

**ISOLASI DAN KARAKTERISASI BAKTERI TERMOFILIK PENGHASIL  
ENZIM XILANASE DARI SUMBER AIR PANAS MUDIAK SAPAN  
KABUPATEN SOLOK SELATAN**

**SKRIPSI**

*Sebagai Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Sains*



**WITRI WINANDA  
1101370/2011**

**PROGRAM STUDI BIOLOGI  
JURUSAN BIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2015**

**PERSETUJUAN SKRIPSI**

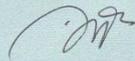
**ISOLASI DAN KARAKTERISASI BAKTERI TERMOFILIK  
PENGHASIL ENZIM XILANASE DARI SUMBER AIR PANAS  
MUDIAK SAPAN KABUPATEN SOLOK SELATAN**

Nama : Witri Winanda  
NIM/TM : 1101370/2011  
Program Studi : Biologi  
Jurusan : Biologi  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 27 Januari 2015

Disetujui Oleh:

Pembimbing I



Irdawati, S.Si., M.Si.  
NIP. 19710430 200112 2 001

Pembimbing II



Drs.Mades Fifendy, M.Biomed.  
NIP. 19571130 198802 1 001

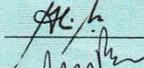
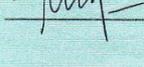
**PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI**

**Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi  
Program Studi Biologi Jurusan Biologi  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Padang**

**Judul : Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Termofilik Penghasil  
Enzim Xilanase dari Sumber Air Panas Mudiak Sapan  
Kabupaten Solok Selatan**  
Nama : Witri Winanda  
NIM : 1101370  
Program Studi : Biologi  
Jurusan : Biologi  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 04 Februari 2015

**Tim Penguji**

	<b>Nama</b>	<b>Tanda Tangan</b>
<b>Ketua</b>	: Irdawati, S.Si. , M.Si.	
<b>Sekretaris</b>	: Drs. Mades Fifendy, M.Biomed.	
<b>Anggota</b>	: Dr. Azwir Anhar, M.Si.	
<b>Anggota</b>	: Dr. Linda Advinda, M.Kes.	
<b>Anggota</b>	: Dra. Moralita Chatri, M.P.	



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
Jln. Prof. Dr. Hamka, Kampus Air Tawar Barat 25131 Telp. (0751)7057420

### SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Witri Winanda  
NIM/TM : 1101370/2011  
Program Studi : Biologi  
Jurusan : Biologi  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul: **“Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Termofilik Penghasil Enzim Xilanase dari Sumber Air Panas Mudiak Sapan Kabupaten Solok Selatan”** adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya, pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan penuh rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Padang, 04 Februari 2015

Mengetahui

Ketua Jurusan Biologi

**Dr. Azwir Anhar, M.Si.**  
NIP. 19561231 198803 1 009

Saya yang menyatakan,



**Witri Winanda**  
NIM. 1101370/2011

## ABSTRAK

### **Witri Winanda: Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Termofilik Penghasil Enzim Xilanase dari Sumber Air Panas Mudiak Sapan Kabupaten Solok Selatan**

Enzim xilanase merupakan jenis enzim yang memiliki prospek tertinggi dari sekian banyak enzim. Produksi enzim xilanase memegang peranan penting dalam dunia industri terutama industri *pulp*, makanan dan minuman serta dalam produksi xilosa. Peranan enzim sebagai biokatalisator dalam berbagai bidang industri semakin penting. Produksi enzim xilanase itu sendiri untuk kebutuhan industri diekstraksi dari berbagai jenis makhluk hidup. Salah satu makhluk hidup yang menghasilkan enzim xilanase adalah mikroorganisme termofilik khususnya bakteri termofilik. Enzim yang dihasilkan dari bakteri ini dapat bersifat termostabil yang sangat diperlukan dalam dunia industri. Bakteri termofilik penghasil enzim xilanase banyak ditemukan pada sumber air panas. Sumber air panas Mudiak Sapan Solok Selatan diduga berpotensi mengandung bakteri termofilik dikarenakan suhu air pada daerah ini sangat tinggi berkisar 93°C dan pH 8. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi bakteri termofilik dan mengetahui karakteristik isolat bakteri termofilik serta aktivitas enzim xilanase.

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif, yang dilaksanakan dari November sampai Desember 2014 di Laboratorium Mikrobiologi FMIPA UNP. Prosedur penelitian yang akan dilakukan adalah persiapan penelitian (sterilisasi alat, pembuatan medium NA, dan selektif xilanolitik, pembuatan stok kultur), pelaksanaan penelitian (pengambilan sampel di sumber air panas Mudiak Sapan, Kabupaten Solok Selatan, isolasi dan pemurnian bakteri, pengujian aktivitas xilanase, pewarnaan Gram, endospora, dan uji katalase), pengamatan penelitian.

Didapatkan sebanyak 19 isolat bakteri termofilik yang mampu hidup pada suhu inkubasi 60°C. Dari isolat tersebut 13 isolat bakteri termofilik mempunyai kemampuan menghasilkan enzim xilanase. Isolat yang menunjukkan kemampuan mendegradasi xilan tertinggi dan memiliki diameter zona bening, yaitu isolat MS-18 sebesar 11,95 mm dengan indeks xilanolitik (IX) 1,39 mm. Sumber air panas Mudiak Sapan, Kabupaten Solok Selatan menghasilkan 19 isolat bakteri termofilik, 13 isolat diantaranya menghasilkan enzim xilanase

Kata kunci: enzim xilanase, bakteri termofilik, indeks xilanolitik.

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian dan menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Termofilik Penghasil Enzim Xilanase dari Sumber Air Panas Mudiak Sapan Kabupaten Solok Selatan”. Shalawat beriring salam penulis kirimkan untuk arwah Rasullullah Muhammad SAW junjungan umat seluruh alam.

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Ibu Irdawati, S.Si., M.Si., pembimbing I, yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dengan sangat sabar saat penyelesaian skripsi.
2. Bapak Drs. Mades Fifendy, M. Biomed., pembimbing II, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing penulis dalam penyelesaian skripsi.
3. Bapak Dr. Azwir Anhar, M.Si., Ibu Dr. Linda Advinda M.Kes., dan Ibu Dra. Moralita Chatri, M.P., tim dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritikan untuk kesempurnaan penulisan skripsi ini.
4. Ibu Dezi Handayani M.Si., penasehat akademik yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan selama proses perkuliahan.
5. Pimpinan Bapak dan Ibu Dosen staf Jurusan Biologi yang telah membantu untuk kelancaran penulisan skripsi ini.

6. Keluarga yang senantiasa memberikan dukungan dan doa.
7. Serta semua rekan-rekan mahasiswa dan pihak yang telah memberikan sumbangan pikiran dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga bantuan yang Bapak/Ibu dan rekan berikan bernilai ibadah dan mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua kalangan yang membaca.

Padang, Januari 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

### Halaman

#### HALAMAN PENGESAHAN

<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	viii
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	5
C. Batasan Masalah .....	5
D. Tujuan Penelitian .....	5
E. Pertanyaan Penelitian .....	6
F. Kontribusi Penelitian .....	6
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Bakteri Termofilik .....	7
B. Enzim Xilanase.....	13
C. Prospek enzim Xilanase.....	17
D. Sumber Air Panas Kabupaten Solok Selatan .....	19
<b>BAB III. METODE PENELITIAN</b>	
A. Jenis Penelitian .....	21
B. Waktu dan Tempat .....	21
C. Alat dan Bahan .....	21
D. Prosedur Penelitian .....	22
1. Persiapan Penelitian .....	22
2. Pelaksanaan Penelitian .....	23
3. Pengamatan .....	27
E. Teknik Analisis Data .....	27
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
A. Isolasi dan Karakteristik Bakteri Termofilik .....	28
B. Aktivitas Enzim Xilanase Isolat Bakteri Termofilik .....	33

<b>BAB V. PENUTUP</b>	
A. Kesimpulan .....	38
B. Saran .....	38
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	39
<b>LAMPIRAN</b> .....	43

## **DAFTAR TABEL**

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Mikroorganisme Penghasil Enzim Xilanase .....	17
2. Karakteristik Morfologi Isolat Bakteri Termofilik .....	29
3. Indeks Xilanolitik Bakteri Termofilik Penghasil Enzim Xilanase.....	34

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
1. Suhu pertumbuhan mikroorganisme .....	8
2. Bentuk, tepian, elevasi bakteri .....	10
3. Perbedaan Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif .....	11
4. Model Fungsi Enzim <i>Lock and Key</i> .....	14
5. Struktur Koenzim sebagai <i>Carriers</i> .....	14
6. Peta lokasi tempat pengambilan sampel air panas Mudiak Sapan .....	20
7. Morfologi isolat MS-11 dan MS-9 .....	28
8. Diameter zona bening bakteri termofilik.....	35

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
1. Diagram Alir Kerja Penelitian .....	43
2. Medium Selektif Xilanolitik .....	44
3. Skala Mac Farland .....	44
4. Karakteristik Isolat Bakteri Termofilik Mudiak Sapan .....	44
5. Diameter Zona Bening dan Indeks Xilanolitik Bakteri Termofilik .....	45
6. Kandungan Mineral Sumber Air Panas Mudiak Sapan .....	46
7. Tempat Pengambilan sampel Sumber Air Panas Mudiak Sapan .....	46
8. Hasil Dokumentasi Penelitian .....	48

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Enzim merupakan molekul biopolimer yang tersusun dari serangkaian asam amino dalam komposisi dan susunan rantai yang teratur dan tetap. Enzim memegang peranan penting dalam berbagai reaksi di dalam sel. Sebagai protein, enzim diproduksi dan digunakan oleh sel hidup untuk mengkatalis reaksi (Richana, 2000). Salah satu jenis enzim yang banyak dibutuhkan terutama di bidang industri pada saat ini adalah enzim xilanase.

Xilanase merupakan kelompok enzim yang memiliki kemampuan menghidrolisis hemiselulosa, yaitu xilan atau polimer dari xilosa dan xilooligosakarida. Xilanase diklasifikasikan berdasarkan substrat yang dihidrolisis, yaitu  $\beta$ -xilosidase, eksoxilanase, dan endoxilanase (Richana, 2002).

Kebutuhan dunia industri terhadap enzim xilanase pada pasar global setiap dekade memperlihatkan peningkatan yang signifikan. Pada saat ini pasar global dunia untuk industri enzim, khususnya enzim xilanase menyumbangkan 25%-28% dari total penjualan enzim dunia. Peningkatan penjualan pada tahun 2001 sebesar 510 juta Pounstarling menjadi 760 juta Pounstarling pada tahun 2010 (Shrinivas *et al.*, 2010 dalam Canacki *et al.*, 2012).

Produksi enzim xilanase untuk kebutuhan industri diekstraksi dari berbagai jenis makhluk hidup, seperti bakteri, jamur, yeast serta tumbuh-tumbuhan. Sekarang ini enzim xilanase lebih banyak diekstraksi dari berbagai jenis mikroorganismenya, sebab mikroorganismenya menghasilkan enzim yang dapat

dimanfaatkan manusia dalam jumlah dan jenis yang sangat bervariasi. Mikroorganisme mudah untuk dikulturkan atau mudah dibiakkan. Mikroorganisme yang berpotensi dan sesuai untuk dunia industri adalah mikroorganisme termofilik yang dapat menghasilkan enzim xilanase (Palmer, 1991).

Bakteri termofilik merupakan salah satu mikroorganisme yang potensial untuk menghasilkan enzim xilanase termostabil yang berperan penting dalam dunia industri seperti industri *pulp* kertas (Bai *et al.*, 2010; Sarethy *et al.*, 2011). Enzim xilanase juga berperan dalam industri terapan seperti biokonversi bahan lignoselulosa untuk produk fermentasi, penjernihan jus, peningkatan konsistensi minuman bir dan industri pakan ternak serta bidang farmakologi (Canacki *et al.*, 2012). Enzim xilanase juga sangat potensial dalam memproduksi xilosa. Xilosa adalah gula rendah kalori yang dapat dikonsumsi penderita diabetes (Richana dkk., 2002).

Industri *pulp* kertas dan tekstil merupakan industri yang paling banyak membutuhkan enzim xilanase. Enzim xilanase berperan dalam meningkatkan ekstraksi lignin dan melepaskan kromofor dari *pulp* sehingga dapat meningkatkan derajat putih dan kecerahan *pulp* serta stabil selama penyimpanan (tidak menguning). Penggunaan enzim xilanase juga mengurangi jumlah klorin yang digunakan pada proses pemutihan. Klorin bersifat persisten, mutagenik dan bioakumulatif terhadap manusia (Marques *et al.*, 1998; Golaguri *et al.*, 2012; Kar *et al.*, 2008).

Jumlah pabrik kertas yang sudah beroperasi di Indonesia saat ini lebih dari 14 perusahaan dan belum ada yang menggunakan proses enzimatik dalam proses pemutihan. Untuk mendukung pelestarian lingkungan maka perlu diaplikasikan proses ramah lingkungan (*clean processing*) dengan memulai penggunaan enzim khususnya xilanase di Indonesia (Richana, 2002).

Bakteri termofilik penghasil enzim xilanase banyak ditemukan pada sumber air panas. Manifestasi panas bumi di permukaan adalah sebagai indikasi adanya aktifitas panas bumi di bawah permukaan tersebut. Bentuk manifestasi aktifitas panas bumi di dalam perut bumi dapat berupa munculnya mata air panas, munculnya bualan gas ke permukaan tanah, fumarola, solfatara dan tanah panas. Mata air panas yang muncul ke permukaan ini dapat mengandung klorida bikarbonat ataupun sulfat (Sianturi, 2008).

Indonesia memiliki cukup banyak sumber air panas, salah satunya adalah sumber air panas yang terdapat di Kabupaten Solok Selatan tepatnya di sumber air panas Mudiak Sapan, Jorong Balun, Nagari Pakan Rabaa, Kecamatan Koto Parik Gadang di Ateh. Sumber air panas ini bersuhu 93°C dengan pH 8. Di sekitar kawasan sumber air panas Mudiak Sapan ditumbuhi oleh beberapa vegetasi. Vegetasi yang dominan hidup di dekat sumber air panas ini berupa rumput-rumputan. Jenis vegetasi yang berada di sekitar sumber air panas mempengaruhi karakteristik dari jenis isolat yang ditemukan. Derajat keasaman (pH) juga akan mempengaruhi variasi isolat, karena keadaan ditempat ini basa, maka diperkirakan akan didapatkan isolat bakteri termofilik yang beragam dan jumlah yang lebih banyak.

Susilowati, dkk. (2012) pada hasil penelitiannya di sumber air panas Sonai, Sulawesi Tenggara mendapatkan 28 isolat bakteri termofilik yang menghasilkan enzim xilanase. *Pseudomonas* sp. berpotensi menghasilkan enzim xilanase tertinggi dari 28 isolat termofilik tersebut. Pada penelitiannya enzim xilanase optimum dihasilkan pada suhu 50 °C dengan pH 9. Habibie , dkk. (2014) berhasil mengisolasi 14 isolat xilanolitik dari lumpur panas Lapindo dengan suhu lumpur 45°C, 48°C, dan 50°C dan pH alkali (7,6, 8,0, 8,1). Enzim xilanase yang dihasilkan memiliki aktivitas optimum pada suhu 50°C dan pH 7,0. Ulfah (2011) pada penelitiannya mendapatkan satu galur bakteri alkalotermofil penghasil enzim xilanase yang berhasil diisolasi dari endapan sumber air panas, Cimanggu, Jawa Barat, Indonesia. Sumber air panas ini mempunyai pH 8 dan suhu 60°C. Thoyib, dkk. (2007) pada penelitiannya yang menggunakan sampel tanah Bukit Krakitan, Bayat, Klaten mendapatkan 16 isolat bakteri alkalifilik penghasil xilanase. Berdasarkan pengukuran aktivitas xilanolitik didapatkan 10 isolat memiliki aktivitas xilanase tertinggi. Penelitian Singh (2010) di sumber air panas Manikiran, India berhasil mendapatkan 11 jenis isolat penghasil enzim xilanase yang dapat tumbuh dan memproduksi enzim xilanase pada suhu diatas 50°C.

Berdasarkan uraian di atas belum diketahui bakteri termofilik penghasil enzim xilanase dari sumber air panas Mudiak Sapan Solok Selatan, maka peneliti telah melakukan penelitian tentang “Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Termofilik Penghasil Enzim Xilanase dari Sumber Air Panas Mudiak Sapan, Kabupaten Solok Selatan”.

## **B. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Belum diketahui jumlah dan karakteristik isolat bakteri termofilik dari sumber air panas Mudiak Sapan, Kabupaten Solok Selatan.
2. Belum diketahui aktivitas enzim xilanase pada isolat bakteri termofilik penghasil enzim xilanase dari sumber air panas Mudiak Sapan, Kabupaten Solok Selatan.

## **C. Batasan Masalah**

Luasnya cakupan masalah yang akan diteliti maka penelitian ini dibatasi dengan mengamati karakteristik makroskopik, yaitu morfologi bakteri (bentuk, tepian, elevasi, dan warna koloni bakteri). Karakteristik mikroskopik, yaitu pewarnaan Gram dan pewarnaan endospora, dan uji biokimia, salah satunya uji katalase yang dihasilkan oleh bakteri termofilik dari sumber air panas Mudiak Sapan Kabupaten, Solok Selatan.

## **D. Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengisolasi dan mengetahui karakteristik isolat bakteri termofilik dari sumber air panas Mudiak Sapan, Kabupaten Solok Selatan.
2. Mengetahui aktivitas enzim xilanase pada isolat bakteri termofilik penghasil enzim xilanase dari sumber air panas Mudiak Sapan, Kabupaten Solok Selatan.

### **E. Pertanyaan Penelitian**

Pertanyaan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimanakah karakteristik isolat bakteri termofilik dari sumber air panas Mudiak Sapan, Kabupaten Solok Selatan?
2. Bagaimanakah aktivitas enzim xilanase pada isolat bakteri termofilik dari sumber air panas Mudiak Sapan, Kabupaten Solok Selatan?

### **F. Kontribusi Penelitian**

Kontribusi dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah wawasan ilmu pengetahuan, khususnya dibidang Mikrobiologi.
2. Menjadi dasar pengembangan sumber daya alam yang tersedia yang dapat dimanfaatkan untuk kepentingan ke depan.
3. Menjadi sumber informasi untuk penelitian selanjutnya.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **A. Bakteri Termofilik**

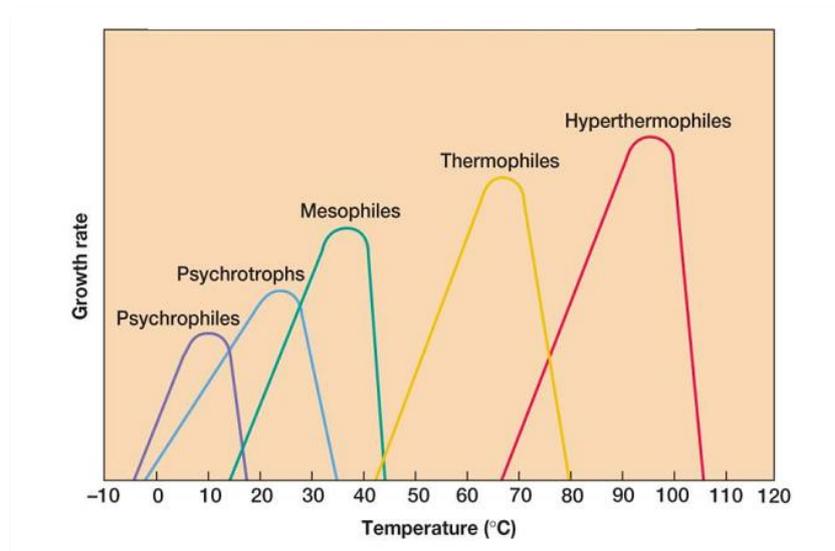
Mikroorganisme adalah sumber enzim yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan tanaman dan hewan. Sebagai sumber enzim, mikroorganisme lebih menguntungkan karena pertumbuhannya cepat, lebih mudah ditingkatkan hasilnya melalui pengaturan kondisi pertumbuhan dan rekayasa genetik, serta mampu menghasilkan enzim yang ekstrim (Akhdiya, 2003).

Adanya mikroorganisme yang unggul merupakan salah satu faktor penting dalam usaha produksi enzim. Keragaman hayati yang tinggi memberikan peluang yang besar untuk mendapatkan mikroorganisme yang potensial untuk dikembangkan sebagai penghasil enzim (Akhdiya, 2003 )

Pada sel bakteri berdasarkan suhu optimum pertumbuhannya dibagi atas:

1. Bakteri psikrofilik, bakteri yang tumbuh pada suhu 0- 30 °C.
2. Bakteri mesofilik, bakteri ini tumbuh pada suhu 25–40 °C. Beberapa mikrobiolog berpendapat bahwa ada kelompok mesofilik yang mempunyai rentang suhu yang besar yang dapat mengadakan pembelahan sel, hanya membutuhkan waktu yang lama. Kelompok ini dinamakan psikrofilik fakultatif atau psikrotrof.
3. Termofilik, kelompok bakteri yang tumbuh pada suhu diatas suhu 60°C. Mikroorganisme ini adalah golongan prokariotik. Bakteri kelompok ini antara lain yang hidup pada sumber air panas yaitu bakteri hijau biru (Muslimin,

1996). Willey (2008) menegaskan bahwa beberapa mikroorganisme termofilik dapat tumbuh dan hidup pada suhu 55°C atau lebih. Mikroorganisme termofilik biasanya hidup pada kisaran suhu 45°C dan pada suhu optimum 55°C dan 65°C.



Gambar 1. Suhu pertumbuhan mikroorganisme (Willey, 2008).

Mikroorganisme termofilik dapat menghasilkan enzim yang memiliki aktivitas pada suhu yang tinggi melebihi enzim dari mikroorganisme mesofilik karena 3 komponen perlengkapan yang dimiliki oleh mikroorganisme termofilik itu sendiri pertama berupa protein yang tetap stabil, tahan terhadap denaturasi dan proteolisis (Kumar dan Nussinov, 2001).

Kemampuan hidup mikroorganisme termofilik ini berhubungan dengan struktur selnya yang memiliki beberapa kelebihan yaitu:

#### 1. Struktur membran sel

Membran sel setiap makhluk hidup tersusun atas senyawa lipid dan protein yang disebut lipoprotein. Membran protein dan asam nukleat dari mikroorganisme

prokariotik sangat stabil pada suhu tinggi. Beberapa alasan protein stabil pada suhu tinggi, karena adanya pengatur panas pada protein, bagian dalam sel bakteri termofilik bersifat hidrofobik, mempunyai banyak ikatan hidrogen dan ikatan non kovalen lainnya dengan struktur yang kuat. Banyaknya jumlah asam amino seperti prolin yang membuat ikatan rantai polipeptida fleksibel, dengan adanya ini, proteinnya dapat stabil (Willey, 2008)

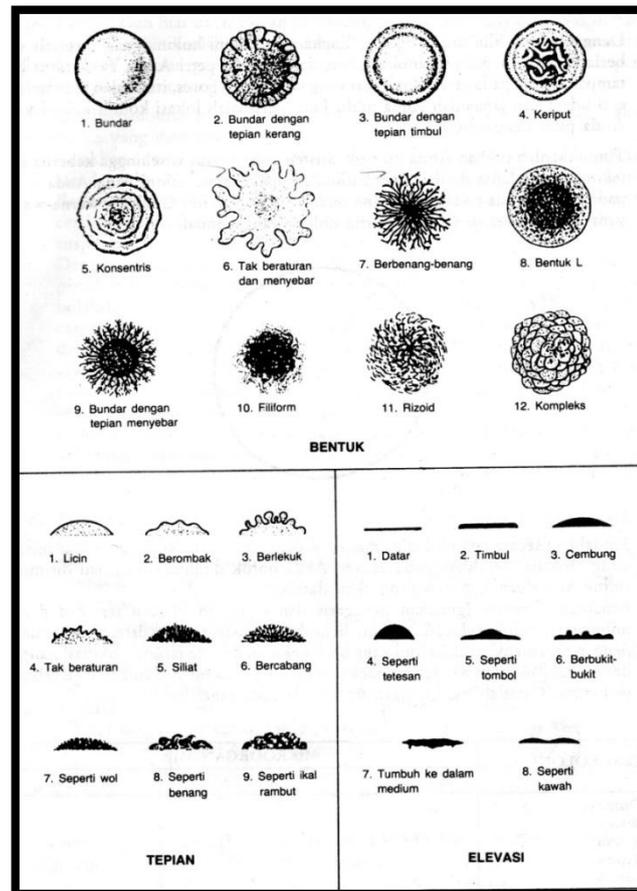
## 2. Chaperonin

Chaperonin merupakan jenis protein yang sangat jarang dijumpai pada protein-protein fungsional lainnya di dalam sel. Protein ini berperan dalam mempertahankan kembali struktur tiga dimensi dari protein fungsional sel dari denaturasi suhu lingkungan yang bersifat ekstrim. Protein ini memiliki struktur yang tetap stabil, tahan terhadap denaturasi dan proteolisis (Kumar dan Nussinov, 2001)

## 3. Struktur DNA girase

DNA girase berperan penting dalam proses replikasi dalam transkripsi. DNA girase juga berfungsi dalam mengendurkan gulungan kromosom, sehingga dapat mencegah terjadinya denaturasi karena suhu lingkungan yang cukup tinggi (Willey, 2008).

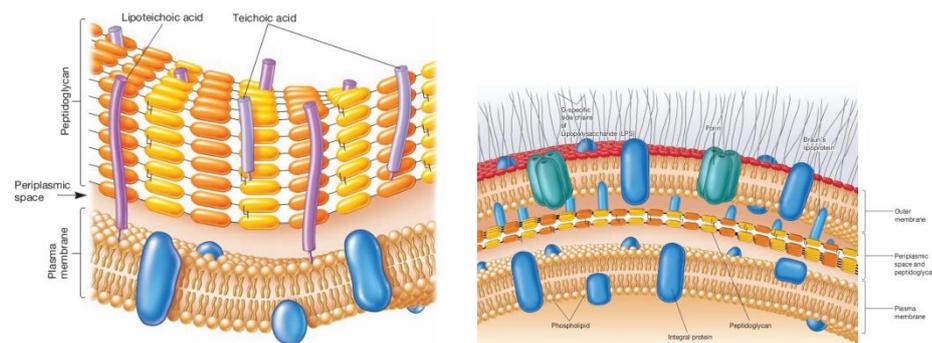
Bentuk-bentuk koloni yang paling umum ditemukan adalah bundar, tidak beraturan, seperti benang (filamen), keriput, filiform, kompleks dan rizoid. Umumnya tepian bakteri juga beragam licin, berombak, berlekuk, silia, bercabang, dan lainnya. Begitupun dengan elevasi bakteri juga bervariasi, seperti datar, timbul, cembung, berbukit, dan seperti kawah.



Gambar 2. Bentuk, tepian, elevasi bakteri (Hadioetomo, 1993).

Secara umum bakteri digolongkan ke dalam 2 golongan yaitu bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif. Bakteri Gram positif ketebalan dinding selnya terdiri atas beberapa lapis peptidoglikan dan senyawa nonpeptidoglikan. Senyawa non peptidoglikan dapat menyusun sampai 50% dari berat kering dinding sel. Senyawa peptidoglikan tersebut adalah asam teikoat, asam teukuronat, polisakarida, asam lipotekoat, glikolipid, dan asam mikolat. Bakteri Gram positif membran terluarnya disusun oleh peptidoglikan, maka hasil pewarnaan Gramnya menghasilkan warna biru keunguan. Biru keunguan adalah warna kristal violet yang mewarnai peptidoglikan (Purwoko, 2009).

Bakteri Gram negatif dinding selnya tersusun atas beberapa lapis peptidoglikan dan membran luar. Bagian luar dinding sel bakteri Gram negatif adalah membran luar maka pewarnaan Gramnya menghasilkan warna *pink*. *Pink* merupakan warna safranin yang mewarnai membran luar. Struktur membran luar mirip dengan membran sel. Hal yang membedakan antara kedua membran tersebut adalah membran luar terdiri atas fosfolipid (lapisan dalam) dan lipopolisakarida (lapisan luar), sementara pada membran sel terdiri atas dwilapis fosfolipid (Purwoko, 2009).



Gambar 3. Perbedaan bakteri Gram + (kiri) dan Gram - (kanan) (Willey, 2008).

Mikroorganisme termofilik dibagi atas 3 kelompok berdasarkan suhu pertumbuhannya, yaitu : a) Termofilik Fakultatif, memiliki suhu maksimum antara 50°C sampai pada suhu 65°C dan tidak dapat tumbuh pada suhu di bawah 30°C, contoh kelompok ini antara lain *Bacillus coagulans* dan beberapa strain *Bacillus stearothermophilus*. b) Termofilik obligat, memiliki suhu maksimum 65°C sampai 70°C dan tidak dapat hidup di bawah suhu 40°C sampai 42°C. Contoh kelompok ini adalah beberapa strain *Bacillus stearothermophilus*. c) Termofilik ekstrim, memiliki suhu maksimum lebih dari 70°C dengan suhu optimum lebih besar dari 65°C dan suhu minimum lebih dari 40°C contohnya

*Bacillus caldolyticus* dan *Thermus thermophilus* (Friedman dalam Wahyuna, 2012).

Brock (1978) telah menemukan bakteri *Thermus aquaticus* yang mampu tumbuh di atas suhu 70°C. Bakteri ini menghasilkan enzim termostabil. *Bacillus* umumnya merupakan mikroorganisme yang dominan dalam suatu lingkungan. Pada lingkungan yang kurang cocok, bakteri ini membentuk endospora, sementara bakteri lain yang tidak memiliki endospora menuntut kondisi yang spesifik untuk dapat bertahan hidup.

Faktor-faktor yang dianggap berhubungan dengan termostabilitas enzim-enzim dari mikroorganisme termofilik bervariasi pada berbagai spesies termofilik, namun beberapa hal umum yang ditemukan antara lain terjadinya peningkatan ikatan hidrogen dan *salt bridge* pada protein dari enzim termofilik. Selain itu ditemukan juga adanya perbedaan jenis dan komposisi asam amino penyusun protein enzim termofilik bila dibandingkan dengan protein enzim yang mesofilik (Kumar dan Nussinov, 2001).

Ciri khas yang dimiliki bakteri termofilik karena bakteri ini hidup pada kondisi yang ekstrim maka akan menghasilkan spora terutama golongan endospora. Tujuan utama bakteri menghasilkan endospora adalah dengan tujuan pertahanan diri pada kondisi yang ekstrim. Jika bakteri dihadapkan pada kondisi yang ekstrim maka bakteri ini akan merakit endosporanya supaya tetap hidup atau *survive*. Bakteri yang mampu menghasilkan endospora dapat tumbuh dan bereproduksi selama sintesis banyak generasi sebagai sel vegetatif (Pelczar, 2005).

Endospora hanya terdapat pada bakteri yang tubuhnya berdinding tebal, sangat refraktif, dan sangat resisten dihasilkan oleh semua spesies *Bacillus*, *Clostridium*, dan *Sporosarcina* (Pelczar, 2005). Bakteri-bakteri pembentukan endospora yang paling penting adalah anggota-anggota genus *Bacillus* dan *Clostridium*. Metoda yang digunakan untuk mewarnai endospora, biasanya membutuhkan suatu langkah pemanasan untuk memacu pewarnaan ke dalam tubuh spora (Tarigan, 1988).

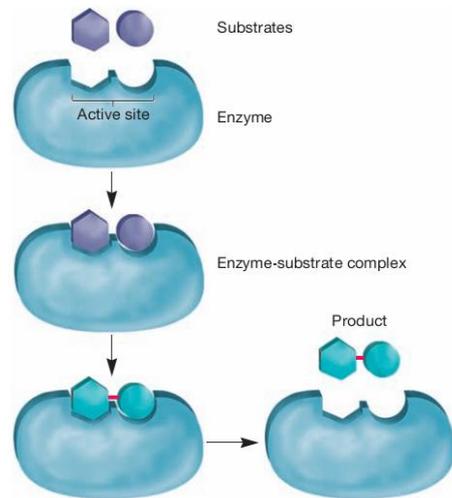
Endospora merupakan struktur yang tahan terhadap keadaan lingkungan yang ekstrim seperti kering, pemanasan dan keadaan asam. Endospora berbentuk sangat padat dan refraktif karena memiliki kandungan air yang sangat rendah. Bakteri yang memiliki endospora sangat sulit diwarnai sehingga dibutuhkan pewarnaan spesifik. Pewarna spesifik yang digunakan adalah *malachite green*. Bakteri penghasil spora tahan terhadap pewarnaan (Pelczar, 2005).

Semua endospora mengandung sejumlah besar asam dipikolinat, yaitu suatu substansi yang tidak terdeteksi pada sel-sel vegetatif. Letak endospora di dalam sel ukurannya berbeda-beda pada tiap spesies. Beberapa spora ada yang terletak sentral yaitu terletak di bagian tengah sel, terminal dibentuk di ujung, dan subterminal dibentuk di dekat ujung (Pelczar, 2005).

## **B. Enzim Xilanase**

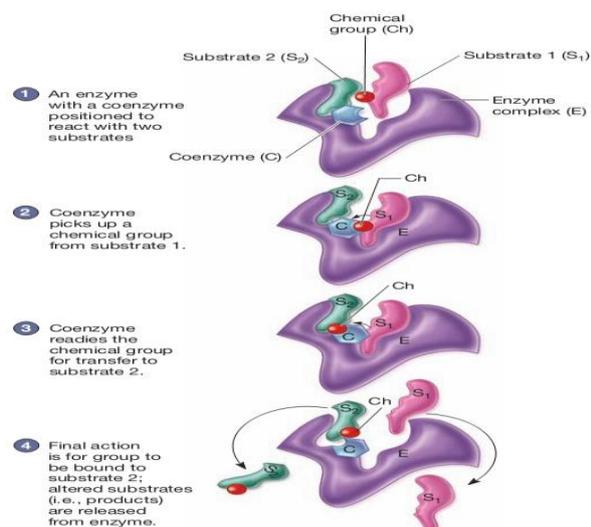
Enzim adalah biokatalisator dan unit fungsional dari metabolisme sel. Molekul ini (enzim) dapat meningkatkan kecepatan reaksi kimia, tanpa enzim suatu reaksi akan berlangsung lambat (Lehninger, 1982). Enzim dapat berupa

protein atau gabungan antara protein dengan gugusan kimia lainnya (Pelzcar, 2005).



Gambar 4. Model fungsi enzim *Lock and Key* (Willey, 2008).

Banyak enzim terdiri dari protein yang bergabung dengan molekul organik dengan berat molekul rendah yang dinamakan dengan *koenzim*. Bagian proteinnya disebut *apoenzim*. Apabila bergabung kedua bagian tersebut membentuk enzim lengkap yang dinamakan *holoenzim* (Pelzcar, 2005).

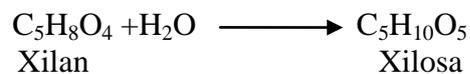


Gambar 5. Struktur koenzim sebagai *carriers* (Willey, 2008).

Dua ciri yang mencolok pada enzim ialah efisiensi katalitiknya yang tinggi dan derajat kekhususannya yang tinggi terhadap substrat. Satu enzim tunggal atau dalam beberapa hal dengan gugus kimia tertentu saja pada pada substrat-substrat yang secara kimiawi sekerabat. Artinya, sel biasa menghasilkan enzim yang berbeda untuk setiap senyawa yang harus dikenai proses metabolismenya (Pelzcar, 2005).

Aktivitas enzim dapat diatur melalui dua cara, yaitu pengendalian katalis secara langsung dan pengendalian genetik. Pengendalian langsung kegiatan enzim dapat berupa pengendalian melalui penggandengan mekanisme katalitik dengan proses-proses lain. Pengendalian genetik mencakup fenomena induksi dan represi enzim (Pelzcar, 2005). Dari sekian banyak enzim, enzim xilanase salah satu jenis enzim yang banyak dikaji dan sangat penting untuk dipelajari.

Enzim xilanase merupakan kelompok enzim yang memiliki kemampuan menghidrolisis hemiselulosa dalam hal ini ialah xilan atau polimer dari xilosa dan xilooligosakarida. Xilanase dapat diklasifikasikan berdasarkan substrat yang dihidrolisis, yaitu  $\beta$ -xilosidase, eksoxilase, dan endoxilase (Richana, 2002).



Produksi enzim xilanase itu sendiri untuk kebutuhan industri diekstraksi dari berbagai jenis makhluk hidup, seperti bakteri, jamur, yeast serta tumbuh-tumbuhan. Sekarang ini enzim xilanase lebih banyak diekstraksi dari berbagai jenis mikroorganismе disebabkan mikroorganismе menghasilkan enzim yang dapat dimanfaatkan manusia dalam jumlah dan jenis yang sangat bervariasi, selain

itu mikroorganisme mudah untuk dikulturkan atau mudah dibiakkan. Mikroorganisme yang berpotensi dan sesuai untuk dunia industri adalah mikroorganisme termofilik yang dapat menghasilkan enzim xilanase (Palmer, 1991).

Enzim xilanase dapat diklasifikasikan berdasarkan substrat yang dihidrolisis, yaitu  $\beta$ -xilosidase, eksoxilanase, dan endoxilanase.

1.  $\beta$ -xilosidase, yaitu xilanase yang mampu menghidrolisis xilooligosakarida rantai pendek menjadi xilosa. Aktivitas enzim akan menurun dengan meningkatnya rantai xilooligosakarida (Reilly, 1991; Dekker, 1983 *dalam* Richana, 2002). Xilosa selain merupakan hasil hidrolisis juga merupakan inhibitor bagi enzim  $\beta$ -xilosidase. Sebagian besar enzim  $\beta$ -xilosidase yang berhasil dimurnikan masih menunjukkan adanya aktivitas transferase yang menyebabkan enzim ini kurang dapat digunakan industri penghasil xilosa.
2. Eksoxilanase mampu memutus rantai polimer xilosa (xilan) pada ujung reduksi, sehingga menghasilkan xilosa sebagai produk utama dan sejumlah oligosakarida rantai pendek. Enzim ini dapat mengandung sedikit aktivitas transferase sehingga potensial dalam industri penghasil xilosa.
3. Endoxilanase mampu memutus ikatan  $\beta$ 1-4 pada bagian dalam rantai xilan secara teratur. Ikatan yang diputus ditentukan berdasarkan panjang rantai substrat, derajat percabangan, ada atau tidaknya gugus substitusi, dan pola pemutusan dari enzim hidrolase tersebut (Richana, 2002).

Penelitian Thoyib dkk. (2007), ditemukan enam genus bakteri termofilik penghasil enzim xilanase, yaitu genus *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Paracoccus*, dan *Alcaligenes*.

Tabel 1. Beberapa mikroorganisme penghasil enzim xilanase

Mikroorganisme	Suhu tumbuh (°C)	Suhu optimum (°C)	pH
<b>Jamur</b>			
<i>Aspergillus</i> sp.	24-30	45-60	4,5-6
<i>Aureobasidium</i> sp.	28	45-54	4,5-4,8
<i>Bipolaris sorokinana</i>	28	70	5,5
<i>Criptococcus flavus</i>	20	55	4,5
<i>Fusarium oxysporium</i>	26	50	5
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	22	80	4
<i>Humicola grisea</i>	40	70	5,5
<i>Myrothecium verrucaria</i>	30	45	5,5
<i>Neurospora crassa</i>	28	50	4,8
<i>Penicillium</i> sp.	25	40	6
<i>Trichoderma</i> sp.	25-30	50-60	3,5-6,5
<b>Bakteri</b>			
<i>Aeromonas</i> sp.	30	30-55	5,0-7
<i>Bacillus</i> sp.	37-50	50-70	6-10
<i>Clostridium</i> sp.	37-65	50-75	5,5-7,0
<i>Fibrobacter succinogenes</i>	37	39	7,0
<i>Streptomyces</i> sp.	36-50	50-72	4,5-8,0
<i>Thermoanaerobacterium</i>	60	80	6,2
<i>Thermomonospora curvata</i>	55	75	6,8-7,8
<i>Thermotoga</i> sp.	77-80	80-105	5,4-6,2

Sumber: Sunna dan Antraniklan, 1997 dalam Richana, 2002.

### C. Prospek Enzim xilanase

Aplikasi enzim dalam bidang industri saat ini membutuhkan enzim yang tahan terhadap perubahan lingkungan, yaitu memiliki stabilitas yang tinggi dan dapat diperoleh dari bakteri yang hidup pada kondisi ekstrim seperti enzim dari bakteri termofilik. Bakteri termofilik merupakan mikroba yang potensial memproduksi enzim yang stabil terhadap panas, oleh karena itu sangat diperlukan

enzim dalam industri baik pangan maupun non pangan karena mengurangi kemungkinan kontaminan dan ekonomis (Rahayu, 2014).

Hampir 70% sektor industri yang menggunakan enzim dalam prosesnya memanfaatkan enzim yang berasal dari mikroorganisme termofilik. Kebutuhan dunia industri terhadap enzim xilanase pada pasar global setiap dekade memperlihatkan peningkatan yang signifikan. Pada saat ini pasar global dunia untuk industri enzim, khususnya enzim xilanase menyumbangkan 25%-28% dari total penjualan enzim dunia. Peningkatan penjualan pada tahun 2001 sebesar 510 juta Pounstarling menjadi 760 juta Pounstarling pada tahun 2010 (Shriniva *et al.*, 2010 *dalam* Canacki *et al.*, 2012).

Ada beberapa pemanfaatan enzim xilanase dalam dunia industri. Beberapa manfaat tersebut adalah sebagai berikut.

#### 1. Pemanfaatan Xilanase untuk Gula Xilosa

Xilanase juga dapat digunakan untuk menghidrolisis xilan (hemiselulosa) menjadi gula xilosa. Gula xilosa banyak digunakan untuk konsumsi penderita diabetes. Di Malaysia gula xilosa banyak digunakan untuk campuran pasta gigi karena dapat berfungsi memperkuat gusi. Beragamnya kegunaan gula xilosa maka perlu adanya inovasi ke arah produksi xilosa tersebut. Inovasi tersebut muncul di antaranya apabila enzim penghidrolisis lignoselulosa tersebut sudah tersedia (Richana, 2002).

## 2. Pemanfaatan Xilanase untuk Makanan Ternak

Campuran makanan ayam boiler dengan enzim xilanase mampu mengurangi viskositas pencernaan, sehingga meningkatkan pencapaian berat dan efisiensi konversi makanan.

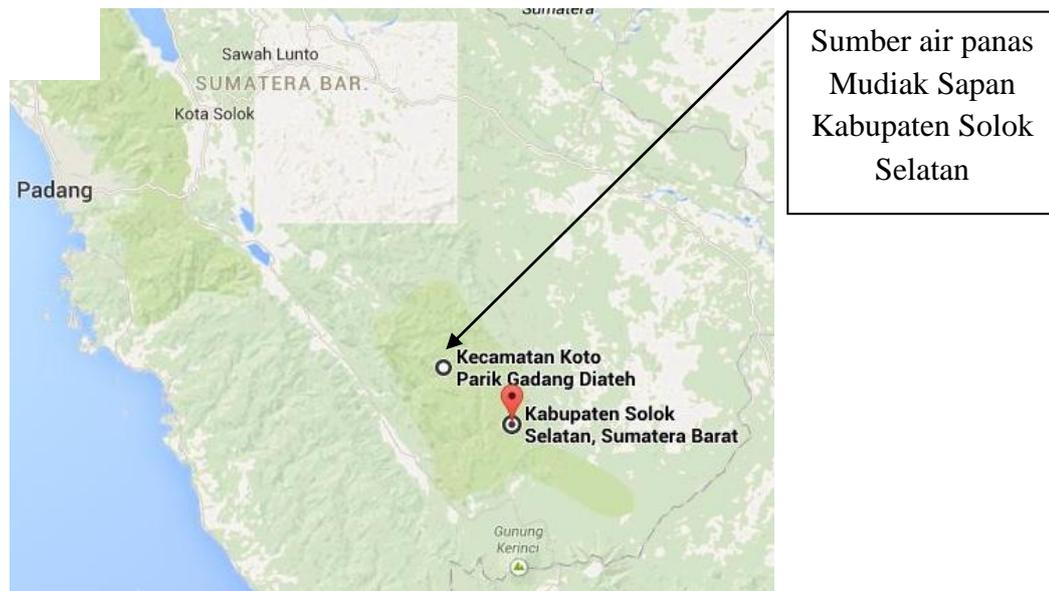
## 3. Pemanfaatan Xilanase untuk Makanan dan Minuman

## 4. Pemanfaatan Xilanase untuk Meningkatkan Kualitas Roti

### **C. Sumber Air Panas Mudiak Sapan, Kabupaten Solok Selatan**

Sumber air panas meskipun memiliki suhu cukup tinggi ternyata dapat dijadikan untuk lingkungan tempat kehidupan bagi beberapa mikroorganisme yang tahan terhadap suhu air yang panas tersebut, seperti bakteri, fungi maupun alga yang bersifat termofilik. Sumber air panas selain memiliki air yang suhunya cukup tinggi juga memiliki suatu aroma khas yaitu berupa aroma hidrogen peroksida ( $H_2S$ ) yang berasal dari aktifitas bakteri anaerob yang menggunakan senyawa-senyawa sulfur (Sianturi, 2008).

Salah satu sumber air panas yang ada di Sumatera Barat adalah Sumber air panas Mudiak Sapan, Jorong Balun, Nagari Pakan Rabaa, Kecamatan Koto Parik Gadang di Ateh, Kabupaten Solok Selatan. Sumber air panas ini bersuhu  $93^{\circ}C$  dengan pH 8. Di sekitar kawasan sumber air panas Mudiak Sapan ditumbuhi oleh beberapa vegetasi. Vegetasi yang dominan hidup di dekat sumber air panas ini berupa rumput-rumputan. Jenis vegetasi yang berada di sekitar sumber air panas mempengaruhi karakteristik dari jenis isolat yang ditemukan.



Gambar 6. Peta lokasi tempat pengambilan sampel air panas Mudiak Sapan.

## **BAB V PENUTUP**

### **A. Kesimpulan**

Hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Didapatkan 19 isolat bakteri termofilik dilihat dari ciri morfologi isolat bakteri (bentuk, tepian, elevasi, dan warna koloni bakteri), terdiri dari 12 isolat berasal dari sampel air dan 7 isolat berasal dari sampel sedimen. Diperoleh 18 isolat bakteri termofilik tergolong bakteri Gram positif dengan bentuk sel basil dan 1 bakteri basil Gram negatif, diperoleh 14 isolat bakteri menghasilkan endospora, serta 8 isolat positif dalam uji katalase.
2. Dihasilkan 13 isolat bakteri penghasil enzim xilanase, isolat MS-18 mempunyai kemampuan tertinggi dalam mendegradasi xilan menjadi xilosa dengan zona bening 11,95 mm dan indeks xilanolitik 1,39 mm.

### **B. Saran**

Disarankan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut dan pengujian aktivitas spesifik sehingga dapat diketahui spesies bakteri penghasil enzim xilanase yang berasal dari sumber air panas Mudiak Sapan Kabupaten Solok Selatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akhdiya, A. 2003. Isolasi Bakteri Penghasil Protease Alkalin Termotabil. *Balai Penelitian Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian, Bogor*. 9 (2) :38-44.
- Bai, Y., J. Wang, Z. Zhang, P. Yang, P. Shi, H. Luo, K. Meng, H. Huang, B. Yao. 2010. A New Xylanase from Thermoacidophilic *Alicyclobacillus* sp. A4 with Broad-Range pH Activity and pH Stability. *Journal Ind Microbiol Biotechnol*. 37:187–194.
- Brock, T.D. 1978. *Thermophilic Microorganisms and Life at High Temperatures*. Springer–Verlag, New York.
- Canakci, S., Z. Cevher, K. Inan, M. Tokgoz, F. Bahar, M. Kacagan, F. A. Sal, and A. O. Belduz. 2012. Cloning, Purification and Characterization of an Alkali-Stable Endoxylanase from Thermophilic *Geobacillus* sp. 71. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* . 28:1981-1988.
- Ginting, J. 2009. Isolasi Bakteri dan Uji Aktivitas Enzim Amilase Kasar Termofilik dari Sumber Air Panas Semangat Gunung Kabupaten Karo, Sumatera Utara. *Tesis*. Medan: Biologi.Universitas Sumatera Utara.
- Goluguri, B. R., C. Thulluri, M. Cherupally, N. Niddavolu, D. Achuthananda, L. N. Mangamuri, and U. Addepally. 2012. Potential of Thermo and Alkali Stable Xylanases from *Thielaviopsis basicola* (MTCC-1467) in Biobleaching of Wood Kraft Pulp. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 167:2369-2380.
- Habibie, F.M., D. P. Sigres, dan L.N. Islami. 2014. Isolasi dan Karakterisasi Mikroba Termofilik Penghasil Xilanase dari Lumpur Panas Lapindo sebagai Alternatif Pengganti Klorin pada Industri Kertas. Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya.
- Hadioetomo, R.S. 1993. *Mikrobiologi Dasar dalam Praktek*. Jakarta: Gramedia.
- Hastuti, W., A. Agustien, dan Nurmiati. 2012. Penapisan dan Karakterisasi Bakteri Amilotermofilik dari Sumber Air Panas Semurup, Kerinci, Jambi. *Jurnal Biologi Unversitas Andalas*. 1(2):150-155.
- Irdawati. 2012. Isolasi bakteri Termofilik Penghasil Amilase dari Sumber Air Panas Rimbo Panti Pasaman. *Prosiding Seminar Nasional*. Medan.

- Kar, S., A. Mandal, P. K. D. Mohapatra, S. Samanta, B. R. Pati, and K. C. Mondal. 2008. Production of xylanase by immobilized *Trichoderma reesei* SAF3 in Ca-alginate beads. *Journal Ind Microbiol Biotechnol.* 35:245–249.
- Kouker, G., and K.E., Jaeger. 1987. Specific and Sensitive Plate Assay for Bacterial Lipases. *Applied Environmental Microbiology.* 53(1):211-213.
- Kumar, S. and R. Nussinov. 2001. How do Thermophilic Protein Deal with Heat? A Review. *Cell. Moll. Life Sci.* 58:1216– 1233.
- Lehninger, A.L. 1982. *Dasar-Dasar Biokimia Jilid 1.* Terjemahan Maggy Thenawidjaja. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Mara, D., and N. Horan. 2003. *Hanbook Of Water And Wastewater Microbiology.* Amsterdam: Academic Press.
- Marques, S., L. Alves, S. Ribeiro, F. M. Girio, and M. Collago. 1998. Characterization of a Thermotolerant and Alkalotolerant Xylanase from a *Bacillus* sp. *Applied Biochemistry and Biotechnology.* 73(2-3):159-172.
- Muslimin, L .W. 1996. *Mikrobiologi Lingkungan .* Jakarta : Dikti Depdikbud.
- Octarya, Z., S. Syukur, dan E. Purwati. 2011. Skrining dan Identifikasi Bakteri Termofilik Penghasil Selulase dan Amilase dari Sumber Air Panas Bukit Kili Solok Sumatera Barat dengan Analisis Gen 16S rRNA. *Jurnal Photon.* 2 (1):37-44.
- Oktarina, E. 2008. Penapisan Aktivitas Bakteri Alkalo Termofilik Penghasil Xilanase. *Skripsi.* Depok: Biologi. Universitas Indonesia.
- Palmer, T. 1991. *Understanding Enzyme.* England: Ellishorwood Publisher.
- Pelczar, M.J., and E. C. S. Chan. (1986). *Dasar-Dasar Mikrobiologi.* Terjemahan oleh Hadioetomo, dkk. 2005. Jakarta: UI Press.
- Pratita, M.Y.E., dan S. R. Putra. 2012. Isolasi Dan Identifikasi Bakteri Termofilik dari Sumber Mata Air Panas di Songgoriti Setelah Dua Hari Inkubasi. *Jurnal Teknik Pomits.* 1 (1):1-5.
- Prescott, H. 2002. *Laboratory Exercises in Microbiology Fifth Edition.* New York: The McGraw-Hill Companies.
- Purwoko, T. 2009. *Fisologi Mikroba.* Jakarta: Bumi Aksara.
- Rahayu, S. 2014. Isolasi dan Karakterisasi Protease dari Bakteri Sumber Air Panas Tamalantik Mamasa Sulawesi Barat. *skripsi.* Makassar: Jurusan

Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin Makassar.

- Richana, N. 2000. Prospek dan Produksi Alfa-Amilase dari Mikroorganismen. *Buletin AgroBio*. 3 (2): 51-58.
- Richana, N. 2002. Produksi dan Prospek Enzim Xilanase dalam Pengembangan Bioindustri di Indonesia. *Buletin AgroBio*. 5 (1): 29-36.
- Sarethy, I. P., Y. Saxena, A. Kapoor, M. Sharma, S. K. Sharma, V. Gupta, and S. Gupta. 2011. Alkaliphilic Bacteria Applications in Industrial Biotechnology. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 38: 769-790.
- Sianturi, D.C. 2008. Isolasi Bakteri dan Uji Aktivitas Amilase Termofil Kasar dari Sumber Air Panas Penen Sibirubiru Sumatera Utara . *Tesis*. Medan: Biologi.Universitas Sumatera Utara.
- Singh, A.K., B.M. Tripathi, H. Sahay, R.N. Singh, R. Kaushik, A.K. Saxena, and D.K. Arora. 2010. Biochemical and Molecular Characterization of Thermoalkali Tolerant Xylanase Producing Bacteria from Thermal Springs of Manikiran. *Indian Journal Microbiology*. 50(1): S2-S9.
- Susilowati, P.M., S. Raharjo, D. Kurniati, R. Rahim, Sumarlin, dan Ardiansyah. 2012. Produksi Xilanase dari Isolat Sumber Air Panas Sonai, Sulawesi Tenggara menggunakan Limbah Pertanian. *Jurnal Natur Indonesia* 14(3): 199-204.
- Sutiamiharja, N. 2008. Isolasi Bakteri dan Uji Aktivitas Amilase Kasar Termofilik dari Sumber Air Panas Gurukinayan Karo Sumatera Utara. *Tesis*. Medan: Biologi. Universitas Sumatera Utara.
- Tarigan J. 1988. *Pengantar Mikrobiologi*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Pengembangan Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan.
- Teather, R. M., and P. J. Wood. 1981. Use of Congo Red Polysaccharide Interaction in Enumeration and Characterization of Cellulolytic Bacteria from the Bovine Rumen. *Applied and Environmental Microbiology*. 43(4): 777-780.
- Thoyib, H., dan R. Setyaningsih, Suranto. 2007. Seleksi dan Identifikasi Bakteri Alkalifilik Penghasil Xilanase dari Tanah Bukit Krakitan, Bayat, Klaten . *Bioteknologi*: 2 (1): 6-12.
- Trismilah dan D. R. Waltan. 2009. Produksi Xilanase Menggunakan Media Limbah Pertanian dan Perkebunan. *J. Ling*. 10 (2):137-144.

- Ulfah, M., I. Helianti, B. Wahyuntari, N. Nurhayati. 2011. Characterization of a New Thermokalophilic Xylanase-Producing Bacterial Strain Isolated from Cimanggu Hot Spring, West Java, Indonesia. *Microbiology Indonesia*. 5(3): 139-143.
- Wahyuna, D. 2012. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Termo Proteolitik Sumber Air Panas Sungai Medang, Sungai Penuh, Jambi. *Skripsi*. Padang: Universitas Andalas.
- Willey, J. M., L.M. Sherwood, C.J. Woolverton. 2008. *Prescott's Principles of Microbiology*. New York: McGraw-Hill Higher Education.