

**EKSPLORASI AKTIVITAS ANTIBAKTERI SPONS *Ptilocaulis*  
TERHADAP BAKTERI PATOGEN DARI PERAIRAN  
PULAU PAHAWANG, KECAMATAN PUNDUH PIDADA,  
KABUPATEN PESAWARAN, LAMPUNG**

**SKRIPSI**

**Oleh**

**SISKA HIDAYAH  
2214221001**



**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN  
JURUSAN PERIKANAN DAN KELAUTAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2026**

**EKSPLORASI AKTIVITAS ANTIBAKTERI SPONS *Ptilocaulis*  
TERHADAP BAKTERI PATOGEN DARI PERAIRAN  
PULAU PAHAWANG, KECAMATAN PUNDUH PIDADA,  
KABUPATEN PESAWARAN, LAMPUNG**

**Oleh**

**SISKA HIDAYAH**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat guna Mencapai Gelar  
SARJANA SAINS (S. Si)**

**Pada**

**Jurusan Perikanan dan Kelautan  
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDARLAMPUNG  
2026**

## ABSTRAK

### **EKSPLORASI AKTIVITAS ANTIBAKTERI SPONS *Ptilocaulis* TERHADAP BAKTERI PATOGEN DARI PERAIRAN PULAU PAHAWANG, KECAMATAN PUNDUH PIDADA, KABUPATEN PESAWARAN, LAMPUNG**

OLEH

**SISKA HIDAYAH**

Meningkatnya kasus infeksi bakteri patogen dan resistensi antibiotik mendorong pencarian sumber antibakteri baru dari bahan alam laut. Spons laut diketahui menghasilkan metabolit sekunder yang berpotensi sebagai agen antibakteri. Penelitian bertujuan guna mengeksplorasi aktivitas antibakteri spons *Ptilocaulis* dari perairan Pulau Pahawang, Kabupaten Pesawaran, Lampung terhadap bakteri patogen *Escherichia coli*. Metode penelitian meliputi ekstraksi dengan teknik maserasi menggunakan tiga pelarut berbeda (metanol, etil asetat, dan n-heksana), uji aktivitas antibakteri dengan metode difusi cakram, serta analisis senyawa menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelarut etil asetat menghasilkan rendemen tertinggi, yaitu 9,68% dan 8,37%, dibandingkan metanol (6,74% dan 5,11%) serta n-heksana (2,05% dan 1,06%). Uji aktivitas antibakteri menunjukkan ekstrak etil asetat memiliki daya hambat paling kuat terhadap *E. coli* dengan diameter zona hambat 19,5 mm dan 16,3 mm, diikuti metanol (10,2 mm dan 9,1 mm) dan n-heksana (0 mm dan 0 mm). Kontrol positif kloramfenikol menunjukkan zona hambat 26,2 mm dan 24,1 mm, sedangkan kontrol negatif tidak menunjukkan hambatan. Analisis GC-MS terhadap fraksi spons *Ptilocaulis* menunjukkan hasil berupa 30 puncak senyawa yang didominasi oleh golongan hidrokarbon, ester, alkohol, terpenoid, serta steroid.

Kata kunci: Antibakteri, *Escherichia coli*, GC-MS, Metabolis Sekunder, *Ptilocaulis*

## ABSTRACT

### EXPLORATION OF ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF SPONGE *Ptilocaulis* AGAINST PATHOGENIC BACTERIA FROM THE WATERS OF PAHAWANG ISLAND, PUNDUH PIDADA DISTRICT, PESAWARAN REGENCY, LAMPUNG

By

SISKA HIDAYAH

The rising incidence of pathogenic bacterial infections and antibiotic resistance has spurred the search for new sources of antibacterial agents from marine natural products. Marine sponges are known to produce secondary metabolites with potential as antibacterial agents. This study aimed to investigate the antibacterial activity of the sponge *Ptilocaulis* from the waters around Pahawang Island, Pesawaran Regency, Lampung, against the pathogenic bacterium *Escherichia coli*. The research methods included extraction via maceration using three different solvents (methanol, ethyl acetate, and n-hexane), antibacterial activity testing using the disk diffusion method, and compound analysis using *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). The results showed that ethyl acetate yielded the highest extraction yields, namely 9,68% and 8,37%, compared to methanol (6,74% and 5,11%) and n-hexane (2,05% and 1,06%). The antibacterial activity test showed that the ethyl acetate extract had the strongest inhibitory effect against *E. coli* with inhibition zone diameters of 19,5 mm and 16,3 mm, followed by methanol (10,2 mm and 9,1 mm) and n-hexane (0 mm and 0 mm). The chloramphenicol positive control showed inhibition zones of 26,2 mm and 24,1 mm, while the negative control showed no inhibition. GC-MS analysis of the *Ptilocaulis* sponge fraction revealed 30 compound peaks dominated by hydrocarbons, esters, alcohols, terpenoids, and steroids.

Keywords: Antibacterial Activity, *Escherichia coli*, GC-MS, *Ptilocaulis*, Secondary Metabolites

Judul Skripsi Eksplorasi Aktivitas Antibakteri Spons  
*Ptilocaulis* terhadap Bakteri Patogen dari  
Perairan Pulau Pahawang, Kecamatan Punduh  
Pidada, Kabupaten Pesawaran, Lampung

Nama Mahasiswa Siska Hidayah

Nomor Pokok Mahasiswa 2214221001

Program Studi Ilmu Kelautan

Fakultas Pertanian



Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.  
NIP. 199001202019031011

Dr. Berta Putri, S.S., M.Si.  
NIP.198109142008122002

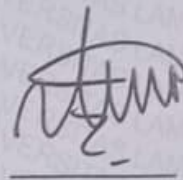
Ketua Jurusan perikanan dan Kelautan

Munti Sarida, S.Pi., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 198309232006042001

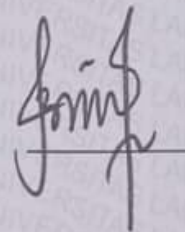
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

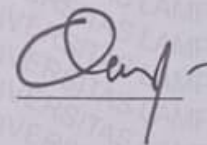
Ketua : Anna Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.



Sekretaris : Dr. Berta Putri, S.Si., M.Si.



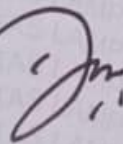
Penguji Bukan Pembimbing : Oktora Susanti, S.Pi., M.Si.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.  
NIP. 196411181989021002



Tanggal lulus ujian skripsi: 26 Juni 2026

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi yang berjudul **“Eksplorasi Aktivitas Antibakteri Spons *Ptilocaulis* terhadap Bakteri Patogen dari Perairan Pulau Pahawang, Kecamatan Punduh Pidada, Kabupaten Pesawaran, Lampung”** tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh pihak lain untuk mendapatkan karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebut dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata dalam naskah skripsi ini ditemukan dan terbukti terdapat unsur-unsur fabrikasi, falsifikasi, plagiat dan konflik kepentingan saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S1) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Bandar Lampung, 15 Juni 2026

Yang membuat pernyataan



Siska Hidayah  
NPM. 2214221001

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan di Balaraja, Kabupaten Tangerang, Provinsi Banten, pada tanggal 24 Mei 2004 sebagai anak pertama perempuan dari pasangan suami istri Bapak Iskandar dan Ibu Syusilawati. Penulis menempuh pendidikan formal dari Pendidikan dasar di SDN 01 Bandar Putih pada tahun (2010-2016), lalu melanjutkan pendidikan menengah pertama di MTSN 01 Lampung Utara pada tahun (2016-2019), dan pendidikan menengah atas di SMAN 04 Kotabumi pada tahun (2019-2022).

Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang pendidikan tinggi (S1) di Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2022. Penulis pernah mengikuti Lisensi Selam Air scuba diver dalam Club selam POSSI pada tahun 2024, dan pernah menjadi asisten praktikum pada mata kuliah Renang pada tahun (2025-2026).

Penulis pernah aktif menjadi anggota Departemen Rumah Tangga Organisasi Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Tapak Suci Unila pada periode (2023-2024). Penulis aktif juga pada organisasi eksternal Pergerakan Mahasiswa Islam Indonesia (PMII) Komisariat Universitas Lampung sebagai Ketua Departemen KOPRI PMII

(Korps Pergerakan Mahasiswa Islam Indonesia Putri) Rayon Pertanian Komisariat Universitas Lampung pada periode (2024-2025), dan pernah menjadi Ketua KOPRI PMII Rayon Pertanian Komisariat Universitas Lampung pada periode (2025-2026). Penulis juga menjadi Bendahara Umum PMII Komisariat Universitas Lampung pada periode (2026-2027).

Penulis juga pernah mengikuti magang mandiri di Sekolah Usaha Perikanan (SUPM) Kota Agung mulai dari tanggal 06-27 Januari 2024, Penulis mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Ogan Lima, Kecamatan Abung Barat, Kabupaten Lampung Utara, Provinsi Lampung selama 40 hari pada bulan Januari-Februari 2025. Penulis juga telah melaksanakan kegiatan Praktik Umum di Perairan Pulau Pahawang, Kecamatan Punduh Pidada, Kabupaten Pesawaran, Lampung.

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya Dia mendapat (pahala) dari (kebajikan) yang dikerjakannya dan mendapat (siksa) dari (kejahatan) yang diperbuatnya"

(Q.S Al-Baqarah:286)

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan"

(Q.S Al-Insyirah: 5-6)

Tugas manusia hanya berjuang, bukan memaksakan hasil. Kita punya kendala tapi Allah punya kendali. Yakinlah jika Allah sudah ikut andil, maka tidak ada kata mustahil."

(Ustadz Hanan Attaki)

Ketika orang lain punya alasan untuk menyerah, aku justru memiliki 1000 harapan untuk terus berjuang untuk mereka yang aku sayang. Langkah ini mungkin berat, namun aku sedang menyiapkan jalan yang lebih ringan untuk adikku nanti. Aku memang tidak lahir dari keluarga yang kaya harta, tapi aku ingin adikku tumbuh di lingkungan yang kaya harapan."

(Andhini Noer Saparina)

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji Syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Eksplorasi Aktivitas Antibakteri Spons *Ptilocaulis* terhadap Bakteri Patogen dari Perairan Pulau Pahawang, Kecamatan Punduh Pidada, Kabupaten Pesawaran, Lampung tepat pada waktunya guna memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains (S.Si).

Pada penulisan skripsi tidak lepas dari dukungan, bantuan, serta doa dari semua pihak baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan kemudahan dan kelancaran kepada penulis, sehingga dapat menjalankan penelitian dan penulisan skripsi dengan lancar.
  2. Bapak Dr. Ir Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
  3. Ibu Munti Sarida, S.Pi., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan.
  4. Bapak Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Sc. selaku dosen Pembimbing Akademik (PA) yang senantiasa memberikan arahan selama proses akademik.
  5. Bapak Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Pertama.
- Terima kasih atas arahan, kritik, dan saran yang membangun, serta kesediaan waktu yang selalu diberikan tanpa pernah mempersulit maupun memperlambat penulis dalam proses penyelesaian penelitian hingga penyusunan skripsi

6. Ibu Dr. Berta Putri, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang juga telah membimbing dan meluangkan waktu untuk penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi.
7. Ibu Oktora Susanti, S.Pi, M.Si, selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritikan dan saran yang konstruktif demi kesempurnaan penulisan dan penyusunan proposal hingga skripsi.
8. Kedua Orang Tua, bapak Iskandar dan ibu Syusilawati yang selalu mendoakan serta memberikan semangat serta finansial selama penulis melaksanakan penelitian hingga penyelesaian penulisan skripsi.

Bandar Lampung, 26 Mei 2026

Siska Hidayah

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xv</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Kerangka Pikir.....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Gambaran Umum Spons.....	5
2.2 Metabolit Sekunder Spons.....	8
2.3 Bioaktif Spons .....	9
2.4 Penyakit Infeksi .....	14
2.5 Antibakteri.....	15
2.6 <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)</i> .....	16
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	<b>18</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	18
3.2 Alat dan Bahan .....	19
3.3 Rancangan Penelitian .....	21
3.3.1 Pengambilan Sampel.....	21
3.3.2 Identifikasi Spons .....	21
3.3.3 Preparasi Sampel.....	22
3.3.4 Ekstraksi.....	22
3.3.5 Sterilisasi Alat dan Bahan.....	23

3.3.6 Pembuatan Larutan Kontrol Positif .....	23
3.3.7 Perendaman Cakram .....	24
3.3.8 Pembuatan Media .....	24
3.3.9 Peremajaan Bakteri .....	24
3.3.10 Pembuatan Suspensi .....	24
3.3.11 Peletakan Kertas Cakram .....	25
3.3.12 Uji Zona Hambat .....	25
3.3.13 <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS) .....	25
3.4 Analisis Data .....	26
3.4.1 Analisis Rendemen .....	26
3.4.2 Analisis Zona Hambat .....	27
3.4.3 Analisis <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS) .....	27
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>28</b>
4.1 Identifikasi Spons .....	28
4.2 Analisis Rendemen .....	29
4.3 Analisis Zona Hambat .....	30
4.4 Analisis <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS) .....	32
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>41</b>
5.1 Simpulan .....	41
5.2 Saran .....	41
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>42</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>56</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kandungan pada golongan senyawa terhadap aktivitas bioaktif spons .....	13
2. Spesifikasi dan kegunaannya alat-alat penelitian.....	19
3. Spesifikasi dan kegunaannya bahan-bahan penelitian .....	20
4. Hasil persentase rendemen berdasarkan berat sampel dan berat ekstrak terhadap jenis pelarut pada setiap pengulangan.....	29
5. Hasil zona hambat ekstrak metanol, etil asetat,n-heksana, dan k+, pada setiap pengulangan .....	30
6. Senyawa yang teridentifikasi pada fraksi spons <i>Ptilocaulis</i> berdasarkan analisis GC-MS .....	32

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pikir.....	4
2. Kelas pada spons (a) <i>Leucosolenia variabilitas</i> kelas Calcarea, (b) <i>Euplectella aspergillum</i> kelas Hexactinellida, (c) <i>Acarinus erithacus</i> kelas Demospongiae, dan (d) <i>Oscarella lobularis</i> kelas Homoscleromorpha .....	5
3. Tipe saluran air pada Porifera (a) <i>Asconoid</i> , (b) <i>Syconoid</i> , dan (c) <i>Leuconoid</i>	6
4. Morfologi spons <i>Ptilocaulis</i> .....	7
5. Struktur kimia senyawa bioaktif kelompok alkaloid pada spons.....	9
6. Struktur kimia senyawa bioaktif kelompok terpenoid pada spons laut.....	10
7. Struktur kimia senyawa bioaktif kelompok steroid pada spons laut.....	11
8. Gambar 8. Struktur kimia senyawa bioaktif kelompok poliketida pada spons laut.....	12
9. Struktur kimia senyawa bioaktif kelompok polipeptida pada spons laut.....	12
10. Lokasi pengambilan sampel.....	18
11. (a) Pengukuran spons <i>Ptilocaulis</i> , (b) Spons <i>Ptilocaulis</i> pada habitat perairan Pahawang .....	28
12. Kromatogram hasil GC-MS fraksinasi spons <i>Ptilocaulis</i> .....	32
13. Struktur molekul senyawa (a) benzene, 1,2,4,5-tetramethyl-, (b) Dibenzylamine, (c) 2-(N-Morpholinyl)ethylphosphine.....	35
14. Struktur molekul senyawa (a) 2-Pyridinepropanamide, N-phenyl-, (b) 1-Ethylsulfanylmethyl-2,8,9-trioxa-5-aza-1-sila-bicyclo[3.3.3]undecane, (c) n-Nonadecanol-1 .....	36
15. Struktur molekul senyawa (a) Hexadecane, 1-iodo-, (b) Eicosane, (c) 28-Nor-17.alpha.(H)-hopane .....	37
16. Struktur molekul senyawa (a) Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl) ester, (b) Pentacos-1-ene dan Pentacosane, (c) Mono(2-ethylhexyl) phthalate .....	37
17. Struktur molekul senyawa (a) 2,4a,8,8 Tetramethyldecahydrocyclopropa[d]naphthalene, (b) Carbonic acid, octadecyl vinyl ester dan Carbonic acid, eicosyl vinyl ester, (c) (1S,4aS,4bS,7S,8aS, 10aS)-7-Isopropyl-1,4a-dimethyltetradecahydrophenanthrene dan 17.alpha., 21.beta.-28,30-Bisnorhopane .....	38
18. Struktur molekul senyawa (a) Pentalene, octahydro-2-[(2-octyl)decyl]-, (b) 2-Butenal, 2-methyl-4-(2,6,6-trimethyl-1-cyclohexen-1-yl)-, (c) Lathosterol, (d) Ergosta-5,24(28)-dien-3-ol, (3 $\beta$ )-.....	39

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran 1. Pengambilan spons dan proses ekstraksi .....	57
Lampiran 2. Proses analisis zona hambat dan fraksinasi .....	58
Lampiran 3. Tinggi spektrum 30 senyawa spons <i>Ptilocaulis</i> .....	61

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Laut memiliki fungsi sebagai sumber bahan makanan dari berbagai biota laut yang hidup di dalamnya, serta sebagai sumber obat dan kosmetik (Pasodung et al., 2018). Carrol et al., (2020) menuliskan bahwa telah ditemukan jenis senyawa baru sebanyak 550-700 jenis senyawa avertebrata laut dari perairan Indonesia yang diambil sejak tahun 2012-2017. Perairan Pulau Pahawang merupakan salah satu Pulau di Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung yang terkenal dengan pemandangan laut yang indah dan kaya akan komunitas spons. Spons yang berada di wilayah Teluk Lampung memiliki karakteristik air yang tenang dan kedalaman dangkal hingga sedang. Substrat dasar yang terdiri dari terumbu karang hidup dan mati, pasir berlumpur, dan pecahan karang (*rubble*). Komunitas spons di Pulau Pahawang memiliki morfologi yang sangat beragam. Beberapa jenis spons berbentuk tabung, masif, bercabang, atau lembaran dan memiliki warna yang mencolok seperti kuning, orange, merah, ungu, atau coklat. Warna-warna yang ada pada spons berfungsi sebagai simbol identitas dan kesehatan ekosistem.

Spons merupakan salah satu avertebrata dari Filum Porifera yang menghasilkan senyawa aktif dengan berbagai variasi struktur dan memiliki fungsi biologi sebagai antimikroba (Liang et al., 2023). Spons merupakan salah satu bahan bioaktif dari laut yang memiliki berbagai aktivitas seperti antimikroba, antijamur, antivirus, antikanker, dan antibakteri (Nurama et al., 2023), Metabolit sekunder melakukan berbagai fungsi untuk melindungi diri dan menyesuaikan diri dengan kondisi ekstrim seperti persaingan ruang, melindungi diri dari predator, menghalangi organisme yang menempel, dan melindungi diri dari organisme lain (Tan, 2023). Kandungan metabolit sekunder yang ada pada spons diketahui

mampu untuk menangkal dan menghambat bakteri patogen (Fajarina, 2018). Salah satu spons yang memiliki senyawa bioaktif adalah spons dari kelas Demospongiae, yaitu *Ptilocaulis* sebagaimana yang telah dijelaskan oleh Widyaningsih & Sa'adah (2018), senyawa yang dimiliki spons dapat disintesis oleh metabolit sekunder, sehingga memungkinkan ekstrak dan bakteri simbiosis pada *Ptilocaulis* berfungsi sebagai agen antibakteri. Hal tersebut menunjukkan bahwa bakteri yang bersimbiosis dengan *Ptilocaulis* dapat digunakan sebagai sumber antibakteri baru. Wibowo et al., (2020) menuliskan bahwa *Ptilocaulis* memiliki bakteri simbiosis *Bacillus* yang memiliki sifat antibakteri terhadap *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* (Wibowo et al, 2020),

Maisaroh et al., (2023) menyatakan bahwa ekstrak *Ptilocaulis* memiliki aktivitas antibakteri terhadap *E. coli*. Penelitian sebelumnya dilakukan menggunakan pelarut etanol terhadap bakteri patogen *E. coli* pada spons *Ptilocaulis*, sedangkan pada penelitian kali ini pelarut yang digunakan yaitu metanol, etil asetat dan n-hexana. *E. coli* merupakan bakteri gram negatif yang memiliki ciri berbentuk batang. Umumnya bakteri *E. coli* ditemukan di usus besar manusia, dan merupakan bakteri alami pencernaan (Maisaroh et al., 2023). *E. coli* memiliki sifat patogen pada lingkungan terbuka di luar usus. Pengaruh paparan yang ditimbulkan saat terpapar adalah terjadinya infeksi saluran kemih, saluran empedu, dan diare. Oleh karena itu, agen baru antibakteri dari spons menjadi topik penelitian yang menarik untuk dilakukan. Penelitian bertujuan guna mengetahui aktivitas antibakteri spons *Ptilocaulis* yang diambil dari Perairan Pulau Pahawang terhadap bakteri patogen *E. coli*.

## 1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian sebagai berikut:

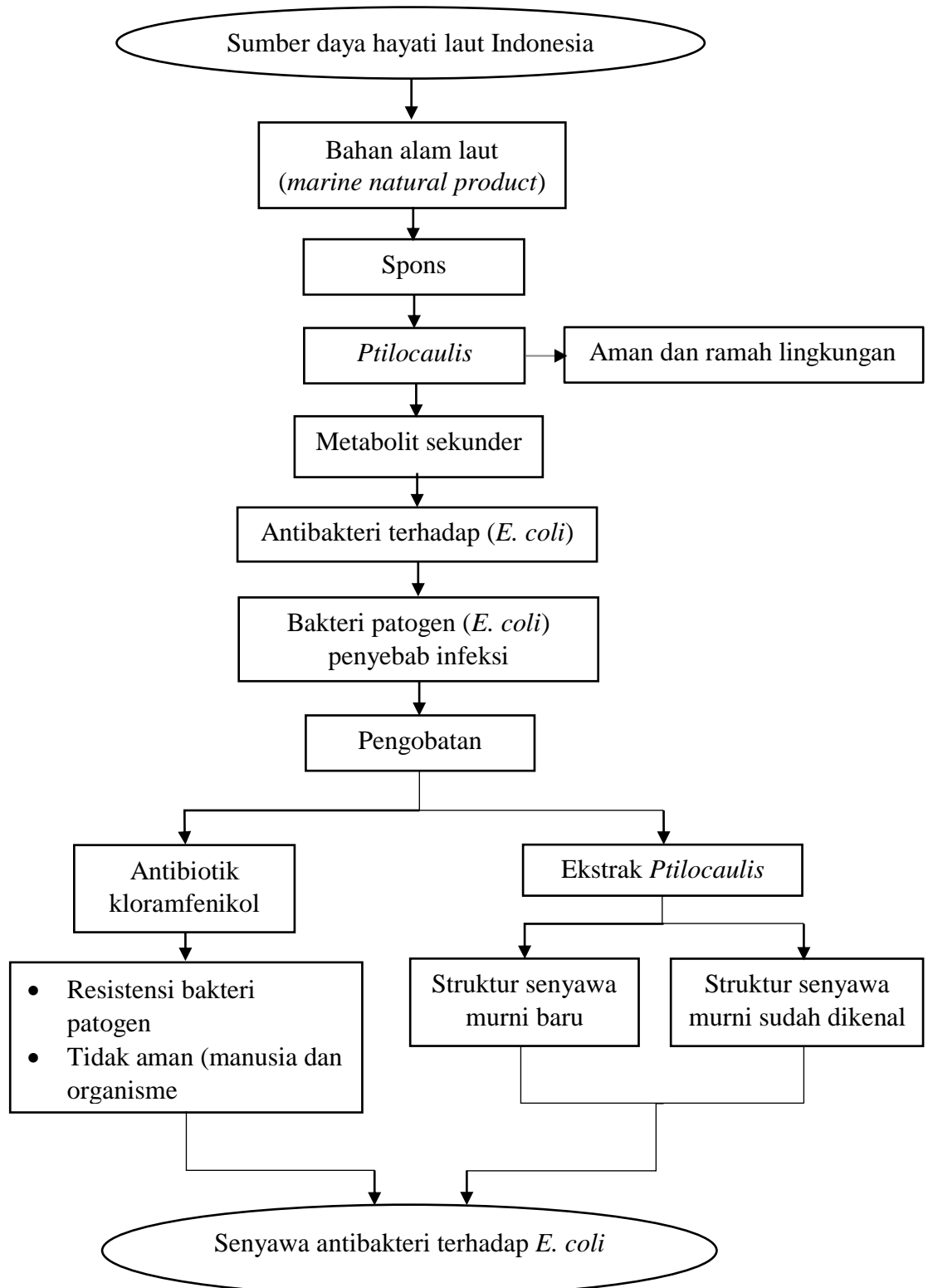
1. Membandingkan rendemen ekstrak bioaktif dari tiga pelarut berbeda
2. Membandingkan aktivitas antibakteri dari ekstrak spons dari tiga pelarut Berbeda
3. Menganalisis profil senyawa bioaktif ekstrak spons sebagai antibakteri terhadap bakteri *E. coli*

### 1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian diharapkan dapat membantu dalam pengembangan alternatif antibakteri alami untuk sumber daya hayati laut. Uji potensi antibakteri spons *Ptilocaulis* terhadap bakteri patogen yang ditemukan dalam air di Pulau Pahawang, Lampung. Penelitian diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan tentang prospek bioteknologi kelautan, terutama dalam bidang farmasi dan kesehatan. Penelitian juga diharapkan menjadi dasar untuk penelitian lebih lanjut tentang senyawa bioaktif yang terkandung dalam spons. Senyawa bioaktif tersebut dapat digunakan sebagai bahan dasar untuk obat antibakteri baru. Selain itu, penelitian yang dilakukan dapat mendukung upaya untuk mempertahankan dan memanfaatkan ekosistem laut secara berkelanjutan.

### 1.4 Kerangka Pikir

Potensi sumber daya hayati laut Indonesia yang menghasilkan bahan alam laut (*marine natural product*), salah satunya adalah spons. Spons *Ptilocaulis* diketahui menghasilkan metabolit sekunder yang berpotensi sebagai antibakteri terhadap bakteri patogen *E. coli*. Bakteri *E. coli* merupakan penyebab infeksi yang umumnya diobati menggunakan antibiotik seperti kloramfenikol, namun penggunaannya dapat menimbulkan resistensi bakteri patogen serta risiko bagi manusia dan organisme lain. Oleh karena itu, spons *Ptilocaulis* dimanfaatkan sebagai sumber bahan alam untuk memperoleh ekstrak dan senyawa murni yang kemudian dianalisis untuk mengetahui struktur senyawa baru maupun senyawa yang telah dikenal, sehingga diharapkan dapat ditemukan senyawa antibakteri yang efektif terhadap *E. coli*. Kerangka pikir penelitian dideskripsikan dalam bentuk diagram yang tersajikan pada Gambar 1.

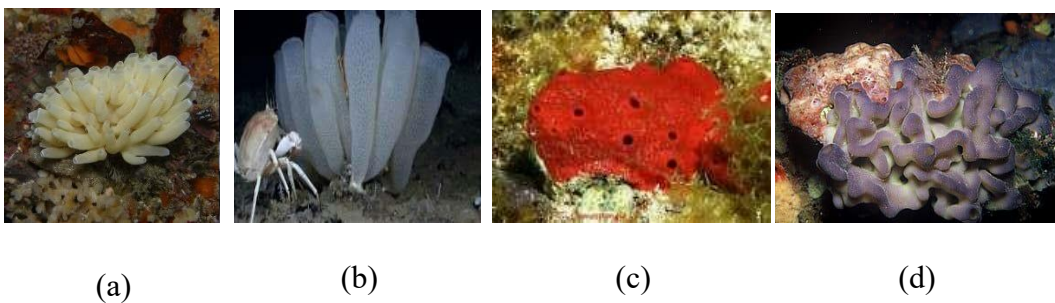


Gambar 1. Kerangka pikir

## II. TINJAUAN PUSTAKA

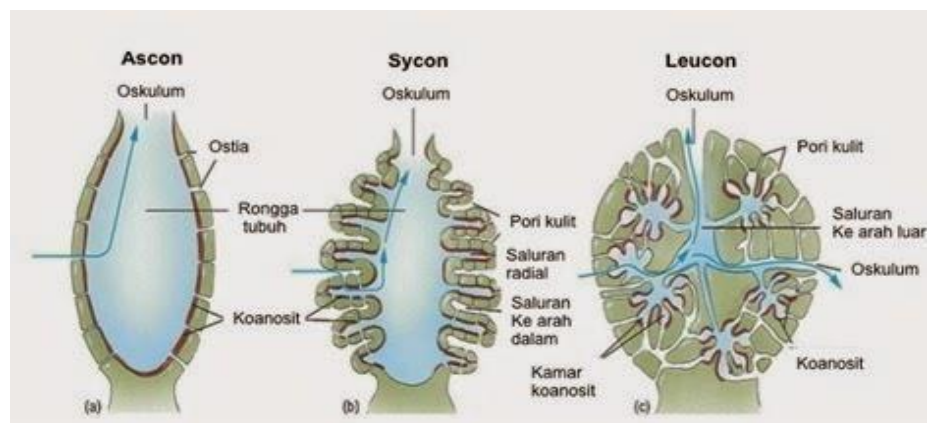
### 2.1 Gambaran Umum Spons

Spons adalah avertebrata laut yang berasal dari filum Porifera dan merupakan biota laut multiseluler dengan fungsi jaringan dan organ yang sangat sederhana (Adewal et al., 2025). Spons terbagi menjadi 4 kelas yaitu Calcarea, Hexactinellida, Demospongiae, dan Homoscleromorpha (Gambar 2). Spons yang berada pada lingkungan terbuka, berombak besar, dangkal, terkena sinar matahari, dan cenderung pendek pertumbuhannya, merambat, dan memiliki kisaran warna yang gelap hingga terang, seperti hitam, coklat, abu, ungu, biru, hijau, orane, dan kuning (Sukri et al., 2024). Sementara di lingkungan yang terlindung atau di perairan yang lebih dalam dan berarus tenang, spons dari jenis yang sama cenderung tumbuh tegak dan tinggi, dan memiliki warna pucat dan putih (Utami et al., 2018).



Gambar 2. Kelas pada spons (a) *Leucosolenia variabilis* kelas Calcarea, (b) *Euplectella aspergillum* kelas Hexactinellida, (c) *Acarnus erithacus* kelas Demospongiae, dan (d) *Oscarella lobularis* kelas Homoscleromorpha (Sumber Rahmadina, 2021; Price et al., 2025)

Marzuki et al., (2018) menyebutkan bahwa spons memiliki bentuk tubuh sederhana seperti tabung dengan dinding tipis, masif, bahkan berbentuk kurang teratur. Berdasarkan bentuk tubuhnya, spons terbagi menjadi 3 tipe saluran (sistem aliran air) yaitu *asconoid*, *syconoid*, dan *leuconoid* (Gambar 3). *Asconoid* adalah bentuk paling primitif dan biasa ditemukan pada spons *Calcarea*. Dinding tubuhnya tipis dan membentuk rongga tengah (*spongocoel*) yang menyerupai vas bunga (putra et al., 2023). *Syconoid* memiliki permukaan filter yang lebih luas dibandingkan *asconoid* karena lipatan horizontal di dinding tubuh mereka. *Spongocoel* masih ada, tetapi lebih kecil, dan air mengalir melalui saluran radial (Aisyah et al., 2025). Tipe *leuconoid* adalah yang paling kompleks, dan memiliki banyak lipatan dan saluran kecil. *Spongocoel* hampir tidak ada lagi dan digantikan oleh jaringan saluran dan kamar koanosit yang kompleks, seperti yang ditemukan pada *Demospongiae* (Aisyah et al., 2025).



Gambar 3. Tipe saluran air pada Porifera (a) *Asconoid*, (b) *Syconoid*, dan (c) *Leuconoid* (sumber: Rahmadina, 2021)



Gambar 4. Morfologi spons *Ptilocaulis*  
(Sumber: Maisaroh et al., 2023)

Demospongiae adalah kelompok spons yang paling umum diantara Filum porifera, dan setiap anggota kelompok memiliki saluran air tipe *leukonoid*. Habitat umum Demospongiae adalah di laut dalam atau dangkal. *Ptilocaulis* seperti yang terlihat pada Gambar (4) merupakan salah satu contoh spons dari kelas Demospongiae.

#### Klasifikasi ilmiah

Kingdom : Animalia  
 Phylum : Porifera  
 Class : Demospongiae  
 Order : Axinellida  
 Family : Axinellidae  
 Genus : *Ptilocaulis*

Ciri khas morfologi *Ptilocaulis* adalah saluran spikula berbulu memanjang yang terhubung oleh 1-2 spikula di beberapa titik dan menyebar di atas kulit dermal spons. Morfologi tersebut membuat spons bercabang dan berstruktur kompleks, yang membuatnya mudah diidentifikasi taksonomi. Spikula bercabang membentang di bagian ujungnya, sementara bagian aksialnya memadat, menunjukkan karakteristik struktural yang khas dari genus tersebut. Spons yang dikeringkan atau dicampur dengan alkohol, biasanya berwarna merah jingga.

Kandungan senyawa metabolit, *Ptilocaulis* diketahui mengandung sejumlah metabolit sekunder, termasuk alkaloid dan triterpenoid, yang memiliki potensi aktivitas bioaktif (Maisaroh et al., 2023). Alkaloid merupakan senyawa organik siklik yang memiliki sifat antibakteri dan antiinflamasi, merusak susunan peptidoglikan dinding sel bakteri, menyebabkan lisis dan kematian mikroba. Di sisi lain, triterpenoid melakukan hal yang sama dengan merusak membran plasma bakteri, meningkatkan permeabilitas dan membocorkan isi sel, yang pada gilirannya menyebabkan kematian sel mikroba. Spons *Ptilocaulis* memiliki kandungan yang dapat menjadi sumber bahan aktif alami yang dapat digunakan dalam industri farmasi dan pengobatan.

## 2.2 Metabolit Sekunder Spons

Spons merupakan invertebrata laut penghasil senyawa bioaktif tinggi yang digunakan sebagai sistem pertahanan diri. Senyawa bioaktif dibuat melalui proses metabolit sekunder dan digunakan sebagai obat-obatan. Contoh obat-obatan termasuk antibakteri, antikanker, antifouling, antimalarial, antivirus, antimikroba, sitotoksik, antiinflamasi, antitumor, dan antijamur (Ayer et al., 2024). Antibiotik, pigmen, toksin, efektor kompetisi ekologi dan simbiosis, feromon, inhibitor enzim, agen immunodulasi, reseptor antagonis dan agonis, antitumor, promotor pertumbuhan hewan dan tumbuhan masuk ke dalam metabolit sekunder yang tidak digunakan untuk pertumbuhan. Senyawa metabolit sekunder melindungi dari serangan predator, media kompetisi, melindungi dari infeksi bakteri, membantu proses reproduksi, dan melindungi dari sinar ultraviolet (Mangurana et al., 2019).

Spons laut memiliki metabolit sekunder yang terdiri dari berbagai kumpulan kimia seperti alkaloid, terpenoid, poliketida, polipeptida, dan sterol. Metabolit sekunder memiliki fungsi farmakologis, seperti antibakteri, antitumor, antiinflamasi, dan antifouling, serta berfungsi sebagai alat pertahanan kimia (antipemangsaan, antifouling, antimikroba), dan sebagai sinyal antar organisme di habitat bentik (Paul et al., 2019). Studi molekuler dan metabolomik menunjukkan bahwa mikrobioma asosiasi spons menghasilkan atau mengubah banyak metabolit (Yuan et al., 2025). Selain itu, spons sering mengaktifkan senyawa pertahanan

yang tersimpan dalam jaringan yang secara cepat mengubah dirinya menjadi toksin aktif setelah luka atau pemangsaan. Strategi tersebut mengurangi keracunan dalam tubuh serta memberikan perlindungan lokal terhadap predator dan infeksi.

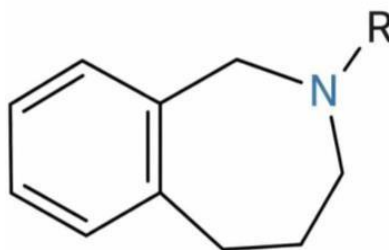
Profil metabolit sekunder tidak konsisten terdapat komposisi kimiawi berbeda-beda antar spesies, lokasi, dan faktor lingkungan seperti cahaya, nutrisi, dan gangguan. Spons memiliki potensi sebagai sumber obat karena keanekaragaman strukturnya, mekanisme aktivasi, plastisitas lingkungan, dan potensi penyembuhan. Namun, menghadapi masalah pasokan dan keberlanjutan, seperti keterbatasan produksi di alam (Helber et al., 2018).

### 3.3 Bioaktif Spons

Bioaktif merupakan senyawa kimia aktif yang dihasilkan oleh organisme melalui jalur biosintetik metabolit sekunder (Mangurana et al., 2019). Spons menjadi salah satu komponen biota penyusun terumbu karang yang penyebarannya cukup luas (Josua et al., 2021). Persentase bioaktif yang terdapat dalam spons lebih besar dibandingkan senyawa-senyawa yang dihasilkan oleh tumbuhan darat.

(Pramudhya, 2024) menuliskan bahwa terdapat 15.000 spesies spons yang ada di seluruh dunia, dan sekitar 45% senyawa bioaktif ada pada spons. Senyawa tersebut termasuk alkaloid (Gambar 5), terpenoid (Gambar 6), steroid (Gambar 7), poliketida (Gambar 8), polipeptida (Gambar 9), yang sebagian besar dihasilkan oleh mikroba simbiotik spons daripada spons itu sendiri (Falcucci et al., 2021). Perairan Indonesia juga memiliki 850 jenis spons yang dapat menghasilkan metabolit sekunder yang bersifat bioaktif.

#### a. Alkaloid

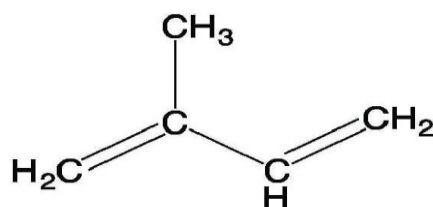


Gambar 5. Struktur kimia senyawa bioaktif kelompok alkaloid pada spons  
(Sumber: Endarini, 2016)

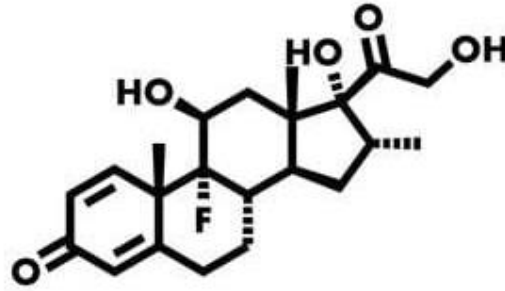
Alkaloid adalah suatu senyawa organik yang mengandung nitrogen yang ada di alam, yang memiliki sifat seperti alkali (Setiawan & Hendri, 2022). Alkaloid merupakan kelompok senyawa yang mengandung atom nitrogen, biasanya dalam bentuk heterosiklik, dan umumnya bersifat basa (Najmah et al., 2025). Terdapat 3 jenis alkaloid yaitu cortistatin, aaptamin, dan haliclونamine. Cortistatin adalah alkaloid steroidal yang berasal dari spons laut, khususnya dari genus *Corticium*, dengan struktur inti steroidal dan pentasilik yang langka (Tammam et al., 2025). Senyawa tersebut memiliki banyak aktivitas farmakologis yang kuat, termasuk antikanker, antiinflamasi, dan penghambatan proliferasi sel endotel, yang sangat penting untuk terapi antiangiogenesis pada tumor. Salah satu senyawa utamanya adalah cortistatin A, yang sangat selektif untuk menghambat pertumbuhan sel endotel manusia (Setiawan & Hendri, 2022).

Aaptamine adalah 8,9-dimethoxy-1H-benzo[de][1,6]naphthyridine yang ditemukan dari spons laut genus *Aaptos* (Tailor et al., 2024). Aaptamine dan turunannya memiliki kemampuan untuk berfungsi sebagai agen antioksidan, antibakteri, dan antikanker. Selain itu, Suciati et al., (2025) menuliskan bahwa aaptamine memiliki kemampuan untuk memodulasi target biologis lain, seperti efek agonis pada reseptor opioid delta dan kemampuan sebagai inhibitor kolinesterase (AChE dan BChE), yang menunjukkan kemungkinan farmakologis untuk efek neurologis/neuroprotektif. Struktur haliclونamine adalah *tetracyclic alkyl-piperidine*. Oleh sebab itu, haliclونamine A dan B telah dipelajari sebagai calon senyawa antituberkulosis, terutama untuk bakteri dalam kondisi dormansi/laten.

#### b. Terpenoid & Steroid



Gambar 6. Struktur kimia senyawa bioaktif kelompok terpenoid pada spons laut (Sumber: Azalia et al., 2023)

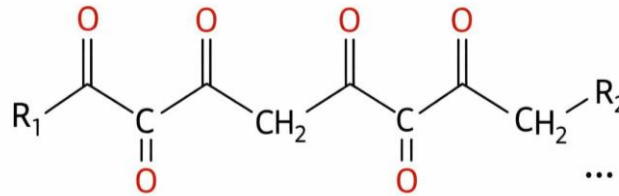


Gambar 7. Struktur kimia senyawa bioaktif kelompok steroid pada spons laut (Sumber: Helmenstine, 2019)

Terpenoid termasuk dalam kelompok lipid yang banyak ditemukan di sponge dengan berbagai variasi struktur (Setiawan & Hendri, 2022). Terpenoid mengandung kelipatan lima karbon unit dan diturunkan secara biosintetik dari prekursor lima karbon isopentenil difosfat. Terpenoid diklasifikasikan menurut jumlah kelipatan lima karbon penyusunnya. Monoterpenoid mengandung 10 karbon dan merupakan gabungan dua isopentenil difosfat, sesquiterpenoid mengandung 15 karbon berasal dari tiga isopentenil difosfat. Diterpenoid mengandung 20 karbon dan disusun dari empat isopentenil difosfat, dan seterusnya hingga triterpenoid (C30) dan tetra terpenoid (C40).

Agosterol A termasuk dalam kelas senyawa sterol polihidroksil yang berpotensi membalikkan resistensi obat multiguna. Cincin steroid pada agosterol biasanya terdiri dari kelas A, B, C, dan D, yang memiliki gugus hidroksi tambahan, termasuk substitusi pada atom karbon C22. isomarambarican diperoleh dari spons *Rhabdastrella globostellata*. Disideamine, sebuah senyawa dari kelas *Sesquiterpene aminoquinone*, diisolasi dari spons laut genus *Dysidea* yang memiliki sifat melindungi neuron dan membantu mempromosikan diferensiasi neuron.

## c. Poliketida

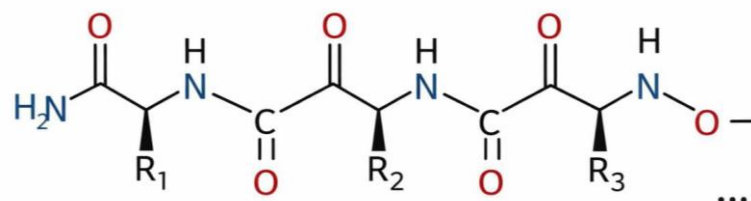


Gambar 8. Struktur kimia senyawa bioaktif kelompok poliketida pada spons laut (Risidian et al, 2019)

Poliketida merupakan kelompok metabolit sekunder bioaktif yang terdiri dari makrolida (Setiawan & Hendri, 2022). Senyawa poliketida yang memiliki sifat antibiotik bertindak dengan mengikat subunit 50S rRNA selama sintesis protein. Beberapa senyawa poliketida dapat diperoleh dari spons perairan Indonesia seperti bitungolide, manadodioxan, dan biakamide.

Bitungolide adalah serangkaian poliketida yang unik yang telah diisolasi dari spons *Theonella cf. Swinhoei*. Bitungolide memiliki unsur struktural yang sama dengan metabolit mikroba pironetin, yang dikenal sebagai obat penargetan mikrotubulus dan foslactomycin sebagai inhibitor fosfatase. Manadodioxan adalah senyawa poliketida jenis endoperoksida yang ditemukan dalam spons laut *Plakortis* dan Biakamide adalah poliketida laut yang berbeda yang ditemukan dalam spons laut *Petrosaspongia*. Struktur kimianya cukup kompleks, seperti yang ditunjukkan oleh data NMR 1D dan 2D. Hal tersebut menunjukkan bahwa Biakamide memiliki thiazole terminal, bagian chloromethylene, dan moiety butyryl yang tersubstitusi (Kotoku et al., 2017).

## d. Polipeptida



Gambar 9. Struktur kimia senyawa bioaktif kelompok polipeptida pada spons laut (Sumber: Prasetya, 2022)

Polipeptida merupakan senyawa bioaktif alami yang ditemukan dalam berbagai jenis biota laut dan memiliki potensi nutraceutical dan nilai obat yang tinggi, yang menarik perhatian industri farmasi (Setiawan & Hendri, 2022). Barangamide A telah diisolasi dari spons *Theonella cf. swinhoei*. Kendariamide A diisolasi dari spons laut genus *Haliclona* dan terdiri dari residu asam amino. Kemampuan Kendariamide A untuk membalikkan resistensi obat *Multidrug Resistance* (MDR) dalam sel tumor ditunjukkan oleh aktivitas biologisnya. Diisolasi dari genus *Stylissa*, stylissamide X adalah peptida siklik. Rumus molekulnya adalah  $C_{51}H_{69}N_9O_9$ , menurut analisis spektroskopi (ESI-TOF MS, NMR 1D & 13C), dan analisis asam amino melalui metode Marfey.

Kandungan senyawa terhadap aktivitas bioaktif dapat dilihat penjelasannya pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan pada golongan senyawa terhadap aktivitas bioaktif spons

No	Senyawa	Golongan	Aktivitas Bioaktif (Anti-)	Sumber
1	Agosterol	Terpenoid	Antitumor, antimikroba, antiinflamasi	Mayer et al., 2022
2	Isomarabarian	Terpenoid	Antibakteri, antifungi	Dembitsky, 2023
3	Desideamine	Steroid Amino	Antibakteri	Xu et al., 2015
4	Cortistatin	Alkaloid steroidal	Antikanker, antivirus, imunomodulator	Tammam et al., 2025
5	Aaptamin	Alkaloid	Antibakteri, antimalaria, antioksidan	Anjum et al., 2022
6	Haliclonamine	Alkaloid	Antibakteri, antitumor	Anjum et al., 2022
7	Bitungolide	Poliketida	Antikanker, imunomodulator	Dembitsky, 2023
8	Manadodioxan	Poliketida	Antibakteri, antifouling	Dembitsky, 2023
9	Biakamide	Poliketida peptida	Antikanker	Tammam et al., 2025
10	Barangamide	Polipeptida	Sitotoksik, antikanker	Xu et al., 2015
11	Kendariamide	Polipeptida	Antimalaria, antimikroba	Xu et al., 2015
12	Stylissamide X	Siklopeptida	Antiinflamasi, antibakteri	Tammam et al., 2025
13	Agosterol A	Steroid	Antitumor, antimikroba, antiinflamasi	Mayer et al., 2022

Spons merupakan salah satu biota laut yang memiliki senyawa bioaktif dengan potensi sebagai aktivitas antioksidatif, antibakteri, antijamur, antitumor, dan antiinflamasi (Trianto et al., 2017). Antioksidan adalah senyawa yang menghambat atau memperlambat proses oksidasi dan juga menangkal radikal bebas, yaitu senyawa reaktif yang dapat merusak sel dan menyebabkan penyakit degeneratif. Radikal bebas bersifat tidak stabil dan dapat muncul dari berbagai sumber, termasuk debu, asap, polusi, dan pola makan yang tidak seimbang (Salikode et al., 2024). Antioksidan alami tanpa efek samping dapat melindungi tubuh dari kerusakan yang disebabkan spesies oksigen reaktif (Chamidah et al., 2024).

## 2.4 Penyakit Infeksi

Penyakit infeksi adalah kondisi tidak normal yang disebabkan oleh masuk dan berkembang biaknya mikroorganisme patogen seperti bakteri, virus, jamur, atau parasit ke dalam tubuh, yang menyebabkan kerusakan jaringan dan respons imun (Van Doorn, 2021). Jenis patogen dan kondisi lingkungan merupakan faktor terjadinya infeksi yang dapat menyebar melalui berbagai jalur, baik langsung (kontak fisik), maupun tidak langsung (air, makanan, permukaan benda). Secara epidemiologi, penyakit infeksi masih menjadi masalah besar bagi kesehatan global. Pada awal abad ke-21, diperkirakan sekitar sepertiga kematian di dunia disebabkan oleh penyakit infeksi dan parasit (Samreen et al., 2021). Salah satu bakteri yang menyebabkan infeksi melalui makanan adalah *E. coli*. Alat pengolahan dan lingkungan yang tidak steril juga dapat menyebabkan masuknya bakteri *E. coli* ke dalam tubuh (Syurairahanah et al., 2024).

Bakteri *E. coli* merupakan bakteri gram negatif berbentuk batang. *E. coli* juga disebut sebagai bakteri enterik atau kuman flora normal, yang biasanya ditemukan di usus besar manusia (Maisroh et al., 2023). *E. coli* masuk ke dalam Famili Enterobacteriaceae yang tidak memiliki spora dengan panjang sel antara 2,0 dan 6,0  $\mu\text{m}$  dan lebarnya antara 1,1 dan 1,5  $\mu\text{m}$ . Bakteri gram negatif *E. coli* memiliki sel tunggal, berpasangan, atau dalam rantai pendek, dan biasanya tidak berkapsul. *E. coli* biasanya menjadi flora usus yang seringkali menyebabkan infeksi. *E. coli* memiliki sifat patogen pada lingkungan terbuka di luar usus. Efek yang

ditimbulkan saat terpapar dapat menyebabkan infeksi saluran kemih, saluran empedu, dan diare (Parisa et al., 2019; Yinglian dan Shuang, 2020)

Bakteri *E. coli* adalah yang paling umum menyebabkan infeksi melalui makanan (Mayaserli & Anggraini, 2019). Selain *E. coli* yang bersifat patogen dan dapat menimbulkan infeksi dan *food borne disease* adalah *E. coli* dapat menghasilkan *shiga toxin* (Elsie & Harahap, 2016). Pencemaran bakteri *E. coli* yang melebihi batas maksimal telah banyak dilaporkan dapat menyebabkan masalah kesehatan manusia seperti diare, meningitis, dan Hemolitik Uremik Sindrom (HUS). *E. coli* bertahan hidup di medium sederhana dengan menghasilkan gas dan asam dari glukosa dan memfermentasi laktosa. Salah satu bakteri yang digunakan sebagai indikator adanya kontaminasi feces dan kondisi sanitasi yang tidak baik terhadap air, makanan, dan minuman adalah bakteri *E. coli*, yang memiliki pergerakan yang motil, tidak motil, dan peritrikus. Bakteri tersebut juga dapat bergerak secara aerobik atau anaerobik (Filemon, 2024). Infeksi bakteri *E. coli* juga dapat bersifat fatal dan menyebabkan septikemia, dan keberadaannya juga dapat meningkatkan keparahan penyakit (Trisno et al., 2019). Setiara et al. (2024) menuliskan bahwa bakteri *E. coli* menyebabkan kerusakan atau kebusukan pada produk daging sehingga makhluk hidup yang terinfeksi akan mengalami sistem pertahanan tubuh yang lemah, sehingga bakteri dapat hidup serta berkembang biak di dalamnya sehingga menyebabkan penyakit.

## **2.5 Antibakteri**

Antibakteri adalah obat yang menghentikan pertumbuhan bakteri yang merugikan. Tujuan pengendalian pertumbuhan mikroorganisme adalah untuk mencegah penyebaran infeksi dan penyakit, membasmi mikroorganisme pada inang yang terinfeksi, dan mencegah mikroorganisme membusuk dan merusak bahan (Utomo et al., 2018). Jampilek (2019) menuliskan bahwa kemampuan suatu senyawa atau agen untuk menghentikan atau membunuh bakteri disebut aktivitas antibakteri. Jenis agen dan target bakteri menentukan banyak mekanisme kerja antibakteri. Ada banyak cara agen antibakteri berfungsi, salah satunya adalah kerusakan membran sel bakteri yang menyebabkan lisis dan kematian bakteri.

Penelitian tentang resistensi antibiotik telah berkembang pesat dalam sepuluh tahun terakhir.

Guna mengatasi resistensi bakteri yang semakin mengkhawatirkan di seluruh dunia, penelitian tentang aktivitas antibakteri sangat penting untuk dilakukan. Pengujian yang sistematis seperti metode difusi, dapat digunakan untuk mengevaluasi potensi suatu senyawa antimikroba untuk menghambat atau membunuh bakteri patogen (Balouiri et al., 2016). Zona bening di sekitar cakram atau sumur menunjukkan aktivitas penghambatan bakteri, yang sering digunakan dalam uji kualitatif (Bovo et al., 2023). Guna mendapatkan hasil uji yang akurat dan dapat direplikasi, prosedur tersebut biasanya memerlukan kultur bakteri murni, media pertumbuhan yang tepat, dan kondisi inkubasi yang terkontrol.

Kemampuan suatu senyawa, ekstrak, atau organisme untuk menekan atau membunuh pertumbuhan bakteri melalui berbagai mekanisme molekuler dan seluler termasuk gangguan integritas membran sel, yang mengakibatkan kebocoran komponen seluler, penghambatan sintesis dinding sel, yang menyebabkan sel tidak dapat mempertahankan bentuk dan tekanan osmotik, dan penghambatan pembentukan atau disrupsi biofilm, yang menyebabkan bakteri kehilangan perlindungan komunitasnya (Qadir et al., 2024). Hasil penelitian terkait aktivitas antibakteri tidak hanya memberikan dasar ilmiah untuk potensi bioaktif zat, tetapi juga membuka pintu untuk agen antibakteri baru yang lebih aman dan efektif (Bubonja-Šonje et al., 2020). Oleh karena itu, di masa depan, pengembangan penelitian antibakteri berkontribusi langsung pada peningkatan kualitas kesehatan dan ketersediaan terapi alternatif yang berkelanjutan.

## **2.6 Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)**

*Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) berarti Kromatografi Gas-Spektroskopi Massa (KG-SM). GC-MS adalah metode pemisahan sampel secara mekanis dengan metode kromatografi gas yang didukung juga dengan MS. Sensitivitas yang tinggi sehingga metode tersebut dapat memisahkan komponen komponen sampel yang saling bercampur. Selain itu, metode tersebut dapat menganalisa berbagai macam senyawa meskipun senyawa tersebut memiliki kadar atau konsentrasi yang rendah (Candraningrat et al., 2021). Uji *Gas-*

*Chromatography* (GC) menggunakan teknik pemisahan dengan fase gerak uap atau gas dan fase diam zat padat atau zat cair. Analisis *Mass-Spectrometry* (MS) adalah metode yang biasanya digunakan bersamaan dengan kromatografi (Sanger et al., 2022).

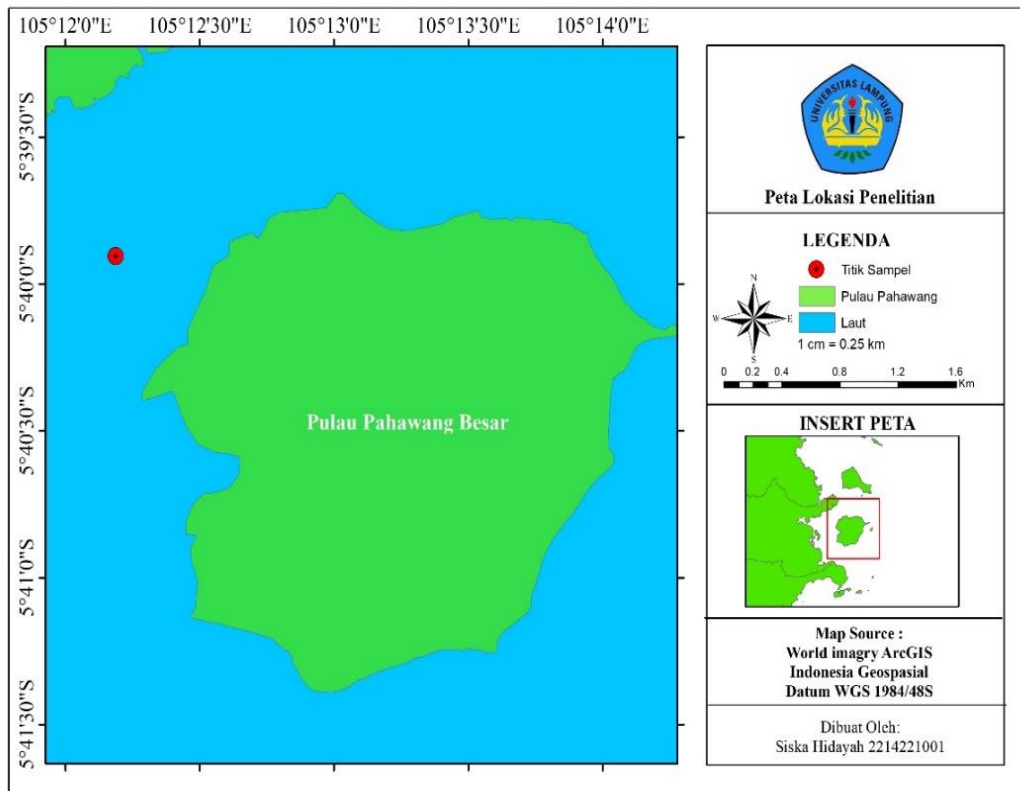
Ion-ion molekul, ion-ion pecahan, serta ion-ion radikal hasil fragmentasi yang terbentuk di dalam *Mass-Spectrometer* kemudian dipisahkan berdasarkan perbedaan massa dan muatan ( $m/z$ ) oleh analisator, misalnya analisator berbasis medan magnet. Pada jenis *mass analyzer*, ion mengalami pembelokan dalam medan magnet yang besarnya berubah sesuai rasio massa-muatan sehingga setiap ion akan mengikuti lintasan berbeda menurut karakteristik fisiknya (Mondello et al., 2025). Proses pemisahan oleh GC memastikan bahwa ke dalam MS masuk komponen-komponen yang relatif murni (satu per satu menurut waktu retensi), sehingga MS memberikan spektrum massa khas yang memungkinkan identifikasi struktur dan pencocokan dengan spektra referensi (Piechocka et al., 2020). GC-MS banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti lingkungan, farmasi, forensik, dan kontrol kualitas karena mampu memisahkan, mendeteksi, dan mengidentifikasi senyawa dengan sensitivitas dan selektivitas tinggi.

Inovasi terbaru seperti *comprehensive two-dimensional* GC-MS meningkatkan kapasitas pemisahan dan sensitivitas, sehingga mampu mengidentifikasi ribuan senyawa dalam satu analisis, sangat berguna untuk sampel yang sangat kompleks (Khalifea & Ali, 2025). Selain itu, pengembangan perangkat lunak dan metode pemrosesan data otomatis semakin memudahkan identifikasi dan kuantifikasi senyawa dalam data GC-MS yang besar. GC-MS juga terus berkembang dengan penerapan teknik ionisasi yang lebih lembut, detektor resolusi tinggi, dan metode multidimensi untuk memperluas jangkauan analisis dan meningkatkan akurasi (Chiu & Kuo, 2020). Dengan demikian, GC-MS sangat cocok untuk analisis senyawa organik dalam ekstrak bahan alam, karena memungkinkan identifikasi dan kuantifikasi komponen meskipun dalam konsentrasi rendah.

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli-Oktober 2025. Adapun lokasi pengambilan sampel (Gambar 10) berada di Pulau Pahawang, Kecamatan Punduh Pidada, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung. Uji dan Pengolahan data dilakukan di Laboratorium Pengolahan & Pengawasan Mutu Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung, dan Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.



Gambar 10. Lokasi pengambilan sampel

### 3.2 Alat dan Bahan

Peralatan alat dan bahan yang digunakan, secara lengkap dijelaskan pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Spesifikasi dan kegunaannya alat-alat penelitian

No.	Alat-alat penelitian	Spesifikasi	Kegunaan
1.	Mobil	Kendaraan roda empat	Alat transportasi ke lokasi penelitian.
2.	GPS ( <i>Global Positioning System</i> )	GPS <i>handheld</i>	Mengambil titik koordinat stasiun pengamatan.
3.	Peralatan SCUBA ( <i>Self Contained Underwater Breathing Apparatus</i> )	Masker, regulator, tabung udara, BCD, fins	Membantu proses penyelaman.
4.	Tas jaring	Bahan nilon tahan air	Menyimpan koleksi sampel spons.
5.	Pisau selam	<i>Stainless steel</i> tahan karat	Memotong sampel.
6.	Kamera <i>underwater</i>	Kamera tahan air	Dokumentasi penelitian.
7.	Alat tulis menulis	Buku catatan dan pensil	Menulis data.
8.	<i>Cool box</i>	Kapasitas $\pm 20-30$ L	Wadah penyimpanan sampel.
9.	<i>Freezer</i>	Suhu $\pm -20^{\circ}\text{C}$	Menyimpan sisa sampel.
10.	Gunting	<i>Stainless steel</i>	Memotong sampel.
11.	Timbangan digital	Ketelitian 0,01 g	Menimbang berat sampel.
12.	Toples kaca	Bertutup rapat	Wadah maserasi.
13.	Botol vial	Kaca 5-20 ml	Wadah menyimpan hasil ekstraksi.
14.	Spatula	<i>Stainless steel</i>	Mengaduk larutan ekstraksi.
15.	Gelas ukur	10-1000 ml	Mengukur pelarut yang akan digunakan.
16.	Tisu	Tisu laboratorium	Membersihkan kegiatan kotor.
17.	<i>Rotary vakum evaporator</i>	Sistem vakum dan pemanas	Mendapatkan ekstraksi sampel.
18.	Labu evaporator	Kaca borosilikat	Wadah sampel saat pemekatan.
19.	Corong	Plastik	Membantu memindahkan larutan.
20.	Pipet tetes	Kaca	Memindahkan cairan.
21.	Vortex	Kecepatan variable	Menghomogenkan larutan.
22.	Cawan petri	Diameter $\pm 90$ mm	Wadah medium tumbuh media uji.
23.	Tabung reaksi	Kaca borosilikat	Wadah pereaksi larutan.
24.	<i>Hotplate with magnetic stirrer</i>	Pengatur suhu dan pengaduk magnetik	Pembuatan media.

Tabel 2. Spesifikasi dan kegunaannya alat-alat penelitian (lanjutan)

No.	Alat-alat penelitian	Spesifikasi	Kegunaan
25.	Autoklaf	121°C, 15 psi	Sterilisasi basah.
26.	<i>Laminary air flow</i>	Filter HEPA ( <i>High-Efficiency Particulate Air</i> )	Sebagai tempat steril untuk mengerjakan bahan.
27.	Rak tabung	Kayu	Menyimpan tabung reaksi.
28.	Erlenmeyer	100-1000 ml	Wadah larutan.
29.	Bunsen	Pembakar gas/spiritus	Sterilisasi pijar.
30.	Mikropipet	10-1000 µl	Memindahkan larutan dalam volume kecil.
31.	Jarum ose	Logam steril	Mengambil sampel bakteri.
32.	Pinset	<i>Stainless steel</i>	Meletakkan <i>peper disk</i> .
33.	Tabung mikro	1,5-2 ml	Wadah ekstrak uji.
34.	Inkubator	Suhu 37°C	Tempat menumbuhkan bakteri uji.
35.	Jangka sorong	Ketelitian 0,01 mm	Mengukur diameter zona hambat.
36.	Sarung tangan selam	Neoprene	Melindungi dari suhu dingin dan bahaya fisik.
37.	<i>Cotton bud</i>	Batang kapas penyebar	Menyebarkan sesuatu secara merata.
38.	<i>Separatory funnel</i>	250-1000 ml	Memisahkan ekstraksi berdasarkan perbedaan kepolaran pelarut.
39.	<i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)</i>	Instrumen GC-MS dengan kolom kapiler dan detektor massa	Memisahkan, mengidentifikasi, dan mengukur senyawa-senyawa dalam sampel yang kompleks.

Tabel 3. Spesifikasi dan kegunaan bahan-bahan Penelitian

No.	Bahan-bahan penelitian	Spesifikasi	Kegunaan
1.	Spons	<i>Ptilocaulis</i>	Sebagai sampel hewan uji.
2.	Kantong sampel	Plastik steril berpenutup	Menyimpan sampel spons.
3.	Sarung tangan lateks	Lateks sekali pakai	Sebagai pelindung asptis tangan.
4.	Masker	Masker medis sekali pakai	Sebagai pelindung terhirupnya bahan kimia berbahaya.
5.	Metanol	Grade teknis	Pelarut ekstraksi.
6.	Etil asetat	Grade teknis	Pelarut ekstraksi.
7.	n-hexana	Grade teknis	Pelarut ekstraksi.

Tabel 3. Spesifikasi dan kegunaannya bahan-bahan Penelitian (lanjutan)

No.	Bahan penelitian	Spesifikasi	Kegunaan
8.	Aluminium foil	Lembaran aluminium	Sebagai penutup botol kaca.
9.	Kertas label	Tahan air	Sebagai penanda atau kode sampel.
10.	Plastik pembungkus	Plastik <i>cling wrap</i>	Membungkus bahan yang mudah menguap.
11.	Kertas saring	1-25 $\mu\text{m}$	Menyaring hasil maserasi.
12.	Spiritus	Etanol teknis	Sebagai bahan bakar bunsen.
13.	Kain kassa	Kasa steril	Penutup mulut tabung reaksi.
14.	Aquades	Air suling steril	Sebagai bahan pengenceran dan kontrol negatif.
15.	Kloramfenikol	Cakram antibiotik 30 $\mu\text{g/disk}$	Kontrol positif.
16.	Kertas cakram	6 mm	Sebagai kertas bahan uji.
17.	Media TSA	Media kultur bakteri siap pakai	Sebagai medium tumbuh bakteri.
18.	<i>Escherichia coli</i>	Kultur murni bakteri uji	Sebagai bakteri uji.
19.	Alkohol 70%	etanol 70%	Sebagai antiseptik.

### 3.3 Rancangan Penelitian

#### 3.3.1 Pengambilan Sampel

Sampel spons diambil melalui penyelaman menggunakan *SCUBA diving* dengan kedalaman 7 m hingga 10 m. Selama proses pengambilan sampel spons dilakukan secara hati-hati, dengan menggunakan pisau selam untuk memotong sebagian jaringan spons tanpa merusak substrat. Pengambilan sampel spons dilakukan di perairan Pulau Pahawang, Kecamatan Punduh Pidada, Kabupaten Pesawaran, Lampung. Sampel diambil menggunakan pisau kecil dengan cara memotong bagian dari spons. Spons yang telah diambil kemudian dimasukkan ke dalam kantong sampel dan dimasukkan ke dalam *cool box*.

#### 3.3.2 Identifikasi Spons

Spons yang dibawa dalam *cool box* dari lokasi pengambilan sampel kemudian diidentifikasi morfologi luar berupa bentuk, ukuran dan warna. Klasifikasi spons merujuk pada buku *Systema Porifera*, berdasarkan taksonomi yang tercatat dalam *World Register of Marine Species (WoRMS)*, yang diperbarui secara

berkala untuk mencerminkan penelitian filogenetik terbaru (Van Soest et al., 2018).

### **3.3.3 Preparasi Sampel**

Spons yang masih dalam keadaan segar dalam *cool box*, kemudian dibersihkan pada air mengalir untuk menghilangkan substrat yang masih menempel. Sampel spons yang telah dicuci bersih dipotong-potong dengan ukuran  $\pm 1$  cm agar meningkatkan luas permukaan kontak antar jaringan spons dengan pelarut, kemudian ditimbang seberat 50 g.

### **3.3.4 Ekstraksi**

Spons yang telah ditimbang kemudian dimaserasi menggunakan tiga jenis pelarut berbeda metanol, etil asetat dan n-hexana sebanyak 100 ml didalam wadah kaca selama selama 7 hari. Narulita (2018) menyatakan bahwa jangka waktu tersebut dianggap relevan karena memungkinkan difusi pelarut ke dalam matriks sel bahan berlangsung dengan baik, yang memungkinkan senyawa aktif terlarut sepenuhnya tanpa hancur karena panas. Proses maserasi dilakukan dalam suhu ruang dan diulangi sebanyak 2 kali. Spons yang telah dimaserasi kemudian disaring menggunakan kertas saring, dan ditampung ke dalam wadah kaca.

Ekstraksi merupakan metode yang digunakan untuk menghasilkan senyawa bioaktif. Ekstrak yang optimal dari setiap senyawa bioaktif dapat diperoleh melalui penggunaan pelarut dengan jenis dan konsentrasi yang berbeda karena karakteristik kimia dan tingkat polaritas masing-masing senyawa bioaktif berbeda (Alfauzi et al., 2022). Seperti yang dijelaskan oleh Yulianingtyas dan Kusmartono (2016) maserasi adalah metode untuk menarik atau mengekstraksi senyawa yang diinginkan dari suatu larutan atau padatan dengan menggunakan teknik perendaman terhadap bahan yang akan diekstraksi. Badaring (2020) menuliskan bahwa metode maserasi memiliki banyak kelebihan karena murah, mudah dilakukan, mudah digunakan, dan tidak memerlukan alat khusus atau pemanasan. Selain itu, metode tersebut dapat mencegah kerusakan senyawa yang bersifat termolabil. Metode maserasi dilakukan dengan perendaman sampel dalam pelarut sesuai dengan waktu yang dibutuhkan. Pelarut dengan polaritas yang mendekati

polaritas zat terlarut umumnya menunjukkan efektivitas yang lebih tinggi dalam proses pelarutan.

Maserasi yang sudah terkumpulkan kemudian dievaporasi menggunakan *rotary vakum evaporator* yang diatur pada tekanan vakum 80-100 mbar (*adjusted*) dan suhu 45 °C untuk menghilangkan pelarut yang digunakan dan menyisakan komponen yang tidak terlarut (Runtuwene et al., 2021). Hasil maserasi yang telah dievaporasi kemudian dimasukkan ke dalam botol kaca, dan ditimbang untuk menentukan persen rendemen dari masing masing pelarut. Hasil evaporasi yang telah ditimbang kemudian dikurangi dengan berat botol kosong.

### **3.3.5 Sterilisasi Alat dan Bahan**

Alat dan bahan yang digunakan harus disterilisasi terlebih dahulu. Ada dua macam sterilisasi yang digunakan, yaitu sterilisasi basah, dan sterilisasi dengan bahan kimia, yaitu alkohol 70%. Alat-alat seperti cawan petri, tabung reaksi, dan erlenmeyer disterilisasi basah menggunakan autoklaf. Sterilisasi menggunakan autoklaf yang berfungsi untuk mensterilkan berbagai macam alat dan bahan yang digunakan dalam mikrobiologi menggunakan uap air panas bertekanan. Tekanan yang digunakan pada umumnya dengan suhu 121 °C (250 °F). Bahan-bahan seperti kertas cakram, dan media *Tryptic Soy Agar* (TSA) disterilisasi basah menggunakan autoklaf pada suhu 121 °C selama 15 menit (Wulansari et al., 2020).

### **3.3.6 Pembuatan Larutan Kontrol Positif**

Kontrol positif yang digunakan pada penelitian adalah *chloramphenicol* dengan konsentrasi 0,05%. Tablet *chloramphenicol* dengan kekuatan sediaan 250 mg digerus, serbuk ditimbang sebanyak 10 mg kemudian dilarutkan dalam 10 ml pelarut DMSO hingga diperoleh larutan stok dengan konsentrasi 1000 ppm. Selanjutnya, larutan stok tersebut diencerkan dengan mengambil 0,1 ml dan menambahkannya ke dalam 9,9 ml aquadest steril sehingga diperoleh larutan dengan konsentrasi 10 ppm, kemudian dari larutan diambil 1 ml dan diencerkan dengan 9 ml aquadest steril untuk menghasilkan larutan 1 ppm. Untuk memperoleh konsentrasi akhir 0,05 ppm, sebanyak 0,5 ml larutan 1 ppm diencerkan dengan 9,5 ml aquadest steril. Larutan *chloramphenicol* 0,05% yang

diperoleh selanjutnya digunakan untuk merendam kertas cakram steril (Rohana et al., 2023).

### **3.3.7 Perendaman Cakram**

Kertas cakram berukuran diameter 6 mm yang akan digunakan dalam proses aktivitas antibakteri dimasukkan ke dalam masing-masing cawan petri yang telah diberi label sesuai dengan jenis kontrol seperti aquades steril kontrol (-), *chloramphenicol* 0,05% kontrol (+), dan hasil ekstrak dengan 3 pelarut berbeda (metanol, etil asetat, n-hexana).

### **3.3.8 Pembuatan Media**

Ditimbang bahan-bahan media TSA sebanyak 12 g dan dilarutkan ke dalam erlenmayer yang telah diisi 300 ml aquades, kemudian di *hotplate with magnetic stirrer* (Arfiandi et al., 2020). Selanjutnya dilakukan sterilisasi media dengan autoklaf pada suhu 121 °C selama 15 menit. Setelah disterilisasi, media didinginkan hingga suhunya sekitar 45 °C kemudian dituangkan ke dalam cawan petri steril dan direkatkan seluruh sisinya menggunakan *wrapping*. Media didiamkan mengeras pada suhu ruang dan diinkubasi selama 24 jam dalam inkubator dengan suhu 37 °C.

### **3.3.9 Peremajaan Bakteri**

Peremajaan bakteri dilakukan sehari sebelum dilakukannya uji aktivitas antibakteri. Bakteri yang diremajakan yaitu bakteri patogen *E. coli*. Tabung reaksi yang telah diisi media TSA selanjutnya dimiringkan agar berbentuk miring. Kemudian bakteri diambil menggunakan jarum ose steril dan diinokulasi dengan cara digoreskan pada agar miring dengan cara silang (*zig-zag*) dan diinkubasi selama 24 jam dalam inkubator dengan suhu 37 °C (Hainil et al., 2022).

### **3.3.10 Pembuatan Suspensi**

Larutan NaCl fisiologis 0,9% dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Kemudian bakteri yang telah melalui proses peremajaan diambil menggunakan jarum ose steril dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang telah berisi larutan NaCl sebanyak 5 ml yang kemudian dihomogenkan menggunakan vortex. Pajan et al., (2016) menuliskan bahwa suspensi yang telah homogen kemudian dilihat tingkat kekeruhannya pada *wickerham card* sesuai standar kekeruhan McFarland 0,5%.

Bakteri yang telah disuspensi dipindahkan ke media TSA menggunakan *microtube* dan diratakan dengan *cotton bud* secara zig-zag hingga merata ke seluruh permukaan media.

### **3.3.11 Peletakan Kertas Cakram**

Dibuka *wrapping* pada cawan petri yang telah berisi media dan bakteri kemudian dimiringkan untuk mengurangi kadar air pada kertas cakram. Pinset steril dipanaskan diatas bunsen beberapa detik dan didinginkan. Kertas cakram yang telah direndam selama 24 jam kemudian dipindahkan ke dalam media uji. Media uji dipanaskan bagian pinggir cawan petri kemudian *wrapping* dan bungkus menggunakan kertas. Inkubasi selama 24 jam dalam inkubator dengan suhu 37 °C

### **3.3.12 Uji Zona Hambat**

Setelah diinkubasi selama 24 jam, amati cawan petri dan diamati zona hambat bagian zona bening tanpa pertumbuhan bakteri di sekitar cakram menggunakan jangka sorong digital. Pengukuran dilakukan dengan terlebih dahulu membalikkan cawan petri sehingga terlihat daerah hambatan yang transparan disekitar kertas cakram. Paruh jangka sorong (rahang tetap dan rahang sorong) ditempatkan dengan rapat melewati pusat cakram dipermukaan media dan ukur diameter zona hambat dari satu tepi bening ke tepi bening yang berlawanan. Selanjutnya pengamatan dilakukan dengan membaca skala utama dan skala nonius pada jangka sorong untuk menentukan besarnya diameter zona hambat (Wahyu & Masnawati, 2015).

### **3.3.13 Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)**

Ekstrak spons disiapkan hasil evaporasi spons dengan berat 2,68 g dan dilarutkan kembali ke dalam akuades sebanyak 100 ml sampai homogen. Larutan ekstrak dimasukkan ke dalam corong kemudian ditambahkan 100 ml etil asetat sebagai pelarut tujuan fraksinasi (Woran et al., 2021). Larutan ekstrak yang akan di fraksinasi dihomogenkan perlahan dengan sesekali membuka tutup corong untuk membuang tekanan. Larutan ekstrak yang akan di fraksinasi didiamkan hingga terbentuk dua lapisan (lapisan atas berisi pelarut organik), (lapisan bawah berisi air). Kedua lapisan dipisahkan melalui kran corong, dan diulangi 2-3 kali untuk

mendapatkan hasil optimal. Fraksi pelarut organik digabungkan keseluruhan, kemudian diuapkan menggunakan *rotary vakum evaporator*. Setelah itu hasil fraksi dimasukkan dan disimpan ke dalam botol vial yang telah diberi label (S3) (Woran et al., 2021).

Tahap selanjutnya analisis menggunakan 6890N Network GC System (Agilent Technologies). Gas Chromatography (GC) diawali dengan fase gerak berupa gas pembawa yang dialirkan melalui sistem dengan kecepatan alir 0,7 ml/menit yang diatur menggunakan *flow controller*, kemudian sampel dimasukkan ke dalam alat melalui sample injektor dengan suhu 280 °C menggunakan *syringe* (suntikan) sebanyak 2 ml. Sampel yang dimasukkan akan dibawa menuju kolom, di mana kolom berfungsi sebagai fase diam yang berada di dalam *column oven* dengan temperature awalnya bersuhu 180 °C selama 5 menit, kemudian ditingkatkan menjadi 280 °C yang diatur lebih tinggi dari titik didih sampel sehingga sampel berubah dari fase cair menjadi gas (Indriani et al., 2023). Selama melewati kolom, komponen dalam sampel akan terpisah berdasarkan interaksinya dengan fase diam dan perbedaan volatilitas. Senyawa yang keluar dari kolom selanjutnya dideteksi oleh detector dengan suhu 290 °C, yang mengubah sinyal kimia menjadi sinyal listrik, kemudian sinyal tersebut direkam oleh *recorder* menjadi data kromatogram GC berupa waktu retensi dan persentase area masing-masing senyawa, dengan kecepatan pemindaian 2.000 amu/detik dengan rentang pemindaian 30-600 amu dan voltase EV berkekuatan 3.000 volt (Nusaibah et al., 2016).

### **3.4 Analisis Data**

#### **3.4.1 Analisis Rendemen**

Rendemen dihitung dengan satuan persen (%), dan merupakan perbandingan antara ekstrak yang dihasilkan dan simplisia awal. Nilai rendemen yang lebih tinggi menunjukkan bahwa nilai ekstrak yang dihasilkan lebih besar. Menurut Novitasari et al., (2018) metode ekstraksi adalah salah satu faktor yang dapat memengaruhi rendemen ekstrak. Analisis rendemen dilakukan untuk mengetahui seberapa efektif pelarut dan teknik ekstraksi yang digunakan untuk menarik

senyawa yang terkandung dalam simplisia (Hasnaeni et al., 2019). Persentase rendemen dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\%Rendemen = \frac{A}{B} \times 100\%$$

Keterangan:

A = Bobot ekstrak yang diperoleh setelah proses ekstraksi selesai (g)

B = Bobot Sampel awal yang digunakan dalam proses ekstraksi (g)

100% = untuk menyatakan rendemen dalam bentuk persentase

### 3.4.2 Analisis Zona Hambat

Analisis aktivitas antibakteri dengan metode difusi cakram dilakukan berdasarkan pengukuran diameter zona hambat yang terbentuk di sekitar cakram yang mengandung ekstrak uji. Zona hambat menunjukkan adanya kemampuan senyawa bioaktif untuk berdifusi ke dalam media agar dan menghambat pertumbuhan bakteri, sehingga semakin besar diameter zona hambat maka semakin kuat potensi antibakterinya (Humphries et al., 2021).

Diameter rata-rata digunakan untuk menentukan sifat dari desinfektan/antiseptik/antimikroba. Nurama (2021) menuliskan bahwa Kriteria kekuatan antibakteri menurut Davis & Stout, 1971 adalah sebagai berikut:

1. Diameter zona hambat 10-20mm = Daya hambat kuat
2. Diameter zona hambat 5-10 mm = Daya hambat sedang
3. Diameter zona hambat 0-5 mm = Daya hambat lemah

### 3.4.3 Analisis *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS)

Setelah sampel dianalisis menggunakan GC-MS, setiap puncak yang muncul pada kromatogram diintegrasikan untuk memperoleh nilai area dan intensitas. GC memisahkan komponen berdasarkan waktu retensi (Rt), sementara MS mengidentifikasi struktur molekul melalui spektrum massa (m/z). Data diinterpretasikan menggunakan kromatogram (kuantitatif, (Area%)) dan spektrum massa (kualitatif, pustaka *library*) (Fasina et al., 2025).

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Nilai rendemen ekstrak spons *Ptilocaulis* tertinggi dihasilkan oleh pelarut etil asetat daripada metanol dan n-hexana yang disebabkan karena berbagai bentuk zat bioaktif memiliki struktur kompleks yang tidak sepenuhnya polar maupun non polar tetapi berada di spektrum tengah
2. Aktivitas antibakteri spons *Ptilocaulis* terhadap *E. coli* menggunakan pelarut etil asetat lebih besar daripada metanol dan n-hexana dikarenakan memiliki kemampuan untuk menarik senyawa-senyawa yang memiliki rentang polaritas luas mulai dari polar, semi polar dan non polar.
3. Hasil GC-MS terhadap fraksi spons *Ptilocaulis* menunjukkan 30 puncak senyawa yang didominasi oleh golongan hidrokarbon, ester, alkohol, terpenoid, serta steroid

### 5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk menguji lebih beragam jenis bakteri patogen, baik gram positif maupun gram negatif untuk mengetahui lebih banyak tentang aktivitas antibakteri ekstrak spons *Ptilocaulis*. Selain itu, proses isolasi dan pemurnian senyawa aktif harus dilakukan secara bertahap sehingga senyawa murni yang memiliki fungsi antibakteri yang dominan dapat diperoleh. Hal tersebut akan mendukung penggunaan spons laut sebagai antibakteri alami yang berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adewal, M. A. K., Abdullah, A., Zamani, N. P., Arafat, D., Ayu, I. P., & Subhan, B. (2025). Potensi aktivitas antioksidan ekstrak spons laut *Stylissa carteri*. *Indonesian Fisheries Processing Journal/Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 28(3), 245-253. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v28i3.60270>
- Aisyah, S. Z., Zamani, N. P., Cahyani, N. K. D., Andriani, Y., Arafat, D., Bashari, M. H., & Subhan, B. (2025). Challenges in molecular and morphological identification of sponge species in Raja Ampat. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 30(1), 115–125. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.30.1.115-125>
- Al Hanif, Y. A. (2022). *Uji antibakteri ekstrak dan bakteri simbiosis spons laut (Ptilocaulis marquezii) dari perairan Kendit terhadap bakteri Escherichia coli (H94218051) [Skripsi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya].* Digilib UIN Sunan Ampel Surabaya. <https://share.google/MG9BhZO5ggeGZEWlw>
- Alfauzi, R. A., Hartati, L., Suhendra, D., Rahayu, T. P., & Hidayah, N. (2022). Ekstraksi senyawa bioaktif kulit jengkol (*Archidendron jiringa*) dengan konsentrasi pelarut metanol berbeda sebagai pakan tambahan ternak ruminansia. *Jurnal Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan*, 20(3), 95-103. <https://doi.org/10.29244/jintp.20.3.95-103>
- Alves, E., Dias, M., Lopes, D., Almeida, A., Domingues, M. do R., & Rey, F. (2020). Antimicrobial lipids from plants and marine organisms: An overview of the current state-of-the-art and future prospects. *Antibiotics*, 9(8), 441-443. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9080441>
- Anjum, N., Shanmugarajan, D., Shivaraju, V., Faizan, S., Naishima, N., Kumar, B., Javid, S., & Purohit, M. (2022). Novel derivatives of eugenol as potent anti-inflammatory agents via (PPAR $\gamma$ ) agonism: rational design, synthesis, analysis, (PPAR $\gamma$ ) protein binding assay and computational studies. *RSC Advances*, 12(1), 16966 - 16978. <https://doi.org/10.1039/d2ra02116a>
- Arfiandi, & Tumbol, R. A. (2020). Isolasi dan identifikasi bakteri patogen pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang dibudidayakan di Kecamatan Dimembe Kabupaten Minahasa Utara tahun 2019. *Journal Budidaya Perairan*, 8(1), 19–26. <https://doi.org/10.35800/bdp.8.1.2020.27229>

- Ayer, P. I. L., Mantayborbir, V., Bukorpioper, I. I., Rejauw, K., & Mandey, V. K. (2024). Potensi ekstrak senyawa spons laut jenis *Aplysina aerophoba* asal Base-G sebagai antibakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. *ACROPORA: Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan Papua*, 7(2), 121–127. <https://doi.org/10.31957/acr.v7i2.4292>
- Badaring, D. R., Sari, S. P. M., Nurhabiba, S., Wulan, W., & Lembang, S. A. R. (2020). Uji ekstrak daun maja (*Aegle marmelos* L.) terhadap pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. *Indonesian Journal of Fundamental Sciences*, 6(1), 16-26. <https://doi.org/10.26858/ijfs.v6i1.13941>
- Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibsouda, S. K. (2016). Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: a review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6(2), 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005> azwa
- Barbosa, J. D. S., Sabry, D. A., Silva, C. H. F., Gomes, D. L., Santana-Filho, A. P., Sasaki, G. L., & Rocha, H. A. O. (2020). Immunostimulatory effect of sulfated galactans from the green seaweed *Caulerpa cupressoides* var. flabellata. *Marine drugs*, 18(5), 230-234. <https://doi.org/10.3390/md18050234>
- Beale, D. J., Pinu, F. R., Kouremenos, K. A., Poojary, M. M., Narayana, V. K., Boughton, B. A., Kanojia, K., Dayalan, S., Jones, O. A. H., & Dias, D. A. (2018). Review of recent developments in GC–MS approaches to metabolomics-based research. *Journal Metabolomics*, 14(11), 152-155. <https://doi.org/10.1007/s11306-018-1449-2>
- Belosludtsev, K. N., Belosludtseva, N. V., Talanov, E. Y., Tenkov, K. S., Starinets, V. S., Agafonov, A. V., & Dubinin, M. V. (2019). Effect of bedaquiline on the functions of rat liver mitochondria. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*, 1861(1), 288-297. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2018.06.012>
- Bovo, F., Lazzarotto, T., Ambretti, S., & Gaibani, P. (2023). Comparison of broth microdilution, disk diffusion and strip test methods for cefiderocol antimicrobial susceptibility testing on KPC-Producing *Klebsiella pneumoniae*. *Antibiotics*, 12(3), 614-617. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12030614>
- Bubonja-Šonje, M., Knežević, S., & Abram, M. (2020). Challenges to antimicrobial susceptibility testing of plant-derived polyphenolic compounds. *Journal Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, 71(4), 300–311. <https://doi.org/10.2478/aiht-2020-71-3396>
- Candraningrat, I. D. A. A., Santika, A. A. G. J., Dharmayanti, I. A. M. S., & Prayascita, P. W. (2021). Review kemampuan metode GC-MS dalam identifikasi flunitrazepam terkait dengan aspek forensik dan klinik. *Jurnal Kimia (Journal of Chemistry)*, 15(1), 12–19. <https://doi.org/10.24843/JCHEM.2021.v15.i01.p03>

- Carroll, A. R., Copp, B. R., Davis, R. A., Keyzers, R. A., & Prinsep, M. R. (2020). Marine natural products. *Journal Natural Product Reports*, 37(2), 175-223. <https://doi.org/10.1039/C9NP00069K>
- Chamidah, A., Afrilia, H. C., Ahmad, M. G., & Arisandi, D. (2024). Isolasi klorofil a dan analisis aktivitas antioksidan dari mikroalga *C. vulgaris*. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 27(11), 1006-1020. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v27i11.57470>
- Chiu, H.-H., & Kuo, C. (2020). Gas chromatography-mass spectrometry-based analytical strategies for fatty acid analysis in biological samples. *Journal of Food and Drug Analysis*, 28(1), 60-73. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2019.10.003>
- Dembitsky, V. (2023). Fascinating Furanosteroids and their pharmacological profile. *Molecules*, 28(1), 27-28. <https://doi.org/10.3390/molecules28155669.xu>
- Denatri, A. H., Maisaroh, D. S., Kartika, A. G. D., Susanti, O., & Munir, M. (2023). Antibacterial activities of the extracts of sponge (*Agelas cervicornis*) against bacteria *Staphylococcus aureus*. *Journal of Marine Resources and Coastal Management*, 4(2), 1-6. <https://share.google/sI0NzyXGMo7oDZOBK>
- Dhankhar, R., Kumar, A., Kumar, S., Chhabra, D., Shukla, P., & Gulati, P. (2019). Multilevel algorithms and evolutionary hybrid tools for enhanced production of arginine deiminase from *Pseudomonas furukawaii* RS3. *Bioresource Technology*, 29(10), 12-17. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121789>
- El Gadali, K., Rafya, M., El Mansouri, A. E., Mehdi, A., Andrei, G., Snoeck, R., & Lazrek, H. B. (2026). 2-Quinolone-1, 2, 3-triazole-benzofuran-N-acylhydrazone hybrids as antiviral and antimicrobial agents: synthesis, in vitro screening and molecular modeling. *Molecular Diversity*, 5(3)1-19. <https://doi.org/10.1007/s11030-026-11505-6>
- Elsie & Harahap, I. (2016). Isolasi *Escherichia coli* pada daging sapi segar yang diperoleh dari beberapa Pasar Tradisional di Pekanbaru. *Photon: Jurnal Sain dan Kesehatan*, 7(1), 121-126. <https://doi.org/10.37859/jp.v7i01.570>
- Endarini, L. H. (2016). *Farmakologis dan Fitokimia*. Modul Bahan Ajar Cetak. Pusdik SDM Kesehatan. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. <https://share.google/4EY7CnDk8iIysvmhQ>
- Fajarina, D. (2018). Isolasi senyawa metabolit sekunder ekstrak etanol spons (*Stylotella* sp.) asal Kepulauan Selayar. *Jurnal Kimia Analitik dan Bioanalitik*, 8(2), 102-110. <https://doi.org/10.18860/al.v8i2.10213>

- Falcucci, G., Amati, G., Fanelli, P., Krastev, V. K., Polverino, G., Porfiri, M., & Succi, S. (2021). Extreme flow simulations reveal skeletal adaptations of deep-sea sponges. *Journal Nature*, 59(7), 537–541. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03658-1>
- Fasina, R. P., Omole, R. K., Titilawo, M. A., & Olaitan, J. O. (2025). Gas chromatography-mass spectrometry characterization of carotenoids produced by yeasts isolated from edible fruits and vegetables marketed in Osogbo metropolis, Southwest Nigeria. *Discover Sustainability*, 6(1), 1-15. <https://link.springer.com/article/10.1007/s43621-025-01188-8>
- Filemon, F. (2024). Analisis uji mpn bakteri *Escherichia coli* pada sampel Pangan Jajanan Anak Sekolah (PJAS) di Kota Pontianak. *Journal Agrofood*, 6(1), 22-34. <https://doi.org/10.63848/agf.v06n1.3>
- Hainil, S., Sammulia, S. F., & Adella. (2022). Aktivitas antibakteri *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella typhi* ekstrak metanol anggur laut (*Caulerpa racemosa*). *Jurnal Surya Medika*, 7(2), 86–95. <https://doi.org/10.33084/jsm.v7i2.3210>
- Hanif, Y. A. A. (2022). Uji antibakteri ekstrak dan bakteri simbiosis laut (*Ptilocaulis marquezii*) dari perairan Kendit terhadap bakteri *Escherichia coli* (H94218051) [Skripsi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya]. Digilib UIN Sunan Ampel Surabaya. <https://share.google/MWhRvn2GU4nkAIDI4>
- Hasnaeni, Wisdawati, & Usman, S. (2019). Pengaruh metode ekstraksi terhadap rendemen dan kadar fenolik ekstrak tanaman kayu beta-beta (*Lunasia amara blanco*). *Jurnal Farmasi Galenika*, 5(2), 175-182. <https://share.google/YKTZBm05ktihCmtB5>
- Heinrich, M., Mah, J., & Amirkia, V. (2021). Alkaloids used as medicines: structural phytochemistry meets biodiversity—an update and forward look. *Molecules*, 26(7), 1836. <https://doi.org/10.3390/molecules26071836>
- Helber, S. B., Hoeijmakers, D. J. J., Muhandu, C. A., Rohde, S., & Schupp, P. J. (2018). Sponge chemical defenses are a possible mechanism for increasing sponge abundance on reefs in Zanzibar. *PLoS ONE*, 13(6), 197-617. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197617>
- Helmenstine, A. M. (2019). Steroids - Molecular structures. <https://www.thoughtco.com/steroids-molecular-structures-4054184>
- Huang, H., Zhang, X. Y., Chen, T. L., Zhao, Y. L., Xu, D. S., & Bai, Y. P. (2019). Biodegradation of structurally diverse phthalate esters by a newly identified esterase with catalytic activity toward di (2-ethylhexyl) phthalate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(31), 8548-8558. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b02655>

- Humphries, R., Bobenchik, A. M., Hindler, J. A., & Schuetz, A. N. (2021). Overview of changes to the clinical and laboratory standards institute performance standards for antimicrobial susceptibility testing, M100. *Journal of clinical microbiology*, 59(12), 10-1128. <https://doi.org/10.1128/jcm.00213-21>
- Indriani, S., Isdaryanti, Agustia, M., Poleuleng, A. B., Syahra, N. J., & Prastiyo, Y. B. (2023). Analisis GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry) terhadap batang kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq.*). *Jurnal Agroplantae*, 12(2), 147-155. <https://share.google/05bM945xHuTq4ZBRi>
- Islamiyati, D., & Husen, F. (2025). Perbandingan aktivitas antibakteri kloramfenikol terhadap bakteri gram positif dan gram negatif secara in silico dan in vitro. *Jurnal Bina Cipta Husada: Jurnal Kesehatan Dan Science*, 21(2), 1–8. <https://jurnal.stikesbch.ac.id/index.php/jurnal/article/view/195>
- Jampilek, J. (2019). Design and discovery of new antibacterial agents: advances, perspectives, challenges. *Journal Current Medicinal Chemistry*, 26(1), 1-24. <https://doi.org/10.2174/0929867324666170918122633>
- Josua, E., Wewengkang, D. S. & Suoth, E. (2021). Uji aktivitas antibakteri ekstrak dan fraksi spons *Liosina paradoxa* dari perairan Pulau Mantehage. *Pharmacon*, 10(3), 933–939. <https://doi.org/10.35799/pha.10.2021.35592>
- Katrin, D., Idiawati, N., & Sitorus, B. (2015). Uji aktivitas antibakteri dari ekstrak daun malek (*Litsea graciae Vidal*) terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 4(1), 7–12. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jkkmipa/article/view/11720>
- Khalifa, S. A., Elias, N., Farag, M. A., Chen, L., Saeed, A., Hegazy, M. E. F., & El-Seedi, H. R. (2019). Marine natural products: A source of novel anticancer drugs. *Marine drugs*, 17(9), 487-491. <https://doi.org/10.3390/md17090491>
- Khalifea, H., & Ali, N. (2025). Exploring the principles of GC-MS: techniques and applications. *Journal Physical Sciences, Life Science and Engineering*, 12(2), 45-59. <https://doi.org/10.1234/pslse.2025.1202.45>
- Kim, S., Chen, J., Cheng, T., Gindulyte, A., He, J., He, S., Li, Q., Shoemaker, B. A., Thiessen, P. A., Yu, B., Zaslavsky, L., Zhang, J., & Bolton, E. E. (2023). PubChem 2023 update. *Nucleic Acids Research*, 51(D1), D1373–D1380. <https://doi.org/10.1093/nar/gkac956>
- Kotoku, N., Ishida, R., Matsumoto, H., Arai, M., Toda, K., Setiawan, A., Muraoka, O., & Kobayashi, M. (2017). Biakamides A-D, unique polyketides from a marine sponge, act as selective growth inhibitors of tumor cells adapted to nutrient starvation. *The Journal of Organic Chemistry*, 82(3), 1705–1718. <https://doi.org/10.1021/acs.joc.6b02948>

- Kusuma, A. H., Putri, B., Efendi, E., Safitri, T., & Hidayah, S. (2025). Aktivitas antibakteri ekstrak spons jenis *Xetospongia* sp. dan *Spongia* sp. terhadap bakteri patogen dari perairan Pulau Pahawang, Lampung. *Jurnal Perikanan*, 15(6), 3110–3116. <https://doi.org/10.29303/jp.v15i6.1935>
- Liang, J., Zhang, W., & Manilal, A. (2023). Advances in natural products from the marine-sponge-associated microorganisms with antimicrobial activity in the last decade. *Marine Drugs*, 21(4), 236-245. <https://doi.org/10.3390/md21040236>
- Losung, G., Losung, F., Lintang, R. A., Tilaar, S. O., Wullur, S., & Manoppo, H. (2022). Aktivitas antibakteri dari spons asal perairan Pulau Bantong, Bolaang Mongondow Timur. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 10(1), 81–88. <https://doi.org/10.35800/jplt.10.1.2022.55003>
- Maisaroh, D. S., Al Hanif, Y. A., Munir, M., & Sa'adah, N. (2023). Uji ekstrak spons laut jenis *Ptilocaulis marquezii* dari perairan kendit sebagai potensi antibakteri *Escherichia coli*. *Journal of Marine Research*, 12(1), 161-166. <https://doi.org/10.14710/jmr.v12i1.36278>
- Mambo, C. D., Warouw, F., Nangoy, E., Rumengan, I., Kepel, B., & Bara, R. (2025). Phytochemical compounds and antibacterial test of *Theonella cylindrica* against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *Jurnal Bios Logos*, 15(2), 174–184. <https://doi.org/10.35799/jbl.v15i2.59230>
- Mangurana, W. O. I., Yusnaini, Y., & Sahidin, S. (2019). Analisis LC-MS/MS (Liquid Chromatography-Mass Spectrometry) dan metabolit sekunder serta potensi antibakteri ekstrak n-heksana spons *Callispongia aerizusa* yang diambil pada kondisi tutupan terumbu karang yang berbeda di perairan Teluk Staring. *Jurnal biologi tropis*, 19(2), 131-141. <https://doi.org/10.29303/jbt.v19i2.1126>
- Marzuki, I. (2018). *Eksplorasi spons Indonesia: seputar Kepulauan Spermonde*. Nas Media Pustaka. <https://doi.org/10.31219/osf.io/vp369>
- Mayaserli, D. P., & Anggraini, D. (2019). Identifikasi bakteri *Escherichia coli* pada jajanan bakso tusuk di sekolah dasar Kecamatan Gunung Talang. *Jurnal Kesehatan Perintis*, 6(1), 30-34. <https://doi.org/10.33653/jkp.v6i1.220>
- Mayer, A., Pierce, M., Howe, K., Rodríguez, A., Nakamura, F., & Fusetani, N. (2022). Review marine pharmacology in 2018: marine compounds with antibacterial, antidiabetic, antifungal, anti-inflammatory, antiprotozoal, antituberculosis and antiviral activities; affecting the immune and nervous systems, and other miscellaneous mechanisms of action. *Pharmacological research*, 183(08), 106-391. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2022.106391>
- Melo, C. M., Gomes, F. S., & Almeida, J. R. G. S. (2021). Effect of solvent polarity on the extraction of bioactive compounds from natural sources. *Journal Molecules*, 26(16), 4891. <https://doi.org/10.3390/molecules26164891>

- Mondello, L., Cordero, C., Janssen, H. G., Synovec, R. E., Zoccali, M., & Tranchida, P. Q. (2025). Comprehensive two-dimensional Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *Nature Reviews Methods Primers*, 5(1), 1-7. <https://doi.org/10.1038/s43586-024-00379-3>
- Murniasih, T., Yunovilsa, M., & Untari, F. (2022). Antibacterial activity and GC-MS based metabolite profiles of Indonesian marine *Bacillus*. *Indonesian Journal of Pharmacy*, 33(3), 475–483. <https://doi.org/10.22146/ijp.3504>
- Najmah, Purnamasari, R., Ilimu, E., Uyun, H. S. K., Priyadi, S., Safitri, W., Megawati, Verawati, & Wardi, E. S. (2025). *Fitokimia*. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah. <https://share.google/V8MXRdBx5pWwRhJoJ>
- Narulita, R. (2018). *Pengaruh lama waktu maserasi terhadap aktivitas antioksidan ekstrak daun dan kulit batang mangrove Sonneratia caseolaris di Pesisir Pantai Serang, Kabupaten Blitar Jawa Timur (051806571)*. [Skripsi, Universitas Brawijaya]. Repository Universitas Brawijaya. <http://repository.ub.ac.id/12933/1/Rizqy%20Narulita.pdf>
- Novitasari, N., & Jubaidah, S. (2018). Perbandingan metode ekstraksi terhadap rendemen ekstrak daun rambai laut (*Sonneratia caseolaris L.*). *Jurnal Ilmiah Manuntung*, 4(1), 79-83. <https://share.google/FFh78Ad4CcHRdYVFd>
- Nurama, D. F. (2021). *Uji potensi antibakteri ekstrak spons dan bakteri simbiosis laut Callyspongia vaginalis dari perairan Kendit terhadap pertumbuhan bakteri Vibrio harveyi (H74218017)* [Skripsi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya]. Digilib UIN Sunan Ampel Surabaya. <https://share.google/J4u20jphmLjjGzrBP>
- Nurama, D. F., Maisaroh, D. S., Munir, M., Kartika, A. G. D., Susanti, O., & Joesidawati, M. I. (2023). Antibacterial potential marine sponge extract and bacteria symbionts *Callyspongia vaginalis* from Kendit Waters Against the bacteria *Vibrio harveyi*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1251(1), 012028-012030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1251/1/012028>
- Nusaibah, S. A., Siti Nor Akmar, A., Idris, A. S., Sariah, M., & Pauzi, Z. M. (2016). Involvement of metabolites in early defense mechanism of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) against Ganoderma disease. *Plant Physiology and Biochemistry*, 109(2), 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.09.014>
- Pajan, S. A., Waworuntu, O., & Leman, M. A. (2016). Potensi antibakteri air perasan bawang putih (*Allium sativum L.*) terhadap pertumbuhan *Staphylococcus aureus*. *Pharmakon: Jurnal Ilmiah Farmasi*, 5(4), 77–89. <https://doi.org/10.35799/pha.5.2016.13977>
- Palungan, I., Bara, R. A., Mangindaan, R. E., Kemer, K., Wullur, S., & Rembet, U. N. (2022). Aktivitas antibakteri ekstrak spons *Stylissa carteri* dari Teluk Manado, Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah PLATAX*, 10(1), 9-18. <https://share.google/6rinhbeU7PW7DikgN>

- Parisa, N., Islami, R.N., Amalia, E., Mariana, M., & Rasyid, R.S.P. (2019). Antibacterial activity of *Cinnamon* extract (*Cinnamomum burmannii*) against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* in vitro. *Bioscientia Medicina: Journal of Biomedicine and Translational Research*, 3(2): 19–28. <https://doi.org/10.32539/bsm.v3i2.85>
- Pasodung, A., Losung, F., Angkouw, E., Lintang, R., Mantiri, D., & Sumilat, D. (2018). Uji aktivitas antibakteri spons *Plakortis* sp. yang dikoleksi dari perairan Bunaken. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 6(1), 44-47. <https://doi.org/10.35800/jplt.6.1.2018.20192>
- Paul, V. J., Freeman, C. J., & Agarwal, V. (2019). Chemical ecology of marine sponges: new opportunities through “-omics”. *Integrative and Comparative Biology*, 59(4), 765–776. <https://doi.org/10.1093/icb/icz014>
- Piechocka, J., Wieczorek, M., & Głowacki, R. (2020). Gas Chromatography-Mass Spectrometry based approach for the determination of methionine-related sulfur-containing compounds in human saliva. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(23), 9252-9251. <https://doi.org/10.3390/ijms21239252>
- Pramudhya, R. A. S. (2024). *Aktivitas antioksidan dan toksisitas senyawa aktif dari ekstrak spons Stylissa massa dan Ephydatia sp. di perairan Pulau Enggano, Bengkulu (152693)* [Skripsi, Universitas Sriwijaya]. Repository Universitas Sriwijaya. <https://share.google/0OvJNWQAHioHGMsSt>
- Prasetya, E. (2022). *Klasifikasi protein berdasarkan struktur dan fungsi*. <https://inovasiologi.com/klasifikasi-protein-berdasarkan-struktur-dan-fungsi/>
- Price, V.L., Nanayakkara, A., Pasini, A., Bazellières, E., Vernale, A., Rocher, C., Borchiellini, C., Le Bivic, A., Renard, E. and Leys, S.P. (2025). Why homoscleromorph sponges have ciliated epithelia: evidence for an ancestral role in mucociliary driven particle flux. *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution*, 34(4): 505-516. <https://doi.org/10.1002/jez.b.23324>
- PubChem. (2024). *Dibenzylamine* (CID 1017). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1017>
- PubChem. (2025). *(1S,4aS,4bS,7S,8aS,10aS)-7-Isopropyl-1,4a-dimethyltetradecahydrophenanthrene* (CID 5281378). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5281378>
- PubChem. (2025). *17 $\alpha$ ,21 $\beta$ -28,30-Bisnorhopane* (CID 44207108). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/44207108>

- PubChem. (2025). *1-Ethylsulfanylmethyl-2,8,9-trioxa-5-aza-1-sila-bicyclo[3.3.3]undecane* (CID 135398531). National Center for Biotechnology Information.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/135398531>
- PubChem. (2025). *1-Iodohexadecane* (CID 13780247). National Center for Biotechnology Information.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/13780247>
- PubChem. (2025). *2-(N-morpholinyl)ethylphosphine* (CID 5363023). National Center for Biotechnology Information.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5363023>
- PubChem. (2025). *2,4a,8,8-Tetramethyldecahydrocyclopropa[d]naphthalene* (CID 163830). National Center for Biotechnology Information.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/163830>
- PubChem. (2025). *28-nor-17 $\alpha$ (H)-hopane* (CID 6440435). National Center for Biotechnology Information.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6440435>
- PubChem. (2025). *Bis(2-ethylhexyl) adipate* (CID 11781). National Center for Biotechnology Information.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/117-81-7>
- PubChem. (2025). *Carbonic acid, eicosyl vinyl ester* (CID 24205039). National Center for Biotechnology Information.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/24205039>
- PubChem. (2025). *Carbonic acid, octadecyl vinyl ester* (CID 24205043). National Center for Biotechnology Information.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/24205043>
- PubChem. (2025). *Eicosane* (CID 11295). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/112-95-8>
- PubChem. (2025). *Mono(2-ethylhexyl) phthalate* (CID 4376). National Center for Biotechnology Information.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/4376>
- PubChem. (2025). *Nonadecan-1-ol* (CID 5368745). National Center for Biotechnology Information.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5368745>
- PubChem. (2025). *N-Phenyl-2-pyridinepropanamide* (CID 3033844). National Center for Biotechnology Information.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/3033844>
- PubChem. (2025). *Pentacos-1-ene* (CID 72009). National Center for Biotechnology Information.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/72009>
- PubChem. (2025). *Pentacosane*. National Center for Biotechnology Information.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/124-29-0>

- PubChem. *1-(2-Octyldecyl) octahydropentalene* (CID: 298063). National Center for Biotechnology Information.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/298063>
- PubChem. *2-Methyl-4-(2,6,6-trimethyl-1-cyclohexen-1-yl)-3-butenal* (CID: 5371319). National Center for Biotechnology Information.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5371319>
- PubChem. *Ergosta-5,24(28)-dien-3-ol, (3 $\beta$ )-* (CID: 644476). National Center for Biotechnology Information.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/644476>
- PubChem. *Lathosterol* (CID: 5281679). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5281679>
- Putra, S. A., Ambo-Rappe, R., Jompa, J., & de Voogd, N. J. (2023). Two centuries of sponges (phylum Porifera) taxonomic studies in Indonesia (1820–2021): checklist and bibliography. *Jurnal Zootaxa*, 529(1), 1-74.  
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.5298.1.1>
- Putri, W. S., Warditiani, N. K., & Larasanty, L. P. F. (2015). Skrining fitokimia ekstrak etil asetat kulit buah manggis (*Garcinia mangostana* L.). *Jurnal Farmasi Udayana*, 3(1), 56–60.  
[https://ojs.unud.ac.id/index.php/jfu/article/view/8405?utm\\_source=chatgpt.com](https://ojs.unud.ac.id/index.php/jfu/article/view/8405?utm_source=chatgpt.com)
- Qadir, H., Rehman, M. A., Nasir, S., Alam, M. A., Ibrar, M., & Shuaib, S. L. (2024). Ecanvaluation of antibiotics by disk diffusion and minimum inhibitory concentration breakpoints in urinary tract infections. *Pakistan Journal of Health Sciences*, 5(4), 183–186.  
<https://doi.org/10.54393/pjhs.v5i04.1460>
- Rahmadina. (2021). *Taksonomi Hewan Invertebrata Berbasis Riset*. Deepublish.  
<https://share.google/w5OlhoPs2ZtljIWUw>
- Rajamanikyam, M., Vadlapudi, V., Parvathaneni, S. P., Koude, D., Sripadi, P., Misra, S., Amanchy, R., & Upadhyayula, S. M. (2017). Isolation and characterization of phthalates from *Brevibacterium mcbrellneri* that cause cytotoxicity and cell cycle arrest. *EXCLI Journal*, 16(4), 375–387.  
<https://doi.org/10.17179/excli2017-145>
- Risdian, C., Mozef, T., & Wink, J. (2019). Biosynthesis of polyketides in *Streptomyces*. *Microorganisms*, 7(5), 123-124.  
<https://doi.org/10.3390/microorganisms7050124>
- Ritan, Y. E. H., Wewengkang, D. S., & Siampa, J. P. (2021). Uji aktivitas antibakteri ekstrak dan fraksi alga *Caulerpa racemosa* dari perairan Pulau Mantehage Minahasa Utara terhadap pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. *Pharmacon*, 10(2), 905–911.  
<https://doi.org/10.35799/pha.10.2021.34042>

- Rizki, S. A., Latief, M., Fitriyaningsih, & Rahman, H. (2021). Uji aktivitas antibakteri ekstrak n-heksan, etil asetat, dan etanol daun durian (*Durio zibethinus* Linn.) terhadap bakteri *Propionibacterium acnes* dan *Staphylococcus epidermidis*. *Jambi Medical Journal : Jurnal Kedokteran Dan Kesehatan*, 10(3), 442–457. <https://share.google/9UGOHcy77uXjHnri2>
- Runtuwene, M. R. J., Kamu, V. S., & Rotty, M. (2021). Aktivitas antioksidan fraksi etil asetat dan fraksi heksana daun soyogik (*Saurauia bracteosa* DC) terhadap oksidasi asam linoleat. *Chemistry Progress*, 14(2), 138–145. <https://doi.org/10.35799/cp.14.2.2021.37559>
- Samreen, I., Ahmad, I., Malak, H. A., & Abulreesh, H. H. (2021). Environmental antimicrobial resistance and its drivers: a potential threat to public health. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*, 27(2), 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.jgar.2021.08.001>
- Sanger, G., Dotulong, V., & Damongilala, L. J. (2022). Isolasi asam lemak dan kadar pigmen rumput laut cokelat *Sargassum crassifolium* sebagai sumber antioksidan alami. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 25(3), 475–493. <http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v25i3.43033>
- Setiara, A., Tarigan, J. M. A. B., Anandari, M., Husna, N., Hulzana, N., Pangaribuan, S. H., & Sibarani, S. A. B. (2024). Identifikasi bakteri *Escherichia coli* pada sampel daging bakso sebagai Pangan Jajanan Anak Sekolah (PJAS). *Algoritma: Jurnal Matematika, Ilmu pengetahuan Alam, Kebumihan dan Angkasa*, 2(5), 50–58. <https://doi.org/10.62383/algoritma.v2i5.120>
- Setiawan, A., & Hendri, J. (2022). *Senyawa Bioaktif Spons: Struktur Dan Bioaktivitas*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. <https://share.google/CmKIQot19Gfkto2wKg>
- Sinurat, A. A. P., Renta, P. P., Herliany, N. E., Negara, B. F., & Purnama, D. (2019). Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Metanol Rumput Laut *Gracilaria edulis* terhadap bakteri *Aeromonas hydrophila*. *Jurnal Enggano*, 4(1), 105–114. <https://doi.org/10.31186/jenggano.4.1.105-114>
- Suciati, S., Putri, H. R., Palaniveloo, K., Hung, O. K., Rizman-Idid, M., Widyawaruyanti, A., & Setiawan11, E. (2025). In vitro and in silico cholinesterase inhibitory activities of aaptamine and derivatives from *Aaptos suberitoides*. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 13(3), 757–773. [https://doi.org/10.56499/jppres24.2064\\_13.3.757](https://doi.org/10.56499/jppres24.2064_13.3.757)
- Sukri, N. M., Priawandiputra, W., Atmowidi, T., & Litaay, M. (2024). The diversity and distribution of sponges in three different Islands at the Makassar Strait, Indonesia. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 17(1), 248–259. <https://doi.org/10.20473/jipk.vi.55675>

- Syuraihanah, K., Mulandari, K., Sukardi, P., & Mardiyana, M. (2024). Determinasi resiko keamanan pangan berdasarkan kandungan *Escherichia coli* pada ikan budi daya mina padi Banyumas. *Jurnal Maiyah*, 3(1), 43-51. <https://doi.org/10.20884/1.maiyah.2024.3.1.11711>
- Tailor, N. K., Deswal, G., & Grewal, A. S. (2024). Aaptamine: a versatile marine alkaloid for antioxidant, antibacterial, and anticancer therapeutics. *Journal Chemistry*, 6(4), 677-694. <https://doi.org/10.3390/chemistry6040040>
- Tammam, M. A., Aouidate, A., Mahmoud, M. M., Gamal El-Din, M. I., & El-Demerdash, A. (2025). Cortistatin and plakinamine steroidal alkaloids from the marine sponges of the genus *Corticium* sp.: insights into their chemistry, pharmacology, pharmacokinetics and Structure Activity Relationships (SARs). *RSC advances*, 15(12), 9092–9107. <https://doi.org/10.1039/d4ra08718f>
- Tan, L. T. (2023). Impact of marine chemical ecology research on the discovery and development of new pharmaceuticals. *Marine Drugs*, 21(3), -173-174. <https://doi.org/10.3390/md21030174>
- Tang, Q., Zhou, T., Hao, J., Wang, C., Zhang, K., Xu, J., Wang, X., & Zhou, W. (2023). Antibacterial activities of anthraquinones: Structure–activity relationships and action mechanisms. *RSC Medicinal Chemistry*, 14, 1446–1471. <https://doi.org/10.1039/D3MD00116D>
- Tompunu, V. F., Wewengkang, D. S., & Rumondor, E. M. (2022). Potensi antibakteri ekstrak dan fraksi dari organisme laut *Stylissa carteri* terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *Pharmakon*, 11(1), 1255-1263. <https://doi.org/10.35799/pha.11.2022.39135>
- Tong, H., & Kang, J. (2021). Characteristics of noise complaints and the associations with urban morphology: A comparison across densities. *Environmental Research*, 197(1), 111042-111045. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111045>
- Trianto, A., Ridhlo, A., Triningsih, D. W., & Tanaka, J. (2017). Study on anticancer activity of extracts of sponges collected from Biak Water, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 55(1), 62-69. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/55/1/012069>
- Trisno, K., Tono, K. P., & Gusti Ketut Suarjana, I. (2019). Isolasi dan indentifikasi bakteri *Escherichia Coli* dari udara pada rumah potong unggas swasta di Kota Denpasar. *Jurnal Indonesia Medicus Veterinus*, 8(5), 2477-6637. <https://doi.org/10.19087/imv.2019.8.5.685>
- Utami, R. T., Zamani, N. P., & Madduppa, H. H. (2018). Molecular identification, abundance and distribution of the coral-killing sponge *Terpios hoshinota* in Bengkulu and Seribu Islands, Indonesia. *Journal Biodiversitas*, 19(6), 2238–2246. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d190632>

- Utomo, S. B., Fujiyanti, M., Lestari, W. P., & Mulyani, S. (2018). Uji aktivitas antibakteri senyawa c-4 metoksifenilkaliks [4] resorsinarena termodifikasi hexadecyltrimethylammonium-bromide terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, 3(3), 109-209. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v3i3.22742>
- van Doorn, H. R. (2021). *The epidemiology of emerging infectious diseases and pandemics. Medicine*, 49(10), 659–662. <https://doi.org/10.1016/j.mpmed.2021.07.011>
- Van Soest, R. W. M., Boury-Esnault, N., Hooper, J. N. A., Rützler, K., de Voogd, N. J., Alvarez, B., Hajdu, E., Pisera, A. B., Manconi, R., Schonberg, C., Klautau, M., Kelly, M., Vacelet, J., Dohrmann, M., Díaz, M.-C., Cárdenas, P., Carballo, J. L., Ríos, P., & Downey, R. (2018). *World Porifera database*. <http://www.marinespecies.org/porifera> (Akses pada 15 Oktober 2023). <https://doi.org/10.14284/170>
- Wahyu, D., & Masnawati. (2015). Uji daya hambat ekstrak etil asetat daun binahong (*Anredera colifolia* (Ten.) Steenis) terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *As-Syifaa Jurnal Farmasi*, 07(02), 219-228. <https://doi.org/10.56711/jifa.v7i2.14>
- Wang, P., Gao, J., Zhao, Y., Zhang, M., & Zhou, S. (2021). Biodegradability of di-(2-ethylhexyl) phthalate by a newly isolated bacterium *Achromobacter* sp. RX. *Science of the Total Environment*, 755, 142476. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142476>
- Wibowo, R.H., Sipriyadi, S., Darwis, W., Kamilah, S.N., Pertiwi, H.P. & Pertiwi, R. (2020). Potensi isolat *Bacillus* sp. yang berasosiasi dengan spons *Aplysina* sp. penghasil senyawa antimikroba asal Pulau Enggano. *Jurnal Enggano*, 5(1), 1–10. <https://doi.org/10.31186/jenggano.5.1.1-10>
- Widyaningsih, S. & Sa'adah, N. (2018). Bakteri simbiosis karang lunak *Sinularia* sp. sebagai agen antibakteri. *Jurnal Kelautan Tropis*, 21(1), 61-64. <https://doi.org/10.14710/jkt.v21i1.2454>
- Wijayanti, N., & Fitriani, E. (2021). Pengaruh lama maserasi terhadap kandungan senyawa bioaktif hasil ekstraksi spons laut. *Jurnal Kimia Riset*, 9(2), 110–118. <https://doi.org/10.36706/jkr.v9i2.1612>
- Woran, F., Wewengkang, D. S., & Jayanti, M. (2021). Uji aktivitas antibakteri ekstrak dan fraksi ascidian (*Lissoclinum badium*) dari perairan Pulau Mantehage. *Pharmakon*, 10(2), 897-904. <https://doi.org/10.35799/pha.10.2021.34041>
- Wulansari, E. D., Lestari, D., & Khoirunissa, M. A. (2020). Kandungan terpenoid dalam daun ara (*Ficus carica* L.) sebagai agen antibakteri terhadap bakteri methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Pharmakon*, 9(2), 219-225. <https://doi.org/10.35799/pha.9.2020.29274>

- Xu, L., Meng, W., Cao, C., Wang, J., Shan, W., & Wang, Q. (2015). Antibacterial and antifungal compounds from marine fungi. *Marine Drugs*, 13(2), 3479 - 3513. <https://doi.org/10.3390/md13063479>.
- Yang, W., Chen, X., Li, Y., Guo, S., Wang, Z., & Yu, X. (2020). Advances in pharmacological activities of terpenoids. *Natural Product Communications*, 15(3), 1–13. <https://doi.org/10.1177/1934578X20903555>
- Yinglian, Z. & Shuang, Z. (2020). Antibacterial activity and mechanism of lacidophilin from *Lactobacillus pentosus* against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *Journal Frontiers in Microbiology*, 11(1), 1-11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.582349>
- Yuan, Y., Lei, Y., Xu, M., Zhao, B., & Xu, S. (2025). Bioactive terpenes from marine sponges and their associated organisms. *Marine Drugs*, 23(3), 96. <https://doi.org/10.3390/md23030096>
- Yulianingtyas, A., & Kusmartono, B. (2016). Optimasi volume pelarut dan waktu maserasi pengambilan flavonoid daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.). *Jurnal Teknik Kimia*, 10(2), 61-67. [https://doi.org/10.33005/jurnal\\_tekkim.v10i2.539](https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v10i2.539)
- Zhang, H., Xu, W., Liu, J., Li, M., & Yang, B. (2019). Thermophysical properties of dicationic imidazolium-based ionic compounds for thermal storage. *Journal of Molecular Liquids*, 282, 474-483. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.03.012>