

**ISOLASI BAKTERI SEDIMEN *MANGROVE* LAMPUNG SELATAN DAN
PESAWARAN PENGHASIL SENYAWA METABOLIT SEKUNDER
SEBAGAI ANTIBAKTERI TERHADAP *Pseudomonas aeruginosa***

(Skripsi)

Oleh

**SAYYID AMANULLAH GANI
NPM 2117011067**



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

ISOLASI BAKTERI SEDIMEN *MANGROVE* LAMPUNG SELATAN DAN PESAWARAN PENGHASIL SENYAWA METABOLIT SEKUNDER SEBAGAI ANTIBAKTERI TERHADAP *Pseudomonas aeruginosa*

Oleh

SAYYID AMANULLAH GANI

Resistensi antibiotik pada bakteri patogen seperti *Pseudomonas aeruginosa* menjadi ancaman kesehatan global yang serius, sehingga menuntut eksplorasi sumber daya hayati baru sebagai agen antimikroba. Penelitian ini bertujuan mengisolasi bakteri sedimen *mangrove* dari Lampung Selatan dan Pesawaran yang berpotensi menghasilkan senyawa metabolit sekunder antibakteri. Ekosistem *mangrove* dipilih karena karakteristik lingkungannya yang kompleks dan kaya nutrisi organik, sehingga mendukung keberagaman mikroba fungsional.

Metodologi penelitian meliputi isolasi bakteri melalui metode pengenceran bertingkat pada media *Zobell Marine*, dilanjutkan dengan skrining aktivitas antibakteri menggunakan metode difusi cakram. Isolat dengan penghambatan tertinggi dikarakterisasi morfologinya, kemudian dikultivasi dalam media *Nutrient Broth* (NB) untuk ekstraksi metabolit sekunder dengan pelarut etil asetat. Karakterisasi senyawa dilakukan menggunakan instrumen FTIR untuk identifikasi gugus fungsi dan LC-MS/MS untuk penentuan profil molekul senyawa aktif.

Hasil penelitian memperoleh 26 isolat bakteri, dimana isolat MP4-P7-B3 menunjukkan aktivitas paling signifikan dengan zona hambat 12 mm terhadap *P. aeruginosa*. Isolat ini secara morfologi memiliki kemiripan dengan genus *Bacillus*. Analisis FTIR dan KLT mengindikasikan keberadaan senyawa golongan siklik dipeptida. Hasil LC-MS/MS berhasil mengidentifikasi 25 profil senyawa, termasuk *Cyclo(L-Pro-L-Val)*, *Cyclo(Hpro-Leu)*, dan *Cyclo(L-Phe-L-Pro)* yang terindikasi kuat memiliki aktivitas antibakteri. Temuan ini menegaskan potensi bakteri sedimen *mangrove* lokal sebagai sumber antibiotik baru dalam mengatasi masalah resistensi bakteri.

Kata Kunci: Antibakteri, *Bacillus* sp., metabolit sekunder, *Pseudomonas aeruginosa*, sedimen *mangrove*.

ABSTRACT

ISOLATION OF BACTERIA FROM SEDIMENTS IN SOUTH LAMPUNG AND PESAWARAN MANGROVES THAT PRODUCE SECONDARY METABOLITE COMPOUNDS AS ANTIBACTERIAL AGENTS AGAINST *Pseudomonas aeruginosa*

By

SAYYID AMANULLAH GANI

Antibiotic resistance in pathogenic bacteria such as *Pseudomonas aeruginosa* poses a serious global health threat, requiring the exploration of new biological resources as antimicrobial agents. This study aims to isolate mangrove sediment bacteria from South Lampung and Pesawaran that have the potential to produce antibacterial secondary metabolites. The mangrove ecosystem was chosen because of its complex environmental characteristics and rich organic nutrients, which support functional microbial diversity.

The research methodology included bacterial isolation through a stepwise dilution method on Zobell Marine medium, followed by antibacterial activity screening using the disc diffusion method. Isolates with the highest inhibition were characterized morphologically, then cultivated in Nutrient Broth (NB) medium for secondary metabolite extraction with ethyl acetate solvent. Compound characterization was performed using FTIR instruments for functional group identification and LC-MS/MS for determining the molecular profile of active compounds.

The study obtained 26 bacterial isolates, of which isolate MP4-P7-B3 showed the most significant activity with an inhibition zone of 12 mm against *P. aeruginosa*. Morphologically, this isolate is similar to the genus *Bacillus*. FTIR and KLT analyses indicated the presence of cyclic dipeptide compounds. LC-MS/MS analysis successfully identified 25 compound profiles, including Cyclo(L-Pro-L-Val), Cyclo(Hpro-Leu), and Cyclo(L-Phe-L-Pro), which are strongly indicated to have antibacterial activity. These findings confirm the potential of local mangrove sediment bacteria as a source of new antibiotics in overcoming bacterial resistance problems.

Keywords: Antibacterial, *Bacillus* sp., secondary metabolites, *Pseudomonas aeruginosa*, mangrove sediment.

**ISOLASI BAKTERI SEDIMEN *MANGROVE* LAMPUNG SELATAN DAN
PESAWARAN PENGHASIL SENYAWA METABOLIT SEKUNDER
SEBAGAI ANTIBAKTERI TERHADAP *Pseudomonas aeruginosa***

OLEH

SAYYID AMANULLAH GANI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

Jurusan Kimia

**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



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

2026

Judul Penelitian : Isolasi Bakteri Sedimen *Mangrove*
Lampung Selatan Dan Pesawaran Penghasil
Senyawa Metabolit Sekunder Sebagai
Antibakteri Terhadap *Pseudomonas*
aeruginosa

Nama Mahasiswa : **Sayyid Amanullah Gani**

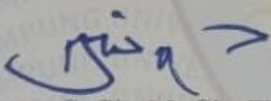
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117011067

Jurusan / Program Studi : Kimia / S1 Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENGETAHUI :

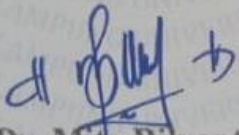
Komisi Pembimbing


Mulvono, S. Si., M. Si., Ph.D.
NIP. 197406112000031002


Prof. Drs. Andi Setiawan, M.Sc., Ph.D.
NIP. 195809221988111001

Mengetahui

Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unila


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

**LEMBAR PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sayyid Amanullah Gani
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117011067
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul **“Isolasi Bakteri Sedimen *Mangrove* Lampung Selatan dan Pesawaran Penghasil Senyawa Metabolit Sekunder Sebagai Antibakteri Terhadap *Pseudomonas aeruginosa*”** adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya juga tidak keberatan jika sebagian atau seluruhnya data di dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

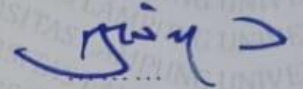
Bandar Lampung, Januari 2026
Pembuat Pernyataan,


Sayyid Amanullah Gani
NPM 2117011067

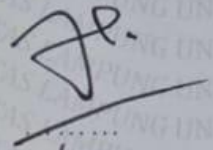
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

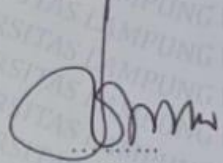
Ketua : **Mulyono, S.Si., M.Si., Ph.D.**



Sekretaris : **Prof. Drs. Andi Setiawan, M.Sc., Ph.D**



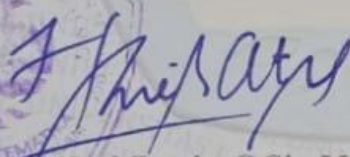
Anggota : **Prof. Dr. Ir. Yandri A.S, M.S.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 11 Maret 2026

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Sayyid Amanullah Gani, Lahir pada tanggal 18 September 2002 di Bandar Lampung. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara dari pasangan Bapak Hendra Alamsyah dan Ibu Ria Rahnawati. Penulis menyelesaikan Pendidikan awal di TK Dwi Tunggal pada tahun 2008 dan dilanjutkan Pendidikan dasar di SDN 2

Sumberejo hingga lulus pada tahun 2015. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan Pendidikan menengah pertama di SMPN 2 Bandar Lampung hingga lulus pada tahun 2018. Kemudian penulis melanjutkan Pendidikan di SMAIT Daarul Ilmi Bandar Lampung dan lulus tahun 2021. Pada tahun yang sama, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung melalui Jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam berbagai organisasi, diantaranya sebagai kader muda Himpunan Mahasiswa Kimia (KAMI) pada tahun 2021 dan pada tahun yang sama penulis juga bergabung menjadi anggota muda Rohani Islam (AMAR), dan pada tahun 2022 penulis bergabung menjadi anggota inti Rohani Islam (Rois) yang merupakan Unit Kegiatan Mahasiswa Fakultas (UKMF). Pada tahun 2023 menjabat sebagai ketua umum Rois. Pada tahun 2024 penulis juga mengikuti Unit Kegiatan Mahasiswa tingkat Universitas (UKMU) sebagai Kepala Biro Internal Birohmah.

Penulis dikenal aktif dan bertanggung jawab dalam setiap kegiatan organisasi yang diikuti, serta tetap menunjukkan komitmen tinggi dalam bidang akademik. Penulis mengikuti program Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) KKN Membangun Desa di Universitas Lampung pada tahun 2025.

Setelah mengikuti program MBKM KKN Membangun Desa, Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di BSPJI (Balai Standarisasi Pelayanan Jasa Industri) pada bulan Januari hingga Februari tahun 2025. Selain itu, penulis juga pernah menjadi Asisten Praktikum Biokimia untuk Mahasiswa Biologi Angkatan 2024 di jurusan Kimia.

Penulis menyelesaikan penelitian di laboratorium Biokimia jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung, dan di Unit Penunjang akademik Laboratorium Terpadu Universitas Lampung dengan judul “Isolasi Bakteri Dari Sedimen *Mangrove* Lampung Selatan dan Pesawaran Penghasil Senyawa Metabolit Sekunder Sebagai Antibakteri Terhadap *Pseudomonas aeruginosa*” pada tahun 2026.

MOTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Qs. Al-Baqarah: 286)

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(QS. Al-Insyirah: 5-6)

“Cukuplah Allah menjadi penolong kami dan Allah adalah sebaik-baik pelindung.”

(QS. Ali 'Imran: 173)

“Teruslah bermimpi karena mimpimu yang akan menjadi cahaya tujuan hidupmu”

(Sayyid Amanullah Gani)



Segala puji bagi Allah SWT atas limpahan rahmat, kasih sayang, dan hidayah-Nya yang tiada henti, sehingga penulis dapat menyelesaikan Pendidikan di jenjang perguruan tinggi ini. Dengan penuh rasa syukur dan cinta, penulis mempersembahkan karya ini kepada:

Kedua Orang Tua Tercinta

Ayahanda Hendra Alamsyah dan ibunda Ria Rahnawati yang telah membimbing dan mengarahkan saya dari kecil hingga menyelesaikan studi sarjana ini dan telah menjadi tempat berlindung dikala susah dan duka serta juga menjadi cahaya disetiap langkah, mencintai tanpa syarat, serta mendoakan tanpa lelah.

Pembimbing penelitian saya bapak Mulyono, S.Si., M.Si., Ph.D, bapak. Prof. Drs. Andi Setiawan, M.Sc., Ph.D. dan bapak. Prof. Dr. Ir. Yandri A.S, M.S. yang selalu sabar membimbing dan juga memberikan nasihat kepada saya

Dosen Jurusan Kimia, yang telah membimbing, memberi ilmu, dan selalu memotivasi saya selama menjalankan studi ini.

Para sahabat dan semua teman teman yang telah hadir dalam hidup dan menjadi teman perjalanan di jalan yang cukup gelap dan curam, serta memberikan banyak kehangatan dan juga cahaya dikala jalan di depan mulai kehilangan cahayanya.

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

SANWACANA

Alhamdulillah *rabbi'l'alam*, Segala puji bagi Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Isolasi Bakteri Sedimen Mangrove Lampung Selatan Dan Pesawaran Sebagai Penghasil Senyawa Metabolit Sekunder terhadap *Pseudomonas aeruginosa***” shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada baginda Rasulullah SAW, beserta keluarga dan para sahabat, yang telah membawa lentera cahaya di dunia yang gelap ini. Semoga di yaumul akhir kelak mendapatkan syafaatnya. *Aamiin*.

Penulis menyadari laporan ini dapat tersusun dan diselesaikan dengan adanya bantuan, motivasi, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini sebagai wujud rasa hormat, penulis mengucapkan banyak-banyak terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua.
2. Bapak Mulyono, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku dosen pembimbing I sekaligus orang tua kedua bagi penulis atas segala bimbingan, nasehat, serta saran yang diberikan hingga selesainya penelitian ini
3. Bapak prof. Drs. Andi Setiawan, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing II sekaligus dosen Pembimbing akademik (PA) dan sekaligus seperti orang tua kedua bagi penulis atas segala motivasi, saran dan masukannya untuk selama ini baik pada masa perkuliahan hingga penelitian ini berlangsung.
4. Bapak prof. Dr. Ir. Yandri A.S, M.S. selaku dosen pembahas dan sekaligus seperti orang tua kedua bagi penulis yang telah banyak memberikan saran dan kritik serta motivasi untuk penulis.
5. Ibu Prof. Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung beserta jajarannya.

6. Bapak. Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Unila beserta jajarannya .
7. Abahku Hendra Alamsyah dan bundaku Ria Rahnawati tersayang, selaku orang tua penulis yang telah memberikan banyak cinta dan kasih dari kecil hingga sekarang, doa yang tak pernah putus, nasihat, motivasi, dan juga dukungan finansial, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Semoga Allah SWT membalas atas segala yang telah diberikan dengan Jannah-Nya, Amiin.
8. kakekku Abubakar Gani, Alm. kakeku Nazarudin, Almh. nenekku Asnawati, dan eyangku Romlah, terimakasih atas doa dan juga kasih sayang yang tak pernah terputus, semoga Allah senantiasa memberikan kesehatan, umur panjang, keberkahan, dan juga kuburan yang lapang bagi mereka yang telah tiada serta ditempatkan disisi terbaik Allah SWT.
9. Kepada paman dan tantente saya ferdinan, Midi Arwandi, Fasa Rahnayanti, dan Solsila Ardiansyah yang telah banyak memberikan motivasi dan juga dukungan finansial agar terus semangat dalam menempuh Pendidikan dibangku Pendidikan dasar, kuliah ini hingga sampai menjadi sarjana.
10. Kepada abang sepupu saya Agung yang telah banyak membantu dalam mengarahkan ketika saat masuk kedalam dunia perkuliahan dan juga banyak memberikan motivasi dan saran ketika penulis melakukan penelitian.
11. Adikku tersayang Raihanah Arsanti yang selalu hadir dalam setiap fase perjalanan saya. Terima kasih atas kebersamaan, semangat, serta waktu yang telah diberikan selama proses ini.
12. teman teman PM21 Nur Khasanah, Agnes Mardian Harefa, dan Titis Okti Ariandarini, yang telah banyak menemani penulis dan juga memberikan semangat dan juga motivasi kepada penulis di saat sedang di fase terpuruk dan di ujung jurang.
13. Para senior di laboratorium Mbak Della Rahmadhani Putri, Kak Virginia Nuh Reza Amanda, Kak Nindy Novita Sari, Kak Fendi Setiawan, Kak Rosyidatul Lutfiah, Kak Ibnu Fadilah, Kak Bayu Anggara Krisna, dan seluruh kakak tingkat penulis yang telah banyak memberikan saran, masukan, serta motivasi

agar penulis tetap semangat, lancar penelitian, dan paham bagaimana harus bertindak di dalam penelitian.

14. Sahabat seperjuangan saya Adryan Daffa Dzulfiqar, Harry Firmanda, Alif Zidane Nugraha, Aditya Nugraha Sahyani, Misbakhul Anam, A. Whisnu Shakti Al Ghozali, Govindo Ibra Pratiba, Ramandhika Abi Karami, Dina Febriyanti, Rani Rasmani, Camelia, Annisa Distiani, Aprilia Sashya, Desvica romanda, Retno Dwi Anggraeni, yang senantiasa memberikan banyak masukan dan motivasi serta kebersamai penulis hingga akhir penelitian.
15. Teman teman Kimia Angkatan 21 yang telah banyak menemani penulis lewat interaksi selama ini dan juga ilmu dan pengalaman selama ini.
16. Teman Teman Rois kabinet al-muharib periode 2023, Yulina, Utami, Retno, Sayyidatul, Nurul, Azet, Khomsatun, Avi, Naimah, Anastasia, Natia, Irvandi, Ariz, Ghulam, Rafif, dan Fattah yang telah banyak berbagi pengalamannya, Kisah, pelajaran bagaimana berinteraksi dalam bentuk keluarga dalam satu wadah, dan warna warna lainnya.
17. Teman Teman Birohmah periode 2024, Wildan, Hani, Sofura, Nahwa, Rafifah, Lavina, Raya, Ain, Diah, Ikkal, Fatir, Fikri, Hafiz, Meta, Ilmi, Nabil, Nyimas, April, dan Aminah yang telah berbagi pengalamannya dalam berorganisasi dan juga menjaga dalam kebaikan satu sama lain.
18. Kakak dan Mbak Rois, salah satunya Mbak Evita Wulandari dan mbak Annisa Salsabila yang selalu menjadi tempat penulis berbagi keluh kesah dan juga pengalamannya dalam berorganisasi selama di dunia perkuliahan dan juga motivasi untuk penulis dikala semangat dan motivasi sedang turun.
19. Rekan-rekan di laboratorium Biokimia Universitas Lampung yang telah memberikan banyak bantuan, saran dan masukan kepada penulis.
20. Almamaterku tercinta serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, terima kasih atas segala bantuan dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dan menyelesaikan studi sebagai mahasiswa S1 Kimia.
21. *Last but not least, I just wanna say thank to me*, Terima kasih telah bertahan dan hidup hingga saat ini. Ingat perjalananmu yang masih panjang dan masih

banyak jalanmu didepan sana yang perlu diterangi dengan semangatmu dalam menuntut ilmu dan juga pengalaman.

Demikian yang dapat penulis sampaikan, penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini belum sempurna dan masih banyak terdapat kekurangan serta kesalahan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran membangun dari para pembaca agar karya ini dapat diperbaiki dan dikembangkan lebih baik. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis maupun bagi pembaca.

Bandar Lampung, Maret 2026



Sayyid Amanullah Gani

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Manfaat Penelitian.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Ekosistem <i>Mangrove</i>	4
2. Bakteri Sedimen.....	5
2.3. Bakteri Resisten	7
2.4. Senyawa Metabolit sekunder	8
2.5. Isolasi Bakteri.....	9
2.6. Kultivasi Bakteri	10
2.7. Uji Antibakteri	11
2.8. Kromatografi Lapis Tipis (KLT)	12
2.9. <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR)	13
2.10. <i>Liquid Chromatography Mass Spectroscopy</i> (LC-MS/MS)	14
III. METODE PENELITIAN	16
3.1. Lokasi Penelitian.....	16
3.2. Alat dan Bahan.....	16
3.3. Metode Penelitian.....	17
3.3.1. Pengambilan sampel.....	17
3.3.2. Pembuatan media agar dan media cair	17
3.3.3. Isolasi bakteri dari sedimen <i>mangrove</i> dan Pemurnian Isolat.....	19
3.3.4. Skrining aktivitas antibakteri dari isolat.....	20
3.3.5. Karakterisasi morfologi bakteri terpilih	20
3.3.6. Ekstraksi senyawa metabolit sekunder dari isolat bakteri terpilih ..	21
3.3.7. Uji aktivitas antibakteri dengan uji difusi cakram.....	22
3.3.8. Uji kromatografi lapis tipis (KLT) pada hasil ekstrak kasar dan kromatografi kolom dari isolat terpilih.....	22
3.3.9. Karakterisasi hasil ekstraksi dengan FTIR.....	23

3.3.10. Karakterisasi hasil ekstraksi menggunakan <i>Liquid Chromatography Mass Spectroscopy / Mass Spectroscopy (LC-MS/MS)</i>	24
3.4. Diagram Alir	25
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1. Sampel Material Sumber Isolat.....	26
4.2. Isolat Bakteri dari Sedimen <i>Mangrove</i>	28
4.3. Isolat Terpilih dengan Aktivitas Antibakteri Terhadap Bakteri Patogen <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	30
4.4. Morfologi Isolat Terpilih.....	33
4.5. Ekstrak Senyawa Metabolit Sekunder dari Isolat Terpilih	34
4.6. Uji Antibakteri Pada Ekstrak dari isolat terpilih.....	36
4.7. Analisis Senyawa Metabolit sekunder dengan menggunakan Kromatografi lapis Tipis (KLT) dan pemurnian ekstrak kasar.....	37
4.8. Analisis Senyawa Metabolit Sekunder pada Ekstrak Sampel Fraksi 1 MP473 menggunakan FTIR	43
4.9. Analisis Senyawa Metabolit Sekunder pada Ekstrak Sampel Fraksi 1 MP473 Menggunakan LC-MS/MS	45
V. KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1. Kesimpulan	52
5.2. Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Ekosistem mangrove (Rahmawati dkk., 2021)	5
2. Salah satu bentuk bakteri sedimen mangrove (Fadhila dkk., 2023).	6
3. Bakteri resisten <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (Hoiby <i>et al.</i> , 2024).....	8
4. Struktur lewis dari senyawa metabolit sekunder (Nabillah <i>and</i> Moralita, 2024).	9
5. Skema penelitian	25
6. Kondisi sedimen <i>mangrove</i> tempat pengambilan sampel, Keterangan : (a) wilayah <i>mangrove</i> Dusun Keramat, Kabupaten Lampung Selatan, (b) wilayah <i>mangrove</i> Dusun Cuku Nyinyi Kabupaten Pesawaran, (c) wilayah hutan <i>mangrove</i> Desa Pulau Pahawang, Kecamatan Marga Punduh Kabupaten Pesawaran.	27
7. Contoh pertumbuhan isolat DK5–P5–B2 pada medium Zobell Marine Keterangan : (a) biakan campuran (b) biakan murni.....	29
8. Aktivitas antibakteri dari isolat bakteri sedimen mangrove terhadap bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i> . Keterangan :(1) Kontrol positif (Chiprofloxacin) (2) MP4-P7-B3; (3) MP4-P7B4; (4) MP4-P7-B7;(5)MP5-P5-B1, (6) DK5-P5-B1	31
9. Morfologi Isolat MP3-P7-B3, Keterangan : (a) Peremajaan pada media ZM, (b) Identifikasi mikroskop perbesaran 1000 X	33
10. Hasil pertumbuhan isolat bakteri MP4-P7-B3 pada media cair NB	35
11. Hasil ekstraksi kasar isolat MP4-P7-B3.....	35
12. Aktivitas antibakteri ekstrak EtOAc terhadap bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i> . Keterangan 1. Kontrol positif (Ciprofloxacin); 3. Kontrol negatif	

(metanol 12,5%); 2. ekstrak EtOAc MP4-P7-B3 ; ekstrak EtOAc MP4-P7-B7	36
13. Visualisasi KLT ekstrak fase EtOAc MP4-P7-B3 dengan eluen DCM:MeOH: 9:1, Keterangan (a) UV 254 nm (b) UV 366 nm, (c) Pereaksi serium sulfat. (d) Pereaksi vanilin sulfat, (e) Pereaksi ninhidrin.....	38
14. Kromatografi kolom dengan impregnasi pada ekstrak etil asetat menggunakan eluen DCM : MeOH (9:1).....	39
15. Hasil uji aktivitas antibakteri pada ekstrak murni. Keterangan: (1). Kontrol positif (Ciprofloxacin); (2). F1; (3). F2; (4). Kontrol negatif (Metanol 12,5%) ; (5). F3; (6). F4.....	40
16. Visual KLT F1 dengan eluen DCM 100%, keterangan : (a) UV 366 nm, (b) UV 254 nm, (c) Pereaksi serium sulfat, (d) Pereaksi vanilin sulfat, (e) Pereaksi ninhidrin	41
17. Uji aktivitas antibakteri, Keterangan: (1) Kontrol positif (Ciprofloxacin), (2) MP473SFNP, (3) Kontrol negatif (MeOH 12,5%), (4) MP473SFP	43
18. Spektrum FTIR sampel ekstrak murni fraksi polar MP4-P7-B3.	44
19. Kromatogram LC-MS/MS Sampel dari ekstrak isolat MP4-P7-B3	45
20. Hasil pengayaan sampel	64
21. Hasil pemurnian didapatkan 10 fraksi.....	66
22. Hasil KLT 10 fraksi, Keterangan (a 1). UV 254 fraksi 1-5, (a 2) UV 254 fraksi 1-5, (b 1). Hasil KLT dengan pereaksi serium sulfat fraksi 1-5 (b 2) Hasil KLT dengan pereaksi serium sulfat fraksi 6-10	66
23. Hasil penggabungan 10 fraksi, Keterangan : (a) Fraksi 1 : fraksi 1-4, (b) Fraksi 2 :fraksi 5, (c) Fraksi 3: Fraksi 6 - 9, (d) Fraksi 4: fraksi 10.....	67

DAFTAR TABEL

1. Bilangan Gelombang gugus fungsi pada FTIR (Tiquia et al., 2023).	14
2. Klasifikasi Respon Zona Hambat (Daris dkk., 2023).	31
3. Zona hambat (aktivitas antibakteri) lima isolat terpilih terhadap patogen <i>P. aeruginosa</i>	32
4. Diameter zona hambat pada ekstrak kasar terhadap bakteri uji <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	37
5. Diameter Zona Hambat pada Ekstrak murni terhadap bakteri Uji <i>P. aeruginosa</i>	41
6. Berat Kering hasil partisi ekstrak senyawa metabolit sekunder.....	42
7. Hasil analisis kromatogram LC-MS/MS pada sampel ekstrak MP4-P7-B3.....	46
8. Zona Hambat (Aktivitas antibakteri) 26 Isolat terhadap bakteri uji <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	65
9. Analisis Spektrum IR	68

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki garis pantai yang panjang dan memiliki wilayah hutan *mangrove* yang luas mencapai 3,2 Juta Hektar (Kusaman, 2011). Hutan *mangrove* pada pesisir pantai atau muara selain berfungsi sebagai penahan abrasi laut, hutan *mangrove* juga berperan penting sebagai penjaga ekosistem di wilayah pesisir untuk berbagai jenis makhluk berukuran makro hingga berukuran mikro, sehingga disebut juga sebagai ekosistem kompleks. Hutan *mangrove* memiliki fungsi sebagai biogeokimia, penguraian senyawa organik, serta sebagai pengendalian kondisi lingkungan (Wang *and* Lin, 2023). Selain itu juga, hutan *mangrove* berperan penting dalam menjaga lingkungan wilayah pesisir dengan dibantu oleh mikroba yang hidup di dalamnya, yang memiliki tugas sebagai penyeimbang, dan juga penghasil senyawa metabolit sekunder, yang dapat berfungsi sebagai agen antibakteri, yang berperan penting sebagai bnetuk pertahanan diri bakteri ataupun pengontrol lingkungan (Widayat dkk., 2024).

Resistensi antibiotik pada bakteri menjadi suatu permasalahan yang cukup serius dan perlu penanganan lebih lanjut, di antaranya yang disebabkan oleh bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yang memiliki resistensi pada antibiotik konvensional, dan bakteri ini menyerang imunitas pasien yang menurun (Sukrama, 2021). Pada tahun 2019 sendiri penyakit yang disebabkan oleh infeksi dari bakteri resisten terhadap antibiotik mencatat sekitar 1,27 orang yang meninggal akibat infeksi, dan sekitar 58,8% kasus kematian disebabkan oleh infeksi dari bakteri *Pseudomonas aeruginosa* (Hu *and* Chua, 2025).

Tingginya angka kematian yang disebabkan oleh infeksi bakteri resisten, menyebabkan diperlukan penelitian dan pengeksploran lebih lanjut untuk menemukan senyawa metabolit sekunder yang dapat berperan aktif dalam menghambat ataupun membunuh pertumbuhan dari bakteri resisten salah satunya bakteri resisten *Pseudomonas aeruginosa*.

Pada beberapa penelitian yang telah dilakukan ekstraksi senyawa metabolit sekunder dari bakteri sedimen *mangrove* sangat efektif dalam menghambat pertumbuhan atau membunuh bakteri resisten *Pseudomonas aeruginosa*.

Penelitian terkait pencarian senyawa metabolit sekunder yang diproduksi dari bakteri dari sedimen *mangrove* telah dilakukan oleh Zebua *et al* (2020) dengan mengisolasi bakteri sedimen *mangrove* dari wilayah hutan *mangrove* di stasiun laut Dumai, yang kemudian didapatkan hasil pengujian aktivitas antibakteri dari isolat yang didapatkan dengan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dengan menggunakan metode difusi cakram yaitu didapatkan indeks zona hambat sebesar 2,01–9,65 mm. Penelitian yang sama juga telah dilakukan oleh Sa'uddah (2023) dengan mengisolasi bakteri dari sedimen *mangrove* yang berada di wilayah Labuhan Maringgai, Lampung Timur, yang kemudian dilakukan pengujian terhadap bakteri resisten dengan menggunakan metode difusi cakram yaitu didapat indeks zona bening sebesar 3,12 mm.

Hasil penelitian yang telah dilakukan menyatakan bahwa senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan oleh bakteri sedimen *mangrove* berpotensi untuk dijadikan sebagai agen antibakteri baru untuk melawan resistensi yang ada pada bakteri, dan wilayah hutan *mangrove* di Lampung memiliki potensi yang cukup menjanjikan, sehingga dapat dilakukan eksplorasi lebih lanjut di wilayah lainnya. Lampung Selatan dan Pesawaran merupakan wilayah yang dekat dengan perairan laut dan memiliki ekosistem *mangrove* yang luas, dan belum banyak dilakukan eksplorasi di setiap wilayahnya terutama pada bakteri yang hidup di dalam sedimen *mangrove*. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengeksploran dan isolasi bakteri dari sedimen *mangrove* wilayah Lampung Selatan dan Pesawaran, uji aktivitas antibakteri terhadap *Pseudomonas aeruginosa*, dan karakterisasi senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan.

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mendapatkan bakteri sedimen *mangrove* dari wilayah Kabupaten Lampung Selatan dan Pesawaran.
2. Mendapatkan aktivitas antibakteri dari isolat yang diperoleh.
3. Mendapatkan senyawa metabolit sekunder dari isolat terbaik.
4. Memperoleh morfologi dari isolat unggulan yang berpotensi sebagai penghasil senyawa antibakteri.

1.2. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. Memberikan informasi baru terkait potensi bakteri sedimen *mangrove* wilayah Kabupaten Lampung Selatan dan Pesawaran sebagai sumber senyawa metabolit sekunder antibakteri.
2. Memberikan dasar bagi pengembangan senyawa antibakteri baru untuk mengatasi resistensi antibiotik.
3. Menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya pada bidang kimia, mikrobiologi, dan farmasi, khususnya terkait eksplorasi sumber daya hayati lokal untuk aplikasi Kesehatan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Ekosistem *Mangrove*

Ekosistem *mangrove* dapat disebut juga sebagai ekosistem yang unik dan khas, hal ini disebabkan oleh letaknya yang berada pada daerah pasang surut air laut, toleran terhadap salinitas, dan tahan terhadap genangan, sehingga memiliki keragaman bentuk perakaran sebagai cara untuk beradaptasi. Ekosistem *mangrove* di alam memiliki banyak sekali manfaat untuk kehidupan di sekitarnya dan juga memainkan peranan penting dalam menjaga ekosistem laut (Rofi'i dkk., 2021). Ekosistem *mangrove* memiliki peranan yang penting secara ekologis, biologis, dan ekonomis, peranan ekosistem *mangrove* secara ekologi yaitu salah satunya untuk melindungi garis pantai dan kehidupan di belakangnya dari gempuran tsunami, angin kencang, karena kondisinya yang relatif rapat dan juga memiliki perakaran yang kuat sehingga mampu mencengkram dan menstabilkan tanah tempat tumbuhnya *mangrove*, selain itu *mangrove* berperan juga dalam melindungi tempat buaya dan berpisahannya berbagai jenis ikan, undang komersial, dan burung serta hewan-hewan yang dilindungi, sekaligus tempat hidupnya berbagai jenis mikroba di dalamnya.

Secara ekonomi dan sosial ekosistem *mangrove* juga memiliki peranan penting dalam kehidupan bermasyarakat dan juga meningkatkan kesejahteraan masyarakat dalam bidang maritim (Karminarsih, 2007). Selain itu, ekosistem *mangrove* juga memiliki peranan penting dalam menyimpan dan menyerap karbon serta memiliki kontribusi besar sebagai sumber karbon organik, dimana sumber karbon organik ini terdapat pada bagian sedimen *mangrove* yang kemudian dimanfaatkan oleh mikroba sebagai asupan nutrisi untuk hidup dan berkembang biak, yang kemudian dimanfaatkan oleh makhluk hidup lainnya (Fadhila dkk., 2023).

Pemanfaatan karbon organik oleh mikroba yang ada pada sedimen ini bukan hanya dimanfaatkan oleh mikroba yang hidup di dalamnya akan tetapi sangat mempengaruhi lingkungan sekitar dari hutan *mangrove* dimana menyebabkan vegetasi yang rapat dan subur, sehingga memiliki peranan yang penting dalam memberikan asupan pada makhluk hidup yang ada di sekitar lingkungan *mangrove* salah satunya bakteri yang dapat berpotensi menghasilkan senyawa – senyawa yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut (Velati dkk., 2024). Adapun gambaran dari ekosistem hutan *mangrove* dapat dilihat pada Gambar 1.



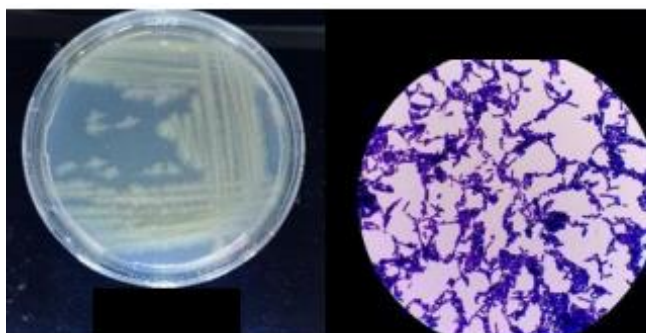
Gambar 1. Ekosistem mangrove (Rahmawati dkk., 2021)

.2. Bakteri Sedimen

Bakteri merupakan salah satu golongan mikroorganisme prokariotik (bersel tunggal) yang hidup berkoloni dan tidak mempunyai selubung inti akan tetapi dapat hidup dimana saja. Bakteri sendiri diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu bakteri Gram-positif dan bakteri Gram-negatif. Beberapa jenis bakteri Gram-positif dan negatif menjadi flora normal pada tubuh manusia, dan ada juga bakteri Gram-positif dan Gram-negatif seperti *Pseudomonas aeruginosa* yang dapat menyebabkan penyakit dalam jumlah konsentrasi tertentu (Holderman *et al.*, 2017). Pada bakteri Gram-positif sendiri memiliki dinding sel berbentuk *coccus* dan *bacillus*, bakteri ini juga dapat membentuk spora guna melindungi diri dari lingkungan yang tidak sesuai. Pada bakteri Gram-positif dinding sel bakteri ini tersusun atas peptidoglikan sehingga terbentuk dinding sel yang kaku. Komposisi terbesar dalam peptidoglikan pada bakteri ini yaitu *teichoic*, asam *theichuroni*, dan berbagai macam polisakarida.

Sedangkan pada dinding sel bakteri Gram-negatif dinding sel bakteri Gram-negatif ini tersusun atas peptidoglikan, namun peptidoglikan yang terkandung tidak sebanyak pada bakteri Gram-positif. Pada bagian luar peptidoglikan terdapat membran luar yang tersusun atas lipoprotein dan fosfolipid. Selain itu, sel bakteri ini juga mengandung lipopolisakarida. Dengan kandungan yang dimiliki sel bakteri Gram-negatif ini menjadikannya lebih kuat terhadap antibiotik, namun ketahanan mekanisnya lemah karena kadar peptidoglikan yang dikandung sedikit (Yulma *et al.*, 2019).

Bakteri dalam sedimen pada *mangrove* merupakan salah satu mikroba yang memainkan peranan penting sebagai pengurai senyawa-senyawa yang dapat menjadi salah satu penyebab kontaminan pada lingkungan yang terperangkap pada bagian sedimen di *mangrove*, dimana hal ini disebabkan karena bakteri yang hidup pada sedimen *mangrove* mampu mengikat N_2 dari udara dan mengubah amonium menjadi nitrat (Yulma *et al.*, 2019). Pada bagian sedimen sendiri ada beberapa bakteri umum yang sering ditemukan seperti *Cellulomonas*, *Micrococcus*, *Arthrobacter*, *Rhizobia*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Azotobacter*, *Pseudomonas*, dan *Bacillus*. Dimana beberapa jenis bakteri ini memiliki potensi untuk menghambat dan membunuh beberapa jenis bakteri patogen. Kelompok bakteri *Actinobacteria* dan *Pseudomonas* merupakan kelompok bakteri yang sangat melimpah keberadaannya dan paling banyak ditemukan pada bagian sedimen dekat perakaran pohon *mangrove* (Khairillah *et al.*, 2024). Adapun ilustrasi bakteri sedimen *mangrove* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Salah satu bentuk bakteri sedimen *mangrove* (Fadhila dkk., 2023).

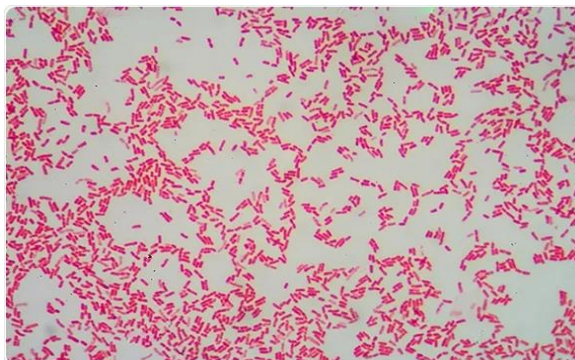
2.3. Bakteri Resisten

Bakteri resisten terhadap antibiotik merupakan suatu fenomena dimana bakteri yang sebelumnya sensitif terhadap antibiotik menjadi resisten dan tidak lagi mudah dieliminasi dengan pengobatan standar. Salah satu penyebab utama resisten antibiotik ialah penggunaan antibiotik yang tidak tepat, termasuk penggunaan berlebihan dan tidak sesuai resep. Resistensi pada bakteri sendiri terjadi ketika bakteri berubah dalam satu atau lain hal yang menyebabkan turun atau hilangnya efektivitas obat, senyawa kimia, atau bahan lainnya yang digunakan untuk mencegah atau mengobati infeksi. Timbulnya resistensi terhadap suatu antibiotik terjadi dikarenakan oleh beberapa faktor seperti :

- a. Bakteri mensintesis suatu enzim *inactivator* atau penghancur antibiotik.
- b. Bakteri mengubah permeabilitasnya terhadap obat.
- c. Bakteri mengembangkan suatu perubahan struktur sasaran bagi obat.
- d. Bakteri mengembangkan perubahan jalur *metabolic* yang langsung dihambat oleh obat.
- e. Bakteri mengembangkan perubahan enzim yang tepat dapat melakukan fungsi metabolismenya, tetapi lebih dari pada enzim pada kuman yang rentan (Desrini, 2015).

Salah satu bakteri resisten yang umum ditemukan yaitu bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dimana bakteri ini sendiri memiliki karakteristik yaitu termasuk kedalam bakteri Gram-negatif, famili Pseudomonadaceae, bakteri ini sendiri tidak dapat melakukan fermentasi terhadap karbohidrat dan dapat bergerak aktif karena memiliki flagel. Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* mempunyai kemampuan beradaptasi yang baik pada kondisi lingkungan yang minim akan nutrisi dan mampu menggunakan berbagai substrat untuk menunjang pertumbuhannya. Bakteri ini sendiri sering ditemukan di lingkungan rumah sakit baik itu di peralatan ataupun kolam hidroterapi, selain itu bakteri ini juga dapat ditemukan di tempat-tempat umum seperti kolam renang, pemandian air panas dan masih banyak lagi. Bakteri ini menjadi salah satu bakteri patogen yang sangat sulit dilakukan karena memiliki sifat yang resisten terhadap beberapa antibiotik (Robertus, 2024). Hal ini menyebabkan bakteri ini termasuk menjadi masalah

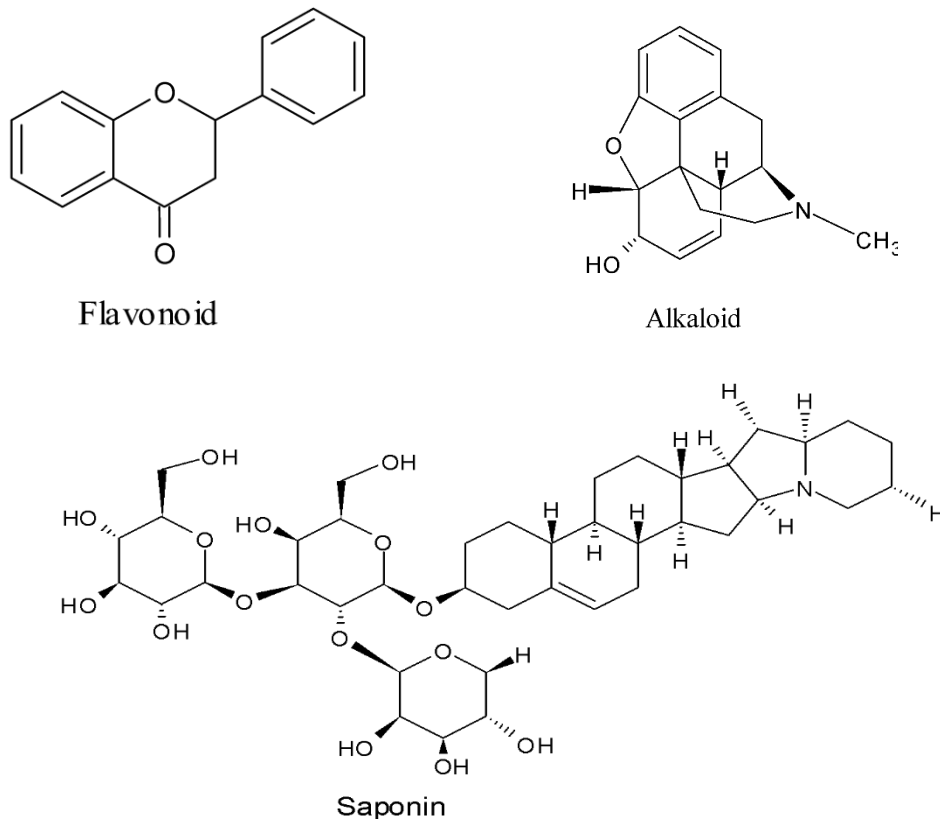
kesehatan global. Adapun gambar dari bakteri resisten *Pseudomonas aeruginosa* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Bakteri resisten *Pseudomonas aeruginosa* (Hoiby *et al.*, 2024)

2.4. Senyawa Metabolit sekunder

Senyawa metabolit sekunder merupakan senyawa yang disintesis oleh tumbuhan, jamur, bakteri, dan alga, dengan memiliki berat molekul yang rendah dengan berbagai jenis aktivitas biologis dan struktur kimia (Hutagalung, 2023). Selain itu, senyawa metabolit sekunder memainkan peranan penting dalam dinamika ekologis, seperti pertahanan terhadap patogen, herbivora, atau mikroba pesaing ; komunikasi antar organisme; serta respons terhadap berbagai tekanan lingkungan termasuk stress oksidatif, kekeringan, atau paparan sinar ultraviolet. Pada bidang bioteknologi dan farmasi, senyawa ini sendiri mendapatkan perhatian besar karena berpotensi sebagai antibiotik, antikanker, antiinflamasi, antivirus, antioksidan, atau regulator pertumbuhan tanaman. Contoh dari penerapan dalam bidang bioteknologi dan farmasi yaitu diantaranya artemisinin (terpenoid antimalaria), taksol (alkaloid antikanker), dan sejumlah poliketida serta non-ribosomal peptida dari mikroba (Dongoran, 2022). Selain itu, contoh lain dari senyawa metabolit sekunder yang umum ditemui yaitu : seperti alkaloid, flavonoid, saponin, dan tanin (Rumalolas dkk., 2023). Adapun bentuk struktur lewis dari senyawa metabolit sekunder dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur lewis dari senyawa metabolit sekunder (Nabillah *and* Moralita, 2024).

2.5. Isolasi Bakteri

Mikroba pada suatu lingkungan merupakan suatu populasi campuran dari berbagai jenis, baik itu yang berasal dari tanah, air, udara makanan ataupun yang terdapat pada tubuh hewan, salah satunya yaitu bakteri. Bakteri sendiri dapat ditentukan dan dipelajari secara kultural, morfologi, fisiologi, dan karakteristik dengan cara memisahkan koloni campuran menjadi koloni tunggal atau bisa disebut juga dengan mengisolasi bakteri. Teknik isolasi pada bakteri sendiri menjadi suatu proses awal yang dilakukan untuk mengambil bakteri dari lingkungan asalnya ke medium atau lingkungan buatan, sehingga diperoleh biakan murni. Teknik isolasi sendiri dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode yaitu dengan menggunakan metode cawan gores, metode cawan tuang, metode sebar, dan metode *micromanipulator* (Sabbathini dkk., 2017).

Pada pengaplikasian dalam teknik isolasi metode yang sering digunakan yaitu metode cawan tuang dan metode cawan gores, hal ini didasarkan pada prinsip yang sama yaitu dengan cara melakukan pengenceran pada mikroba sehingga individu spesies dapat dipisahkan. Penggunaan teknik isolasi bakteri ini sendiri sering menggunakan medium yang berbahan nutrisi. Penggunaan nutrisi sendiri dilakukan dengan cara melihat beberapa faktor seperti apa jenis mikroba yang akan ditumbuhkan, dan juga karakteristik dari mikroba yang akan ditumbuhkan, dimana selain didorong oleh faktor dari sifat dan karakteristik dari bakteri yang akan ditumbuhkan, keberhasilan penumbuhan bakteri juga berpengaruh dari kandungan nutrisi dalam medium buatan dan beberapa faktor yang dapat menyerupai lingkungan aslinya. Selain itu, luas dari wadah pertumbuhan yang berisi media juga menjadi faktor pendukung lainnya sehingga biasanya digunakan cawan petri, dan untuk melindungi hasil isolasi dari kontaminasi diperlukan juga wadah dan penutup yang steril dan kedap udara, hal ini menjadi salah satu faktor pendukung yang dapat menyebabkan kontaminasi terjadi (Octaviana *et al.*, 2022).

2.6. Kultivasi Bakteri

Kultivasi bakteri menjadi salah satu proses pengembangbiakan mikroba secara terkontrol dengan menggunakan media pertumbuhan yang sesuai, dengan tujuan untuk memperoleh jumlah sel yang cukup untuk analisis lebih lanjut. Proses kultivasi sendiri dilakukan pada medium padat (agar) ataupun medium cair (*broth*) yang kaya akan nutrisi dan dirancang agar memenuhi kebutuhan karbon, nitrogen, mineral, serta vitamin spesifik untuk bakteri target. Dalam kultivasi bakteri keberhasilan kultur ditentukan oleh empat parameter utama yaitu, komposisi media, suhu inkubasi, gugus oksigen (aerob/anaerob) dan durasi pertumbuhan (Khuntia, 2021).

Salah satu cara mengkultivasi bakteri yaitu dengan menggunakan kultur klasik, dimana penggunaan media baik padat atau cair. Kultivasi yang umum sering digunakan yaitu dengan menggunakan media cair (*liquid broth*) dimana media ini memberikan lingkungan pertumbuhan yang homogen dan optimal bagi mikroba,

hal ini sendiri disebabkan oleh tersedia secara merata dalam medium, sehingga sel bakteri dapat tumbuh lebih cepat dan seragam. Penggunaan media cair juga memungkinkan produksi biomassa dalam jumlah *real time*, yang dapat memudahkan dilakukannya analisis dalam pertumbuhan bakteri dalam skala laboratorium ataupun industrial. Selain itu, penggunaan media cair dapat memberikan fleksibilitas dalam mengatur kondisi aerasi sesuai kebutuhan bakteri baik melalui agitasi maupun aerasi sesuai kebutuhan mikroba (Matsumoto *et al.*, 2024).

2.7. Uji Antibakteri

Untuk mengevaluasi aktivitas suatu senyawa terhadap pertumbuhan mikroba diperlukan pengujian antibakteri, dengan dilakukannya pengujian ini ditujukan untuk menentukan apakah suatu agen memiliki efek bakteriostatik (menghambat pertumbuhan) atau bakterisidal (membunuh bakteri) dalam pengujian anti bakteri sendiri dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti dilusi dalam cairan (*broth dilution*) dimana metode ini digunakan untuk menghitung *Minimum Inhibitory Concentration* (MIC) atau bisa disebut juga dengan menghitung konsentrasi terendah yang mampu menghambat pertumbuhan bakteri secara visual, selain itu metode ini juga digunakan untuk menghitung *Minimum Bactericidal Concentration* (MBC) dengan cara penanaman ulang ampel dari MIC ke media agar untuk mendeteksi viabilitas sel hingga kurang lebih 99,9 % mati (Bento dkk., 2021). Uji MIC menjadi salah satu teknik pengujian kuantitatif yang banyak digunakan untuk menentukan konsentrasi terendah suatu senyawa antibakteri yang mampu menghambat pertumbuhan bakteri secara visual dalam kondisi *in vitro*. Penggunaan metode ini sendiri dilakukan dengan menggunakan metode dilusi dalam medium cair (*Broth dilution*) (Benkova *et al.*, 2020).

Selain itu metode *Disk diffusion* (*Kirby-Bauer*) menjadi salah satu metode yang banyak digunakan dalam uji skala laboratorium dimana hal ini melibatkan penempatan cakram kertas berisi antibiotik pada permukaan agar yang diinokulasi bakteri, dimana hasil perolehannya yaitu berupa diameter zona hambat yang

terbentuk yang kemudian digunakan untuk mengklasifikasikan mikroba sebagai sensitif intermediet dan resisten (McCarley *and* Becerra, 2025). Metode lain yang sering digunakan juga yaitu mencakup metode *well diffusion*, *agar dilution*, penggunaan *time kill kinetics*, *resazurin assay*, *co-culture*, atau *TLC-Bioautography* yang dimana metode ini bergantung pada kompleksitas sampel, kecepatan analisis, sensitivitas, dan sumber daya yang tersedia (Hossain, 2024).

2.8. Kromatografi Lapis Tipis (KLT)

Kromatografi merupakan salah satu teknik analisis yang banyak digunakan untuk memisahkan komponen-komponen dalam suatu campuran yang didasarkan dari perbedaan interaksi antara dua fase yaitu fase diam (*stationary phase*) dan fase gerak (*mobile phase*), sehingga memungkinkannya terjadi identifikasi secara kuantifikasi zat penyusunnya akibat adanya pergeseran fase gerak yang membawa sampel melintasi fase diam. Kromatografi sendiri dalam penerapannya diklasifikasikan dalam beberapa jenis yang ditentukan dari mekanisme pemilihannya seperti : Kromatografi kolom (*column chromatography*), kromatografi pertukaran ion (*ion exchange chromatography*), kromatografi eksklusi ukuran atau gel *permeation ion*, kromatografi afinitas (*affinity chromatography*), kromatografi kertas (*paper chromatography*), kromatografi lapis tipis (TLC), kromatografi gas (GC), kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC/UHPLC/UPLC) (Rushikesh, 2024). Salah satu jenis metode kromatografi yang sering digunakan yaitu kromatografi lapis tipis, yang dimana metode ini digunakan untuk memisahkan, atau mengidentifikasi serta untuk melihat dan mengecek kemurnian suatu senyawa dalam suatu campuran. Metode ini sendiri bekerja dengan cara mendistribusikan diferensial komponen – komponen campuran antara dua fase: fase diam berupa lapisan tipis adsorben yang kemudian dilapisi pada plat yang berbahan kaca, plastik, ataupun aluminium, serta fase gerak berupa pelarut ataupun campuran pelarut yang bergerak secara kapiler melalui lapisan adsorben.

Pada metode kromatografi lapis tipis, sampel dalam bentuk larutan diaplikasikan sebagai noktah kecil di bawah plat, dan ketika pelarut bergerak naik karena aksi kapiler, komponen-komponen pada sampel akan terbawa dengan kecepatan yang bervariasi tergantung pada polaritas dan afinitas larutan sampel pada fase diam dan fase gerak. Hal ini terjadi karena komponen yang memiliki sifat yang lebih polar akan lebih tertahan oleh fase diam, sedangkan yang kurang polar akan lebih mudah terbawa oleh fase gerak dan menghasilkan perbedaan jarak migrasi yang dapat dihitung sebagai R_f (*retardation factor*) (Kowalska, 2022). Nilai R_f pada metode kromatografi lapis tipis sendiri menjadi parameter numerik yang digunakan untuk melihat sejauh mana senyawa mengalami pergeseran relatif terhadap *front* pelarut. Dalam teknisnya nilai R_f dihitung dengan cara membagi jarak yang ditempuh oleh senyawa dengan jarak yang ditempuh oleh *front* pelarut dengan menggunakan persamaan berikut:

$$R_f = \frac{\text{jarak tempuh senyawa}}{\text{jarak tempuh oleh eluen}}$$

Dalam metode analisis menggunakan kromatografi lapis tipis nilai R_f memiliki rentan nilai bervariasi antara 0 dan 1, dimana jika nilai yang didapatkan lebih rendah, dapat diartikan bahwa senyawa yang terkandung dalam sampel berikatan kuat dengan fase diam dan bermigrasi sedikit, sedangkan jika nilai mendekati nilai 1 maka senyawa yang terkandung dalam sampel mempunyai afinitas yang lebih besar terhadap fase gerak. Dimana nilai yang dihasilkan ini sangat bergantung pada polaritas fase diam dan komposisi pelarut, serta kondisi pada sampel seperti ketebalan lapisan adsorben, suhu, kelembaban, dan saturasi ruang pengembangan (Xu *et al.*, 2025).

2.9. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) menjadi salah satu teknik analisis yang memanfaatkan interaksi cahaya infra merah dengan molekul untuk mengidentifikasi gugus fungsi serta struktur molekul melalui spektrum penyerapan sebagai “*fingerprint*” molekuler. Dimana prinsip kerja dari instrumen

ini yaitu dengan mengarahkan sinar inframerah ke interferometer, yang kemudian dibagi menjadi dua berkas cahaya yang diarahkan pada cermin tetap, dan pada cermin bergerak, yang kemudian digabungkan kembali membentuk interferogram. Melalui transformasi *Fourier*, interferogram kemudian diubah menjadi spektrum absorbansi terhadap bilangan gelombang (*wavenumber*) antara 400–4000 cm^{-1} , yang mewakili mode vibrasi ikatan kimia yang ada dalam sampel (Kamnev and Tugarova, 2023). Adapun bilangan gelombang gugus fungsi pada FTIR dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Bilangan Gelombang gugus fungsi pada FTIR (Tiquia et al., 2023).

Gugus fungsi	Bilangan gelombang cm^{-1}
Puncak ikatan C–H	
Regangan ikatan C–H pada Alkana	2.850 – 2.960
Regangan ikatan C–H pada Alkena	3.010 – 3.100
Regangan ikatan C–H pada Alkuna	3.300
Puncak puncak O–H dan N–H	
Regangan ikatan O–H pada Alkohol dan fenol	3.200 – 3.600
Regangan ikatan O–H pada Asam karboksilat	2.500 – 3.300
Amina N–H	3.300 – 3.500
Puncak Ikatan C = O	
Keton dan aldehid	1.680 - 1.750
Regangan ikatan C = O pada Asam karboksilat	1.700 – 1.750
Regangan C = O pada amida	1.630 – 1.690
Puncak ikatan C–N	
Gugus aromatic	1.300-1.350
Gugus alifatik	1.000-1.300
Puncak gugus C=C	
Gugus C=C pada alkena	1.620-1.680
Gugus C=C pada aromatic	1.450-1.600
Puncak getaran pada ikatan N–H	
Getaran ikatan N–H pada amina	1.560-1.640
Getaran ikatana N–H pada amida	1.550-1.670
Puncak getaran pada C–H	
Getaran ikatan C–H pada alkana	1.370-1.470
Getaran ikatan C–H pada alkena	960-1.200
Puncak getaran pada ikatan O–H	
Getaran ikatan O–H pada alkohol dan fenol	1.350 – 1.450
Puncak area <i>fingerpint</i>	700 - 900

2.10. *Liquid Chromatography Mass Spectroscopy* (LC-MS/MS)

Liquid Chromatography Mass Spectroscopy (LC-MS/MS) merupakan suatu teknik analisis yang berfungsi dalam mengidentifikasi suatu senyawa berdasarkan ikatan peptida yang terbentuk dalam suatu senyawa dengan cara memisahkan,

serta mengukur senyawa secara kuantitatif pada tingkat sensitivitas dan selektivitas yang tinggi. Prinsip kerja *Liquid Chromatography Mass Spectroscopy* (LC-MS/MS) yaitu dengan cara memisahkan sampel kompleks berdasarkan interaksi yang terjadi antara tiap komponen penyusun sampel dengan fase diam dan fase gerak dalam kolom, sehingga menghasilkan waktu retensi yang unik, yang kemudian senyawa yang telah melewati kolom akan mengalami ionisasi ketika melalui *Electrospray ionization* (ESI) yang kemudian berubah menjadi ion bermuatan yang kemudian memasuki *spectrometer*. Pada teknik *Tandem Mass Spectrometry* (MS/MS) dilakukan dengan dua tahap pengerjaan yaitu tahap ion prekursor (MS^1) yang dipilih berdasarkan massa ke muatan (m/z) tertentu, yang kemudian akan mengalami proses fragmentasi menggunakan gas inert, yang kemudian dilakukan analisis lebih lanjut di MS^2 untuk mengonfirmasi identitas struktural yang didapatkan pada sampel (Rao, 2024).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan dari bulan Oktober 2024 hingga November 2025 di laboratorium Biokimia Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung, dan di Unit Penunjang Akademik Laboratorium Terpadu Universitas Lampung. Analisis FTIR telah dilakukan di Unit Penunjang Akademik Laboratorium Terpadu Universitas Lampung, Analisis LC-MS/MS di Laboratorium Forensik Bogor.

3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: alat-alat gelas, Erlenmeyer, botol vial, corong pisah, pipet tetes, pinset, *microtube*, mikropipet Dragon Lab, *microtip*, plat silika gel 60 F254 Merck, Bunsen, *hot plate*, neraca analitik DJ-V110A *lucky*, *shaker Labtech*, *autoclave* GEA LS-35 L EDAM 63, *rotary evaporator* Buchi, pipa kapiler, *Chamber*, *laminar air flow Airtech*, lemari asam, inkubator *P'selecta*, *Freezer* Lab freez, lemari pendingin, jarum ose, Bunsen, instrumen *Liquid Chromatography Mass Spectroscopy* (LC-MS/MS), instrumen *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Coolerbox*, sendok steril, plastik steril, dan *Microskop*.

Adapun bahan – bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sedimen *mangrove* dari Kawasan ekosistem *mangrove* wilayah Lampung Selatan dan wilayah Pesawaran, *yeast extract*, *peptone water*, *Zobell Marine*, *Mueller Hinton*, agar, akuades, NaCl, spiritus, alkohol 70%, NaOH, HCl pekat, etil asetat, metanol teknis, metanol 12,5 %, n-heksana teknis, *Diclorometane* PA,

Ketokonazole, chloramphenicol, Ciprofloxacin, dan patogen bakteri resisten Gram-Negatif (*P. aeruginosa*).

3.3. Metode Penelitian

3.3.1. Pengambilan sampel

Pada penelitian ini sampel sedimen *mangrove* diambil di tiga tempat berbeda dengan tujuan untuk mendapatkan data dengan variabilitas yang lebih luas, dan teknik pengambilan sampel dilakukan berdasarkan metode yang dilakukan oleh Huang *et al* (2020) yaitu pengambilan di tiga kawasan hutan *mangrove* sekitar wilayah Lampung Selatan, dan dua kawasan hutan *mangrove* Kabupaten Pesawaran. Pengambilan sedimen *mangrove* dilakukan dengan mengambil bagian sedimen di kedalaman 5-10 cm, yang selanjutnya dimasukkan ke dalam kantong *ziplock* steril untuk mencegah kontaminasi. Setelah dilakukan pengambilan semua sampel disimpan di dalam *cool box* dengan suhu 4°C hingga dipindahkan ke laboratorium untuk dilakukan proses lanjutan yaitu isolasi.

3.3.2. Pembuatan media agar dan media cair

Bakteri laut memiliki keunikan dibandingkan dengan bakteri pada umumnya yang dimana bakteri ini hidup dalam lingkungan yang ekstrim dengan salinitas yang tinggi dengan kadar konsentrasi sebanyak 35% untuk tumbuh dan berkembang biak secara optimal menurut Tapilatu (2016). Sehingga dari hal tersebut menyebabkan penggunaan bahan NaCl sangat diperlukan, salah satunya pada media pertumbuhan bakterinya. Pada pembuatan media dimulai dengan melakukan sterilisasi alat berdasarkan metode yang dilakukan oleh Wondal *et al* (2019) dengan dilakukan beberapa modifikasi, sterilisasi media dan alat dilakukan di *autoclave* dengan menggunakan suhu 121°C dengan waktu 15 menit dengan tekanan 1 atm.

a. Media *Nutrient Agar* (NA) dan *Nutrient Broth* (NB)

Penggunaan media padat dan media cair yaitu media NA dan NB dalam penelitian digunakan sebagai media pertumbuhan dan juga media inokulasi bakteri, penggunaan media NA dan NB sendiri sendiri didasarkan karena media NA dan NB memiliki nutrisi yang penting yang digunakan sebagai sumber protein, nitrogen, vitamin, dan juga karbohidrat yang dibutuhkan oleh bakteri untuk tumbuh dan berkembang biak, salah satunya pada bakteri Gram-negatif *P. aeruginosa*. Pembuatan media sendiri dilakukan dengan beberapa modifikasi yang didasarkan dari penelitian yang telah dilakukan oleh Sri dkk (2024) dengan membuat media sebanyak 100 ml, dibuat dengan mencampurkan 0,5 gram pepton, 1 gram NaCl, 2 gram *yeast extract*, 1,5 gram *agar powder*, dan 100 ml akuades dalam Erlenmeyer 250 ml dan media *Nutrient Broth* (NB) sebanyak 100 ml, dibuat dengan cara yang sama akan tetapi tanpa ditambahkan *agar powder* (Adlina dkk., 2021).

b. Media *Muller Hinton* (MH)

Media MH merupakan salah satu media yang sering dipakai dalam uji aktivitas antibakteri terutama pada uji aktivitas antibakteri dengan metode modifikasi *Kriby-Bauer*, yang dimana media ini memiliki karakteristik yang optimal dalam mendukung pertumbuhan bakteri patogen *non-fastidious* dan difusi antimikroba yang konsisten (Girardello *et al.*, 2012). Dalam pengujian aktivitas antibakteri media MH dibuat dengan takaran 100 ml, dengan dilakukan pencampuran 3,8 gram *Muller Hinton*, 1 gram NaCl, dan 100 mL akuades dalam Erlenmeyer 250 mL (Zebua *et al.*, 2020).

c. Media *Zobell Marine* (ZM)

Pengisolasian bakteri dan juga pemurnian bakteri sedimen *mangrove* dengan menggunakan media yang mengandung kadar garam yang tinggi, dan salah satunya media yang digunakan yaitu media ZM, media ZM sendiri digunakan karena memiliki keunggulan yaitu komposisi di media memiliki kemiripan dengan kondisi lingkungan laut, yang dimana media ini memiliki kandungan garam, nutrisi organik, dan mineral esensial, sehingga membuat bakteri laut dapat menghasilkan koloni yang lebih optimal ketika dilakukan inkubasi (Rosmaniar

dkk., 2021). Pada penelitian ini pembuatan media dilakukan berdasarkan dengan petunjuk penggunaan bahan yang diberikan oleh *Central drugs House*, dengan jumlah yang disesuaikan. Media ZM dibuat sebanyak 100 mL, dengan cara mencampurkan 5,525 gram *Zobell Marine*, 1,5 gram agar *powder*, 1 gram NaCl *powder*, dan 100 ml akuades ke dalam Erlenmeyer 250 mL. Setelah semuanya tercampur, kemudian dilakukan sterilisasi menggunakan *autoclave*, yang setelah steril media ZM dimasukkan ke dalam *Laminar Air Flow* (LAF) dan kemudian dituangkan kedalam cawan petri, dan ditunggu hingga mengeras pada suhu kamar (Zebua *et al.*, 2020).

3.3.3. Isolasi bakteri dari sedimen *mangrove* dan Pemurnian Isolat

Sebelum dilakukan isolasi bakteri terhadap sampel sedimen *mangrove*, diperlukan perlakuan khusus yaitu dengan melakukan pengenceran bertingkat, dimana pengenceran ini bertujuan untuk mengurangi jumlah mikroba pada sampel, berdasarkan rujukan dari Maatoke *et al* (2024) dilakukan pengenceran bertingkat hingga 10^{-7} dengan cara ditimbang 1 gram sampel dan dilarutkan kedalam 10 mL aquades steril yang kemudian dihomogenkan setelah itu, diambil 1 mL sampel yang telah diencerkan dan dimasukkan kedalam tabung reaksi berisi 9 mL aquades steril dan dilakukan pengulangan sebanyak tujuh kali hingga didapatkan faktor pengenceran sampai 10^{-7} , setelah itu diambil 100 μ l sampel dan kemudian dituangkan kedalam media agar selektif, dan dilakukan Teknik penyebaran diatas media, dan kemudian ditutup dengan plastik wrap dan diinkubasi dalam posisi terbalik di dalam inkubator selama 3×24 jam.

Setelah didapatkan bermacam-macam koloni, kemudian dilakukan pemurnian dengan cara diambil 1 ose bakteri, dengan jarum ose yang telah dipanaskan hingga pijar sebanyak tiga kali diatas bunsen, kemudian digoreskan sampel dengan metode kuadran dan dilakukan inkubasi kembali dalam inkubator selama 1×24 jam hingga didapatkan koloni tunggal untuk dilakukan proses lebih lanjut (Fadhila dkk., 2023).

3.3.4. Skrining aktivitas antibakteri dari isolat

Hasil solat yang telah dimurnikan dan mendapatkan isolat tunggal kemudian akan dilakukan proses skrining senyawa metabolit sekunder dan antibakteri, pada proses ini menggunakan rujukan dari Anggraini dkk (2021) dengan beberapa modifikasi yaitu dilakukan peremajaan pada isolat yang akan digunakan dalam media ZM yang kemudian diinkubasi selama 1×24 jam yang kemudian isolat diambil sebanyak 1-2 ose isolasi dan di inokulasi ke dalam media cair NB, dengan tujuan untuk memfasilitasi pertumbuhan dan produksi senyawa metabolit sekunder, yang nantinya tahap ini akan digunakan untuk memasuki tahap berikutnya. Setelah dilakukan inokulasi, inokulum yang didapatkan kemudian dilakukan uji aktivitas antibakteri dengan menggunakan bakteri uji yaitu *P. aeruginosa* dengan cara melakukan invasi senyawa metabolit sekunder ke dalam kertas *disk* untuk ditanami dalam *petridish* yang telah berisi bakteri uji, yang kemudian dilakukan pengamatan dengan mengukur diameter dari zona bening yang terbentuk untuk dilakukan pengkategorian.

3.3.5. Karakterisasi morfologi bakteri terpilih

Isolat terpilih yang mempunyai kemampuan menghasilkan senyawa metabolit sekunder antibakteri terbaik selanjutnya akan diidentifikasi morfologinya menggunakan pewarnaan gram dan karakteristik lainnya berdasarkan pada *Bergey's Manual Of determinative Bacteriology*, pewarnaan gram akan memberikan informasi mengenai karakter Gram-positif dan karakter Gram-negatif. Sedangkan identifikasi berdasarkan manual tersebut akan memberikan informasi tentang morfologi sel, ukuran, dan susunan bakteri. Selanjutnya dilakukan pengamatan mikroskopis, digunakan mikroskop *Axio Zeiss A1P* dengan beberapa modifikasi. Isolat bakteri yang telah diisolasi pada media NA, *Zobell Marine*, dan *Mueller Hinton* yang kemudian diamati dibawah mikroskop untuk mengamati struktur dari isolat. Karakteristik morfologi ini akan digunakan untuk mengidentifikasi jenis mikroba yang terlibat (Kusumadewi dkk., 2025).

3.3.6. Ekstraksi senyawa metabolit sekunder dari isolat bakteri terpilih

Untuk melakukan ekstraksi senyawa metabolit sekunder pada isolat terpilih, dilakukan dengan cara bakteri diinkubasi dalam media cair NB dengan kondisi lingkungan teroptimasi selama 1×24 jam yang kemudian dipindahkan inokulum yang didapatkan ke dalam media cair dengan skala yang lebih besar yang kemudian dilakukan fermentasi selama 5×24 jam dalam kondisi statis dengan keadaan suhu ruangan dan di ruang gelap hingga didapatkan supernatan. Supernatan yang diperoleh kemudian dicampurkan dengan pelarut organik yaitu etil asetat dan dihomogenkan untuk kemudian dibiarkan mengalami proses maserasi, dan setelah itu dilakukan pemisahan dengan menggunakan corong pisah. Setelah dilakukan pemisahan antara fase organik dengan fase air yang berasal dari media, kemudian dilakukan penguapan dengan *rotary evaporator* pada suhu rendah (40°C – 50°C) sehingga menghasilkan ekstrak kasar (Isleem *et al.*, 2025).

Penggunaan pelarut etil asetat dalam ekstraksi senyawa metabolit sekunder dari bakteri sedimen *mangrove* sendiri dibanding dengan pelarut organik lainnya, hal ini dikarenakan pelarut etil asetat merupakan pelarut semipolar, sehingga mampu mengekstrak senyawa metabolit sekunder dari bakteri secara lebih spesifik. Dibandingkan dengan metanol yang memiliki sifat polar yang mudah melarutkan senyawa primer, sehingga hasil ekstrak menjadi kurang spesifik, sedangkan pelarut kloroform memiliki sifat non-polar yang lebih terbatas dalam melarutkan senyawa metabolit sekunder yang bersifat polar. Selain itu, pelarut etil asetat juga memiliki titik didih yang rendah sehingga lebih mudah menguap, sehingga mudah dalam pemekatan sehingga tidak merusak senyawa aktif, selain itu pelarut etil asetat juga memiliki tingkat toksisitas rendah dibandingkan dengan pelarut metanol dan juga kloroform (Sukandar dkk., 2022).

3.3.7. Uji aktivitas antibakteri dengan uji difusi cakram

Pengujian aktivitas antibakteri ekstrak dari isolat bakteri laut menggunakan difusi cakram diproses dengan cara mengukur diameter zona bening (*clear zone*).

Adanya diameter zona bening menunjukkan respon penghambatan pertumbuhan bakteri dalam suatu antibakteri (Mardiana dkk., 2020). Penentuan aktivitas antibakteri dilakukan dengan menggunakan metode uji antagonis dengan cara cakram isolat dari supernatan hasil ekstraksi bakteri dipersiapkan dengan konsentrasi tertentu yang telah diinkubasi pada media. Setelah itu ditempatkan di permukaan media MH yang telah berisi bakteri uji yaitu *P. aeruginosa* pada cawan terpisah. Untuk mengontrol, digunakan cakram yang telah direndam dengan kloramfenikol sebagai kontrol positif, sedangkan cakram yang direndam dengan menggunakan metanol untuk kontrol negatif, yang kemudian dilakukan inkubasi selama 3×24 jam dengan suhu 34°C, kemudian masing–masing isolat diamati setiap 24 jam untuk melihat kemampuan penghambatan pada bakteri uji yang ditandai dengan terbentuknya zona bening disekitar cakram uji dan diukur zona bening yang terbentuk. Pada pengujian aktivitas antibakteri menggunakan metode difusi cakram gunakan juga kontrol positif dan juga negatif, penggunaan kontrol ini sebagai pembandingan antara aktivitas antibiotik yang efektif dengan sampel yang digunakan sebagai bahan pengujian, sedangkan kontrol negatif sendiri digunakan untuk melihat pelarut yang digunakan apakah ada sifat toksik pada bakteri penguji atau tidak agar data yang dihasilkan bersifat valid.

3.3.8. Uji kromatografi lapis tipis (KLT) pada hasil ekstrak kasar dan kromatografi kolom dari isolat terpilih

Analisis kromatografi lapis tipis pada ekstrak kasar yang didapatkan dilakukan dengan menggunakan rujukan dari Mierza dkk (2023) dengan beberapa modifikasi, yaitu dengan cara ekstrak dilarutkan pada pelarut yang sesuai, dan kemudian digunakan plat silika gel GF 254 sebagai fase diam, dan n-heksana : etil asetat dengan perbandingan 7:3, setelah itu ekstrak yang telah dilarutkan kemudian ditotolkan dengan pipa kapiler pada plat KLT dan kemudian dimasukkan ke dalam *chamber* yang sudah dijenuhkan, dan ditutup rapat, setelah

itu ditunggu proses elusi hingga fase gerak membasahi plat silika gel hingga batas atas pengembangan yang telah di tentukan. Setelah elusi selesai plat kemudian diamati kembali dengan sinar ultraviolet dengan panjang gelombang 254 nm. Setelah itu diberikan pereaksi seperti , serium sulfat, dragendorf, dan ninhidrin, dan kemudian dipanaskan sehingga memunculkan pola kromatogram, dan kemudian dicatat dan dihitung nilai Rf masing masing noda yang terbentuk.

Perhitungan nilai Rf sendiri dapat menentukan bagaimana keadaan sampel yang dimiliki dengan melihat beberapa kondisi, dimana jika kondisi KLT menampilkan komponen spot tervisualisasi berpindah dari Rf lebih dari 0,6 maka menghasilkan pemisahan yang sedikit, dan tentu saja lebih banyak terelusi dari beberapa fraksi yang pertama, sementara itu jika nilai Rf dibawah 0,2 maka senyawa tidak bergerak sama sekali yakni bertahan pada atas kolom. Dalam situasi yang sama, jika senyawa metabolit sekunder terdeteksi terdapat pada spot senyawa diantara 0,2-0,6 maka senyawa tersebut dapat dimurnikan dengan kromatografi kolom (Mustava, 2024).

3.3.9. Karakterisasi hasil ekstraksi dengan FTIR

Pengkarakterisasian senyawa metabolit sekunder yang didapatkan dari isolat bakteri dari sedimen dengan menggunakan FTIR, dengan metode yang dijelaskan oleh Nandiyanto dkk (2019) yaitu analisis dilakukan pada daerah spektrum FTIR tengah ($4000-200\text{ cm}^{-1}$). Dalam melakukan analisis menggunakan FTIR, yang dilakukan yaitu pertama mengidentifikasi jumlah pita serapan, dimana ketika sampel menghasilkan pita serapan kurang dari lima maka sampel yang dianalisis merupakan senyawa organik sederhana dengan berat molekul kecil, sedangkan ketika hasil analisis mengeluarkan data lebih dari lima pita serapan maka sampel merupakan senyawa kompleks. Setelah diukur pada daerah spektrum $4000-200\text{ cm}^{-1}$ berikutnya dilakukan pengukuran pada daerah *single bond*, lalu setelah dianalisis di daerah *single bond*, kemudian dilakukan analisis kembali pada daerah *double bond* dimana daerah ini dapat berupa ikatan karbonil, dan kelompok imina. Setelah dilakukan analisis di daerah *double bond* dilakukan analisis Kembali pada

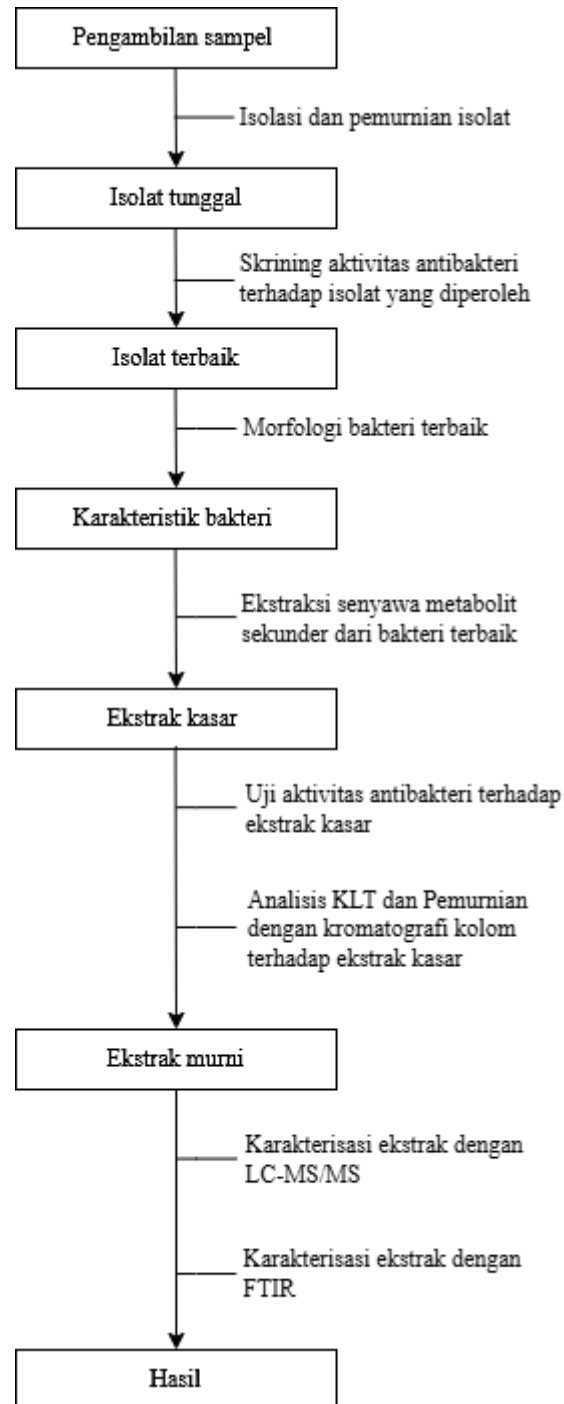
daerah *fingerprint* dimana daerah ini biasanya spesifik dan unik, dan setelah didapatkan hasil dari analisis kemudian dilakukan perbandingan dengan data perbandingan standar.

3.3.10. Karakterisasi hasil ekstraksi menggunakan *Liquid Chromatography Mass Spectroscopy / Mass Spectroscopy (LC-MS/MS)*

Pengkarakterisasian fraksi aktif dengan menggunakan *Chromatography – Mass Spectrometry/Mass Spectrometry (LC-MS/MS)* berdasarkan penjelasan dari Septaningsih *etal.* (2018) sampel yang sudah dimurnikan kemudian dilarutkan dalam metanol, yang selanjutnya sampel disuntikkan ke dalam sistem LC-MS/MS. Informasi yang akan diberikan oleh *spectrophotometry LC-MS/MS* nantinya akan berupa *spectrum* (puncak kromatogram) dan juga informasi terkait waktu retensi yang sesuai dimana hal ini mengindikasikan bahwa telah terjadi pemisahan komponen – komponen dalam fraksi berdasarkan kepolarannya. Setelah analisis pada sistem *Liquid Chromatography (LC)* kemudian dilanjutkan ke dalam sistem spektrofotometri massa (MS/MS), dimana hasil yang diperoleh meliputi spektrum massa dari setiap komponen berupa rasio massa terhadap muatan (m/z). data yang telah didapatkan kemudian akan ditransfer ke komputer dan diolah datanya dengan *software masslynx* untuk mengidentifikasi komponen senyawa metabolit sekunder dalam fraksi. Dari hasil proses pengolahan data ini nantinya akan menghasilkan data akhir berupa informasi spektrum massa yang meliputi hubungan antara rasio massa terhadap muatan (m/z) dengan intensitas puncak. Setelah informasi didapatkan kemudian dilakukan perbandingan dengan database yang ada pada *website chemspider* atau *pubchem*.

3.4. Diagram Alir

Skema penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5



Gambar 5. Skema penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapat dari penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Diperoleh dari hasil isolasi bakteri pada sampel sedimen *mangrove* di hutan *mangrove* Kabupaten Lampung Selatan dan Pesawaran sebanyak 26 Isolat.
2. Hasil skrining terhadap dua puluh enam isolat dari dua Kawasan hutan *mangrove* yaitu wilayah Kabupaten Lampung Selatan dan Pesawaran didapatkan satu isolat terbaik yaitu isolat MP4-P7-B3, yang memiliki aktivitas antibakteri yang kuat untuk menghambat pertumbuhan bakteri uji yaitu *P. aeruginosa* sebesar 12 mm.
3. Hasil identifikasi senyawa metabolit sekunder menggunakan LC-MS/MS didapatkan 26 puncak pada kromatogram dan didapatkan 25 profil senyawa dengan 4 senyawa yang terindikasi memiliki potensi sebagai senyawa metabolit sekunder yang berperan sebagai antibakteri terhadap bakteri *P. aeruginosa* yaitu *Cyclo (L-Pro-L-Val)*, *Cyclo (Hpro-Leu)*, *3-sec-Butyl-pyrrolo piperazine-1,4-dione*, *Cyclo (L-Phe-L-Pro)*.
4. Isolat MP4-P7-B3 diprediksi memiliki kemiripan dengan bakteri genus *Bacillus*, dengan memiliki warna koloni kuning membayang, bersifat Gram-positif, dan berbentuk batang.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Pada isolat MP4-P7-B3 perlu dilakukan analisis filogenetik (16S rRNA *sequencing*) untuk mengetahui spesies bakteri secara lebih akurat.
2. Perlu dilakukan analisis gen *clusters* menggunakan PCR untuk mengetahui kelompok gen pada isolat MP4-P7-B3
3. Perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut menggunakan *Docking molecular* untuk melihat lebih lanjut senyawa yang cocok untuk di tindak lanjuti sebagai bahan obat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adibi, A., Evan R. R., Saudia, M., Vincent, P. S., and Nicholas, H. O. 2017. Characterization and isolation of peptide metabolites of an antifungal bacterial isolate identified as *Bacillus amyloliquefaciens* subspecies *plantarum* strain Fzb42. *JMBFS*. **6**(6): 1309–13.
- Anggraini, A. D., Ayu, P., dan Christ, K. R. 2021. Potensi metabolit sekunder isolat *Actinomycetes* sebagai penghasil senyawa antibakteri terhadap *methicillin resistant Staphylococcus aureus* (MRSA) dari tanah *mangrove* wonorejo surabaya. *The Journal of Muhammadiyah Medical Laboratory Technologist* **4**(2): 181.
- Anggraini, Y. dan Diah, A. W. 2021. Deteksi golongan senyawa ekstrak kasar metabolit ekstrak sel mikroalga laut *Spirulina* sp. sebagai agen antioksidan. *Journal of Science and Applicative Technology* **5**(1): 202.
- Aulia H. and Dila. 2024. Thin layer chromatographic separation of amino acids by determining the resistivity factor value. *Jurnal Kimia dan Rekayasa* **5**: 1–7.
- Bakshi, K., Mangala, R. L., David, B. V., and Russell, M. 2014. Fourier Transform Infrared Spectroscopy of Peptides. *Pubmed*. 1088: 255–69.
- Benkova, M., Soukup, O., and Marek. J. 2020. Antimicrobial susceptibility testing: currently used methods and devices and the near future in clinical practice. *Journal of Applied Microbiology*. **129**(4): 806–22.
- Bento, C. M., Maria, S. G., and Silva, T. 2021. Evolution of antibacterial drug screening methods: current prospects for mycobacteria. *Microorganisms* **9**(12): 1–24.
- Daris, U. S., Husain., Sukainah., dan Andi. 2023. Uji daya hambat serta penentuan *minimum inhibitor concentration* (MIC) dan *minimum bactericidal concentration* (MBC) ekstrak daun bidara terhadap bakteri patogen. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian* **9**(2): 223–34.
- Desrini, S. 2015. Resistensi antibiotik, akankah dapat dikendalikan ?. *Jurnal kedokteran dan kesehatan Indonesia*. **6**(4): 1-3.

- Djoko, S., Perdana, P. H. 2015. Antioxidant activity determination *Garcinia Dulcis* (Roxb.) kurz, *Blumeamollis* (D.Don) Merr, *Siegesbeckia Orientalis* L., and *Salvia Riparia* H.B.K which collected from taman Nasional Gunung Merapi Using Dpph (2,2-Diphenyl-1-Pikril -Hidrazil) And Thin Layer. *Trad. Med. J: 20* (1). 28–36.
- Dongoran, Sylvia, S. I., Subagiyo, dan Wilis, A. S. 2022. *Pseudomonas* Sp., *Moraxella* Sp., *Vibrio* Sp. dari sedimen *mangrove* sebagai antibakteri terhadap *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella thypi*. *Journal of Marine Research. 11*(3): 475–82.
- Fadhila, Z. L., Aninditia, S., Diah, Ayuningrum., dan Oktavianto, E. J. 2023. Isolasi dan kelimpahan bakteri sedimen *mangrove* di pantai tirang, kota semarang. *Jurnal Pasir Laut. 7*(2): 60–67.
- Fathoni, A., Hudiyono, S., Budianto, E., Cahyana, A.H., and Agusta, A. 2021. Metabolite detection and antibacterial activity of fungal endophytic extracts isolated from brotowali (*Tinospora crispa*) plants using TLC-bioautography assay. *IOP conference series: materials science and engineering 1011*(1). 1-11.
- Gultom, R. A. 2024. *Isolasi bakteri penghasil senyawa bioaktif antibakteri dari sedimen mangrove wilayah lampung dan uji bioaktivitas antibakteri terhadap bakteri Pseudomonas aeruginosa*. Skripsi.
- Handayani, N., Aninditia S., Oktavianto, E. J., and Diah, A. 2023. Isolasi dan karakterisasi bakteri endofit dari akar *Avicennia marina* di kawasan *mangrove* pantai Tirang, Semarang. *Jurnal Pasir Laut.7*(2): 68–73.
- Holderman, M. V., Edwin, D. Q., dan Sendy, B. R. 2017. Identifikasi bakteri pada pegangan eskalator di salah satu pusat perbelanjaan di Kota Manado. *Jurnal Ilmiah Sains. 17*(1): 13.
- Hossain, T. J. 2024. Methods for screening and evaluation of antimicrobial activity: a review of protocols, advantages, and limitations. *European Journal of Microbiology and Immunology. 14*(2): 97–115.
- Hoiby, N., Claus, M., and Oana, C. 2024. *Pseudomonas aeruginosa* in the frontline of the greatest challenge of biofilm infection—its tolerance to antibiotics. *microorganism: 1–14*.
- Huang, X., Jianxiang, F., Junde, D., Jian, Z., Qingsong, Y., Chenxi, Y., Meilin, W., Wenqian, Z., and Juan, L. 2022. *Spartina alterniflora* invasion and *mangrove* restoration alter diversity and composition of sediment

diazotrophic community. *Applied Soil Ecology* .177: 104519.

- Hutagalung, S. 2023. Karakterisasi senyawa metabolit sekunder arak tradisional bali dan koktail menggunakan skrining fitokimia, spektrofotometer UV-Vis dan kromatografi cair kinerja tinggi-spektrometri massa. *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*: **6**(1): 7–19.
- Hu, M. and Song, L. C. 2025. Antibiotic-resistant *Pseudomonas Aeruginosa* : current challenges and emerging alternative therapies. *Microorganism* :**13**(4): 1–29.
- Hu, M and Chua, L. S. 2025. Antibiotic-resistant *Pseudomonas aeruginosa*: current challenges and emerging alternative therapies. *Microorganism*. **13** (14): 3-29.
- Isleem, R. S., Ahmed, M., Eid, S. E. D. H., Khaled, M. A., and Ghadir, S. E. H. 2025. Deciphering the nature and statistical optimization of antimicrobial metabolites of two endophytic bacilli. *AMB Express*. **15**(1): 1-16
- Jamila, F. K., Amelia, N., and Mustamar, Y. 2022. Uji aktivitas antibakteri ekstrak etanol daun turi (*Sesbania Grandiflora L*) terhadap pertumbuhan *Stapylococcus aureus* dengan metode cakram. *Jurnal Ilmiah Kedokteran dan Kesehatan*. **1**(2): 126–41.
- Kamnev, A. A and Tugariva, A.V. 2024. Specificities of the fourier transform infrared spectroscopic methodology and interpretation of spectroscopic data in microbiological analyses. *Journal Analytical of Chemistry*. **10** (10): 13320-1332.
- Karminarsih. 2007. Pemanfaatan ekosistem *mangrove* bagi minimasi dampak bencana di wilayah pesisir. *Jmht*. **8**(3): 182–87.
- Khairillah, Yuyun. N., Hasria, A., Haryanto., Fitriagustiani., Indri, E., Ditha, A. P., Annisa, R., Surtikanti., and Adelia, T. 2024. Isolation and identification of bacteria producing antibiotic compounds from the rhizosphere of *avicennia marina* against pathogenic bacteria in the *mangrove* ecosystem area of West Kalimantan. *Jurnal Ilmiah Biologi*. **12**(2): 1679.
- Khuntia, B.K. 2021. Basic microbiology: a illustrated laboratory manual. *Daya Publihing House*. India
- Kind, T and Oliver, F. 2007. Seven golden rules for heuristic filtering of molecular formulas obtained by accurate mass spectrometry. *BMC*. **8** (105):

1–20.

- Kowalska, T. 2022. Botanicals—its versatile potential and selected applications. *Molecules*. **27**(19): 6607.
- Kumar, Sasidharan, N., Andikkannu, S., Chellapan, M., and Ruby, J. A., 2014. Isolation and identification of antimicrobial secondary metabolites from *Bacillus cereus* associated with a rhabditid entomopathogenic nematode. *in Bioengineering and biotechnology*. **64**(1): 209–18.
- Kusaman dan Cecep. 2011. Management of *mangrove* ecosystem in indonesia.” *Journal of Natural Resources and Environmental Management*. **1**(2): 152–157.
- Kusumadewi., Yolanda, P., and Siti, N. K. 2025. Gram stain evaluation in dermatovenereology clinic and microbiology laboratories. *JCMID*. **5**(1): 1–5.
- Liu, Ying, Songze, C., Jinyu, L., Jingjing, S., Yue, S., Riquan, L., Mingzhong, L. 2024. Bacterial community structure and environmental driving factors in the surface sediments of six *mangrove* sites from Guangxi, China. *Microorganisms*. **12**(12).
- Matsumoto., Kotaro., Kazuya, H., Yuki, N., Kenji, I., and Motomu, A. 2024. A liquid static culture using a gas-permeable film bag contributes to microbiology. *Scientific Reports* **14**(1): 1–6.
- Maatoke., Cornelia, D., Deiby, E. G., Yusi, F. G. 2024. Karakterisasi dan identifikasi rhizobakteri asal *mangrove* Tanjung Pilawang sebagai biokontrol dan agen hayati pertumbuhan tanaman cornelia.” *Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi*. **12**(1): 293–304.
- Mardiana., Nur, A., Tutik, M., Widya, D. R., dan Joni, K. 2020. Potensi bakteri laut sebagai sumber antibiotik baru penghambat *Saccharomyces aureus*. *Jurnal Teknologi Pertanian* **21**(1): 49–56.
- Marco, D. J., Snezana, A. K, Petar, M., Ristivojevic., Jelena, D., Trifkovic., and David, W. M. 2023. Anti-inflammatory and antimicrobial activities of extracts from medicinal plants via high-performance. *Molecules* **28**(21): 3–16.
- Mc, C., Ashley., and Caryl, A. B. 2025. Introductory microbiology lab manual. *Journal of Microbiology & Biology Education*. **26**(1): 1–4.

- Michael and George. 2025. Current research in microbial sciences secondary metabolites from *Bacillus Sp.* probiotics as potential treatments for multidrug-resistant pathogens : a comprehensive a review. *Current Research in Microbial Sciences.*:100392.
- Mierza., Vriezka., Yessi, F., Sumardi., Ayu, A. R., Rahma, J., Florence, D. T., dan Eva, Z. 2023. Analisis kromatografi lapis tipis dan aktivitas antimikroba ekstrak N-heksana, Etil asetat dan Etanol biji salak (*Salacca zalacca gaertn voss*). *Jambura Journal of Health Sciences and Research* 5(2): 590–601.
- Mustava., Fajar, K. 2024. *TLC-Bioautographic and Chromatographic Separation On Antibacterial Extract Of Symbiont Microorganism Of Sponges Halichondria Sp . From Kupang - Undergraduate Thesis.* skripsi
- Nabillah,A dan Moralita, C. 2024. Peranan senyawa metabolit sekunder untuk pengendalian penyakit Pada Tanaman.*Jurnal Pendidikan Tabusai.* **8**(1): 15900–15911.
- Nandiyanto., Asep, B. D., Rosi, O., and Risti, R. 2019. How to read and interpret FTIR spectroscopy of organic material. *Indonesian Journal of Science and Technology.* **4**(1): 97–118.
- Octaviana., Senlie., Tjandrawati, M., and Joachim, W. 2022. Taxonomy and antimicrobial activity of gliding bacterium from Indonesian *mangroves*. *Journal of Biosciences.* **29**(3): 43–52.
- Rahmawati., Siti, M. K., Siti, L. 2021. Perencanaan interpretasi pengembangan ekowisata *mangrove* di Desa Sungai Kapuah Kecamatan Sungai Kakap Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Hutan Lestari.* **9**(3): 440–56.
- Rao and Tadikonda, R. 2024. Liquid chromatography-mass spectrometry : a review. *Journal of drug delivery and therapeutics.***14**(6): 298–304.
- Ren., Zhihua., Lei, X., Samuel, K. O., Juan, W., Yinan, R., and Xiang, N. 2022. Antibacterial activity of two metabolites isolated from endophytic bacteria *Bacillus velezensis* Ea73 in *Ageratina adenophora*. *Frontiers in microbiology*:**13**: 1–14.
- Rhee., Ki, H. 2004. Cyclic dipeptides exhibit synergistic, broad spectrum antimicrobial effects and have anti-mutagenic properties. *International journal of antimicrobial agents.* **24** (5): 423–27.
- Ricardo, R., Eugenia, P., Carla, F., and Emilia, S. 2022. Marine cyclic peptides : antimicrobial activity and synthetic strategies. *Marine Drugs.* **20**(397): 2-51.

- Robertus, T. 2024. Mekanisme resistensi *Pseudomonas aeruginosa* terhadap antibiotik. *Jurnal Penelitian Dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti*. **9** (2) :14–21.
- Rosmaniar, R. 2021. Modifikasi medium menggunakan *saline-water soluble Fraction* (SSF) Atau fraksi minyak terlarut untuk menumbuhkan bakteri pendegradasi hidrokarbon. *Indonesian Journal Of Laboratory*. **4**(2): 72–81.
- Rofi., Ikhwanudin., Erny, P., dan Djoko, M. 2021. Keanekaragaman dan pola sebaran jenis *mangrove* di Sptn Wilayah I Bekol, Taman Nasional Baluran. *Indonesian Journal of Marine Science and Technology*. **14**(3): 10–22.
- Rumalolas., Nuryanti., Rina, A. M., and Maria, M. 2023. Karakterisasi dan identifikasi senyawa metabolit sekunder dari bakteri yang bersimbion dengan *Ascidia gemmata*. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*. **9**(8): 6597–6602.
- Rushikesh.B. 2024. A brief review on different chromatographic techniques. *Journal of Pharmaceutical Research*. **8**(1).
- Sabbathini, Gabriela Christy, Sri Pujiyanto, Wijanarka, and Puspita Lisdiyanti. 2017. Isolasi Dan Identifikasi Bakteri Genus Sphingomonas Dari Daun Padi (*Oryza Sativa*) Di Area Persawahan Cibinong. *Jurnal Akademika Biologi* **6**(1): 59–64.
- Sa'uddah, L. D. 2023. *Isolasi Bakteri Penghasil Metabolit Sekunder Antibakteri Dari Sedimen mangrove Wilayah Lampung*. skripsi.
- Sajid, I., Farid, B., Ali, A. Rabban., Mohammed, A., Basim, R. A., Shammari, A. A., Amer, A., Tarek, S., and Alam, K. 2023. Classification and multifaceted potential of secondary metabolites produced by *Bacillus subtilis* group : a comprehensive review. *molecules*. **28**(3):1-29
- Septaningsih., Dewi, A., Latifah, K. D., Farit, M. A., and Rudi, H. 2018. Liquid Chromatography Mass Spectrometry (LC-MS) fingerprint combined with chemometrics for identification of metabolites content and biological activities of *Curcuma aeruginosa*. *Indonesian Journal of Chemistry*. **18**(1): 43–52.
- Sohei Tasaki, Madoka Nakayama and Wataru Shoji. 2017. Morphologies of *Bacillus Subtilis* Communities Responding to Environmental Variation.” *Development, growth & differentiation*. **59**: 369–78.
- Sri.W., Nurwilda. K., Riska, A.I.P.A.S., dan Putri, R.A. 2024. Edukasi pembuatan

media *nutrient agar* (NA) untuk pengamatan morfologi *Esherichia Coli*. Pengabdian Kepada Masyarakat. **5**(1): 31–36.

Sukandar, T.K., Sinaga, I., dan Santikawati, S. 2022. Fraksi aktif rumput laut coklat (*Sargassum cinereum*) sebagai antioksidan dan antibakteri. *Jurnal Penelitian Terapan Perikanan dan Kelautan*. **4**(2): 1-9.

Sukrama., Igusti, A. M. P. D dan Dewa, M. 2021. Karakteristik bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan pola kepekaannya terhadap antibiotik di *Intensive Care Unit* (Icu) Rsup Sanglah Pada Bulan November 2014 – Januari 2015. *The Encyclopedia of Philosophy of Religion*. **8**(4): 1–3.

Tapilatu, Y. H. 2016. Marine bacteria from eastern Indonesia waters and their potential use in biotechnology. *Omni-akuatika*. **12**(1): 81–85

Tiquia, A., Sonia., Xiaohua, L., Keshav, P., Amin, K., Lana, A., Oliver, C., Diana, K., Hawraa, N., and Somie, O. 2023. Applications of fourier transform-infrared spectroscopy in microbial cell biology and environmental microbiology: advances, challenges, and future perspectives. *Frontiers in Microbiology*. **15** :1-25

Velati., Zigtharinta, A., Suryono., and Ibnu, P. 2024. Jenis substrat dan tingkat kerapatan *mangrove* di kawasan konservasi *mangrove* Baros Yogyakarta. *Journal of Marine Research* **13**(4): 739–45.

Wang, B and Xianbiao, L. 2023. Exotic spartina alterniflora invasion enhances sediment N-Loss while reducing N Retention in *mangrove* Wetland. *Geoderma*. **431** (116362): 1-12.

Widayat, B. M., Delianis, P., and Wilis, A. S. 2024. Kluster gen biosintetik (nrps/pks) pada bakteri sedimen *mangrove* pantai Tirang Semarang Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis* **27**(3): 515–24.

Wondal., Bella.; Elvy,E.G; 2019. Isolasi bakteri laut dari perairan malalayang. *Pesisir dan Laut Tropis* **7**(3): 1–7.

Wulandari., Sri., Fika, A., dan Adam, M. R. 2021. Sintesis senyawa *phenyllactic acid* (*2-Hydroxy-3-Phenylpropionic Acid*) dan aktivitasnya sebagai antibakteri. *Jamb.J.Chem*. **3**(2): 91–98.

Xiao., Shaoyujia., Nan, C., Zixue, C., Xiliang, Y., Mengdie, Z., Chenghaotian, X., and Shiqin, Z. 2022. Secondary metabolites from marine-derived *Bacillus* : A

Comprehensive Review of Origins, Structures, and Bioactivities. *marine drugs*. **20** (567): 2-31

- Xu., Hao., Wenchao, W., Yuntian, C., Dongxiao, Z., and Fanyang, M. 2025. Explicit relation between thin film chromatography and column chromatography conditions from statistics and machine learning. *Nature Communications*. **16**(1): 1-12.
- Yao, S., Tianhui, W., Tongqing, M., Zhiying, F., and Jinzhu, S. 2024. Dellaglioia algida cell-free supernatant inhibits *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas fragi* by destroying cell membranes. *Foods*.**13**(2986): 2-16.
- Yulma., Gloria, I. S. 2019. Diversity of bacteria in sediment from *mangrove* and bekantan conservation area (Kkmb) in Tarakan City. *Aquasains*. **7**(2): 697.
- Yu., Xiaodan., Li,L., Shiwei, S., Aiping, C., Xiaoyun, D., Hui, L., Yinglu, W., and Hu, Z. 2021. A cyclic dipeptide from marine fungus *Penicillium chrysogenum* DXY - 1 exhibits anti-quorum sensing activity. *ACS Omega*. **6**(11): 1-8.
- Zebua., Abdi, H. P., Nursyirwani., and Feliatra. 2020. Molecular identification of proteolytic bacteria from mangrove sediment in dumai marine station. *Asian Journal of Aquatic Sciences* 3(2): 179–88.