

A19

Isolasi dan Penapisan Bakteri Penghasil Enzim Protease dan Selulase dari Sedimen Pantai Mangoli, Maluku Utara, Indonesia

Syarifah Tashara^{1*}, Ifah Munifah²

¹ Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta Timur, DKI Jakarta, Indonesia

² Research Center for Applied Microbiology, National Research and Innovation Agency (BRIN), Cibinong, Bogor, Indonesia

*Email Corresponding author: syarifahtashara90@gmail.com

ABSTRAK

Enzim protease dan selulase merupakan enzim yang banyak dibidang industri. Enzim ini dapat diperoleh dari mana saja salah satunya yaitu bakteri. Bakteri penghasil enzim protease dan selulase diketahui dapat ditemukan di berbagai tempat termasuk sedimen pantai. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan isolat bakteri penghasil enzim selulase dan protease dari sedimen pantai Mangoli. Metode penelitian ini meliputi pengambilan sampel sedimen pantai, isolasi dengan metode pengenceran bertingkat, permunian bakteri dengan metode *streak plate*, uji aktivitas enzim protease, dan uji aktivitas enzim selulase. Hasil penelitian diperoleh sebanyak 8 isolat bakteri dari hasil isolasi pada sedimen Pantai Mangoli dengan morfologi koloni sebagian besar *circular*, tepi *entire*, elevasi *flat*, tekstur *smooth*, dan pigmentasi *cream*. Berdasarkan hasil uji aktivitas enzim didapatkan 7 isolat bakteri penghasil enzim protease diantaranya PS1, PS3, PS4, PS5, PS6, PS7, dan PS8, serta 5 isolat bakteri penghasil enzim selulase diantaranya PS4, PS5, PS6, PS7, dan PS8. Indeks proteolitik terbesar diperoleh pada isolat PS7 sebesar 1,1 (kategori sedang) dan indeks selulolitik terbesar diperoleh pada isolat PS6 sebesar 5,83 (kategori tinggi).

Kata kunci: Carboxymethyl cellulose, Enzim, Proteolitik, Selulolitik

PENDAHULUAN

Enzim merupakan salah satu produk dari bioteknologi yang hingga saat ini masih tetap menarik perhatian karena kegunaannya yang luas di berbagai bidang industri. Terdapat sekitar 75% jenis enzim yang dikomersialkan secara global termasuk dalam kelompok enzim hidrolase (Ullah *et al.*, 2022). Dari berbagai jenis enzim hidrolase, terdapat dua jenis enzim yang paling banyak diaplikasikan di sektor industri yaitu protease dan selulase. Protease merupakan enzim yang berperan dalam proses hidrolisis ikatan peptida dalam protein sehingga mengubahnya menjadi oligopeptida serta asam amino (Herasari *et al.*, 2022). Enzim protease banyak diaplikasikan dalam produk makanan, produk kecantikan kulit, obat-obatan, deterjen, makanan, minuman susu, tekstil (untuk mencegah *felting* pada wol dan digunakan dalam proses *degumming* sutra), serta pengolahan limbah (Song *et al.*, 2023; Khan, 2025). Sedangkan selulase merupakan enzim yang berperan dalam proses hidrolisis ikatan glikosidik yang terdapat di dalam selulosa sehingga mengubahnya menjadi monomer glukosa (Septiani *et al.*, 2019). Enzim selulase banyak diaplikasikan pada berbagai bidang industri seperti farmasi, kertas, tekstil, pakan ternak, minuman, makanan, deterjen, dan bioetanol (Rosyida *et al.*, 2018; Chakraborty *et al.*, 2019).

Enzim selulase dan protease dapat diperoleh dari berbagai sumber salah satunya yaitu bakteri. Enzim yang dihasilkan oleh bakteri pada umumnya lebih disukai dikarenakan mudah diproduksi, produktivitas tinggi, stabilitas tinggi, dan hemat biaya (Fasim *et al.*, 2021). Bakteri yang dapat memproduksi enzim protease umumnya disebut sebagai bakteri proteolitik, sedangkan bakteri yang dapat memproduksi enzim selulase disebut sebagai bakteri selulolitik. Beberapa genus bakteri selulolitik yang telah teridentifikasi diantaranya *Angiococcus*, *Acetivibrio*, *Bacteroides*, *Bacillus*, *Cellfacicula*, *Cellivibrio*, *Cytophaga*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Misrobispora*, *Streptomyces*, *Sorangium*, *Sporocytophaga*, dan *Thermonospora* (Rao, 1994; Syarifah *et al.*, 2024). Adapun genus bakteri proteolitik yang telah teridentifikasi diantaranya *Bacillus*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Streptococcus*, *Staphylococcus*, dan *Vibrio* (Osei-Adjei *et al.*, 2018; Afriansyah *et al.*, 2025).

Bakteri proteolitik dan selulolitik umumnya dapat ditemukan dimana saja termasuk di sedimen pantai. Sedimen pantai telah diketahui kaya akan sumber daya hayati termasuk keanekaragaman mikrobanya. Menurut Yoswaty *et al.* (2021) sedimen pantai mengandung sejumlah besar bahan organik terlarut yang berperan sebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhan dan metabolisme bakteri. Penelitian terkait eksplorasi bakteri proteolitik dan selulolitik pada sedimen pantai telah banyak dilaporkan, namun belum ada penelitian mengenai isolasi bakteri proteolitik dan selulolitik dari sedimen pantai Mangoli.

Pantai Mangoli merupakan salah satu wilayah pesisir Indonesia yang terletak di Kecamatan Mangoli Tengah, Kabupaten Kepulauan Sula, Maluku Utara. Pantai ini dikenal sebagai objek wisata bahari dengan sedimen putih yang menjadi ciri khas dari wilayah pesisirnya. Selain sebagai tempat wisata, pantai ini juga diketahui masih relatif alami sehingga berpotensi besar untuk isolasi berbagai bakteri penghasil enzim. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan menapis bakteri yang berpotensi sebagai agen penghasil enzim protease dan selulase dari sedimen Pantai Mangoli, Maluku Utara. Hasil Penelitian diharapkan dapat memperoleh isolat bakteri penghasil enzim selulase dan protease, selain itu penelitian ini diharapkan juga dapat menjadi riset dasar terkait isolat bakteri dari sedimen pantai Mangoli sehingga dapat dikembangkan untuk berbagai aplikasi.

METODE

Lokasi Pengambilan Sampel

Lokasi pengambilan sampel sedimen dilakukan di Pantai Mangoli, Kepulauan Sula, Provinsi Maluku Utara, Indonesia. Sampel sedimen diambil pada kedalaman ± 10 cm dan dimasukkan ke dalam botol steril. Sampel kemudian disimpan dalam *coolbox* dengan suhu $\pm 4^{\circ}\text{C}$.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini diantaranya cawan petri *disposable*, erlenmeyer, gelas ukur, tabung reaksi, tabung sentrifus, mikrotip, mikropipet, batang drigalski, sendok pengaduk, *inoculation loop*, *inoculation needle*, penggaris, autoklaf, dan *hot plate magnetic stirrer*.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya sampel sedimen pantai Mangoli, *nutrient broth*, *skim milk agar*, *carboxymethyl cellulose*, *agar powder*, iodin, akuades, dan alkohol 70%.

Prosedur Penelitian Isolasi dan Pemurnian Bakteri

Sebanyak 1 gram sedimen pantai basah dimasukkan ke dalam tabung sentrifus yang berisi 9 ml akuades steril, kemudian dihomogenkan dan diperoleh pengenceran 10^{-1} . Selanjutnya, sebanyak 1 ml sampel dari pengenceran 10^{-1} dimasukkan ke dalam tabung sentrifus yang berisi 9 ml akuades steril, lalu dikocok hingga homogen dan diperoleh pengenceran 10^{-2} . Pengenceran dilakukan hingga seri 10^{-10} . Masing-masing seri pengenceran diambil sebanyak 100 μ l dan diinokulasikan ke media *Nutrient Agar* (NA) dengan metode *spread plate*. Selanjutnya, medium kultur diinkubasi di suhu ruang selama 24-48 jam. Koloni bakteri terbentuk, selanjutnya koloni bakteri yang berbeda morfologi masing-masing diinokulasikan ke media NA dengan metode *streak plate* dan diinkubasi di suhu ruang selama 24-48 jam (Ambeng *et al.*, 2019). Koloni murni yang diperoleh kemudian dianalisis morfologi koloninya menggunakan buku *Bergey's manual of determinatif bacteriology 9th edition* dan digunakan untuk uji aktivitas enzim protease dan selulase.

Uji Aktivitas Enzim Protease

Media yang digunakan yaitu media *Skim Milk Agar* (SMA). Media uji dibuat dengan mencampurkan bubuk SMA dengan akuades, lalu dihomogenkan dan disterilisasi dengan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit. Media kemudian dituangkan ke dalam cawan petri. Media SMA yang telah siap kemudian diinokulasikan isolat bakteri murni hasil isolasi dengan metode tusuk. Medium kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C (Putri *et al.*, 2023). Indeks proteolitik kemudian dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$IP = \frac{a-b}{b}$$

Keterangan:

IP : Indeks Proteolitik

a : Diameter zona bening (cm)

b : Diameter koloni bakteri (cm)

Uji Aktivitas Enzim Selulase

Media yang digunakan yaitu media *Carboxymethyl Cellulose* (CMC). Media uji dibuat dengan mencampurkan bubuk CMC dan agar dengan akuades, lalu dihomogenkan dan disterilisasi dengan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit. Media kemudian dituangkan ke dalam cawan petri. Media CMC yang telah siap kemudian diinokulasikan isolat bakteri murni hasil isolasi dengan metode tusuk. Medium kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C (Chusniasih *et al.*, 2023). Pengamatan zona bening dilakukan dengan mewarna media menggunakan larutan *povidone iodine* selama $\pm$ 10 menit, lalu larutan yang tersisa dibuang. Hasil Indeks selulolitik kemudian dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$IS = \frac{a-b}{b}$$

Keterangan:

IS : Indeks Selulolitik

a : Diameter zona bening (cm)

b : Diameter koloni bakteri (cm)

Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

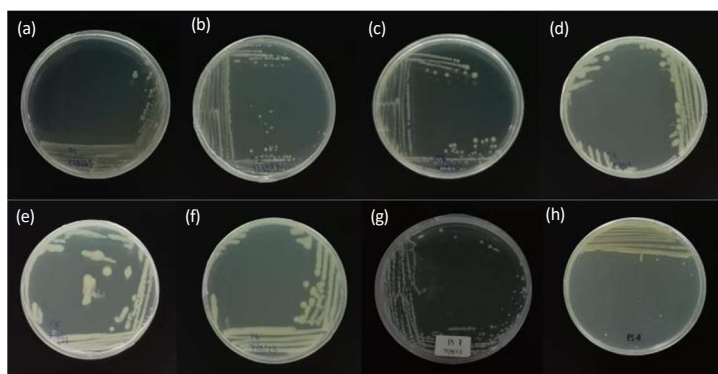
Data yang diperoleh dalam penelitian ini meliputi data kualitatif dan data kuantitatif. Data kualitatif meliputi karakteristik morfologi koloni bakteri hasil isolasi, dan adanya zona bening yang terbentuk dari hasil uji aktivitas enzim protease dan selulase. Data kuantitatif meliputi hasil pengukuran diameter zona bening, diameter koloni bakteri, serta indeks proteolitik dan selulolitik. Data kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan kurva, kemudian dianalisis secara deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Sedimen Pantai Mangoli

Isolasi bakteri asal sedimen pantai mangoli dilakukan di satu titik lokasi. Menurut Jannah *et al.* (2021) isolasi merupakan proses mendapatkan organisme yang diinginkan dengan cara memindahkan organisme tersebut dari lingkungannya ke media biakan buatan. Proses isolasi kandidat bakteri penghasil enzim protease dan selulase menggunakan metode pengenceran bertingkat dan *spread plate*. Pengenceran bertingkat pada sampel sedimen pantai bertujuan untuk mengurangi kepadatan mikroba sehingga mempermudah untuk membedakan koloni bakteri. Metode *spread plate* bertujuan untuk mendapatkan koloni bakteri aerobik dan memudahkan pengamatan koloni. Saputri & Ardi (2025) menyatakan bahwa metode sebar menghasilkan pertumbuhan koloni bakteri yang tersebar merata dipermukaan media yang berkontak langsung dengan oksigen.

Berdasarkan hasil isolasi diperoleh sebanyak 8 isolat bakteri dari sedimen Pantai Mangoli yang tumbuh pada media NA (Gambar 1). Delapan isolat bakteri tersebut diperoleh setelah dilakukan pengenceran 10^{-1} sampai 10^{-10} . Koloni bakteri hasil pengenceran dipurifikasi dengan metode *streak plate* kuadran. Metode *streak plate* kuadran umum digunakan untuk memisahkan koloni bakteri yang diinginkan dari koloni lainnya dan memudahkan untuk karakterisasi morfologi koloni bakteri (Suryani & Qurrota, 2022).



Gambar 1. Isolat Bakteri Asal Sedimen Pantai Mangoli (a) PS1, (b) PS2, (c) PS3, (d) PS4, (e) PS5, (f) PS6, (g) PS7, (h) PS8

Tabel 1. Karakteristik Morfologi Koloni Bakteri dari Sedimen Pantai Mangoli

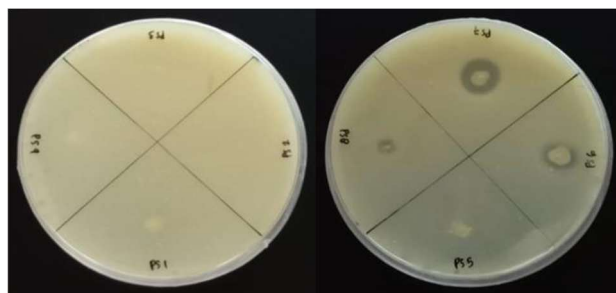
No	Isolat Bakteri	Diameter (cm)	Bentuk	Karakteristik Koloni			
				Tepi	Elevasi	Tekstur	Pigmentasi
1	PS1	0,3	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Flat</i>	<i>Smooth</i>	<i>Yellowish-Cream</i>
2	PS2	0,2	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Flat</i>	<i>Smooth</i>	<i>Cream</i>
3	PS3	0,4	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Flat</i>	<i>Smooth</i>	<i>Cream</i>
4	PS4	0,4	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Flat</i>	<i>Smooth</i>	<i>Cream</i>
5	PS5	0,45	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Flat</i>	<i>Smooth</i>	<i>Cream</i>
6	PS6	0,4	<i>Irregular</i>	<i>Undulate</i>	<i>Flat</i>	<i>Smooth</i>	<i>Cream</i>
7	PS7	0,3	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Flat</i>	<i>Smooth</i>	<i>Cream</i>
8	PS8	0,1	<i>Punctiform</i>	<i>Entire</i>	<i>Flat</i>	<i>Smooth</i>	<i>Yellowish-Cream</i>

Tabel 1 memperlihatkan hasil karakterisasi morfologi 8 koloni isolat bakteri asal sedimen Pantai Mangoli, dimana isolat bakteri yang didapatkan memiliki karakteristik ukuran dan bentuk koloni yang berbeda-beda. Sebagian besar isolat bakteri asal sedimen Pantai Mangoli memiliki bentuk *circular*, tepi *entire*, elevasi *flat*, tekstur *smooth*, dan pigmentasi *cream*. Hasil identifikasi menggunakan buku *Bergey's manual of determinatif bacteriology 9th edition* bentuk koloni tersebut diduga ciri khas dari anggota bakteri genus *Bacillus* dan *Staphylococcus*. Isolat bakteri PS6 diduga bakteri dari genus *Bacillus* dan *Lactobacillus*. Koloni bakteri dari isolat PS1 diduga termasuk anggota *Micrococcus*, *Streptococcus*, dan *Staphylococcus*. Sedangkan, isolat bakteri PS8 yang memiliki karakteristik koloni bentuk *punctiform*, tepi *entire*, elevasi *flat*, tekstur *smooth*, dan pigmentasi *yellowish-cream* diduga kelompok *Bacillus* dan *Micrococcus*. Berdasarkan beberapa penelitian diketahui bahwa bakteri dari genus *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Micrococcus*, *Staphylococcus*, dan *Streptococcus* dapat ditemukan di sedimen pantai (Quintero *et al.*, 2018; Ambeng *et al.*, 2019).

Hasil Uji Aktivitas Enzim Protease pada Isolat Bakteri Sedimen Pantai Mangoli

Berdasarkan hasil pengujian aktivitas enzim protease pada isolat bakteri asal sedimen Pantai Mangoli diperoleh sebanyak 7 isolat bakteri positif menghasilkan enzim protease. Tujuh isolat bakteri tersebut memperlihatkan adanya zona bening yang terbentuk pada media selektif SMA (Gambar 2). Adanya zona bening menunjukkan bahwa isolat bakteri tersebut dapat mendegradasi media SMA. Media SMA merupakan media selektif untuk pengujian bakteri proteolitik, dimana media ini mengandung kasein. Kasein dapat dihidrolisis menggunakan enzim protease (Zhang *et al.*, 2021).

Pembentukan zona bening terjadi karena kasein pada media SMA terhidrolisis oleh enzim protease yang dihasilkan isolat bakteri (Hengkengbala *et al.*, 2021). Banyaknya isolat bakteri asal sedimen Pantai Mangoli yang dapat menghasilkan enzim protease dapat disebabkan dikarenakan sedimen pantai mengandung banyak sumber protein. Sumber protein pada sedimen pantai dapat berasal dari sisa-sisa jasad organisme laut ataupun dari daratan yang terbawa dan terendap (Jamaludin *et al.*, 2021).



Gambar 2. Hasil uji aktivitas enzim protease pada isolat bakteri asal sedimen Pantai Mangoli

Tabel 2. Uji Indeks Proteolitik (IP) Isolat Bakteri dari Sedimen Pantai Mangoli setelah 24 Jam Inkubasi

No	Isolat Bakteri	Zona Bening	Diameter Zona Bening (cm)	Diameter Koloni (cm)	Indeks Proteolitik
1	PS1	+	0,55	0,45	0,22
2	PS2	-	0	0	0
3	PS3	+	0,65	0,55	0,18
4	PS4	+	0,45	0,35	0,29
5	PS5	+	0,65	0,55	0,18
6	PS6	+	1	0,75	0,33
7	PS7	+	1,05	0,5	1,1
8	PS8	+	0,4	0,2	1

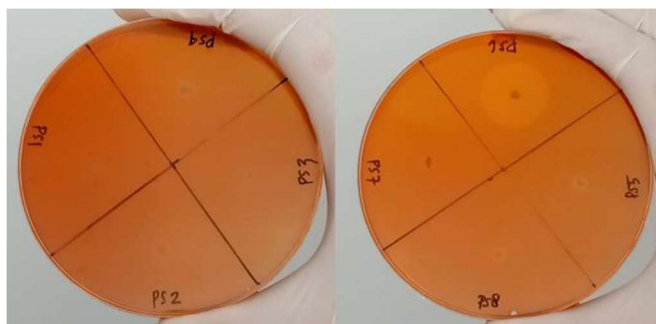
Keterangan: + (adanya zona bening), - (tidak adanya zona bening)

Tabel 2 menunjukkan bahwa isolat bakteri menghasilkan indeks proteolitik yang bervariasi. Hal ini dikarenakan setiap bakteri memiliki kemampuan genetik dan tingkat produksi enzim ekstraseluler yang berbeda-beda. Hasil perhitungan didapatkan isolat bakteri PS7 menghasilkan indeks proteolitik tertinggi sebesar 1,1. Menurut Aliifah *et al.*, (2023) menjelaskan kategori indeks proteolitik dibagi menjadi 3 yaitu tinggi ($IP \geq 3$), sedang ($1 > IP < 3$), dan rendah ($IP \leq 1$). Berdasarkan kategori proteolitik menunjukkan bahwa isolat bakteri PS1, PS3, PS4, PS5, PS6, dan PS8 termasuk kategori rendah, sedangkan isolat bakteri PS7 termasuk kategori sedang.

Hasil Uji Aktivitas Enzim Selulase pada Isolat Bakteri Sedimen Pantai Mangoli

Berdasarkan hasil pengujian aktivitas enzim selulase pada isolat bakteri asal sedimen Pantai Mangoli diperoleh sebanyak 5 isolat bakteri positif menghasilkan enzim selulase. Lima isolat bakteri tersebut memperlihatkan adanya zona bening yang terbentuk pada media selektif CMC (Gambar 3). Adanya zona bening menunjukkan bahwa isolat bakteri tersebut dapat mendegradasi media CMC. Media CMC merupakan media selektif untuk pengujian bakteri selulolitik, dimana media ini mengandung selulosa (Kartika & Muslimin, 2021).

Pembentukan zona bening terjadi karena substrat selulosa pada media CMC terhidrolisis oleh enzim selulase yang dihasilkan isolat bakteri. Substrat selulosa yang terhidrolisis menyebabkan tidak adanya ikatan glikosidik dengan pewarna (*congo red*, *iodin*, *methylene blue*) sehingga menciptakan penampakan zona bening (Rori *et al.*, 2019). Tidak adanya zona bening yang dihasilkan dapat terjadi karena isolat bakteri tersebut tidak memiliki enzim selulase seperti *endoglucanase*, *exoglucanase*, dan β -glucosidase (Lestari *et al.*, 2024).



Gambar 3. Hasil uji aktivitas enzim selulase pada isolat bakteri asal sedimen Pantai Mangoli

Tabel 3. Uji Indeks Selulolitik (IS) Isolat Bakteri dari Sedimen Pantai Mangoli setelah 24 Jam Inkubasi

No	Isolat Bakteri	Zona Bening	Diameter Zona Bening (cm)	Diameter Koloni (cm)	Indeks Proteolitik
1	PS1	-	0	0	0
2	PS2	-	0	0	0
3	PS3	-	0	0	0
4	PS4	+	0,45	0,25	0,8
5	PS5	+	0,7	0,5	0,4
6	PS6	+	2,05	0,3	5,83
7	PS7	+	0,45	0,35	0,29
8	PS8	+	0,45	0,25	0,8

Keterangan: + (adanya zona bening), - (tidak adanya zona bening)

Tabel 3 menunjukkan bahwa isolat bakteri menghasilkan indeks selulolitik yang bervariasi. Hasil perhitungan didapatkan isolat bakteri PS6 menghasilkan indeks selulolitik tertinggi sebesar 5,83. Menurut Fauziah & Muslimin (2020) menjelaskan kategori indeks selulolitik dibagi menjadi 3 yaitu tinggi ($IP \geq 2$), sedang ($1 < IP < 2$), dan rendah ($IP \leq 1$). Berdasarkan kategori selulolitik menunjukkan bahwa isolat bakteri PS4, PS5, PS7, dan PS8 termasuk kategori rendah, sedangkan isolat bakteri PS6 termasuk kategori tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh 8 isolat bakteri yang ditemukan di sedimen pantai Mangoli. Sebanyak 7 isolat bakteri diantaranya memiliki aktivitas proteolitik, serta 5 isolat bakteri diantaranya memiliki aktivitas selulolitik. Isolat bakteri PS7 memiliki aktivitas proteolitik tertinggi sebesar 1,1 dan termasuk kategori sedang, sedangkan isolat bakteri PS6 memiliki aktivitas selulolitik tertinggi sebesar 5,83 dan termasuk kategori tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfriansyah, M. A., Sudarwin, Sri, S. D., & Gusti, D. R. A. (2025). Exploration and molecular identification of proteolytic bacteria from rusip pacific oyster (*Crassostrea gigas*) as anticoagulant agent candidate. *Indonesian Journal of Medical Laboratory Science and Technology*. 7(1), 70-79.
- Aliifah, F., Mia, M. R., & Wendy, P. S. (2023). Skrining bakteri asam laktat dan yeast potensial proteolitik estraseluler dan milk clotting activity dari getah pepaya (*Carica papaya* L.)

- dan fresh cheese. *Jurnal Teknologi Hasil Pertenakan*. 4(2): 167-186
- Ambeng, Zubair, H., Oka, N. P., & Tonggiroh. (2019). Isolation and characterization of bacteria from mangrove sediment at coastal area in Pangkep South Sulawesi. *Journal of Physics: Conference Series*. 1341 (2). 1-6.
- Chakraborty, S., Ziaul, F. J., Ashequl, H., Asif, I., Salma, A., Palash, K. S., & Abu, S. (2019). Optimization of production and partial characterization of cellulase and protease enzymes from *Aeromonas hydrophila* ASM-S32. *Journal of Advanced Biotechnology and Experimental Therapeutics*. 2(3), 103-113.
- Chusniasih, D., Erma, S., & Erina, S. (2023). Isolasi dan uji aktivitas selulolitik bakteri asal limbah bagas. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*. 28((3), 386-395.
- Fauziah. Isolasi dan karakterisasi bakteri selulolitik pada tanah gambut di Desa Tagagiri Tama Jaya, Kecamatan Pelangiran, Kabupaten Inhil, Riau. *Lentera Bio*, 9(3), 194-203.
- Fasim, A., Veena, S. M., & Sunil, S. M. (2021). Large-scale production of enzymes for biotechnology uses. *Current Opinion in Biotechnology*. 69, 68-76.
- Herasari, D., Arifa, R. S., Indah, P., Aspita, L., Mulyono, & Suharso. (2022). Karakterisasi enzim protease dari bakteri *Klebsiella* sp. indigen tanah tercemar minyak di Bandar Lampung. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. 7(1), 35-53.
- Jamaludin, Sri, S., & Endang, S. 2021). Kandunga bahan organik dan karakteristik sedimen di Perairan Betahwalang, Demak. *Buletin Oseanografi Marina*. 10(2), 143-150.
- Jannah, S. N., Yumna, R. H., Adi, B. U., Ashar, K. D. P., & Arina, T. L. (2021). Isolasi dan potensi enzim hidrolase bakteri simbiosis *Padina* sp. dari Pantai Lengkuas Belitung. *Bioma*, 23(1), 11-17.
- Kartika, I. N., & Muslimin, I. (2021). Efek manipulasi pH pada aktivitas enzim selulase bakteri *Bacillus subtilis* strain FNCC 0059 dalam mendegradasi selulosa. *Jurnal Lentera Bio: Berkala Ilmiah Biologi*. 10(1), 51-57.
- Khan, M. F. (2025). Recent advances in microbial textile processing and waste management. *Sci*. 7(46), 1-37.
- Lestari, R. S., Hasrul, S. N., & Witiyasti, I.(2024). Karakterasi selulase termotabil asal isolat bakteri tanah pertanian pasang surut. *Bioscientiae*. 21(1), 41-56.
- Osei-Adjei, G., Xinxiang, H., & Yiquan, Z. (2018). The extracellular protease produced by *Vibrio Parahaemolyticus*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 34(68), 1-7
- Putri, A. A., Mia, M. R., & Wendry, S. P. (2023). Skrini bakteri asam laktat dan khamir potensial proteolitik ekstraseluler dan milk clotting activity dari ekstrak dan fresh cheese nanas (*Ananas Comosus* (L.) Merr.). *Jurnal Teknologi Hasil Pertenakan*. 4(2). 187-212.
- Quintero, M. Velasquez, A., Jutinico, L. M., Jimenez-Vergara, E., Blandon, L. M., Martinez, K., Lee, H. S., & Gomez-Leon, J. (2018). Bioprospecting from marine coastal sediments of Columbian Caribbean: screening and study of antimicrobial activity. *Journal of Applied Microbiology*. 125 (3), 753-765.
- Rao, S. N. S. (1994). Mikroba tanah dan pertumbuhan tanaman. Edisi ke-2. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Rori, C. A., Febby, E. F. K., & Agustina, M. T. (2019). Aktivitas enzim ekstraseluler dari bakteri endofit tumbuhan mangrove *Avicennia marina*. *Jurnal Bios Logos*. 11(2), 48- 55.
- Rosyida, V. T., Hayati, S. N., Indrianingsih, A. W., Maryana, R., Purwesti, Y. A., & Ayesda, C. S. (2018). Enzim selulase kasar *Aspergillus niger* FNCC 6018 untuk produksi biotonal melalui proses sakarifikasi dan fermentasi serentak. *Jurnal Mikologi Indonesia*. 2(2), 77-89.
- Saputri, D., M., & Ardi, M. (2025). Pengaruh metode isolasi terhadap identifikasi keragaman mikroba pada minyak kelapa murni (virgin coconut oil). *Jurnal Penelitian Nusantara*. 1(8), 485-488.
- Septiani, D., Herman, S., Abdul, M., & Wibowo, M. (2019). Production of cellulase rom



- Aspergillus niger* and *Trichoderma reesei* mixed culture in carboxymethylcellulose medium as sole carbon. *Biodiversitas*. 20(12), 3539-3544.
- Song, P., Xue, Z., Shuhua, W., Wei, X., Fei, W., Rongzhao, F., & Feng, W. (2023). Microbial proteases and their applications. *Frontiers in Microbiology*. 14(14), 1-24.
- Suryani, S., & Qurrota, A. (2022). Isolasi bakteri endofit dari mangrove *Sonneratia alba* asal pondok 2 Pantai Harapan Jaya Muara Gembong, Bekasi. *Bio Sains: Jurnal Ilmiah Biologi*. 1(2), 12-18.
- Syarifah, S. N., Erma, M. T., Yasir, S., & Triastuti, R. (2024). Skrining dan identifikasi bakteri selulolitik tempat pemakaman umum. *Bioedusais: Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains*. 7(1), 160-169.
- Ullah, N., Mujaddad, U. R., Abid, S., Muhammad, N., Rubina, N., Hafiz, A. S., Muhammad, I., Muhammad, I., Sumaira, N., Ghulam, N., Sana, S., Tariq, A., Metab, A., Abdulrahman, A., & Faleh, A. (2022). Purification, characterization, and application of alkaline protease enzyme from a locally isolated *Bacillus cereus* strain. *Fermentation*. 8(1), 1-13.
- Yoswaty, D., Amin, B., Nursyirwani, Winanda, H., Sianturi, D. D., & Lestari, A. (2021). Analysis of organic matter content in water and sediment in the coastal water of Bengkalis Island, Riau Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 934(1), 1-10.
- Zhang, X., Yao, S., Han, T., Cuiquin, L., & Laping, H. (2021). Novel method for the quantitative analysis of protease activity: the casein plate method and its applications. *American Chemical Society Omega*. 6(5), 3675-3680.