

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

**SKRIPSI**

**Oleh**

**TIARA SAFITRI  
22114221009**



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

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

Oleh  
**TIARA SAFITRI**

**Skripsi**

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

**Pada**

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



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2026**

## ABSTRAK

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

Oleh

TIARA SAFITRI

Spons laut merupakan salah satu biota penyusun terumbu karang yang memiliki potensi besar sebagai sumber senyawa bioaktif antibakteri alami. Penelitian bertujuan untuk membandingkan rendemen dan aktivitas antibakteri ekstrak spons *Stylissa* dari perairan Pulau Pahawang menggunakan tiga pelarut dengan tingkat polaritas berbeda, yaitu metanol (polar), etil asetat (semi polar), dan n-heksana (non polar). Metode penelitian meliputi ekstraksi secara maserasi, uji aktivitas antibakteri dengan metode difusi cakram, serta identifikasi senyawa bioaktif menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelarut etil asetat menghasilkan rendemen tertinggi, yaitu 7,86% dan 6,84%, dibandingkan metanol (5,94% dan 4,63%) serta n-heksana (2,11% dan 1,65%). Uji aktivitas antibakteri menunjukkan ekstrak etil asetat memiliki daya hambat paling kuat terhadap *Escherichia coli* dengan diameter zona hambat (18,8 mm dan 16,1 mm), diikuti metanol (16,3 mm dan 13,1 mm) dan n-heksana (0 mm dan 0 mm). Kontrol positif kloramfenikol menunjukkan zona hambat (28,8 mm dan 25,9 mm), sedangkan kontrol negatif tidak menunjukkan hambatan. Analisis GC-MS terhadap fraksi etil asetat spons *Stylissa* terdapat 36 puncak senyawa yang teridentifikasi, senyawa yang dapat dikelompokkan ke dalam lima golongan utama, yaitu hidrokarbon aromatik, keton dan alkohol, asam lemak dan ester, amida dan amina, serta steroid dan triterpenoid.

Kata kunci: Antibakteri, *Escherichia coli*, GC-MS, Metabolit Sekunder, *Stylissa*

## ABSTRACT

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

By

TIARA SAFITRI

Sea sponges are one of the components of coral reef ecosystems that hold great potential as a source of natural antibacterial bioactive compounds. This study aimed to compare the yield and antibacterial activity of *Stylissa* sponge extracts from the waters around Pahawang Island using three solvents with different polarities: methanol (polar), ethyl acetate (semi polar), and n-hexane (non polar). The research methods included maceration extraction, antibacterial activity testing using the disk diffusion method, and identification of bioactive compounds using Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). The results showed that ethyl acetate yielded the highest extraction yields, namely 7.86% and 6.84%, compared to methanol (5.94% and 4.63%) and n-hexane (2.11% and 1.65%). Antibacterial activity testing showed that the ethyl acetate extract exhibited the strongest inhibitory effect against *Escherichia coli*, with inhibition zone diameters of 18.8 mm and 16.1 mm, followed by methanol (16.3 mm and 13.1 mm) and n-hexane (0 mm and 0 mm). The positive control, chloramphenicol, showed inhibition zones (28.8 mm and 25.9 mm), while the negative control showed no inhibition. GC-MS analysis of the ethyl acetate fraction of the *Stylissa* sponge identified 36 compound peaks, which can be grouped into five main classes: aromatic hydrocarbons, ketones and alcohols, fatty acids and esters, amides and amines, and steroids and triterpenoids.

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

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

**Nama Mahasiswa** : **Tiara Safitri**

**Nomor Pokok Mahasiswa** : **2214221009**

**Program Studi** : **Ilmu Kelautan**

**Fakultas** : **Pertanian**



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

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

**2. Ketua Jurusan perikanan dan Kelautan**

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

**MENGESAHKAN**

**I. Tim Penguji**

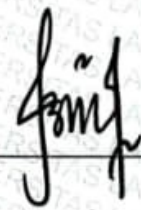
**Ketua**

**: Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.**

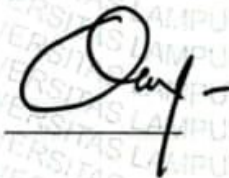


**Sekretaris**

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



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



**II. Dosen Pembimbing**



**: Dr. Tika Kuswana Futas Hidayat, M.P.**  
**NIP. 196411181989021002**

**Tanggal lulus ujian skripsi: 25 Mei 2026**

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi yang berjudul **“Skrining Aktivitas Antibakteri Spons *Stylissa* 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



Tiara Safitri  
NPM. 2214221009

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan di Way Gelang, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung, pada tanggal 17 September 2003 sebagai anak pertama perempuan dari pasangan suami istri Bapak Pirsoni dan Ibu Muryati. Penulis menempuh pendidikan formal dari Pendidikan dasar di SD Negeri 03 Kuripan pada tahun (2010-2016), selanjutnya melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 01 Kotaagung Barat (2016-2019), dan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 02 Kotaagung pada tahun (2019-2022).

Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang pendidikan tinggi di Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2022. Penulis pernah mengikuti Lisensi Selam A1 dalam *Club* selam POSSI pada tahun (2024), dan pernah menjadi asisten praktikum pada mata kuliah Renang pada tahun 2025-2026.

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 Sidomekar, Kecamatan Katibung, Kabupaten Lampung Selatan, 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 memang tidak menjanjikan hidupmu akan selalu mudah, tapi dua kali  
Allah berjanji bahwa: "Fa inna ma'al 'usri Yusra, Inna ma'al - 'usri yusra"  
"setiap kesulitan pasti ada kemudahan"

(QS.Al-Insyirah 94:5-6)

"Tidak ada mimpi yang terlalu tinggi dan tidak ada mimpi yang patut diremehkan  
Lambungkan setinggi yang kau inginkan dan gapailah dengan selayaknya yang  
kau harapkan"

(Maudy Ayunda)

"Aku membahayakan nyawa ibuku untuk lahir ke dunia, jadi tidak mungkin aku  
tidak ada artinya, dan aku membuat ayahku bekerja setiap hari hingga lelah, jadi  
aku pastikan lelahnya tidak sia-sia"

(Penulis)

## UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillahirabbil Alamin, segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. atas segala rahmat, hidayah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Skrining Aktivitas Antibakteri Spons *Stylissa* terhadap Bakteri Patogen dari Perairan Pulau Pahawang, Kecamatan Punduh Pidada, Kabupaten Pesawaran, Lampung" tepatnya pada waktunya guna memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains (S.Si).

Pada penulisan skripsi penulis menyadari sepenuhnya bahwa begitu banyak pihak yang telah memberi bantuan, dukungan, bimbingan, arahan serta doa dari semua pihak baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Oleh karena itu, dalam kesempatan tersebut 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 Muhammad Kholiqul Amiin, S.Pi., M.Si., 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 Pirsoni, S.M. dan Ibu Muryati yang selalu mendoakan serta memberikan semangat, dan finansial selama melaksanakan penelitian hingga penyelesaian penulisan skripsi.

Bandar Lampung, 25 Mei 2026

Tiara Safitri

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xvii</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 Spons.....	5
2.2 Metabolit Sekunder Spons.....	8
2.3 Senyawa Bioaktif Spons.....	9
2.4 Penyakit Infeksi.....	16
2.5 Aktivitas Antibakteri.....	18
2.6 <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS).....	19
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	<b>21</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	21
3.2 Alat dan Bahan.....	22
3.3 Prosedur Penelitian.....	24
3.3.1 Pengambilan Sampel.....	24
3.3.2 Identifikasi Spons.....	24
3.3.3 Preparasi Sampel.....	25
3.3.4 Ekstraksi.....	25
3.3.5 Sterilisasi Alat.....	26

3.3.6 Pembuatan Larutan Kontrol Positif .....	26
3.3.7 Perendaman Kertas Cakram.....	26
3.3.8 Pembuatan Media .....	27
3.3.9 Peremajaan Bakteri.....	27
3.3.10 Pembuatan Suspensi .....	27
3.3.11 Peletakan Kertas Cakram.....	28
3.3.12 Uji Zona Hambat .....	28
3.3.13 <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS).....	28
3.4 Analisis Data .....	29
3.4.1 Analisis Rendemen.....	29
3.4.2 Analisis Zona Hambat .....	30
3.4.3 Analisis GC-MS.....	30
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>32</b>
4.1 Identifikasi Spons .....	32
4.2 Analisis Rendemen.....	33
4.3 Aktivitas antibakteri .....	34
4.4 Analisis <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS).....	36
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>46</b>
5.1 Simpulan.....	46
5.2 Saran .....	46
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>47</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>65</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kandungan pada golongan aktivitas terhadap senyawa bioaktif spons .....	15
2. Alat, spesifikasi, dan kegunaannya selama penelitian .....	22
3. Bahan, spesifikasi, dan kegunaannya selama penelitian.....	23
4. Hasil ekstraksi dan persentase rendemen spons .....	33
5. Hasil zona hambat ekstrak metanol, etil asetat, n-hexana dan K+.....	34
6. Senyawa teridentifikasi pada fraksi spons berdasarkan analisis GC-MS .....	37

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pikir.....	4
2. Kelas pada spons (a) <i>Clathrina clathrus</i> kelas Calcarea, (b) <i>Staurocalyptus</i> sp. 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, dasar tubuh spons (a) adalah bentuk silinder dengan rongga tengah yang besar, jenis sel khusus dalam spons (b) dengan fungsi yang berbeda .....	6
5. Morfologi spons <i>Stylissa</i> .....	7
6. Struktur kimia senyawa bioaktif kelompok terpenoid pada spons laut.....	10
7. Struktur kimia senyawa bioaktif kelompok steroid pada spons laut.....	10
8. Struktur kimia senyawa bioaktif kelompok alkaloid pada spons laut.....	12
9. Struktur kimia senyawa bioaktif kelompok poliketida pada spons laut.....	13
10. Struktur kimia senyawa bioaktif kelompok polipeptida pada spons laut.....	14
11. Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	17
12. Peta pengambilan sampel spons.....	21
13. (a) Pengukuran spons <i>Stylissa</i> (b) Spons <i>Stylissa</i> pada habitat perairan Pahawang .....	32
14. Kromatogram hasil GC-MS fraksinasi spons <i>Stylissa</i> .....	36
15. Struktur molekul senyawa (a) Benzene, 1-ethyl-2,4-dimethyl-, (b) Benzene, 2-ethyl-1,4-dimethyl-, (c) Benzene, 1,2,4,5-tetramethyl-, (d) Benzene, 1-methyl-2-(2-propenyl)-, (e) Benzene, 1-ethyl-3,5-dimethyl-, (f) Naphthalene, (g) Benzene, 1-ethyl-2,4,5-trimethyl-, (h) 1,4-Methanonaphthalene, 6,7-diethyldecahydro-, cis- .....	40
16. Struktur molekul senyawa (a) Octan-2-one, 3,6-dimethyl-, (b) Isophorone, (c) 1-Dodecanol.....	41
17. Struktur molekul senyawa (a) Pentadecanoic acid methyl ester, (b) 4-Methylaminobenzoic acid 4-formylphenyl ester, (c) Tetracosyl acetate, (d) Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl) ester, (e) Palmitic acid vinyl ester, (f) 2-Pentenoic acid 5-(decahydro-5,5,8a-trimethyl-2-methylene-1-naphthalenyl)-3-methyl-, (g) 4a,7,7,10a-Tetramethyl-dodecahydro-benzo[f]chromen-3-one.....	42
18. Struktur molekul senyawa (a) cis-11-eicosenamide, (b) Dibenzylamine .....	43

19. Struktur molekul senyawa (a) 15-Isobutyl-(13.alpha.H)-isocopalane, (b) Tetracosyl acetate, (c) 17.alfa.,21.beta.-28,30-Bisnorhopane, (d) Cyclohexane, 3,3,5,5-tetramethyl-1-(3,3,5,5-tetramethylcyclohexylidene)-, (e) Cholest-23-ene, (5.beta.)-, (f) (1R,2R,8S,8Ar)-8-hydroxy-1-(2-hydroxyethyl)-1,2,5,5-tetramethyl-cis-decalin, (g) 28-Nor-17.alpha.(H)-hopane, (h) Cholesta-5,22-dien-3-ol, (3.beta.)-, (i) 2,4a,8,8-Tetramethyldecahydrocyclopropa[d]naphthalene, (j) Cholestan-3-ol, (k) 3.beta.-Hydroxy-5-cholen-24-oic acid, (l) Ergosta-5,24(28)-dien-3-ol, (3.beta.)- ..... 44

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Dokumentasi penelitian.....	66
2. Tinggi spektrum 36 senyawa spons <i>Stylissa</i> .....	66

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Sumber daya hayati laut merupakan salah satu potensi besar yang dimiliki Indonesia, terutama dalam bidang bioteknologi kelautan (Casertano et al., 2023). Organisme laut merupakan sumber yang kaya akan senyawa aktif biologis (Ameen et al., 2020). Senyawa bioaktif yang dihasilkan oleh avertebrata laut diketahui memiliki struktur kimia yang beragam dan berpotensi sebagai sumber senyawa antibakteri alami (Liu et al., 2019). Spons laut merupakan salah satu organisme laut yang mampu menghasilkan berbagai senyawa metabolit sekunder dengan aktivitas biologis yang beragam, termasuk aktivitas antibakteri (Weeraphan, 2025). Spons laut diketahui mengandung berbagai senyawa metabolit sekunder yang berperan sebagai mekanisme pertahanan alami terhadap lingkungan sekitarnya (Nisa et al., 2016). Berbagai penelitian melaporkan bahwa ekstrak spons laut memiliki aktivitas antibakteri terhadap bakteri patogen sehingga berpotensi dikembangkan sebagai sumber bahan antibakteri alami (Nofiani et al., 2020). Spons memiliki aktivitas antimikroba, antiparasit, dan antikanker (Khodzori et al., 2023).

Salah satu contoh spons yang banyak ditemukan di perairan Indonesia khususnya di perairan Pulau Pahawang adalah *Stylissa*. Spons *Stylissa*, dapat menghasilkan metabolit sekunder dari proses metabolisme dalam sel yang ada pada tubuhnya (Abdelhameed et al., 2020). Adapun metabolit sekunder yang dihasilkan memiliki struktur yang khas dibandingkan spesies-spesies organisme laut lain, karena bergantung pada lingkungan dan interaksi (simbiosis) dengan organisme lain (Tompunu et al., 2022). Sebagai hasil dari berbagai penelitian spesies *Stylissa* memiliki senyawa metabolit sekunder seperti golongan alkaloid, steroid dan

terpenoid (Yuan et al., 2025). Penelitian yang dilakukan oleh Leon et al., (2022) menyebutkan beberapa senyawa bioaktif yang terkandung dalam spons diantaranya adalah antibakteri, dan antibiotik.

Antibakteri diperlukan untuk mengobati infeksi yang disebabkan oleh bakteri, contoh bakteri yang dapat menyebabkan infeksi yaitu *Escherichia coli*, tersebut bahwa merupakan flora normal yang dapat ditemukan pada manusia, tetapi dapat menyebabkan penyakit infeksi. *E. coli* adalah bakteri yang secara normal hidup di saluran pencernaan manusia dan hewan (Pakbin et al., 2021). Meskipun bakteri *E. coli* secara normal hidup disaluran pencernaan, tapi dapat menyebabkan infeksi saluran kemih, diare terutama pada bayi dan anak, pneumonia, meningitis pada bayi, dan infeksi luka di dalam abdomen (Riley, 2020). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa spons *Stylissa* berpotensi sebagai sumber senyawa antibakteri alami yang potensial. Sibarani (2020), menyatakan bahwa ekstrak metanol spons *Stylissa* dari perairan Sulawesi memiliki aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* dan *E. coli*. Penelitian Efendi et al., (2025) juga menemukan bahwa bakteri simbiosis dari *Stylissa massa* menghasilkan senyawa aktif yang efektif menghambat pertumbuhan bakteri patogen laut, sehingga memperkuat potensi spons sebagai kandidat antibakteri alami. Ekstrak metanol spons *Stylissa massa* dari perairan Lampung memiliki aktivitas antibakteri terhadap *E. coli*, *S. aureus*, *Vibrio* spp., *Salmonella typhi*, dan *Aeromonas hydrophila* (Susanti et al., 2023).

## 1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian tersebut sebagai berikut:

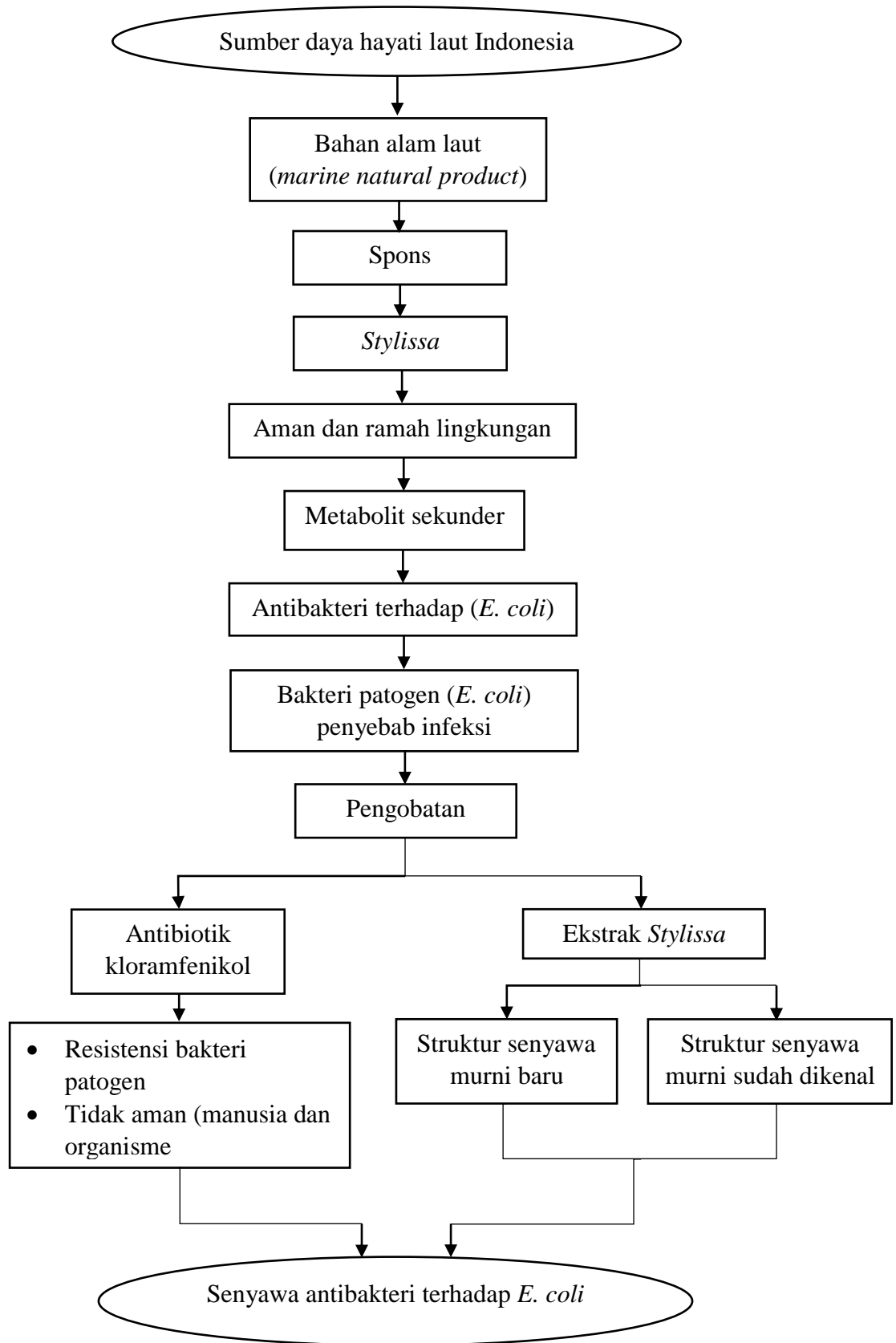
1. Membandingkan rendemen ekstrak bioaktif dari tiga pelarut berbeda
2. Membandingkan aktivitas antibakteri dari ekstrak spons dari tiga pelarut berbeda
3. Menganalisis profil senyawa bioaktif ekstrak spons sebagai antibakteri terhadap bakteri *E. coli*

### 1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat dalam pengembangan sumber daya hayati laut sebagai alternatif bahan antibakteri alami yang potensial. Uji aktivitas antibakteri spons *Stylissa* terhadap bakteri patogen dari perairan Pulau Pahawang, Lampung. Hasil penelitian dapat memperluas pengetahuan mengenai potensi bioteknologi kelautan, khususnya dalam bidang farmasi dan kesehatan. Selain itu, penelitian juga diharapkan menjadi dasar bagi eksplorasi lebih lanjut terhadap senyawa bioaktif yang terkandung dalam spons laut, yang berpotensi dikembangkan sebagai bahan dasar obat antibakteri baru. Ditinjau dari aspek lingkungan, penelitian turut mendukung upaya konservasi dan pemanfaatan berkelanjutan ekosistem laut, serta meningkatkan kesadaran akan pentingnya keanekaragaman hayati laut Indonesia sebagai sumber inovasi dalam bidang kesehatan.

### 1.4 Kerangka Pikir

Potensi sumber daya hayati laut Indonesia yang kaya akan bahan alam laut, salah satunya adalah spons *Stylissa*. Spons laut diketahui menghasilkan berbagai metabolit sekunder yang relatif aman dan ramah lingkungan serta berpotensi memiliki aktivitas biologis, termasuk sebagai antibakteri terhadap bakteri *E. coli*. Bakteri *E. coli* merupakan bakteri patogen yang dapat menyebabkan infeksi diare, yang umumnya diobati menggunakan antibiotik seperti kloramfenikol. Namun, penggunaan antibiotik tersebut dapat menimbulkan masalah seperti resistensi bakteri patogen serta potensi dampak yang kurang aman bagi manusia dan organisme lain. Oleh karena itu, penelitian mengarahkan pada pemanfaatan spons *Stylissa* sebagai sumber alternatif senyawa antibakteri melalui proses ekstraksi dan isolasi senyawa murni, yang kemudian dianalisis struktur kimianya, baik berupa struktur senyawa baru maupun senyawa yang telah dikenal. Dengan demikian, eksplorasi metabolit sekunder dari spons *Stylissa* diharapkan dapat menghasilkan senyawa antibakteri yang efektif terhadap *E. coli* sebagai alternatif dalam penanganan infeksi diare. Kerangka pikir penelitian dideskripsikan dalam bentuk yang tersajikan pada Gambar 1.

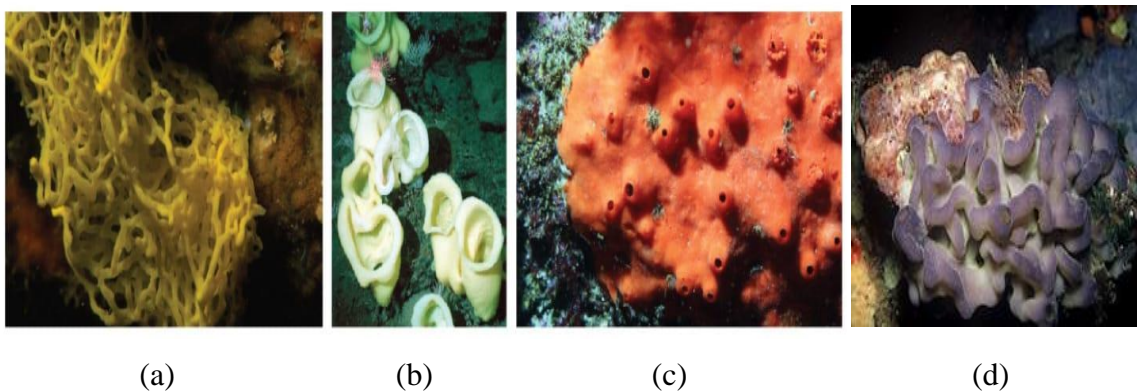


Gambar 1. Kerangka pikir

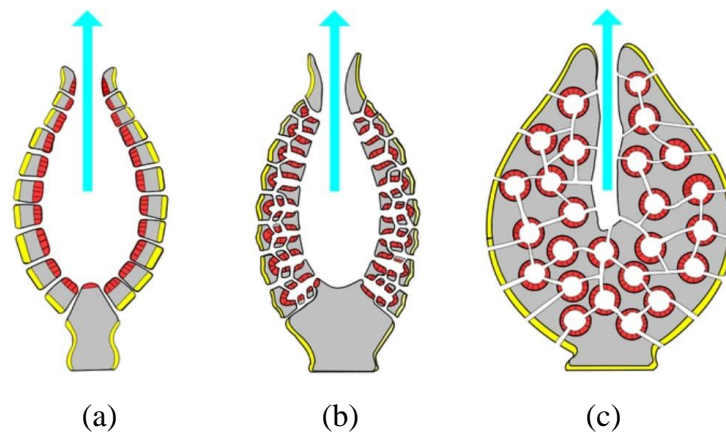
## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Spons

Spons adalah hewan avertebrata yang tergolong ke dalam filum Porifera, Porifera berasal dari bahasa Yunani yaitu poros yang berarti "pori" dan feres yang berarti "memiliki", filum Porifera dibagi menjadi empat kelas yaitu calcarea, demospongia, hexactinellida, dan homoscleromorpha (Gambar 2). Spons sebagai salah satu hewan primitif yang hidup menetap dan bersifat *filter feeder* (Malaka et al., 2021). Spons hidup menetap, menempel pada berbagai macam substrat, seperti batu-batuan, pecahan cangkang, dan karang bahkan beberapa spesies hidup di pasir dan dasar lumpur (Dunlop et al., 2020). Spons memiliki tiga tipe saluran seperti pada Gambar 3.

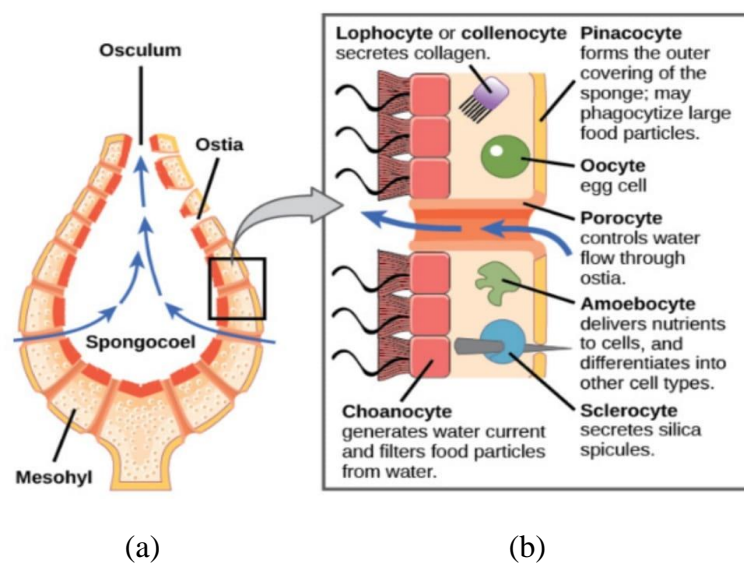


Gambar 2. Kelas pada spons (a) *Clathrina clathrus* kelas Calcarea, (b) *Staurocalyptus* sp. kelas Hexactinellida, (c) *Acarnus erithacus* kelas Demospongiae, dan (d) *Oscarella lobularis* kelas Homoscleromorpha (Sumber: Haris & Jompa, 2021; Rozanah et al., 2023)



Gambar 3. Tipe saluran air pada Porifera (a) *Asconoid*, (b) *Syconoid*, dan (c) *Leuconoid*  
(Sumber: Leys et al., 2024)

Spons memiliki bentuk pertumbuhan yang bervariasi yaitu mengerak/melapisi (*encrusting*), besar (*massive*), bulat (*globular*), bertangkai (*pedunculate*), menggali (*burrowing*), tali (*papillate*), kipas (*flabellate*), pohon bercabang (*arborescent*) dan tabung (*tubular*) (Schonberg, 2021). Ukuran spons juga beragam, mulai dari jenis berukuran sebesar kepala jarum pentul, sampai ke jenis yang ukuran garis tengah 0,9 m dan tebal 30,5 cm (Morganti et al., 2021). Bentuk morfologi spons tipe saluran *Asconoid* seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Morfologi spons, dasar tubuh spons (a) adalah bentuk silinder dengan rongga tengah yang besar, jenis sel khusus dalam spons (b) dengan fungsi yang berbeda  
(Sumber: Rozanah et al., 2023)

Klasifikasi spons jenis *Stylissa* menurut Van Soest et al., (2018) adalah sebagai berikut:

Kingdom : Animalia  
Filum : Porifera  
Kelas : Demospongiae  
Subkelas : Heteroscleromorpha  
Ordor : Scopalinida  
Famili : Scopalinidae  
Genus : *Stylissa*

Spons *Stylissa* diklasifikasikan dalam filum Porifera, kelas Demospongiae, ordo Scopalinida, dan famili Scopalinidae, berdasarkan taksonomi terbaru yang tercatat dalam *World Register of Marine Species* (WoRMS), yang diperbarui secara berkala untuk mencerminkan penelitian filogenetik terbaru (Van Soest et al., 2018). Genus *Stylissa*, yang pertama kali dideskripsikan oleh Carter pada abad ke-19, mencakup spesies yang tersebar luas di perairan tropis dan subtropis, termasuk Indo-Pasifik dan Atlantik, dengan identifikasi spesies sering kali memerlukan analisis molekuler karena variasi morfologis tinggi (Cardenas et al., 2020). Bentuk morfologi spons *Stylissa* secara umum dapat diamati pada Gambar 5.



Gambar 5. Morfologi spons *Stylissa*  
(Sumber: Caroline, 2023)

Secara morfologis, spons *Stylissa* umumnya menunjukkan bentuk *encrusting* atau *massive*, dengan permukaan yang kasar dan tekstur seperti kulit jeruk, yang memungkinkan penempelan kuat pada substrat keras seperti karang atau batuan di perairan laut dangkal (Bell et al., 2019). Tubuh spons terdiri dari matriks *gelatinous* yang mengandung spikula silika berbentuk meruncing dan tumpul, dengan panjang berkisar 100-300  $\mu\text{m}$ , memberikan kekuatan struktural dan perlindungan terhadap predator serta arus laut (Bell et al., 2019). Sistem kanal internal meliputi ostia kecil untuk masuknya air dan oscula yang lebih besar untuk keluarnya air, memfasilitasi filtrasi plankton dan partikel organik sebagai sumber nutrisi utama (Maldonado et al., 2022). Pada tingkat mikroskopis, spons memiliki koanosit berflagela yang menghasilkan arus air, serta jaringan fibrosa dari spikula yang membedakan dari famili lain dalam Halichondrida (Erpenbeck et al., 2021). Morfologi beradaptasi dengan ekosistem dinamis, di mana bentuk melebar ke samping membantu menghindari abrasi oleh gelombang (Bell et al., 2019). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa faktor lingkungan seperti kedalaman, suhu, dan polusi dapat memodifikasi morfologi *Stylissa*, mempengaruhi pertumbuhan dan reproduksi seksual melalui gemmules (Maldonado et al., 2022). Warna spons bervariasi dari coklat kekuningan hingga ungu gelap, bergantung pada pigmen dan lingkungan, dengan ukuran yang dapat mencapai diameter 20 cm untuk spesies *massive*, sedangkan *encrusting* lebih kecil dan lebih tahan terhadap gangguan fisik (Van Soest et al., 2018).

## 2.2 Metabolit Sekunder Spons

Spons diketahui menghasilkan sejumlah besar metabolit sekunder dengan aktivitas biologis yang berfungsi sebagai pertahanan tubuh dari predator dan pengaruh buruk lingkungan (Hong et al., 2022). Sesuai dengan fungsi untuk melindungi diri dari predator, banyak dari senyawa bioaktif tersebut berkhasiat sebagai antikanker (sitotoksik), antibakteri, antivirus dan antioksidan yang berpotensi untuk diteliti dan dikembangkan sebagai obat dan nutrasetikal (Santhiravel et al., 2025), Senyawa bioaktif seperti alkaloid, terpenoid, poliketida, serta peptida kompleks telah terbukti berfungsi sebagai pertahanan kimia yang efektif terhadap predator seperti ikan, penyu, dan invertebrata pemakan

spons. Metabolit bekerja dengan cara menimbulkan rasa pahit, toksisitas, iritasi, atau gangguan fisiologis yang menyebabkan predator menghindari spons tersebut (Young et al., 2022). Selain itu, beberapa spons menghasilkan senyawa yang bersifat antibakteri dan antifungi untuk mencegah kolonisasi mikroorganisme patogen, sehingga metabolit tidak hanya berfungsi sebagai pertahanan eksternal, tetapi juga sebagai perlindungan internal dalam menjaga stabilitas mikrobioma spons (Ghosh et al., 2022). Keanekaragaman metabolit yang tinggi menunjukkan bahwa spons telah berevolusi selama jutaan tahun untuk mengembangkan mekanisme pertahanan kimiawi yang sangat kompleks dan spesifik.

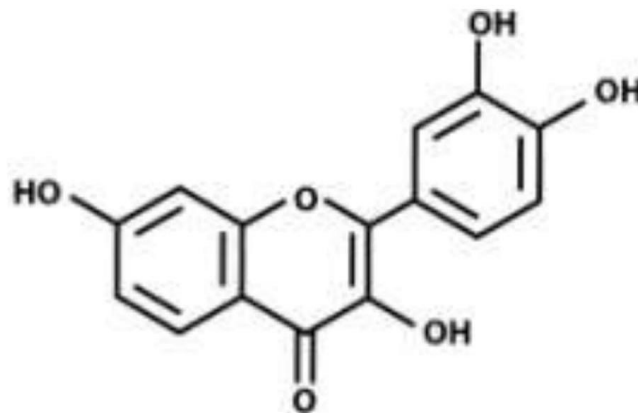
Metabolit sekunder spons juga berfungsi sebagai alat penyangkalan (*chemical deterrence*) dalam kompetisi ruang di habitat terumbu karang yang padat. Spons dapat melepaskan senyawa kimia alami yang menghambat pertumbuhan organisme pesaing seperti karang, tunikata, atau spons lainnya, sehingga memungkinkan mempertahankan area kolonisasi pada substrat keras (Tan, 2023). Selain itu, beberapa senyawa bersifat antifouling, mencegah penempelan lumut laut, teritip, dan organisme epibion lainnya yang dapat mengganggu proses filtrasi air. Metabolit sekunder juga berperan sebagai sinyal kimia dalam interaksi mutualistik antara spons dan mikroorganisme simbiosis, yang dapat mencapai 40-60% dari total biomassa spons, mikroba simbiosis juga menghasilkan metabolit kompleks yang mendukung kelangsungan hidup spons dalam kondisi lingkungan ekstrim (Tsai et al., 2023).

### **2.3 Senyawa Bioaktif Spons**

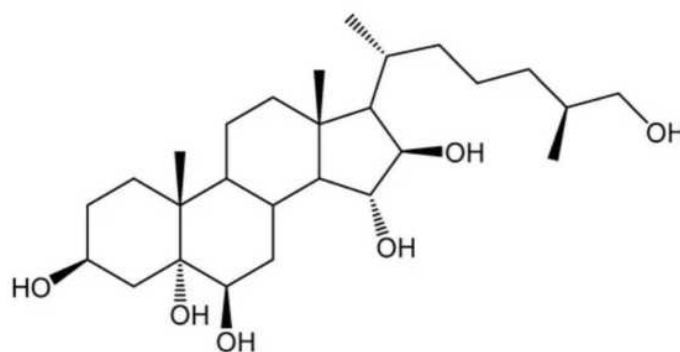
Bioaktif spons merujuk pada senyawa kimia yang dihasilkan oleh spons sebagai metabolit sekunder, yang memiliki aktivitas biologis signifikan terhadap organisme lain atau lingkungan sekitarnya. Senyawa bioaktif didefinisikan sebagai molekul organik yang dapat mempengaruhi proses fisiologis seperti pertumbuhan, reproduksi, atau pertahanan, dan umumnya memiliki potensi farmakologis tinggi (Mayer et al., 2024). Spons sebagai organisme sesil yang hidup di dasar laut menghasilkan senyawa untuk melindungi diri dari predator, kompetitor, atau infeksi mikroba, dengan mekanisme biosintesis yang melibatkan

jalur metabolik kompleks seperti poliketida dan non ribosomal peptide. Salah satu senyawa utama adalah alkaloid, yang didefinisikan sebagai senyawa nitrogen heterosiklik dengan struktur berbasis amina, seperti yang ditemukan dalam spons genus *Agelas*. Bioaktivitas spons tidak hanya terbatas pada pertahanan, tetapi juga berkontribusi pada ekosistem laut dengan menghambat pertumbuhan alga atau bakteri patogen, sehingga mempertahankan keseimbangan ekologi (De & Chatterji, 2017). Selain itu, senyawa terpenoid, yang merupakan turunan isopren, sering kali memiliki aktivitas antioksidan atau antikanker, sebagai molekul hidrokarbon yang terbentuk dari unit isoprena, seperti spons dari laut dalam. Senyawa bioaktif pada spons terdapat empat senyawa yaitu terpenoid dan steroid, alkaloid, poliketida, polipeptida, seperti pada Gambar 6, 7, 8, 9, dan 10.

a. Terpenoid dan Steroid



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

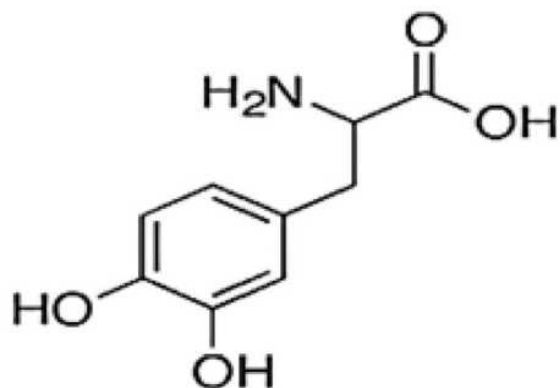


Gambar 7. Struktur kimia senyawa bioaktif kelompok steroid pada spons laut  
(Sumber: Hajdas et al., 2025)

Senyawa terpenoid dan steroid merupakan salah satu senyawa metabolit sekunder dari spons. Senyawa terpenoid termasuk dalam kelompok lipid yang banyak ditemukan di spons dengan berbagai variasi struktur. Meskipun terdapat perbedaan struktural yang tampak, semua terpenoid saling terkait. Kerangka struktur terpenoid mengandung kelipatan lima karbon unit dan diturunkan secara biosintetik dari bahan kimia lima karbon isopentenil difosfat. Pemahaman secara formal, terpenoid mengandung oksigen, sedangkan terpena merupakan hidrokarbon (Setiawan & Hendri, 2022).

Terdapat 3 jenis terpenoid dan steroid yaitu agosterol, Isomalabarican dan Disideamine. Agosterol adalah kelas senyawa sterol bioaktif yang pertama kali diisolasi dari spons laut (*Spongia* sp.). Senyawa tersebut memiliki potensi aplikasi medis, terutama dalam mengatasi resistensi multi-obat (multidrug resistance/MDR) pada berbagai jenis sel kanker manusia. (Matulja et al., 2020). Isomalabarican adalah kelas triterpena (triterpenoid) alami yang ditemukan pada spons laut, terutama dari genus *Rhabdastrella globostellata* serta beberapa spesies terkait. Senyawa-senyawa isomalabarican memiliki struktur kerangka C30 dengan inti tricyclic 6,6,5 dan koneksi cincin secara trans-syn-trans berbeda dengan isomer malabaricane yang memiliki sambungan trans-anti-trans. Sifat khas membuat isomalabaricane dianggap sebagai kelompok senyawa khas dari spons *R. globostellata*, dan banyak senyawa dari kelas tersebut menunjukkan aktivitas biologis seperti antiproliferatif terhadap sel kanker sehingga menjadi fokus penelitian bioprospek (Lai et al., 2021). Disideamine adalah sebuah seskuiterpena amino-kinon (meroterpenoid) yang diisolasi dari spons laut *Dysidea* sp. secara struktural berasal dari kerangka terpenoid yang saling terhubung dengan moiety benzoquinone/aminoquinone, sehingga diklasifikasikan sebagai turunan terpenoid (Hanif et al., 2019).

## b. Alkaloid



Gambar 8. Struktur kimia senyawa bioaktif kelompok alkaloid pada spons laut (Sumber: Luringunusa et al., 2023)

Alkaloid adalah sejenis senyawa organik yang mengandung nitrogen yang ada di alam, yang memiliki sifat seperti alkali. Alkaloid merupakan metabolit sekunder dengan aktivitas biologis yang signifikan, yang sebagian besar memiliki struktur cincin yang kompleks dan nitrogen sebagian besar terkandung dalam cincin.

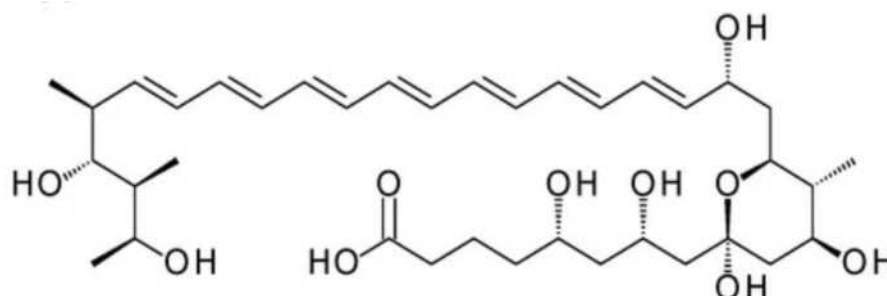
Alkaloid laut mewakili sekitar seperempat dari lebih dari 25.000 produk alami laut yang dilaporkan hingga sampai sekarang, dan sedikit lebih dari setengahnya diperoleh dari spons (Setiawan & Hendri, 2022).

Terdapat 3 jenis alkaloid yaitu cortistatin, aaptamin, dan haliclonamine.

Cortistatin adalah steroidal alkaloid langka yang pertama kali diisolasi dari spons laut *Corticium simplex*, dengan kerangka dasar mirip steroid tetapi mengandung gugus heteroatom yang membuatnya diklasifikasikan sebagai alkaloid. Senyawa tersebut memiliki aktivitas biologis sangat kuat, terutama menghambat pertumbuhan sel leukemia dan sel kanker lainnya melalui penghambatan jalur sinyal seperti CDK8-Mediator complex, serta menunjukkan potensi antiinflamasi dan imunomodulator. Aaptamine adalah alkaloid laut yang termasuk ke dalam kelas benzo[de][1,6]-naphthyridine, pertama kali diisolasi dari spons laut dari genus *Aaptos* dan dikenal sebagai senyawa alkaloid. Struktur aaptamine dan senyawa turunannya memungkinkan senyawa menunjukkan berbagai aktivitas biologis termasuk sifat antibakteri, antioksidan, dan antikanker (Tailor et al., 2024). Struktur haliclonacyclamine adalah tetracyclic alkyl-piperidine. Bersifat

haliclonyclamine A dan B telah dipelajari sebagai calon senyawa antituberkulosis, terutama untuk bakteri dalam kondisi dormansi/laten.

c. Poliketida



Gambar 9. Struktur kimia senyawa bioaktif kelompok poliketida pada spons laut  
(Sumber: Song et al, 2024)

Poliketida merupakan kelompok metabolit sekunder yang dihasilkan oleh berbagai organisme hidup termasuk spons. Kelompok senyawa tersebut mewakili kelas besar lain dari senyawa bioaktif termasuk makrolida. Senyawa poliketida yang memiliki sifat antibiotik bertindak dengan mengikat bagian 50S rRNA selama sintesis protein (Setiawan & Hendri, 2022).

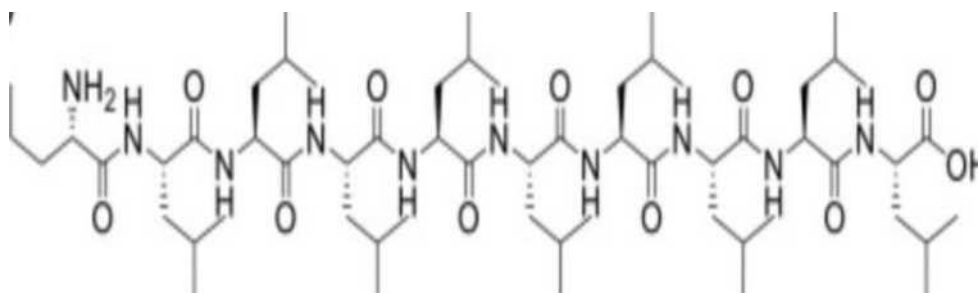
Beberapa senyawa poliketida dapat diperoleh dari spons perairan Indonesia seperti bitungolide, manadodioxan, dan biakamide. Bitungolide merupakan sekelompok senyawa natural yang termasuk ke dalam golongan poliketida dan pertama kali diisolasi dari spons laut *Theonella cf. swinhoei* yang dikumpulkan di Indonesia. Bitungolides (A-F) memiliki kerangka kimia khas hasil poliketida kompleks, dan dikenal sebagai metabolit spesialis, laut yang menunjukkan aktivitas biologis misalnya kemampuan menghambat enzim fosfatase ganda-spesifitas (dual-specificity phosphatase VHR), menjadikan kandidat menarik dalam studi bioaktif laut (Bhamboo et al., 2021).

Manadodioxan adalah sekelompok poliketida endoperoksida yang diisolasi dari spons laut genus *Plakortis* molekul-molekul mengandung cincin 1,2-dioxane (endoperoksida) yang menandai kelas struktural dan menempatkannya di antara poliketida peroksida laut yang sering menunjukkan bioaktivitas. Beberapa

senyawa kimia termasuk manadodioxan E memiliki aktivitas antimikroba terhadap *E. coli* (Gushiken et al., 2015).

Biakamide adalah sekelompok poliketida alam yang diisolasi dari spons laut *Petrosaspongia*, dengan struktur kimia unik yang mencakup cincin thiazole terminal, dua gugus N-metil amida, sebuah gugus klorometilena, dan rantai butyryl tersubstitusi kombinasi yang menjadikannya berbeda dari poliketida klasik. Biakamide menarik sebagai kandidat potensial dalam penelitian antikanker, terutama terkait dengan kelangsungan hidup sel di lingkungan mikro tumor (Kotoku et al., 2017).

#### d. Polipeptida



Gambar 10. Struktur kimia senyawa bioaktif kelompok polipeptida pada spons laut  
(Sumber: Gohil et al., 2017)

Senyawa polipeptida merupakan senyawa bioaktif alami yang dapat ditemukan pada berbagai jenis biota laut. Senyawa peptida yang berasal dari sumber biota laut memiliki potensi nutrasetikal yang tinggi dan nilai obat yang menarik perhatian industri farmasi (Setiawan & Hendri, 2022).

Barangamide adalah keluarga peptida siklik (*cyclic peptide*) yang pertama kali diisolasi dari spons laut *Theonella swinhoei* spesimen dikumpulkan di Pulau Baranglombo, Indonesia sehingga nama barangamide merujuk pada lokasi asal isolasi (Gogineni & Hamann, 2018). Kendariamide adalah sebuah peptida linear natural yang diisolasi dari spons laut *Haliclona* sp. yang dikumpulkan di perairan Indonesia, secara struktural mengandung residu-residu N-metilasi yang tidak biasa dan dua sistein N-metil yang membentuk cincin disulfida delapan anggota

pada bagian terminal, fitur yang berkontribusi pada kestabilan konformasi molekulnya (Zhu et al., 2019). Stylissamide X merupakan peptida siklik yang tinggi akan residu prolin (*proline-rich cyclic octapeptide*) yang diisolasi dari spons laut *Stylissa* sp. yang dikumpulkan di perairan Indonesia, secara struktural terdiri dari delapan residu asam amino termasuk beberapa residu prolin yang mengarahkan konformasi molekul dan memberikan sifat kaku khas pada cincin peptida, dan struktur lengkap ditentukan melalui analisis spektroskopi NMR serta penentuan konfigurasi asam amino menggunakan metode Marfey (Dahiya et al., 2016).

Spons laut diketahui menghasilkan berbagai metabolit sekunder yang memiliki aktivitas biologis penting. Beberapa senyawa bioaktif yang telah dilaporkan dari spons beserta golongan dan aktivitasnya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan pada golongan aktivitas terhadap senyawa bioaktif spons

No.	Senyawa	Golongan	Aktivitas (anti-)	Sumber
1.	Agosterol	Steroid	MDR-modulator (mengatasi resistensi obat)	(Stanojkovic & Milovic, 2020)
2.	Isomarabarian	Triterpenoid	Antiproliferatif / antikanker	(Lai et al., 2021)
3.	Desideamine	(alkaloid / derivat nitrogen)	Sitotoksik / antimikroba	(Hong et al., 2022)
4.	Cortistatin	Steroid alkaloid	Anti-angiogenesis, antikanker	(Tammam, 2025)
5.	Aaptamin	Alkaloid	Antibakteri, antioksidan, antikanker (potensial)	(Tailor et al., 2024)
6.	Haliclonamine	Alkaloid	Antimikrobakteri, sitotoksik	(Gunathilake et al., 2020)
7.	Bitungolide	Poliketida	Enzim-inhibitor / aktivitas biologis antitumor	(Tapilatu, 2015)
8.	Manadodioxan	Poliketida endoperoksida	Antimikroba (aktivitas terhadap <i>E. coli</i> )	(Gushiken et al., 2015)
9.	Biakamide	Poliketida	Antitumor	(Ishida et al., 2019)
10.	Barangamide	Polipeptida	Sitotoksik / antibakteri	(Haedar et al., 2022)
11.	Kendariamide	Peptida/alkaloid	MDR-modulator / antikanker	(Murniasih et al., 2018)
12.	Stylissamide X	Siklik peptida	Menghambat migrasi sel (anti-migrasi)	(Huang et al., 2015)

Senyawa bioaktif spesifik dari spons mencakup berbagai nama dengan struktur kimia unik dan fungsi biologis yang beragam. Contoh seperti halichondrin B, sebuah makrolida poliketida yang diisolasi dari spons *Halichondria okadai*, didefinisikan sebagai senyawa dengan rantai karbon panjang yang menghambat pembelahan sel melalui interaksi dengan mikrotubulus, menjadikan agen antimitotik potensial (Putri, 2021). Menurut Ovchinnikova (2022), bahwa senyawa lain seperti discodermolide dari spons *Discodermia dissoluta* adalah makrolida dengan aktivitas sitotoksik, yang sebagai inhibitor mitosis dengan keterkaitan tinggi terhadap protein globular, mirip dengan taxol namun dengan profil toksisitas yang berbeda.

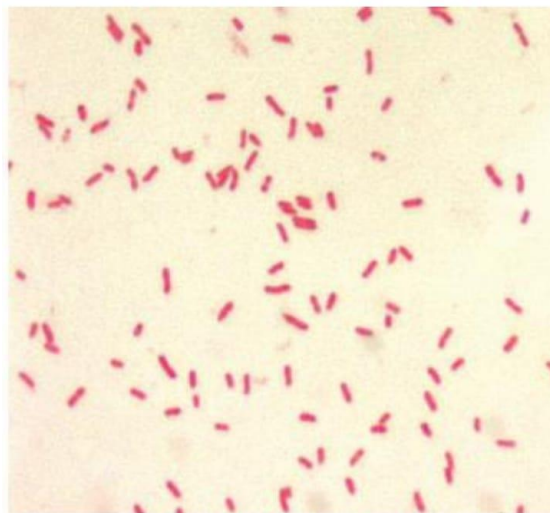
Spons *Stylissa* dikenal memiliki beragam senyawa bioaktif, khususnya alkaloid pirrolokuinolin seperti discorhabdin, yang memiliki potensi sebagai agen antikanker dan antimikroba, dengan aktivitas sitotoksik yang telah diverifikasi melalui uji *in vitro* terhadap sel kanker (Carroll et al., 2020). Selain alkaloid, *Stylissa* mengandung terpenoid dan steroid seperti variabelin dan stylissadines, yang memiliki sifat antioksidan, anti inflamasi, dan antiviral, dengan potensi aplikasi dalam farmakologi modern (Blunt et al., 2018). Kandungan senyawa tersebut dipengaruhi oleh simbiosis dengan mikroorganisme endosimbion, di mana bakteri menghasilkan sebagian alkaloid melalui biosintesis, seperti yang ditunjukkan dalam studi metagenomik (Carroll et al., 2020).

#### **2.4 Penyakit Infeksi**

Penyakit infeksi menjadi salah satu penyakit yang sering terjadi di kalangan masyarakat. Salah satu jenis obat yang sering digunakan adalah antimikroba antara lain antijamur, antibakteri/antibiotik, antiprotozoa dan antivirus. Antibakteri/antibiotik adalah zat yang dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Antibiotik yang sensitif terhadap mikroorganisme dapat menjadi tidak sensitif disebut resistensi antibiotik (Rompas et al., 2023). Adanya permasalahan resistensi antibiotik terhadap beberapa bakteri, sehingga kebutuhan untuk mendapatkan alternatif antibiotik lain semakin meningkat. Oleh

sebab itu, pada masa kini sangat diperlukan penemuan antibiotik baru yang dapat mengatasi permasalahan tersebut (Utomo et al., 2018).

Genus *Escherichia* adalah anggota famili Enterobacteriaceae dan *E. coli* adalah organisme aerob paling umum yang berada pada usus manusia dan hewan mamalia (Senderet al., 2016). Kebanyakan strain *E. coli* adalah komensal yang mendiami usus dan kemungkinan berperan penting dalam memelihara fisiologis usus. Meskipun demikian, beberapa jalur *E. coli* adalah patogen dan dapat menimbulkan penyakit diare (Nuevalos et al., 2023). *E. coli* adalah bakteri Gram negatif berwujud batang, memiliki flagela peritrikus, bersifat anaerob fakultatif, tidak berspora dan dapat mengekskresikan beberapa asam organik seperti asam formiat (Guy & Jackson, 2016). *E. coli* memiliki hemin (sitokrom dan katalase) sehingga mampu memperoleh energi baik secara aerob maupun anaerob.



Gambar 11. Bakteri *Escherichia coli*  
(Sumber: Romadhon, 2016)

Bakteri tersebut berukuran panjang 2,0 - 6,0  $\mu\text{m}$  dan lebar 1,1 - 1,5  $\mu\text{m}$  serta tunggal atau berpasangan (Gambar 11). Nilai pH optimum untuk pertumbuhannya adalah 7,0 - 7,5 serta kisaran suhu pertumbuhannya 10 - 40°C, dengan suhu optimum 37°C (mesofil), dan aktivitas air optimum 0,96. *E. coli* hidup di perairan, tanah, makanan, air seni dan tinja manusia (Olanrewaju et al., 2024). Dalam

media cair, pertumbuhannya berupa supernatan yang jernih dengan endapan yang tidak dapat larut kembali melalui pengadukan. Pertumbuhan bakteri dalam media padat ditunjukkan dengan adanya koloni bundar, berwarna putih dan halus. Bakteri merupakan penghuni normal di dalam usus bagian bawah manusia dan mamalia, termasuk burung, yang pada keadaan tertentu dapat bersifat patogen, tetapi selama tidak memiliki elemen genetik sebagai faktor virulensi, bakteri tersebut bersifat komensal (Stegger et al., 2020).

## **2.5 Aktivitas Antibakteri**

Pengujian aktivitas antibakteri merupakan teknik yang digunakan untuk mengevaluasi potensi suatu senyawa dalam memberikan efek terhadap mikroorganisme, umumnya melalui pengukuran zona hambat, nilai konsentrasi hambat minimum, atau konsentrasi bunuh minimum. Berdasarkan konsep toksisitas selektif, respons bakteri terhadap suatu senyawa antibakteri dapat berupa bakteristatik, yaitu kemampuan senyawa untuk menghambat pertumbuhan dan perkembangan bakteri, serta bakterisida, yaitu kemampuan senyawa untuk membunuh sel bakteri secara langsung (Jayanetti et al., 2024).

Antibakteri adalah senyawa yang digunakan untuk mengendalikan pertumbuhan bakteri yang bersifat merugikan. Pengendalian pertumbuhan mikroorganisme bertujuan untuk mencegah penyebaran penyakit dan infeksi, memusnahkan mikroorganisme pada inang yang terinfeksi, dan mencegah pembusukan serta kerusakan bahan oleh mikroorganisme. Antimikrobia meliputi golongan antibakteri, antimikotik, dan antiviral (Ferdinan & Prasetya, 2018). Mekanisme penghambatan terhadap pertumbuhan bakteri oleh senyawa antibakteri dapat berupa kerusakan dinding sel dengan cara menghambat pembentukan atau mengubah setelah selesai terbentuk, perubahan permeabilitas membran sitoplasma sehingga menyebabkan keluarnya bahan makanan dari dalam sel, perubahan molekul protein dan asam nukleat, penghambatan kerja enzim, dan penghambatan sintesis asam nukleat dan protein (Wei et al., 2023). Di bidang farmasi, bahan antibakteri dikenal dengan nama antibiotik, yaitu suatu substansi kimia yang dihasilkan oleh mikroba dan dapat menghambat pertumbuhan mikroba lain.

Uji aktivitas antibakteri dengan metode *disk diffusion* (tes Kirby-Bauer) merupakan salah satu metode paling banyak digunakan untuk mengevaluasi potensi agen antibakteri, baik senyawa kimia maupun ekstrak alami (Bhagaskara et al., 2023). Pada prosedur, kertas cakram yang telah mengandung senyawa uji diletakkan di atas permukaan media agar yang telah diinokulasi secara merata dengan suspensi bakteri uji. Selama inkubasi, senyawa antibakteri akan berdifusi dari cakram ke media agar, menciptakan gradien konsentrasi yang menurun dari dekat cakram ke arah luar agar. Zona bening (zona hambat) akan terbentuk di sekitar cakram jika senyawa tersebut efektif terhadap bakteri, di mana bakteri gagal tumbuh. Ukuran diameter zona yang menjadi indikator daya hambat atau kepekaan bakteri terhadap agen antibakteri tersebut. Semakin besar zona hambat, biasanya menunjukkan bahwa senyawa tersebut lebih efektif terhadap bakteri uji (Ivinkovic et al., 2023).

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

*Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) merupakan metode analitik yang menggabungkan dua teknik, fase pemisahan menggunakan kromatografi gas (GC) dan deteksi/analisa melalui spektrometri massa (MS). Fase GC berguna untuk memisahkan senyawa organik volatil dalam campuran sehingga memungkinkan penentuan jumlah relatif senyawa berdasarkan waktu retensi (kuantitatif) (Putra et al., 2024). Setelah pemisahan, kekuatan dari kolom dialirkan langsung ke ruang ionisasi MS, di mana senyawa terionisasi dan terfragmentasi. Hasil ionisasi dianalisis oleh *mass analyzer* berdasarkan rasio massa terhadap muatan ( $m/z$ ), memungkinkan penentuan struktur molekul senyawa (kualitatif) serta kuantifikasi berdasarkan intensitas ion (Margareta et al., 2023). Dengan demikian, GC-MS sangat cocok untuk analisis senyawa organik dalam ekstrak bahan alam, karena memungkinkan identifikasi dan kuantifikasi komponen meskipun dalam konsentrasi rendah.

Prinsip kerja alat GC-MS menggabungkan dua tahap utama, pertama *Gas Chromatography* (GC) memisahkan campuran menjadi komponen-komponen volatil yang berbeda berdasarkan interaksi masing-masing komponen dengan fase

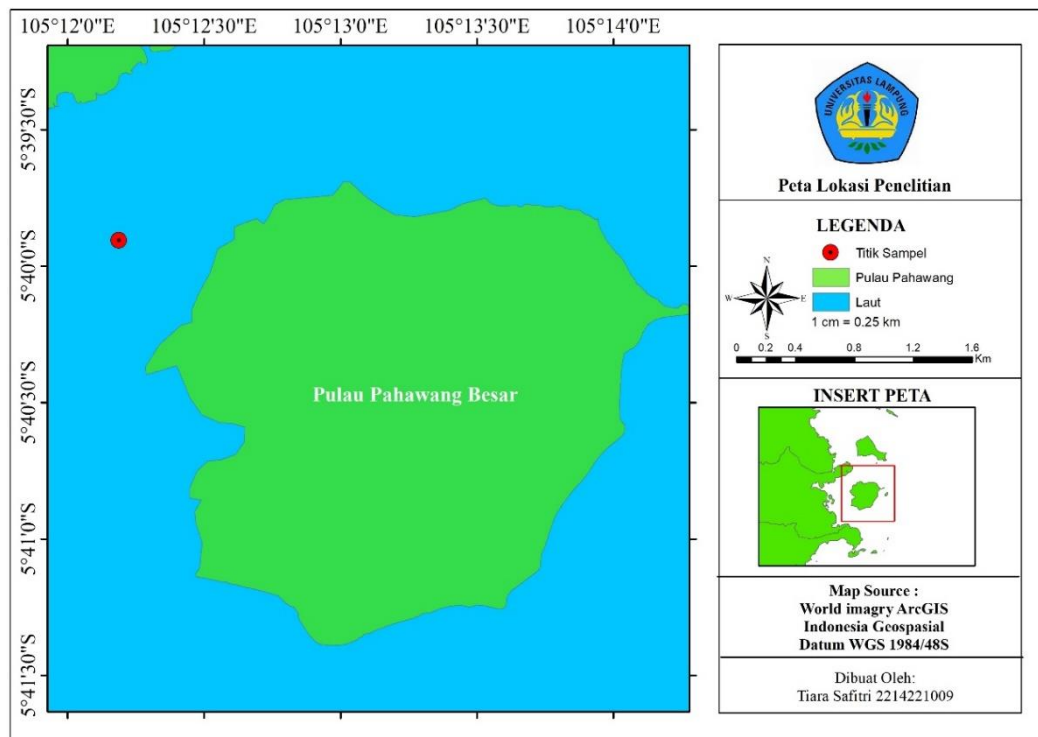
diam kolom dan waktu retensi. Kedua, setiap puncak hasil pemisahan dari kolom diarahkan ke *Mass Spectrometer* (MS) di mana senyawa tersebut diionisasi, terfragmentasi, dan kemudian dianalisis menurut rasio massa ke muatan ( $m/z$ ) untuk identifikasi dan kuantifikasi (Tsikas, 2024). Proses pemisahan oleh GC memastikan bahwa ke dalam MS masuk komponen-komponen yang relatif murni (satu per satu menurut waktu retensi), berikutnya MS memberikan spektrum massa khas yang memungkinkan identifikasi struktur dan pencocokan dengan spektra referensi (Piechocka et al., 2020).

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, sebagai contoh analisator berbasis medan magnet. Pada jenis *mass analyzer*, ion mengalami pembelokan dalam medan magnet yang besar berubah sesuai rasio massa/muatan sehingga setiap ion akan mengikuti lintasan berbeda menurut karakteristik fisiknya (Mondello et al., 2025). Variasi lintasan tersebut menghasilkan intensitas arus ion pada detektor yang sebanding dengan kelimpahan relatif ion (Tsikas, 2024). Sinyal arus ion kemudian direkam dan diterjemahkan menjadi spektra massa, yang menggambarkan hubungan antara kelimpahan relatif setiap ion dengan nilai rasio massa/muatan ( $m/z$ ), sehingga dapat mengidentifikasi struktur molekul dan fragmentasi (Manmana et al., 2021).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli-Oktober 2025 yang berlokasi pengambilan sampel di perairan Pulau Pahawang, Kecamatan Punduh Pidada, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung (Gambar 12). Proses pengujian aktivitas antibakteri 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 12. Peta pengambilan sampel spons

### 3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3 sebagai berikut:

Tabel 2. Alat, spesifikasi, dan kegunaannya selama penelitian

No.	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.

Tabel 2. Alat, spesifikasi, dan kegunaannya selama penelitian (lanjutan)

No.	Alat penelitian	Spesifikasi	Kegunaan
24.	<i>Hotplate with magnetic stirrer</i>	Pengatur suhu dan pengaduk magnetik	Pembuatan media.
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	Sebagai wadah ekstrak uji.
34.	Inkubator	Suhu 37°C	Sebagai 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.	Katembat	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. Bahan, spesifikasi, dan kegunaannya selama penelitian

No.	Bahan penelitian	Spesifikasi	Kegunaan
1.	Spons	<i>Stylissa</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 untuk ekstraksi.
6.	Etil asetat	Grade teknis	Pelarut untuk ekstraksi.
7.	n-hexana	Grade teknis	Pelarut untuk ekstraksi.

Tabel 3. Bahan, spesifikasi, dan kegunaannya selama 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 Prosedur Penelitian

#### 3.3.1 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel spons dilakukan di perairan Pulau Pahawang, Kecamatan Punduh Pidada, Kabupaten Pesawaran, Lampung. Pengambilan spons dilakukan melalui penyelaman menggunakan *SCUBA diving*. Selama proses pengambilan sampel spons dilakukan secara hati-hati, dengan menggunakan pisau selam untuk memotong sebagian jaringan spons tanpa merusak substrat. Spons yang telah diambil kemudian didokumentasi setelah itu diidentifikasi melalui morfologi luar berupa bentuk, ukuran dan warna. Kemudian sampel spons dimasukkan ke dalam kantung sampel dan diletakkan ke dalam *cool box*.

#### 3.3.2 Identifikasi Spons

Spons yang telah diambil langsung dari perairan Pulau Pahawang, kemudian didokumentasikan setelah itu dicocokkan dengan buku identifikasi spons melalui 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

Sampel spons yang masih dalam kondisi segar disimpan di dalam *cool box*. Selanjutnya, spons dibersihkan menggunakan air mengalir untuk menghilangkan substrat atau kotoran yang masih menempel. Spons yang telah bersih kemudian dipotong menjadi bagian-bagian kecil dengan ukuran sekitar  $\pm 1$  cm untuk meningkatkan luas permukaan kontak antara jaringan spons dan pelarut. Setelah itu, sampel ditimbang sebanyak 50 g.

### 3.3.4 Ekstraksi

Spons yang telah ditimbang sebanyak 50 g dimasukkan ke dalam wadah kaca untuk dimaserasi menggunakan tiga pelarut (metanol, etil asetat dan n-hexana) dengan perbandingan 1:2 selama 7 hari, durasi ekstraksi yang cukup panjang memungkinkan tercapai kesetimbangan antara pelarut dan matriks spons, sehingga difusi senyawa aktif ke dalam pelarut menjadi lebih efisien (Narulita, 2018). Proses maserasi dilakukan dengan pengulangan sebanyak dua kali. Pada proses maserasi, setelah 7 hari maserasi disaring menggunakan kertas saring dan ditampung wadah kaca. Maserasi yang sudah disaring di setiap pengulangan dikumpulkan dalam satu wadah. Filtrat hasil maserasi yang telah terkumpul kemudian dipekatkan menggunakan *rotary vacuum evaporator* pada tekanan vakum 80-100 mbar (*adjusted*) dan suhu 45°C untuk menguapkan pelarut sehingga diperoleh sisa komponen ekstrak (Woran et al., 2021). Ekstrak hasil evaporasi selanjutnya dimasukkan ke dalam botol vial dan ditimbang untuk menentukan persentase rendemen dari masing-masing pelarut. Berat ekstrak yang diperoleh dihitung dengan mengurangi berat botol vial kosong dari berat total botol yang berisi ekstrak.

### 3.3.5 Sterilisasi Alat

Seluruh alat dan bahan yang digunakan harus disterilisasi terlebih dahulu. Metode sterilisasi yang digunakan terdiri atas dua jenis, yaitu sterilisasi basah dan sterilisasi menggunakan bahan kimia berupa alkohol 70%. Peralatan laboratorium seperti cawan petri, tabung reaksi, dan erlenmeyer disterilisasi secara basah menggunakan autoklaf. Autoklaf berfungsi untuk mensterilkan berbagai alat dan bahan mikrobiologi dengan memanfaatkan uap air panas bertekanan. Proses sterilisasi umumnya dilakukan pada suhu 121°C (250°F). Selain itu, bahan seperti kertas cakram dan media *Tryptic Soy Agar* (TSA) juga disterilisasi secara basah menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit (Ode et al., 2020).

### 3.3.6 Pembuatan Larutan Kontrol Positif

Kloramfenikol dengan konsentrasi 0,05% digunakan sebagai kontrol positif dalam penelitian. Tablet kloramfenikol dengan dosis 250 mg terlebih dahulu digerus hingga menjadi serbuk, kemudian ditimbang sebanyak 10 mg dan dilarutkan dalam 10 ml pelarut Dimetil Sulfoksida (DMSO) sehingga diperoleh larutan stok dengan konsentrasi 1000 ppm. Selanjutnya, larutan stok diencerkan dengan mengambil 0,1 ml larutan dan menambahkannya ke dalam 9,9 ml aquades steril sehingga diperoleh larutan dengan konsentrasi 10 ppm. Larutan tersebut kemudian diambil sebanyak 1 ml dan diencerkan kembali dengan 9 ml aquades steril untuk memperoleh larutan dengan konsentrasi 1 ppm. Supaya mendapatkan konsentrasi akhir 0,05%, sebanyak 0,5 ml larutan 1 ppm diencerkan dengan 9,5 ml aquades steril. Larutan kloramfenikol dengan konsentrasi 0,05% yang diperoleh kemudian digunakan untuk perendaman kertas cakram steril (Rohana et al., 2023).

### 3.3.7 Perendaman Kertas Cakram

Kertas cakram dengan diameter 6 mm yang digunakan pada uji aktivitas antibakteri dimasukkan ke dalam masing-masing cawan petri yang telah diberi label sesuai dengan jenis kontrol, yaitu aquades steril sebagai kontrol negatif, kloramfenikol 0,05% sebagai kontrol positif, serta ekstrak hasil evaporasi sampel

spons yang diperoleh menggunakan tiga jenis pelarut berbeda, yaitu metanol, etil asetat, dan n-hexana.

### **3.3.8 Pembuatan Media**

Sebanyak 12 g media TSA ditimbang dan dilarutkan dalam 300 ml akuades yang dimasukkan ke dalam erlenmeyer, kemudian dipanaskan menggunakan *hotplate with magnetic stirrer* hingga homogen (Arfiandi & Tumbol, 2020). Selanjutnya, media disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit. Setelah proses sterilisasi, media didinginkan hingga mencapai suhu sekitar 45°C, kemudian dituangkan ke dalam cawan petri steril dan seluruh bagian sisi cawan direkatkan menggunakan plastik pembungkus. Media kemudian dibiarkan hingga mengeras pada suhu ruang dan selanjutnya diinkubasi selama 24 jam dalam inkubator pada suhu 37°C.

### **3.3.9 Peremajaan Bakteri**

Proses peremajaan bakteri dilakukan satu hari sebelum pelaksanaan uji aktivitas antibakteri. Bakteri yang diremajakan adalah bakteri patogen *E. coli*. Tabung reaksi yang berisi media TSA terlebih dahulu dimiringkan hingga membentuk media agar miring. Selanjutnya, bakteri diambil menggunakan jarum ose steril dan diinokulasikan dengan cara digoreskan secara zig-zag pada permukaan agar miring, kemudian diinkubasi selama 24 jam dalam inkubator pada suhu 37°C (Hainil et al., 2020).

### **3.3.10 Pembuatan Suspensi**

Larutan NaCl fisiologis 0,9% dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Selanjutnya, bakteri yang telah diremajakan diambil menggunakan jarum ose steril dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 5 ml larutan NaCl fisiologis, kemudian dihomogenkan menggunakan vortex. Menurut Pajan et al. (2016), suspensi bakteri yang telah homogen selanjutnya dibandingkan tingkat kekeruhannya menggunakan *Wickerham card* hingga sesuai dengan standar kekeruhan McFarland 0,5. Suspensi bakteri tersebut kemudian dipindahkan ke

media TSA menggunakan mikropipet dan diratakan pada permukaan media dengan bantuan katembat secara zig-zag hingga merata di seluruh permukaan media.

### **3.3.11 Peletakan Kertas Cakram**

Plastik pembungkus pada cawan petri berisi media dan bakteri dibuka. Kertas cakram yang telah direndam selama 24 jam ditiriskan dengan cara memiringkan agar tidak mengandung cairan berlebih. Pinset steril dipanaskan di atas bunsen selama beberapa detik kemudian didinginkan sebelum digunakan. Kertas cakram dipindahkan ke permukaan media uji menggunakan pinset steril. Bagian tepi cawan petri dipanaskan secara singkat di atas bunsen, kemudian cawan petri ditutup kembali dan dibungkus menggunakan kertas. Media diinkubasi selama 24 jam di dalam inkubator pada suhu 37°C.

### **3.3.12 Uji Zona Hambat**

Pengamatan terhadap cawan petri dilakukan setelah inkubasi selama 24 jam untuk mengetahui zona hambat berupa daerah bening tanpa pertumbuhan bakteri di sekitar kertas cakram menggunakan jangka sorong. Pengukuran dilakukan pada bagian bawah cawan petri sehingga daerah hambatan yang transparan di sekitar kertas cakram dapat terlihat dengan jelas. Rahang tetap dan rahang geser pada jangka sorong ditempatkan secara rapat melewati pusat cakram pada permukaan media, kemudian diameter zona hambat diukur dari satu tepi bening hingga tepi bening yang berlawanan. Pengamatan dilakukan dengan membaca skala utama dan skala nonius pada jangka sorong untuk menentukan besar diameter zona hambat (Wahyu & Masnawati, 2015).

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

Sebanyak 3,63 g ekstrak hasil evaporasi spons disiapkan dan dilarutkan kembali dalam akuades sebanyak 100 ml hingga homogen. Larutan ekstrak dimasukkan ke dalam corong pisah, kemudian ditambahkan pelarut untuk proses fraksinasi berupa 100 ml etil asetat. Campuran tersebut dihomogenkan secara perlahan

dengan sekali membuka penutup corong untuk melepaskan tekanan. Campuran kemudian dibiarkan hingga terbentuk dua lapisan, yaitu lapisan atas berupa pelarut organik dan lapisan bawah berupa fase air. Kedua lapisan dipisahkan melalui keran corong pisah, dan proses fraksinasi diulangi sebanyak 2-3 kali untuk memperoleh hasil yang optimal. Seluruh fraksi pelarut organik kemudian digabungkan dan diuapkan menggunakan *rotary vacuum evaporator*. Hasil fraksi yang diperoleh dimasukkan ke dalam botol vial dan disimpan untuk tahap analisis selanjutnya (Woran et al., 2021).

Analisis dilakukan menggunakan 6890N Network GC System (*Agilent Technologies*). Proses *Gas Chromatography* (GC) diawali dengan penggunaan fase gerak berupa gas pembawa yang dialirkan melalui sistem dengan kecepatan alir 0,7 ml/menit yang diatur menggunakan *flow controller*. Sampel dimasukkan ke dalam alat melalui sempel injektor pada suhu 280°C menggunakan suntikan sebanyak 2 ml. Sampel yang diinjeksikan akan terbawa menuju kolom yang berfungsi sebagai fase diam dan berada di dalam *column oven* dengan suhu awal 180°C selama 5 menit, kemudian suhu meningkat hingga 280°C. Suhu tersebut diatur lebih tinggi dari titik didih sampel sehingga komponen sampel berubah dari fase cair menjadi fase gas (Indriani et al., 2023). Selama melewati kolom, komponen dalam sampel terpisah berdasarkan interaksi dengan fase diam serta perbedaan volatilitas. Senyawa yang keluar dari kolom kemudian dideteksi oleh *detector* pada suhu 290°C yang mengubah sinyal kimia menjadi sinyal listrik. Sinyal tersebut direkam oleh *recorder* dalam bentuk data kromatogram GC berupa waktu retensi dan persentase area setiap senyawa, dengan kecepatan pemindaian 2.000 amu/detik, rentang pemindaian 30-600 amu, serta voltase EV sebesar 3.000 volt (Nusaibah et al., 2016).

### **3.4 Analisis Data**

#### **3.4.1 Analisis Rendemen**

Rendemen menunjukkan seberapa efisien proses ekstraksi dan jumlah senyawa aktif dalam bahan baku. Rendemen yang tinggi mengindikasikan bahwa pelarut dan metode yang diterapkan dapat mengekstrak senyawa dalam jumlah yang

maksimal. Sebaliknya, rendahnya rendemen dapat menjadi indikasi peningkatan pada metode atau pelarut yang digunakan (Maukar et al., 2022). Menghitung nilai persen rendemen untuk mengetahui tingkat kekuatan ekstraksi zat aktif dari pelarut dengan menggunakan rumus yang ditetapkan oleh Lanes et al., (2023):

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

**Keterangan:**

- A = Berat ekstrak yang diperoleh setelah proses ekstraksi selesai (g).
- B = Berat sampel awal yang digunakan dalam proses ekstraksi (g).
- 100% = Hasil perhitungan dikalikan 100% untuk menyatakan rendemen dalam bentuk persentase.

### 3.4.2 Analisis Zona Hambat

Aktivitas antibakteri dianalisis menggunakan metode difusi cakram dengan mengukur 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 diameter zona hambat yang lebih besar menunjukkan potensi antibakteri yang lebih tinggi (Humphries et al., 2021).

Diameter rata-rata digunakan untuk menentukan sifat dari desinfektan/antiseptik/antimikroba. Nurama (2021) menuliskan bahwa Kriteria kekuatan antibakteri 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 GC-MS

Sampel yang telah dianalisis menggunakan GC-MS diproses dengan mengintegrasikan setiap puncak pada kromatogram untuk memperoleh nilai area dan intensitas. *Gas Chromatography* (GC) memisahkan komponen berdasarkan waktu retensi (Rt), sedangkan *Mass Spectrometry* (MS) mengidentifikasi struktur

molekul melalui spektrum massa ( $m/z$ ). Data dianalisis menggunakan kromatogram kuantitatif (persentase area) dan spektrum massa untuk identifikasi kualitatif berdasarkan pustaka *library* (Fasina et al., 2025).

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Nilai rendemen ekstrak spons *Stylissa* tertinggi diperoleh dari pelarut etil asetat dibandingkan metanol serta n-heksana, karena sebagian besar senyawa bioaktif memiliki struktur kompleks dengan tingkat kepolaran tidak sepenuhnya polar maupun non polar, melainkan berada pada kisaran semi polar.
2. Aktivitas antibakteri ekstrak spons *Stylissa* terhadap *E. coli* dengan pelarut etil asetat lebih tinggi dibandingkan metanol maupun n-heksana, karena kemampuannya mengekstraksi senyawa dengan rentang kepolaran luas, dari polar hingga non polar.
3. Hasil GC-MS terhadap fraksi spons *Stylissa* menunjukkan 36 puncak senyawa yang didominasi oleh golongan hidrokarbon, keton dan alkohol, asam lemak dan ester, amida dan amina, serta steroid dan triterpenoid.

### 5.2 Saran

Penelitian selanjutnya perlu dilakukan dengan variasi konsentrasi ekstrak *Stylissa* yang lebih beragam serta metode tambahan seperti penentuan Kadar Hambat Minimum (KHM) dan Kadar Bunuh Minimum (KBM) untuk memperoleh data yang lebih komprehensif. Isolasi dan pemurnian senyawa aktif hasil analisis GC-MS juga diperlukan untuk mengetahui senyawa yang berperan dalam aktivitas antibakteri terhadap *Escherichia coli*. Selain itu, pengujian pada bakteri patogen lain dan uji toksisitas awal penting dilakukan untuk mendukung pengembangan *Stylissa* sebagai sumber antibakteri alami.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdelhameed, R. F., Habib, E. S., Eltahawy, N. A., Hassanean, H. A., Ibrahim, A. K., Mohammed, A. F., Fajey, F., Hayallah, A. M., Yamada, K., Behery, F. A., Al-Sanea, M. M., Alzarea, S. I., Bringmann, G., Ahmed, S. A., & Abdelmohsen, U. R. (2020). New cytotoxic natural products from the Red Sea sponge *Stylissa carteri*. *Marine drugs*, 18(5), 240-241. <https://doi.org/10.3390/md18050241>
- Abers, M., Schroeder, S., Goelz, L., Sulser, A., St. Rose, T., Puchalski, K., & Langland, J. (2021). Antimicrobial activity of the volatile substances from essential oils. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 21(1), 123-124. <https://doi.org/10.1186/s12906-021-03285-3>
- Alibi, S., Crespo, D., & Navas, J. (2021). Plant-derivatives small molecules with antibacterial activity. *Antibiotics*, 10(3), 231. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10030231>
- Alvares, D. S., Monti, M. R., Ruggiero Neto, J., & Wilke, N. (2021). The antimicrobial peptide polybia-MP1 differentiates membranes with the hopanoid, diplopterol from those with cholesterol. *BBA Advances*, 1(1), 100002. <https://doi.org/10.1016/j.bbadv.2021.100002>
- Ameen, F., ALNadhari, S., & Al-Homaidan, A. (2020). Marine microorganisms as an untapped source of bioactive compounds. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(1), 224-231. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.09.052>
- 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. *E-Journal UNSRAT*, 8(1), 19–26. E-Journal UNSRAT <https://doi.org/10.35800/bdp.8.1.2020.27229>
- Azalia, D., Rachmawati, I., Zahira, S., Andriyani, F., Sanini, T. M., Supriyatin, S., & Aulya, N. R. (2023). Uji kualitatif senyawa aktif flavonoid dan terpenoid pada beberapa jenis tumbuhan Fabaceae dan Apocynaceae di kawasan TNGGP Bodogol. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*, 8(1), 32-43. <https://share.google/ph1Aa7wB4cyqq1GQO>

- Barbieri, R., Coppo, E., Marchese, A., Daglia, M., Sobarzo-Sánchez, E., Nabavi, SF, & Nabavi, SM (2017). Fitokimia untuk penyakit manusia: pembaruan tentang aktivitas antibakteri senyawa turunan tumbuhan. *Penelitian Mikrobiologi*, 196(1), 44-68. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2016.12.003>
- Barzkar, N., Sukhikh, S., & Babich, O. (2024). A comprehensive review of marine sponge metabolites, with emphasis on *Neopetrosia* sp. *International Journal of Biological Macromolecules*, 280(1), 135-823. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135823>
- 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>
- Bell, J. J., McGrath, E., Biggerstaff, A., Bates, T., Cardenas, P., & Davy, S. K. (2019). Global conservation status of sponges. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 99(1), 1-12. <https://doi.org/10.1017/S0025315418001086>
- Bhagaskara, R. J., Ahmad, A. S., Prasetyawan, S. R., Amelia, D., Pratama, D. P., Tulloh, I. M. H., & Atmaja, N. B. (2023). Antibiotic susceptibility test of *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus* with disk diffusion and dilution method. *Journal of Research in Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2(1), 29-37. <https://doi.org/10.33533/jrpps.v2i1.7029>
- Bhamboo, P., Bera, S., & Mondal, D. (2021). TiCl<sub>4</sub>-promoted asymmetric aldol reaction of oxazolidinones and its sulphur-congeners for natural product synthesis. *Asian Journal of Organic Chemistry*, 10(11), 2763-2819. <https://doi.org/10.1002/ajoc.202100432>
- Blunt, J. W., Carroll, A. R., Copp, B. R., Davis, R. A., Keyzers, R. A., & Prinsep, M. R. (2018). Marine natural products. *Natural Product Reports*, 35(1), 8-53. <https://doi.org/10.1039/C7NP00052G>
- Cardenas, P., Rapp, H. T., Klitgaard, A. B., Best, M., Thollessen, M., & Tendal, O. S. (2020). Taxonomy, biogeography and DNA barcodes of *Geodia* species (Porifera, Demospongiae, Tetractinellida) in the Atlantic boreo-arctic region. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 188(1), 1-31. <https://doi.org/10.1093/zoolinnean/zlz084>
- Caroline, L. A. (2023). *Identifikasi senyawa aktif dan prediksi molekuler senyawa antikanker payudara pada spons Stylissa massa (Carter, 1887) (No Publikasi 75937) [Skripsi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung]. Repository Universitas Lampung. <http://digilib.unila.ac.id/id/eprint/75937>*
- Carroll, A. R., Copp, B. R., Davis, R. A., Keyzers, R. A., & Prinsep, M. R. (2020). Marine natural products. *Natural Product Reports*, 37(2), 175-223. <https://doi.org/10.1039/C9NP00062J>

- Casertano, M., Vito, A., Aiello, A., Imperatore, C., & Menna, M. (2023). Natural bioactive compounds from marine invertebrates that modulate key targets implicated in the onset of Type 2 Diabetes Mellitus (T2DM) and its complications. *Pharmaceutics*, *15*(9), 1-23. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15092321>
- Casillas-Vargas, G., Ocasio-Malavé, C., Medina, S., Morales-Guzmán, C., Del Valle, R. G., Carballeira, N. M., & Sanabria-Rios, D. J. (2021). Antibacterial fatty acids: An update of possible mechanisms of action and implications in the development of the next-generation of antibacterial agents. *Progress in lipid research*, *82*(1), 101093. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2021.101093>
- Dahiya, R., Singh, S., Sharma, A., Chennupati, S. V., & Maharaj, S. (2016). First total synthesis and biological screening of a proline-rich cyclopeptide from a Caribbean marine sponge. *Marine Drugs*, *14*(12), 227-228. <https://doi.org/10.3390/md14120228>
- De, O., & P. Chatterji, B. (2017). Marine derived anticancer drugs targeting microtubule. *Recent Patents on Anti-Cancer Drug Discovery*, *12*(2), 102-127. <https://doi.org/10.2174/1574892812666170109141003>
- Dunlop, K., Harendza, A., Plassen, L., & Keeley, N. (2020). Epifaunal habitat associations on mixed and hard bottom substrates in coastal waters of northern Norway. *Frontiers in Marine Science*, *7*(1), 56-88. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.568802>
- Efendi, E., Yusup, M. W., & Susanti, O. (2025). Characterization of *Bacillus altitudinis* (BSP-01) and *Bacillus thuringiensis* (BSP-06) symbiont associated with *Stylissa massa* marine sponge for antimicrobial agent and multidrug resistance properties. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, *29*(4), 215-240. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2025.437793>
- Erpenbeck, D., Cardenas, P., & Worheide, G. (2021). A phylogenomic framework for Demospongiae (Porifera): Insights into the evolution of characters and the backbone phylogeny. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *161*(1), 107-147. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2021.107147>
- Esati, N. K., La, E. O. J., Sudiasih, N. P., & Saniasih, N. N. D. (2024). Total flavonoid levels in n-hexane and ethyl acetate fractions of *Rosmarinus officinalis* L. leaves and their antibacterial and antioxidant activities. *Borneo Journal of Pharmacy*, *7*(1), 1-10. <https://doi.org/10.33084/bjop.v7i1.4034>
- 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>

- Ferdinan, A., & Prasetya, A. B. (2018). Uji aktivitas antioksidan dari ekstrak jantung pisang kepok (*Musa Paradisiaca L.*) Pontianak. *Jiis (Jurnal Ilmiah Ibnu Sina): Ilmu Farmasi dan Kesehatan*, 3(1), 88-96. <https://doi.org/10.36387/jiis.v3i1.139>
- Fischer, C. L. (2020). Antimicrobial Activity of Host-Derived Lipids. *Antibiotics*, 9(2), 75. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9020075>
- Ghosh, S., Sarkar, T., Pati, S., Kari, Z. A., Edinur, H. A., & Chakraborty, R. (2022). Novel bioactive compounds from marine sources as a tool for functional food development. *Frontiers in Marine Science*, 9(1), 832-957. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.832957>
- Gogineni, V., & Hamann, M. T. (2018). Marine natural product peptides with therapeutic potential: chemistry, biosynthesis, and pharmacology. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1862(1), 81-196. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2017.08.014>
- Gohil, S. V., Suhail, S., Rose, J., Vella, T., & Nair, L. S. (2017). Polymers and composites for orthopedic applications. In *Materials for Bone Disorders* (pp. 349-403). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802792-9.00012-1>
- Gunathilake, V., Bertolino, M., Bavestrello, G., & Udagama, P. (2020). Immunomodulatory activity of the marine sponge, *Haliclona (Soestella)* sp. (Haplosclerida: Chalinidae), from Sri Lanka in Wistar Albino Rats: immunosuppression and th1-skewed cytokine response. *Journal of Immunology Research*, 20(1), 72-81. <https://doi.org/10.1155/2020/7281295>
- Gushiken, M., Kagiya, I., Kato, H., Kuwana, T., Losung, F., Mangindaan, R. E., & Tsukamoto, S. (2015). Manadodioxans A-E: polyketide endoperoxides from the marine sponge *Plakortis bergquistae*. *Journal of natural medicines*, 69(4), 595-600. <https://doi.org/10.1007/s11418-015-0920-x>
- Guy, B., & Jackson, N. (2016). Dengue vaccine: hypotheses to understand CYD-TDV-induced protection. *Nature Reviews Microbiology*, 14(1), 45-54. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2015.2>
- Haedar, J. R., Uria, A. R., Lallo, S., Dibwe, D. F., & Wakimoto, T. (2022). New theonellapeptolides from Indonesian marine sponge *Theonella swinhoei* as anti-austerity agents. *Marine drugs*, 20(11), 660-661. <https://doi.org/10.3390/md20110661>
- 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>

- Hajdas, G., Koenig, H., & Pospieszny, T. (2025). Recent advances in steroid discovery: structural diversity and bioactivity of marine and terrestrial steroids. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(7), 3-203. <https://doi.org/10.3390/ijms26073203>
- Han, J. W., Choi, G. J., & Kim, B. S. (2018). Antimicrobial aromatic polyketides: a review of their antimicrobial properties and potential use in plant disease control. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 34(11), 162-163. <https://doi.org/10.1007/s11274-018-2546-0>.
- Hanif, N., Murni, A., Tanaka, C., & Tanaka, J. (2019). Marine natural products from Indonesian waters. *Marine drugs*, 17(6), 363-364. <https://doi.org/10.3390/md17060364>
- Haris, I. A., & Jompa, I. J. (2021). *Spons*. Makassar: Lily Publisher. <https://lilypublisher.com>
- 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>
- Helmenstine, A. M. (2019). *Steroids - Molecular structures*. <https://www.thoughtco.com/steroids-molecular-structures-4054184>
- Hong, L., Ding, Y., Zhang, W., & Lin, H. (2022). Chemical and biological diversity of new natural products from marine sponges: a review (2009-2018). *Marine Life Science & Technology*, 4(8), 356 - 372. <https://doi.org/10.1007/s42995-022-00132-3>
- Huang, T., Zou, Y., Wu, M. C., Zhao, Q. J., & Hu, H. G. (2015). Total synthesis of proline-rich cyclic octapeptide stylissamide X. *Chemistry of Natural Compounds*, 51(3), 523-526. <https://doi.org/10.1007/s10600-015-1329-1>
- 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>
- Ilijeva, R., & Buchbauer, G. (2016). Biological properties of some volatile phenylpropanoids. *Natural Product Communications*, 11(10), 1934578X1601101041. <https://doi.org/10.1177/1934578X1601101041>
- 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>
- Ishida, R., Matsumoto, H., Ichii, S., Kobayashi, M., Arai, M., & Kotoku, N. (2019). Structure-activity relationship of biakamide, selective growth inhibitors under nutrient-starved condition from marine sponge. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 67(3), 210-223. <https://doi.org/10.1248/cpb.c18-00587>

- Ivankovic, T., Turk, H., Hrenovic, J., Schauerl, Z., Ivankovic, M., & Ressler, A. (2023). Antibacterial activity of silver doped hydroxyapatite toward multidrug-resistant clinical isolates of *Acinetobacter baumannii*. *Journal of hazardous materials*, 458(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131867>
- Jayanetti, M., Thambiliyagodage, C., Liyanaarachchi, H., Ekanayake, G., Mendis, A., & Usgodaarachchi, L. (2024). In vitro influence of PEG functionalized ZnO–CuO nanocomposites on bacterial growth. *Scientific Reports*, 14(1), 128-129. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52014-6>
- Karim, H., Azis, A., Ramadani, A., Anita, A., Ahmad, A., Natsir, H., Taba, P., Putri, S. E., Sarlan, S., Larekeng, S. H., & Irfandi, R. (2025). A review of marine bacterial intracellular and extracellular bioactive compounds as novel antibacterial and anti-inflammation agents. *Indonesian Journal of Chemistry*, 25(1), 283-305. <https://doi.org/10.22146/ijc.90039>
- Khodzori, F. A., Mazlan, N. B., Chong, W. S., Ong, K. H., Palaniveloo, K., & Shah, M. D. (2023). Metabolites and bioactivity of the marine *Xestospongia* sp. sponges (Porifera, Demospongiae, Haplosclerida) of Southeast Asian Waters. *Biomolecules*, 13(3), 1-16. <https://doi.org/10.3390/biom13030484>
- Kotoku, N., Ishida, R., Matsumoto, H., Arai, M., Toda, K., Setiawan, A., & 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>
- Kratky, M., Konečná, K., Janoušek, J., Brablíková, M., Jand'ourek, O., Trejtnar, F., Stolaříková, J., & Vinšová, J. (2020). 4-Aminobenzoic acid derivatives: converting folate precursor to antimicrobial and cytotoxic agents. *Biomolecules*, 10(1), 8-9. <https://doi.org/10.3390/biom10010009>
- Kusuma, A. H., Putri, B., Efendi, E., Safitri, T., & Hidayah, S. (2025, December). Antibacterial activity of *Xestospongia* sp. and *Spongia* sp. sponge extract against pathogenic bacteria from the waters of Pahawang Island, Lampung. In *ICSIGER-International Conference on Science and Emerging Technology*, 1(1), 125-133. <https://share.google/rkOgQKfafW5xLj9dE>
- Lai, K. H., Huang, Z. H., El-Shazly, M., Peng, B. R., Wei, W. C., & Su, J. H. (2021). Isomalabaricane triterpenes from the marine sponge *Rhabdastrella* sp. *Marine Drugs*, 19(4), 205-206. <https://doi.org/10.3390/md19040206>
- Lanes, C. A., Yudistira, A., & Jayanti, M. (2023). Uji aktivitas antioksidan ekstrak etanol spons *Lamellodysidea herbacea* yang diperoleh dari Pantai Selatan Kabupaten Minahasa. *Pharmacom*, 12(3), 367-372. <https://doi.org/10.35799/pha.12.2023>

- Leon, M., Presson, J., Kolo, S. M. D., & Pardosi, L. (2023). Uji aktivitas antibakteri fraksi dikloroetana (DCM) dari ekstrak bakteri SM10 bersimbiosis spons *Stylissa massa*. *Journal of Chemical Science and Application*, 1(1), 6-12. <https://share.google/Gntx1vPS2SJjUtiTh>
- Leys, S. P., Esposito, E. J., & Kahn, A. S. (2024). *The Physiology of Sponge Behavior*. In *Frontiers in invertebrate physiology: a collection of reviews* (pp. 65-128). Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/9781003403319>
- Liu, L., Zheng, Y., Shao, C., & Wang, C. (2019). Metabolites from marine invertebrates and their symbiotic microorganisms: molecular diversity discovery, mining, and application. *Marine Life Science & Technology*, 1(1), 60-94. <https://doi.org/10.1007/s42995-019-00021-2>
- Liu, X., Wang, Q., Zhang, Y., & Zhang, H. (2024). Discovery of anti-inflammatory alkaloids from sponge *Stylissa massa* suggests new biosynthetic pathways for pyrrole–imidazole alkaloids. *Marine Drugs*, 22(10), 476-477. <https://doi.org/10.3390/md22100477>
- 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>
- Luringunusa, E., Sanger, G., Sumilat, D. A., Montolalu, R. I., Damongilala, L. J., & Dotulong, V. (2023). Qualitative phytochemical analysis of *Gracilaria verrucosa* from North Sulawesi waters. *Jurnal Ilmiah PLATAX*, 11(2), 551-563. <https://doi.org/10.35800/jip.v11i2.4877>
- Luyao, H., Luesch, H., & Uy, M. (2021). GPCR pharmacological profiling of aaptamine from the Philippine sponge *Stylissa* sp. extends its therapeutic potential for noncommunicable diseases. *Molecules*, 26(18), 5617-5618. <https://doi.org/10.3390/molecules26185618>
- Lv, B., Yin, W., Gao, J., Liu, H., Liu, K., Bai, J., & Yang, Q. (2019). Neo-5,22E-cholestadienol derivatives from *Buthus martensii* karsch and targeted bactericidal action mechanisms. *Molecules*, 24(1), 71-72. <https://doi.org/10.3390/molecules24010072>
- Makar, S., Saha, T., & Singh, S. K. (2019). Naphthalene, a versatile platform in medicinal chemistry: sky-high perspective. *European journal of medicinal chemistry*, 161(1), 252-276. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2018.10.018>
- Malaka, M. H., Hartina, H., Fristiohady, A., Sadarun, B., & Sahidin, I. (2021). Isolation and identification of secondary metabolite from ethyl acetate extract of *Petrosia* Sp. and its antioxidant activity. *Jurnal Farmasi Sains dan Praktis*, 7(3), 365-373. <https://share.google/ncO18igfggW0xcAsP>

- Maldonado, M., Aguilar, R., Bannister, R. J., Bell, J. J., Conway, K. W., Dayton, P. K., Díaz, M. C., Gutt, J., Kelly, M., Kenchington, E. L. R., Leys, S. P., Pomponi, S. A., Rapp, H. T., Rützler, K., Schönberg, C. H. L., Tabachnick, K. R., & Thacker, R. W. (2022). The role of sponges in the polar carbon cycle. *Polar Biology*, 45(1), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s00300-021-02947-8>
- Mangalagiri, N. P., Panditi, S. K., & Jeevignunta, N. L. L. (2021). Antimicrobial activity of essential plant oils and their major components. *Heliyon*, 7(4), e06835. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06835>
- Manmana, Y., Kubo, T., & Otsuka, K. (2021). Recent developments of point-of-care (POC) testing platform for biomolecules. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 135, 11-61. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.116160>
- Margareta, M. A. H., & Wonorahardjo, S. (2023). Optimasi metode penetapan senyawa eugenol dalam minyak cengkeh menggunakan Gas Chromatography-Mass Spectrum dengan variasi suhu injeksi. *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*, 6(2), 95-103. <https://doi.org/10.24246/juses.v6i2p95-103>
- Martignago, C. C. S., Barbosa, C. S., Motta, H. G., et al. (2025). Exploring antibacterial properties of marine sponge-derived natural compounds: a systematic review. *Marine Drugs*, 23(1), 42-43. <https://doi.org/10.3390/md23010043>
- Matulja, D., Wittine, K., Malatesti, N., Laclef, S., Turks, M., Markovic, M. K., & Marković, D. (2020). Marine natural products with high anticancer activities. *Current Medicinal Chemistry*, 27(8), 1243-1307. <https://doi.org/10.2174/0929867327666200113154115>
- Maukar, G. S., Adithya, Y., Karlah, L. R. M. (2022). Uji aktivitas antioksidan ekstrak etanol spons *Theonella swinhoei* dikoleksi dari Pulau Manado Tua. *Pharmacon*, 11(3), 1517-1522. <https://share.google/c35RLHrUrbEPIRsFW>
- Mayer, A. M., Mayer, V. A., Swanson-Mungerson, M., Pierce, M. L., Rodríguez, A. D., Nakamura, F., & Tagliatela-Scafati, O. (2024). Marine pharmacology in 2019-2021: 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. *Marine Drugs*, 22(7), 309. <https://doi.org/10.3390/md22070309>
- Mayer, A. M., Pierce, M. L., Howe, K., Rodríguez, A. D., Tagliatela-Scafati, O., Nakamura, F., & Fusetani, N. (2022). 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(1), 106-391. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2022.106391>

- 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>
- Morganti, T. M., Ribes, M., Moskovich, R., Weisz, J. B., Yahel, G., & Coma, R. (2021). In situ pumping rate of 20 marine demosponges is a function of osculum area. *Frontiers in Marine Science*, 8(1), 58-59. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.583188>
- Mudgil, P. (2022). Antimicrobial tear lipids in the ocular surface defense. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 12(1), 866-900. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.866900>
- Murniasih, T. U. T. I. K., Putra, M. Y., & Hadi, T. A. (2018). The antibacterial evaluation of *Haliclona associated* bacteria and the relating compounds derived from the host. *Asian J Pharm Clin Res*, 11(7), 412-415. <https://doi.org/10.22159/ajpcr.2018.v11i7.25510>
- 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* (No Publikasi 051806571). [Skripsi, Universitas Brawijaya]. Repository Universitas Brawijaya. <http://repository.ub.ac.id/12933/1/Rizqy%20Narulita.pdf>
- Nisa, C., Masruhim, M. A., & Sulistiarini, R. (2016). Uji Bioaktivitas dan Penelurusan Metabolit Sekunder Ekstrak Spons di Perairan Kampung Malahing Kota Bontang. In *Proceeding of Mulawarman Pharmaceuticals Conferences*, 3(2), 121-125. <https://share.google/V3hyofpXjysWoRa1E>
- Nofiani, R., Weisberg, A., Tsunoda, T., Panjaitan R., Brilliantoro, R., Chang, J., Philmus, B., & Mahmud, T. (2020). Antibacterial potential of secondary metabolites from Indonesian marine bacterial symbionts. *International Journal of Microbiology*, 20(1), 1-11. <https://doi.org/10.1155/2020/8898631>
- Nurama, D. F. (2021). *Uji potensi antibakteri ekstrak spons dan bakteri simbion spons laut Callyspongia vaginalis dari perairan Kendit terhadap pertumbuhan bakteri Vibrio harveyi (H74218017)* [Skripsi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel]. Digilib Universitas Islam Negeri Sunan Ampel. <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(1), 156-165. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.09.014>
- Obukhova, E. S., & Murzina, S. A. (2024). Mechanisms of the antimicrobial action of fatty acids: a review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 60(6), 1035-1043. <https://share.google/2hlBCenLi9kNJB12w>

- Ode, I., Nursinar, S., & Hala, Y. (2020). Aktivitas antibakteri ekstrak daun ara (*Ficus carica L.*) terhadap bakteri *Staphylococcus aureus*. *Biowallacea: Journal of Bioscience and Biology Education*, 7(2), 145-152. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5891850/>
- Olanrewaju, O. S., Molale-Tom, L. G., Kritzinger, R. K., & Bezuidenhout, C. C. (2024). Genome mining of *Escherichia coli* WG5D from drinking water source: unraveling antibiotic resistance genes, virulence factors, and pathogenicity. *BMC genomics*, 25(1), 263-270. <https://doi.org/10.1186/s12864-024-10110-x>
- Osman, N. A., Nafie, M. S., Kang, H. K., Hyun, J. W., & Koh, Y. S. (2024). Chemical composition, antimicrobial activity, and molecular docking of the main phytoconstituents from three rarely investigated marine macroalgae. *Natural Product Communications*, 19(6), 1934578X241261016. <https://doi.org/10.1177/1934578X241261016>
- Otite, S. V., Lag-Brotons, A. J., Ezemonye, L. I., Martin, A. D., Pickup, R. W., & Semple, K. T. (2024). Volatile fatty acids effective as antibacterial agents against three enteric bacteria during mesophilic anaerobic incubation. *Molecules*, 29(9), 1908. <https://doi.org/10.3390/molecules29091908>
- Ovchinnikova, T. V. (2021). Marine peptides: structure, bioactivities, and a new hope for therapeutic application. *Marine Drugs*, 19(8), 407. <https://doi.org/10.3390/md19080407>
- Pajan, S. A., Waworuntu, O., & Leman, M. A. (2016). Potensi antibakteri air perasan bawang putih (*Allium sativum L.*) terhadap pertumbuhan *Staphylococcus aureus*. *Pharmacoin: Jurnal Ilmiah Farmasi*, 5(4), 77-89. <https://doi.org/10.35799/pha.5.2016.13977>
- Pakbin, B., Bruck, W. M., & Rossen, J. W. (2021). Virulence factors of enteric pathogenic *Escherichia coli*: a review. *International journal of molecular sciences*, 22(18), 1-18. <https://doi.org/10.3390/ijms22189922>
- Park, K. M., Lee, S. J., Yu, H., Park, J. Y., Jung, H. S., Kim, K., Lee, C. J., & Chang, P. S. (2018). Hydrophilic and lipophilic characteristics of non-fatty acid moieties: significant factors affecting antibacterial activity of lauric acid esters. *Food Science and Biotechnology*, 27(2), 401-409. <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0353-x>
- Park, S., Lee, J. H., Kim, Y. G., Hu, L., & Lee, J. (2022). Fatty acids as aminoglycoside antibiotic adjuvants against *Staphylococcus aureus*. *Frontiers in Microbiology*, 13(1), 876-932. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.876932>
- 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>

- Prasetya, E. (2022). *Klasifikasi protein berdasarkan struktur dan fungsi*.  
<https://inovasibiologi.com/klasifikasi-protein-berdasarkan-struktur-dan-fungsi/>
- Pressona, J., Swasonob, R. T., Matsjehb, S., Putrib, M. P., Zahrab, Z. A., & Pardosi, L. (2021). Antimalarial activity of sea sponge extract of *Stylissa massa* originating from waters of Rote Island. *Jurnal kimia sains dan aplikasi*, 24(4), 136-145. <https://doi.org/10.14710/jksa.24.4.136-145>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for (1R,2R,8S,8Ar)-8-hydroxy-1-(2-hydroxyethyl)-1,2,5,5-tetramethyl-cis-decalin* (CID 11582631). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/11582631>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for 1,4-Methanonaphthalene, 6,7-diethyldecahydro-, cis-* (CID 5366774). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5366774>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for 15-Isobutyl-(13.alpha.H)-isocopalane* (CID 12411309). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/12411309>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for 17.alpha.,21.beta.-28,30-Bisnorhopane* (CID 5989736). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5989736>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for 1-Dodecanol* (CID 8181). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/8181>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for 2,4a,8,8-Tetramethyldecahydrocyclopropa[d]naphthalene* (CID 33962). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/33962>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for 28-Nor-17.alpha.(H)-hopane* (CID 73469). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/73469>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for 2-Pentenoic acid, 5-(decahydro-5,5,8a-trimethyl-2-methylene-1-naphthalenyl)-3-methyl-*, (CID 442007). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/442007>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for 3,6-Dimethyl-2-octanone* (CID 11874). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/11874>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for 3.beta.-Hydroxy-5-cholen-24-oic acid* (CID 5280450). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5280450>

- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for 4a,7,7,10a-Tetramethyl-dodecahydro-benzo[f]chromen-3-one* (CID 5318672). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5318672>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for 4-Methylaminobenzoic acid 4-formylphenyl ester* (CID 5367845). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5367845>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for Benzene, 1,2,4,5-tetramethyl-* (CID 9470). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/9470>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for Benzene, 1-ethyl-2,4-dimethyl-* (CID 14617). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/14617>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for Benzene, 1-ethyl-2,4,5-trimethyl-* (CID 74602). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/74602>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for Benzene, 1-ethyl-3,5-dimethyl-* (CID 62016). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/62016>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for Benzene, 1-methyl-2-(2-propenyl)-* (CID 5281516). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5281516>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for Benzene, 2-ethyl-1,4-dimethyl-* (CID 60879). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/60879>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for Cholest-23-ene, (5.beta.)-* (CID 5280794). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5280794>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for Cholesta-5,22-dien-3-ol, (3.beta.)-* (CID 5353340). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5353340>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for Cholestan-3-ol* (CID 5997). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5997>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for cis-11-Eicosenamide* (CID 5358939). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5358939>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for Cyclohexane, 3,3,5,5-tetramethyl-1-(3,3,5,5-tetramethylcyclohexylidene)-* (CID 38668). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/38668>

- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for Dibenzylamine* (CID 2429). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2429>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for Ergosta-5,24(28)-dien-3-ol, (3.beta.)-* (CID 5318486). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5318486>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for Hexadecanoic acid, ethenyl ester* (CID 20924). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/20924>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl) ester* (CID 117-81-7). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/117-81-7>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for Isophorone* (CID 6549). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6549>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for Naphthalene* (CID 931). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/931>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for Pentadecanoic acid, methyl ester* (CID 5363740). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5363740>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for Tetracosyl acetate* (CID 112-62-9). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/112-62-9>
- PubChem. (2024). *PubChem compound summary for Tetracosyl acetate* (CID 112-62-9). National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>
- Putra, C. G. G., Ariantika, L., Reina, C., Sulistiani, S., Yunita, R., & Nabila, R. (2024). Analisis komponen senyawa minyak atsiri dalam tumbuhan dengan menggunakan metode GC-MS. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(13), 475-492. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12787232>
- Putri, M. (2021). Antimalarial activity of sea sponge extract of *Stylissa massa* originating from waters of Rote Island. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 24(4), 136–145. <https://doi.org/10.14710/jksa.24.4.136-145>
- Rahmadina. (2021). *Taksonomi hewan invertebrata berbasis riset*. Deepublish. <http://repository.uinsu.ac.id/16617/1/Taksonomi%20Hewan%20Invertebrata.pdf>

- Rahman, N. I. A., Ramzi, M. M., Rawi, N. N., Siong, J. Y. F., Bakar, K., Bhubalan, K., Ariffin, F., Saidin, J., Azemi, A. K., & Ismail, N. (2024). Characterization of antibiofilm compound from marine sponge *Stylissa carteri*. *Environmental Science and Pollution Research*, *31*(25), 37552-37563. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33704-0>
- Ren, C. Z., Gao, H. M., Dai, J., Zhu, W. Z., Xu, F. F., Ye, Y., Zhang, X. L., & Yang, Q. (2022). Taxonomic and bioactivity characterizations of *Mameliella alba* strain LZ-28 isolated from highly toxic marine dinoflagellate *Alexandrium catenella* LZT09. *Marine Drugs*, *20*(5), 320-321. <https://doi.org/10.3390/md20050321>
- Riley, L. W. (2020). Distinguishing pathovars from nonpathovars: *Escherichia coli*. *Microbiology spectrum*, *8*(4), 10-1128. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.ame-0014-2020>.
- Risdian, C., Mozef, T., & Wink, J. (2019). Biosynthesis of polyketides in *Streptomyces*. *Microorganisms*, *7*(5), 123-124. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7050124>
- Rohana, H., Hager-Cohen, A., Azrad, M., & Peretz, A. (2023). Trend of changes in chloramphenicol resistance during the years 2017-2020: a retrospective report from Israel. *Antibiotics*, *12*(2), 196. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12020196>
- Romadhon, Z. (2016). *Identifikasi bakteri Escherichia coli dan Salmonella sp. pada siomay yang dijual di kantin SD Negeri di kelurahan Pisangan, Cirendeu, dan Cempaka Putih* (No Publikasi 33559) [Skripsi, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta]. FKIK UIN Jakarta. <http://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/33559>
- Rompas, W. F., Wewengkang, D. S., & Mpila, D. A. (2023). Uji aktivitas antibakteri ekstrak spons *Lamellodysidea herbacea* dari perairan Desa Poopoh Kabupaten Minahasa. *Pharmacon*, *12*(3), 295-301. <https://doi.org/10.35799/pha.12.2023.48915>
- Rozanah, A., Febrianingsih, R. I., Larasati, A. O., & Hadisaputri, Y. E. (2023). Cultivation method optimization of demospongiae sponge and its symbiont bacteria. *Indonesian Journal of Biological Pharmacy Literarute Review*, *3*(1), 33-41. <https://doi.org/10.24198/ijbp.v3i1.39865.g20053>
- 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>
- Saha, P., Rahman, F. I., Hussain, F., Rahman, S. M. A., & Rahman, M. M. (2022). Antimicrobial diterpenes: recent development from natural sources. *Frontiers in Pharmacology*, *12*(1), 820311-820312. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.820312>

- Samirana, P. O., Murti, Y. B., Jenie, R. I., & Setyowati, E. P. (2023). GC-MS metabolomic approach to study antimicrobial activity of the marine sponge-derived fungi *Trichoderma reesei* TV221. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, *13*(7), 159-173. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2023.124424>
- Santhiravel, S., Dave, D., & Shahidi, F. (2025). Bioactives from marine resources as natural health products: a review. *Pharmacological reviews*, *77*(1), 1-31. <https://doi.org/10.1124/pharmrev.124.001227>
- Schonberg, C. H. L. (2021). No taxonomy needed: Sponge functional morphologies inform about environmental conditions. *Ecological Indicators*, *129*(1), 10-78. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107806>
- Sender, R., Fuchs, S., & Milo, R. (2016). Revised estimates for the number of human and bacteria cells in the body. *PLoS biology*, *14*(8), e1002533. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002533>
- Setiawan, A., & Hendri, J. (2022). *Senyawa bioaktif spons: struktur dan bioaktivitas*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. <https://share.google/CmKIQOt19Gfkto2wKg>
- Sharifi, Z., Eisvand, H. R., Aliahmadi, A., & Ahadi, H. (2025). Solvent-dependent variation in phenolic profiles, antioxidant and antibacterial activities across wild populations of *Allium jesdianum*. *BMC Plant Biology*, *25*(1), 17-60. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-07684-3>
- Shi, L., Jia, C., Feng, J., et al. (2023). Synthesis, characterization, antibacterial and antifungal activities of 1-O-alkylglycerols. *Heliyon*, *9*(11), e21790. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21790>
- Shi, Y. G., Zhu, Y. J., Shao, S. Y., Zhang, R. R., Wu, Y., Zhu, C. M., Liang, X. R., & Cai, W. Q. (2018). Alkyl ferulate esters as multifunctional food additives: antibacterial activity and mode of action against *Escherichia coli* in vitro. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *66*(45), 12088–12101. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b04429>
- Sibarani, S. (2020). Uji aktivitas antioksidan dan antibakteri spons *Stylissa* sp. terhadap *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. *Pharmacon*, *9*(2), 66-73. <https://doi.org/10.35799/pha.9.2020.30027>
- Silva, A. T. M., Pereira, V. V., Takahashi, J. A., Silva, R. R., & Duarte, L. P. (2018). Microwave-assisted synthesis of borneol esters and their antimicrobial activity. *Natural Product Research*, *32*(14), 1714-1720. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1399380>
- Sinurat, A. A. P., Renta, P. P., Herliany, N. E., Negara, B. F., & Purnama, D. (2019). Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Metanol Rumpun Laut *Gracilaria edulis* terhadap bakteri *Aeromonas hydrophila*. *Jurnal Enggano*, *4*(1), 105–114. <https://doi.org/10.31186/jenggano.4.1.105-114>

- Song, Y., Hogan, M., Muldoon, J., Evans, P., & Caffrey, P. (2024). Characterisation of modular polyketide synthases designed to make pentaene analogues of amphotericin b. *Molecules*, 29(6), 13-96. <https://doi.org/10.3390/molecules29061396>
- Stanojkovic, T. P., & Milovic, S. (2020). A marine natural products as modulators of multidrug resistance. *Journal of Cancer Research Updates*, 9(1), 96-101. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.03.065>
- Stegger, M., Leihof, R. F., Baig, S., Sieber, R. N., Thingholm, K. R., Marvig, R. L., & Nielsen, K. L. (2020). A snapshot of diversity: Intraclonal variation of *Escherichia coli* clones as commensals and pathogens. *International Journal of Medical Microbiology*, 310(3), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2020.151401>
- Susanti, O., Setyawan, A., Puspitasari, D., Parabi, A. R., Sari, A. I., Habib, F. A., Hilmi, H., Rahaz, M. F. T., Maharani, N. P. D., Alfina, R., & Gunawan, R. (2023). Antibacterial activity and toxicity test of sponge extract *Stylissa massa* (Carter, 1887) from Lampung waters. *E-jurnal rekayasa dan teknologi budidaya perairan*, 11(2), 25-35. <https://doi.org/10.23960/jrtbp.v11i2.p%25p>
- Swamy, M. K., Akhtar, M. S., & Sinniah, U. R. (2016). Antimicrobial properties of plant essential oils against human pathogens and their mode of action: an updated review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2016(1), 3012462. <https://doi.org/10.1155/2016/3012462>
- Syafriana, V., Handayani, W., Ningsih, D. J., Anjani, C. D., Manalu, R. T., Yuniati, R., & Sholikha, M. (2025). Antibacterial activities of n-hexane and ethyl acetate extracts from young leaves of red lip (*Syzygium myrtifolium* (Roxb.) Walp.). *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 18(4), 1845-1853. <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2025.00264>
- Tailor, N. K., Deswal, G., & Grewal, A. S. (2024). Aaptamine: a versatile marine alkaloid for antioxidant, antibacterial, and anticancer therapeutics. *Chemistry*, 6(4), 677-694. <https://doi.org/10.3390/chemistry6040040>
- Tammam, M. A., Aouidate, A., Mahmoud, M. M., El-Din, M. I. G., & El-Demerdash, A. (2025). Cortistatin and plakinamine steroidal alkaloids from the marine sponges of the genus *Corticium*: insights into their chemistry, pharmacology, pharmacokinetics and structure activity relationships (SARs). *Royal Society of Chemistry 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>
- Tapilatu, Y. H. (2015). Status of drug discovery research based on marine organisms from Eastern Indonesia. *Procedia Chemistry*, 14(1), 484-492. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.03.065>

- 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>
- Tsai, K. C., Chen, C. S., Su, J. H., Lee, Y. C., Tseng, Y. H., & Wei, W. C. (2023). The blockade of Mitogen-Activated Protein Kinase 14 activation by marine natural product Crassolide triggers ICD in tumor cells and stimulates anti-tumor immunity. *Marine Drugs*, 21(4), 224-225. <https://doi.org/10.3390/md21040225>
- Tsikias, D. (2024). Perspectives of quantitative GC-MS, LC-MS, and ICP-MS in the clinical medicine science-the role of analytical chemistry. *Journal of Clinical Medicine*, 13(23), 7276-7277. <https://doi.org/10.3390/jcm13237276>
- 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 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>
- Weeraphan, T., Chou, C., Chanthathamrongsiri, N., Sirirak, T., Puchakarn, S., Chamni, S., & Phongsopitanun, W. (2025). Microbiome profiling and Actinomycetes isolation from tropical marine sponges. *American Institute of Mathematical Sciences Microbiology*, 11(2), 182-205. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2025010>
- Wei, C., Cui, P., & Liu, X. (2023). Antibacterial activity and mechanism of madecassic acid against *Staphylococcus aureus*. *Molecules*, 28(4), 18-95. <https://doi.org/10.3390/molecules28041895>
- Winska, K., Grabarczyk, M., Mączka, W., Zarowska, B., Maciejewska, G., & Aniol, M. (2018). Antimicrobial activity of new bicyclic lactones with three or four methyl groups obtained both synthetically and biosynthetically. *Journal of Saudi Chemical Society*, 22(3), 363-371. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2016.04.004>

- 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>
- Yoon, B. K., Jackman, J. A., Valle-Gonzalez, E. R., & Cho, N.-J. (2018). Antibacterial free fatty acids and monoglycerides: biological activities, experimental testing, and therapeutic applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(4), 1114. <https://doi.org/10.3390/ijms19041114>
- Young, E. L., Halanych, K. M., Amon, D. J., Altamira, I., Voight, J. R., Higgs, N. D., & Smith, C. R. (2022). Depth and substrate type influence community structure and diversity of wood and whale-bone habitats on the deep NE Pacific margin. *Marine Ecology Progress Series*, 687(1), 23-42. <https://doi.org/10.3354/meps14005>
- Yuan, Y., Lei, Y., Xu, M., Zhao, B., & Xu, S. (2025). Bioactive terpenes from marine sponges and their associated organisms. *Marine Drugs*, 23(3), 96-97. <https://doi.org/10.3390/md23030096>
- Zhu, J., Liu, Y., Liu, Z., Wang, H., & Zhang, H. (2019). Bioactive nitrogenous secondary metabolites from the marine sponge genus *Haliclona* sp. *Marine Drugs*, 17(12), 681-682. <https://doi.org/10.3390/md17120682>