

**ISOLASI DAN KARAKTERISASI KOLAGEN SEBAGAI POTENSI
BAHAN PRODUK ALAMI LAUT DARI FILUM ECHINODERMATA
DI PERAIRAN PAHAWANG, LAMPUNG**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Bidang
Ilmu Kelautan pada Fakultas MIPA*



Oleh :
YOGA WINARTA
08051282126071

**JURUSAN ILMU KELAUTAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

**ISOLASI DAN KARAKTERISASI KOLAGEN SEBAGAI POTENSI
BAHAN PRODUK ALAMI LAUT DARI FILUM ECHINODERMATA
DI PERAIRAN PAHAWANG, LAMPUNG**

SKRIPSI

**Oleh :
YOGA WINARTA
08051282126071**

***Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Bidang
Ilmu Kelautan pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sriwijaya***

**JURUSAN ILMU KELAUTAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
INDRALAYA
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

**ISOLASI DAN KARAKTERISASI KOLAGEN SEBAGAI POTENSI
BAHAN PRODUK ALAMI LAUT DARI FILUM ECHINODERMATA
DI PERAIRAN PAHAWANG, LAMPUNG**

SKRIPSI

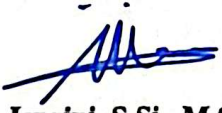
*Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Bidang Ilmu
Kelautan*

Oleh :

**YOGA WINARTA
08051282126071**

Pembimbing II

**Indralaya, 20 Mei 2025
Pembimbing I**


**Dr. Isnaini, S.Si., M.Si
NIP. 198209222008122002**


**Prof. Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc
NIP. 197905212008011009**

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Ilmu Kelautan**

**Prof. Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc
NIP. 197905212008011009**

Tanggal Pengesahan :

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Yoga Winarta

NIM : 08051282126071

Program Studi : Ilmu Kelautan

Judul Skripsi : Isolasi dan Karakterisasi Kolagen Sebagai Potensi Bahan Produk Alami Laut dari Filum Echinodermata Di Perairan Pahawang, Lampung

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.

DEWAN PENGUJI

Ketua : Prof. Dr. Rezirwan, S.Pi., M.Sc
NIP. 197905212003011309

()

Anggota : Dr. Isnaini, S.Si., M.Si
NIP. 198209222008122002

()

Anggota : Dr. Riris Aryawati, S.T., M.Si
NIP. 197601052001122001

()

Anggota : Dr. Melki, S.Pi., M.Si
NIP. 198605252002121004

()

Ditetapkan di : Indralaya

Tanggal : 22 Mei 2025

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Dengan ini saya Yoga Winarta, 08051282126071 menyatakan bahwa Karya Ilmiah/Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan Karya Ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata atau (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun Perguruan Tinggi lainnya.

Semua informasi yang dimuat dalam karya Ilmiah/Skripsi ini yang berasal dari penulis lain, baik yang dipublikasikan atau tidak, telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar dan semua Karya Ilmiah/Skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Indralaya, 22 Mei 2025



Yoga Winarta
NIM.08051282126071

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yoga Winarta
NIM : 08051282126071
Program Studi : Ilmu Kelautan
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Isolasi dan Karakterisasi Kolagen Sebagai Potensi Bahan Produk Alami Laut dari Filum Echinodermata Di Perairan Pahawang, Lampung”

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan skripsi saya. Skripsi ini dibiayai dan didukung dari penelitian skema unggulan kompetitif a.n Prof. Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc tahun 2024. Segala sesuatu terkait penggunaan data dan publikasi skripsi ini, harus seizin Prof. Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 21 Mei 2025



Yoga Winarta
NIM.08051282126071

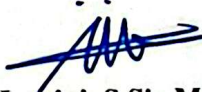
ABSTRAK

Yoga Winarta. 08051282126071. Isolasi dan Karakterisasi Kolagen Sebagai Potensi Bahan Produk Alami Laut dari Filum Echinodermata Di Perairan Pahawang, Lampung. (Pembimbing : Prof. Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc dan Dr. Isnaini, S.Si., M.Si)

Holothuria atra, *Acanthaster planci*, dan *Culcita novaeguineae* sebagai bagian dari filum Echinodermata memiliki potensi sebagai sumber kolagen alami yang dapat dimanfaatkan dalam bidang farmakologi. Kolagen memiliki potensi bioaktivitas yang berperan sebagai antiaging, antioksidan, antiinflamasi, dan antimikroba. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan isolasi dan karakterisasi kolagen dari filum Echinodermata dalam pengungkapan potensi produk bahan alami laut. Sampel diambil dari zona neritik perairan Pulau Pahawang, Lampung. Aktivitas antioksidan yang dinilai melalui uji DPPH menunjukkan aktivitas yang sangat kuat ($IC_{50} < 50 \mu\text{g/ml}$) untuk semua sampel, dengan nilai IC_{50} sebesar $10,84 \mu\text{g/ml}$ (*H. atra*), $21,78 \mu\text{g/ml}$ (*A. planci*), dan $4,43 \mu\text{g/ml}$ (*C. novaeguineae*). Analisis LC-MS mengidentifikasi asam amino utama, termasuk *Glutamic acid*, *Aspartic acid*, *Valine*, *Leucine*, *Lysine*, *Isoleucine*, *Alanine*, *Glycine*, *Proline*, *Threonine*, *Serine*, *Methionine*, *Phenylalanine*, *Histidine*, dan *Arginine*, yang dikonfirmasi keberadaan struktur senyawanya dengan analisis sinyal karbon NMR ^{13}C . Spektroskopi FTIR mendeteksi gugus fungsi kolagen yang khas, termasuk Amida I, II, III dan A. Hasil *molecular docking* ligan *Glutamic acid* (B: GLU921) ke reseptor NMDA (PDB: 4PE5) menghasilkan energi afinitas (ΔG) $-5,25 \text{ kkal/mol}$ dan nilai K_i $142,02 \mu\text{M}$, yang menunjukkan perannya sebagai agonis endogen dan modulator reseptor NMDA potensial. Temuan ini memberikan informasi penting dalam pengungkapan dan pengembangan produk alami yang berasal dari laut untuk aplikasi terapeutik.

Kata Kunci : Antioksidan, Echinodermata, Karakterisasi, Kolagen, Molekular Doking

Pembimbing II


Dr. Isnaini, S.Si., M.Si
NIP. 198209222008122002

Inderalaya, 22 Mei 2025
Pembimbing I


Prof. Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc
NIP. 197905212008011009

Mengetahui
Ketua Jurusan Ilmu Kelautan

Prof. Dr. Rozirwan, S. Pi., M. Sc
NIP. 197905212008011009

ABSTRACT

Yoga Winarta. 08051282126071. Isolation and Characterization of Collagen as a Potential Marine Natural Product Material from Echinodermata Filum in Pahawang Waters, Lampung. (Supervisor: Prof. Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc and Dr. Isnaini, S.Si., M.Si)

Holothuria atra, *Acanthaster planci*, and *Culcita novaeguineae* as part of the Echinodermata phylum have the potential as a source of natural collagen that can be utilized in pharmacology. Collagen has potential bioactivities that act as anti-aging, antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial. This study aims to isolate and characterize collagen from the Echinodermata phylum in revealing the potential of marine natural products. Samples were taken from the neritic zone of Pahawang Island, Lampung. Antioxidant activity assessed through DPPH assay showed very strong activity ($IC_{50} < 50 \mu\text{g/ml}$) for all samples, with IC_{50} values of $10.84 \mu\text{g/ml}$ (*H. atra*), $21.78 \mu\text{g/ml}$ (*A. planci*), and $4.43 \mu\text{g/ml}$ (*C. novaeguineae*). LC-MS analysis identified major amino acids, including Glutamic acid, Aspartic acid, Valine, Leucine, Lysine, Isoleucine, Alanine, Glycine, Proline, Threonine, Serine, Methionine, Phenylalanine, Histidine, and Arginine, which were confirmed the existence of their compound structures by ^{13}C carbon NMR signal analysis. FTIR spectroscopy detected typical collagen functional groups, including Amides I, II, III, and A. The results of molecular docking of Glutamic acid ligand (B:GLU921) to NMDA receptor (PDB:4PE5) yielded an affinity energy (ΔG) of -5.25 kcal/mol and a K_i value of $142.02 \mu\text{m}$, indicating its role as an endogenous agonist and potential NMDA receptor modulator. These findings provide important information in the disclosure and development of marine-derived natural products for therapeutic applications.

Keywords: Antioxidant, Characterization, Collagen, Echinodermata, Molecular Docking

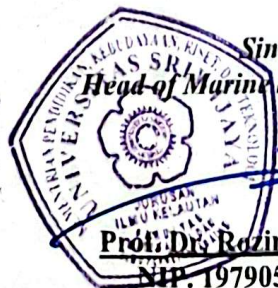
Supervisor II

Inderalaya, 22 May 2025

Supervisor I


Dr. Isnaini, S.Si., M.Si
NIP. 198209222008122002


Prof. Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc
NIP. 197905212008011009



Sincerely,
Head of Marine Science Department

Prof. Dr. Rozirwan, S. Pi., M. Sc
NIP. 197905212008011009

RINGKASAN

Yoga Winarta. 08051282126071. Isolasi dan Karakterisasi Kolagen Sebagai Potensi Bahan Produk Alami Laut dari Filum Echinodermata Di Perairan Pahawang, Lampung. (Pembimbing : Prof. Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc dan Dr. Isnaini, S.Si., M.Si)

Echinodermata merupakan filum hewan invertebrata yang memiliki karakteristik simetri radial, kulit berduri, sistem ambulakral untuk pergerakan, dan rangka internal berbahan kalsium karbonat. Organisme ini mendiami dasar perairan dari zona litoral hingga abisal dan terbagi dalam lima kelas utama, yaitu Asteroidea, Ophiuroidea, Echinoidea, Holothuroidea, dan Crinoidea. Salah satu biomolekul penting dari organisme ini adalah kolagen, protein struktural utama yang memberikan kekuatan, elastisitas, dan stabilitas jaringan ikat.

Kolagen, yang tersusun dalam struktur *triple helix* melalui dominasi asam amino glisin, prolin, dan hidroksiprolin, tidak hanya berfungsi sebagai komponen struktural, tetapi juga menunjukkan potensi bioaktivitas, termasuk aktivitas antioksidan, antimikroba, antiinflamasi, dan antiaging, menjadikannya sangat berharga untuk aplikasi di bidang farmasi, kosmetik, dan biomedis.

Isolasi kolagen dari sampel biologis, proses ekstraksi umumnya menggunakan metode asam seperti asam asetat atau asam klorida, dan metode basa seperti natrium hidroksida sebagai *pretreatment* untuk memecah jaringan ikat sebelum kolagen diisolasi. Selain itu, enzim proteolitik seperti pepsin atau tripsin juga sering digunakan untuk mengekstraksi kolagen tanpa merusak strukturnya. Teknik tambahan seperti denaturasi suhu tinggi dan pengendapan garam digunakan untuk meningkatkan hasil kolagen yang murni.

Untuk mengevaluasi bioaktivitas kolagen, dilakukan uji antioksidan menggunakan metode DPPH (*2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl*), yang memungkinkan analisis kualitatif melalui perubahan warna dan analisis kuantitatif berdasarkan pengukuran absorbansi pada panjang gelombang 514-517 nm. Parameter penting seperti persen inhibisi dan IC_{50} digunakan untuk menilai kapasitas senyawa dalam menetralkan radikal bebas.

Karakterisasi molekuler kolagen dilakukan dengan berbagai teknik, yaitu LC-MS untuk identifikasi profil asam amino, FTIR untuk analisis gugus fungsi

molekul, dan NMR ^{13}C untuk konfirmasi struktur karbon dalam senyawa. LC-MS mampu mendeteksi dengan sensitivitas tinggi senyawa-senyawa bioaktif, sementara FTIR memberikan gambaran mengenai perubahan struktur sekunder kolagen, dan NMR ^{13}C memvalidasi keberadaan struktur berdasarkan sinyal karbon spesifik.

Penelitian ini dilaksanakan dari September 2024 hingga April 2025, dengan menggunakan tiga spesies Echinodermata, yaitu *Holothuria atra*, *Acanthaster planci*, dan *Culcita novaeguineae*, yang dikumpulkan dari zona neritik di Pulau Pahawang, Provinsi Lampung, melalui metode *purposive sampling*. Proses penelitian meliputi identifikasi morfologi sampel, preparasi jaringan, isolasi dan pemurnian kolagen, pengujian aktivitas antioksidan, karakterisasi kimiawi, serta *molecular docking*.

Berdasarkan hasil pengujian antioksidan, keseluruhan sampel termasuk dalam kategori aktivitas antioksidan yang sangat kuat ($<50 \mu\text{g/ml}$) dimana nilai IC_{50} *H. atra* ($10,84 \mu\text{g/ml}$), *A. planci* ($21,78 \mu\text{g/ml}$), dan *C. novaeguineae* ($4,43 \mu\text{g/ml}$). Kelompok asam amino pada uji LC-MS mendeteksi senyawa major yaitu *Glutamic acid*, *Aspartic acid*, *Valine*, *Leucine*, *Lysine*, *Isoleucine*, *Alanine*, *Glycine*, *Proline*, *Threonine*, *Serine*, *Methionine*, *Phenylalanine*, *Histidine*, dan *Arginine*. Analisis NMR ^{13}C pada keseluruhan asam amino dominan, menunjukkan kesesuaian sinyal karbon yang mendukung keberadaan struktur senyawa tersebut.

Hasil Uji FTIR mendeteksi gugusan fungsi Amida I, II, III, dan Amida A, yang menunjukkan gugus fungsional khas kolagen. Hasil *docking* ligan *Glutamic acid* (B:GLU921) terhadap reseptor NMDA (PDB:4PE5), menghasilkan energi afinitas (ΔG) terendah yaitu $-5,25 \text{ kcal/mol}$ dengan nilai $ki = 142.02 \text{ um}$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ligan *Glutamic acid* memiliki peran sebagai agonis endogenik, yang berpotensi sebagai modulator reseptor NMDA, khususnya dalam konteks pengembangan terapi untuk gangguan neurodegeneratif. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi penting untuk pengungkapan potensi produk bahan alami laut.

LEMBAR PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT atas segala ridhonya dan juga atas kehendaknya saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang dimana saya pikir ini diluar kemampuan saya, Allah SWT telah memberikan saya kekuatan dan kemudahan untuk menyelesaikan skripsi yang menghantarkan saya kepada gelar Sarjana Kelautan. Pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih sedalam samudra kepada berbagai pihak yang telah terlibat, baik selama perkuliahan hingga ditahap saya menyelesaikan skripsi ini. Ucapan terima kasih disampaikan kepada :

- **Allah SWT.** Tuhan yang maha kaya akan pengetahuan dan kebijaksanaan, yang telah membagikan ilmu dan pembelajaran hidup kepada saya, sehingga dengan ridho dan rahmat-Nya menghantarkan saya pada kesempatan yang baik saat ini.
- **Ibu Arita.** Ibuku tercinta, terkasih dan tersayang. Terima kasih telah menjadi sosok orang tua yang berjasa dalam memberikan dukungan, doa, dan rasa cinta yang tiada hentinya. Terima kasih karena telah menjadi orang tua yang sadar bahwa pendidikan adalah jalan terbaik dalam mengubah nasib kehidupan. Terima kasih karena selalu percaya dan mendukung jalan hidup yang saya ambil, terima kasih telah mengajarkan putra mu yang ganteng ini hidup disiplin, murah tangan, baik dan hormat kepada siapapun. Ibu adalah alasan kenapa saya tidak pernah lelah dan berhenti untuk berjuang dan belajar. Semoga Tuhan Yang Maha Esa selalu memberikan kesehatan, rezeki dan hati yang terus baik kepada Ibu, semoga Tuhan juga mengabulkan berbagai impian yang saya perjuangkan untuk Ibu.
- **Nenek Seni dan Nenek Samnah.** Untuk kedua nenek yang masakannya selalu saya rindukan, terima kasih karena telah menjadi sosok nenek yang selalu memberikan kasih sayang kepada cucunya, yang tak pernah bosan memasak makanan favorit cucu tertua mu ini. Semoga Allah SWT selalu memberikan kesehatan daa menjaga senyuman kalian di kehidupan ini.
- **Atok Satar.** Untuk kakek ku tercinta yang ada disurga, terima kasih karena telah menjadi sosok yang bertanggung jawab dalam keluarga, menjadi sosok yang sangat peduli akan pendidikan anak dan cucu mu, sehingga ini yang kemudian menjadi pondasi bagi saya untuk tidak pernah lelah dalam

belajar, dan tidak menganggap remeh pendidikan, terima kasih karena telah menciptakan keluarga yang nyaman, hangat, dan penuh kebahagiaan, sehingga anak dan cucu mu dapat tumbuh dalam lingkungan yang baik.

- **Yury.** Acu ku tercinta, terima kasih karena telah menjadi sosok tante dan kakak yang selalu memotivasi adek dan ponakan mu ini untuk selalu mandiri, berdiri diatas kaki sendiri, dan disiplin. Terima kasih karena telah menjadi sosok yang selalu bertanya apakah saya makan dengan baik, berpenampilan baik, dan tumbuh dengan baik. Terima kasih karena sangat peduli terhadap pendidikan saya, yang selalu mendukung apapun keputusan saya dalam menggapai hal yang saya impikan.
- **Om dan Tanteku. Acik Hetty, Mamang Jontor, Awo Romi, Acu Andre, Pak Cik Amat, Pak Wo Uli, Ngangah Narti,** terima kasih untuk semua dukungan yang telah kalian berikan kepada saya. Sepupu ku, **Selly, Avis, Denis, Bayu, Rafa, dan Gavin,** semoga suatu hari nanti kalian bisa tumbuh menjadi sosok yang lebih baik dari abang mu ini ya.
- **Cepirit Squad : Paman Rahmat, Bang Wahid, Bang Adit, Bang Fajar, Bang Belva, Bang Fajul, Bang Oca, Bang Mardian, Bang Ujang, Bang Bulek, Datuk Ongki, Bang Tias, Filsuf Alan, dan Bang Dore.** Terima kasih telah memberikan banyak sekali pengalaman masa muda, terima kasih telah menjadi tempat yang nyaman untuk ngobrol, bercerita, bercanda, dan berbagi senang serta duka.
- **Bapak Prof. Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc.** Yoga mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada Bapak yang telah berjasa dalam proses kehidupan perkuliahan saya. Terima kasih karena telah menjadi sosok dosen pembimbing, mentor, dan orang tua yang terus memotivasi, memberikan dorongan, nasihat, ilmu, dan kepercayaan kepada saya, sehingga banyak sekali ilmu dan pengalaman yang saya dapatkan selama berkuliah di jurusan ilmu kelautan tercinta ini. Saya akan terus selau berdoa agar Bapak selalu diberikan kesehatan, rezeki yang berlimpah, dilancarkan dan dimudahkan semua urusan Bapak, dan semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang telah Bapak berikan, Aamiin yaa robbal alamin.

- **Ibu Dr. Isnaini, S.Si., M.Si.** Yoga ucapkan terima kasih banyak Ibu, Ibu telah banyak memberikan yoga ilmu dan nasihat. Terima kasih telah menjadi sosok yang baik hati, penyabar, dan ceria untuk saya anak bimbingan Ibu. Semoga nanti, Ibu masih mau memberikan nasihat baik. Terima kasih untuk semua ilmu, motivasi, pengalaman, dan kepercayaan yang telah Ibu berikan kepada saya. Semoga Ibu selalu diberikan kesehatan, kekuatan, rezeki yang berlimpah, dan umur yang barokah. Semoga Allah SWT memberikan balasan yang tak terhingga atas kebaikan Ibu.
- **Ibu Dr. Riris Aryawati, S.T., M.Si.** Saya mengucapkan terima kasih Ibu karena mau menjadi Dosen Penguji I saya. Terima kasih banyak Ibu atas saran, masukan, dan ilmu yang Ibu berikan kepada saya sehingga tak hanya skripsi yang selesai namun juga ada bekal yang bisa saya bawa untuk perjalanan selanjutnya. Semoga Ibu selalu diberikan kesehatan, rezeki yang berlimpah, dan berkah umur yang panjang dan barokah serta dilancarkan segala urusan. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan Ibu.
- **Bapak Dr. Melki, S.Pi., M.Si.** Saya ucapkan terima kasih banyak kepada Bapak selaku Penguji II. Terimakasih Banyak Bapak atas semua saran, masukan, dan ilmu yang Bapak berikan kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi saya dengan baik. Semoga Bapak selalu diberikan kesehatan, rezeki yang berlimpah, dan berkah umur yang panjang dan barokah serta dilancarkan segala urusan. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang telah Bapak berikan.
- **Seluruh Bapak Ibu Dosen Ilmu Kelautan.** Saya ucapkan terima kasih banyak atas semua ilmu, pelajaran, pengalaman, yang telah Bapak dan Ibu berikan selama saya berkuliah di jurusan Ilmu Kelautan. Saya memohon izin untuk meminta keikhlasan dan keberkahan ilmu yang saya dapatkan dari Bapak Ibu, semoga ilmu yang saya dapatkan bisa bermanfaat dan membawa dampak baik bagi saya, keluarga, agama, bangsa dan negara serta menjadi amal jariyah untuk Bapak dan Ibu sekalian yang terus mengalir sampai kapanpun. Semoga Bapak dan Ibu selalu diberikan kesehatan, rezeki yang berlimpah, dan berkah umur yang panjang dan barokah serta

dilancarkan segala urusan. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang telah Bapak dan Ibu berikan.

- **Babe Marsai.** Terima kasih Babe karena telah menjadi sosok orang tua yang peduli di jurusan, kemudahan administrasi yang telah Babe berikan, telah mengantarkan ribuan mahasiswa kelautan termasuk saya dalam menggapai impiannya di luar. Semoga Babe selalu diberikan kesehatan, rezeki yang berlimpah, dan berkah umur yang panjang, dan barokah serta dilancarkan segala urusan. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang telah Babe berikan.
- **Bang Redho, S.Kel., M.Si dan Bang Muhtadi S.Kel., M.Si.** Saya tidak banyak komentar ya bang, yang jelas tanpa sosok abang saya rasa saat ini saya masih menjadi mahasiswa yang liar dan tanpa arah. Terima kasih untuk semua motivasi, cerita, dan ilmu yang telah banyak sekali membawa keberuntungan. Semoga Allah SWT memberikan kalian kesehatan kekuatan, dan kelancaran untuk semua urusan. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua.
- **Keluarga Xmarine-PL :** Kak Nadila, Kak Ayu, Kak Ariqoh, Kak Jenni, dan Bang Akbar. Terima kasih telah banyak memberikan tempat yang nyaman dan motivasi kepada adekmu ini. Semoga kalian selalu sukses di dunia dan akhirat.
- **Bang Jack, Alessandra, Kak Angel, Bang Kinan, Nazarudin, Shamil, Mentari, Raisyah (Icha), Sabrina, Lucky Adiguna, Nur Athira, Zwoura, dan Marsudi.** Terima kasih telah banyak sekali membantu dan berkontribusi dalam menyelesaikan skripsi ini, terima kasih juga telah menjadi teman yang mau berbagi cerita dan tawa. Terima kasih untuk lingkungan hebat yang kita bangun bersama, kalian hebat, semoga kita bertemu kembali dalam keadaan yang hangat dan luar biasa.
- **Asisten Laboratorium Bioekologi Kelautan 2018, 2019, 2020, 2021, dan 2022.** Terima kasih Kakak, Abang, teman-teman, dan adik-adik atas dukungan, kerja sama, dan hiburannya. Terima kasih karena telah banyak membantu selama di laboratorium. Sukses terus untuk kalian semua.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan rasa syukur senantiasa penulis ucapkan kehadiran Allah SWT. Atas semua limpahan rahmat, karunia dan taufik-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi penelitian yang berjudul **“Isolasi dan Karakterisasi Kolagen Sebagai Potensi Bahan Produk Alami Laut dari Filum Echinodermata Di Perairan Pahawang, Lampung”**.

Saya ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak-pihak yang telah membantu dalam proses penelitian dan penulisan skripsi penelitian ini hingga selesai, terkhusus kepada bapak Prof. Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc dan ibu Dr. Isnaini, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dalam pengarahan proses penelitian dan penulisan skripsi penelitian dari awal hingga selesai sehingga dapat berjalan dengan lancar. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada ibu Dr. Riris Aryawati, S.T., M.Si dan bapak Dr. Melki, S.Pi., M.Si selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu untuk memberikan masukan selama proses penyusunan skripsi ini sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Saya menyadari bahwa dalam proses penelitian dan penulisan skripsi ini, masih terdapat kekurangan yang perlu diperbaiki. Setiap tahapan masih membutuhkan penyempurnaan lebih lanjut. Saya mengharapkan kritikan dan saran yang membangun untuk membantu saya dalam penelitian selanjutnya. Saya berharap bahwa karya ini dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak, terutama dalam mendukung perkembangan ilmu pengetahuan di bidang Ilmu Kelautan, terkhususnya bidang *marine biotechnology*, *marine natural product*, *marine bioprospecting*, dan *marine bioinformatics*. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan balasan atas semua kebaikan yang telah di berikan.

Indralaya, Mei 2025

Yoga Winarta
NIM.08051282126071

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
RINGKASAN	viii
LEMBAR PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR.....	xiv
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Echinodermata.....	6
2.2 Kolagen dan Aplikasi Potensi Bioaktivitasnya	10
2.2.1 Isolasi dan Pemurnian Kolagen.....	11
2.3 Aktivitas Antioksidan.....	12
2.3.1 Uji Aktivitas Antioksidan Metode DPPH	13
2.3.2 Nilai <i>Inhibitory Concentration</i> 50 (IC ₅₀).....	14
2.4 Karakterisasi Kolagen	14
2.4.1 <i>Liquid Chromatography-Mass Spectrometry</i> (LC-MS).....	15
2.4.2 <i>Nuclear Magnetic Resonance Carbon-13</i> (NMR ¹³ C).....	15
2.4.3 <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR)	16
2.4.4 <i>Molecular Docking</i>	17
III METODOLOGI	18
3.1 Waktu dan Tempat	18

3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	19
3.2.1 Alat Penelitian Laboratorium.....	19
3.2.2 Alat Penelitian Lapangan.....	20
3.2.3 Bahan Penelitian.....	20
3.3 Prosedur Penelitian.....	21
3.3.1 Pengambilan Sampel Filum Echinodermata.....	22
3.3.2 Identifikasi Sampel Filum Echinodermata.....	22
3.3.3 Penanganan Sampel Filum Echinodermata.....	23
3.3.4 Isolasi dan Pemurnian Sampel.....	23
3.3.4.a <i>Degreasing</i>	23
3.3.4.b <i>Deproteinisasi</i>	23
3.3.4.c Ekstraksi.....	24
3.3.4.d <i>Dialysis</i>	24
3.4 Uji Aktivitas Antioksidan.....	24
3.4.1 Pembuatan Larutan DPPH 50 μ M.....	24
3.4.2 Pembuatan Larutan Induk Ekstrak Kolagen.....	25
3.4.3 Pembuatan Larutan Stok Asam Askorbat.....	25
3.4.4 Uji Antioksidan Secara Kualitatif.....	25
3.4.5 Uji Antioksidan Secara Kuantitatif.....	25
3.5 Karakterisasi Kolagen.....	26
3.5.1 Analisis Profil Asam Amino Kolagen dengan LC-MS.....	26
3.5.2 Analisis Karakteristik Sinyal Karbon Menggunakan NMR ^{13}C	26
3.5.3 Analisis Gugusan Fungsi Kolagen dengan FTIR.....	27
3.5.4 Analisis <i>Molecular Docking</i> Kolagen.....	27
3.5.4.a <i>Molecular Docking</i> Pada Reseptor <i>N-Methyl-D-Aspartate</i> (NMDA).....	27
3.6 Analisis Data.....	28
3.6.1 Perhitungan Susutan Pengeringan.....	28
3.6.2 Perhitungan Rendamen Ekstrak.....	28
3.6.3 Perhitungan Persentase Inhibisi Antioksidan.....	28
3.6.4 Perhitungan Nilai IC_{50}	29
IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1 Jenis dan Identifikasi Sampel Filum Echinodermata.....	30
4.1.1 <i>Holothuria atra</i>	30
4.1.2 <i>Acanthaster planci</i>	31
4.1.3 <i>Culcita novaeguineae</i>	33
4.2 Hasil Isolasi dan Rendamen Sampel Filum Echinodermata.....	34

4.3 Aktivitas Antioksidan Sampel Filum Echinodermata.....	38
4.3.1 Aktivitas Antioksidan Secara Kualitatif.....	38
4.3.2 Aktivitas Antioksidan Secara Kuantitatif.....	40
4.4 Hasil Identifikasi LC-MS Pada Senyawa Asam Amino	44
4.5 Hasil Identifikasi NMR ¹³ C Pada Sinyal Karbon.....	47
4.6 Hasil Identifikasi Spektrum FTIR Gugus Fungsi Kolagen	54
4.7 Hasil Pemodelan <i>Molecular Docking</i>	59
4.6.1 Interaksi Ligan <i>Glutamic acid</i> Terhadap Reseptor NMDA	59
V KESIMPULAN.....	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN.....	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka Pikir Penelitian.....	5
2. Teripang Hitam (<i>Holothuria atra</i>).....	7
3. Bintang Berduri (<i>Acanthaster planci</i>).....	8
4. Bintang Laut Bantal (<i>Culcita novaeguineae</i>).....	9
5. Peta Lokasi Penelitian.....	18
6. Skema Alur Penelitian.....	21
7. Teripang Hitam (<i>Holothuria atra</i>); (A) Sampel Lapangan; (B) Sampel Referensi.....	30
8. Bintang Laut Berduri (<i>Acanthaster planci</i>); (A) Aboral; (B) Oral; (C) Sampel Referensi.....	32
9. Bintang Laut Bantal (<i>Culcita novaeguineae</i>); (A) Sampel Lapangan; (B) Sampel Referensi.....	33
10. (A) <i>Holothuria atra</i> ; (B) <i>Acanthaster planci</i> ; (C) <i>Culcita novaeguineae</i> ; (D) <i>H. atra</i> Kering; (E) <i>A. planci</i> Kering; (F) <i>C. novaeguineae</i> Kering; (G) Kolagen <i>H. atra</i> ; (H) Kolagen <i>A. planci</i> ; (I) Kolagen <i>C. novaeguineae</i>	35
11. Aktivitas Antioksidan Pada Sampel Kolagen Filum Echinodermata.....	39
12. Grafik Kromatogram Hasil LC-MS Dari Kolagen <i>Acanthaster planci</i>	44
13. Konfirmasi Karakteristik Sinyal Karbon Senyawa Asam Amino Dominan Pada Kolagen <i>Acanthaster planci</i> Berdasarkan Analisis Spektrum NMR ¹³ C.....	49
14. Spektrum FTIR Kolagen <i>Holothuria atra</i>	55
15. Spektrum FTIR Kolagen <i>Acanthaster planci</i>	56
16. Spektrum FTIR Kolagen <i>Culcita novaeguineae</i>	57
17. (A) Struktur 3D Reseptor <i>NMDA-GluN1a/GluN2B</i> (PDB:4PE5); (B) Struktur 3D Protein <i>NMDA-GluN1a/GluN2B</i> (PDB:4PE5); (C) Struktur 3D Ligan <i>Glutamic acid</i> (B:GLU921)	59
18. (A) Struktur 3D Jarak Interaksi Residu-Ligan; (B) Struktur 3D Tipe Interaksi Residu-Ligan; (C) Struktur 3D Interaksi Residu terhadap Ligan <i>Glutamic acid</i> (B:GLU921) dalam Reseptor <i>NMDA-GluN1a/GluN2B</i> (PDB:4PE5)	61
19. (A) Struktur 3D <i>Aromatic</i> ; (B) Struktur 3D <i>Hydrophobic</i> ; (C) Struktur 3D <i>H-Bond</i> ; (D) Struktur 3D <i>Ionizability</i> ; (E) Struktur 3D <i>Interpolated Charge</i> ; (F) Struktur 3D <i>Solvent Accessible Surface</i> (SAS).....	64

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Alat laboratorium yang digunakan pada penelitian.....	19
2. Alat lapangan yang digunakan pada penelitian.....	20
3. Bahan yang digunakan pada penelitian.....	20
4. Karakteristik Antioksidan Pada IC50.....	29
5. Susutan Pengeringan Sampel <i>H. atra</i> , <i>A. planci</i> , dan <i>C. novaeguineae</i>	35
6. Rendamen Ekstrak Sampel <i>H. atra</i> , <i>A. planci</i> , dan <i>C. novaeguineae</i>	37
7. Hasil Pengamatan Uji Antioksidan Kolagen Secara Kualitatif.....	39
8. Aktivitas Antioksidan Kolagen <i>Holothuria atra</i>	40
9. Aktivitas Antioksidan Kolagen <i>Acanthaster planci</i>	41
10. Aktivitas Antioksidan Kolagen <i>Culcita novaeguineae</i>	42
11. Aktivitas Antioksidan Asam Askorbat.....	43
12. Komposisi Asam Amino Dominan Pada Kolagen <i>Acanthaster planci</i>	45
13. Kandidat Senyawa untuk <i>Molecular Docking</i> terhadap Reseptor <i>Matrix Metalloproteinase</i> (MMP) dan <i>N-Methyl-D-Aspartate</i> (NMDA).....	53
14. Karakteristik Gugus Fungsi Kolagen <i>Holothuria atra</i>	55
15. Karakteristik Gugus Fungsi Kolagen <i>Acanthaster planci</i>	57
16. Karakteristik Gugus Fungsi Kolagen <i>Culcita novaeguineae</i>	58
17. Konformasi <i>Docking</i> Energi Terendah Dari Setiap Kelompok.....	60
18. Interaksi Residu-Ligan (B:GLU921) dalam Reseptor NMDA- <i>GluN1a/GluN2B</i> (PDB:4PE5) Berdasarkan Hasil <i>Molecular Docking</i>	62
19. Tipe Permukaan Ligan (B:GLU921) Terhadap Reseptor NMDA- <i>GluN1a/GluN2B</i> (PDB:4PE5) Berdasarkan Hasil <i>Molecular Docking</i>	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Lokasi Pengambilan Sampel.....	91
2. Sampel Yang Diambil.....	92
3. Preparasi Sampel.....	93
4. <i>Pre-treatment</i> Awal Sampel.....	94
5. Ekstraksi dan Isolasi Sampel.....	95
6. Uji Antioksidan Metode DPPH.....	96
7. Senyawa Asam Amino Hasil Pengujian LC-MS dan NMR 13 C.....	97
8. Hasil Uji FTIR.....	103
9. Perhitungan Data.....	105
10. Perhitungan Larutan Uji Antioksidan.....	106
11. Pengolahan Data IC50.....	109

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Filum Echinodermata memiliki potensi bahan aktif yang beragam. Bahan aktif ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan produk alami laut, yang dapat diaplikasikan dan dikembangkan pada berbagai sektor industri seperti farmasi, pangan, obat-obatan dan kosmetika (Rozirwan *et al.*, 2023). Filum Echinodermata, juga diketahui kaya akan sumber kolagen alami, yang memiliki nilai penting dalam pengaplikasian berbagai macam bidang (Wilkie *et al.*, 2021). Filum Echinodermata sebagai sumber kolagen dapat ditemukan di berbagai perairan Indonesia, salah satunya berasal dari wilayah perairan Pulau Pahwang, Lampung. Kawasan ini memiliki keanekaragaman hayati laut dari filum Echinodermata yang meliputi bintang laut, teripang, dan bulu babi.

Pulau Pahawang memiliki keunikan geografis yang unik, menjadikannya salah satu dari sedikit tempat di dunia yang memiliki keanekaragaman hayati laut yang tinggi. Kawasan yang terletak di Kecamatan Marga Punduh, Kabupaten Pasawaran, Provinsi Lampung ini merupakan bagian dari semenanjung terkecil di Teluk Lampung, dengan luas daratan 1.020 H (Alfatikha *et al.*, 2020). Pulau Pahawang terletak pada ketinggian 10 meter di atas permukaan laut (mdpl), dengan kondisi topografi yang landai dan berbukit (Mardani *et al.*, 2018). Menurut Mufida *et al.* (2023), ekosistem Pahawang memiliki habitat yang ideal dengan substrat dominan palem, karang, dan lumpur, sehingga menjadi tempat yang ideal bagi Echinodermata untuk hidup.

Sumber kolagen dari bahan laut telah menarik perhatian baru-baru ini karena banyaknya potensi penggunaannya. Menurut Coppola *et al.* (2020), kolagen yang berasal dari bahan laut diperkirakan berbeda dengan kolagen yang berasal dari mamalia darat dalam hal kandungan asam amino, gugus fungsi, dan jenis kolagen. Penelitian Li *et al.* (2023) dan Safithri *et al.* (2020), menunjukkan potensi kolagen bintang laut (*Asterias amurensis*) dan teripang gama (*Stichopus variegatus*) yang dapat digunakan sebagai bahan baku makanan dan kosmetik obat. Menurut Sembiring *et al.* (2020), kolagen yang berasal dari organisme laut berpotensi dalam mengurangi ketergantungan kolagen dari hewan darat, guna mengurangi resiko terkait penyakit seperti *Bovine Spongiform Encephalopathy* (BSE).

Filum Echinodermata memiliki berbagai macam spesies, mulai dari spesies yang beragam hingga yang langka. Menurut penelitian Prajaputra *et al.* (2024), ada beberapa kelas dan spesies dari filum Echinodermata yang mengindikasikan potensi yang cukup besar sebagai sumber kolagen alami dari bahan laut. Spesies-spesies tersebut antara lain dari kelas Holothuroidea, seperti teripang gama (*Stichopus variegatus*), teripang pasir (*Holothuria scabra*), teripang merah muda (*Holothuria edulis*), dan teripang emas (*Stichopus hermannii*) (Kumayanjati, 2020). Spesies ini tersusun atas komposisi asam amino yang mengindikasikan struktur kolagen. Selain itu, sumber kolagen alami ditemukan juga pada spesies *Protoreaster nodosus*, *Linckia laevigata*, dan *Acanthaster planci* (Li dan Wang, 2023).

Kolagen dari filum Echinodermata dapat digunakan sebagai bahan produk kecantikan dan kesehatan. Bahan protein yang dikenal sebagai kolagen memiliki struktur yang kuat dan memiliki daya tahan yang tinggi (Rahman *et al.*, 2021). Menurut Rokade *et al.* (2024), kolagen memiliki sifat biokompatibel dan dapat terurai secara hayati. Selain itu, kolagen memiliki sifat bioaktif seperti antipenuaan, antiinflamasi, dan antioksidan dalam kolagen (Geahchan *et al.*, 2022), yang dapat meningkatkan nilai terapeutik dan diterapkan pada produksi produk kesehatan dan kecantikan. Pemanfaatan filum Echinodermata berpotensi untuk mengurangi dampak buruk dari ketergantungan kolagen konvensional yang terkendala masalah kesehatan dan etika.

Teknik isolasi dan karakterisasi struktur kolagen dari filum Echinodermata sangat penting diterapkan. Hal ini dilakukan untuk memastikan keamanan dan keefektifan bahan baku yang dihasilkan. Kolagen dapat diproduksi melalui proses isolasi menggunakan larutan asam, dengan menggunakan komponen-komponen seperti daging, kulit, tulang, tendon, pembuluh darah, membran basal, tulang rawan, dan gigi. Bagian-bagian ini menyumbang sekitar 25-30% dari total kandungan protein hewani (Eser dan Gozde, 2021). Menurut penelitian Ariyanti *et al.* (2018), dua faktor terpenting dalam proses isolasi adalah konsentrasi larutan asam dan waktu akhir perendaman. Konsentrasi larutan asam memiliki kemampuan untuk mengubah pH, yang mempengaruhi jumlah protein muat dan memodifikasi interaksi elektrostatis serta struktur protein (Pasaribu *et al.*, 2021).

1.2 Rumusan Masalah

Filum Echinodermata dapat ditemukan di seluruh perairan Indonesia khususnya di perairan Pulau Pahawang, Lampung dalam jumlah yang berlimpah. Namun, potensinya sebagai kolagen belum banyak dimanfaatkan, karena terkendala teknik pengolahannya yang belum banyak berkembang, terutama mengenai teknik isolasi dan karakterisasi kolagen dari filum Echinodermata. Pemanfaatan kolagen sebagai bahan aktif, memiliki banyak sekali potensi dalam berbagai industri, terutama dalam industri perawatan dan kecantikan (Harussani *et al.*, 2023). Pendayagunaan kolagen yang berasal dari hewan yang hidup di air dapat menjadi alternatif yang menjanjikan, mengingat kolagen komersial biasanya diperoleh dari kulit sapi, kulit babi, dan kulit ayam (Ariyanti *et al.*, 2018).

Bagian tubuh filum Echinodermata memiliki berbagai komponen senyawa penting seperti kolagen. Namun, belum banyak studi lebih lanjut terkait dengan isolasi dan karakterisasi kolagen pada filum Echinodermata, khususnya yang berasal dari perairan Pulau Pahawang, Lampung. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang berkaitan dengan isolasi dan karakterisasi kolagen pada filum Echinodermata khususnya yang berasal dari perairan Pulau Pahawang.

Berdasarkan dari uraian latar belakang penelitian, dapat dirumuskan rumusan masalah pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut :

1. Bagaimana hasil isolasi kolagen dan aktivitas antioksidan yang terdapat pada filum Echinodermata dari perairan Pulau Pahawang?
2. Bagaimana karakteristik asam amino dan sinyal karbon senyawa yang terdapat pada kolagen dari filum Echinodermata di perairan Pulau Pahawang?
3. Bagaimana karakteristik struktur dan gugus fungsi senyawa yang terdapat pada kolagen dari filum Echinodermata di perairan Pulau Pahawang?
4. Bagaimana interaksi molekuler ligan terhadap reseptor target yang terdapat pada kolagen dari filum Echinodermata di perairan Pulau Pahawang ?

1.3 Tujuan

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini, yaitu :

1. Mengetahui hasil isolasi kolagen dari filum Echinodermata dan aktivitas antioksidannya

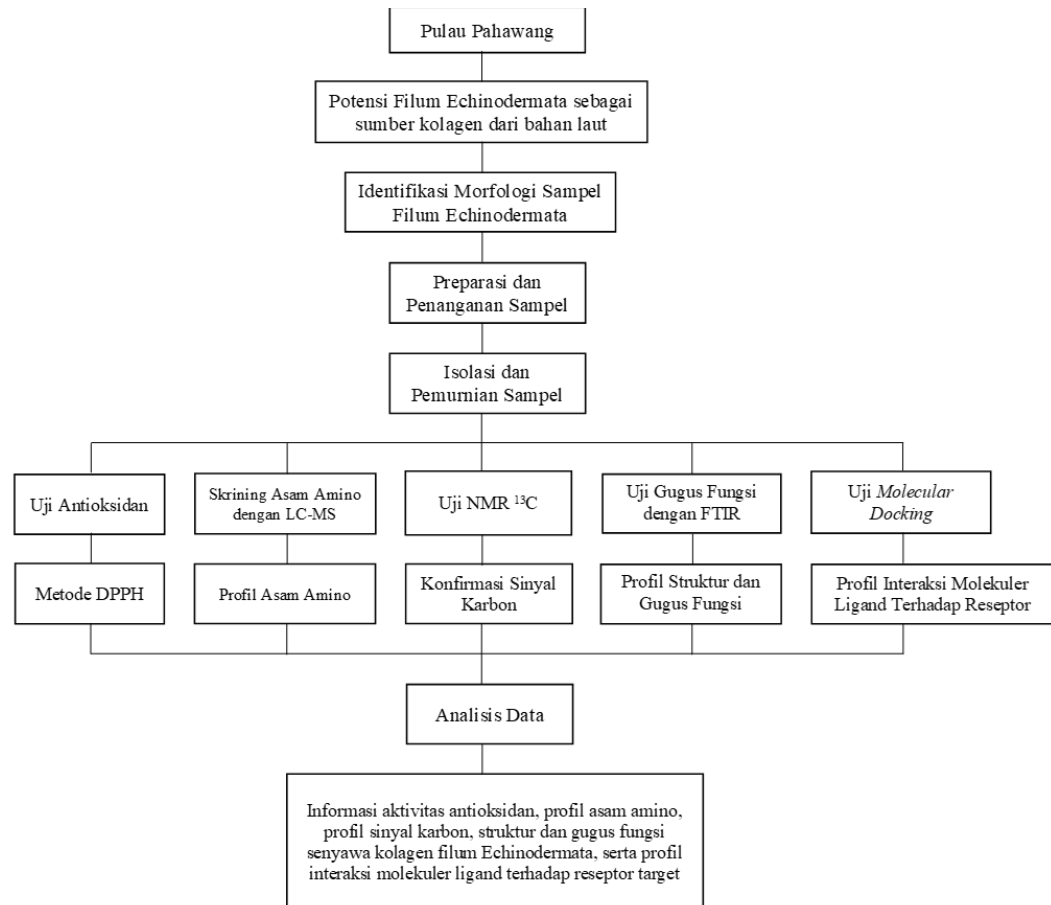
2. Menganalisis karakteristik senyawa asam amino dan sinyal karbon pada kolagen filum Echinodermata menggunakan uji LC-MS dan NMR ^{13}C
3. Menganalisis karakteristik struktur dan gugusan fungsi kolagen dari filum Echinodermata menggunakan metode FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*)
4. Menganalisis interaksi molekuler ligan terhadap reseptor target pada kolagen filum Echinodermata menggunakan metode *molecular docking*

1.4 Manfaat

Penelitian ini memiliki manfaat secara umum yaitu untuk menginformasikan terkait komposisi asam amino, struktur dan gugusan fungsi, serta interaksi molekuler ligan kolagen yang bersumber dari filum Echinodermata terhadap reseptor target. Selain manfaat umum, penelitian ini memiliki manfaat khusus diantaranya:

1. Bagi Sains dan Pendidikan, dapat dijadikan acuan penelitian lanjutan dan perbandingan penelitian tentang isolasi dan karakterisasi kolagen dari filum Echinodermata.
2. Bagi Pemerintah, dapat dijadikan acuan pada upaya penerapan kebijakan mengenai eksploitasi berkelanjutan dari sumber daya laut dan perlindungan ekosistem maritim.
3. Bagi Masyarakat, dapat dijadikan acuan untuk membuka peluang pengembangan industri lokal pengolahan produk laut berbasis kolagen dari Echinodermata yang berkelanjutan dan sejalan dengan pelestarian ekosistem perairan.

Kerangka pikir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Keterangan :

Cakupan Penelitian

Gambar 1. Kerangka Pikir Penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- Abd El Hafez MSM, Okbah MA, Ibrahim HAH, Hussein AAER, Moneim NAA, Ata A. 2022. *First report of steroid derivatives isolated from starfish Acanthaster planci with anti-bacterial, anti-cancer and anti-diabetic activities. Natural Product Research* Vol. 36(21) : 5545-5552
- Abdulla HAN, Minor EC, Dias RF, Hatcher PG. 2010. *Changes in the compound classes of dissolved organic matter along an estuarine transect: A study using FTIR and ¹³C NMR. Geochimica et Cosmochimica Acta* Vol. 74(13) : 3815-3838
- Abookleesh F, Mosa FES, Barakat K, Ullah A. 2022. *Assessing molecular docking tools to guide the design of polymeric materials formulations: A case study of canola and soybean protein. Polymers* Vol. 14(17) : 3690
- Abriyani E, Nurfadhilla F, Fariza W. 2024. Analisis karakterisasi senyawa obat dan identifikasi menggunakan metode spektrometri massa: Tinjauan literatur. *Ilmiah Wahana Pendidikan* Vol. 10(20) : 270-284
- Adibzadeh N, Aminzadeh S, Jamili S, Karkhane AA, Farrokhi N. 2014. *Purification and characterization of pepsin-solubilized collagen from skin of sea cucumber Holothuria parva. Applied Biochemistry and Biotechnology* Vol. 173 : 143-154
- Agustina DS. 2012. *Aktivitas antioksidan dan komponen bioaktif bintang laut Culcita sp. Bogor Agricultural University*
- Ahmed H, Haider A, Ametamey SM. 2020. *N-Methyl-D-Aspartate (NMDA) receptor modulators: a patent review (2015-present). Expert Opinion on Therapeutic Patents* Vol. 30(10) : 743-767
- Ahmed Q, Ali QM. 2020. *Preliminary studies on induced asexual reproduction in Holothuria atra and Holothuria pardalis under laboratory conditions. Pakistan Journal of Marine Sciences* Vol. 29(1) : 9-20
- Al Awwaly KU. 2017. *Protein pangan hasil ternak dan aplikasinya. Universitas Brawijaya Press*
- Alfatikha M, Herwanti S, Febryano IG, Yuwono SB. 2020. Identifikasi jenis tanaman agroforestri untuk mendukung ketahanan pangan rumah tangga di Desa Pulau Pahawang. *Gorontalo Journal of Forestry Research* Vol. 3(2) : 55-63
- Aliev AE, Law RV. 2011. *Solid state NMR spectroscopy. Specialist Periodical Reports-Nuclear Magnetic Resonance* Vol. 40 : 254
- Amin A, Thalib B. 2024. *Marine of dentistry: pemanfaatan stichopus hermanii dalam bidang kedokteran gigi. Nas Media Pustaka*
- Amin S, Pratama DE. 2025. Peran kimia medisinal dalam pengembangan obat antikanker: Pendekatan komputasi dan eksplorasi senyawa bioaktif dari sumber alam. *Science: Indonesian Journal of Science* Vol. 1(6) : 1356-1361

- Andini F, Widaryati R. 2020. Pengaruh enzim bromelin dosis berbeda terhadap pertumbuhan dan efisiensi pemanfaatan pakan ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Ilmu Hewani Tropika (Journal Of Tropical Animal Science)* Vol. 9(2) : 68-74
- Anjani PD, Sulardiono B, Widyorini N. 2020. *Analysis food habit of black sea cucumber (Holothuria atra) in the coastal waters of Alang-Alang Karimunjawa National Park. Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)* Vol. 8(4) : 283-290
- Anthony NG, Baiget J, Berretta G, Boyd M, Breen D, Edwards J, Gamble C, Gray AI, Harvey AL, Hatzieremia S. 2017. *Inhibitory kappa B kinase α (IKK α) inhibitors that recapitulate their selectivity in cells against isoform-related biomarkers. Medicinal Chemistry* Vol. 60(16) : 7043-7066
- Anurogo D, Ikrar T. 2014. *The neuroscience of glutamate. Ethical Digest* Vol. 120 : 55-61
- Ardor Bellucci LM, Smith NF. 2019. *Crawling and righting behavior of the subtropical sea star echinaster (Othilia) graminicola: effects of elevated temperature. Marine Biology* Vol. 166 : 1-9.
- Ariyanti A, Dewi M, Hapsari AP, Mashadi S. 2018. Perbandingan kadar kolagen cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dengan cangkang kerang hijau (*Mytilus viridis*) di Bandengan, Kendal, Jawa Tengah. *Pharmascience* Vol. 5(2)
- Atmaca G. 2004. *Antioxidant effects of sulfur-containing amino acids. Yonsei Medical* Vol. 45(5) : 776-788
- Awad SN, Abd El Hafez MS, Abd Elwahab MG, Mady R, Batiha GES, Shaheen HM, Ghareeb DA. 2023. *Anti-inflammatory properties of Holothuria atra extract on lipopolysaccharide induced inflammation of White blood cells. Damanhour Journal of Veterinary Sciences* Vol. 9(2) : 9-16
- Bahriul P, Rahman N, Diah AWM. 2014. Uji aktivitas antioksidan ekstrak daun salam (*Syzygium polyanthum*) dengan menggunakan 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil. *Akademika Kimia* Vol. 3(3) : 143-149
- Balci M. 2005. *Basic 1H-and 13C-NMR spectroscopy*. Elsevier
- Bandaru SSM, Shah J, Bhilare S, Schulzke C, Kapdi AR, Roger J, Hierso JC. 2023. *Phosphine ligands based on the ferrocenyl platform: Advances in catalytic cross-couplings. Coordination Chemistry Reviews* Vol. 491 : 215250
- Bauvois B, Dauzonne D. 2006. *Aminopeptidase-N/CD13 (EC 3.4. 11.2) inhibitors: chemistry, biological evaluations, and therapeutic prospects. Medicinal Research Reviews* Vol. 26(1) : 88-130
- Bell EW, Zhang Y. 2019. *DockRMSD: an open-source tool for atom mapping and RMSD calculation of symmetric molecules through graph isomorphism. Cheminformatics* Vol. 11 : 1-9
- Bhattacharjee A, Bansal M. 2005. *Collagen structure: the madras triple helix and*

the current scenario. IUBMB Life Vol. 57(3) :161-172

- Binambuni P, Langoy M, Katili DY. 2019. Keanekaragaman jenis bintang laut di Pantai Bahowo Kecamatan Bunaken Kota Manado Sulawesi Utara. *Pharmacon* Vol. 8(1) : 65-72
- Bonini M, Gabbani A, Del Buffa S, Ridi F, Baglioni P, Bordes R, Holmberg K. 2017. *Adsorption of amino acids and glutamic acid-based surfactants on imogolite clays. Langmuir* Vol. 33(9) : 2411-2419
- Bordbar S, Anwar F, Saari N. 2011. *High-value components and bioactives from sea cucumbers for functional foods a review. Marine Drugs* Vol. 9(10) : 1761-1805.
- Brinckmann J, Notbohm H, Müller PK. 2005. *Collagen: primer in structure, processing and assembly (Vol. 247). Springer Science and Business Media*
- Brodsky B, Persikov AV. 2005. *Molecular structure of the collagen triple helix. Advances in Protein Chemistry* Vol. 70 : 301-339
- Budirohmi A, Megawati M, Hestina H, Uyun HS. 2025. *Kimia organik dasar. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah*
- Cabral-Pacheco GA, Garza-Veloz I, Castruita-De RC, Ramirez-Acuña JM, Perez-Romero BA, Guerrero-Rodriguez JF, Martinez-Avila N, Martinez-Fierro ML. 2020. *The roles of matrix metalloproteinases and their inhibitors in human diseases. International Journal of Molecular Sciences* Vol. 21(24) : 9739
- Cahyaningsih E, Yuda PESK, Santoso P. 2019. Skrining fitokimia dan uji aktivitas antioksidan ekstrak etanol bunga telang (*Clitoria ternatea* L.) dengan metode spektrofotometri uv-Vis. *Ilmiah Medicamento* Vol. 5(1)
- Carnevali MDC, Elphick MR. 2021. The mutable collagenous tissue of echinoderms: from biology to. *Soft Matter for Biomedical Applications* Vol. 13 : 1
- Chan SWP, Greaves J, Silva NA, Wang SW. 2012. *Assaying proline hydroxylation in recombinant collagen variants by liquid chromatography-mass spectrometry. BMC Biotechnology* Vol. 12 : 1-7
- Chen Y, Tao K, Ji W, Kumar VB, Rencus LS, Gazit E. 2022. *Histidine as a key modulator of molecular self-assembly: Peptide-based supramolecular materials inspired by biological systems. Materials Today* Vol. 60 : 106-127
- Clark EG, Hutchinson JR, Briggs DEG. 2020. *Three-dimensional visualization as a tool for interpreting locomotion strategies in ophiuroids from the Devonian Hunsrück Slate. Royal Society Open Science* Vol. 7(12) : 201380
- Coates J. 2000. *Interpretation of infrared spectra, a practical approach. Encyclopedia of Analytical Chemistry* Vol. 12 : 10815-10837
- Coppola D, Oliviero M, Vitale GA, Lauritano C, D'Ambra I, Iannace S, Pascale D. 2020. *Marine collagen from alternative and sustainable sources: Extraction, processing and applications. Marine Drugs* Vol. 18(4) : 214

- Crespi-Abril AC, Rubilar T. 2023. *Ethical considerations for echinoderms: New initiatives in welfare. Animals* Vol. 13(21) : 3377
- Crespo D, Pardal MÂ. 2022. *Ecological and economic importance of benthic communities. In Life below water (pp. 313-323). Springer*
- Damodaran S, Parkin KL. 2017. *Amino acids, peptides, and proteins. In Fennema's food chemistry (pp. 235-356). CRC press*
- De Menezes BB, Frescura LM, Duarte R, Villetti MA, Da Rosa MB. 2021. *A critical examination of the DPPH method: Mistakes and inconsistencies in stoichiometry and IC50 determination by UV-Vis spectroscopy. Analytica Chimica Acta* Vol. 1157 : 338398
- Deschamps P, Kulkarni PP, Gautam-Basak M, Sarkar B. 2005. *The saga of copper (II)-l-histidine. Coordination Chemistry Reviews* Vol. 249(9-10) : 895-909
- Devita L, Lioe HN, Nurilmala M, Suhartono MT. 2021. *The bioactivity prediction of peptides from tuna skin collagen using integrated method combining in vitro and in silico. Foods* Vol. 10(11) : 2739
- Deyl Z, Mikšik I, Eckhardt A. 2003. *Preparative procedures and purity assessment of collagen proteins. Chromatography B* Vol. 790(1-2) : 245-275
- Dhinakaran DI, Lipton AP. 2014. *Bioactive compounds from Holothuria atra of Indian ocean. SpringerPlus* Vol. 3 : 1-10
- Di Costanzo L, Dutta S, Burley SK. 2018. *Amino acid modifications for conformationally constraining naturally occurring and engineered peptide backbones: Insights from the Protein Data Bank. Biopolymers* Vol. 109(10) : 23230
- Dwijayanti E, Munadi R, Farnatubun MW. 2023. Analisis proksimat dan kolagen pada kulit ikan tawassang (*Naso thynnoides*). *ILTEK: Jurnal Teknologi* Vol. 18(02) : 103-107
- Eastoe JE. 1955. *The amino acid composition of mammalian collagen and gelatin. Biochemical* Vol. 61(4) : 589
- Egunlusi AO, Joubert J. 2024. *NMDA receptor antagonists: emerging insights into molecular mechanisms and clinical applications in neurological disorders. Pharmaceuticals* Vol. 17(5) : 639
- El fadili M, Er-rajy M, Imtara H, Kara M, Zarougui S, Altwaijry N, Al kamaly O, Al Sfouk A, Elhallaoui M. 2022. *3D-QSAR, ADME-Tox in silico prediction and molecular docking studies for modeling the analgesic activity against neuropathic pain of novel NR2B-selective NMDA receptor antagonists. Processes* Vol. 10(8) : 1462
- Elfidasari D, Noriko N, Wulandari N, Perdana AT. 2012. Identifikasi jenis teripang genus *Holothuria* asal perairan sekitar Kepulauan Seribu berdasarkan perbedaan morfologi. *Al-Azhar Indonesia Seri Sains Dan Teknologi* Vol. 1(3) : 140-146

- Elsiana I, Ulum K, Kurnia KA, Widyatamaka SQ, Paujiah S. 2023. Review artikel: *docking* molekuler obat anti diabetes melitus. *Pharmaceutical and Sciences* Vol. : 541-554
- Engel J, Bächinger HP. 2005. *Structure, stability and folding of the collagen triple helix*. *Collagen: Primer in Structure, Processing and Assembly* Vol. : 7-33
- Erizal E, Abbas BGSS, Sudirman S. 2014. Pengaruh iradiasi gamma pada sifat fisiko-kimia kolagen dalam larutan. *Sains Materi Indonesia* Vol. 14(4) : 221-225
- Eser BE, Gozde KI. 2021. *Marine collagen*. *Studies in Natural Products Chemistry* Vol. 71 : 121-139
- Esmat AY, Said MM, Soliman AA, El-Masry KSH, Badica EA. 2013. *Bioactive compounds, antioxidant potential, and hepatoprotective activity of sea cucumber (Holothuria atra) against thioacetamide intoxication in rats*. *Nutrition* Vol. 29(1) : 258-267
- Fajar IRF. 2021. *Isolasi dan formulasi nanopartikel kolagen dari kulit dan sisik ikan kakap merah*. Penerbit NEM
- Fakhirah MA, Banowati ND, Nurjanah Y, Nurulaini SN, Athaya S, Muchtaridi M, Rusdin A, Mardisanutol HT. 2023. *Indonesian Journal of Biological Pharmacy* Vol. 3(2) :106-119
- Fawzya YN, Chasanah E, Poernomo A, Khirzin MH. 2016. Isolasi dan karakterisasi parsial kolagen dari teripang gamma (*Stichopus variegatus*). *Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan* Vol. 11(1) : 91-100
- Feral JP, Massin C. 2020. *Digestive systems: holothuroidea*. In *Echinoderm nutrition* (pp. 191-212). CRC Press
- Firani NK. 2017. *Metabolisme karbohidrat: tinjauan biokimia dan patologis*. Universitas Brawijaya Press
- Fitri DA, Hermanto S, Azizah YN. 2023. Studi penambatan molekul peptida bioaktif kacang kedelai (*Glycine max*) hasil hidrolisis in silico terhadap reseptor hER- α (3ERT). *Kimia Padjadjaran* Vol. 1(2) : 122-130
- Fitri N. 2014. Butylated hydroxyanisole sebagai bahan aditif antioksidan pada makanan dilihat dari perspektif kesehatan. *Kefarmasian Indonesia* Vol. 41-50
- Fonnum F. 1984. *Glutamate: a neurotransmitter in mammalian brain*. *Neurochemistry* Vol. 42(1) : 1-11
- Friess W. 1998. *Collagen-biomaterial for drug delivery*. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* Vol. 45(2) : 113-136
- García-Ortegón M, Simm GNC, Tripp AJ, Hernández-Lobato JM, Bender A, Bacallado S. 2022. *DOCKSTRING: easy molecular docking yields better benchmarks for ligand design*. *Chemical Information and Modeling* Vol. 62(15) : 3486-3502

- Geahchan S, Baharlouei P, Rahman A. 2022. *Marine collagen: a promising biomaterial for wound healing, skin anti-aging, and bone regeneration. Marine Drugs* Vol. 20(1) : 61
- Gianto MS, Putri RMS. 2017. Komposisi kandungan asam amino pada teripang emas (*stichopus horens*) di perairan Pulau Bintan, Kepulauan Riau. *Teknologi Hasil Perikanan* Vol. 6(2) : 186-192
- Gimat A. 2016. *Comprehension of cellulose depolymerisation mechanisms induced by iron ions*. Université Pierre et Marie Curie
- Gondim AI, De Moura RB, Christoffersen ML, Dias TLP. 2018. *Taxonomic guide and historical review of echinoids (Echinodermata: Echinoidea) from northeastern Brazil. Zootaxa* Vol. 4529(1) : 1-72
- Gorin PAJ. 1981. *Carbon-13 nuclear magnetic resonance spectroscopy of polysaccharides. In Advances in carbohydrate chemistry and biochemistry (Vol. 38 : 13-104)*. Elsevier
- Gulcin İ, Alwasel SH. 2023. *DPPH radical scavenging assay. Processes* Vol. 11(8) : 2248
- Gumiwang WDN, Setiowati FK. 2024. Analisis molekuler docking senyawa daun sirsak (*Annona muricata* L.) sebagai antidepresan terhadap reseptor monoamine oxidase a. *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati* Vol. : 247-257
- Gunawan F, Suptijah P, Uju U. 2017. Extraction and characterization gelatin of skin mackerel (*Scomberomorus commersonii*) from Province Bangka Belitung Island. *Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* Vol. 20(3) : 568-581
- Gustini N, Hapsari Y, Syahputra G, Rosyidah A. 2022. Profil asam amino kolagen larut asam teripang pasir (*Holothuria scabra*). *Sains Nasional Dan Teknologi* Vol. 12(1) : 72-77
- Gustini N, Syahputra G, Hapsari Y. 2022. Ekstraksi dan karakterisasi parsial kolagen larut asam dari teripang pasir (*Holothuria Scabra*). *Sains Nasional Dan Teknologi* Vol. 12(1) : 55-60
- Hames D, Hooper N. 2006. *BIOS instant notes in biochemistry*. Taylor and Francis
- Handayani S, Kurniawati I, Rasyid FA. 2020. Uji Aktivitas antioksidan ekstrak daun karet kebo (*Ficus elastica*) dengan metode peredaman radikal bebas Dpph (*1, 1-Diphenyl-2-Picrylhydrazil*). *Farmasi Galenika* Vol. 6(1) : 141-150
- Haris MA. 2008. Pemanfaatan limbah tulang ikan nila (*Oreochromis niloticus*) sebagai gelatin dan pengaruh lama penyimpanan pada suhu ruang
- Harris M, Potgieter J, Ishfaq K, Shahzad M. 2021. *Developments for collagen hydrolysate in biological, biochemical, and biomedical domains: A comprehensive review. Materials* Vol. 14(11) : 2806
- Hartati R, Meirawati E, Redjeki S, Riniatsih I, Mahendrajaya RT. 2018. Jenis-jenis bintang laut dan bulu babi (Asteroidea, Echinoidea: Echinodermata) di perairan Pulau Cilik, Kepulauan Karimunjawa. *Kelautan Tropis* Vol. 21(1) :

41-48

- Harussani MM, Sapuan SM, Iyad M, Wong HKA, Farouk ZI, Nazrin A. 2023. *Collagen based composites derived from marine organisms: As a solution for the underutilization of fish biomass, jellyfish and sponges. Composites from the Aquatic Environment* Vol. : 245-274
- Hasan H, Thomas NA, Hiola F, Ramadhani FN, Ibrahim AS. 2022. Skrining fitokimia dan uji aktivitas antioksidan kulit batang matoa (*Pometia pinnata*) dengan metode 1, 1-diphenyl-2 picrylhydrazyl (DPPH). *Indonesian Journal of Pharmaceutical Education* Vol. 2(1) : 67-73
- Hasim H, Arifin YY, Andrianto D, Faridah DN. 2019. Ekstrak etanol daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*) sebagai antioksidan dan antiinflamasi. *Aplikasi Teknologi Pangan* Vol. 8(3) : 86-93
- He Y, Zhu Q, Chen M, Huang Q, Wang W, Li Q, Huang Y, Di W. 2016. *The changing 50% inhibitory concentration (IC50) of cisplatin: a pilot study on the artifacts of the MTT assay and the precise measurement of density-dependent chemoresistance in ovarian cancer. Oncotarget* Vol. 7(43) : 70803
- Heimann RB. 2020. *Materials for medical application*. Walter de Gruyter GmbH and Co KG
- Herawati E, Akhsanitaqwim Y, Agnesia P, Listyawati S, Pangastuti A, Ratriyanto A. 2022. *In vitro antioxidant and antiaging activities of collagen and its hydrolysate from mackerel scad skin (Decapterus macarellus). Marine Drugs* Vol. 20(8) : 516
- Hisam LMF, Kusrini K, Taharu FI. 2022. Identifikasi jenis-jenis teripang (holothuroidea) pada zona intertidal Di Perairan Laut Kelurahan Gu Timur Kecamatan Lakudo Kabupaten Buton Tengah. *Penalogik: Penelitian Biologi Dan Kependidikan* Vol. 1(1) : 1-10
- Hore PJ. 2015. *Nuclear magnetic resonance*. Oxford University Press
- Ilayaraja M, Sharmilaparveen S, Sayeekannan R. 2014. *Synthesis and adsorption properties of chitosan cross linked with phenol-formaldehyde resin for the removal of heavy metals and dyes from water. Applied Chemistry* Vol. 7 : 16-26
- Innaya A, Putri RR, Abida IW. 2024. Inventarisasi teripang pada perairan Socah Bangkalan, Madura. *Fisheries and Marine Research* Vol. 8(2) : 101-110
- Jabłońska-Trypuć A, Matejczyk M, Rosochacki S. 2016. *Matrix metalloproteinases (MMPs), the main extracellular matrix (ECM) enzymes in collagen degradation, as a target for anticancer drugs. Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry* Vol. 31(1) : 177-183
- Jacob AM, Lingga LAB. 2012. Karakteristik protein dan asam amino daging rajungan (*Portunus pelagicus*) akibat pengukusan. *Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* Vol. 15(2)
- Januarsa IN, Luthfi OM. 2017. Community based coastal conservation in Buleleng,

- Bali Konservasi Pantai berbasis masyarakat Di Buleleng, Bali. *Ecsofim Journal of Economic and Social of Fisheries and Marine* Vol. 4(02) : 166-173
- Jayathilake NJ, Wimalagunaratna ND, Wijesekara I, Gunathilake VK. 2023. *Holothuria atra: an underutilized marine resource for nutritional and collagen benefits*. *Asian J. Biotechnol. Bioresour. Technol* Vol. 9(3) : 41-51
- Jena S, Dutta J, Tulsiyan KD, Sahu AK, Choudhury SS, Biswal HS. 2022. *Noncovalent interactions in proteins and nucleic acids: Beyond hydrogen bonding and π -stacking*. *Chemical Society Reviews* Vol. 51(11) : 4261-4286
- Kalauw SA, Sihasale DA, Manakane SE. 2024. Kajian faktor-faktor penyebab kerusakan ekosistem terumbu karang pada wilayah pesisir Pantai Negeri Assilulu Kecamatan Leihitu Kabupaten Maluku Tengah. *Pendidikan Geografi Unpatti* Vol. 3(1) : 70-77
- Kar K, Ibrar S, Nanda V, Getz TM, Kunapuli SP, Brodsky B. 2009. *Aromatic interactions promote self-association of collagen triple-helical peptides to higher-order structures*. *Biochemistry* Vol. 48(33) : 7959-7968
- Katili AS. 2009. Struktur dan fungsi protein kolagen. *Pelangi Ilmu* Vol. 2(5)
- Kechi EL, Inah BE, Edet HO, Louis H. 2023. *Studies on thiophene-thiazole-carbohydrazides as methicillin-resistant staphylococcus aureus (MRSA) agents: insight from DFT and molecular docking simulation*. *Chemical Physics Impact* Vol. 7 : 100271
- Khairunnisah K. 2024. Keanekaragaman bintang laut (Asteroidea) di Pantai Awang Kabupaten Lombok Tengah. *Biocaster: Jurnal Kajian Biologi* Vol. 4(1) : 15-23
- Khetrapal CL, Kunwar A, Tracey AS, Diehl P. 2013. *Nuclear magnetic resonance studies in lyotropic liquid crystals: nuclear magnetic resonance studies in lyotropic liquid crystals*
- Khirzin MH, Sukarno S, Yuliana ND, Fawzya YN, Chasanah E. 2015. Aktivitas inhibitor enzim pengubah angiotensin (ACE) dan antioksidan peptida kolagen dari teripang gama (*Stichopus variegatus*). *Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan* Vol. 10(1) : 27-35
- Khirzin MH, Sukarno S, Yuliana ND, Susanti LY, Chasanah E, Fawziya YN. 2017. *Collagen from sea cucumber (Stichopus variegatus) as an alternative source of halal collagen*. *UNEJ E* Vol. : 111-113
- Klebe G. 2025. *Inhibitors of hydrolyzing metalloenzymes. In Drug Design: From Structure and Mode-of-Action to Rational Design Concepts (pp. 427-450)*. Springer
- Kolanus JP, Hadinoto S, Idrus S. 2019. Karakteristik kolagen larut asam dari kulit ikan tuna (*Thunnus albacores*) dengan metode hidroekstraksi. *Indonesian Journal of Industrial Research* Vol. 11(1) : 99-110
- Kombongkila O, Taunaumang H, Tumimomor FR. 2024. Analisis struktur film tipis disperse orange-3 hasil FTIR. *FisTa: Fisika Dan Terapannya* Vol. 5(1) :

45-50

- Kong J, Yu S. 2007. *Fourier transform infrared spectroscopic analysis of protein secondary structures*. *Acta Biochimica et Biophysica Sinica* Vol. 39(8) : 549-559
- Krisnaneney DF. 2022. *Pengaruh penambahan transglutaminase terhadap gugus fungsi dan profil asam amino gelatin kulit ikan patin (Pangasius hypophthalmus)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Kumar R, Saran S. 2021. *Comparative modelling unravels the structural features of eukaryotic TCTP implicated in its multifunctional properties: an in silico approach*. *Molecular Modeling* Vol. 27(2) : 20
- Kumayanjati B. 2020. Teripang sebagai salah satu sumber kolagen. *Oseana* Vol. 45(1) : 17-27
- Lang BJ, Donelson JM, Caballes CF, Uthicke S, Doll PC, Pratchett MS. 2022. *Pengaruh suhu tinggi terhadap kinerja dan kelangsungan hidup bintang laut mahkota duri pasifik (Acanthaster cf. solaris)*. *Biologi Kelautan* Vol. 169(4) : 43
- Larik FA, Saeed A, Channar PA, Muqadar U, Abbas Q, Hassan M, Seo SY, Bolte M. 2017. *Design, synthesis, kinetic mechanism and molecular docking studies of novel 1-pentanoyl-3-arylthioureas as inhibitors of mushroom tyrosinase and free radical scavengers*. *European Journal of Medicinal Chemistry* Vol. 141 : 273-281
- Lawrence JM. 2013. *Sea urchins: biology and ecology (Vol. 38)*. Academic press
- Lee Y, Basith S, Choi S. 2018. *Recent advances in structure-based drug design targeting class AG protein-coupled receptors utilizing crystal structures and computational simulations*. *Medicinal Chemistry* Vol. 61(1) : 1-46
- Lestari PED, Jannah AKR, Fitri MN, Azharani NA. 2024. Analisis perbandingan hplc dan teknik lain untuk deteksi antibiotik. *Termometer: Jurnal Ilmiah Ilmu Kesehatan Dan Kedokteran* Vol. 2(2) : 1-11
- Li C, Tian H, Duan L, Tian Z, Li G. 2013. *Characterization of acylated pepsin-solubilized collagen with better surface activity*. *International Journal of Biological Macromolecules* Vol. 57 : 92-98
- Li L, Yu Y, Wu W, Wang P. 2023. *Extraction, characterization and osteogenic activity of a type I collagen from starfish (Asterias amurensis)*. *Marine Drugs* Vol. 21(5) : 274
- Li L, Yu Y, Wu W, Wang P. 2023. *Extraction, characterization and osteogenic activity of a type I collagen from starfish (Asterias amurensis)*. *Marine Drugs* Vol. 7(7) : 274
- Li PH, Lu WC, Chan YJ, Ko WC, Jung CC, Le HDT, Ji YX. 2020. *Extraction and characterization of collagen from sea cucumber (Holothuria cinerascens) and its potential application in moisturizing cosmetics*. *Aquaculture* Vol. 515 : 734590

- Lichtigfeld FJ. 1972. *Amino acids in relation to central neuro-transmission and possible relevance in human disease. Transactions of the Royal Society of South Africa* Vol. 40(2) : 101-108
- Liu N, Wang X, Wu H, Lv X, Xie H, Guo Z, Wang J, Dou G, Zhang C, Sun M. 2021. *Computational study of effective matrix metalloproteinase 9 (MMP9) targeting natural inhibitors. Aging (Albany NY)* Vol. 13(19) : 22867
- Liu W, Jiang X, Zu Y, Yang Y, Liu Y, Sun X, Xu Z, Ding H, Zhao Q. 2020. *A comprehensive description of GluN2B-selective N-methyl-D-aspartate (NMDA) receptor antagonists. European Journal of Medicinal Chemistry* Vol. 200 : 112447
- Lodhi MS, Bibi M, Kök G, Rehman HM, Sharif S, Salman Y, Sajjad M, Ali EA, Ullah R, Ali G. 2025. Synthesis, characterization, and in vitro anti-cancer studies of triazine core schiff base against breast cancer. *Molecular Structure* Vol. : 142343
- Lourtie A, Eeckhaut I, Mallefet J, Savarino P, Isorez M, Mussoi L, Bischoff H, Delroisse J, Hédouin L, Gerbaux P. 2023. *Species-specific metabolites mediate host selection and larval recruitment of the symbiotic seastar shrimp. Scientific Reports* Vol. 13(1) :12674
- Lu Y, Li H, Wang M, Liu Y, Feng Y, Liu K, Tang H. 2018. *Cytotoxic polyhydroxysteroidal glycosides from starfish Culcita novaeguineae. Marine Drugs* Vol. 16(3) : 92
- Luhulima Y, Zamani NP, Bengen DG. 2020. Kepadatan dan pola pertumbuhan teripang *Holothuria scabra*, *Holothuria atra* dan *Bohadchia marmorata* serta asosiasinya dengan lamun di pesisir Pulau Ambon, Saparua, Osi dan Marsegu, Provinsi Maluku. *Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis* Vol. 12(2) : 541-554
- Luthfi OM, Iliani R. 2020. Kelimpahan predator bentik (*Acanthaster planci*) di Perairan Putri Menjangan, Kabupaten Buleleng, Bali. *Innovation and Applied Technology* Vol. 6(1) : 931-940
- Mah CL. 2023. *A new species of 'Astrosarkus' from Western Australia including new mesophotic occurrences of Indian Ocean Oreasteridae (Valvatida, Asteroidea). Memoirs of Museum Victoria* Vol. 82 : 143-165
- Mah CL, Blake DB. 2012. *Global diversity and phylogeny of the Asteroidea (Echinodermata). PloS One* Vol. 7(4) : 35644
- Malino PF, Annawaty A. 2020. Kelimpahan bintang laut mahkota duri (*Acanthaster planci* L.) di Teluk Tomini, Sulawesi Tengah. *Biocolebes* Vol. 14(2) : 168-176
- Manongko PS, Sangi MS, Momuat LI. 2020. Uji senyawa fitokimia dan aktivitas antioksidan tanaman patah tulang (*Euphorbia tirucalli* L.). *Mipa* Vol. 9(2) : 64-69
- Mardani A, Purwanti F, Rudiyaniti S. 2018. Strategi pengembangan ekowisata berbasis masyarakat di Pulau Pahawang Propinsi Lampung. *Management of Aquatic Resources (MAQUARES)* Vol. 6(1) : 1-9

- Marlowe AE, Singh A, Yingling YG. 2012. *The effect of point mutations on structure and mechanical properties of collagen-like fibril: A molecular dynamics study. Materials Science and Engineering: C* Vol. 32(8) : 2583-2588
- Marsoedi M, Guntur G, Mulyani LF. 2020. Identifikasi kesesuaian lahan budidaya teripang pasir (*Holothuria scabra*) berdasarkan parameter kimia menggunakan sistem informasi geografis di Perairan Lombok Barat. *Perikanan Unram* Vol. 10(1) : 1-7
- Matei E, Gaidau C, Răpă M, Stefan LM, Ditu LM, Predescu AM, Stanca M, Pantilimon MC, Berechet MD, Predescu C. 2021. *Sustainable coated nanostructures based on alginate and electrospun collagen loaded with antimicrobial agents. Coatings* Vol. 11(2) : 121
- Matrutty M, Wakano D, Suriani S. 2021. Struktur komunitas teripang (holothuroidea) di Perairan Pantai Desa Namtabung Kecamatan Selaru Kabupaten Kepulauan Tanimbar. *Triton* Vol. 17(1) : 10-17
- Mauliza R, Prihadi DJ, Syamsuddin ML. 2016. Keterkaitan kepadatan predator karang bintang laut berduri (*Acanthaster placi*) terhadap kondisi terumbu karang di perairan Pulau Batu Malang Peny, Kepulauan Belitung. *Perikanan Kelautan* Vol. 7(2)
- Millan M, Teinturier S, Malespin CA, Bonnet JY, Buch A, Dworkin JP, Eigenbrode JL, Freissinet C, Glavin DP, Navarro-González R. 2022. Organic molecules revealed in mars's bagnold dunes by curiosity's derivatization experiment. *Nature Astronomy* Vol. 6(1) : 129-140
- Molyneux P. 2004. *The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. Songklanakarin J. Sci. Technol* Vol. 26(2) : 211-219
- Mufida I, Pertiwi MP, Rostikawati RT. 2023. *Diversity of Echinoderms in Drini Beach Gunung Kidul, Yogyakarta. Ilmu Dasar* Vol. 1
- Muhaemin M, Oktora MFP, Efendi SE. 2023. *The initial echinoderms community structure in seagrass bed of marine tourism area: Mahitam Island and Ketapang Beach, Lampung. Ilmu Perikanan Dan Sumberdaya Perairan* Vol. 12(1) : 1423-1434
- Mujtahidah T, Sari DN, Putri DU, Mainassy MC, Ode I, Yusuf MA, Retno R, Mulyani LF, Abidin Z, Sari YP. 2023. *Budidaya Perikanan*. TOHAR MEDIA
- Mulia DS, Husin A, Wuliandari JR. 2022. Kandungan asam amino tepung bulu ayam yang difermentasi dengan *Bacillus licheniformis* B2560 dan *Bacillus subtilis* sebagai bahan baku pakan ikan. *Sainteks* Vol. 18(2) : 155-167
- Müller N, Schwarz MJ. 2006. *Neuroimmune-endocrine crosstalk in schizophrenia and mood disorders. Expert Review of Neurotherapeutics* Vol. 6(7) : 1017-1038
- Munteanu IG, Apetrei C. 2021. *Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. International Journal of Molecular Sciences* Vol. 22(7) :

3380

- Mutee AF, Salhimi SM, Ghazali FC, Aisha AFA, Pin LC, Ibrahim K, Asmawi MZ. 2012. *Evaluation of anti-cancer activity of Acanthester planci extracts obtained by different methods of extraction. Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences* Vol. 25(4)
- Muthia R, Saputri R, Verawati SA. 2019. Uji aktivitas antioksidan ekstrak etanol kulit buah mundar (*Garcinia forbesii king*) menggunakan metode DPPH (2, 2-Diphenyl-1-Picrylhydrazil). *Pharmascience* Vol. 6(1) : 74-82
- Muttaqin FZ. 2019. *Molecular docking and molecular dynamic studies of stilbene derivative compounds as sirtuin-3 (Sirt3) histone deacetylase inhibitor on melanoma skin cancer and their toxicities prediction. Pharmacopolium* Vol. 2(2)
- Nagarajan P, Sivakumar AS, Govindasamy C, El Newehy AS, Louis LRP, Sivanandham M, Rangarajulu K, Sangeetha CC, Ghidan AY, Ghidan AY. 2024. *Molecular perspective on starfish tissue extracts: targeting human carcinoma KB cells for anticancer therapy. King Saud University-Science* Vol. 36(2) : 103035
- Negara IKS. 2021. *Matriks metalloproteinase pada ketuban pecah dini*. Deepublish
- Ngoan BT, Hanh TTH, Diep CN, Thao NP, Van TN, Cuong NX, Nam NH, Thung DC, Van KP, Van MC. 2015. *A polyhydroxylated sterol and a saponin isolated from the starfish culcita novaeguineae. Vietnam Journal of Chemistry* Vol. 53(2) : 23-27
- Nguyen J, Kiso Y. 2015. *Delivery of peptide drugs. Peptide Chemistry and Drug Design* Vol. 271-310
- Nimni ME, Harkness RD. 2018. *Molecular structure and functions of collagen. In Collagen (pp. 1-78). CRC Press*
- Ningsih RZ, Taib EN, Agustina E. 2019. Karakteristik filum echinodermata di Pulau Dua Kabupaten Aceh Selatan. *Biologi, Teknologi Dan Kependidikan* Vol. 6(1)
- Nograpy T, Weaver DF. 2005. *Medicinal chemistry: a molecular and biochemical approach*. Oxford University Press
- Noviardi H, Ratnasari D, Fermadianto M. 2019. Formulasi sediaan krim tabir surya dari ekstrak etanol buah bisbul (*Diospyros blancoi*). *Ilmu Kefarmasian Indonesia* Vol. 17(2) : 262-271
- Nurilmala M, Hizbullah HH, Karnia E, Kusumaningtyas E, Ochiai Y. 2020. *Characterization and antioxidant activity of collagen, gelatin, and the derived peptides from yellowfin tuna (Thunnus albacares) skin. Marine Drugs* Vol. 18(2) : 98
- Nursakinah N, Rahman I, Buhari N. 2024. Keanekaragaman dan kelimpahan bintang laut di daerah pesisir Dusun Pandanan, Kecamatan Sekotong Barat, Kabupaten Lombok Barat. *Sains Teknologi Dan Lingkungan* Vol. 10(2) : 231-

- Nuryadin M, Kurnia A, Muskita WH, Hamzah M, Idris M. 2023. Profil asam amino dan pertumbuhan ikan kerapu cantang (*Epinephelus lanceolatus* dan *Epinephelus fuscoguttatus*) yang diberi jenis tepung ikan berbeda. *JSIPi* Vol. 7(2) : 166-174
- O'Hara T, Byrne M. 2017. *Australian echinoderms: biology, ecology and evolution*. CSIRO publishing
- O'Hara TD, Hugall AF, Thuy B, Moussalli A. 2014. *Phylogenomic resolution of the class Ophiuroidea unlocks a global microfossil record*. *Current Biology* Vol. 24(16) : 1874-1879
- Obukhova ES, Rozhina AM, Voronin VP, Dgebuadze PY, Murzina SA. 2022. *Antimicrobial activity of lipid extracts of echinoderms in the Nhatrang Bay (South China Sea)*. *Doklady Biochemistry and Biophysics* Vol. 503(1) : 59-66
- Pace CN, Fu H, Lee Fryar K, Landua J, Trevino SR, Schell D, Thurlkill RL, Imura S, Scholtz JM, Gajiwala K. 2014. *Contribution of hydrogen bonds to protein stability*. *Protein Science* Vol. 23(5) : 652-661
- Palumpun EF, Wiraguna AAGP, Pangkahila W. 2017. Pemberian ekstrak daun sirih (*Piper betle*) secara topikal meningkatkan ketebalan epidermis, jumlah fibroblas, dan jumlah kolagen dalam proses penyembuhan luka pada tikus jantan galur wistar (*Rattus norvegicus*). *EBiomedik* Vol. 5(1)
- Pamungkas BF, Supriyadi MA, Indrati R. 2018. Ekstraksi dan karakterisasi kolagen larut asam dan pepsin dari sisik haruan (*Channa striatus*) kering. *Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* Vol. 21(3) : 513-521
- Pamungkas BT, Rezaldi F, Suminar E, Ginari RP, Trisnawati D. 2025. Potensi aktivitas antioksidan pada tanaman obat yang dihasilkan oleh mikroba endofit sebagai potensi rekayasa genetika molekuler melalui gen editing (kajian pustaka). *JAGO TOLIS: Jurnal Agrokomples Tolis* Vol. 5(2) : 99-112
- Pamungkas JD, Anam K, Kusri D. 2016. Penentuan total kadar fenol dari daun kersen segar, kering dan rontok (*Muntingia calabura* L.) serta uji aktivitas antioksidan dengan metode DPPH. *Kimia Sains Dan Aplikasi* Vol. 19(1) : 15-20
- Parcheta M, Świsłocka R, Orzechowska S, Akimowicz M, Choińska R, Lewandowski W. 2021. *Recent developments in effective antioxidants: The structure and antioxidant properties*. *Materials* Vol. 14(8) : 1984
- Park SY, Lim HK, Lee S, Hwang HC, Cho SK, Cho M. 2012. *Pepsin-solubilised collagen (PSC) from Red Sea cucumber (Stichopus japonicus) regulates cell cycle and the fibronectin synthesis in HaCaT cell migration*. *Food Chemistry* Vol. 132(1) : 487-492
- Parra-Luna M, Martín-Pozo L, Hidalgo F, Zafra-Gómez A. 2020. *Common sea urchin (Paracentrotus lividus) and sea cucumber of the genus Holothuria as bioindicators of pollution in the study of chemical contaminants in aquatic*

media. A revision. Ecological Indicators Vol. 113 : 106185

- Pasaribu P, Sari NI, Iriani D. 2021. Karakteristik kolagen cangkang kijing (*Pilsbryoconcha* sp.) dari perairan sungai paku diekstrak dengan konsentrasi asam asetat berbeda. *Berkala Perikanan Terubuk* Vol. 49(2)
- Permata P, Suryono LFFW, Endrawati H, Zai-nuri M, Hartati R. 2021. Hubungan panjang berat teripang *Holothuria atra* di Pulau Panjang, Jepara. *Buletin Oseanografi Mari-Na* Vol. 10(2) : 123-132
- Pesek M, Juvan A, Jakoš J, Košmrlj J, Marolt M, Gazvoda M. 2020. *Database independent automated structure elucidation of organic molecules based on IR, 1H NMR, 13C NMR, and MS data. Chemical Information and Modeling* Vol. 61(2) : 756-763
- Petie R, Hall MR, Hyldahl M, Garm A. 2016. *Visual orientation by the crown-of-thorns starfish (Acanthaster planci). Coral Reefs* Vol. 35 : 1139-1150
- Petrov AG. 1999. *The lyotropic state of matter: molecular physics and living matter physics*. CRC Press
- Phuyal N, Jha PK, Raturi PP, Rajbhandary S. 2020. *Total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activities of fruit, seed, and bark extracts of Zanthoxylum armatum DC. The Scientific World Journal* Vol. 2020(1) : 8780704
- Pimentel CS, Bual RP, Bantilan ZC, Ducao PG, Bacosa HP. 2024. *Characterization of acid-soluble collagen (ASC) from milkfish (Chanos chanos) heads. Philippine Journal of Science* Vol. 153(6B) : 2415-2420
- Potaros T, Raksakulthai N, Runglerdkreangkrai J, Worawattanamateekul W. 2009. *Characteristics of collagen from nila tilapia (Oreochromis niloticus) skin isolated by two different methods. Agriculture and Natural Resources* Vol. 43(3) : 584-593
- Praba P, Purwanti L, Kodir RA. 2019. Perbandingan metode ekstraksi kolagen dari limbah gelembung renang ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dan karakterisasinya. *Farmasi ISSN* Vol. 2460 : 6472
- Prajaputra V, Isnaini N, Maryam S, Ernawati E, Deliana F, Haridhi HA, Fadli N, Karina S, Agustina S, Nurfadillah N. 2024. *Exploring marine collagen: Sustainable sourcing, extraction methods, and cosmetic applications. South African Journal of Chemical Engineering* Vol. 47(1) : 197-211
- Prastyo DT, Trilaksani W. 2020. Aktivitas antioksidan hidrolisat kolagen kulit ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* Vol. 23(3) : 423-433
- Pratama RI, Rostini I, Rochima E. 2018. Profil asam amino, asam lemak dan komponen volatil ikan gurame segar (*Osphronemus gouramy*) dan kukus. *Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* Vol. 21(2) : 218-231
- Pratiwi L, Fudholi A, Martien R, Pramono S. 2016. *Ethanol extract, ethyl acetate extract, ethyl acetate fraction, and n-heksan fraction mangosteen peels*

- (*Garcinia mangostana* L.) as source of bioactive substance free-radical scavengers. *JPSCR: Journal of Pharmaceutical Science and Clinical Research* Vol. 1(2) : 71-82
- Prayoga DGE, Nocianitri KA, Puspawati NN. 2019. Identifikasi senyawa fitokimia dan aktivitas antioksidan ekstrak kasar daun pepe (*Gymnema reticulatum* Br.) pada berbagai jenis pelarut. *Ilmu Dan Teknologi Pangan* Vol. 8(2) : 111-121
- Prévost J. 2022. *Towards the discovery and synthesis of new Arginase 1 inhibitors*. UCL-Université Catholique de Louvain
- Putri RMS. 2020. Kajian asam amino dan asam lemak dari bintang laut *Protoreaster nodosus*. *Marinade* Vol. 3(01) : 89-101
- Putri RR, Abida IW, Putri FNDF, Innaya A, Juanda SJ. 2023. Studi fenotipe dan morfometrik pada teripang dan kerang asal Perairan Socah, Bangkalan, Madura. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan Dan Perikanan* Vol. 4(4) : 402-410
- Qing R, Hao S, Smorodina E, Jin D, Zalevsky A, Zhang S. 2022. Protein design: From the aspect of water solubility and stability. *Chemical Reviews* Vol. 122(18) : 14085-14179
- Ra HJ, Parks WC. 2007. *Control of matrix metalloproteinase catalytic activity*. *Matrix Biology* Vol. 26(8) : 587-596
- Rahman VR, Bratadiredja MA, Saptarini NM. 2021. Artikel review: Potensi kolagen sebagai bahan aktif sediaan farmasi. *Majalah Farmasetika* Vol. 6(3) : 253-286
- Rahmawati R, Muflihunna A, Sarif LM. 2015. Analisis aktivitas antioksidan produk sirup buah mengkudu (*Morinda citrifolia* L.) dengan metode DPPH. *Fitofarmaka Indonesia* Vol. 2(2) : 97-101
- Ramadhiani AR, Cahyani FR, Fitriani E. 2024. Efektivitas anti-inflamasi spray gel kolagen sisik dan tulang ikan bandeng (*Chanos Chanos*). *FASKES: Jurnal Farmasi, Kesehatan, Dan Sains* Vol. 2(2) : 92-102
- Rena SR, Nurhidayah N, Rustan R. 2022. Analisis *molecular docking* senyawa *Garcinia mangostana* L sebagai kandidat anti SARS-COV-2. *Fisika Unand* Vol. 11(1) : 82-88
- Rezki MN. 2022. *Molecular docking study of secondary metabolites of watermelon (Citrullus lanatus) potentially as anti-i*. *Medical Sains: Jurnal Ilmiah Kefarmasian* Vol. 7(3) : 609-620
- Riaz T, Zeeshan R, Zarif F, Ilyas K, Muhammad N, Safi SZ, Rahim A, Rizvi SAA, Rehman IU. 2018. *FTIR analysis of natural and synthetic collagen*. *Applied Spectroscopy Reviews* Vol. 53(9) : 703-746
- Rivera-Villaseñor A, Higinio-Rodríguez F, Nava-Gómez L, Vázquez-Prieto B, Calero-Vargas I, Olivares-Moreno R, López-Hidalgo M. 2021. *NMDA receptor hypofunction in the aging-associated malfunction of peripheral tissue*. *Frontiers in Physiology* Vol. 12 : 687121

- Rohaeti E. 2020. *Kimia makromolekul tekstil antibakteri*. UNY Press.
- Rokade KA, Kumbhar DD, Patil SL, Sutar SS, More KV, Dandge PB, Kamat RK, Dongale TD. 2024. *CogniFiber: harnessing biocompatible and biodegradable 1D collagen nanofibers for sustainable nonvolatile memory and synaptic learning applications*. *Advanced Materials* Vol. 36(24) : 2312484
- Roskjær AB, Roager HM, Dragsted LO. 2024. *D-Amino acids from foods and gut microbiota and their effects in health and disease*. *Food Reviews International* Vol. 40(10) : 3196-3253.
- Rozirwan R, Muhtadi M, Ulqodry TZ, Nugroho RY, Khotimah NN, Putri WAE, Aryawati R, Mohamed CAR. 2023. *Insecticidal activity and phytochemical profiles of Avicennia marina and Excoecaria agallocha leaves extracts*. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences* Vol. 28(2)
- Rozirwan R, Nanda N, Nugroho RY, Diansyah G, Muhtadi M, Fauziyah F, Putri WAE, Agussalim A. 2023. *Phytochemical composition, total phenolic content and antioxidant activity of Anadara granosa (Linnaeus, 1758) collected from the east coast of South Sumatra, Indonesia*. *Baghdad Science* Vol. 20(4) : 1258
- Ruatpuia JVL, Changmai B, Pathak A, Alghamdi LA, Kress T, Halder G, Wheatley AEH, Rokhum SL. 2023. *Green biodiesel production from Jatropha curcas oil using a carbon-based solid acid catalyst: a process optimization study*. *Renewable Energy* Vol. 206 : 597-608
- Ruli F, Alik R, Polnaya D, Nurjirana N, Sufardin S, Afrisal M. 2020. Kelimpahan *Acanthaster planci* dan tutupan karang hidup di Perairan Pulau Saparua, Provinsi Maluku. *Penelitian Perikanan Indonesia* Vol. 26(2) : 125-133
- Rupilu K. 2022. Peranan ekosistem terumbu karang dan upaya rehabilitasi di Pulau Meti Kecamatan Tobelo Timur Kabupaten Halmahera Utara. *HIRONO: Jurnal Pengabdian Masyarakat* Vol. 2(2) : 130-139
- Rýglová Š, Braun M, Suchý T. 2017. *Collagen and its modifications crucial aspects with concern to its processing and analysis*. *Macromolecular Materials and Engineering* Vol. 302(6) : 1600460
- Safithri M, Setyaningsih I, Tarman K, Yuhendri VM, Meydia M. 2018. Potensi kolagen teripang emas sebagai inhibitor tirosinase. *Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* Vol. 21(2) : 295-303
- Safithri M, Tarman K, Suptijah P, Sagita SN. 2020. Karakteristik kolagen larut asam teripang gama (*Stichopus variegatus*). *Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* Vol. 23(1) : 166-177
- Safithri M, Tarman K, Suptijah P, Widowati N. 2019. Karakteristik fisikokimia kolagen larut asam dari kulit ikan parang-parang (*Chirocentrus dorab*). *Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* Vol. 22(3) : 441-452
- Sakinah A, Trilaksani W, Nurhayati T. 2023. Ekstraksi dan determinasi karakteristik kolagen gelembung renang ikan lencam (*Lethrinus lentjan*). *Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* Vol. 26(3)

- Salman S, Yusuf K, Hamsiah H. 2025. Indeks ekologi dan pola sebaran echinodermata di pulau Pajenekang Kabupaten Pangkep Provinsi Sulawesi Selatan. *Ilmiah Wahana Laut Lestari (JIWaLL)* Vol. 2(2) : 143-154
- Salmiyah S, Bahrudin A. 2018. Fitokimia dan antioksidan pada buah tome-tome (*Flacourtia inermis*). *Hospital Majapahit* Vol. 10(1)
- Samukange V, Yasukawa K, Inouye K. 2012. *Interaction of 8-anilinoanthracene 1-sulphonate (ANS) and human matrix metalloproteinase 7 (MMP-7) as examined by MMP-7 activity and ANS fluorescence*. *Biochemistry* Vol. 151(5) : 533-540
- Santhanam R, Ramesh S, David SRN. 2019. *Biology and ecology of pharmaceutical marine life: echinoderms*. CRC Press
- Saras T. 2023. *Kolagen: fondasi kesehatan kulit dan tubuh*. Tiram Media
- Saravanan K, Sivanandam M, Hunday G, Mathiyalagan L, Kumaradhas P. 2019. *Investigation of intermolecular interactions and stability of verubecstat in the active site of BACE1: Development of first model from QM/MM-based charge density and MD analysis*. *Biomolecular Structure and Dynamics* Vol. 37(9) : 2339-2354
- Sasria N, Afifah VN, Alfiani A, Lubis MPD, Tajalla GUN. 2024. *Pengaruh jenis pati dan variasi komposisi plasticizer terhadap karakteristik bioplastik berbasis selulosa dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS)*. Penerbit NEM
- Schaefer J, Kramer KJ, Garbow JR, Jacob GS, Stejskal EO, Hopkins TL, Speirs RD. 1987. *Aromatic cross-links in insect cuticle: detection by solid-state ^{13}C and ^{15}N NMR*. *Science* Vol. 235(4793) : 1200-1204
- Schweizer S, Bick A, Subramanian L, Krokidis X. 2014. *Influences on the stability of collagen triple-helix*. *Fluid Phase Equilibria* Vol. 362 : 113-117
- Sembiring TES, Reo AR, Onibala H, Montolalu RI, Taher N, Mentang F, Damongilala LJ. 2020. Ekstraksi kolagen tulang ikan tuna (*Thunnus* sp) dengan asam klorida. *Media Teknologi Hasil Perikanan* Vol. 8(3) : 107-110
- Setianingsih T, Prananto YP. 2020. *Spektroskopi inframerah untuk karakterisasi material anorganik*. Universitas Brawijaya Press
- Setyowati DA, Supriharyono S, Taufani WT. 2018. Bioekologi bintang laut (asteroidea) di perairan Pulau Menjangan Kecil, Kepulauan Karimunjawa. *Management of Aquatic Resources (MAQUARES)* Vol. 6(4) : 393-400
- Shivanika C, Kumar D, Ragunathan V, Tiwari P, Sumitha A. 2020. *Molecular docking, validation, dynamics simulations, and pharmacokinetic prediction of natural compounds against the SARS-CoV-2 main-protease*. *Biomolecular Structure And Dynamics* Vol. 1
- Singgih M, Permana B, Maulidya SAI, Yuliana A. 2019. Studi in silico metabolit sekunder kapang *Monascus* sp. Sebagai kandidat obat antikolesterol dan antikanker. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia* Vol. 15(1) : 104-123

- Singh P, Benjakul S, Maqsood S, Kishimura H. 2011. *Isolation and characterisation of collagen extracted from the skin of striped catfish (Pangasianodon hypophthalmus)*. *Food Chemistry* Vol. 124(1) : 97-105
- Sirivibulkovit K, Nouanthavong S, Sameenoi Y. 2018. *Based DPPH assay for antioxidant activity analysis*. *Analytical Sciences* Vol. 34(7) : 795-800
- Sohrab SS, Kamal MA. 2022. Screening, docking, and molecular dynamics study of natural compounds as an anti-HER2 for the management of breast cancer. *Life* Vol. 12(11) : 1729
- Srinivasan B, Lloyd MD. 2024. *Dose-response curves and the determination of ic50 and ec50 values*. *Medicinal Chemistry* Vol. 67(20) : 17931-17934
- Stabili L, Acquaviva MI, Cavallo RA, Gerardi C, Narracci M, Pagliara P. 2018. Screening of three echinoderm species as new opportunity for drug discovery: Their bioactivities and antimicrobial properties. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* Vol. 2018(1) : 7891748
- Stöhr S. 2021. *Phylum echinodermata*. In *invertebrate zoology* (pp. 533-562). CRC Press
- Stothers J. 2012. *Carbon-13 nmr spectroscopy: organic chemistry, a series of monographs (Vol. 24)*. Elsevier
- Sumbono A. 2021. *Protein seri biokimia pangan dasar*. Deepublish
- Suprayitno E, Sulistiyati TD. 2017. *Metabolisme protein*. Universitas Brawijaya Press
- Suptijah P, Indriani D, Wardoyo SE. 2018. Isolasi dan karakterisasi kolagen dari kulit ikan patin (*Pangasius* sp.). *Sains Natural* Vol. 8(1) : 8-23
- Suryani AI, Pringgenies D, Setyati WA. 2024. Potensi antioksidan dan karakterisasi pada kolagen teripang (*Stichopus horrens*). *Kelautan Tropis* Vol. 27(3) : 499-506
- Suryanti S. 2019. *Buku ajar bioekologi phylum echinodermata*
- Susilo A, Cahyati M, Pranowo D, Masyithoh D, Al Awwaly KU, Hermanto FE. 2023. *Simulasi molekuler pada bidang pangan fungsional: prinsip dasar dan tutorial*. Universitas Brawijaya Press
- Suwandi R, Nurjanah N, Maharani S. 2019. *Handling time difference of weight, proximate composition, and amino acid on steamed crab*. *Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* Vol. 22(1) : 128-135
- Suwondo BS, Meliala L. 2017. *Buku ajar nyeri*. Perkumpulan Nyeri Indonesia
- Syaban MFR, Putra GFA, Vadhana RA, Muhyiddin AAA, Farida LD, Sabila FL, Haitsam M, Santoso WM. 2023. *Molecular docking analysis and dynamics simulation of ethanol extract of Citrus sinensis as a Keap1 and NMDA inhibitor in brain injury*. *World Academy of Sciences* Vol. 5(2) : 14
- Syafira W, Fazri RA, Rahmatillah AU, Liany SA. 2022. Inventarisasi filum

- echinodermata di perairan Pulau Lima Dan Pulau Kambing, Kecamatan Kasemen, Kota Serang, Banten. *Tropical Bioscience: Journal Of Biological Science* Vol. 2(1) : 11-18
- Syahputra G, Hariyatun H, Firdaus M, Santoso P. 2021. *Extraction and characterization of collagen from sand sea cucumber (Holothuria scabra)*. *Ilmu Pertanian Indonesia* Vol. 26(3) : 319-327
- Tam EM, Wu YI, Butler GS, Stack MS, Overall CM. 2002. *Collagen binding properties of the membrane type-1 matrix metalloproteinase (MT1-MMP) hemopexin C domain: the ectodomain of the 44-kDa autocatalytic product of MT1-MMP inhibits cell invasion by disrupting native type I collagen cleavage*. *Biological Chemistry* Vol. 277(41) : 39005-39014
- Tan L, Sun W, Li X, Zhao J, Qu Y, Choo YM, Loh SK. (2015). *Bisulfite pretreatment changes the structure and properties of oil palm empty fruit bunch to improve enzymatic hydrolysis and bioethanol production*. *Biotechnology* Vol. 10(6) : 915-925
- Tang HF, Yi YH, Li L, Sun P, Zhang SQ, Zhao YP. 2006. *Asterosaponins from the starfish Culcita novaeguineae and their bioactivities*. *Fitoterapia* Vol. 77(1) : 28-34
- Tani Y, Omatsu K, Saito S, Miyake R, Kawabata H, Ueda M, Mihara H. 2015. *Heterologous expression of l-lysine α -oxidase from Scomber japonicus in Pichia pastoris and functional characterization of the recombinant enzyme*. *Biochemistry* Vol. 157(4) : 201-210
- Theafelicia Z, Wulan SN. 2023. Perbandingan berbagai metode pengujian aktivitas antioksidan (DPPH, ABTS dan FRAP) pada teh hitam (*Camellia sinensis*). *Teknologi Pertanian* Vol. 24(1) : 35-44
- Thirunarayanan G, Elancheran R, Suppuraj P, Gunganathan L, Sivasakthikumar R, Ramkumar S, Swaminathan M. 2025. *Solid acid-catalyzed green synthesis of bis-Schiff bases: Spectroscopic, DFT, molecular docking, and ADMET studies*. *Molecular Structure* Vol. 1322 : 140603
- Vangistuti D, Irawan H, Yandri F. 2012. *Biological studies starfish gulf of dalam water in the Village Of Malang Rapat Sub District Of Gunung Kijang Regency Bintan Island Kepulauan Riau Province*
- Volikov A, Schneider H, Tarakina NV, Marzban N, Antonietti M, Filonenko S. 2024. *Artificial humic substances as sustainable carriers for manganese: Development of a novel bio-based microfertilizer*. *Biofuel Research* Vol. 11(1) : 2013-2024
- Wang J, Luo D, Liang M, Zhang T, Yin X, Zhang Y, Yang X, Liu W. 2018. *Spectrum-effect relationships between high-performance liquid chromatography (HPLC) fingerprints and the antioxidant and anti-inflammatory activities of collagen peptides*. *Molecules* Vol. 23(12) : 3257
- Wang R, Stanley T, Yao X, Liu H, Wang Y. 2022. *Collagen stabilization by natural cross-linkers: A qualitative and quantitative FTIR study on ultra-thin dentin*

- collagen model. Dental Materials* Vol. 41(3) : 440-450
- Wang Z, Xu R, Yang H, Li R, Ding J, Chang Y, Zuo R. 2024. *Vitamin e regulates the collagen contents in the body wall of sea cucumber (Apostichopus japonicus) via its antioxidant effects and the tgf- β /smads pathway. Antioxidants* Vol. 13(7) : 847
- Werdhasari A. 2014. Peran antioksidan bagi kesehatan. *Biotek Medisiana Indonesia* Vol. 59 : 68
- Wijanarko A, Ginting MJ, Sahlan M, Savitri IKE, Florensia Y, Sudiarta MR, Pastika S, Rafiki F, Hermansyah H. 2017. Saponin isolation as main ingredients of insecticide and collagen type i from crown of thorn-starfish (*Acanthaster planci*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* Vol. 89(1) : 12032
- Wijaya H, Jubaidah S, Rukayyah R. 2022. Perbandingan metode esktraksi terhadap rendemen ekstrak batang turi (*Sesbania grandiflora* L.) dengan menggunakan metode maserasi dan sokhletasi. *Indonesian Journal of Pharmacy and Natural Product* Vol. 5(1) : 1-11
- Wijayanti DA, Herawati D, Karina VM, Murdiastuti K. 2024. *Chitosan collagen hydrogel: a potential scaffold biomaterial for periodontal regenerative treatment. Interdental Jurnal Kedokteran Gigi (IJKG)* Vol. 20(1) : 124-132
- Wilharm N, Bertmer M, Knolle W, Griebel J, Elsner C, Mayr SG. 2022. *Biomimetic crosslinking of collagen gels by energetic electrons: The role of L-lysine. Acta Biomaterialia* Vol. 140 : 219-232
- Wilkie IC, Sugni M, Gupta HS, Carnevali MD, Elphick MR. 2021. *The mutable collagenous tissue of echinoderms: From biology to biomedical applications*
- Winarni I, Murniasih T, Novriyanti E, Tarman K, Safithri M, Setyaningsih I, Cahyati D, Pratama BP, Wirawati I. 2024. *The anticancer and antioxidant potential of local sea cucumber Holothuria edulis, an ecology balancer of Labuan Bajo marine ecosystem. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* Vol. 9 : 100625
- Wołosiak R, Drużyńska B, Derewiaka D, Piecyk M, Majewska E, Ciecierska M, Worobiej E, Pakosz P. 2021. *Verification of the conditions for determination of antioxidant activity by ABTS and DPPH assays A practical approach. Molecules* Vol. 27(1) : 50
- Wright DF, Ausich WI, Cole SR, Peter ME, Rhenberg EC. 2017. *Phylogenetic taxonomy and classification of the Crinoidea (Echinodermata). Paleontology* Vol. 91(4) : 829-846
- Xiao J. 2024. *Conformational and dynamic characterization of collagen mimic peptides by NMR Spectroscopy. In collagen mimetic peptides and their biophysical characterization (pp. 119-140). Springer*
- Xu J, Liu F, Goff HD, Zhong F. 2020. *Effect of pre-treatment temperatures on the film-forming properties of collagen fiber dispersions. Food Hydrocolloids*

Vol. 107 : 105326

- Yamauchi M, Mechanic GL. 2018. *Cross-linking of collagen. In collagen (pp. 157-172)*. CRC press
- Yamauchi M, Shiiba M. 2008. *Lysine hydroxylation and cross-linking of collagen. Post-Translational Modifications of Proteins: Tools for Functional Proteomics* Vol. : 95-108
- Yamauchi M, Terajima M, Shiiba M. 2019. *Lysine hydroxylation and cross-linking of collagen. Post-Translational Modification of Proteins: Tools for Functional Proteomics* Vol. 309-324
- Yd S, Em A, Yusoff A, Ssa H, Ty N, Mys A. 2013. *Extraction, purification and physical characterization of collagen from body wall of sea cucumber (Bohadschia bivitatta)*. *Environmental Health* Vol. 4(2) : 53-65
- Yuniar Z, Riyantini I, Dewanti LP, Johan O, Ismail MR. 2023. Korelasi kelimpahan biota bentik pemakan karang terhadap kesehatan terumbu karang di perairan Pulau Sabu Raijua, Nusa Tenggara Timur. *Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology* Vol. 16(1) : 17-29
- Yuniati R, Sulardiono B. 2019. *Exploration of the collagen of non commercial sea cucumber Holothuria atra and commercial sea cucumber Stichopus vastus in the Karimunjawa Islands, Indonesia*. *Indo Pacific Journal of Ocean Life* Vol. 3(1)
- Yusron E. 2010. Keanekaragaman jenis echinodermata di perairan Likupang, Minahasa Utara, Sulawesi Utara. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences* Vol. 15(2) : 85-90
- Yusuf M, Pratama BSW, Baroroh U, Gaffar S, Soedjanaatmadja UMS. 2021. Studi in silico gadolinium (iii)-diethylene triamine pentaacetic acid-folat dan modifikasinya terhadap reseptor folat sebagai senyawa pengontras untuk deteksi kanker. *Chimica et Natura Acta* Vol. 9(3) : 90-97
- Yusup MS, Yulianto B, Suryono S. 2025. Struktur komunitas teripang di Pulau Kemujan dan Pulau Sintok, Balai Taman Nasional Karimunjawa, Jepara. *Marine Research* Vol. 14(1) : 183-190
- Zavilopulo AN, Bulhakova AI. 2019. *Mass spectrometry of glutamic acid and glutamine in the gas phase*. *Technical Physics Letters* Vol. 45(12) : 1252-1257
- Zghari B, Doumenq P, Romane A, Boukir A. 2017. *GC-MS, FTIR and 1H, 13C NMR structural analysis and identification of phenolic compounds in olive mill wastewater extracted from oued Oussefrou effluent (Beni Mellal-Morocco)*. *J. Mater. Environ. Sci* Vol. 8(12) : 4496-4509
- Zhang J, Gao X, Huang J, Wang H. 2020. *Probing the interaction between human serum albumin and 9-hydroxyphenanthrene: A spectroscopic and molecular docking study*. *ACS Omega* Vol. 5(27) : 16833-16840
- Zhang Z, Yan J, Liu Q, Chen E, Zitnik M. 2023. *A systematic survey in geometric deep learning for structure-based drug design*. *ArXiv Preprint ArXiv* Vol.

2306 : 11768

Zhang X, Yin M, Zhang D, Cao D, Hou X, Xu Z, Wen C, Zhou J. 2024. *Metabolomics reveals disturbed amino acid metabolism during different stages of ra in collagen-induced arthritis mice. Inflammation* Vol. 47(5) : 1853-1867

Zhu J, Gu Z, Pei J, Lai L. 2024. *DiffBindFR: an SE (3) equivariant network for flexible protein-ligand docking. Chemical Science* Vol. 15(21) : 7926-7942