



dapat diakses melalui
<https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jmuo/index>



Kelimpahan Bakteri Proteolitik pada Rizosfer Mangrove dan Sedimen Bagek Kembar: Sumber Potensial untuk Aplikasi Bioteknologi

Rubiyatna Sakaroni^{a*}, Baiq Isti Hijriani^a, Wirdullutfi^a

^aPendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

KATA KUNCI

Bakteri proteolitik
 Rhizosfer
 Mangrove
 Sedimen
 Kecamatan Sekotong

ABSTRAK

Ekosistem mangrove merupakan habitat kaya bahan organik dan kondisi lingkungan khas yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme fungsional, termasuk bakteri proteolitik. Bakteri ini berperan dalam dekomposisi protein dan berpotensi untuk aplikasi di bidang pangan, pertanian, dan kesehatan. Penelitian ini bertujuan menganalisis kelimpahan bakteri proteolitik pada rhizosfer dan sedimen di ekosistem mangrove Bagek Kembar, Kecamatan Sekotong, Lombok Barat. Sampel diambil secara purposive sampling dari area sekitar perakaran mangrove dan sedimen. Isolasi dilakukan dengan metode spread plate menggunakan media Skim Milk Agar (SMA) setelah sampel tanah dihomogenkan, diencerkan secara berseri hingga 10^{-4} , lalu diinokulasikan ke media dan diinkubasi pada suhu 30°C selama 48–72 jam; koloni proteolitik ditandai dengan terbentuknya zona bening akibat hidrolisis kasein dan selanjutnya dimurnikan melalui subkultur. Kelimpahan bakteri proteolitik dihitung menggunakan metode cawan hitung dengan hasil dinyatakan dalam Colony Forming Units (CFU/g) sesuai rumus $\text{CFU g}^{-1} = \text{jumlah koloni} \times 1/\text{faktor pengenceran}$, untuk kemudian dianalisis perbedaan kelimpahan antar lokasi pengambilan sampel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rizosfer mangrove di daerah Bagek Kembar memiliki kelimpahan bakteri proteolitik yang lebih tinggi dibandingkan sedimen, dengan nilai masing-masing $3,2 \times 10^5 \text{ CFU/g}$ dan $1 \times 10^5 \text{ CFU/g}$. Perbedaan ini mencerminkan pengaruh eksudat akar, struktur akar, dan kondisi mikrohabitat yang lebih mendukung pada rhizosfer. Faktor lingkungan seperti pH, kelembaban, dan salinitas juga memengaruhi kelimpahan dan aktivitas mikroba. Rhizosfer menunjukkan pH dan kelembaban yang lebih sesuai bagi pertumbuhan bakteri dibandingkan sedimen.

KEY WORDS

Proteolytic bacteria
 Rhizosphere
 Mangrove
 Sediment
 Sekotong subdistrict

ABSTRACT

Mangrove ecosystems are habitats rich in organic matter and unique environmental conditions that support the growth of functional microorganisms, including proteolytic bacteria. These bacteria play a role in protein decomposition and have potential applications in food, agriculture, and health. This study aims to analyze the abundance of proteolytic bacteria in the rhizosphere and sediments of the Bagek Kembar mangrove ecosystem, Sekotong District, West Lombok. Samples were taken using purposive sampling from areas around mangrove roots and sediments. Isolation was performed using the spread plate method with Skim Milk Agar (SMA) media after the soil samples were homogenized, serially diluted to 10^{-4} , then inoculated into the media and incubated at 30°C for 48–72 hours; proteolytic colonies were identified by the formation of clear zones due to casein hydrolysis and were further purified through subculture. The abundance of proteolytic bacteria was calculated using the counting plate method with results expressed in Colony Forming Units (CFU/g) according to the formula $\text{CFU g}^{-1} = \text{number of colonies} \times 1/\text{dilution factor}$, to then analyse the differences in abundance between sampling locations. The results showed that the rhizosphere of mangroves in the Bagek Kembar area had a higher abundance of proteolytic bacteria than sediment, with values of $3.2 \times 10^5 \text{ CFU/g}$ and $1 \times 10^5 \text{ CFU/g}$, respectively. These differences reflect the influence of root exudates, root structure, and more favourable microhabitat conditions in the rhizosphere. Environmental factors such as pH, moisture, and salinity also affect microbial abundance and activity. The rhizosphere exhibits pH and moisture levels that are more suitable for bacterial growth than sediment.

TERSEDIA ONLINE
 01 Februari 2026

Pendahuluan

Ekosistem mangrove merupakan wilayah pesisir yang unik dengan karakteristik lingkungan yang

ekstrem seperti tingkat salinitas yang tinggi, fluktuasi pasang surut air laut, dan bahan organik yang melimpah. Lingkungan ini menciptakan mikrohabitat

*Corresponding author:

Email address: rubysaka7@staff.unram.ac.id

Published by FMIPA UNSRAT (2025)

yang mendukung keanekaragaman mikroorganisme, termasuk bakteri yang mampu beradaptasi dengan kondisi ekstrem tersebut (Palit *et al.*, 2022). Di antara komunitas mikroba yang tumbuh subur di hutan bakau, banyak di antaranya yang memiliki potensi metabolik dan enzimatis yang tinggi (Mai *et al.*, 2021). Rizosfer tanaman mangrove dan sedimen di sekitarnya diketahui sebagai reservoir alami untuk mikroba fungsional yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan senyawa bioaktif dan enzim penting.

Salah satu kelompok mikroorganisme yang menarik untuk diteliti dari ekosistem mangrove adalah bakteri proteolitik. Bakteri ini memiliki kemampuan untuk menghasilkan enzim protease, yaitu enzim yang dapat mendegradasi protein menjadi peptida dan asam amino (Mahmoud & Chien, 2018). Keberadaan bakteri proteolitik di lingkungan mangrove tidak hanya mengindikasikan adaptasi terhadap bahan organik kompleks yang tersedia, tetapi juga membuka peluang untuk eksplorasi enzim unik yang dapat bekerja pada kondisi ekstrim seperti pH tinggi, salinitas tinggi, atau suhu rendah. Potensi ini menjadikan ekosistem mangrove sebagai lokasi yang strategis untuk menemukan sumber enzim protease yang stabil dan efisien.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengisolasi bakteri proteolitik dari berbagai lingkungan seperti tanah pertanian, limbah industri makanan, dan lingkungan laut. Penelitian oleh Ong *et al.*, (2015) berhasil mengidentifikasi isolat proteolitik dari tanah rawa, sedangkan Shirotni *et al.*, (2020) melaporkan isolat serupa dari limbah fermentasi kedelai. Penelitian oleh Ni'matuzahroh *et al.*, (2024) juga menunjukkan Studi secara konsisten mengidentifikasi spesies *Bacillus* seperti *B. cereus*, *B. subtilis*, *B. mycoides*, dan *B. pumilus* sebagai bakteri proteolitik yang dominan di berbagai tanah pertanian, termasuk sawah dan tanah gogo, tanpa memperhatikan cara pemupukan atau tahap pertumbuhan padi. Natsir *et al.*, (2024) mengatakan Bakteri proteolitik dari lingkungan pesisir sangat beragam dan memainkan peran penting dalam memecah protein, berkontribusi pada siklus hara dan degradasi bahan organik. Bakteri ini umumnya ditemukan di sedimen laut, tanah bakau, dan perairan pesisir. Namun, eksplorasi bakteri proteolitik dari lingkungan mangrove, terutama di zona rizosfer dan sedimen secara bersamaan, masih relatif terbatas. Padahal, kondisi ekosistem mangrove yang kaya akan bahan organik dan tekanan lingkungan yang tinggi berpotensi mendorong evolusi mikroba dengan sifat metabolisme yang unggul.

Bakteri proteolitik memiliki aplikasi yang luas dalam bioteknologi. Dalam industri makanan, enzim protease digunakan dalam pembuatan keju, pengempukan daging, dan pemrosesan protein terhidrolisis (Tavano *et al.*, 2018). Di bidang kesehatan, protease digunakan dalam produksi enzim terapeutik, antikoagulan, dan formulasi obat

(Shankar *et al.*, 2021). Sementara itu, di sektor pertanian, protease berperan dalam penguraian bahan organik dan pelepasan unsur hara tanah (Liu *et al.*, 2021). Dengan demikian, eksplorasi bakteri proteolitik dari sumber alam seperti mangrove sangat relevan untuk mendukung pengembangan bioindustri yang ramah lingkungan.

Penelitian ini penting dilakukan mengingat masih terbatasnya kajian mendalam mengenai kelimpahan bakteri proteolitik yang bersumber dari rizosfer dan sedimen di ekosistem mangrove Bagek Kembar, Kecamatan Sekotong, Lombok Barat. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada pendekatan simultan dalam mengeksplorasi dua sumber utama mikroba, yaitu tanah rizosfer dan sedimen mangrove, yang secara ekologi berbeda namun saling berinteraksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelimpahan bakteri proteolitik dari kedua habitat tersebut dan menyediakan data dasar untuk eksplorasi lebih lanjut terhadap isolat potensial yang dapat diaplikasikan dalam bidang bioteknologi.

Material dan Metode

Penelitian ini dilakukan di daerah pesisir pantai Bagek Kembar, Kecamatan Sekotong, Kabupaten Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat. Semua sampel tanah rizosfer dikumpulkan langsung dari bawah vegetasi mangrove yang mendominasi setiap lokasi. Setelah dikumpulkan, sampel dibawa ke laboratorium untuk dianalisis lebih lanjut. Isolasi bakteri proteolitik, penghitungan kelimpahan, dan analisis distribusi koloni dilakukan di Laboratorium Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP) Universitas Mataram, yang dilengkapi dengan peralatan mikrobiologi dasar untuk penelitian isolasi dan identifikasi mikroba lingkungan.

Pengambilan sampel tanah dilakukan di dua lokasi berbeda di dalam ekosistem mangrove, yaitu sedimen dan rizosfer (8° 43'49"S 116° 02'03"E). Titik pengambilan sampel ditentukan secara purposive sampling, berdasarkan keberadaan vegetasi mangrove yang tumbuh secara alami dengan tutupan yang relatif tinggi di setiap lokasi. Titik pengambilan sampel sedimen berada di area mangrove terbuka yang tidak bersinggungan langsung dengan akar mangrove (non-rizosfer). Sampel diambil dari zona intertidal yang mewakili karakteristik sedimen alami, yaitu lapisan permukaan (0-10 cm) (Woodroffe *et al.*, 2016). Menurut Dana (2020), purposive sampling adalah teknik pengambilan sampel yang digunakan ketika peneliti telah memiliki target individu dengan karakteristik yang sesuai dengan penelitian.

Area pengambilan sampel ditentukan dengan menggunakan metode kuadran. Kuadran dalam pengambilan sampel rizosfer mangrove dapat ditentukan dengan cara menarik garis pada setiap transek dan membuat kuadran dengan ukuran tertentu (Valenciana *et al.*, 2025). Ukuran kuadran disesuaikan dengan habitus tumbuhan mangrove,

yaitu: ukuran plot 10×10 m untuk pohon mangrove utama (*Avicennia*, *Rhizophora*, *Sonneratia*, dan lain-lain). Di setiap lokasi, empat kuadran plot berukuran 20×20 m dibuat secara sistematis mengikuti garis pasang surut (zonasi mangrove), meliputi bagian depan (dekat pantai), tengah, dan belakang (ke arah darat). Rizosfer dikumpulkan dari akar tanaman tersebut menggunakan spatula steril pada kedalaman ± 20 cm (Ye et al., 2023). Pada setiap plot, sampel tanah rizosfer dikumpulkan pada empat titik yang tersebar merata di sekitar sistem perakaran tanaman yang dominan. Semua sampel kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik steril dan disimpan dalam lemari pendingin untuk dianalisis di laboratorium.

Isolasi bakteri proteolitik dilakukan dengan metode spread plate menggunakan media Skim Milk Agar (SMA), yang dibuat dengan menambahkan 5% susu skim ke dalam Nutrient Agar steril sebelum dituang ke dalam cawan petri. Sebanyak 5 gram sampel tanah rizosfer atau sedimen dimasukkan ke dalam 45 mL akuades steril ke dalam Erlenmeyer, kemudian dihomogenkan dan dilakukan pengenceran berseri hingga 10^{-4} . Sebanyak 0,1 mL dari setiap pengenceran diinokulasikan ke permukaan media SMA, kemudian diratakan dengan menggunakan batang L (drigalsky) steril dan diinkubasi pada suhu 30°C selama 48 hingga 72 jam. Koloni bakteri proteolitik ditandai dengan terbentuknya zona bening di sekitar koloni akibat hidrolisis kasein oleh enzim protease. Koloni yang

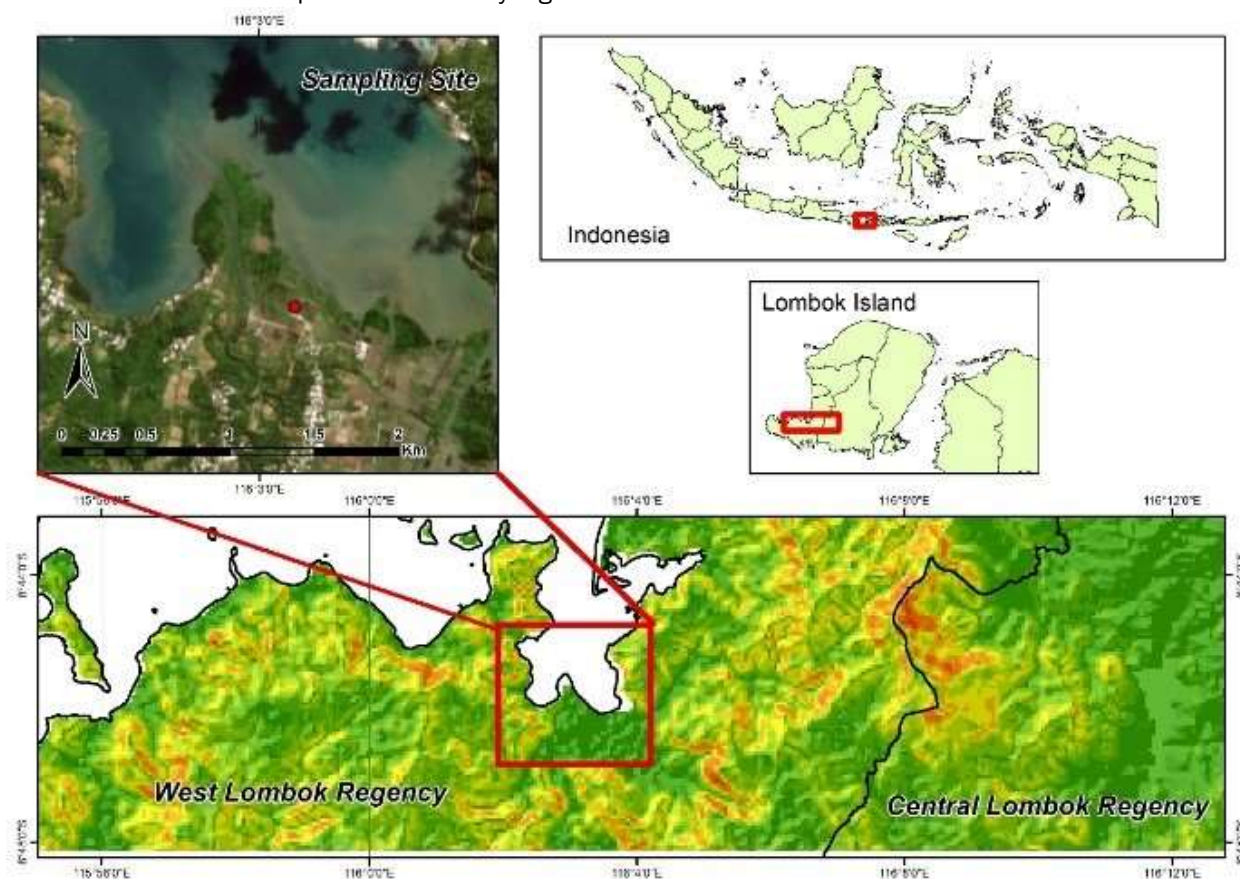
menunjukkan zona bening kemudian dihitung untuk mengetahui kelimpahannya (CFU/g) dan selanjutnya diisolasi melalui subkultur untuk mendapatkan isolat murni (Gudzenko et al., 2023).

Kelimpahan bakteri proteolitik di setiap rizosfer tanaman dianalisis dengan menghitung menggunakan metode cawan hitung. Jumlah koloni dinyatakan dalam Colony Forming Units (CFU) dan dihitung menggunakan rumus: $\text{CFU}_{\text{gr-1}} = \text{jumlah koloni bakteri proteolitik} \times 1/\text{faktor pengenceran}$ (Clark, 2016).

Hasil dan Pembahasan

Deskripsi Lokasi Penelitian

Vegetasi pada ekosistem mangrove di daerah pengamatan, yaitu Bagek Kembar yang terletak di Kecamatan Sekotong, Kabupaten Lombok Barat, menunjukkan keanekaragaman jenis dan struktur vegetasi yang mencerminkan ciri khas ekosistem pantai tropis (Gambar 1). Dari hasil inventarisasi, teridentifikasi sembilan jenis mangrove mayor dan satu jenis mangrove minor yang tergolong dalam empat famili yang berbeda. Jenis-jenis mangrove mayor yang ditemukan antara lain *Avicennia alba*, *Avicennia marina*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Ceriops tagal*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora stylosa*, *Sonneratia alba*, dan *Sonneratia caseolaris*, sedangkan jenis-jenis mangrove minor yang terekam adalah *Excoecaria agallocha* (Hidayat et al., 2024).



Beberapa spesies yang dominan ditemukan di ketiga lokasi dan digunakan sebagai titik pengambilan sampel tanah rizosfer antara lain *Rhizophora mucronata* dan *Avicennia marina*. Spesies ini dipilih karena memiliki sebaran yang luas, sistem perakaran yang kompleks, dan memberikan kontribusi yang cukup besar dalam pembentukan habitat mikroba rizosfer di zona intertidal mangrove (Qudraty et al., 2023).

Vegetasi di ketiga lokasi menunjukkan struktur tajuk yang berlapis, mulai dari pohon dewasa hingga pancang (Maulidah & Zakiah, 2023). Tumbuhan dengan sistem akar pernapasan (pneumatofor atau akar tunjang) menyediakan habitat mikro yang sangat sesuai untuk pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme seperti *Proteobacteria* (Pascale et al., 2020). Struktur vegetasi yang relatif lebat dan kondisi substrat yang lembab dan kaya akan bahan organik membuat zona rizosfer di ketiga lokasi ini menjadi ekosistem yang potensial bagi mikroorganisme unggul. Penelitian Baskaran et al., (2023) menunjukkan bahwa mikroorganisme yang ditemukan di rizosfer mangrove meliputi *Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Actinomycetes*, *Bacteroidetes*, dan *Halomonas*, dengan jumlah genus sebanyak 38 genera dan spesies sebanyak 105 jenis. Beragamnya jenis bakteri yang tumbuh di rizosfer mangrove juga dipengaruhi oleh kemampuannya beradaptasi dengan berbagai faktor lingkungan abiotik.

Parameter Lingkungan

Penelitian ini juga mengevaluasi kondisi lingkungan tanah rizosfer mangrove dan sedimen di Bagek Kembar, Kecamatan Sekotong. Parameter lingkungan yang diukur meliputi pH, kelembaban, salinitas, dan suhu tanah. Faktor-faktor tersebut merupakan faktor penting yang dapat mempengaruhi pertumbuhan dan kelimpahan bakteri proteolitik.

Tabel 1. Parameter Lingkungan

Lokasi	Parameter lingkungan			
	pH	Kelembaban	Salinitas	Suhu (°C)
Rhizospher	6,6	56,42%	11,9%	29,2
Sedimen	6,1	61,56%	12,6%	29,8

Sumber data primer yang diolah pada tahun 2025

Nilai pH yang tercatat di lingkungan rizosfer dan sedimen masing-masing adalah 6,6 dan 6,1. Kedua nilai tersebut berada dalam kisaran yang sedikit asam hingga mendekati netral, yang secara umum menguntungkan bagi aktivitas mikroba, termasuk pertumbuhan bakteri proteolitik. Menurut Barrow & Hartemink (2023), pH tanah memainkan peran penting dalam menentukan kelarutan hara dan fungsionalitas enzim tanah, termasuk protease. Kelarutan dan mobilitas unsur hara seperti fosfor, sulfur, dan unsur hara mikro sangat bergantung pada pH, dengan ketersediaan optimal yang sering kali terjadi pada tanah yang agak asam hingga netral, meskipun hubungan tersebut dapat bervariasi menurut unsur hara dan spesies tanaman. Bakteri

proteolitik diketahui tumbuh subur di lingkungan dengan pH antara 6 dan 8, meskipun beberapa strain tetap aktif dalam kondisi agak asam (Wan et al., 2020). pH yang sedikit lebih tinggi di rizosfer (6,6) dapat meningkatkan keanekaragaman mikroba dan aktivitas enzimatik karena eksudat akar yang dapat menyangga pH tanah dan meningkatkan ketersediaan bahan organik.

Tingkat kelembaban di rizosfer dan sedimen masing-masing adalah 56,42% dan 61,56%. Kedua nilai tersebut berada dalam kisaran kelembaban moderat yang khas untuk ekosistem bakau tropis. Kelembaban yang lebih tinggi pada sedimen dapat memberikan lingkungan kelembaban yang lebih stabil, yang mendukung kelangsungan hidup mikroba dan proses enzimatik. Menurut Dalengkade (2020) kelembaban di kawasan mangrove biasanya meningkat pada malam hari, mencapai puncaknya pada pagi hari (hingga 85,5%), dan menurun pada siang hari karena sinar matahari dan penguapan. Area dengan kanopi mangrove yang lebat mempertahankan kelembaban yang lebih tinggi dibandingkan dengan area tepi atau area terbuka, karena kanopi mengurangi penguapan dan paparan sinar matahari. Penelitian Nursyirwani et al., (2021), bakteri proteolitik, terutama yang termasuk dalam genus *Bacillus*, cenderung tumbuh optimal pada kondisi yang lembab tetapi tidak tergenang air. Kelembaban di atas 50% umumnya cukup untuk mempertahankan aktivitas mikroba dalam sedimen pantai (Groth & Saiz-Jimenez, 1999), meskipun kejenuhan yang ekstrim dapat membatasi difusi oksigen dan mengurangi pertumbuhan bakteri aerobik.

Salinitas juga sedikit berbeda antar lokasi, dengan 11,9‰ di rizosfer dan 12,6‰ di sedimen. Tingkat salinitas ini dianggap moderat dalam konteks ekosistem mangrove dan secara signifikan dapat membentuk struktur komunitas mikroba. Variasi salinitas antar lokasi dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan seperti jarak dari muara sungai, fluktuasi pasang surut air laut, dan ketersediaan air tawar yang masuk ke dalam kawasan mangrove (Smyth & Elliott, 2019).

Strain bakteri dengan kemampuan proteolitik, terutama spesies halotoleran atau halofilik, sering kali lebih disukai dalam kondisi garam seperti itu (Mokashe et al., 2018). Salinitas yang sedikit lebih tinggi dalam sedimen menunjukkan lingkungan yang selektif untuk bakteri proteolitik yang beradaptasi dengan garam. Seperti yang dilaporkan oleh Behera et al., (2018), sedimen mangrove dengan tingkat salinitas yang berfluktuasi berfungsi sebagai ceruk ekologis untuk bakteri ekstremofil dengan sistem enzimatik yang kuat, termasuk protease yang berfungsi di bawah tekanan osmotik. Oleh karena itu, lingkungan sedimen, meskipun memiliki pH yang sedikit lebih rendah dan salinitas yang lebih tinggi, mungkin memiliki populasi bakteri proteolitik yang berbeda dengan potensi untuk aplikasi bioteknologi.

Kelimpahan Bakteri Proteolitik

Rizosfer adalah ceruk mikrobiologi yang sangat aktif yang dipengaruhi oleh pelepasan eksudat akar secara terus menerus, seperti asam amino, gula, dan senyawa fenolik, yang berfungsi sebagai sumber nutrisi dan stimulan untuk berbagai mikroorganisme tanah, termasuk bakteri proteolitik. Bakteri ini memanfaatkan protein yang ada dalam bahan organik atau eksudat dan memainkan peran penting dalam siklus nitrogen melalui pemecahan senyawa protein. Dalam ekosistem mangrove, rizosfer tidak hanya menawarkan lingkungan yang kaya akan bahan kimia, tetapi juga mikrohabitat struktural dengan aerasi yang baik karena struktur akar yang khusus.

Tabel 2. Kelimpahan Bakteri Proteolitik

Titik Sampel	Kelimpahan (CFU/g)
Rhizosphere mangrove	$3,2 \times 10^5$
Sedimen	1×10^5

Sumber data primer yang diolah pada tahun 2025

Keterangan:

CFU : Colony Forming Unit

G : Gram

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2, kelimpahan bakteri proteolitik di rizosfer mencapai $3,2 \times 10^5$ CFU/g, yang secara signifikan lebih tinggi daripada di sedimen, yang tercatat sebesar $1,0 \times 10^5$ CFU/g. Perbedaan ini menyoroti pengaruh interaksi tanaman-akar dan kimia eksudat yang terkait dalam merangsang pertumbuhan bakteri. Studi di ekosistem akuatik dan terestrial menunjukkan bahwa komunitas rizosfer memiliki kelimpahan mikroba yang lebih tinggi, keanekaragaman, dan jaringan co-occurrence yang lebih kompleks dibandingkan dengan yang ditemukan di sedimen curah atau sedimen yang lebih dalam, yang cenderung lebih anaerob dan didominasi oleh taksa mikroba yang berbeda, sering kali dengan aktivitas dan keragaman metabolisme yang lebih rendah (Huang et al., 2020; Fang et al., 2021). Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan aktivitas dan keanekaragaman mikroba yang lebih tinggi di zona yang berhubungan dengan akar daripada di tanah atau sedimen curah (Afzal et al., 2024; Praeg et al., 2019).

Kelimpahan bakteri proteolitik yang lebih rendah dalam sedimen dapat dikaitkan dengan beberapa faktor pembatas, seperti berkurangnya ketersediaan oksigen, difusi eksudat akar yang lebih rendah, dan peningkatan tekanan salinitas. Meskipun sedimen di ekosistem mangrove masih mengandung bahan organik yang membusuk, kurangnya interaksi akar-mikroba yang dinamis membatasi pengayaan mikroba. Menurut Wettstadt & Llamas (2020), lingkungan sedimen cenderung memiliki kelompok bakteri halotoleran yang lebih terspesialisasi, tetapi dapat mendukung aktivitas proteolitik yang lebih rendah secara keseluruhan dibandingkan dengan zona akar

Data ini menunjukkan bahwa rizosfer di ekosistem mangrove Bagek Kembar menyajikan lingkungan mikro yang lebih kondusif untuk pertumbuhan dan aktivitas bakteri proteolitik. Temuan ini menggarisbawahi pentingnya interaksi tanaman-mikroba dalam memodulasi kelimpahan mikroba dan mengisyaratkan potensi habitat rizosfer sebagai reservoir untuk mikroba bioaktif dengan aplikasi dalam bioteknologi dan pertanian.

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa rizosfer mangrove di daerah Bagek Kembar memiliki kelimpahan bakteri proteolitik yang lebih tinggi dibandingkan sedimen, dengan nilai masing-masing $3,2 \times 10^5$ CFU/g dan 1×10^5 CFU/g. Perbedaan ini mencerminkan peran penting interaksi akar tanaman dan eksudat akar dalam mendukung pertumbuhan mikroba fungsional. Kondisi lingkungan seperti pH, salinitas dan kelembaban juga mempengaruhi dinamika komunitas mikroba di lokasi rizosfer dan sedimen.

Daftar Pustaka

- Afzal, M., Das, B., Valappil, V., Scaria, J., & Brözel, V. (2024). Root exudate compounds change the bacterial community in bulk soil. *Rhizosphere*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2024.100885>
- Barrow, N., & Hartemink, A. (2023). The effects of pH on nutrient availability depend on both soils and plants. *Plant and Soil*, 1–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11104-023-05960-5>
- Baskaran, V., Mahalakshmi, A., & Prabavathy, V. (2023). Mangroves: A hotspot for novel bacterial and archaeal diversity. *Rhizosphere*, 27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100748>
- Behera, P., Mohapatra, M., Kim, J., Adhya, T., Pattnaik, A., & Rastogi, G. (2018). Spatial and temporal heterogeneity in the structure and function of sediment bacterial communities of a tropical mangrove forest. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 3893–3908. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11356-018-3927-5>
- Clark, F. (2016). *Agar-Plate Method for Total Microbial Count*. 1460–1466. <https://doi.org/https://doi.org/10.2134/AGRONMONOGR9.2.C48>
- Dalengkade, M. N. (2020). Fluktuasi Temporal Kelembaban Udara Di Dalam Dan Luar Ekosistem Mangrove. *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*, 14(2), 159–166. <https://doi.org/10.30598/barekengvol14iss2p159-166>
- Dana, P. T. (2020). *Sampling Methods in Research Design*. Academic Press.
- Fang, J., Dong, J., Li, C., Chen, H., Wang, L., Lyu, T., He, H., & Liu, J. (2021). Response of microbial community composition and function to emergent plant rhizosphere of a constructed wetland in northern China. *Applied Soil Ecology*,

- 168, 104141.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2021.104141>
- Gudzenko, O., Varbanets, L., Avdiyuk, K., & Pasichnyk, L. (2023). Proteolytic Activity of Bacillus Strains Isolated from Soil of Rice Agroecosystem. *Mikrobiologichnyi Zhurnal*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.15407/micrобиолж85.06.041>
- Hidayat, X. Z. A., Arifin, R. D. S. L., & Syukur, A. (2024). Vegetation Structure and Diversity of Mangrove Species in The Bagek Kembar Natural Forest, Sekotong, West Lombok. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(1), 853–862.
- Huang, R., Zeng, J., Zhao, D., Cook, K., Hambright, K., & Yu, Z. (2020). Sediment microbiomes associated with the rhizosphere of emergent macrophytes in a shallow, subtropical lake. *Limnology and Oceanography*, 65.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/lno.11325>
- Liu, J., Liu, W., Xing, S., Zhang, X., He, H., Chen, J., Bielicki, J., & Zhou, M. (2021). Diversity of protease-producing bacteria in the soils of the South Shetland Islands, Antarctica. *Antonie van Leeuwenhoek*, 114, 457–464.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10482-021-01533-7>
- Mahmoud, S., & Chien, P. (2018). Regulated Proteolysis in Bacteria. *Annual Review of Biochemistry*, 87, 677–696.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev-biochem-062917-012848>
- Mai, Z., Ye, M., Wang, Y., Foong, S., Wang, L., Sun, F., & Cheng, H. (2021). Characteristics of Microbial Community and Function With the Succession of Mangroves. *Frontiers in Microbiology*, 12.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.764974>
- Maulidah, N., & Zakiah, U. (2023). Analisis Status Kesehatan Hutan Mangrove di Ekowisata Mangrove Bagek Kembar, Kabupaten Lombok Barat Menggunakan Data Citra Landsat 8 dan Software MonMang 2.0 [Universitas Brawijaya].
<https://repository.ub.ac.id/id/eprint/200767/>
- Mokashe, N., Chaudhari, B., & Patil, U. (2018). Operative utility of salt-stable proteases of halophilic and halotolerant bacteria in the biotechnology sector. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117, 493–522.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbio mac.2018.05.217>
- Natsir, H., Ahmad, A., Massi, N., Taba, P., Anita, A., & Rauf, W. (2024). Isolation, Production of Protease, and Antimicrobial Activities from Marine Sediment Gamma - Proteobacteria of MBS-L3 Isolate. *Research Journal of Pharmacy and Technology*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.52711/0974-360x.2024.00448>
- Ni'matuzahroh, N., Affandi, M., Supriyanto, A., Rustantina, B., Jaiyah, L., Rahmawati, A., Nurhayati, H., Sari, S., Khiftiyah, A., & Huri, D. (2024). Biodiversity of hydrolytic enzymes-producing soil bacteria from a Durian Park, Jombang, Indonesia: Beneficial prospect for sustainable agriculture. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.13057/biodiv/d250146>
- Nursyirwani, N., Samiaji, J., Tanjung, A., Effendi, I., & Claudia, K. (2021). Growth and Enzyme Production of Proteolytic Bacteria from Mangrove Sediment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 695.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1755-1315/695/1/012044>
- Ong, K., Yule, C., & Lee, S. (2015). Antimicrobial producing bacteria isolated from tropical peat swamp soil. *Malaysian Journal of Microbiology*, 11, 170–175.
<https://doi.org/https://doi.org/10.21161/MJM.12914>
- 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/https://doi.org/10.1007/s11356-022-19048-7>
- Pascale, A., Proietti, S., Pantelides, I., & Stringlis, I. (2020). Modulation of the Root Microbiome by Plant Molecules: The Basis for Targeted Disease Suppression and Plant Growth Promotion. *Frontiers in Plant Science*, 10.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01741>
- Praeg, N., Pauli, H., & Illmer, P. (2019). Microbial Diversity in Bulk and Rhizosphere Soil of Ranunculus glacialis Along a High-Alpine Altitudinal Gradient. *Frontiers in Microbiology*, 10.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01429>
- Qudraty, H. N., Japa, L., & Suyantri, E. (2023). Analysis of Mangrove Community in The Bagek Kembar Essential Ecosystem Area, West Lombok. *Jurnal Biologi Tropis*, 23(1), 39–46.
<https://doi.org/10.29303/jbt.v23i1.5799>
- Shankar, R., Upadhyay, P., & Kumar, M. (2021). Protease Enzymes: Highlights on Potential of Proteases as Therapeutics Agents. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*, 27, 1281–1296.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10989-021-10167-2>
- Shirotani, N., Hougaard, A., Lametsch, R., Petersen, M., Rattray, F., & Ipsen, R. (2020). Proteolytic activity of selected commercial Lactobacillus helveticus strains on soy protein isolates. *Food Chemistry*, 340, 128152.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128152>
- Smyth, K., & Elliott, M. (2019). Effects of changing salinity on the ecology of the marine environment', in Martin Solan, and Nia Whiteley (eds), *Stressors in the Marine Environment: Physiological and ecological responses; societal implications*. Oxford Academic. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198718826.003.0009>
- Tavano, O., Berenguer-Murcia, Á., Secundo, F., & Fernández-Lafuente, R. (2018). Biotechnological Applications of Proteases in Food Technology. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(2), 412–436. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1541-4337.12326>
- Valenciana, R. L., Surya Indrawan, G., & Pratama Atmaja, P. S. (2025). Hubungan Kerapatan Mangrove dengan Kelimpahan Gastropoda di Teluk Gilimanuk, Bali. *Journal of Marine Research and Technology*, 8(1), 78. <https://doi.org/10.24843/jmrt.2025.v08.i01.p11>
- Wan, W., Tan, J., Wang, Y., Qin, Y., He, H., Wu, H., Zuo, W., & He, D. (2020). Responses of the rhizosphere bacterial community in acidic crop soil to pH: Changes in diversity, composition, interaction, and function. *The Science of the Total Environment*, 700, 134418. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134418>
- Wettstadt, S., & Llamas, M. (2020). Role of Regulated Proteolysis in the Communication of Bacteria With the Environment. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 7. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fmolb.2020.586497>
- Woodroffe, C., Rogers, K., McKee, K., Lovelock, C., Mendelssohn, I., & Saintilan, N. (2016). Mangrove Sedimentation and Response to Relative Sea-Level Rise. *Annual Review of Marine Science*, 8, 243–266. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev-marine-122414-034025>
- Ye, J., Zou, R., Zhou, D., & Deng, X. (2023). Insights into the phylogenetic diversity , biological activities , and biosynthetic potential of mangrove rhizosphere Actinobacteria from Hainan Island. *Frontiers in Microbiology*, may. <https://doi.org/DOI10.3389/fmicb.2023.1157601> OPEN