

**EKSPLORASI SENYAWA BIOAKTIF ACTINOMYCETES SEDIMEN
MANGROVE SEBAGAI ANTIFUNGI TERHADAP *Fusarium oxysporum***

(Skripsi)

Oleh

NINA NURULLITA

2117011054



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

EKSPLORASI SENYAWA BIOAKTIF ACTINOMYCETES SEDIMEN MANGROVE SEBAGAI ANTIFUNGI TERHADAP *Fusarium oxysporum*

Oleh

NINA NURULLITA

Actinomycetes merupakan kelompok bakteri yang dikenal sebagai produsen metabolit sekunder dengan aktivitas biologis beragam, termasuk sebagai agen antifungi. Salah satu sumber actinomycetes potensial adalah sedimen mangrove, yang memiliki karakteristik lingkungan unik sehingga memungkinkan mikroba di dalamnya memproduksi senyawa bioaktif yang khas.

Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi senyawa bioaktif dari actinomycetes sedimen mangrove yang berpotensi sebagai antifungi terhadap *Fusarium oxysporum*. Isolat actinomycetes ISM7, sebelumnya diisolasi dari sedimen mangrove Sriminosari, Lampung Timur, dikultivasi menggunakan dua metode fermentasi, yaitu *Solid State Fermentation* (SSF) dengan media ampas tebu dan beras, serta *Submerged Fermentation* (SmF) dengan media *Nutrient Broth* (NB), selama 14 hari. Biomassa hasil fermentasi diekstraksi menggunakan metode maserasi dengan pelarut etil asetat, kemudian diuji aktivitas antifunginya menggunakan metode difusi agar.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak dari media ampas tebu (ISM7-MAT) memiliki aktivitas antifungi paling tinggi dengan zona hambat sebesar 14 mm. Fraksinasi menggunakan kromatografi kolom menghasilkan fraksi ISM7-MATF1 dengan daya hambat meningkat menjadi 15 mm. Karakterisasi senyawa aktif menggunakan LC-MS/MS menunjukkan adanya senyawa dengan nilai m/z 507,2283 yang mengindikasikan keberadaan senyawa golongan peptida. Spektrum FTIR menunjukkan puncak khas pada $3300\text{--}3400\text{ cm}^{-1}$ (N-H stretching), $1650\text{--}1680\text{ cm}^{-1}$ (C=O amida I), $1550\text{--}1580\text{ cm}^{-1}$ (amida II), dan $750\text{--}850\text{ cm}^{-1}$ (bending aromatik), mendukung adanya struktur dasar fenilalanin sebagai bagian dari senyawa peptida aromatik yang berperan sebagai agen antifungi.

Kata kunci: actinomycetes, sedimen mangrove, antifungi, *Fusarium oxysporum*, fenilalanin, FTIR.

ABSTRACT

EXPLORATION OF BIOACTIVE COMPOUNDS FROM MANGROVE SEDIMENT ACTINOMYCETES AS ANTIFUNGAL AGENTS AGAINST *Fusarium oxysporum*

By

NINA NURULLITA

Actinomycetes are a group of bacteria known for producing secondary metabolites with diverse biological activities, including antifungal agents. One potential source of actinomycetes is mangrove sediment, which has unique environmental characteristics that enable the microbes within it to produce distinctive bioactive compounds. This study aimed to explore bioactive compounds from actinomycetes in mangrove sediment that have potential antifungal activity against *Fusarium oxysporum*. Actinomycete isolate ISM7, previously isolated from mangrove sediment in Sriminosari, East Lampung, was cultivated using two fermentation methods: Solid State Fermentation (SSF) using bagasse and rice media, and Submerged Fermentation (SmF) using Nutrient Broth (NB) media, for 14 days. The fermented biomass was extracted using maceration with ethyl acetate as a solvent, then tested for antifungal activity using agar diffusion. The results showed that the extract from sugarcane bagasse (ISM7-MAT) had the highest antifungal activity, with an inhibition zone of 14 mm. Fractionation using column chromatography produced the ISM7-MATF1 fraction, with an inhibition zone increased to 15 mm. Characterization of the active compound using LC-MS/MS revealed a compound with an m/z value of 507.2283, indicating the presence of a peptide compound. The FTIR spectrum showed characteristic peaks at 3300–3400 cm^{-1} (N-H stretching), 1650–1680 cm^{-1} (C=O amide I), 1550–1580 cm^{-1} (amide II), and 750–850 cm^{-1} (aromatic bending), supporting the presence of phenylalanine as part of the aromatic peptide compound that acts as an antifungal agent.

Keywords: actinomycetes, mangrove sediment, antifungal, *Fusarium oxysporum*, phenylalanine, FTIR

**EKSPLORASI SENYAWA BIOAKTIF ACTINOMYCETES SEDIMEN
MANGROVE SEBAGAI ANTIFUNGI TERHADAP *Fusarium oxysporum***

Oleh

NINA NURULLITA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025

Judul : EXPLORASI SENYAWA BIOAKTIF
ACTINOMYCETES SEDIMEN
MANGROVE SEBAGAI ANTIFUNGI
TERHADAP *Fusarium oxysporum*

Nama : Nina Nurullita

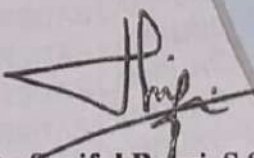
NPM : 2117011054

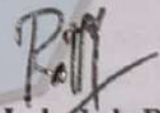
Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing


Dr. Syaiful Bahri, S.Si., M.Si.
NIP. 197308252000031001


Dr. Eng. Ni Luh Gede Ratna J., S.Si., M.Si.
NIP. 197707132009122002

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung

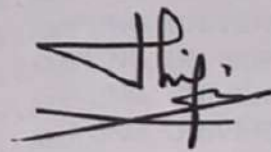

Prof. Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.
NIP. 197205302000032001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

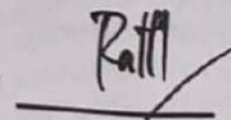
Ketua

: Dr. Syaiful Bahri, S.Si., M.Si.



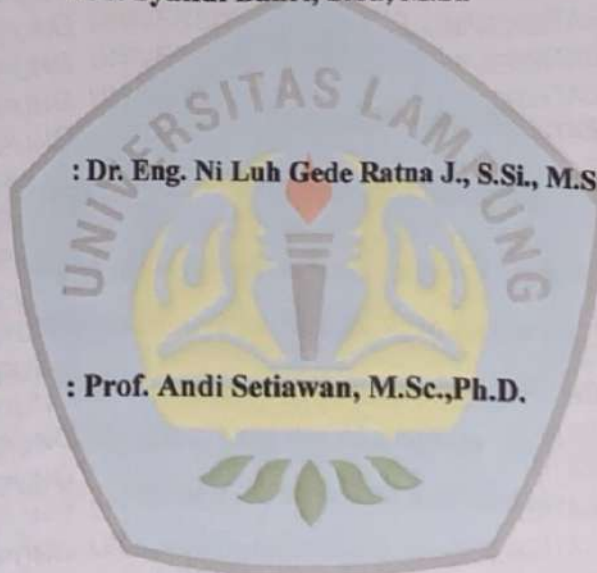
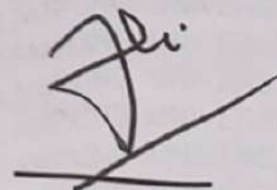
Sekretaris

: Dr. Eng. Ni Luh Gede Ratna J., S.Si., M.Si.



Anggota

: Prof. Andi Setiawan, M.Sc., Ph.D.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Eng. Heri Satria, M.Si.
NIP 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 06 Agustus 2025

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Nina Nurullita

Nomor Pokok Mahasiswa : 2117011054

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul "**Eksplorasi Senyawa Bioktif *Actinomycetes* Sedimen Mangrove Sebagai Antifungi terhadap *Fusarium oxysporum***" adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, hasil dan analisisnya. Selanjutnya saya juga tidak keberatan jika Sebagian atau seluruh data di dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sesuai dengan kesepakatan.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sadar dan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.



ndar Lampung, 1 September 2025
ng menyatakan,

Nina Nurullita
2117011054

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Nina Nurullita, lahir di Lampung Barat, 20 Desember 2002. Penulis merupakan putri dari pasangan Bapak Khoidir dan Ibu Raudati, dan merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Saat ini penulis bertempat tinggal di Jln. Haji Komarudin, Rajabasar Raya, Bandar Lampung.

Penulis memulai Pendidikan formal di Taman Kanak-kanak (TK) Nurul Islam, Lampung Barat pada tahun 2008 hingga 2009, kemudian penulis melanjutkan Pendidikan di Sekolah Dasar (SD) Negeri 1 Sebarus pada tahun 2009 hingga 2015. Pada tahun 2015 penulis melanjutkan Pendidikan di Madrasah Tsanawiyah Negeri (MTS) 1 Lampung Barat dan lulus pada tahun 2018, kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Atas (SMA) 1 Liwa dan selesai pada tahun 2021. Pada tahun 2021 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Universitas Lampung, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berorganisasi dimulai sebagai kader muda Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) FMIPA Unila periode 2022. Penulis pernah mengikuti kegiatan sosial seperti Karya Wisata Ilmiah (KWI) BEM- FMIPA Unila pada 2021. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sidodadi, Kabupaten Pesawaran pada bulan Januari sampai Februari 2023 selama 40 hari. Pada bulan Juli 2024, Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Balai Pengujian Mutu Barang (BPMB), Jakarta Timur.

Pada bulan Oktober hingga Mei 2025 penulis menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Unit Pelayanan Akademik-Laboratorium Terpadu Sentra Inovasi Teknologi (UPA-LTSIT) Universitas Lampung yang diberi Judul “**Eksplorasi Senyawa Biaktif Actinomycetes Sedimen Mangrove Sebagai Antifungi terhadap *Fusarium oxysporum***”.

MOTTO



“Hidup adalah perjalanan panjang yang penuh ujian; belajar bersyukur dalam keterbatasan dan terus berusaha dalam kesulitan adalah kunci menemukan kebahagiaan dan keberhasilan.”

(Penulis)

“ Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu. Dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu. Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui.”

(QS. Al-Baqarah : 216)

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan.”

(QS. Al-Insyirah: 6-7)

“Happiness can be found, even in the darkest of times, if one only remembers to turn on the light”

(Albus Dumbledore)

PERSEMBAHAN



Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang senantiasa diharapkan syafaatnya di hari akhir. Rasa syukur yang luar biasa ku persembahkan karya ini dengan segala kerendahan hati, sebagai wujud bakti, rasa Syukur, dan ucapan terimakasih kepada :

Kedua orangtua Bapak Khoidir dan Ibu Raudati, terima kasih atas setiap doa yang tak pernah putus, kasih sayang yang tulus tanpa batas, serta pengorbanan yang tidak pernah terhitung nilainya. Dalam setiap langkah dan pencapaian ini, ada keringat, doa, dan cinta kalian yang menjadi sumber kekuatan terbesar dalam hidupku.

Keluarga besarku tercinta, terima kasih atas doa, dukungan, dan kasih sayang yang selalu mengiringi langkahku

Pembimbing penelitianku,

Bapak Dr. Syaiful Bahri, S.Si., M.Si., Ibu Dr. Eng Ni Luh Gede Ratna J.,
S.Si.,M.Si., Bapak Prof. Andi Setiawan, M.Sc., Ph.D., serta seluruh
Dosen Pengajar Jurusan Kimia yang telah membimbing dan mendidikku hingga
mencapai gelar Sarjana.

Teman-temanku yang telah kebersamai, mendoakan, mendukung, dan memberikan semangat, dan Almamater tercinta Universitas Lampung.

SANWACANA

Alhamdulillah rabbil'amin, puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang selalu kita nantikan syafaat-Nya di Yaumul Akhir nanti. Aamiin ya rabbal alamin sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Eksplorasi Senyawa Biaktif Actinomycetes Sedimen Mangrove Sebagai Antifungi terhadap *Fusarium oxysporum*”.

Penulis menyadari bahwa dalam proses pengerjaan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari kesulitan dan rintangan yang penulis hadapi. Namun itu semua bisa terlewati berkat rahmat dan ridho Allah SWT serta bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, sehingga dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua yang saya cintai, Ayah Khoidir dan Ibu Raudati untuk segala cinta, kasih sayang, dukungan yang telah diberikan selama ini serta segala perjuangan dan pengorbanan tiada henti sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Adikku Syaharani, M.Farhan Al-Masyhari, Raisha Maghfira dan M. Rafasya dukungan, dan semangat yang selalu diberikan. Kehadiranmu menjadi penguat dan penyemangat dalam menyelesaikan perjalanan akademik ini.
3. Bundaku, terima kasih atas kasih sayang, perhatian, doa, serta dukungan yang tiada henti. Kehadiranmu senantiasa menjadi penguat dalam setiap langkah, dan kebaikanmu akan selalu menjadi bagian berharga dalam perjalanan hidup dan akademik saya.

4. Bapak Dr. Syaiful Bahri, S.Si., M.Si selaku pembimbing satu terimakasih telah membimbing, memberi arahan, memberi masukan serta saran dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
5. Ibu Dr. Eng. Ni Luh Gede Ratna J., S.Si., M.Si., selaku pembimbing kedua terimakasih telah membimbing, memberikan semangat, memerikan saran selama Menyusun skripsi ini, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Prof. Drs. Andi Setiawan, M.Sc., Ph.D selaku pembahas terimakasih telah memberikan, motivasi, semangat, kritik, saran, dan arahan kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
7. Devi Nur Anisa, S.Pd., M.Sc selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan semangat dan arahan kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
8. Prof. Dr. Mita Rilyanti, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.
9. Ibu Dr. Dian Herasari, M.Si. selaku Wakil Ketua Jurusan FMIPA Universitas Lampung.
10. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.
11. Bapak serta Ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu, pengalaman, dan motivasi selama penulis menjalankan pendidikan di kampus.
12. Seluruh staf administrasi dan pegawai di lingkungan Jurusan Kimia, Dekanat FMIPA, serta Universitas Lampung yang senantiasa membantu dalam sistem akademik, perkuliahan, penelitian, serta penyusunan skripsi sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
13. Keluarga Besar Marsyad Suri. Terima kasih atas doa, dukungan, perhatian, dan kasih sayang yang senantiasa mengiringi setiap langkah saya. Kehadiran kalian menjadi sumber kekuatan dan semangat dalam menyelesaikan karya sederhana ini.

14. Hafiz Sadewa Utama, yang senantiasa memberikan doa, semangat, motivasi, serta kesabaran tanpa henti selama proses penyusunan skripsi ini. Kehadiran dan dukungan yang tulus telah menjadi penguat ketika saya menghadapi kesulitan, serta menjadi penyemangat untuk terus berusaha hingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.
15. Sahabatku Azzahra Qurota Aini terima kasih untuk yang senantiasa mendampingi, mendukung, dan memberi semangat dalam proses penelitian hingga perjalanan akademik ini. Kehadiran dan ketulusanmu menjadi bagian penting dalam langkah saya hingga akhirnya dapat menyelesaikan karya sederhana ini.
16. Sahabat seperjuangan penulis selama menjalani proses Pendidikan Azizah Rosihana putri, Bella Agustin, Aulia Reyzifa dan Melissa Putri yang selalu kebersamai, saling memberikan dukungan, serta semangat dan motivasinya.
17. Sahabatku Aidha Febiona dan Leska Silvianda yang telah menjadi bagian hidup layaknya keluarga sendiri. Terima kasih atas doa, dukungan, kebersamaan, serta semangat yang kalian berikan.
18. Teman-teman Kimia Angkatan 2021 serta Kimia Kelas A 2021 terimakasih atas dukungan, kebersamaan serta semangat yang telah kita Jalani bersama

Sebagai penutup, penulis menyampaikan permohonan maaf apabila dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Penulis sangat berterima kasih atas segala dukungan, bimbingan, serta kebaikan yang telah diberikan, semoga Allah SWT memberkahi kita semua.

Bandar Lampung, 1 September 2025

Penulis

Nina Nurullita
NPM. 2117011054

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	vi
---------------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR.....	vii
---------------------------	------------

I. PENDAHULUAN	1
-----------------------------	----------

1.1 Latar Belakang	1
--------------------------	---

1.2 Tujuan Penelitian.....	1
----------------------------	---

1.3 Manfaat Penelitian.....	3
-----------------------------	---

II. TINJAUAN PUSTAKA	4
-----------------------------------	----------

2.1 Ekosistem Mangrove.....	4
-----------------------------	---

2.2 Sedimen Mangrove	6
----------------------------	---

2.3 Actinomycetes Sedimen Mangrove.....	8
---	---

2.4 Senyawa Metabolit Sekunder.....	9
-------------------------------------	---

2.5 <i>Solid State Fermentation</i> (SSF).....	10
--	----

2.6 <i>Submerged Fermentation</i> (SmF)	12
---	----

2.7 Ekstraksi Senyawa Metabolit Sekunder	13
--	----

2.8 <i>Fusarium oxysporum</i>	14
-------------------------------------	----

2.9 Skrining Aktivitas Antifungi	16
--	----

2.10 Kromatografi Lapis Tipis	17
-------------------------------------	----

2.11 Karakterisasi Senyawa	18
2.11.1 <i>Liquid Chromatography – Mass Spectrometry/Mass Spectrometry</i> (LC-MS/MS)	19
2.11.2 <i>Fourier Transform Infra Red Spectrophotometer</i> (FT-IR)	20
III. METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Waktu dan Tempat	23
3.2 Alat dan Bahan	23
3.2.1 Alat	23
3.2.2 Bahan	24
3.3 Prosedur Penelitian	24
3.3.1 Peremajaan Isolat Actinomyces Sedimen Mangrove	24
3.3.2 Identifikasi Mikroskopis Actinomyces Sedimen Mangrove	25
3.3.3 Kultivasi Actinomyces Sedimen Mangrove	25
3.3.4 Ekstraksi Senyawa Metabolit Sekunder	26
3.3.5 Skrining Aktivitas Antifungi Terhadap <i>Fusarium oxysporum</i>	26
3.3.5 Kromatografi Lapis Tipis (KLT)	27
3.3.6 Fraksinasi Kromatografi Kolom	27
3.3.7 Karakterisasi Senyawa	28
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Identifikasi Isolat Actinomyces	29
4.2 Kultivasi Actinomyces Sedimen Mangrove	30
4.3 Ekstraksi Senyawa Metabolit Sekunder	33
4.4 Skrining Aktivitas Antifungi Terhadap <i>fusarium oxysporum</i>	35
4.5 Kromatografi Lapis Tipis	37
4.6 Pemurnian Dengan Kromatografi Kolom	41
4.7 Uji Aktivitas Antifungi	43

4.8. Karakterisasi Senyawa Bioaktif	46
4.8.1 <i>Liquid Chromatography-Mass Spectrometry /Mass Spectrometry</i> (LC MS/MS).....	46
4.8.2 <i>Fourier Transform Infrared Spectrometer</i> (FT-IR)	51
V. KESIMPULAN DAN SARAN	54
5.1 Simpulan.....	54
5.2 Saran	54
 DAFTAR PUSTAKA	48
 LAMPIRAN	61

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Identifikasi isolat Actinomycetes	30
2. Analisis puncak TIC sampel ISM7-MATF1	47
3. Interpretasi bilangan gelombang dengan gugus fungsi.....	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Ekosistem mangrove (Maurya <i>et al.</i> , 2021).....	6
2. Sedimen mangrove (Booth <i>et al.</i> , 2023)	7
3. Actinomycetes Sedimen Mangrove (Prasetya, 2022)	8
4. <i>Fusarium oxysporum</i> (Srivastava <i>et al.</i> , 2024)	16
5. Skrining aktivitas antifungi dengan metode difusi agar	17
6. Kromatogram ion total Actinomycetes Sedimen Mangrove.....	20
7. Spektrum FT-IR (Prasetya, 2022).....	22
8. Inokulum Actinomycetes yang ditumbuhkan pada media NB	31
9. Pertumbuhan isolat Actinomycetes ISM7 pada tiga media	32
10. Ekstrak Kasar Actinomycetes ISM7 pada media kultivasi (a) ampas Tebu (b) beras dan (c) NB	34
11. Hasil skrining antifungi pada ekstrak kasar ISM7	36
12. Analisis KLT ekstrak kasar ISM7-MAT dengan eluen n-heksana : etil asetat 9:1 (a) uv 254, (b) pereaksi ninhidrin dan (c) pereaksi serum sulfat	38

13. Analisis KLT ekstrak kasar ISM7-MAT dengan eluen DCM: MeOH (1:1) (a) uv 254, (b) pereaksi ninhidrin dan (c) pereaksi serum sulfat.....	40
14. Fraksinasi ekstrak kasar ISM7-MAT menggunakan kromatografi kolom.....	41
15. KLT hasil fraksinasi ekstrak kasar ISMT_MAT dengan eluen DCM: MeOH (1:1) (a) uv 254, (b) pereaksi ninhidrin dan (c) pereaksi serum sulfat	42
16. Grafik skrining antifungi fraksi kolom sampel ISM7-MATF1	44
17. KLT sampel ISM7-MATF1 dengan eluen DCM: MeOH (1:1) DCM: metanol (1:1) (a) uv 254, (b) pereaksi ninhidrin dan (c) pereaksi serum sulfat	45
18. Total ion chromatogram (TIC) Sampel ISM7-MATF1	46
19. Kromatogram LC-MS/MS sampel ISM7-MATF1 waktu retensi 12,11 menit	49
20. Perkiraan struktur senyawa peak 12,11 sampel ISM7-MATF1	49
21. Struktur dasar Fenilalanin	50
22. pektrum FT-IR sampel ISM7-MATF1	51

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan di bidang kesehatan dan pertanian saat ini menghadapi tantangan serius akibat meningkatnya resistensi patogen terhadap antibiotik dan fungisida sintetis. Di sisi lain, laju penemuan senyawa antimikroba baru terus mengalami penurunan (Ameen *et al.*, 2021). Kondisi ini mendorong upaya eksplorasi sumber-sumber baru senyawa bioaktif dari alam, khususnya mikroorganisme, yang berpotensi menghasilkan metabolit sekunder dengan aktivitas biologis yang bervariasi.

Actinomycetes merupakan kelompok bakteri Gram-positif berfilamen yang telah lama dikenal sebagai produsen utama metabolit sekunder, termasuk antibiotik, antifungi, antitumor, dan enzim bioindustri (Barka *et al.*, 2018). Sebagian besar antibiotik yang digunakan saat ini berasal dari genus *Streptomyces*, salah satu kelompok actinomycetes yang dominan di lingkungan tanah. Namun, eksplorasi actinomycetes dari ekosistem laut, terutama dari sedimen mangrove, masih relatif terbatas sehingga berpotensi menjadi sumber senyawa bioaktif baru (Chandra *et al.*, 2020).

Ekosistem mangrove merupakan habitat unik yang terpengaruh oleh fluktuasi pasang surut, salinitas tinggi, dan kondisi anaerobik. Lingkungan ekstrem ini mendorong mikroorganisme di dalamnya untuk menghasilkan senyawa metabolit sekunder sebagai mekanisme adaptasi (Imamsyah *et al.*, 2020).

Sedimen mangrove mengandung berbagai mikroorganisme, termasuk actinomycetes, yang mampu memproduksi senyawa bioaktif seperti alkaloid, poliketida, peptida, dan terpenoid (Cai *et al.*, 2021). Salah satu patogen penting yang menjadi perhatian di bidang pertanian adalah *Fusarium oxysporum*, jamur patogen penyebab penyakit layu pada berbagai tanaman pangan dan hortikultura. *Fusarium oxysporum* memiliki kemampuan bertahan lama di tanah dalam bentuk klamidospora, menyerang tanaman melalui akar, lalu menyebar ke jaringan pembuluh xilem, menyebabkan layu, nekrosis, hingga kematian tanaman (Srivastava *et al.*, 2024). Kerugian akibat serangan *Fusarium* ini sangat signifikan dan mengancam ketahanan pangan.

Penggunaan mikroorganisme penghasil senyawa antifungi, seperti actinomycetes, merupakan alternatif pengendalian hayati yang ramah lingkungan dan berkelanjutan dibandingkan fungisida sintetis (Zhang *et al.*, 2021). Beberapa studi menunjukkan bahwa actinomycetes dari tanah dan sedimen mampu menghasilkan senyawa dengan aktivitas antifungi terhadap *Fusarium* spp. Namun, eksplorasi actinomycetes dari sedimen mangrove khususnya di wilayah Lampung masih minim.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Prasetya (2022) telah berhasil mengisolasi actinomycetes dari sedimen mangrove di kawasan Sriminosari, Lampung Timur. Salah satu isolat yang diperoleh adalah ISM7, yang diduga memiliki potensi menghasilkan senyawa bioaktif. Oleh karena itu, penelitian ini melanjutkan eksplorasi isolat tersebut dengan fokus pada uji aktivitas antifungi terhadap *Fusarium oxysporum* serta karakterisasi senyawa aktif yang dihasilkannya.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memperoleh media kultivasi terbaik untuk pertumbuhan actinomycetes sedimen mangrove (ISM7) dalam menghasilkan senyawa bioaktif antifungi, serta menentukan karakter mikroskopis isolat tersebut.
2. Menguji aktivitas antifungi dari ekstrak isolat actinomycetes ISM7 terhadap *Fusarium oxysporum*.
3. Mengkarakterisasi senyawa aktif dari fraksi ekstrak actinomycetes menggunakan metode *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan *Liquid Chromatography–Mass Spectrometry/Mass Spectrometry* (LC-MS/MS).

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi ilmiah mengenai potensi actinomycetes sedimen mangrove Sriminosari, Lampung Timur sebagai sumber senyawa bioaktif antifungi.
2. Menjadi dasar pengembangan agen antifungi alami yang berpotensi digunakan sebagai pengendali hayati terhadap patogen tanaman, khususnya *Fusarium oxysporum*.
3. Menambah data karakterisasi senyawa metabolit sekunder dari actinomycetes sedimen mangrove yang berpotensi dikembangkan lebih lanjut di bidang pertanian, kesehatan, dan industri biofarmasi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ekosistem Mangrove

Indonesia menjadi negara terbesar di Asia yang memiliki hutan mangrove, salah satunya tersebar di kawasan pesisir Labuhan Maringgai, Lampung Timur, terdapat beberapa jenis mangrove di Labuhan Maringgai, seperti *Avicenna marina*, *Rhizophora mucronate*, *Avicenna officinalis*, dan *Rhizophora apiculate* (Herison *et al.*, 2021). Mangrove merupakan kelompok komunitas tumbuhan garam yang beragam di daerah pasang surut tropis dan subtropis di dunia dan bertindak sebagai penghalang alami terhadap dinamika laut di sepanjang garis pantai. Mangrove terdapat di antara garis lintang 24,0 LU dan 38,0 LS. Total tutupan mangrove di dunia adalah 15 juta ha yang merupakan 1% dari hutan tropis di dunia yang tersebar di 123 negara dan teritori di daerah tropis dan subtropik (Maurya *et al.*, 2021).

Ekosistem mangrove dikenal sebagai salah satu lahan basah pesisir yang paling produktif di dunia (Rahman *et al.*, 2024). Ekosistem mangrove merupakan lahan basah pesisir yang didominasi oleh tumbuhan berkayu yang membentang pada gradien lintang (30°N sampai 37°S), tinggi pasang surut (<1 m sampai >4 m), geomorfologi (pulau-pulau samudra hingga sistem sungai), lingkungan sedimen (gambut hingga aluvial), iklim (tropis hangat sedang hingga kering dan basah), dan ketersediaan nutrisi (oligotrofik hingga eutrofik). Ekosistem mangrove terletak di wilayah pesisir memiliki peran ekologis yang beragam.

Hutan mangrove menyediakan habitat bagi berbagai organisme dan berkontribusi terhadap pengisian ulang air tanah sekaligus mengurangi erosi tanah dan melindungi wilayah pesisir dari gelombang pasang. Mangrove juga memainkan peran penting dalam memurnikan air yang tercemar dengan menyerap logam berat dan mencegah pencemaran air laut. Selain itu, mangrove melepaskan oksigen ke atmosfer dan memerangkap karbon dioksida, sehingga membantu memerangi perubahan iklim. Jaringan interaksi yang kompleks dalam ekosistem mangrove melibatkan proses biologis, kimia, dan fisik yang unik yang berkontribusi terhadap penyerapan dan penyaringan polutan udara (Imamsyah *et al.*, 2020).

Mangrove mempunyai beberapa fungsi. Fungsi fisiknya yaitu untuk menjaga kondisi pantai dan tebing sungai, mencegah terjadinya abrasi dan intrusi air laut, serta sebagai perangkap zat pencemar. Fungsi kimia dan biologisnya ialah sebagai habitat benih ikan, udang, kepiting dan biota laut lainnya, sebagai sumber inang bagi mikroba endofit dan mikroorganisme dalam sedimen mangrove. Ekosistem mangrove berfungsi sebagai tempat berkembang biaknya kehidupan laut, bertindak sebagai penghalang alami terhadap erosi pantai dan gelombang badai, serta berpotensi meningkatkan kualitas udara dengan menyerap dan menyaring polutan. Selain itu ekosistem mangrove memiliki fungsi ekologi penting yang berkontribusi terhadap peningkatan kualitas udara. Ekosistem ini dapat menyimpan karbon, sehingga membantu mengurangi emisi karbon dan melakukan mitigasi perubahan iklim. Mangrove juga melepaskan oksigen ke atmosfer dan memerangkap karbon dioksida, sehingga membantu memerangi perubahan iklim. Hutan mangrove juga berperan sebagai penghalang alami terhadap abrasi pantai dan menahan intrusi air laut, sehingga membantu menjaga kualitas perairan Pantai. Selain itu, hutan bakau menyediakan habitat bagi berbagai organisme, termasuk ikan, udang, dan kepiting, yang penting bagi konservasi sumber daya ikan (Rusmayadi *et al.*, 2024)



Gambar 1. Ekosistem mangrove (Maurya *et al.*, 2021).

2.2 Sedimen Mangrove

Sedimen mangrove adalah lapisan atas tanah di ekosistem mangrove yang terdiri dari campuran material organik dan anorganik. Material ini berasal dari berbagai sumber, seperti dedaunan mangrove yang jatuh, sisa-sisa organisme laut, dan partikel tanah yang terbawa oleh arus air. Sedimen mangrove memiliki karakteristik unik yang sangat berbeda dengan sedimen di lingkungan lain. Karakteristik sedimen mangrove yaitu kaya akan bahan organik, berlumpur dan kadar garam yang tinggi. Lapisan ini kaya akan nutrisi dan menjadi rumah bagi berbagai macam mikroorganisme, termasuk bakteri, jamur, dan alga. Sedimen mangrove membentuk lingkungan yang dinamis dan menciptakan gradien alami yang ideal di sepanjang kedalaman karena pergerakan pasang surut periodik, dan gradien halus kondisi fisikokimia, sehingga fungsi mikroba yang berbeda diamati di antarmuka darat-laut (Qian *et al.*, 2023).



Gambar 2. Sedimen mangrove (Booth *et al.*, 2023)

Lingkungan ekstrem sedimen mangrove menunjukkan salinitas dan suhu tinggi, konsentrasi oksigen rendah, paparan sinar UV yang kuat, dan kepadatan mikroba yang tinggi karena masukan nutrisi organik yang kuat dari akar. Mikroorganisme yang berasal dari sedimen mangrove seperti actinomycetes dapat menghasilkan banyak senyawa bioaktif baru. Beberapa senyawa bioaktif yang dihasilkan, seperti alkaloid, terpenoid, steroid, dan poliketida. Senyawa ini memiliki berbagai aktivitas, antara lain sebagai antibakteri, penghambat enzim, antiinflamasi, antioksidan, antivirus, dan aktivitas sitotoksik (Cai *et al.*, 2021).

Sedimen di daerah mangrove secara biologi berfungsi sebagai tempat hidup dan tempat mencari makan bagi organisme hidup di daerah tersebut. Nutrisi dari sedimen mangrove umumnya terbentuk oleh bahan organik yang terkandung di dalamnya. Nitrat dan nitrit berperan penting bagi organisme di daerah kawasan hutan mangrove, unsur hara ini berfungsi sebagai nutrient utama untuk menurunkan kestabilan pertumbuhan mangrove, dimana unsur hara pada sedimen mangrove akan terdistribusi oleh faktor lingkungan seperti dinamika arus, gelombang dan pasang surut (Irham *et al.*, 2018). Investigasi senyawa bioaktif dari sedimen mangrove juga dilakukan oleh (Prasetya, 2022) dengan menghasilkan beberapa isolat actinomycetes sedimen mangrove dari daerah Sriminosari, Lampung Timur, Indonesia.



Gambar 3. Actinomycetes sedimen mangrove (Prasetya, 2022)

2.3 Actinomycetes Sedimen Mangrove

Actinomycetes adalah bakteri berfilamen Gram-positif dengan kandungan G+C yang tinggi dalam DNA mereka (Barka *et al.* 2018). Actinomycetes mendiami berbagai pengaturan ekosistem, termasuk tanah, rizosfer, ekosistem laut, air tawar, gua vulkanik, titik panas, usus serangga, kotoran hewan, dan sebagai endofit pada tumbuhan (Selim *et al.*, 2021). Faktor lingkungan, seperti pH, salinitas, dan suhu ekstrem, dapat memengaruhi populasi actinomycetes yang ditemukan di tanah (Devanshi *et al.* 2021).

Sedimen mangrove adalah lapisan tanah di sekitar akar pohon mangrove.

Lingkungan ini sangat unik karena kaya akan bahan organik, kondisi anaerob (kurang oksigen), dan salinitas tinggi. Kondisi yang ekstrem ini membuat sedimen mangrove menjadi habitat yang menarik bagi berbagai jenis mikroorganisme, termasuk actinomycetes. Actinomycetes di sedimen mangrove telah beradaptasi dengan lingkungan yang unik. Mereka memiliki kemampuan menghasilkan berbagai macam senyawa kimia yang disebut metabolit sekunder. Beberapa senyawa ini memiliki aktivitas biologis yang sangat menarik seperti antibiotik, antifugal, dan antikanker.

Actinomycetes awalnya dianggap sebagai kelompok perantara antara bakteri dan jamur tetapi sekarang dikenal sebagai organisme prokariotik. Actinomycetes tersebar luas di lingkungan alami dan buatan manusia, dan memainkan peran penting dalam degradasi bahan organik. Actinomycetes juga dikenal sebagai sumber antibiotik dan molekul bioaktif yang kaya, dan sangat penting dalam industri. Ketika teknik isolasi konvensional diterapkan, sebagian besar isolat yang diperoleh pada pelat agar telah diidentifikasi sebagai genus *Streptomyces*, yang merupakan aktinomiset dominan di dalam tanah. Beberapa faktor harus dipertimbangkan untuk tujuan penyaringan molekul bioaktif baru: pemilihan sumber penyaringan, perlakuan awal, media selektif, kondisi kultur, dan pengenalan koloni kandidat pada pelat isolasi primer (Naikpatil & Rathod, 2018).

2.4 Senyawa Metabolit Sekunder

Metabolit sekunder adalah senyawa yang sangat beragam dan memiliki peran penting dalam kehidupan organisme (Aminah *et al.*, 2021). Interaksi antara mangrove dan actinomycetes sedimen mangrove merupakan hubungan simbiosis yang kompleks dan saling menguntungkan. Actinomycetes, sejenis bakteri Gram positif yang menghasilkan berbagai senyawa bioaktif, hidup di dalam sedimen mangrove dan berinteraksi dengan akar mangrove. Actinomycetes menghasilkan berbagai senyawa bioaktif seperti antibiotik, enzim, dan hormon pertumbuhan tanaman. Senyawa-senyawa ini dapat melindungi mangrove dari serangan patogen, meningkatkan pertumbuhan akar, dan merangsang produksi hormon pertumbuhan. Mangrove merespon senyawa bioaktif yang dihasilkan oleh actinomycetes dengan memodifikasi ekspresi gennya, sehingga dapat meningkatkan toleransi terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem seperti salinitas tinggi dan anaerob.

Berdasarkan penelitian yang ada, terdapat banyak senyawa metabolit sekunder yang telah ditemukan memiliki aktivitas biologis sebagai agen antifungi. Beberapa contoh senyawa diantaranya seperti terpenoid, alkaloid, fenolat, polisakarida, saponin, tannin, fenolik, flavonoid dan triterpenoid. Kelompok terpenoid yang memiliki aktivitas antifungi seperti terpena, seskuiterpena, dan diterpena yang ditemukan dalam minyak esensial tumbuhan telah terbukti memiliki aktivitas antifungi seperti senyawa timol dari minyak esensial memiliki sifat antifungi. Setiap senyawa ini memiliki mekanisme aksi yang berbeda dalam menghambat pertumbuhan fungi, dan penggunaannya dapat bervariasi tergantung pada jenis fungi yang ingin diatasi. Senyawa agen penghambat pertumbuhan *fusarium oxysporum* sendiri sudah banyak penelitian yang membuktikan bahwa kelompok senyawa seperti alkaloid, poliketida, peptida, dan terpenoid dapat menghambat pertumbuhannya (Pintas dan Quave, 2019).

Metabolit sekunder yang dihasilkan oleh actinomycetes sedimen mangrove juga dapat menghambat pertumbuhan fungi patogen seperti metabolit yang dihasilkan oleh fungi *Aspergillus fumigatus* memiliki senyawa yang tergolong ke dalam alkaloid yaitu fumigatoside E dapat menghambat pertumbuhan fungi patogen yaitu *Fusarium oxysporum* (Limbadri *et al.*, 2018).

2.5 Solid State Fermentation (SSF)

Kultivasi secara umum berarti proses membudidayakan atau menumbuhkan organisme mikroorganisme dalam kondisi yang terkendali. Dalam konteks mikrobiologi, kultivasi berarti menumbuhkan mikroorganisme seperti bakteri, jamur, atau alga dalam media pertumbuhan yang sesuai. *Solid State Fermentation* (SSF) adalah sebuah proses biologis di mana mikroorganisme (seperti jamur, bakteri, atau ragi) tumbuh dan berkembang pada substrat padat atau semi-padat tanpa adanya cairan bebas dalam jumlah yang signifikan.

SSF memiliki banyak keuntungan seperti kebutuhan air dan energi yang lebih rendah, produktivitas protein yang lebih tinggi, dan persyaratan yang tidak terlalu ketat untuk media steril (Feng *et al.*, 2023). Proses fermentasi solid state merupakan salah satu pendekatan yang dikenal baik untuk memaksimalkan hasil metabolit sekunder bioaktif oleh jamur. Beberapa substrat dengan sifat organik dari biomassa lignoselulosa yang kaya akan selulosa, hemiselulosa dan lignin telah sering digunakan sebagai substrat padat yang mendukung pertumbuhan jamur untuk produksi berbagai metabolit bioaktif. Proses fermentasi solid-state didasarkan pada matriks padat di dalam substrat inert, dengan kadar air bebas yang sangat rendah, yang cukup untuk meningkatkan pertumbuhan dan aktivitas metabolisme mikroorganisme.

Proses fermentasi ini biasanya memiliki biaya produksi yang lebih rendah karena konsumsi energi dan area produksi yang lebih rendah, namun terbukti menjadi proses yang ekonomis dan ramah lingkungan untuk produksi metabolit sekunder dari residu agroindustri. Jamur berfilamen dan ragi telah digunakan untuk produksi berbagai senyawa bioaktif dalam proses fermentasi keadaan padat (El-Sayed *et al.*, 2024).

Media yang biasa digunakan dalam metode SSF dapat menggunakan sumber lain seperti media ampas tebu, dan beras. Media tersebut akan digunakan pada penelitian ini sebagai perbandingan metabolit yang dihasilkan selama proses SSF.

Metode SSF telah diterapkan untuk produksi metabolit sekunder seperti antibiotik, antifungi, antioksidan serta antikanker untuk keperluan dalam dunia kesehatan.

Kedua media ini mengandung berbagai nutrisi esensial yang dibutuhkan oleh Actinomycetes untuk tumbuh dan memproduksi metabolit sekunder. Actinomycetes adalah mikroorganisme heterotrof yang membutuhkan sumber karbon sebagai sumber energi. Ampas tebu dan beras kaya akan karbohidrat (selulosa, hemiselulosa, lignin pada ampas tebu; pati pada beras) yang dapat diuraikan oleh Actinomycetes.

Ampas tebu dan beras, terutama dalam bentuk fermentasi, dapat menciptakan lingkungan yang cocok untuk pertumbuhan berbagai mikroorganisme, termasuk Actinomycetes. SSF pada kulit udang telah terbukti menghasilkan metabolit sekunder yang aktif sebagai antifungi dan antibakteri (Campos *et al.*, 2021).

2.6 Submerged Fermentation (SmF)

Submerged Fermentation (SmF) adalah proses di mana mikroorganisme seperti bakteri ditumbuhkan dalam media cair yang terendam sepenuhnya dan mengandung semua nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhan dan metabolisme mereka. Dalam SmF, mikroorganisme tersuspensi atau terlarut dalam cairan, memungkinkan kontak yang efisien dengan nutrisi dan oksigen. Dalam SmF, mikroorganisme diinokulasi ke dalam bioreaktor (tangki fermentasi) yang berisi media cair bernutrisi. Bioreaktor ini dirancang untuk menyediakan kondisi lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan mikroorganisme dan produksi metabolit yang diinginkan. Keuntungan utama *Submerged Fermentation* (SmF) untuk kultivasi bakteri terletak pada kontrol parameter lingkungan yang presisi, seperti suhu, pH, aerasi, dan konsentrasi nutrisi, yang memungkinkan pertumbuhan optimal dan produksi metabolit yang konsisten. Selain itu, homogenitas media yang tinggi melalui pengadukan memastikan distribusi nutrisi dan oksigen yang merata, mendukung pertumbuhan sel yang efisien. SmF juga menawarkan skalabilitas tinggi untuk produksi industri, efisiensi transfer massa dan panas yang superior, serta kemudahan dalam pemurnian produk akhir karena produk biasanya terlarut dalam fase cair (de Oliveira *et al.*, 2020).

Metode *Submerged Fermentation* (SmF) pada penelitian ini menggunakan Media *Nutrient Broth* (NB). Penggunaan media *Nutrient Broth* (NB) pada metode *Submerged Fermentation* (SmF) untuk kultivasi Actinomycetes sering dipilih karena NB adalah media umum yang kaya nutrisi, mudah disiapkan, dan menyediakan kondisi yang mendukung pertumbuhan berbagai jenis mikroorganisme, termasuk

Actinomycetes, secara cepat dan efisien. NB mengandung pepton dan ekstrak daging (*beef extract*) yang secara kolektif menyediakan sumber nitrogen organik (dalam bentuk asam amino dan peptida kecil), sumber karbon, serta vitamin B kompleks dan mineral esensial lainnya yang dibutuhkan untuk sintesis biomassa dan produksi metabolit. Ketersediaan nutrisi yang lengkap dan mudah diasimilasi dalam bentuk cair memungkinkan Actinomycetes untuk tumbuh dengan cepat di dalam bioreaktor SmF, sehingga memungkinkan produksi metabolit sekunder dalam skala yang lebih besar. Media NB juga memudahkan proses sterilisasi dan penyesuaian pH, serta memungkinkan pemantauan dan kontrol parameter fermentasi yang lebih baik di lingkungan cair SmF (Deilamani *et al.*, 2023).

2.7 Ekstraksi Senyawa Metabolit Sekunder

Ekstraksi adalah suatu teknik yang dilakukan dalam isolasi dan memurnikan komponen dari suatu senyawa. Berbagai metode ekstraksi telah dikembangkan untuk mengekstrak beragam senyawa. Efektivitas proses ekstraksi dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jenis dan konsentrasi pelarut, perbandingan antara bahan padat dan pelarut, durasi, suhu, pH, serta faktor lainnya. Pemisahan senyawa metabolit yang ada dalam actinomycetes hasil kultivasi dapat dilakukan dengan metode ekstraksi sederhana yaitu maserasi.

Maserasi adalah metode ekstraksi sederhana efektif yang melibatkan perendaman bahan dalam pelarut selama waktu tertentu pada suhu kamar. Metode ini memanfaatkan prinsip kelarutan, di mana senyawa bioaktif yang polar akan larut dalam pelarut polar, begitu pula senyawa nonpolar akan larut dalam pelarut nonpolar. Salah satu keunggulan metode maserasi dibandingkan metode lain adalah prosesnya yang lebih sederhana, mudah dilakukan, tidak memerlukan biaya tinggi, serta tidak membutuhkan perlakuan khusus.

Setelah ekstraksi, bahan sisa harus dipisahkan dari pelarutnya dengan penuangan dan penyaringan yang kemudian dapat dilakukan penguapan. Pada penelitian ini akan dilakukan proses ekstraksi dengan metode maserasi menggunakan pelarut etil asetat (EtOAc).

2.8 *Fusarium oxysporum*

Fusarium oxysporum merupakan salah satu dari patogen tular tanah. Memiliki kemampuan bertahan di tanah untuk waktu yang lama dalam bentuk klamidospora, menembus akar, meluas ke jaringan, berkoloni dan bermetastasis di pembuluh xilem, dan menyebabkan layu, dan kematian pada tanaman (Arie, 2019). *Fusarium* merupakan salah satu fitopatogen utama yang menyerang tanaman pisang, kentang, gandum, padi dan tanaman komoditas lainnya, dan patogen ini memberikan dampak negatif pada kerugian hasil pertanian setiap tahunnya (Haile *et al.*, 2019).

Habitat *Fusarium* secara umum dapat dijumpai pada tanah, pertumbuhan yang relatif lebih cepat pada daerah tropis, daerah panas seperti gurun, pegunungan alpen, daerah arktik dengan suhu dingin, spesies ini tersebar luas. *Fusarium* secara luas tersebar pada tanah, tanaman, dan serpihan tanaman. Adanya senyawa mikotoksin yang diproduksi oleh fungi ini seperti deoksinivalenol dan fumonisins merupakan senyawa yang berbahaya bagi ketahanan pangan dan memiliki ancaman serius bagi kesehatan manusia.

Beberapa spesies *Fusarium* juga menjadi patogen oportunistik pada manusia penyebab penyakit keratitis. Selain itu spesies ini juga penyebab infeksi superfisial, penyebab infeksi pada pasien yang menderita Immunocompromised. Siklus hidup Jamur *Fusarium oxysporum* tumbuh sebagai koloni haploid yang menghasilkan berbagai jenis spora mitosis (aseksual), termasuk makrokonidia, yang memanjang,

berbentuk bulan sabit, dan bersepta; mikrokonidia, yang berukuran kecil dan berbentuk bulat telur; dan kladospora, yang merupakan spora perenarian berdinding tebal yang berfungsi sebagai propagul penyimpanan. Sebagai respon terhadap eksudat akar tanaman, spora ini berkecambah dan bergerak melalui penetrasi langsung ke akar inang melalui ujung akar dimana sel-selnya masih muda dan rapuh dan penghalang mekanisnya lemah bukaan alami seperti yang disebabkan oleh cedera atau retakan di antara sel-sel epidermis. Begitu masuk ke dalam akar, jamur sebagian besar tumbuh di dalam sel-sel interseluler di lapisan sel kortikal, untuk membangun kompatibilitas. Pada tahap ini, pertumbuhan jamur yang diamati terutama dalam fase asimtomatik. *Oksisporum* isolat diketahui dapat berkolonisasi secara asimtomatik pada akar tanaman inang utama maupun alternatif Saat hifa melewati endodermis, jamur menginvasi pembuluh xilem untuk menjajah bagian tanaman udara dan akhirnya beralih ke gaya hidup nekrotrofik, di mana kolonisasi sistemik batang melalui pembuluh xilem terjadi, konidia terbentuk di dalam jaringan yang terkolonisasi (massa hitam mewakili konidia), yang secara progresif menyebabkan sporulasi, layu, dan kematian tanaman yang terkolonisasi. Akhirnya, miselia jamur dan spora keluar dari jaringan inang yang mati dan siap untuk memulai siklus infeksi baru (Srivastava *et al.*, 2024).

Berikut merupakan taksonomi dari spesies *Fusarium oxysporum*:

Kingdom : Fungi (Jamur)

Divisi : Ascomycota (Ascomycota)

Kelas : Sordariomycetes

Ordo : Hypocreales

Famili : Nectriaceae

Genus : *Fusarium*

Spesies : *Fusarium oxysporum*

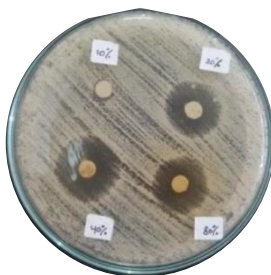


Gambar 4. *Fusarium oxysporum* (Srivastava *et al.*, 2024)

2.9 Skrining Aktivitas Antifungi

Antifungi adalah sekelompok obat yang digunakan untuk mengobati infeksi yang disebabkan oleh jamur. Pengujian antifungi adalah serangkaian prosedur yang dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas suatu senyawa atau produk alam dalam menghambat atau membunuh pertumbuhan jamur. Pengujian ini sangat penting dalam pengembangan obat-obatan baru untuk mengatasi infeksi jamur, serta dalam mengevaluasi keefektifan produk-produk alami yang berpotensi sebagai agen antijamur. Dalam beberapa penelitian pengaplikasian metode difusi agar sangat sering digunakan dalam uji antifungi (Ghanem *et al.*, 2022).

Metode difusi agar adalah salah satu metode yang paling umum digunakan untuk menguji aktivitas antimikroba, termasuk antifungi. Metode ini sederhana, cepat, dan relatif murah, sehingga sering digunakan dalam laboratorium mikrobiologi. Prinsip kerjanya adalah dengan menempatkan sampel senyawa antifungi pada cakram kertas yang kemudian diletakkan di atas permukaan media agar yang telah diinokulasi dengan mikroba uji jamur. Jika senyawa tersebut memiliki aktivitas antimikroba, maka akan terbentuk zona hambatan (zona bening) di sekitar cakram, yang menunjukkan bahwa pertumbuhan jamur terhambat (C. A. *et al.*, 2024).



Gambar 5. Skrining aktivitas antifungi dengan metode difusi agar (Tambunan dkk., 2022)

2.10 Kromatografi Lapis Tipis

Kromatografi adalah teknik analisis yang digunakan untuk memisahkan campuran tertentu menjadi komponen-komponennya. Teknik ini didasarkan pada prinsip bahwa ketika campuran dan fase gerak dibiarkan mengalir di atas fase diam, pemisahan terjadi berdasarkan perbedaan afinitas komponen terhadap 2 fase ini (More *et al.*, 2024). Kromatografi lapis tipis (KLT) adalah salah satu metode yang paling berguna untuk mengikuti kemajuan reaksi kimia organik dan untuk menguji kemurnian senyawa organik dalam fitokimia dan bioteknologi. Kelebihan metode ini ialah mudah dalam preparasi sampel, sederhana, biaya relatif murah, volume pelarut yang digunakan sedikit, selektif dan sensitif, serta kromatogramnya dapat diamati secara visual sehingga metode ini masih banyak digunakan dalam penelitian (Setiawan *et al.*, 2022).

Pemisahan dengan Kromatografi Lapis Tipis (KLT) dilakukan beberapa kali menggunakan beberapa eluen dengan tingkat kepolaran yang berbeda untuk mendapatkan pelarut yang mampu memberikan pemisahan yang baik serta noda zat warna yang bagus. Penentuan golongan senyawa pada uji KLT dilakukan dengan penyemprotan plat KLT dengan beberapa pereaksi. Komponen kimia yang diuji pada KLT meliputi uji alkaloid, fenol, terpenoid, dan flavonoid.

Analisis dengan menggunakan KLT merupakan pemisahan komponen kimia berdasarkan prinsip adsorpsi dan partisi yang ditentukan oleh fase diam (adsorben) dan fase gerak (eluen). Komponen kimia bergerak naik mengikuti fase gerak karena daya serap adsorben terhadap komponen-komponen kimia tidak sama sehingga komponen kimia dapat bergerak dengan jarak yang berbeda berdasarkan tingkat kepolarannya. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya pemisahan komponen-komponen kimia di dalam ekstrak. KLT dilakukan beberapa kali menggunakan bermacam eluen dengan tingkat kepolaran yang berbeda untuk mendapatkan pelarut yang mampu memberikan pemisahan yang baik serta noda zat warna yang bagus (Kowalska *et al.*, 2022).

Penelitian dalam bidang kimia organik khususnya dalam isolasi bahan alam banyak memanfaatkan analisis menggunakan KLT karena merupakan teknik yang sederhana dan cepat untuk mengetahui komponen-komponen dalam suatu campuran ekstrak ataupun fraksi. Beberapa senyawa yang didapatkan dari actinomycetes sedimen mangrove telah dilaporkan memiliki senyawa bioaktif sebagai antifungi (Fatimah *et al.*, 2022).

2.11 Karakterisasi Senyawa

Karakterisasi senyawa bertujuan untuk melihat komponen struktur secara mendalam dari senyawa yang terkandung di dalam ekstrak. Adapun instrumen karakterisasi yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu *Liquid Chromatography - Mass Spectrometry/Mass Spectrometry* (LC-MS/MS) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

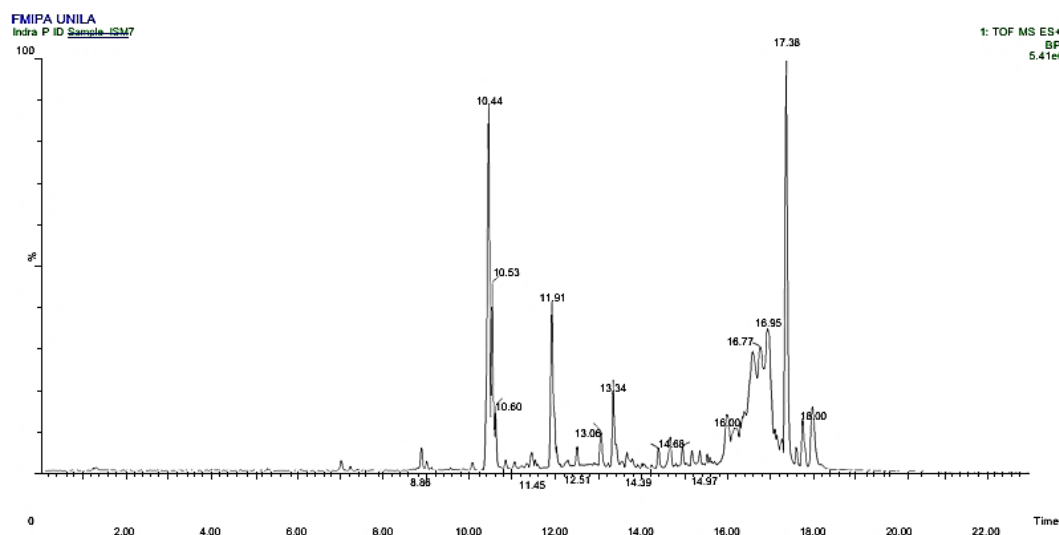
2.11.1 *Liquid Chromatography – Mass Spectrometry/Mass Spectrometry (LC-MS/MS)*

Liquid Chromatography Mass Spectrometry (LC/MS-MS) adalah teknik analisis yang menggabungkan kemampuan pemisahan fisik dari kromatografi cair dengan spesifisitas deteksi spektrometri massa. Kromatografi cair memisahkan komponen-komponen sampel dan kemudian ion bermuatan dideteksi oleh spektrometer massa. Data LC-MS dapat digunakan untuk memberikan informasi tentang berat molekul, struktur, identitas dan kuantitas komponen sampel tertentu. Senyawa dipisahkan atas dasar interaksi relatif dengan lapisan kimia partikel-partikel (fase diam) dan elusi pelarut melalui kolom (fase gerak) (Mangurana dkk., 2019).

Hasil analisis data LC/MS-MS akan didapatkan kromatogram berupa alur tinggi peak dan akan didapatkan bobot molekul dari senyawa yang terdapat dalam ekstrak sehingga dapat diketahui jumlah senyawa yang dikandung setiap sampel (Raihan *et al.*, 2023). Keuntungan dari LC-MS yaitu dapat menganalisis lebih luas berbagai komponen, seperti senyawa termal labil, polaritas tinggi atau bermassa molekul tinggi, bahkan juga protein. Komponen elusi dari kolom kromatografi kemudian diteruskan ke spektrometer massa melalui antarmuka khusus. Prinsipnya adalah pemisahan analit-analit berdasarkan kepolarannya, alatnya terdiri atas kolom (sebagai fase diam) dan larutan tertentu sebagai fase geraknya tekanan tinggi digunakan untuk mendorong fase gerak.

Campuran analit akan terpisah berdasarkan kepolarannya dan kecepatannya untuk sampai ke detektor (waktu retensinya) akan berbeda, hal ini akan teramati pada spektrum yang puncak-puncaknya terpisah (Mangurana dkk., 2019). Bantuan pompa fase gerak cair dialirkan melalui kolom ke detektor. Cuplikan dimasukkan ke dalam aliran fase gerak dengan cara penyuntikan. Di dalam kolom terjadi pemisahan komponen-komponen campuran, karena perbedaan kekuatan interaksi antara larutan terhadap fase diam.

Larutan yang kurang kuat interaksinya dengan fasa diam akan keluar dari kolom lebih dulu. Sebaliknya, larutan yang kuat berinteraksi dengan fasa diam maka larutan tersebut akan keluar kolom, kemudian dideteksi oleh detektor dan direkam dalam bentuk kromatogram. Investigasi senyawa menggunakan LC-MS/MS juga dilakukan pada actinomycetes sedimen mangrove dari Sriminosari, Lampung Timur Indonesia oleh (Prasetya, 2022). Analisis senyawa alkaloid terdeteksi pada waktu retensi 17,38 menit dengan kerangka dasar morfolin dan rumus formula C_4H_9NO .



Gambar 6. Kromatogram ion total Actinomycetes Sedimen Mangrove (Prasetya, 2022)

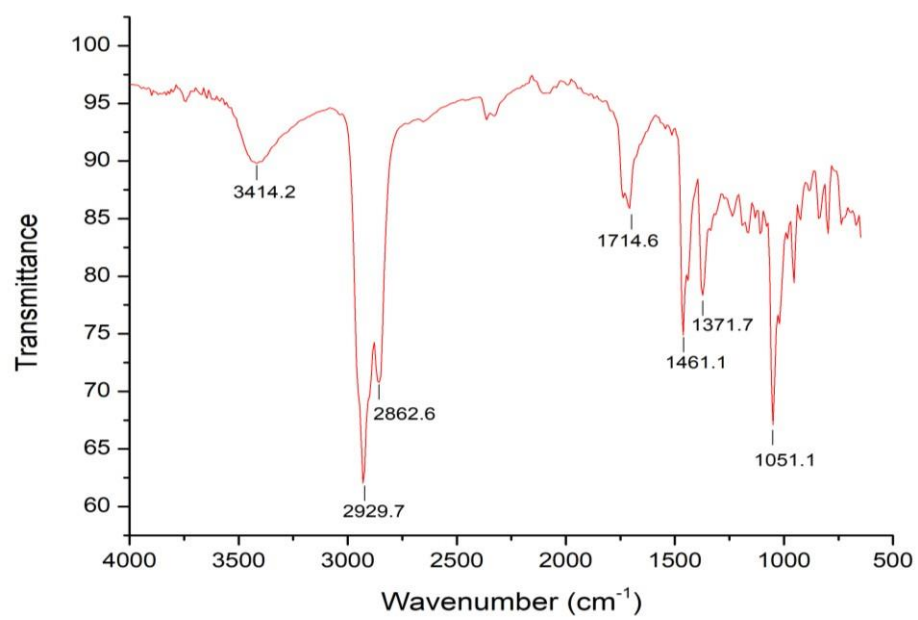
2.11.2 *Fourier Transform Infra Red Spectrophotometer (FT-IR)*

FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) adalah teknik spektroskopi yang digunakan untuk mengukur interaksi antara radiasi inframerah dan suatu sampel. FTIR dapat digunakan untuk mengidentifikasi senyawa kimia, menganalisis struktur molekul, dan mengukur konsentrasi suatu zat (Balachandar *et al.*, 2018).

Spektroskopi FTIR adalah metode yang mempelajari interaksi antara materi dan radiasi elektromagnetik yang muncul dalam bentuk spektrum. Setiap molekul memiliki sidik jari spektrum yang membuatnya unik dan memungkinkannya dibedakan dari molekul lain. Spektroskopi FTIR juga merupakan metode yang efektif dan tidak merusak untuk memantau perubahan seluler (Fadlelmoula *et al.*, 2022).

Spektrum inframerah-tengah paling sering digunakan dalam analisis sampel, namun spektrum infra merah-jauh dan pendek juga mampu memberikan informasi tentang sampel yang dianalisis. Radiasi IR merupakan sekelompok gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang lebih panjang dari radiasi tampak, yang tidak terlihat oleh mata manusia. Daerah IR dari spektrum elektromagnetik berkisar pada panjang gelombang 0,8–100 μm . Biasanya, IR dibagi menjadi tiga rentang, yaitu near-IR, mid-IR, dan far-IR. Sebagian besar IR yang digunakan dalam aplikasi medis berada dalam rentang mid-IR, dengan mempertimbangkan radiasi dari spektrum elektromagnetik, dalam interval bilangan gelombang dari 4000 cm^{-1} sampai 400 cm^{-1} frekuensi radiasi yang diserap bertanggung jawab atas setiap interaksi getaran subatomic (Nandiyanto *et al.*, 2019).

Karakterisasi *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FT-IR) dari Actinomycetes bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi kimia yang terdapat dalam senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan oleh mikroorganisme ini. Spektrum FTIR Actinomycetes umumnya menunjukkan pita serapan khas yang menunjukkan keberadaan gugus fungsinya. Pengukuran menggunakan FTIR juga dilakukan pada penelitian sebelumnya actinomycetes sedimen mangrove dari Sriminosari, Lampung Timur, Indonesia oleh (Prasetya, 2022). Dalam mengkonfirmasi spektra massa dan formula senyawa pada kromatogram LC-MS/MS analisis FTIR menunjukkan kesesuaian dengan data LC-MS/MS yang ada.



Gambar 7. Spektrum FT-IR (Prasetya, 2022).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Unit Pelaksana Teknis Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT LTSIT) Universitas Lampung pada bulan Oktober 2024 - Mei 2025. Analisis instrumen *Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry* (LC-MS/MS) dilakukan di Pusat Laboratorium Forensik Badan Reserse Kriminal POLRI, Bogor dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) di Laboratorium Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat gelas diantaranya gelas ukur, pipet tetes, gelas beaker, kaca preparat, *coverslip*, cawan petri, blender, kasa gulung, kapas, *chamber*, plastik *wrap*, plastik tahan panas, tisu, pinset, jarum ose, labu evaporator, bunsen, korek api, *magnetic stirrer*, spatula, mikropipet 100 μL dan 1000 μL , tip mikropipet, wadah tip, spidol, lidi, autoklaf Tomy SX-700, lampu UV λ 254 nm, *rotary evaporator* Buchi/R210, lampu UV Kohler/SN402006, neraca analitik Wigggen Houser, *Laminar Air Flow* (LAF) ESCO/AVC4A1

mikroskop Axio Zeiss A1, instrument *Liquid Chromatography Mass Spectrometer* (LCMS/MS) ACQUITY UPLC® H-Class System (Waters, Beverly, MA, USA), dan *Fourier Transform Infrared Spectrometry* (FTIR) PerkinElmer Frontier Optica FTIR (FTIR-00-0515).

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari ampas tebu, beras, *Nutrient Agar* (NA), *Nutrient Broth* (NB), *Potato Dextrose Agar* (PDA), agar-agar plain, isolat actinomycetes sedimen mangrove, air laut buatan, akuades, metanol (MeOH), etil asetat (EtOAC), diklorometana, silika gel, alkohol, pereaksi serum sulfat, pereaksi ninhidrin, dan ketokonazol.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Peremajaan Isolat Actinomycetes Sedimen Mangrove

Isolat sedimen mangrove yang menjadi bahan penelitian merupakan isolat yang sebelumnya sudah diisolasi oleh (Prasetya, 2022). Isolat tersebut diperoleh dari sedimen mangrove di Srimosari, Lampung Timur. Isolat tersebut dilakukan peremajaan. Peremajaan isolat dilakukan dengan keadaan steril dalam *Laminar Air Flow* (LAF) yang sebelumnya sudah disterilkan. Peremajaan isolat diawali dengan menuang media *Nutrient Agar* (NA) ke dalam cawan petri plastik dengan keadaan bunsen menyala selama meremajakan guna mengurangi kontaminasi dengan mikroba di udara. Selama menunggu media memadat alat-alat peremajaan isolat actinomycetes disinari dengan lampu UV selama kurang lebih 20 menit.

Selanjutnya, sebanyak 2–3 ose isolat actinomycetes dipindahkan ke media dalam cawan petri. Cawan petri ditutup, dilapisi dengan plastik wrap, kemudian dilapisi kertas, dan diberi penamaan untuk selanjutnya diinkubasi selama 7 hari.

3.3.2 Identifikasi Mikroskopis Actinomycetes Sedimen Mangrove

Setiap isolat yang sudah diremajakan diidentifikasi secara mikroskopis menggunakan metode *coverslip slide culture* merujuk dari (Setiawan *et al.*, 2021) dengan beberapa modifikasi. *Coverslip* ditanamkan dalam media NA dengan kemiringan sudut 45°. Actinomycetes kemudian digores berdekatan dengan *coverslip* dan diinkubasi selama 4 hari. Actinomycetes yang sudah menempel pada *coverslip* diambil dan diletakkan pada kaca preparat lalu diamati morfologi seluler dan strukturnya dibawah mikroskop Axio Zeiss A1 dengan perbesaran 100x dan 400x.

3.3.3 Kultivasi Actinomycetes Sedimen Mangrove

Isolat actinomycetes sedimen mangrove yang telah diidentifikasi secara makroskopis dan mikroskopis selanjutnya diinkultivasi untuk mendapatkan ekstrak kasar (crude) menggunakan metode *solid state fermentation* (SSF) yang merujuk metode dari (Setiawan *et al.*, 2021) dan metode *Submerged Fermentation* (SmF) dengan beberapa modifikasi (Campos *et al.*, 2021). Media yang digunakan dalam metode SSF yaitu media ampas tebu, dan beras, sedangkan media yang digunakan dalam metode SmF adalah *Nutrient Broth* (NB) . Isolat actinomycetes sedimen mangrove ditumbuhkan pada media inokulum cair NB 50 mL dan diinkubasi pada suhu ruang selama 7 hari.

Inokulum yang telah tumbuh kemudian dipindahkan ke dalam Erlenmeyer 2000 mL yang berisi 200 gram ampas tebu, beras dan NB dalam keadaan steril untuk kemudian diinkubasi selama 14 hari pada suhu ruang.

3.3.4 Ekstraksi Senyawa Metabolit Sekunder

Untuk mendapatkan senyawa bioaktif dari actinomycetes yang sudah dikultivasi perlu dilakukan proses ekstraksi. Pada penelitian ini menggunakan metode maserasi. Hasil kultur pada masing-masing media dimaserasi menggunakan pelarut etil asetat (EtOAc) selama 24 jam dan 3 kali pengulangan, kemudian disaring dan dipekatkan menggunakan *rotary evaporator* hingga dihasilkan ekstrak kasar.

3.3.5 Skrining Aktivitas Antifungi Terhadap *Fusarium oxysporum*

Ekstrak kasar dari isolat (ISM7) dan masing-masing media kultivasinya ditimbang bobotnya. Masing-masing sampel disiapkan larutan stok dengan konsentrasi 10 mg/mL dalam DMSO 1% untuk skrining aktivitas antifungi terhadap *Fusarium oxysporum*. *Fusarium oxysporum* merupakan deposit yang tersedia di UPT-LTSIT Universitas Lampung. Skrining aktivitas antifungi dilakukan dengan metode difusi agar ring. Larutan stok ekstrak actinomycetes yang sudah disiapkan, dibuat dengan konsentrasi 10 mg/mL beserta kontrol positif (ketokonazol) dan kontrol negatif (DMSO 1%).

Suspensi fungi *Fusarium oxysporum* diambil sebanyak 100 μ L dengan menggunakan mikropipet lalu disebar merata pada media PDA 20 mL (dalam keadaan cair). Setelah merata media PDA dituang ke dalam cawan petri, setelah media menjadi padat ditanamkan ring dalam cawan berisi media tersebut.

Ekstrak yang telah disiapkan kemudian diteteskan pada ring tersebut sebanyak 50 μ L beserta kontrol positif dan kontrol negatif. Cawan kemudian ditutup rapat dengan plastik wrap dan diinkubasi selama 24 hingga 48 jam pada suhu ruang. Setelah proses inkubasi, sampel dapat dilakukan analisis kemampuan menghambat pertumbuhan *Fusarium oxysporum* melalui pengukuran zona bening yang terbentuk di sekitar ring.

3.3.5 Kromatografi Lapis Tipis (KLT)

Ekstrak kasar yang paling unggul dalam menghambat pertumbuhan *fusarium oxysporum*, selanjutnya akan dilakukan pemisahan komponen senyawa melalui KLT (Kromatografi Lapis Tipis). Menggunakan plat silika sebagai fase diam dan eluen sebagai fase gerak. Ekstrak kasar ditotolkan sedikit pada plat dan dielusi menggunakan perbandingan eluen seperti n-heksana : etil asetat (9:1) dan DCM : metanol (1:1) untuk melihat pola pemisahan terbaik. Plat divisualisasi di bawah sinar UV 254 nm dan direaksikan dengan beberapa reagen diantaranya serum sulfat dan reagen ninhidrin (Setiawan *et al.*, 2022).

3.3.6 Fraksinasi Kromatografi Kolom

Ekstrak kasar isolat unggul yang telah dilakukan analisis pemisahan komponen senyawa dengan KLT akan dilakukan fraksinasi menggunakan kromatografi kolom. Fraksinasi menggunakan silika gel sebagai fase diam dan eluen sebagai fase gerak. Penggunaan eluen diperlukan beberapa jenis dan perbandingan eluen yang sesuai untuk dapat pemisahan senyawa yang lebih baik. Hasil fraksinasi kemudian dilakukan analisis KLT menggunakan eluen yang sesuai.

Selanjutnya dari masing-masing fraksi yang diuji aktivitas antifunginya terhadap *Fusarium oxysporum* untuk mengetahui fraksi yang aktif. Sampel dapat dikarakterisasi lebih lanjut untuk mengetahui senyawa tersebut (Sudding *et al.*, 2021).

3.3.7 Karakterisasi Senyawa

Sampel selanjutnya dikarakterisasi menggunakan instrumen instrument *Liquid Chromatography Mass Spectrometer* (LCMS/MS) ACQUITY UPLC® H-Class System (Waters, Beverly, MA, USA), dan *Fourier Transform Infrared Spectrometer* (FTIR) PerkinElmer Frontier Optica FTIR (FTIR-00-0515) di Laboratorium Kimia, FMIPA Universitas Negeri Padang.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Adapun simpulan dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Telah diperoleh senyawa bioaktif dari isolat actinomycetes ISM7 dalam media kultivasi ampas tebu yang optimum sebagai antifungi, secara mikroskopis isolat termasuk ke dalam genus *Streptomyces*.
2. Hasil uji bioaktivitas antifungi senyawa dari actinomycetes ISM7 digolongkan ke dalam kategori kuat dalam menghambat pertumbuhan fungi *Fusarium oxysporum* karena memiliki zona hambat lebih besar atau sama dengan 14 mm pada konsentrasi 10 mg/mL
3. Hasil karakterisasi senyawa bioaktif menggunakan LC-MS/MS dan FTIR diperkirakan senyawa golongan peptida dengan struktur dasar fenilalanin yang memiliki formula molekul $C_{23}H_{36}N_4S_2$ pada waktu retensi 12,11 menit dan *base peak* 507,2283 m/z

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah untuk uji toksisitas guna mendapatkan lead compound antifungi yang dapat diaplikasikan dalam dunia kesehatan, serta pemurnian senyawa lebih lanjut untuk dapat dikarakterisasi menggunakan instrumen NMR.

DAFTAR PUSTAKA

- Ameen, F., AlNadhari, S., and Al-Homaidan, A. A. 2021. Marine Microorganisms as an Untapped Source of Bioactive Compounds. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 28(1): 224-231.
- Aminah, N. S., Laili, E. R., Rafi, M., Rochman, A., Insanu, M., and Tun, K. N. W. 2021. Secondary Metabolite Compounds from Sida Genus and Their Bioactivity. *Heliyon*. 7(4).
- Arie, T. 2019. *Fusarium* Diseases of Cultivated Plants, Control, Diagnosis, and Molecular and Genetic Studies. *Journal of Pesticide Science*. 44(4): 275-281.
- Balachandar, R., Karmegam, N., Saravanan, M., Subbaiya, R., and Gurumoorthy, P. 2018. Synthesis of Bioactive Compounds from Vermicast Isolated Actinomycetes Species and its Antimicrobial Activity Against Human Pathogenic Bacteria. *Microbial Pathogenesis*. 121: 155-165.
- Barka, E. A., Vatsa, P., Sanchez, L., Gaveau-Vaillant, N., Jacquard, C., Meier-Kolthoff, J. P., Klenk, H.-P., Clément, C., Ouhdouch, Y., and van Wezel, G. P. 2016. Taxonomy, Physiology, and Natural Products of Actinobacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 80(4): 1-43.
- Booth, J. M., Fusi, M., Marasco, R., and Daffonchio, D. 2023. The Microbial Landscape in Bioturbated Mangrove Sediment: A Resource for Promoting Nature-Based Solutions for Mangroves. *Microbial Biotechnology*. 16(8): 1584-1602.
- Anazodo, C. A., Abana, C. C., Agu, K. C., Victor-Aduloju, A. T., Okoli, F. A., Ifediegwu, M. C., and Chidozie, C. P. 2024. In Vitro Antifungal Efficacy of Allium Cepa and Allium Sativum: A Comparative Study with Commercial Drugs. *Research and Analysis Journal*. 7(08): 33-39

- Campos, V., Kasparý, R. M., Rossi, M. J., and Medeiros, T. A. M. 2021. Biosynthesis of γ -Polyglutamic Acid by *Bacillus Licheniformis* Through Submerged Fermentation (SmF) and Solid-State Fermentation (SSF). *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*. 35(3): 333-344.
- Chandra, P., Sharma, R. K., and Arora, D. S. 2020. Antioxidant Compounds from Microbial Sources: A Review. *Food Research International*. 129: 108849.
- de Oliveira, B. H., Coradi, G. V., de Oliva-Neto, P., and do Nascimento, V. M. G. 2020. Biocatalytic Benefits of Immobilized *Fusarium* sp.(GFC) Lipase from Solid State Fermentation on Free Lipase from Submerged Fermentation. *Industrial Crops and Products*. 147: 112235.
- Deilamani, M. O., Nikkhahi, F., Bakht, M., Ali Alizadeh, S., Fardsanei, F., Javadi, A., Marashi, S. M. A., Aslanimehr, M., and Peymani, A. 2023. Evaluation of Ethanol and EDTA Concentrations in the Expression of Biofilm-Producing *smf-1*, *rpff* genes in XDR Clinical Isolates of *Stenotrophomonas Maltophilia*. *BMC Microbiology*. 23(1): 1-12.
- Diarra, U., and Osborne-Naikatini, T. 2023. Isolation, Characterization and Screening of Actinomycetes Associated with Fijian Ant-Plant Symbioses. *Microbiology (United Kingdom)*. 169(11): 1-12.
- El-Sayed, A. S. A., Shindia, A., Ammar, H., Seadawy, M. G., and Khashana, S. A. 2024. Bioprocessing of Epothilone B from *Aspergillus Fumigatus* Under Solid State Fermentation: Antiproliferative Activity, Tubulin Polymerization and Cell Cycle Analysis. *BMC Microbiology*. 24(1):1-22.
- Fadlelmoula, A., Pinho, D., Carvalho, V. H., Catarino, S. O., and Minas, G. 2022. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy to Analyse Human Blood over the Last 20 Years: A Review towards Lab-on-a-Chip Devices. *Micromachines*. 13(2).
- Fatimah, Suroiyah, F., Solikha, N., Rahayuningtyas, N. D., Surtiningsih, T., Nurhariyati, T., Ni'matuzahroh, Affandi, M., Geraldi, A., and Thontowi, A. 2022. Antimicrobial Activity of Actinomycetes Isolated from Mangrove Soil in Tuban, Indonesia. *Biodiversitas*. 23(6): 2957-2965.

- Fatmawati, U., Qurrata'aini, M. R., Rosyidi, N. W., Sari, D. P., and Santosa, S. 2023. Optimization of Culture Medium and Bioformulation of Rhizobial Actinomycetes to Enhance Soybean Plant Growth. *Biodiversitas*. 24(5): 2912-2918.
- Feng, X., Ng, K., Ajlouni, S., Zhang, P., and Fang, Z. 2024. Effect of Solid-State Fermentation on Plant-Sourced Proteins: A Review. *Food Reviews International*. 40(9): 2580-2617.
- Pintas, K., and Quave L. 2019. A Review of Botanicals Exhibiting Antifungal Activity Against *Malassezia Spp.* Implicated in Common Skin Conditions. *Current Dermatology Reports*. 10(2): 132-134.
- Ghanem, G. A. M., Gebily, D. A. S., Ragab, M. M., Ali, A. M., Soliman, N. E. D. K., and El-Moity, T. H. A. 2022. Efficacy of Antifungal Substances of Three *Streptomyces* spp. against Different Plant pathogenic Fungi. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 32(1).
- Haile, J. K., N'Diaye, A., Walkowiak, S., Nilsen, K. T., Clarke, J. M., Kutcher, H. R., Steiner, B., Buerstmayr, H., and Pozniak, C. J. 2019. *Fusarium* Head Blight in Durumwheat: Recent Status, Breeding Directions, and Future Research Prospects. *Phytopathology*. 109(10): 1664-1675.
- Herison, A., Darmawan, A., Romdania, Y., and Puspaningrum, C. 2021. Analysis of Suitability of the Mangrove Ecotourism Area Pandan Alas Sriminosari Village Labuhan Maringgai East Lampung. *Advances in Engineering Research*. 64-68.
- Imamsyah, A., Arthana, I. W., and Astarini, I. A. 2020. The Influence of Physicochemical Environment on the Distribution and Abundance of Mangrove Gastropods in Ngurah Rai Forest Park Bali, Indonesia. *Biodiversitas*. 21(7).
- Irham, M., Fadhala, Y., & Setiawan, I. 2018. The Spatial Distribution of Suspended Sediment Analysis Along Krueng Cut River, Banda Aceh. *IOP:Conference Series: Earth and Environmental Science*. 106: 012066.
- Kowalska, T. 2022. Botanicals - Its Versatile Potential and Selected Applications. *Molecules*. 27(19): 6607.

- Kumar, P., Kundu, A., Kumar, M., Solanki, R., and Kapur, M. K. 2019. Exploitation of Potential Bioactive Compounds from two Soil Derived Actinomycetes, *Streptomyces* sp. strain 196 and RI.24. *Microbiological Research*. 126312.
- Limbadi, S., Luo, X., Lio, S., Wang, J., Zhou, X., Yang, B., and Liu, Y. 2018. Bioactive Novel Indole Alkaloids and Steroids from Deep Sea-Derived Fungus *Aspergillus fumigatus* SCSIO 41012. *Molecules*. 23 : 2379.
- Mangurana, W. O. I., Yusnaini, Y., dan Sahidin, S. 2019. Analisis LC-MS/MS (Liquid Chromatograph Mass Spectrometry) dan Metabolit Sekunder Serta Potensi Antibakteri Ekstrak N-Heksana Spons *Callyspongia Aerizusa* yang diambil Pada Kondisi Tutupan Terumbu Karang yang Berbeda di Perairan Teluk Staring. *Jurnal Biologi Tropis*. 19(2): 131-141.
- Math, H. H., Nayaka, S., Rudrappa, M., Kumar, R. S., Almansour, A. I., Perumal, K., and Kantli, G. B. 2023. Isolation, Characterization of Pyraclostrobin Derived from Soil Actinomycete *Streptomyces* sp. HSN-01 and Its Antimicrobial and Anticancer Activity. *Antibiotics*. 12(7): 1-20.
- Maurya, K., Mahajan, S., and Chaube, N. 2021. Remote Sensing Techniques: Mapping and Monitoring of Mangrove Ecosystem- A Review. *Complex and Intelligent Systems*. 7(6): 2797-2818.
- Naikpatil, S. V., and Rathod, J. L. 2011. Selective Isolation and Antimicrobial Activity of Rare Actinomycetes from Mangrove Sediment of Karwar. *Journal of Ecobiotechnology*. 3(10): 48-53.
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., and Ragadhita, R. 2019. How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. *Indonesian Journal of Science and Technology*. 4(1): 97-118.
- Oktavianti, A., and Salsabilla, I. 2024. Review Artikel : Potensi Actinomycetes Sebagai Antijamur Pada Suatu Tanaman. 15(3): 261-269.
- Pintas, K., and Quave L. 2019. A Review of Botanicals Exhibiting Antifungal Activity Against *Malassezia* spp. Implicated in Common Skin Conditions. *Current Dermatology Reports*. 10(2): 132-134.
- Prasetya, I. 2022. Isolasi dan Karakterisasi Senyawa Bioaktif Actinomycetes Sedimen Mangrove Serta Uji Aktivitas Antibakteri Terhadap *Staphylococcus aureus*.

- Qian, L., Yu, X., Gu, H., Liu, F., Fan, Y., Wang, C., He, Q., Tian, Y., Peng, Y., Shu, L., Wang, S., Huang, Z., Yan, Q., He, J., Liu, G., Tu, Q., and He, Z. 2023. Vertically Stratified Methane, Nitrogen and Sulphur Cycling and Coupling Mechanisms in Mangrove Sediment Microbiomes. *Microbiome*. 11(1): 1-19.
- Rahman, M. S., Rahman, M., Jolly, Y. N., Hossain, M. K., Semme, S. A., Paray, B. A., Arai, T., Yu, J., and Hossain, M. B. 2024. Heavy Metals in Afforested Mangrove Sediment from the World's Largest Delta: Distributional Mapping, Contamination Status, Risk Assessment and Source Tracing. *Marine Pollution Bulletin*. 116429.
- Rahmani, N., Kahar, P., Lisdiyanti, P., Hermiati, E., Lee, J., Yopi, Prasetya, B., Ogino, C., and Kondo, A. 2018. Xylanase and Feruloyl Esterase from Actinomycetes Cultures Could Enhance Sugarcane Bagasse Hydrolysis in the Production of Fermentable Sugars. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*. 82(5): 904-915.
- Raihan, A., Illahi, A. K., Rokhimah, S., Elisa, T. P. P., and Maliza, R. 2023. Identification of Bioactive Solutions of Corn Silk (*Zea mays L.*) Extract and Biological Activity Test By Bioinformatics. *Jurnal Biologi Tropis*. 23(1). 245-250.
- Rengifo, L. R., Rosas, P., Méndez, N., Ludeña, Y., Sirvas, S., Samolski, I., and Villena, G. K. 2023. Comparison of Pigment Production by Filamentous Fungal Strains under Submerged (SmF) and Surface Adhesion Fermentation (SAF). *Journal of Fungi*. 9(1).
- Rusmayadi, G., Zulfikhar, R., Angrianto, R., Sutiharni, S., and Tuhumena, V. L. 2024. Analysis of Mangrove Ecosystems and Number of Plants on Air Pollution Reduction by Mangrove Plants. *West Science Agro*. 2(01): 1-9.
- Selim, M. S. M., Abdelhamid, S. A., and Mohamed, S. S. 2021. Secondary Metabolites and Biodiversity of Actinomycetes. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 19(1).
- Setiawan, A., Setiawan, F., Juliasih, N. L. G. R., Widyastuti, W., Laila, A., Setiawan, W. A., Djailani, F. M., Mulyono, M., Hendri, J., and Arai, M. 2022. Fungicide Activity of Culture Extract from *Kocuria palustris* 19C38A1 Against *Fusarium oxysporum*. *Journal of Fungi*. 8(3).

- Setiawan, A., Widyastuti, W., Irawan, A., Wijaya, O. S., Laila, A., Setiawan, W. A., Juliasih, N. L. G. R., Nonaka, K., Arai, M., and Hendri, J. 2021. Fermentation Shrimp Shell Waste in Solid State Using *Pseudonocardia Carboxydivorans* 18a13o1 to Produce Bioactive Metabolites. *Fermentation*. 7(4): 1-10.
- Srivastava, V., Patra, K., Pai, H., Aguilar-Pontes, M. V., Berasategui, A., Kamble, A., Di Pietro, A., and Redkar, A. 2024. Molecular Dialogue During Host Manipulation by the Vascular Wilt Fungus *Fusarium oxysporum*. *Annual Review of Phytopathology*. 62(1): 97-126.
- Sudding, Salempa, P., dan Nurhikmah. 2021. Isolation and Identification of Ethyl Acetate Extract Secondary Metabolite Compound of Kayu Jawa Bark (*L. Coromandelica*). *Journal of Physics: Conference Series*. 1899(1).
- Tambunan, V. O., Bahar, M., Pramono, A., Fauziah, C., Yusmaini, H., dan Zulfa, F. 2022. Potensi Daya Hambat Filtrat Zat Metabolit Actinomycetes dari Kebun Raya Bogor terhadap Pertumbuhan *Candida albicans* dan *Malassezia furfur*. *Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi*. 10(1): 66.
- Zainul, A. Z., Cristobal, N. A., Ratna Dewi, K., and Parameswaran, B. 2020. Valorisation of Agro Industrial Residues-Volume II, Non Biological Approaches. *Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future*.
- Zhang, L., Zhang, H., Huang, Y., Peng, J., Xie, J., and Wang, W. 2021. Isolation and Evaluation of Rhizosphere Actinomycetes With Potential Application for Biocontrolling *Fusarium* Wilt of Banana Caused by *Fusarium oxysporum*. cubense Tropical Race 4. *Frontiers in Microbiology*. 12: 763038.