
POTENSI ENZIM SELULASE DARI BAKTERI TERMOFILIK DI KAWASAN WISATA IE SUUM KABUPATEN ACEH BESAR

Rahmatil Majidah¹, Syafrina Sari Lubis², dan Diannita Harahap³

^{1,2,3}Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh, Indonesia

Received : 8 Maret 2023

Accepted : 1 April 2023

Published : 28 April 2023

ABSTRACT

Thermophilic bacteria are a group of bacteria that grow at a temperature range of 45°C to 80°C and have the potential to produce cellulase enzymes. The tourist area of Ie Suum, Aceh Besar District is one of the hot springs in Aceh. This study aims to observe the morphological characteristics, cellulase enzyme potential and activity test in producing cellulase enzymes from thermophilic bacteria found in Ie Suum. The method of isolating thermophilic bacteria uses the pour plate method and testing the cellulase enzyme activity using the DNS (3,5-dinitrosalicylic Acid) method. 15 isolates were obtained, namely 13 Gram positive and 2 Gram negative, 2 genera were obtained, namely the genus *Bacillus* sp. and the genus *Pseudomonas* sp. Based on the potential of the cellulase enzyme, the 15 isolates showed the largest clear zone diameter, namely isolate TS6 3,67 cm, isolate TS7 2,33 cm, and isolate TS10 4,00 cm. The results of measuring enzyme activity using the DNS method obtained isolates TS6 $4,7 \times 10^{-3}$ U/mL, isolates TS7 $4,4 \times 10^{-3}$ U/mL, and isolates TS10 $5,5 \times 10^{-3}$ U/mL.

Keywords: Thermophilic Bacteria 1; Cellulase Enzymes 2; Hot Water 3

ABSTRAK

Bakteri termofilik merupakan kelompok bakteri yang tumbuh pada kisaran suhu 45°C sampai 80°C dan potensial menghasilkan enzim selulase. Kawasan wisata Ie Suum, Kabupaten Aceh Besar merupakan salah satu sumber air panas di Aceh. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati karakteristik morfologi, potensi enzim selulase dan uji aktivitas dalam menghasilkan enzim selulase dari bakteri termofilik yang terdapat di Ie Suum. Metode isolasi bakteri termofilik menggunakan metode *pour plate* dan uji aktivitas enzim selulase menggunakan metode DNS (3,5-dinitrosalicylic Acid). Diperoleh 15 isolat yaitu 13 Gram positif dan 2 Gram negatif, didapatkan 2 genus yaitu genus *Bacillus* sp. dan genus *Pseudomonas* sp. Berdasarkan potensi enzim selulase dari 15 isolat menunjukkan diameter zona bening paling besar yaitu pada isolat TS6 3,67 cm, isolat TS7 2,33 cm, dan isolat TS10 4,00 cm. Hasil pengukuran aktivitas enzim dengan metode DNS diperoleh isolat TS6 $4,7 \times 10^{-3}$ U/mL, isolat TS7 $4,4 \times 10^{-3}$ U/mL, dan isolat TS10 $5,5 \times 10^{-3}$ U/mL.

Kata Kunci: Bakteri Termofilik 1; Enzim Selulase 2; Air Panas 3

Corresponding Author:

Syafrina Sari Lubis

Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh 23111, Indonesia

Email: syafrinasarilbs@ar-raniry.ac.id

PENDAHULUAN

Sumber air panas yang potensial mengeksplorasi bakteri termofilik yang menghasilkan selulase salah satunya kawasan wisata Ie Suum Kabupaten Aceh Besar. Sumber air panas kawasan Ie Suum Kabupaten Aceh Besar memiliki suhu berkisar 85°C. Ie Suum merupakan sumber air panas terletak di Aceh dan telah menjadi objek wisata pemandian air panas bagi masyarakat Aceh yang dinamakan

dalam bahasa Aceh Ie Suum. Pemandian air panas ini terletak di kaki Gunung Meuh Desa Ie Suum, Kecamatan Masjid Raya, Kabupaten Aceh Besar yang aliran airnya berasal dari Seulawah dan Kabupaten Aceh Besar berjarak 35 kilometer dari Kota Banda Aceh (Maretia *et al.*, 2021).

Bakteri termofilik dapat bertahan hidup dan bereproduksi dalam keadaan suhu yang ekstrim antara 45-122°C. Selain bakteri, mikroba lain yang tergolong bakteri termofilik adalah kelompok Archaea yang banyak dijumpa pada mata air panas di darat dan laut dalam (El-Gayar *et al.*, 2017). Karakteristik mikroba di habitat yang ekstrim seperti mata air panas dicirikan oleh enzim adaptif karena mengandung komponen khas yang mampu menjaga kestabilan dan konformasi fleksibel, sehingga dapat berfungsi secara optimal dalam kondisi tersebut (Sang *et al.*, 2020).

Selulase merupakan kelompok enzim yang dapat mengkatalis hidrolisis ikatan β -1,4-glikosidik dalam selulosa, selodekstrin, selobiosa dan turunan selulosa lainnya. Molekul tersebut hidrolisis menjadi unit-unit monomer yang lebih kecil, seperti glukosa. Enzim ini mampu menghidrolisis ikatan β -1,4-glikosidik Siantar residu glikosil melalui mekanisme hidrolisis asam. Struktur selulase terdiri atas satu katalitik, daerah pengikatan selulosa, dan rantai terglukosilasi. Selulase diklasifikasikan menjadi 3 kelompok enzim selulase adalah endoglukanase, eksoglunase dan β -glukosidase yang merupakan kelompok enzim yang membagi selulosa menjadi monomer glukosa (Pujiati *et al.*, 2018).

CMC (*carboxymethyl cellulase*) digunakan sebagai substrat untuk mendeteksi keberadaan enzim selulase. Dalam reaksi ini, CMC dihidrolisis oleh selulase menjadi glukosa. Hasil uji hidrolisis CMC positif ditandai dengan terbentuknya zona bening di sekitar koloni bakteri saat dituang *Congo red* di area yang tidak ditumbuhi bakteri berwarna merah. *Congo red* membentuk ikatan hidrogen dengan polisakarida sehingga menghasilkan warna merah (Nuritasari *et al.*, 2017).

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan adalah sampel air panas yang diambil dari kawasan wisata Ie Suum, medium *Carboxymethyl Cellulose* (CMC), media *Sulfide Indol Motility* (SIM), *Triple Sugar Iron Agar* (TSIA), media *Simmon Citrate Agar* (SCA), reagen *Hydrogen peroksida* (H_2O_2), *oxidase strip*, larutan *congo red* 1 %, Nutrien agar, reagen pewarnaan Gram (safranin, kristal violet, iodine, alkohol 70%), reagen *3,5-dinitrosalisilat* (DNS), kertas label, aquades, kapas, glukosa, *tissue*, aluminium foil, reagen *kovacs*, reagen KNa-Tartrat 40%, NaCl 1 M, *malachite green* dan NaOH 2 N.

Adapun alat yang digunakan adalah pipet tetes, mikropipet, cawan petri, ose, labu erlenmeyer, *hot plate*, *magnetic stirrer*, timbangan analitik, mikroskop, oven, kaca benda, inkubator, tabung reaksi, batang pengaduk, penutup kaca benda, jangka sorong, *autoklaf*, *Laminar Air Flow* (LAF), bunsen, termos, lemari es, penggaris, *vortex*, *kuvet*, dan *spectrofotometer uv-vis*.

Metode Peneltin

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kualitatif dan kuantitatif. Data yang didapatkan melingkupi karakteristik makroskopis, mikroskopis, uji *screening*, identifikasi secara biokimia dan aktivitas enzim selulase yang terdapat di kawasan wisata Ie Suum Kabupaten Aceh Besar.

Air panas diambil dari termos yang berisi air panas dari kawasan wisata Ie Suum. 0,1 µl diambil dituang dalam media CMC agar menggunakan metode tuang (*pour plate*). Kemudian diinkubasi pada suhu 68°C selama 24 jam (Zuraidah *et al.*, 2020). Pemurnian bakteri dilakukan dengan isolat diambil isolat dengan ose dan diinokulasikan ke dalam media CMC agar menggunakan metode gores dan diinkubasi pada suhu 68°C selama 24 jam. Hasil pemurnian dibuat duplikatnya pada agar miring dalam tabung reaksi dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu 68°C (Sembiring, 2017). Kemudian dilakukan pewarnaan Gram dan pengujian biokimia dengan pengujian TSIA, uji SIM, uji SCA, uji oksidasi, uji katalase (Cappuccino. & Sherman, 2014).

Media agar yang ditumbuhi bakteri kemudian diwarnai dengan larutan *Congo Red* 1% selama 15 menit, selanjutnya larutan pewarna dibuang. Media dibilas dengan larutan NaCl 1 M selama 15 menit. Koloni yang positif memiliki aktivitas selulase akan menghasilkan zona bening pada media agar. Isolat yang dipilih untuk ditentukan aktivitas enzimnya merupakan isolat yang memiliki nilai indeks potensial terbesar. Nilai indeks selulase dengan nilai $IS \leq 1$ dikategorikan rendah, sedangkan kategori tinggi apabila nilai $IS \geq 2$. Diukur zona bening yang dihasilkan dan dihitung nilai indeks selulase (IS) menggunakan rumus (Puspawati *et al.*, 2018):

$$\text{Indeks Selulase} = \frac{\text{Diameter zona bening} - \text{Diameter koloni}}{\text{Diameter koloni}}$$

Pengujian aktivitas enzim ekstrak kasa dengan berdasarkan kadar glukosa. Kadar glukosa diukur menggunakan metode DNS. Isolat bakteri selulolitik termofilik diinokulasikan sebanyak 2 ose dalam 50 mL media CMC dan diinkubasi pada *shaker* inkubator dengan kecepatan 125 rpm pada suhu 68°C selama 18 jam. Ekstrak kasar enzim diperoleh dengan mesentrifugasi kultur pada kecepatan 3000 rpm selama 15 menit, supernatan yang diperoleh adalah ekstrak kasar enzim selulase dan digunakan untuk aktivitas enzim (Fitria, 2021).

Sebanyak 1 mL enzim ekstrak kasar digabung dengan 1 mL substrat (CMC 1%) kemudian diinkubasi selama 40 menit pada suhu 68°C. Diambil 1 mL larutan campur, ditambahkan 1 mL reagen DNS kemudian homogenkan. Mulut tabung ditutup menggunakan aluminium foil dan panaskan selama 15 menit dengan air mendidih hingga larutan bewarna cokelat kemerahan. Selanjutnya tambahkan aquades sampai volume 10 mL dan homogenkan. Kemudian menggunakan *spektrofotometer* pada panjang gelombang 540 nm diukur absorbansinya. Aktivitas enzim selulase disebutkan dalam satuan U/mL. Dalam kondisi pengujian satu unit adalah jumlah enzim yang diperlukan untuk memecah satu μmol selulosa menjadi gula pereduksi per menit dalam kondisi pengujian dengan perhitungan sebagai berikut (Nadhifah, 2021).

$$\text{Aktivitas Selulase} = \frac{C}{T \times \text{BM glukosa}} \times \frac{H}{E}$$

Keterangan :

- C = Konsentrasi gula pereduksi (ppm)
H = Volume Enzim substrat (mL)
E = Volume enzim (mL)
T = Waktu inkubasi (menit)
BM glukosa = Berat molekul glukosa (180 g/mol)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Bakteri Termofilik Pada Kawasan Wisata Ie Suum Kabupaten Aceh Besar

Bakteri termofilik dari sumber air panas di kawasan wisata Ie Suum Kabupaten Aceh Besar yang memiliki suhu 68°C dan memiliki kadar pH yaitu 7,2. Berdasarkan hasil isolasi bakteri termofilik maka didapatkan 15 isolat murni yang mampu tumbuh dan berkoloni pada media CMC agar. Isolat yang tumbuh pada hasil isolasi dari air panas di kawasan wisata Ie Suum Kabupaten Aceh Besar dengan media CMC agar dikarakterisasi morfologi pada masing-masing koloni meliputi bentuk koloni, permukaan koloni, tepi koloni dan warna koloni pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik bakteri termofilik yang didapat pada kawasan wisata Ie Suum Kabupaten Aceh Besar

Kode Isolat	Bentuk	Warna	Tepi	Elevasi
TS1	Bulat	Putih-krim	Rata	Cembung
TS2	Bulat	Kuning	Rata	Cembung
TS3	Berakar	Putih-krim	Berbenang	Timbul datar
TS4	Bulat	Kuning	Rata	Cembung
TS5	Bulat	Putih-krim	Rata	Cembung
TS6	Bulat	Putih-krim	Rata	Cembung
TS7	Berbenang	Putih-krim	Bergerigi	Timbul datar
TS8	Berakar	Putih-bening	Berbenang	Datar
TS9	Tidak teratur	Putih-krim	Bergelombang	Datar
TS10	Tidak teratur	Putih-krim	Bergelombang	Datar

Kode Isolat	Bentuk	Warna	Tepi	Elevasi
TS11	Bulat	Kuning	Rata	Cembung
TS12	Bundar	Kuning	Rata	Cembung
TS13	Berakar	Putih-krim	Bergerigi	Timbul datar
TS14	Berbenang	Putih-krim	Bergerigi	Timbul datar
TS15	Berakar	Putih-krim	Bergerigi	Timbul datar

Hasil identifikasi dari ke-15 bakteri termofilik dari kawasan wisata Ie Suum Kabupaten Aceh Besar didapatkan 2 genus bakteri termofilik yaitu genus *Bacillus* sp. dan genus *Pseudomonas* sp. seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Identifikasi Genus Bakteri Termofilik Penghasil Selulase dari Beberapa Sumber

Uji Biokimia	Genus Bakteri	
	<i>Bacillus</i> sp. (TS1,TS2,TS3,TS4,TS5,TS7,TS9, TS10,TS11,TS12,TS13,TS14,TS15)	<i>Pseudomonas</i> sp. (TS6, TS8)
Bentuk sel	Basil	Basil
Gram	+	-
Katalase	+	+
Oksidase	+	+
Indol	-	-
Motil	+	-/+
SCA	-/+	+
Glukosa	+	+
Sukrosa	-/+	-
Laktosa	-	-
Endospora	+	-
Referensi	Fauziah & Ibrahim, (2021); Runtuboi <i>et al.</i> , (2018); Silalahi <i>et al.</i> , (2020).	Fauziah & Ibrahim, (2021); Ristiati <i>et al.</i> , (2016).

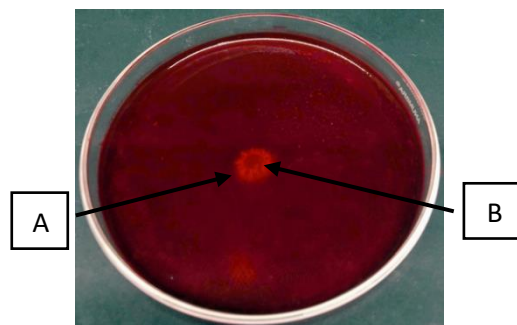
Identifikasi bakteri termofilik dari ke-15 bakteri termofilik dari kawasan wisata Ie Suum Kabupaten Aceh Besar didapatkan 2 genus bakteri termofilik yaitu genus *Bacillus* sp. dan genus *Pseudomonas* sp. seperti pada Tabel 2. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Mahestri *et al.*, (2021) mengenai bakteri termofilik dari air panas Way Panas Kalianda Lampung Selatan diperoleh 1 genus bakteri termofilik yaitu *Bacillus* sp. Penelitian di air panas Way Panas Kalianda Lampung Selatan juga dilakukan oleh Mawati *et al.*, (2021) didapatkan 1 genus bakteri termofilik yaitu *Pseudomonas* sp.

Bakteri termofilik dari genus *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas* sp. merupakan genus yang umum dijumpai pada sumber air panas. Kedua genus juga dikarenakan tingkat pertumbuhan yang tinggi dan memiliki kebutuhan yang sederhana. Karakteristik morfologi isolat bakteri termofilik penghasil selulase yang didapatkan dari kawasan wisata Ie Suum secara umum banyak ditemukan

bakteri gram positif dan memiliki endospora seperti genus *Bacillus*. Genus *Bacillus* dapat membentuk spora yang dapat bertahan terhadap cekaman lingkungan dan mampu menghasilkan enzim ekstraseluler yang dapat menghidrolisis protein dan polisakarida kompleks (Mahestri *et al.*, 2021). Endospora merupakan struktur yang tahan terhadap keadaan lingkungan yang ekstrim seperti kering, pemanasan dan keadaan asam (Devinta & Zulaika, 2021).

Potensi Enzim Selulase dari Bakteri Termofilik Pada Kawasan Wisata Ie Suum Kabupaten Aceh Besar

Uji potensi enzim dari bakteri termofilik penghasil selulase dilakukan untuk mengetahui kemampuan isolat bakteri dalam menghasilkan enzim selulase. Nurkhaisa, (2019) *Congo Red* pada umumnya digunakan untuk metode pewarnaan mikroorganisme yang dapat menghasilkan enzim selulase. *Congo Red* akan berdifusi berikatan dengan polisakarida (ikatan 1,4 glikosida) pada media dan berubah menjadi berwarna merah. Zona bening yang terbentuk pada media dikarenakan isolat bakteri menghidrolisis ikatan β -1,4 glikosidik menjadi glukosa yang membentuk zona bening. Uji potensi enzim selulase dari bakteri termofilik menunjukkan besarnya aktivitas selulase yang dinyatakan dengan indeks selulase. Nilai potensi enzim dari bakteri termofilik terlihat pada Gambar 1 dan Tabel 3.



Gambar 1. Potensi Enzim Selulase dari Bakteri Termofilik; (a) Zona Bening; (b) Koloni bakteri.

Tabel 3. Potensi enzim selulase dari bakteri termofilik pada kawasan wisata Ie Suum Kabupaten Aceh Besar.

Kode Isolat	Nilai Rata-rata			Keterangan Indeks Selulotik
	Diameter Zona Bening (cm)	Diameter Koloni (cm)	Indeks Selulotik (IS)	
TS1	-	0,6	-	-
TS2	-	0,2	-	-
TS3	1,1	0,5	1,2	Sedang
TS4	1,1	0,6	0,83	Lemah
TS5	1,9	0,7	1,71	Sedang
TS6	1,4	0,3	3,67	Kuat
TS7	2,0	0,6	2,33	Kuat
TS8	1,5	0,7	1,42	Sedang

Kode Isolat	Nilai Rata-rata			
	Diameter Zona Bening (cm)	Diameter Koloni (cm)	Indeks Selulotik (IS)	Keterangan Indeks Selulotik
TS9	1,3	0,6	1,16	Sedang
TS10	0,5	0,1	4,00	Kuat
TS11	-	0,1	-	-
TS12	-	0,3	-	-
TS13	-	0,4	-	-
TS14	1,5	0,6	1,5	Sedang
TS15	1,0	0,6	0,66	Lemah

Nilai indeks selulase tertinggi kategori kuat yaitu kode TS10 (4,00 cm) dan nilai indeks selulase terendah kategori lemah kode TS15 (0,66 cm). Dewi, (2018) sebanyak 22 isolat bakteri selulotik didapatkan dan nilai indeks indeks tertinggi 26,4 mm. Besarnya zona bening yang terbentuk menunjukkan kemampuan bakteri mendegradasi selulosa menggunakan enzim selulase yang dihasilkan bakteri. Lebih lanjut Kurniawan *et al.*, (2018) mendapatkan 2 isolat indeks selulotik tertinggi yaitu 26,4 mm dan kategori sedang 1,6 mm. Naresh *et al.*, (2019) isolat tertinggi indeks selulase sebesar 3,42. Sedangkan penelitian El-Sayed *et al.*, (2019) nilai indeks selulase isolat tertinggi 9,5 mm. Penelitian lain Nadhifah, (2021) indeks aktivitas selulase tertinggi 11,90 mm yang berasal dari isolat bakteri selulase. Menurut Wahyuni, (2017) nilai indeks selulase yang tinggi dikarenakan aktivitas enzim seklulase tinggi menghdirolisis selulosa menjadi glukosa. Zona bening yang terbentuk pada media, menunjukkan isolat bakteri menghidrolisis lignoselulosa pada kandungan media.

Aktivitas Enzim Selulase dari Bakteri Termofilik Pada Kawasan Wisata Ie Suum Kabupaten Aceh Besar

Berdasarkan hasil aktivitas ekstrak kasar enzim selulase dapat diketahui isolat TS10 (*Bacillus* sp) memiliki nilai aktivitas enzim yang paling tinggi yaitu $5,5 \times 10^{-3}$ U/mL selanjutnya diikuti isolat TS6 (*Pseudomonas* sp) memiliki aktivitas enzim sebesar $4,7 \times 10^{-3}$ U/mL dan isolat TS7 (*Bacillus* sp) memiliki aktivitas enzim sebesar $4,4 \times 10^{-3}$ U/mL. Aktivitas enzim yang dimiliki oleh ketiga isolat tersebut tergolong tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Itnawati *et al.*, (2022) mengenai bakteri selulotik didapatkan 3 isolat tertinggi dari 22 isolat dengan nilai aktivitas masing-masing isolat 0,0069 U/mL, 0,027 U/mL dan 0,0003 U/mL. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Bandi *et al.*, (2018) mengenai bakteri selulotik didapatkan hanya 2 isolat dengan nilai aktivitas enzim sebesar 0,071 U/mL dan nilai aktivitas enzim terendah yaitu 0,004 U/mL.

Bakteri termofilik dapat dimanfaatkan dalam bidang industri makanan ternak, tekstil, detergen, industri kertas (Safitri, 2022). Dapat dikembangkan juga

dalam bidang farmasi yaitu pemanfaatan enzim selulase untuk pembuatan obat-obatan atau sebagai sumber enzim termotoleran industri (Nuritasari *et al.*, 2017). Dalam bidang industri dan kesehatan enzim selulase dari bakteri termofilik digunakan sebagai biokatalisator dalam perubahan kimia (Pujiati *et al.*, 2018). Produksi enzim selulase bakteri termofilik memiliki keunggulan dibandingkan fungi yaitu kecepatan pertumbuhan bakteri lebih cepat daripada fungi sehingga mempunyai potensi tinggi untuk menghasilkan selulase terutama yang diisolasi dari lingkungan ekstrim seperti dari sumber air panas (Reza, 2022). Dalam industri, reaksi suhu tinggi sangat penting karena dapat memperlambat laju perpindahan massa dan memindahkan keseimbangan ke arah pembentukan produk (Nanda *et al.*, 2017).

SIMPULAN

Karakteristik bakteri termofilik penghasil selulase secara umum berbentuk bulat, berakar, berbenang, tidak teratur, tepian koloni berbentuk rata, berbenang, bergelombang, bergerigi, elevasi koloni berbentuk cembung, datar, timbul datar, dan warna koloni putih-krim, kuning dan putih-bening. Karakteristik bakteri memperoleh 13 Gram positif dan 2 Gram negatif, didapatkan 2 genus yaitu genus *Bacillus* sp. dan genus *Pseudomonas* sp. Potensi enzim selulase dari bakteri termofilik berdasarkan indeks selulase isolat TS10, TS6, TS7 masing-masing dengan indeks 4,00 cm, 3,67 cm, dan 2,33 cm dikategorikan tinggi, isolat TS5, TS8, TS9, TS14, TS3 masing-masing dengan indeks 1,71 cm, 1,42 cm, 1,16 cm, 1,5 cm, dan 1,2 cm kategori sedang dan isolat TS4, TS15 masing-masing dengan indeks 0,83 cm, 0,66 cm dikategorikan lemah. Aktivitas enzim selulase dari isolat TS6 yaitu $4,7 \times 10^{-3}$ U/mL, isolat TS7 yaitu $4,4 \times 10^{-3}$ U/mL dan isolat TS10 yaitu $5,5 \times 10^{-3}$ U/mL.

DAFTAR PUSTAKA.

- Bandi, T., Abubakar, H., & Moge, R. A. (2018). Uji Aktivitas Enzim Selulase Isolat Bakteri Dari Sedimen Lamun Perairan Rendani Manokwari. *VOGELKOP: Jurnal Biologi*, 1(1). <https://doi.org/10.30862/vogelkopjbio.v1i1.34>.
- Cappuccino., J. G., & Sherman, N. (2014). *Microbiology a Laboratory Manual*. 10th edition. Pearson Education, inc. USA. ISBN: 9780321840226.
- Devinta, A., & Zulaika, E. (2021). Viability and Production Calcifying Bacterial Endospore on Sand-Cement Carrier. *Jurnal Ilmiah Biologi Eksperimen Dan Keanekaragaman Hayati (J-BEKH)*, 8(1), 8–13. [10.23960/jbekh.v8i1.184](https://doi.org/10.23960/jbekh.v8i1.184).
- Dewi Yustiyana. (2018). Identifikasi dan Uji Patogenisitas Kandidat Bakteri Selulolitik Asal Ekosistem Mangrove Tukak sadai, Bangka Selatan. *Skripsi*. <http://repository.ubb.ac.id/id/eprint/1695>. Diakses tanggal 26 Februari 2023.
- El-Sayed, A. F., Abo-Sereih, N. A., El-Kawokgy, T. M., Mahmoud, A. E., & El-Ghamery, A. A. (2019). Isolation, screening and optimization of β -glucosidase producing

Bacillus sp. isolated from Egyptian environment. *Journal of Innovations in Pharmaceutical and Biological Sciences (JIPBS)*, 6(4), 70–78.

- Fauziah, S. I., & Ibrahim, M. (2020). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Selulolitik pada Tanah Gambut di Desa Tagagiri Tama Jaya, Kecamatan Pelangiran, Kabupaten Inhil, Riau. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 9(3), 194–203. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v9n3.p194-203>.
- Fitria, L. (2021). Isolasi Bakteri Selulolitik dari Bekatul dan Uji Aktivitas Enzim Selulase dengan Variasi Suhu Inkubasi. *Skripsi*. <http://estheses.uin-malang.ac.id/id/eprint/28721>. Diakses tanggal 23 Oktober 2022.
- Itnawati, Devi, S., Mukhlis, & Sari, A. (2022). Selection of Isolates of Local Endophytic Bacteria Cellulolytic Strains From Mangrove Roots *Ceriops tagal* (Perr) C. B. Rob. *Photon: Jurnal Sain Dan Kesehatan*, 12(2), 41–49. <https://doi.org/10.37859/jp.v12i2.3371>.
- Kurniawan, A., Sari, S. P., Asriani, E., Kurniawan, A., Sambah, A. B., & Prihanto, A. A. (2018). Identifikasi Molekuler Isolat Bakteri Selulolitik dari Mangrove Sungailiat dan Tukak Sadai di Pulau Bangka. *Jurnal Enggano*, 3(2), 1–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.31186/jenggano.3.2.250-260>.
- Mahestri, L., Harpeni, E., & Setyawan, A. (2021). Isolasi dan Penapisan Bakteri Termofilik Pemecah Amilum dan Protein dari Sumber Air Panas Way Panas Kalianda Lampung Selatan Isolation and Screening of Amylolytic and Proteolytic Thermophilic. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 26(3), 161–168.
- Maretia, L. R., Samingan, S., Hasanuddin, H., Wardiah, W., & Nurmaliah, C. (2021). Lichen in the Area of Ie Seu Um of Mesjid Raya District Aceh Besar Regency. *Jurnal Ilmiah Biologi Teknologi Dan Kependidikan*, 9(2), 191. <https://doi.org/10.22373/biotik.v9i2.10860>.
- Mawati, S. D., Harpeni, E., & Fidyandini, H. P. (2021). Skrining Bakteri Termofilik Potensial Amilolitik dari Sumber Air Panas Way Belerang Kalianda Lampung Selatan. *Journal of Aquatropica Asia*, 6(1), 1–7. ISSN: 27217574.
- Nadhifah, M. (2021). Isolasi Bakteri Selulolitik dari Jerami Padi dan Uji Aktivitas Enzim Selulase pada Berbagai Substrat. *Skripsi*. <http://estheses.uin-malang.ac.id/id/eprint/29019>. Diakses tanggal 29 Juni 2022.
- Nanda, P. T., Siregar, S. A., Kurniawan, R., Hairuidin, Meriyanti, & Yatno. (2017). Isolasi, Karakterisasi dan Uji Potensi Bakteri Penghasil Enzim Termostabil Air Panas Kerinci. *Chempublish*, 2(1). <https://online-journal.unja.ac.id/chp/article/view/3238>. Diakses tanggal 22 Oktober 2022.
- Naresh, S., Kunasundari, B., Gunny, A. A. N., Teoh, Y. P., Shuit, S. H., Ng, Q. H., & Hoo, P. Y. (2019). Isolation and partial characterisation of thermophilic cellulolytic bacteria from north Malaysian tropical mangrove soil. *Tropical Life Sciences Research*, 30(1), 123–147. <https://doi.org/10.21315/tlsr2019.30.1.8>.

- Nuritasari, D., Sarjono, P. R., & Aminin, A. L. N. (2017). Isolasi Bakteri Termofilik Sumber Air Panas Gedongsongo dengan Media Pengaya MB (*Minimal Broth*) dan TS (*Taoge Sukrosa*) serta Identifikasi Fenotip dan Genotip. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 20(2), 84–91. <https://doi.org/10.14710/jksa.20.2.84-9>.
- Nurkhaisa Kairupan, D. (2019). Penapisan Mikroorganisme Penghasil Enzim Selulase Dari Ampas Tebu Untuk Produksi Bioetanol Generasi Kedua. *Skripsi*. <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/181656>. Diakses tanggal 25 Februari 2023.
- Pujiati, Ardhi, M. W., & Prasetyo, E. N. (2018). *Bioteknologi Berbasis Proyek (Produksi Purifikasi Enzim Selulase dari Kapang Trichoderma viride dan Potensinya dalam Bioscouring)* (1st ed.). CV. Ae Media Grafika. ISBN: 9788578110796.
- Puspawati, N. M. I., Atmaja, I. W. D., & Sutari, N. W. S. (2018). Eksplorasi Bakteri Selulolitik dari Sampah Organik Kota Denpasar. *Journal of Tropical Agroecotechnology*, 7(3), 363–373. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/JAT/article/view/42190>.
- Reza, N. 2022. Skrining Bakteri Selulolitik dan Karakterisasi Enzim Selulase dari Isolat Bakteri Termofilik Sumber Air Panas Tanjung Sakti Lahat. *Skripsi*. <https://repository.unsri.ac.id/81626/3>. Diakses tanggal 8 Maret 2023.
- Ristiati, Mulyadharja, & Adhiguna. (2016). Isolasi Dan Identifikasi Mikroorganisme Penghasil Enzim Selulase Pada Rayap (*Coptotermes curvignathus holmgren*). *Seminar Nasional Riset Inovasi Ke 4*, Universitas Pendidikan Ganesha Singaraja. ISBN: 9786026428042.
- Runtuboi, D. Y. P., Gunaedi, T., Simonapendi, M., & Pakpahan, N. N. L. (2018). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Termofilik dari Sumber Air Panas di Moso Distrik Muara Tami Kota Jayapura Provinsi Papua. *Jurnal Biologi Papua*, 10(2), 68–73. <https://doi.org/10.31957/jbp.474>.
- Safitri, L. (2022). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Termofilik di Pemandian Air Panas Way Belerang Desa Kecapi Kecamatan Kalianda Kabupaten Lampung Selatan Provinsi Lampung. *Skripsi*. <http://repository.radenintan.ac.id/id/eprint/18730>. Diakses tanggal 5 Maret 2023.
- Sang, P., Liu, S. Q., & Yang, L. Q. (2020). New insight into mechanisms of protein adaptation to high temperatures: A comparative molecular dynamics simulation study of thermophilic and mesophilic subtilisin-like serine proteases. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(9). <https://doi.org/10.3390/ijms21093128>.
- Silalahi, L. F., Mukarlina, M., & Rahmawati, R. (2020). Karakterisasi dan Identifikasi Genus Bakteri Endofit dari Daun dan Batang Jeruk Siam (*Citrus nobilis var. microcarpa*) Sehat di Desa Anjungan Kalimantan Barat. *Jurnal Protobiont*, 9(1), 26–29. <https://doi.org/10.26418/protobiont.v9i1.40064>.
- Wahyuni, D. (2017). Karakterisasi Morfologi dan Uji Aktivitas Bakteri Termofilik yang Terdapat di Kawasan Wisata Ie Suum Kecamatan Masjid Raya Sebagai Penunjang Praktikum Mikrobiologi. *Skripsi*. <https://repository.ar-raniry.ac.id/eprint/2178>. Diakses tanggal 26 Juni 2022.