

Isolation and Characterization of Thermophilic Bacteria as Producing Enzyme Amylase from Kepanasan Hot Springs In Tapung Hulu, Kampar, Riau

Fadia Rezika Herwanda¹ & Tetty Marta Linda^{1*}

¹Program Studi Biologi, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia;

Article History

Received : October 30th, 2024

Revised : November 26th, 2024

Accepted : March 10th, 2025

*Corresponding Author:

Tetty Marta Linda, Program Studi Biologi, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia;

Email:

tetty.martalinda@lecturer.unri.ac.id

Abstract: Thermophilic bacteria are a group of bacteria that can live and survive at high temperatures ranging from 45°C-80°C. Thermophilic bacteria are the best choice as a producer of thermostable enzymes that can endure high temperatures used in various industrial fields including the textile industry, food industry, detergent industry, and pharmaceutical industry. This study aims to isolate, characterize, and test the activity of thermostable amylase enzyme from thermophilic bacterial isolates in Kepanasan hot spring in Tapung Hulu District, Kampar Regency, Riau. Characterization of thermophilic bacterial isolates is macroscopic, physiological, and biochemical tests: Triple sugar iron agar, Sulphur indole motility, symmons citrate, and catalase. The results of study obtained ten isolates of thermophilic bacteria consisting of six isolates from hot water samples and four isolates from soil sediments isolated at temperatures of 45°C and 50°C using a nutrient agar (NA) medium. The results of Gram staining were obtained one Gram-positive isolate and nine Gram-negative isolates. Positive catalase test results, negative indole and motility tests for ten isolates. The results of the amylase enzyme activity test obtained three bacterial isolates, namely BTA 6, BTT 2 and BTT 4 with the highest amylolytic index of 1.32 produced by BTT 2 isolate at an incubation temperature of 50°C with a starch concentration of 1%.

Keywords: Amylase enzymes, amylolytic index, kepanasan hot springs, thermophilic bacteria.

Pendahuluan

Enzim menjadi suatu hal terpenting di industri dan semakin meningkat kebutuhannya di masa yang akan datang. Pemanfaatan bakteri termofilik sebagai sumber produksi enzim amilase menjadi pilihan strategis untuk memenuhi permintaan industri. Salah satu kelompok bakteri yang memiliki potensi bertahan hidup di temperatur tinggi antara suhu 45°C-80°C dan menghasilkan enzim termostabil adalah Bakteri termofilik (Runtuboi *et al.* 2018). Keunggulan enzim termostabil dapat mempercepat reaksi, mengurangi risiko kontaminasi, dan meningkatkan efisiensi produksi (Nanda *et al.*,

2017).

Bakteri termofilik memiliki kandungan enzim dan molekul pembentuk protein yang stabil dalam kondisi panas, serta membran lipid sel yang kaya asam lemak jenuh dalam membentuk ikatan hidrofobik yang kuat sehingga dapat bertahan dari suhu tinggi (Brock, 1986). Beberapa jenis enzim yang diproduksi oleh bakteri termofilik yaitu enzim selulase (Megahati 2017; Huwae *et al.* 2020), enzim protease (Linda *et al.* 2015), enzim kitinase (Hardi *et al.* 2016), enzim lipase (Alawiyah *et al.* 2021), enzim amilase (Gazali & Suwastika 2018; Mawati *et al.* 2021).

Salah satu enzim yang banyak dimanfaatkan dalam bidang industri adalah

enzim amilase. Enzim amilase bekerja memecah molekul pati menjadi bentuk gula sederhana seperti maltosa, dekstrin, dan glukosa. Pemanfaatan enzim amilase di bidang industri diantaranya industri makanan (Rana *et al.* 2017), obat-obatan (Indriati & Megahati 2021), tekstil (Zafar *et al.* 2019) dan detergen (Sharma *et al.* 2022).

Indonesia memiliki berbagai sumber air panas yang berpotensi sebagai habitat bagi bakteri termofilik. Beberapa penelitian yang telah berhasil memperoleh bakteri termofilik penghasil amilase dari sumber air panas diantaranya penelitian Mawati *et al.* (2021) mengisolasi 4 isolat bakteri termofilik penghasil amilase dari sumber air panas Way Belerang Kalianda. Penelitian Zuraidah *et al.* (2020) kawasan wisata air panas Ie Seuum Aceh yang mengisolasi 2 isolat bakteri termofilik memproduksi amilase. Suharti & Putra (2022) mengisolasi 9 isolat bakteri termofilik penghasil amilase dari sumber air panas Sidebuk-Sidebuk Sumatera Utara. Hal ini mendorong peneliti untuk melakukan penelitian di daerah Senama Nenek, Kecamatan Tapung Hulu, Kabupaten Kampar, Riau tepatnya sumber air panas Kepanasan dengan mengisolasi, mengkarakterisasi secara makroskopis, fisiologi dan biokimia serta menguji aktivitas enzim amilase dari isolat bakteri termofilik dan diharapkan dapat memberikan manfaat berupa informasi ilmiah mengenai bakteri termofilik yang memproduksi enzim amilase di Indonesia yang nantinya dapat dikembangkan.

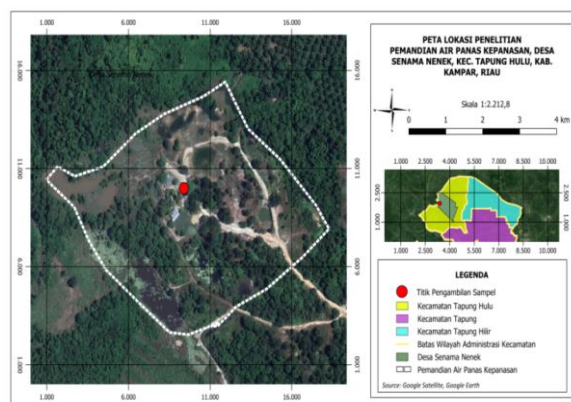
Bahan dan Metode

Pengambilan sampel

Pengukuran suhu dan pH pada sekitaran sumber air panas dilakukan terlebih dahulu sebelum sampel diambil. Sampel tersebut diambil secara acak pada 5 titik yang masing-masing diambil sebanyak 200 ml dengan menggunakan botol kaca lalu dikompositkan dan dimasukkan ke dalam termos. Lokasi kawasan pengambilan sampel seperti pada Gambar 1.

Sampel sedimen tanah diambil secara acak pada 5 titik hingga sebanyak \pm 500 gr lalu dikompositkan dan dimasukkan ke dalam wadah kaca kemudian dimasukkan ke dalam *styrofoam box*. Setelah itu, sampel dibawa ke laboratorium

mikrobiologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau.



Gambar 1. Peta lokasi kawasan air panas Kepanasan Kec. Tapung Hulu, Kab. Kampar, Riau (Sumber: Peta satelit 2024).

Isolasi dan Pemurnian Bakteri Termofilik

Sampel air panas diambil 5 ml dan dimasukkan ke erlenmeyer yang berisi media NB sebanyak 45 ml. Perlakuan yang sama juga dilakukan pada sampel sedimen tanah. Masing-masing erlenmeyer tersebut dimasukkan ke inkubator shaker hingga 72 jam di suhu 45°C dan 50°C. Di akhir inkubasi masing-masing sampel dilakukan isolasi bakteri dengan membuat *serial dilution* lalu ditumbuhkan secara *pour plate* diinkubasi di suhu 45°C dan 50°C hingga terlihat koloni-koloni bakteri yang tumbuh. Masing-masing sampel dibuat dengan 3 ulangan. Bakteri yang tumbuh dilakukan pemurnian dengan metode kuadran secara penggosokan lalu dilakukan inkubasi selama 24 jam. Isolat bakteri yang telah murni digosokkan ke agar miring selanjutnya disimpan di kulkas untuk stok isolat.

Karakterisasi Isolat Bakteri Termofilik

Karakterisasi isolat bakteri termofilik dilakukan dengan pengamatan morfologi koloni secara makroskopis berupa bentuk, warna, tepi dan elevasi koloni. Karakterisasi fisiologi dan biokimia yaitu uji pewarnaan Gram, uji *triple sugar iron agar* (TSIA), uji *sulfur indol motility* (SIM), uji *simmons citrate* (SC), dan uji katalase.

Seleksi Bakteri Termofilik Penghasil Amilase

Masing-masing isolat bakteri diseleksi menggunakan media selektif dengan media NA ditambah pati 1% dan 2% yang diinkubasi pada suhu 45°C dan 50°C selama 72 jam. Pengujian dilakukan dengan 3 ulangan. Diakhir inkubasi bakteri ditetesi lugol. Diameter zona bening diukur menggunakan jangka sorong dan dihitung indeks amilolitiknya (IA) dengan rumus (Pitri *et al.* 2015).

$$IA = \frac{\text{Diameter Zona Bening} - \text{Diameter Koloni}}{\text{Diameter Koloni}}$$

Hasil dan Pembahasan

Isolasi Bakteri Termofilik

Hasil isolasi masing-masing isolat bakteri termofilik yang diambil dari sampel air dan sedimen tanah dapat dilihat pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan pertumbuhan bakteri termofilik dari sampel air panas dan sedimen tanah mampu tumbuh pada medium NA serta adanya perbedaan jumlah isolat yang berhasil diisolasi pada suhu inkubasi 45°C dan 50°C. Menurut Pitri *et al.* (2015), adanya perbedaan jumlah isolat yang berhasil diisolasi dipengaruhi oleh kondisi lingkungan karena setiap sumber sampel memiliki karakteristik unik yang mempengaruhi keberadaan dan aktivitas bakteri.

Penelitian Devi (2019), melaporkan hasil jumlah isolat bakteri termofilik dari sumber air panas Pawan, Rokan Hulu dengan suhu sampel berkisar antara 44°C-53°C diisolasi menggunakan medium NA dengan variasi suhu

yakni suhu 45°C berjumlah 6 isolat, suhu 50°C berjumlah 6 isolat, suhu 55°C berjumlah 5 isolat dan suhu 60°C tidak ada isolat yang berhasil diisolasi. Hasil isolasi dengan menggunakan media dan suhu yang berbeda memperoleh jumlah bakteri yang berhasil diisolasi berbeda.

Tabel 1. Isolasi bakteri termofilik dengan variasi suhu

Jenis Sampel	Suhu (°C)	Jumlah Isolat	Kode Isolat
Air Panas	45	3	BTA 1, BTA 2, BTA 3
	50	3	BTA 4, BTA 5, BTA 6
Sedimen tanah (<i>sludge</i>)	45	1	BTT 1
	50	3	BTT 2, BTT 3, BTT 4
Jumlah		10	

Karakterisasi Isolat Bakteri Termofilik dari Sumber Air Panas Kepanasan

Karakteristik makroskopis

Data pada Tabel 2 merupakan hasil Karakterisasi morfologi koloni isolat pada bakteri termofilik yang diambil dari sedimen tanah air sampel air pada sumber air panas kepanasan.

Tabel 2. Karakterisasi morfologi koloni isolat bakteri termofilik dari sampel air dan sedimen tanah

Isolat	Morfologi Koloni			
	Warna	Bentuk	Tepian	Elevasi
BTA 1	Putih	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Convex</i>
BTA 2	Putih Kekuningan	<i>Irregular</i>	<i>Undulate</i>	<i>Convex</i>
BTA 3	Putih Kekuningan	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Convex</i>
BTA 4	Putih	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Raised</i>
BTA 5	Putih Kekuningan	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Raised</i>
BTA 6	Kuning	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Convex</i>
BTT 1	Putih	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Convex</i>
BTT 2	Putih Kekuningan	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Convex</i>
BTT 3	Putih Kekuningan	<i>Circular</i>	<i>Undulate</i>	<i>Convex</i>
BTT 4	Putih Kekuningan	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Raised</i>

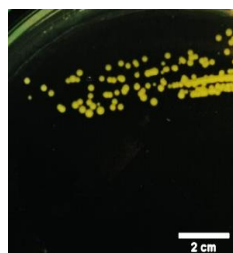
Hasil morfologi koloni isolat bakteri termofilik pada Tabel 2. didapatkan 9 isolat bakteri termofilik mempunyai bentuk sama yaitu *circular* dan 1 isolat berbentuk *irregular* yakni

BTA 2. Isolat BTA 6 mempunyai warna koloni kuning sedangkan isolat lainnya berwarna putih dan putih kekuningan. Tepian koloni isolat BTA 2 dan BTT 3 berbentuk *undulate* sedangkan

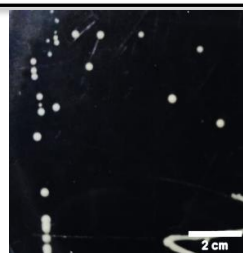
isolat lainnya berbentuk *entire*. Elevasi koloni isolat BTA 1, BTA 2 BTA 3, BTA 6, BTT 1, BTT 2, BTT 3 berbentuk *convex*, sedangkan isolat BTA 4, BTA 5, dan BTT 4 berbentuk *raised*. Variasi pigmen yang dihasilkan oleh koloni bakteri seperti pada Gambar 2.



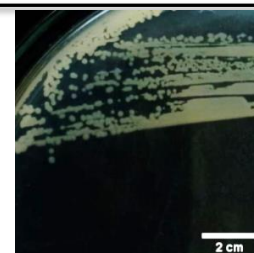
BTA 1



BTA 6



BTT 1



BTT 2

Gambar 2. Beberapa morfologi koloni isolat bakteri termofilik pada suhu 45°C dan 50°C

Karakteristik fisiologi dan biokimia

Sepuluh isolat bakteri termofilik yang telah diambil dari sampel air dan sedimen tanah sumber air panas kepanasan dikarakterisasi fisiologi dan biokimia seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakterisasi fisiologi dan biokimia isolat bakteri termofilik

Isolat	Uji Fisiologi dan Biokimia					Bentuk Sel
	Gram	TSIA	SIM	SC	Katalase	
BTA 1	-	K/K	-	+	+	Kokus
BTA 2	-	K/K	-	+	+	Basil Pendek
BTA 3	-	K/K	-	-	+	Basil
BTA 4	-	K/K	-	+	+	Basil
BTA 5	-	K/K	-	+	+	Basil
BTA 6	-	K/A	-	-	+	Basil Pendek
BTT 1	-	K/K	-	+	+	Basil Pendek
BTT 2	-	K/A	-	+	+	Basil Pendek
BTT 3	+	K/K	-	-	+	Basil
BTT 4	-	K/A	-	+	+	Basil pendek

Keterangan : (+) = Hasil uji positif (-) = Hasil uji negatif
 A = asam K = Alkali
 K/A = Fermentasi glukosa K/K = Non fermentasi

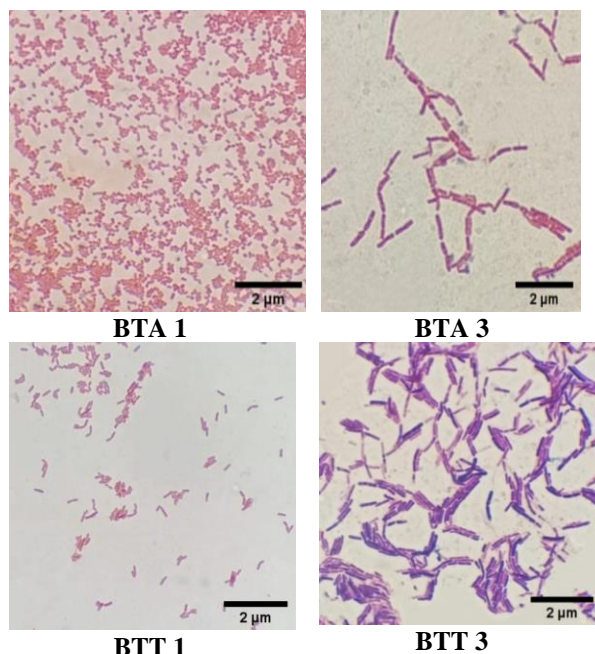
Hasil pewarnaan Gram diperoleh satu isolat Gram positif, yaitu isolat BTT 3 yang ditandai adanya sel dengan warna ungu dan sembilan isolat lainnya merupakan bakteri Gram negatif yang ditunjukkan dengan sel berwarna merah muda. Variasi bentuk sel dan hasil pewarnaan Gram seperti pada Gambar 3. Penelitian Devi (2019), mendapat delapan isolat bakteri termofilik bersifat Gram negatif dan 9 isolat bersifat Gram positif yang diisolasi dari sumber air panas Pawan Rokan Hulu, Riau.

Hasil uji biokimia TSIA menunjukkan bahwa 7 isolat memperoleh hasil fermentasi dengan reaksi K/K dan 3 isolat memperoleh hasil K/A. Hasil warna merah pada bagian lereng tabung uji dan bagian dasar media menunjukkan isolat tersebut tidak mampu memfermentasi glukosa, laktosa, dan sukrosa diberi kode (K/K), sedangkan hasil menunjukkan warna merah pada

lereng tabung dan warna kuning di bagian dasar media menandakan isolat mampu memfermentasi glukosa tetapi tidak mampu memfermentasi laktosa dan sukrosa (K/A). Semua isolat juga tidak memperlihatkan pembentukan gas (H₂S) karena tidak ditandai dengan adanya endapan berwarna hitam. Hasil penelitian lain oleh Runtuboi *et al.* (2018) yaitu terdapat 5 isolat yang diisolasi dari sumber air panas Moso Distrik Muara Tami menunjukkan hasil K/A dan 2 isolat menunjukkan hasil K/K serta semua isolat tidak menghasilkan gas H₂S.

Hasil uji biokimia pada media SIM menunjukkan bahwa semua isolat bakteri termofilik bersifat non-motil, ditandai dengan tidak adanya pertumbuhan bakteri yang menyebar pada medium SIM dan tidak terbentuk cincin merah serta tidak terdapat endapan berwarna hitam. Ginting *et al.* (2020)

melaporkan isolat bakteri termofilik yang diisolasi dari sumber air panas Moinit memperoleh hasil dari 11 isolat hanya 4 isolat yang bersifat motil dan semua isolat negatif untuk pengujian indol serta tidak menghasilkan gas (H₂S).



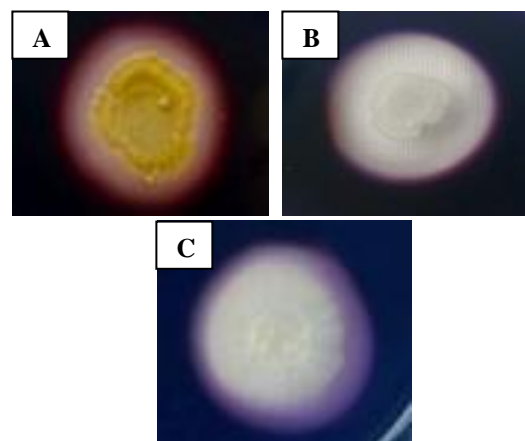
Gambar 3. Pewarnaan gram isolat bakteri termofilik dengan perbesaran 1000x

Uji biokimia sitrat bertujuan mengidentifikasi bakteri dalam memanfaatkan sitrat sebagai sumber karbon. Hasil uji sitrat pada Tabel 3 menunjukkan sepuluh isolat bakteri termofilik yang berhasil diisolasi hanya 3 isolat menunjukkan hasil negatif. Lingga *et al.* (2021) melaporkan 21 isolat negatif dan 1 isolat positif terhadap pengujian sitrat yang diisolasi dari sumber air panas di Pulau Bangka.

Uji katalase menunjukkan hasil positif pada sepuluh isolat bakteri termofilik yang dibuktikan dengan terbentuknya gelembung-gelembung udara. Hal itu mengartikan bahwa semua isolat bakteri uji mampu menghasilkan enzim katalase yang mampu memecah hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen. Penelitian lain oleh Majidah *et al.* (2023) melaporkan hasil positif uji katalase pada isolat bakteri termofilik dari Kawasan wisata air panas Ie Suum Kabupaten Aceh. Berbeda sumber air panas menunjukkan hasil karakterisasi fisiologis dan biokimia juga berbeda-beda.

Seleksi isolat bakteri penghasil enzim amilase

Sepuluh isolat yang berhasil diisolasi setelah dilakukan pengujian aktivitas enzim amilase hanya tiga isolat yaitu BTA 6, BTT 2 dan BTT 4 yang memiliki aktivitas enzim amilase. Indeks amilolitik ketiga isolat bakteri seperti pada Tabel 4. Kemampuan isolat bakteri dalam menghasilkan enzim amilase ditunjukkan oleh terbentuknya zona bening di sekitar koloni bakteri seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Zona bening dari isolat bakteri termofilik. (A) BTA 6, (B) BTT 2, (C) BTT 4 (a) zona bening, (b) koloni bakteri

Tabel 4. Indeks amilolitik isolat bakteri termofilik pada sumber air panas Kepanasan dengan waktu inkubasi 72 jam

Kode Isolat	Indeks Amilolitik			
	Suhu 45°C		Suhu 50°C	
	Pati 1%	Pati 2%	Pati 1%	Pati 2%
BTA 6	0,60±	0,36±	1,25±	1,02±
	0,80	0,31	0,41	0,99
BTT 2	0,64±	0,58±	1,32±	0,80±
	0,59	0,47	0,22	0,37
BTT 4	0,61±	0,55±	1,07±	0,89±
	0,30	0,42	0,35	0,14

Tabel 4. menunjukkan rentang indeks amilolitik ketiga bakteri antara 0,36-1,32. Nilai indeks amilolitik tertinggi dihasilkan oleh isolat BTT 2 pada suhu inkubasi 50°C konsentrasi pati 1% sedangkan nilai indeks amilolitik terendah dihasilkan oleh isolat BTA 6 pada suhu inkubasi 45°C dengan konsentrasi pati 2%. Hasil penelitian ini, menunjukkan setiap isolat memiliki nilai indeks amilolitik yang berbeda-beda dan nilai indeks amilolitik lebih besar pada konsentrasi substrat pati 1% dibandingkan

konsentrasi substrat pati 2%. Menurut Pitri *et al.* (2015), kemampuan setiap isolat dalam menghidrolisis pati berbeda-beda menyebabkan indeks amilolitik yang berbeda, sehingga mempengaruhi besar kecilnya zona bening yang terbentuk. Pada penelitian ini terlihat konsentrasi substrat mempengaruhi diameter zona bening yang di hasilkan.

Penelitian yang dilakukan oleh Pitri *et al.* (2015) mengumpulkan sampel dari sumber air panas Sungai Medang, Jambi dan berhasil mengidentifikasi isolat bakteri termofilik, yang mana 4 isolat menunjukkan aktivitas amilase. Isolat MII-2 memiliki indeks amilolitik tertinggi sebesar 3,51 menggunakan substrat pati berkonsentrasi 2% pada suhu inkubasi 50°C. Syafriyani *et al.* (2013) melaporkan isolat MV1.7 memiliki indeks amilolitik tertinggi sebesar 18,27 pada suhu inkubasi 74°C menggunakan konsentrasi pati 1%.

Aplikasi enzim amilase dari bakteri termofilik dalam industri telah banyak dilakukan diantaranya penelitian Rana *et al.* (2017) melaporkan bahwa penambahan enzim amilase konsentrasi 1% dari bakteri termofilik isolat J2 yang diisolasi dari sumber air panas Jeori, Himachal Pradesh dapat meningkatkan kejernihan jus apel dan kiwi. Serta konsentrasi amilase 0,75% dapat memperbaiki kualitas adonan dalam pembuatan roti. Sharma *et al.* (2022) melaporkan bahwa α -amilase *Bacillus licheniformis* RA31 dari sampel tanah di sumber air panas di Rampur, Himachal Pradesh efektif dalam menghilangkan noda berbasis pati pada detergen dan mengurangi bahan kimia berbahaya.

Sepuluh isolat yang berhasil diisolasi pada penelitian ini, hanya tiga isolat yang mampu memiliki aktivitas enzim amilase. Menurut Zuraidah *et al.* (2020), bakteri termofilik tidak semuanya bersifat amilolitik disebabkan karena aktivitas enzim dipengaruhi oleh suhu, konsentrasi substrat, perbedaan kemampuan setiap isolat bakteri serta faktor lingkungan. Tujuh isolat yang tidak menghasilkan aktivitas enzim amilase pada penelitian ini, diduga memiliki potensi pada aktivitas enzim lain. Seperti penelitian di Kabupaten Kuantan Singingi, Desa Sungai Pinang, pada sumber air panas oleh Linda *et al.* (2015) melaporkan hasil isolat bakteri termofilik memiliki aktivitas enzim protease sedangkan

ditempat yang sama juga diteliti oleh Septiana (2024) melaporkan bahwa isolat bakteri termofilik yang berhasil diisolasi memiliki aktivitas enzim selulase.

Kesimpulan

Hasil penelitian ini memperoleh hasil 6 isolat bakteri termofilik yang diambil dari sampel air panas dan 4 isolat dari sampel sedimen tanah yang dilakukan inkubasi di suhu 45°C dan 50°C. Tiga isolat bakteri termofilik yaitu BTA 6, BTT 2 dan BTT 4 yang memiliki aktivitas enzim amilase dengan indeks amilolitik pada suhu 45°C konsentrasi pati 1% berturut-turut yaitu 0,60±0,80, 0,64±0,59 dan 0,61±0,30 sedangkan konsentrasi pati 2% yaitu 0,36±0,31, 0,58±0,47 dan 0,55±0,42. Indeks amilolitik pada suhu 50°C konsentrasi pati 1% berturut-turut yaitu 1,25±0,41, 1,32±0,22 dan 1,07±0,35 sedangkan konsentrasi pati 2% yaitu 1,02±0,99, 0,80±0,37 dan 0,89±0,14.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Riau dan semua pihak yang membantu dalam proses penelitian hingga menjadi sebuah tulisan yang bermanfaat.

Referensi

- Alawiyah DN, Astuti W, Hairani R. (2021). Isolasi bakteri penghasil lipase dari sumber air panas Long Kali. *Jurnal Atomik* 6(1): 32-34. ISSN 2549-0052. DOI :
- Brock TD, Brock KM, Ward DM. (1986). *Basic Microbiology with Applications*. Madison: Prentice-Hall.
- Devi M. (2019). Isolasi, identifikasi morfologi, dan uji aktivitas enzim hidrolitik dari bakteri termofilik sumber air panas Pawan Rokan Hulu, Riau [skripsi]. Pekanbaru: Universitas Riau.
- Gazali FM, Suwastika IN. (2018). Thermostable α -amylase activity from thermophilic bacteria isolated from Bora Hot Spring, Central Sulawesi. *Journal of Physics* 2:1-6. DOI: 10.1088/17426596/979/1/012001
- Ginting EL. (2020). Penapisan dan karakterisasi bakteri proteolitik termofilik dari sumber

- air panas Pantai Moinit, Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Platax* 8(1):118-125. DOI : <https://doi.org/10.35800/jip.8.1.2020.28628>
- Hardi J, Jusman, Razak AR, Silva. (2016). Produksi dan uji aktivitas enzim kitinase dari isolat bakteri termofilik b1211 asal air panas Bora. *Jurnal Kovalen* 2(3):67-72. DOI : <https://www.neliti.com/publications/144220/produksi-dan-uji-aktivitas-enzim-kitinase-dari-isolat-bakteri-termofilik-b1211-a#cite>
- Huwae LM, Aditiawati P. (2020). Isolasi dan identifikasi bakteri termofilik penghasil enzim selulase dari sumber air panas Sila. *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan Papua* 3(1):32-35. DOI: <https://doi.org/10.31957/acr.v3i1.1214>
- Indriati G, Megahati R. (2021). Thermostable Amylase from *Enterobacter* sp Extremophiles in Bioethanol Production. *Journal of Science and Science Education* 2(1): 1-7. DOI.org/10.29303/jossed.v2i1.698
- Linda TM, Devi S, Roza RM, Silaban MDU. (2015). Aktivitas protease alkalin oleh bakteri termofilik alkalitoleran dari sumber air panas Desa Sungai Pinang Kabupaten Kuantan Singingi, Riau. *Prosiding Semirata Bidang MIPA BKS-PTN Barat*. hlm. 351-358. DOI : <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/semirata2015/article/view/13757>
- Lingga R, Afriyansyah B, Septiani R, Miranti I. (2021). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Asal Sumber Air Panas Non-Vulkanik. *Bioedusains: Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains* 4(2): 175-184. DOI : <https://doi.org/10.31539/bioedusains.v4i2.2423>
- Majidah R, Lubis SS, Harahap D. (2023). Potensi enzim selulase dari bakteri termofilik di kawasan Wisata Ie Suum Kabupaten Aceh Besar. *Journal of Biological Sciences and Applied Biology* 3(1): 25-34. DOI: [10.22373/kenanga.v3i1.3119](https://doi.org/10.22373/kenanga.v3i1.3119)
- Mawati SD, Harpeni E, Fidyandini HP. (2021). Skrining bakteri termofilik potensial amilolitik dari sumber air panas Way Belerang Kalianda Lampung Selatan. *Journal of Aquatropica Asia* 6(1):1-7. DOI: [10.33019/aquatropica.v6i1.2458](https://doi.org/10.33019/aquatropica.v6i1.2458)
- Megahati RRP. (2017). Bakteri termofilik penghasil selulase asal sumber air panas di Indonesia. *Jurnal Bioconchetta* 3(1):61-68. DOI: [22202/bc.2017.v3i1.2728](https://doi.org/10.22202/bc.2017.v3i1.2728)
- Nanda PT, Siregar SA, Kurniawan R, Meriyanti H, Yatno. (2017). Isolasi, karakterisasi dan uji potensi bakteri penghasil enzim termostabil Air Panas Kerinci. *Chempublish Journal* 2(1):26-31. DOI : <https://online-journal.unja.ac.id/chp/article/view/3238>
- Pitri RE, Agustien A, Febria FA. (2015). Isolasi dan karakterisasi bakteri amiloterofilik dari sumber air panas Sungai Medang. *Jurnal Biologi Universitas Andalas* 4(2):119-122. DOI: <https://doi.org/10.25077/jbioua.4.2.%25p.2015>
- Rana N, Verma N, Vaidya D, Ghabru A. (2017). Application of amylase producing bacteria isolated from hot spring water in food industry. *Annals of Phytomedicine* 6(2):93-100. DOI: [10.21276/ap.2017.6.2.9](https://doi.org/10.21276/ap.2017.6.2.9)
- Runtuboi DYP, Gunaedi T, Simonapendi M, Pakpahan N. (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. DOI: <https://doi.org/10.31957/jbp.474>
- Septiana L, Susanti E, Haryani Y, Rani Z, Rambe R. (2024). Penapisan dan karakterisasi bakteri selulolitik termofilik. *Forte Journal* 4(2):472-480. DOI: <https://doi.org/10.51771/fj.v4i2.974>
- Sharma H, Batra N, Singh J. (2022). Purification, characterization and potential detergent industry application of a thermostable α -amylase from *Bacillus licheniformis* RA31. *Indian Journal of Experimental Biology* 60:331-342. DOI: <https://doi.org/10.56042/ijeb.v60i05.35491>
- Suharti N, Putra G. (2022). Isolasi dan identifikasi bakteri termofilik penghasil amilase dari sumber air panas Sidebuk-Debuk Sumatera Utara. *Jurnal Ilmiah*

- Pannmed* 17(1):1-11. DOI: 10.36911/panmed.v17i1.1277
- Syafriyani D, Agustien A, Periadnadi. (2013). Penapisan bakteri termo-amilolitik dari sumber air panas Sungai Medang, Kerinci, Jambi. *Jurnal Biologi Universitas Andalas* 2(2):77-82. DOI: <https://doi.org/10.25077/jbioua.2.2.%25p.2013>.
- Zafar A, Aftab MN, Iqbal I, Din ZU, Saleem MA. (2019). Pilot-scale production of a highly thermostable alpha-amylase enzyme from *Thermotoga petrophila* cloned into *E. coli* and its application as a desizer in textile industry. *Royal Society of Chemistry* 9:984-992. DOI: <https://doi.org/10.1039/C8RA06554C>
- Zuraidah, Wahyuni D, Astuty E. (2020). Karakteristik morfologi dan uji aktivitas bakteri termofilik dari kawasan wisata Ie Seuum. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan* 11(2):40-47. DOI: 10.20956/jal.v11i2.10200