

Isolation and Characterization of Cellulolytic Bacteria from Mangrove Leaf Litter in Bale Mangrove Ecosystem

Fitri Aulia^{1*}, Agil Al Idrus¹, Dewa Ayu Citra Rasmi¹

¹Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

Article History

Received : August 08th, 2025

Revised : August 18th, 2025

Accepted : August 22th, 2025

*Corresponding Author: **Fitri Aulia**, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia; Email: aulia250503@gmail.com

Abstract: This study aimed to isolate and characterize cellulolytic bacteria from mangrove leaf litter in the Bale Mangrove ecosystem, East Lombok. A descriptive-explorative method was employed involving serial dilution, CMC agar culture, morphological and biochemical identification, Gram staining, and qualitative cellulase activity testing using Congo red. A total of 15 bacterial isolates were obtained and analyzed. All isolates were Gram-positive, predominantly rod-shaped (bacilli), and exhibited varied colony morphologies. Biochemical tests revealed diverse metabolic capabilities, and seven isolates demonstrated cellulolytic activity, with isolate P2.2 showing the highest cellulolytic index (IS = 3.78). The findings indicate the presence of highly active cellulolytic bacteria in local mangrove litter with potential roles in natural cellulose degradation. This research confirms the ecological relevance of local microbial diversity and suggests further exploration of their enzymatic potential for biotechnology and environmental management.

Keywords: Bacteria, Biodegradation, Cellulase activity, Mangrove, Microbial diversity.

Pendahuluan

Ekosistem mangrove merupakan salah satu ekosistem pesisir paling produktif dengan fungsi ekologis penting, seperti perlindungan terhadap abrasi, penyimpanan karbon, pengendalian erosi, serta penyediaan habitat bagi berbagai biota (Palit *et al.*, 2022; Muhammed & Augustine, 2024). Selain itu, mangrove mendukung siklus hara melalui dekomposisi serasah daun oleh mikroorganisme dan fungi yang berperan sebagai sumber energi utama bagi rantai makanan pesisir (De Oliveira *et al.*, 2025; Choudhary *et al.*, 2024). Namun, tingginya tekanan dari aktivitas manusia dan perubahan iklim menjadikan ekosistem ini sangat rentan, sehingga diperlukan upaya konservasi dan pengelolaan berkelanjutan untuk menjaga keseimbangannya (Allard *et al.*, 2020).

Salah satu mikroorganisme utama dalam dekomposisi serasah daun mangrove adalah bakteri selulolitik, yang menghasilkan enzim selulase untuk menghidrolisis selulosa menjadi glukosa sebagai sumber energi (Batubara *et al.*,

2022). Aktivitas enzimatik ini berperan penting dalam daur ulang bahan organik, peningkatan kesuburan tanah, dan mendukung produktivitas ekosistem mangrove (Dewiyanti *et al.*, 2023). Beberapa genus yang sering ditemukan dengan aktivitas selulase tinggi meliputi *Bacillus*, *Cellulomonas*, *Micrococcus*, dan *Fictibacillus* (Bamrunpanichtavorn *et al.*, 2023). Selain fungsi ekologis, bakteri ini juga berpotensi dalam berbagai aplikasi bioteknologi, seperti produksi enzim industri, pengolahan limbah, pertanian, dan bioenergi. Hal ini karena kemampuannya dalam menguraikan biomassa lignoselulosa secara efisien (Pramono *et al.*, 2021).

Meskipun bakteri selulolitik memiliki peran penting dalam ekosistem mangrove, kajian mengenai keberadaan dan karakteristiknya di kawasan lokal masih terbatas, khususnya di wilayah dengan potensi biodiversitas tinggi (Dewiyanti *et al.*, 2023). Beberapa studi menunjukkan bahwa genus *Bacillus*, *Cellulomonas*, *Micrococcus*, dan *Fictibacillus* mendominasi isolat selulolitik dengan aktivitas enzimatik tinggi (Bamrunpanichtavorn *et al.*,

2023).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengisolasi dan mengkarakterisasi bakteri selulolitik dari serasah daun mangrove di ekosistem Bale Mangrove Poton Bako, Lombok Timur. Penelitian ini penting untuk mengetahui potensi ekologis dan bioteknologi dari mikroorganisme lokal, serta memperkuat literatur ilmiah terkait keanekaragaman mikroba di ekosistem mangrove Indonesia. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi penelitian lanjutan dalam pemanfaatan bakteri selulolitik secara berkelanjutan.

Bahan dan Metode

Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan pada Mei–Juli 2025 di ekosistem Bale Mangrove, Poton Bako, Lombok Timur, NTB ($8^{\circ}48'03''S$, $116^{\circ}30'07''E$). Lokasi ini dipilih karena kondisinya. Pengambilan sampel dilakukan di lapangan, sedangkan isolasi dan karakterisasi bakteri dilaksanakan di Laboratorium Pendidikan Biologi, Universitas Mataram.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

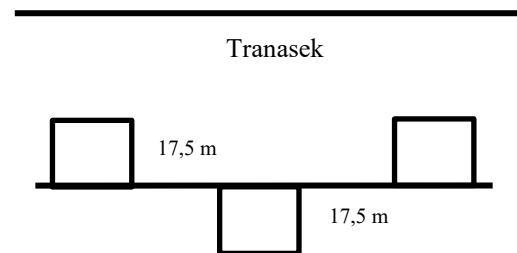
Desain/Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan pendekatan eksploratif yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi isolat bakteri selulolitik dari serasah daun mangrove. Pendekatan ini digunakan untuk menggambarkan keberadaan dan sifat-sifat bakteri secara mendalam melalui isolasi, uji morfologi, uji fisiologi biokimia, serta

pengujian aktivitas selulase secara kualitatif. Penelitian ini dirancang untuk menggali potensi mikroorganisme lokal yang berperan dalam dekomposisi bahan organik di lingkungan pesisir, khususnya dalam ekosistem mangrove.

Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh mikroorganisme yang terdapat pada serasah daun mangrove di kawasan Bale Mangrove, Poton Bako, Lombok Timur. Sampel penelitian berupa serasah daun mangrove yang diambil secara purposive dari lokasi yang memiliki akumulasi material organik paling tinggi di area penelitian. Teknik pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan metode transek kuadrat, yaitu satu stasiun dengan panjang transek 50 meter yang terdiri dari tiga plot berukuran 5×5 meter. Sampel serasah dari tiap plot dikumpulkan dalam kantong steril dan disimpan dalam coolbox untuk menjaga kestabilan mikroorganisme selama transportasi ke laboratorium.



Gambar 2. kuadrat dalam transek

Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dengan pengambilan sampel serasah daun mangrove di lapangan, dilanjutkan dengan proses isolasi, seleksi, dan karakterisasi bakteri selulolitik di laboratorium. Sampel serasah ditimbang sebanyak 1 gram, dihancurkan, lalu dikultur dalam media *nutrien broth* dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang. Kultur yang telah tumbuh kemudian diencerkan secara bertingkat (10^{-1} hingga 10^{-7}) dan ditanam pada media agar yang diperkaya *Carboxymethyl Cellulose* (CMC). Setelah itu sampel diinkubasi selama 48–72 jam pada suhu $30-37^{\circ}C$.

Setelah pertumbuhan koloni diamati, dilakukan subkultur berulang untuk memperoleh isolat murni. Isolat tersebut kemudian diuji kemampuan selulolitiknya secara kualitatif

dengan penambahan larutan Congo red 0,1% ke permukaan media CMC. Zona bening di sekitar koloni diamati sebagai indikator aktivitas selulase, dan dihitung nilai Indeks Selulolitik (IS) berdasarkan rasio diameter zona bening terhadap diameter koloni. Tahap karakterisasi dilakukan melalui pengamatan morfologi koloni (bentuk, warna, tepi, dan elevasi), pewarnaan Gram, dan uji fisiologis biokimia (uji Simmon's citrate, TSIA, motilitas, serta fermentasi glukosa, sukrosa, laktosa, dan maltosa) untuk mengetahui sifat metabolik setiap isolat.

Analisis Data Penelitian

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif kualitatif berdasarkan hasil pengamatan morfologi koloni, morfologi sel, karakter fisiologi (biokimia), serta aktivitas enzimatis melalui uji hidrolisis selulosa. Aktivitas enzim selulase dianalisis menggunakan perhitungan Indeks Selulolitik (IS) dengan rumus (Nursyirwani *et al.*, 2020) pada persamaan 1.

$$SI = \frac{\text{Diameter zona bening} - \text{Diameter koloni}}{\text{Diameter koloni}} \quad (1)$$

Nilai IS digunakan untuk mengategorikan aktivitas selulase setiap isolat dalam tiga klasifikasi: rendah ($IS \leq 1$), sedang ($1 < IS < 2$), dan tinggi ($IS \geq 2$) (Dewiyanti *et al.*, 2022). Seluruh hasil pengamatan disajikan dalam bentuk tabel dan gambar untuk memperjelas

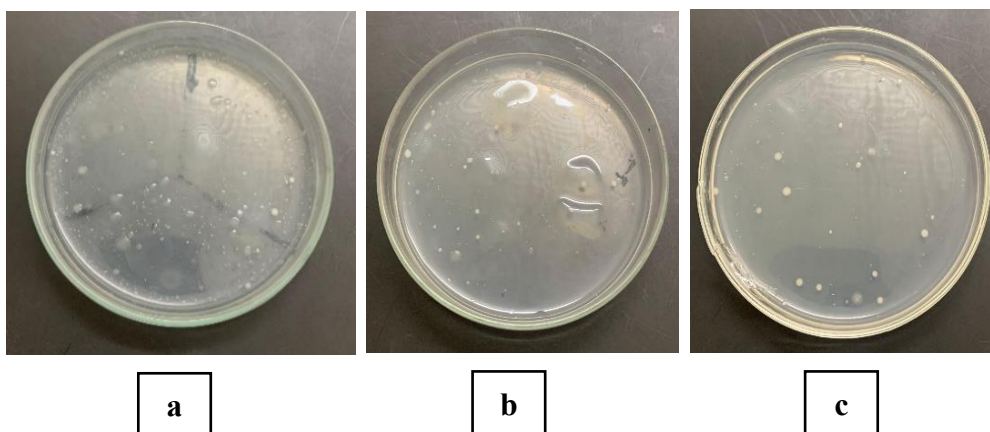
karakteristik dan perbedaan antar isolat bakteri selulolitik.

Hasil dan Pembahasan

Identifikasi Morfologi Koloni Bakteri Selulolitik

Sebanyak 15 isolat bakteri selulolitik berhasil diisolasi dari serasah daun mangrove di kawasan ekosistem Bale Mangrove, Poton Bako, Lombok Timur. Proses isolasi dilakukan melalui metode pengenceran berjenjang, dan pertumbuhan koloni diamati secara visual pada media CMC agar dengan konsentrasi pengenceran 10^{-5} , 10^{-6} , dan 10^{-7} (Gambar 2). Pada tingkat pengenceran tersebut, koloni bakteri tampak tersebar dan mudah dibedakan satu sama lain, memungkinkan proses pemurnian isolat dilakukan secara optimal.

Berdasarkan karakterisasi makroskopis, koloni isolat menunjukkan variasi dalam bentuk, warna, margin, dan elevasi. Mayoritas isolat memiliki bentuk koloni bulat (circular), berwarna putih atau bening, dengan tepi rata (entire), serta elevasi datar (flat) atau cembung (convex). Bentuk koloni bulat menjadi morfologi yang paling dominan dan ditemukan pada hampir semua isolat dari P1.1 hingga P3.5 (Tabel 1). Keberagaman morfologi ini mencerminkan tingginya keanekaragaman bakteri selulolitik yang terdapat pada substrat organik serasah daun mangrove.



Gambar 2 Hasil isolasi bakteri selulolitik dari serasah daun mangrove, a) Pengenceran 10^{-5} ; b) Pengenceran 10^{-6} ; c) Pengenceran 10^{-7}

Keberagaman morfologi koloni bakteri di lingkungan mangrove mencerminkan tingginya

variasi spesies dan kemampuan adaptasi mikroba terhadap kondisi lingkungan yang unik dan

dinamis. Variasi ini dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti kandungan bahan organik, pH, salinitas, dan jenis substrat, yang membentuk struktur komunitas bakteri serta memengaruhi morfologi koloni yang terbentuk di media kultur (Lisdiana *et al.*, 2022; Nimnoi & Pongsilp, 2022; Zhu *et al.*, 2022).

Lingkungan mangrove yang kaya bahan organik, seperti serasah daun, menyediakan nutrisi melimpah yang mendukung pertumbuhan berbagai tipe koloni bakteri dengan

karakter morfologi yang beragam (Lisdiana *et al.*, 2022; Nimnoi & Pongsilp, 2022). Variasi morfologi ini juga berkaitan dengan adaptasi fisiologis dan struktur dinding sel terhadap substrat serta kondisi lingkungan yang fluktuatif, seperti salinitas dan pH (Zhu *et al.*, 2022). Dengan demikian, morfologi koloni tidak hanya mencerminkan keberagaman spesies, tetapi juga menunjukkan respons adaptif bakteri terhadap tekanan lingkungan khas ekosistem mangrove.

Tabel 1. Morfologi Koloni Isolat Bakteri Selulolitik dari Serasah Daun Mangrove

No	Kode Isolat	Bentuk	Warna	Margin	Elevasi
1	P1.1	Circular	Bening	Entire	Flat
2	P1.2	Circular	Putih	Entire	Convex
3	P1.3	Circular	Putih	Entire	Flat
4	P1.4	Circular	Bening	Entire	Convex
5	P1.5	Circular	Bening	Entire	Flat
6	P2.1	Circular	Putih	Entire	Flat
7	P2.2	Circular	Bening	Entire	Convex
8	P2.3	Irregular	Bening	Undulate	Flat
9	P2.4	Circular	Putih	Entire	Flat
10	P2.5	Irregular	Bening	Undulate	Flat
11	P3.1	Circular	Putih	Entire	Flat
12	P3.2	Circular	Putih	Entire	Flat
13	P3.3	Circular	Putih	Entire	Flat
14	P3.4	Circular	Putih	Entire	Flat
15	P3.5	Circular	Bening	Entire	Convex

Bentuk koloni seperti circular dan irregular merupakan karakter awal yang berguna dalam identifikasi bakteri sebelum analisis mikroskopis atau molekuler dilakukan. Warna koloni yang putih atau bening umumnya mengindikasikan bakteri Gram positif serta adaptasi terhadap media dengan nutrisi rendah (Kusuma *et al.*, 2023). Pola pertumbuhan koloni semacam ini sering dijumpai pada bakteri tanah dan laut yang berperan sebagai dekomposer selulosa.

Identifikasi Morfologi Sel dan Pewarnaan Gram

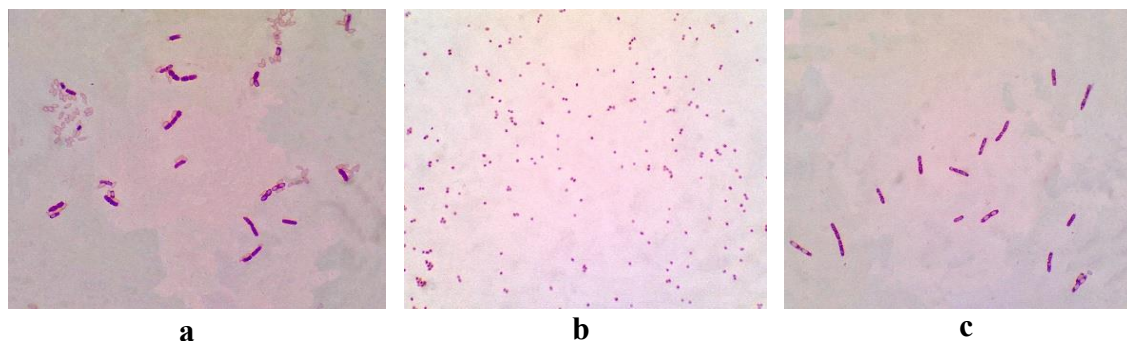
Pengamatan mikroskopis terhadap 15 isolat bakteri selulolitik menunjukkan bahwa seluruh isolat tergolong dalam kelompok Gram positif. Hal ini ditunjukkan melalui pewarnaan Gram yang menghasilkan warna ungu pada dinding sel, mengindikasikan adanya lapisan

peptidoglikan yang tebal dan mampu mempertahankan pewarna kristal violet selama proses pewarnaan (Gambar 3). Berdasarkan bentuk selnya, isolat terbagi menjadi dua morfologi utama, yaitu basil (batang) dan coccus (bulat), dengan morfologi basil lebih dominan ditemukan. Informasi lengkap mengenai bentuk sel dan hasil pewarnaan Gram masing-masing isolat disajikan dalam Tabel 2.

Sebagian besar isolat bakteri selulolitik dari lingkungan mangrove memang menunjukkan morfologi basil, sementara sebagian kecil berbentuk coccus. Dominasi bentuk basil pada isolat seperti P1.1, P1.3, P2.1, P2.3 hingga P3.5, serta keberadaan bentuk coccus pada isolat P1.2, P2.2, dan P3.3, mencerminkan potensi diversitas genus dalam komunitas bakteri selulolitik di mangrove. Variasi morfologi sel ini berhubungan erat

dengan keberagaman genus, di mana genus *Bacillus* (basil) dan *Micrococcus* (coccus) merupakan kelompok umum penghasil enzim

selulase yang banyak ditemukan di serasah dan tanah mangrove (Batubara *et al.*, 2022; Dewiyanti *et al.*, 2023).



Gambar 3 Morfologi sel dan pewarnaan gram isolat bakteri selulolitik. (a) isolat P3.2 yaitu bakteri gram positif dengan bentuk sel basil; (b) isolat P3.3 yaitu gram positif dengan bentuk sel coccus; (c) isolat P3.5 yaitu gram positif dengan bentuk sel basil

Tabel 2. Morfologi Sel dan Hasil Pewarnaan Gram Isolat Bakteri Selulolitik dari Serasah Daun Mangrove

No	Kode Isolat	Morfologi Sel	Gram
1	P1.1	Basil	+
2	P1.2	Coccus	+
3	P1.3	Basil	+
4	P1.4	Basil	+
5	P1.5	Basil	+
6	P2.1	Basil	+
7	P2.2	Coccus	+
8	P2.3	Basil	+
9	P2.4	Basil	+
10	P2.5	Basil	+
11	P3.1	Basil	+
12	P3.2	Basil	+
13	P3.3	Coccus	+
14	P3.4	Basil	+
15	P3.5	Basil	+

Penelitian di berbagai wilayah mangrove menunjukkan bahwa isolat dengan morfologi basil, khususnya dari genus *Bacillus*, merupakan kelompok yang paling dominan dan memiliki aktivitas selulolitik tinggi (Batubara *et al.*, 2022; Dewiyanti *et al.*, 2023; Sumardi *et al.*, 2021; Darmawi & Helmi, 2023). Selain *Bacillus*, genus lain seperti *Cellulomonas* dan *Micrococcus* juga ditemukan sebagai penghasil enzim selulase, meskipun jumlahnya lebih sedikit (Batubara *et al.*, 2022). Keberagaman bentuk sel ini

memperkuat indikasi bahwa komunitas bakteri selulolitik di mangrove sangat bervariasi dan berpotensi sebagai sumber enzim selulase untuk aplikasi bioteknologi (Darmawi & Helmi, 2023; Dewiyanti *et al.*, 2023). Dengan demikian, variasi morfologi sel bakteri selulolitik di lingkungan mangrove tidak hanya mencerminkan diversitas genus, tetapi juga menunjukkan potensi ekologis dan bioteknologi yang besar dari komunitas mikroba tersebut.

Bakteri Gram positif diketahui memiliki stabilitas struktural yang lebih tinggi di lingkungan ekstrem, seperti substrat organik tinggi dan kondisi pasang surut di ekosistem mangrove. Karakteristik ini memungkinkan mereka, terutama dari genus *Bacillus*, untuk tumbuh dan berperan penting dalam proses dekomposisi serasah daun melalui produksi enzim selulase (Sumardi *et al.*, 2021; Batubara *et al.*, 2022; Bamrunpanichtavorn *et al.*, 2023; Dewiyanti *et al.*, 2023). Kemampuan bertahan pada kondisi lingkungan dengan pH, salinitas, dan tekanan osmotik yang bervariasi menjadikan bakteri Gram positif sebagai kelompok dominan dalam komunitas selulolitik mangrove (Sumardi *et al.*, 2021; Bamrunpanichtavorn *et al.*, 2023; Dewiyanti *et al.*, 2023).

Identifikasi morfologi sel dan pewarnaan Gram menjadi langkah awal yang sangat penting untuk memahami potensi metabolik dan taksonomi isolat bakteri selulolitik di lingkungan pesisir. Melalui karakterisasi morfologi koloni, bentuk sel (basil atau kokus), serta pewarnaan Gram, peneliti dapat mengidentifikasi kelompok

bakteri yang berpotensi tinggi dalam produksi enzim selulase sebelum dilakukan analisis molekuler lebih lanjut (Sumardi *et al.*, 2021; Batubara *et al.*, 2022). Studi-studi di berbagai wilayah mangrove menunjukkan bahwa isolat Gram positif, terutama *Bacillus*, tidak hanya dominan secara jumlah, tetapi juga memiliki aktivitas selulolitik yang tinggi dan mampu tumbuh pada kondisi lingkungan yang menantang (Bamrunpanichtavorn *et al.*, 2023; Dewiyanti *et al.*, 2023). Dengan demikian, identifikasi awal berbasis morfologi dan pewarnaan Gram sangat penting untuk menyeleksi isolat bakteri selulolitik potensial yang berperan dalam dekomposisi serasah dan siklus nutrisi di ekosistem mangrove.

Identifikasi Sifat Fisiologi Melalui Uji Biokimia

Uji biokimia dilakukan untuk mengidentifikasi kemampuan metabolik dari

setiap isolat bakteri selulolitik. Parameter yang diamati meliputi kemampuan memanfaatkan sitrat (Simmon's citrate), fermentasi karbohidrat (glukosa, sukrosa, laktosa, dan maltosa), serta uji motilitas dan Triple Sugar Iron Agar (TSIA). Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 3. Sebagian besar isolat menunjukkan hasil positif terhadap uji Simmon's citrate, yang mengindikasikan kemampuan memanfaatkan sitrat sebagai sumber karbon. Seluruh isolat juga memperlihatkan hasil positif pada uji TSIA, menunjukkan kemampuan metabolisme terhadap kombinasi gula dan produksi gas atau asam. Pada uji motilitas, lebih dari separuh isolat menunjukkan pergerakan aktif dalam media semi-padat, yang mengindikasikan adanya flagela sebagai alat gerak. Isolat seperti P1.1, P1.3, P2.2, P2.3, dan P3.4 memperlihatkan reaksi positif pada hampir seluruh parameter, menandakan potensi metabolik yang kuat.

Tabel 3. Sifat Fisiologis Isolat Bakteri Selulolitik Melalui Uji Biokimia

No	Kode Isolat	Citrate	TSIA	Motilitas	Glukosa	Maltosa	Laktosa	Sukrosa
1	P1.1	+	+	+	+	+	-	+
2	P1.2	+	+	-	+	+	+	+
3	P1.3	+	+	+	+	+	+	+
4	P1.4	+	+	-	+	+	-	+
5	P1.5	+	+	-	+	+	+	+
6	P2.1	-	+	+	+	-	-	+
7	P2.2	+	+	+	+	+	+	+
8	P2.3	+	+	+	+	+	+	+
9	P2.4	-	+	-	+	+	+	+
10	P2.5	-	+	+	+	-	-	+
11	P3.1	+	+	-	+	+	-	+
12	P3.2	-	+	-	+	+	-	+
13	P3.3	+	+	+	+	+	+	+
14	P3.4	+	+	+	+	+	+	+
15	P3.5	+	+	-	+	+	+	+

Hasil uji biokimia memperkuat dugaan bahwa isolat yang berasal dari serasah daun mangrove memiliki potensi metabolik yang kompleks. Aktivitas fermentasi terhadap berbagai jenis karbohidrat menunjukkan fleksibilitas enzimatik, yang penting untuk kelangsungan hidup bakteri di lingkungan organik tinggi seperti mangrove (Puspitasari & Ibrahim, 2020). Selain itu, kemampuan

memanfaatkan sitrat dan motilitas yang baik menjadi ciri khas dari genus *Bacillus* dan *Pseudomonas*, yang dikenal sebagai penghasil enzim selulase potensial (Mokodompit *et al.*, 2020).

Berbagai respons biokimia yang dihasilkan bakteri selama proses pengolahan limbah lignoselulosa, seperti produksi enzim selulase, hemiselulase, dan ligninase, menjadi dasar

penting dalam klasifikasi dan seleksi isolat untuk aplikasi bioteknologi (Khondee *et al.*, 2022). Keberagaman fisiologis dan biokimiawi ini memungkinkan pemilihan isolat yang paling efisien untuk mendukung proses degradasi limbah lignoselulosa dan produksi bioenzim industri (Bhujbal *et al.*, 2021).

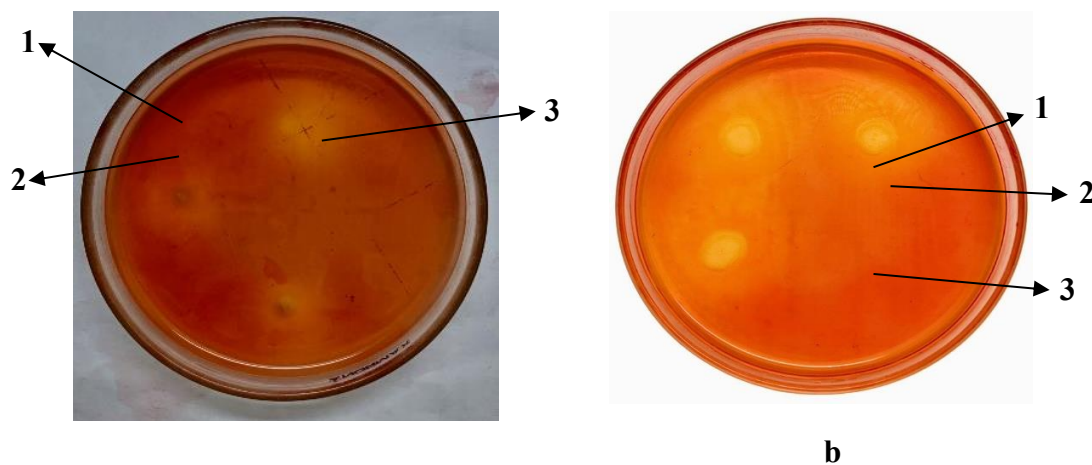
Studi sebelumnya menunjukkan bahwa komunitas mikroba yang beragam, termasuk bakteri selulolitik, memainkan peran kunci dalam konversi limbah lignoselulosa menjadi produk bernilai tambah seperti bioetanol, biogas, dan biosurfaktan (Liang *et al.*, 2024). Selain itu, dinamika dan suksesi komunitas mikroba selama proses fermentasi atau pengomposan sangat dipengaruhi oleh ketersediaan substrat, fase pertumbuhan, serta interaksi antar mikroba (Greff *et al.*, 2021), yang semuanya berkontribusi terhadap efisiensi degradasi lignoselulosa (Xiang *et al.*, 2023). Keberagaman fisiologis yang terdeteksi pada isolat dari serasah daun mangrove atau limbah organik lainnya menegaskan bahwa habitat-habitat ini merupakan sumber mikroba potensial yang layak dikembangkan untuk penelitian lanjutan dan aplikasi bioteknologi (Li *et al.*, 2024; Bhujbal *et*

al., 2021).

Uji Aktivitas Selulolitik Secara Kualitatif

Pengujian aktivitas selulolitik dilakukan dengan metode plat CMC (Carboxymethyl Cellulose) yang dikombinasikan dengan pewarnaan Congo red untuk mendeteksi zona bening di sekitar koloni bakteri. Zona bening ini menunjukkan aktivitas enzim selulase yang dihasilkan oleh isolat dalam menghidrolisis selulosa pada media. Berdasarkan hasil pengamatan, tujuh dari lima belas isolat menunjukkan zona bening dengan ukuran bervariasi (Gambar 4). Nilai Indeks Selulolitik (IS) dihitung berdasarkan rasio diameter zona bening terhadap diameter koloni, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.

Isolat dengan aktivitas selulolitik tertinggi diperoleh dari P2.2 dengan nilai IS sebesar 3,78, diikuti oleh P3.3 (IS = 3,46) dan P3.4 (IS = 3,12). Ketiga isolat ini masuk dalam kategori aktivitas tinggi ($IS \geq 2$), menunjukkan potensi kuat dalam produksi enzim selulase. Isolat lainnya menunjukkan aktivitas sedang hingga rendah, dan beberapa isolat seperti P1.2 dan P2.5 tidak menunjukkan zona bening sama sekali.



a
Keterangan: a) Isolat P2.4 ; b) Isolat P2.2
1. Koloni
2. Zona bening
3. Media

Gambar 4 Uji aktivitas selulosa secara kualitatif

Aktivitas enzim selulase yang tinggi pada beberapa isolat bakteri dari lingkungan mangrove menunjukkan potensi besar dalam mendegradasi limbah lignoselulosa, baik di alam

maupun untuk aplikasi bioteknologi. Isolat dengan indeks selulolitik (IS) di atas 2 dikategorikan sebagai penghasil selulase kuat dan sangat layak untuk dikembangkan dalam

produksi enzim komersial. Lingkungan mangrove yang kaya akan serasah daun dan bahan organik menjadi faktor seleksi alam yang mendorong munculnya mikroba dengan

kapasitas hidrolitik tinggi, sehingga komunitas bakteri di ekosistem ini sangat beragam dan adaptif (An *et al.*, 2024; Barzkar & Sohail, 2020; Bautista-Cruz *et al.*, 2024).

Tabel 4. Hasil Uji Aktivitas Selulolitik Isolat Bakteri terhadap Media CMC

No	Kode Isolat	Diameter Koloni (mm)	Diameter Zona Bening (mm)	Indeks Selulolitik (IS)	Kategori Aktivitas
1	P1.1	4.6	7.5	0.63	Rendah
2	P1.2	3.6	6.8	0.93	Tidak Aktif
3	P1.3	4.8	6.6	0.37	Rendah
4	P1.4	5.3	6.8	0.28	Rendah
5	P1.5	5.4	7.4	0.37	Rendah
6	P2.1	4.2	6.2	0.47	Rendah
7	P2.2	3.5	6.7	3.78	Tinggi
8	P2.3	4.1	5.8	0.41	Rendah
9	P2.4	5.2	6.2	0.19	Rendah
10	P2.5	4.9	6.4	1.95	Tidak Aktif
11	P3.1	5.2	6.4	0.23	Rendah
12	P3.2	4.6	6.2	0.34	Rendah
13	P3.3	3.7	6.1	3.46	Tinggi
14	P3.4	4.2	7.0	3.12	Tinggi
15	P3.5	5.3	6.7	0.26	Rendah

Peran bakteri selulolitik di ekosistem pesisir sangat penting sebagai agen dekomposer utama, mendukung siklus karbon dan energi di lingkungan mangrove (Barzkar & Sohail, 2020; Bautista-Cruz *et al.*, 2024). Beberapa genus bakteri seperti *Bacillus*, *Micrococcus*, dan *Nesterenkonia* yang diisolasi dari mangrove terbukti mampu menghasilkan berbagai enzim lignoselulolitik, termasuk selulase, xilanase, dan pektinase, yang efektif dalam mendegradasi limbah organik dan serat tumbuhan (An *et al.*, 2024; Das *et al.*, 2023). Aktivitas enzim ini juga tetap tinggi pada kondisi lingkungan ekstrem, seperti salinitas tinggi dan fluktuasi pH, sehingga sangat potensial untuk aplikasi industri bioteknologi, seperti pengolahan limbah organik, produksi bioenzim ramah lingkungan, dan biorefinery (An *et al.*, 2024; Barzkar & Sohail, 2020; Pham *et al.*, 2022). Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat bahwa bakteri selulolitik dari mangrove tidak hanya berperan penting dalam ekosistem, tetapi juga sangat prospektif untuk dikembangkan sebagai agen bioteknologi dalam pengolahan limbah lignoselulosa dan produksi enzim industri.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengisolasi dan mengkarakterisasi 15 isolat bakteri selulolitik dari serasah daun mangrove di kawasan Bale Mangrove, Poton Bako, Lombok Timur. Berdasarkan karakterisasi morfologi koloni, seluruh isolat menunjukkan variasi dalam bentuk, warna, margin, dan elevasi. Pewarnaan Gram menunjukkan semua isolat tergolong Gram positif dengan morfologi basil dan coccus. Hasil uji biokimia menunjukkan keberagaman sifat fisiologis, terutama dalam fermentasi karbohidrat dan pemanfaatan sitrat. Uji aktivitas selulolitik secara kualitatif menunjukkan bahwa tiga isolat, yaitu P2.2, P3.3, dan P3.4, memiliki aktivitas selulase tinggi dengan nilai Indeks Selulolitik (IS) di atas 3,0. Temuan ini menunjukkan bahwa serasah daun mangrove merupakan habitat potensial bagi bakteri selulolitik lokal yang aktif dalam proses dekomposisi selulosa. Keberadaan isolat dengan kemampuan enzimatik tinggi membuka peluang pemanfaatannya dalam bidang bioteknologi dan pengelolaan lingkungan berbasis mikroorganisme lokal.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada saudara Yoszi, Rangga, Hilmaedi, dan Satriandi yang telah membantu dalam proses pengambilan data di lapangan.

Referensi

- Allard, S., Costa, M., Bulseco, A., Helfer, V., Wilkins, L., Hassenrück, C., Zengler, K., Zimmer, M., Erazo, N., Rodrigues, J., Duke, N., Melo, V., Vanwonterghem, I., Junca, H., Makonde, H., Jiménez, D., Tavares, T., Fusi, M., Daffonchio, D., Duarte, C., Peixoto, R., Rosado, A., Gilbert, J., & Bowman, J. (2020). Introducing the Mangrove Microbiome Initiative: Identifying Microbial Research Priorities and Approaches To Better Understand, Protect, and Rehabilitate Mangrove Ecosystems. *mSystems*, 5. <https://doi.org/10.1128/mSystems.00658-20>.
- An, H., Ching, X., Cheah, W., Lim, W., Ee, K., Chong, C., & Lam, M. (2024). Genomic analysis of a halophilic bacterium *Nesterenkonia* sp. CL21 with ability to produce a diverse group of lignocellulolytic enzymes. *Folia microbiologica*. <https://doi.org/10.1007/s12223-024-01178-9>.
- Bamrunpanichtavorn, T., Ungwiwatkul, S., Boontanom, P., & Chantarasiri, A. (2023). Diversity and cellulolytic activity of cellulase-producing bacteria isolated from the soils of two mangrove forests in Eastern Thailand. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240728>
- Barzkar, N., & Sohail, M. (2020). An overview on marine cellulolytic enzymes and their potential applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104, 6873 - 6892. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10692-y>.
- Batubara, U., Suparjo, S., Maritsa, H., Pujianto, E., & Herlini, M. (2022). Screening and Determination of Potential Cellulolytic Bacteria from Mangrove Ecosystem.

Jurnal Perikanan dan Kelautan. <https://doi.org/10.31258/jpk.27.2.264-271>.

- Bautista-Cruz, A., Aquino-Bolaños, T., Hernández-Canseco, J., & Quiñones-Aguilar, E. (2024). Cellulolytic Aerobic Bacteria Isolated from Agricultural and Forest Soils: An Overview. *Biology*, 13. <https://doi.org/10.3390/biology13020102>.
- Behera, B., Sethi, B., Mishra, R., Dutta, S., & Thatoi, H. (2016). Microbial cellulases – Diversity & biotechnology with reference to mangrove environment: A review. *Journal of Genetic Engineering & Biotechnology*, 15, 197 - 210. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2016.12.001>.
- Bhujbal, S., Ghosh, P., Vijay, V., Rathour, R., Kumar, M., Singh, L., & Kapley, A. (2021). Biotechnological potential of rumen microbiota for sustainable bioconversion of lignocellulosic waste to biofuels and value-added products.. *The Science of the total environment*, 152773. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152777>.
- Choudhary, B., Dhar, V., & Pawase, A. (2024). Blue carbon and the role of mangroves in carbon sequestration: Its mechanisms, estimation, human impacts and conservation strategies for economic incentives. *Journal of Sea Research*. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2024.102504>.
- Das, S., Sinha, N., Sen, M., & Ghosh, D. (2023). Isolation and Screening of Dye Degrading Lignocellulolytic Bacteria from Sundarban Mangrove Ecosystem, West Bengal, India. *Journal of Pure and Applied Microbiology*. <https://doi.org/10.22207/jpam.17.1.59>.
- De Oliveira, J., Corrêa, D., Parente, C., & Frases, S. (2025). Fungi in Mangrove: Ecological Importance, Climate Change Impacts, and the Role in Environmental Remediation. *Microorganisms*, 13. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13040878>.
- Dewiyanti, I., Darmawi, D., Muchlisin, Z., Helmi, T., Arisa, I., Rahmiati, R., Destri, E., & Fanisha, S. (2023). Characteristic and activity of cellulolytic bacteria isolated

- from mangrove soil in Northern Coast of Aceh Province, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d231258>.
- Dewiyanti, I., Darmawi, D., Muchlisin, Z., Helmi, T., Arisa, I., Rahmiati, R., & Destri, E. (2022). Cellulase enzyme activity of the bacteria isolated from mangrove ecosystem in Aceh Besar and Banda Aceh. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 951. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/951/1/012113>.
- Greff, B., Szigeti, J., Nagy, Á., Lakatos, E., & Varga, L. (2021). Influence of microbial inoculants on co-composting of lignocellulosic crop residues with farm animal manure: A review. *Journal of environmental management*, 302 Pt B, 114088. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114088>
- Khondee, N., Ruamyat, N., Luepromchai, E., Sikhao, K., & Hawangchu, Y. (2022). Bioconversion of lignocellulosic wastes to zwitterionic biosurfactants by an alkaliphilic bacterium: Process development and product characterization. *Biomass and Bioenergy*. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.10656>.
- Ilahi, R., & Febria, F. (2021). Screening of Cellulolytic Bacteria from Biological Education and Research Forest Floor Andalas University, Indonesia. *Pakistan journal of biological sciences : PJBS*, 24 5, 612-617. <https://doi.org/10.3923/PJBS.2021.612.617>.
- Kumari, A., & Rathore, M. (2021). Roles of Mangroves in Combating the Climate Change. *Mangroves: Ecology, Biodiversity and Management*. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2494-0_10.
- Lee, S., Primavera, J., Dahdouh-Guebas, F., McKee, K., Bosire, J., Cannicci, S., Diele, K., Fromard, F., Koedam, N., Marchand, C., Mendelssohn, I., Mukherjee, N., & Record, S. (2014). Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: a reassessment. *Global Ecology and Biogeography*, 23, 726-743. <https://doi.org/10.1111/GEB.12155>.
- Li, J., Wu, S., Zheng, J., Sun, X., & Hu, C. (2024). Combining citrus waste-derived function microbes with biochar promotes humus formation by enhancing lignocellulose degradation in citrus waste compost. *Chemosphere*, 143754. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143754>.
- Liang, J., Zhang, R., Chang, J., Chen, L., Nabi, M., Zhang, H., Zhang, G., & Zhang, P. (2024). Rumen microbes, enzymes, metabolisms, and application in lignocellulosic waste conversion - A comprehensive review. *Biotechnology advances*, 108308. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2024.108308>.
- Lisdiana, L., Amaliah, A., R., Ambarwati, R., Ducha, N., Budijastuti, W., & Rachmadiarti, F. (2022). Diversity of Soil Bacteria Communities: A Case Study in Wonorejo Mangrove. *MATEC Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202237203006>.
- Mmango-Kaseke, Z., Okaiyeto, K., Nwodo, U., Mabinya, L., & Okoh, A. (2016). Optimization of Cellulase and Xylanase Production by *Micrococcus* Species under Submerged Fermentation. *Sustainability*, 8, 1168. <https://doi.org/10.3390/SU8111168>.
- Muhammed, J., & Augustine, A. (2024). Mangroves in environmental engineering: Harnessing the multifunctional potential of Nature's coastal architects for sustainable ecosystem management. *Results in Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101765>.
- Nimnoi, P., & Pongsilp, N. (2022). Insights into Bacterial Communities and Diversity of Mangrove Forest Soils along the Upper Gulf of Thailand in Response to Environmental Factors. *Biology*, 11. <https://doi.org/10.3390/biology11121787>.
- Nursyirwani, N., Feliatra, F., Tanjung, A., & Harjuni, F. (2020). Isolation of Cellulolytic Bacteria from Mangrove Sediment in Dumai Marine Station Riau and the

- Antibacterial Activity against Pathogens. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 430. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/430/1/012012>.
- Palit, K., Rath, S., Chatterjee, S., & Das, S. (2022). Microbial diversity and ecological interactions of microorganisms in the mangrove ecosystem: Threats, vulnerability, and adaptations. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 32467 - 32512. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19048>.
- Pham, V., Kim, J., Shim, J., Chang, S., & Chung, W. (2022). Coconut Mesocarp-Based Lignocellulosic Waste as a Substrate for Cellulase Production from High Promising Multienzyme-Producing *Bacillus amyloliquefaciens* FW2 without Pretreatments. *Microorganisms*, 10. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10020327>.
- Pramono, H., Mariana, A., Ryandini, D., & Sudiana, E. (2021). Short Communication: Diversity of cellulolytic bacteria isolated from coastal mangrove sediment in Logending Beach, Kebumen, Indonesia, 22. <https://doi.org/10.13057/BIODIV/D220433>.
- Thompson, C., Beys-Da-Silva, W., Santi, L., Berger, M., Vainstein, M., Rães, J., & Vasconcelos, A. (2013). A potential source for cellulolytic enzyme discovery and environmental aspects revealed through metagenomics of Brazilian mangroves. *AMB Express*, 3, 65 - 65. <https://doi.org/10.1186/2191-0855-3-65>.
- Wibowo, N., & Fatimah, S. (2024). Morphological and biochemical characterization of cellulase Bacterial from bearcat. *INTERNATIONAL CONFERENCE ON ORGANIC AND APPLIED CHEMISTRY (ICOAC) 2022*. <https://doi.org/10.1063/5.0184030>.
- Xiang, F., Zhang, Q., Xu, X., & Zhang, Z. (2023). Black soldier fly larvae recruit functional microbiota into the intestines and residues to promote lignocellulosic degradation in domestic biodegradable waste. *Environmental pollution*, 122676. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122676>.
- Zhu, D., Song, Q., Nie, F., Wei, W., Chen, M., Zhang, M., Lin, H., Kang, D., Chen, Z., Hay, A., & Chen, J. (2022). Effects of Environmental and Spatial Variables on Bacteria in Zhanjiang Mangrove Sediments. *Current Microbiology*, 79. <https://doi.org/10.1007/s00284-022-02774-z>.