstrak Batang Muda Rotan Manau (Calamus manan) terhadap pertumbuhan bakteri Klebsiella pneumonia," *KLOROFIL J. Ilmu Biol. dan Terap.*, vol. 6, no. 1, p. 9, 2022, doi: 10.30821/kfl:jibt.v6i1.11762.
- [10] H. Hupitoyo, T. Hariyanto, and A. Kurniawati, "ANALISIS PEMBUATAN DAN POTENSI EKOENZIM KULIT BUAH JERUK NIPIS ( Citrus aurantiifolia ) SEBAGAI UPAYA," *J. Media Penelit. dan Pengemb. Kesehat.*, vol. 34, no. 1, pp. 14–25, 2024.
- [11] S. D. Zahira, M. Ihsan, and H. U. Maritsa, "Aktivitas Ekoenzim Nanas (Ananas comosus L. Merr.) Var. Queen Sebagai Antimikosis Dermatofita (Trichophyton rubrum)," *Biospecies*, vol. 16, no. 1, pp. 63–69, 2023, doi: 10.22437/biospecies.v16i1.21096.
- [12] A. H. Ramadani, R. Karima, and R. Ningrum, "Antibacterial Activity of Pineapple Peel (Ananas comosus) Eco-enzyme Against Acne Bacteria (Staphylococcus aureus and Prapionibacterium acnes)," *Indones. J. Chem. Res.*, vol. 9, no. 2, pp. 129–136, 2021, doi: 10.30598/ijcr.
- [13] H. A. K. Mavani *et al.*, "Antimicrobial efficacy of fruit peels eco-enzyme against Enterococcus faecalis: An in vitro study," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 17, no. 14, pp. 1–12, 2020, doi: 10.3390/ijerph17145107.
- [14] W. S. Wulandari and W. Winarsih, "Pengaruh Ekoenzim Berbagai Limbah Kulit Buah terhadap Penurunan Konsentrasi Surfaktan pada Air Limbah Laundry," *LenteraBio Berk. Ilm. Biol.*, vol. 13, no. 1, pp. 93–104, 2023, doi: 10.26740/lenterabio.v13n1.p93-104.