

Disertasi

**KOMUNITAS, HABITAT, DAN PEMANFAATAN
LANDAK LAUT (Echinoidea) DI INDONESIA TIMUR**



HARTATI TAMTI

L013191001

PROGRAM STUDI ILMU PERIKANAN

SEKOLAH PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024

Dissertation

**SEA URCHIN (Echinoidea) COMMUNITY, HABITAT, AND
UTILIZATION IN EASTERN INDONESIA**



HARTATI TAMTI

L013191001

STUDY PROGRAM FISHERIES SCIENCE

GRADUATE SCHOOL

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024

HALAMAN PENGAJUAN DISERTASI

**KOMUNITAS, HABITAT, DAN PEMANFAATAN
LANDAK LAUT (Echinoidea)
DI INDONESIA TIMUR**

Disertasi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar doktor

Program Studi Ilmu Perikanan

Disusun dan diajukan oleh

HARTATI TAMTI

L013191001

kepada

**PROGRAM STUDI ILMU PERIKANAN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**SEA URCHIN (Echinoidea) COMMUNITY, HABITAT, AND
UTILIZATION IN EASTERN INDONESIA**

DISSERTATION

submitted in partial fulfillment of the requirements for a doctoral degree

Study Program Fisheries Science

Prepared and submitted by

HARTATI TAMTI

L013191001

to

**GRADUATE PROGRAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

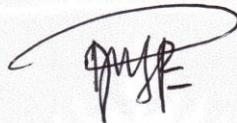
**KOMUNITAS, HABITAT, DAN PEMANFAATAN LANDAK LAUT
(Echinoidea) DI INDONESIA TIMUR**

Disusun dan diajukan oleh

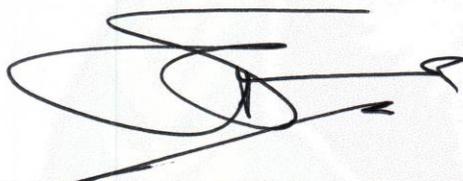
**HARTATI TAMTI
L013191001**

Telah diperiksa dan disetujui oleh

Komisi Penasehat



Prof. Dr. Ir. Rohani Ambo Rappe, M.Si
Promotor.



Prof. Dr. Ir. Sharifuddin Bin Andy Omar, M.Sc.
Ko-Promotor I



Prof. Dr. Ir. Budimawan, DEA
Ko-Promotor II

Mengetahui,

Dekan
Fakultas Ilmu Ilmu Kelautan dan Perikanan,



Prof. Safruddin, S.Pi., M.P., Ph.D.
NIP 197506112003121003

Ketua Program Studi
Ilmu Perikanan, FIKP Unhas



Prof. Dr. Ir. H. Musbir, M.Sc.
NIP 196508101989111001

HALAMAN PENGESAHAN

DISSERTATION

**SEA URCHIN (Echinoidea) COMMUNITY, HABITAT, AND
UTILIZATION IN EASTERN INDONESIA**

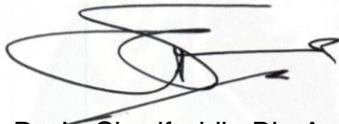
**HARTATI TAMTI
L013191001**

Has been examined and defended in front of the Dissertation Examination Committee
On 17 January 2024 and declared eligible

Approved by
Advisory Commission,

Prof. Dr. Ir. Rohani Ambo Rappe, M.Si.

Co-supervisor,



Prof. Dr. Ir. Sharifuddin Bin Andy Omar, M.Sc.

Dean of Faculty of Marine Science
and Fisheries, Hasanuddin University



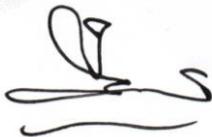
Peer Safruddin, S.Pi., M.P., Ph.D.
NIP 197506112003121003

Co-supervisor,



Prof. Dr. Ir. Budimawan, DEA

Head of Fisheries Science Study Program
Hasanuddin University



Prof. Dr. Ir. H. Musbir, M.Sc.
NIP 196508101989111001

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, disertasi dengan judul: "Komunitas, Habitat, dan Pemanfaatan Landak Laut (Echinoidea) di Indonesia Timur:" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Prof. Dr. Ir. Rohani Ambo Rappe, M.Si sebagai Promotor serta Prof. Dr. Ir. Sharifuddin Bin Andy Omar, M.Sc. dan Prof. Dr. Ir. Budimawan, DEA sebagai Co-Promotor. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan oleh penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini. Sebagian dari isi disertasi ini telah dipublikasikan di *Jurnal IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 763: 012008 (2021); doi:10.1088/1755-1315/763/1/012008, sebagai artikel dengan judul *Preliminary Assessment of Tripneustes gratilla populations in Seagrass Beds of the Spermonde Archipelago, South Sulawesi, Indonesia*. Salah satu bagian dari disertasi juga sudah dipublikasikan pada: *Indonesian Journal of Marine Science* (2023) dengan judul *Sea urchin utilisation in Eastern Indonesia*, 28(3): 231240 (2023); doi:10.14710/ik.ijms.28.3.231-240. Beberapa bagian lainnya dari disertasi ini telah berada dalam tahap *under review* untuk segera dipublikasikan.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa disertasi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, Januari 2024



Hartati Tamti,

NIM. L013191001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Subhanahu Wata'ala, atas limpahan rahmat-Nya kami dapat merampungkan penulisan disertasi ini dengan baik. Disertasi ini merupakan salah satu syarat dalam penyelesaian program doktor pada Program Studi Ilmu Perikanan pada Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin. Disertasi ini berjudul "**Komunitas, Habitat, dan Pemanfaatan Landak Laut (Echinoidea) di Indonesia Timur**" yang merupakan hasil penelitian survei wawancara di berbagai wilayah di Indonesia Timur dan survei lapangan di Kepulauan Spermonde, Sulawesi Selatan.

Ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada : Prof. Dr. Ir. Rohani Ambo Rappe, M.Si sebagai Promotor serta Prof. Dr. Ir. Sharifuddin Bin Andy Omar, M.Sc. dan Prof. Dr. Ir. Budimawan, DEA sebagai Co-Promotor atas segala bantuan, bimbingan, dan arahnya selama penulis mengikuti program doktor di Program Studi Ilmu Perikanan Unhas. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada semua dosen dan Ketua Program Studi, pimpinan dan staf pada Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, serta kepada pimpinan Universitas Hasanuddin atas berbagai dukungan yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan doktor dengan baik.

Kami mengucapkan terima kasih kepada para penguji; (i) Prof. Dr. Ir. Joeharnani Tresnati, DEA., Dr. Ir. Dewi Yanuarita, M.Si. Dr. Ir. Nadiarti, M.Sc., Dr. Khairul Amri, ST, M.Sc.Stud. yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis sejak seminar proposal sampai ujian tutup, demi kesempurnaan disertasi ini.

Kami juga mengucapkan terima kasih kepada (i) Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Indonesia, yang telah memberikan beasiswa BPPDN untuk penulis; (ii) Proyek 4D-REEF yang didanai oleh program penelitian dan inovasi Horizon 2020 Uni Eropa untuk menyediakan pendanaan dan masukan parsial; dan (iii) seluruh responden dan pendamping lapangan dalam pengumpulan dan klarifikasi data.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Dr. Abigail M. Moore atas bantuannya baik dalam diskusi substansi dan penyelesaian draft publikasi internasional. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada : (i) Halwi Temmu S.Si, M.Si, (ii) Dedi Parenden, S.Pi, M.Si, dan (iii) Muhammad Iqram, S.Si, M.Sc yang membantu di lapangan saat pengambilan data.

Secara khusus penulis menyampaikan terima kasih kepada kedua orang tua yang telah tiada, Bapak Temmu (Alm) dan Ibu Hj.Tika (Alm) serta suami tercinta Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc yang selalu memberikan dukungan dan dorongan dalam penyelesaian disertasi ini.

Penulis menyadari bahwa disertasi ini masih terdapat kekurangan untuk mendapatkan perbaikan di kemudian hari. Semoga disertasi ini dapat berkontribusi pada pembangunan sektor kelautan dan perikanan, khususnya dalam hal pengelolaan berkelanjutan biota landak laut di Indonesia. Aamiin.

Makassar, Januari 2024



Hartati Tamti
NIM.L013191001

RINGKASAN

Landak laut merupakan hewan avertebrata laut yang umumnya tergolong hewan omnivora, meskipun beberapa spesies tergolong hewan herbivora. Hewan akuatik ini berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem padang lamun dan terumbu karang. Selain itu, gonad landak laut dimanfaatkan masyarakat sebagai sumber protein, bagian tubuh tertentu dijadikan bahan obat-obatan dan individu landak laut digunakan sebagai hewan uji pada eksperimen toksitas perkembangan larva. Peran dan fungsi penting tersebut membuat landak laut menjadi komoditas yang banyak diperdagangkan di banyak negara. Tingginya permintaan landak laut mendorong eksploitasi berlebihan di negara-negara produsen, dan tekanan penangkapan ikan yang besar terhadap populasi landak laut dapat mengurangi kelimpahannya, sehingga menyebabkan perubahan keseimbangan ekologi padang lamun dan ekosistem terumbu karang.

Di Indonesia, landak laut terdapat hampir di seluruh perairan pantai. Seiring berjalannya waktu terjadi peningkatan pemanfaatan gonad landak laut sebagai sumber protein oleh masyarakat pesisir Indonesia, khususnya di Indonesia Timur. Meski landak laut belum diakui sebagai komoditas perikanan unggulan, namun risiko eksploitasi berlebihan patut menjadi perhatian serius. Tren peningkatan pemanfaatan landak laut menjadi alasan kuat untuk mengembangkan model pengelolaan landak laut berkelanjutan di Indonesia.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka tujuan umum penelitian ini adalah untuk mengkaji struktur populasi landak laut, habitat landak laut, dan hubungan antar keduanya, mengetahui pemanfaatan landak laut oleh masyarakat pesisir, serta menyusun strategi pengelolaan perikanan landak laut yang berkelanjutan. Penelitian ini dilakukan di Kepulauan Spermonde untuk tujuan pertama, kedua dan ketiga. Untuk tujuan keempat mencakup kawasan yang lebih luas, yakni beberapa lokasi di Indonesia Timur. Sedangkan tujuan kelima menyangkut pembahasan umum untuk alternatif strategi pengelolaan landak laut berkelanjutan di Indonesia.

Bab I memperkenalkan landak laut dan pentingnya landak laut serta mengidentifikasi pertanyaan penelitian. Bab II, III, dan IV masing-masing membahas aspek komunitas landak laut dan habitatnya serta studi kasus pemanfaatan landak laut di Kepulauan Spermonde. Sedangkan Bab V membahas tentang pemanfaatan landak laut di Indonesia Timur. Bab VI dan VII menggabungkan wawasan utama dari penelitian secara keseluruhan untuk membahas alternatif strategi kebijakan berkelanjutan serta menarik kesimpulan dan membuat rekomendasi.

Studi populasi landak laut di Kepulauan Spermonde (Bab II dan III) ditemukan delapan spesies landak laut di padang lamun dan rata-rata terumbu di sekitar 14 pulau di tiga zona perairan, dimana *Diadema setosum* merupakan spesies yang paling tersebar luas dan melimpah serta berperan penting dalam struktur populasi landak laut pada habitat lamun maupun rata-rata karang. Habitat padang lamun dan rata-rata terumbu sebagian besar berada dalam kondisi buruk hingga sedang. Parameter struktur populasi landak laut (kelimpahan dan kekayaan spesies) lebih tinggi pada padang lamun dibandingkan rata-rata terumbu dan lebih rendah pada zona dalam dibandingkan zona tengah dan luar, serta berkorelasi positif dengan tutupan lamun. Korelasi antara parameter populasi landak laut dan parameter kualitas air sesuai dengan gradien di zona dalam ke zona luar dan terlihat terkait dengan pengaruh daratan di zona dalam. Studi kasus landak laut *Tripneustes gratilla* di Kepulauan Spermonde, Sulawesi Selatan, Indonesia pada Bab IV mengkonfirmasi pentingnya peran padang lamun dan kualitas air terhadap kelimpahan dan ukuran *T. gratilla*.

Kajian pada Bab V mengkonfirmasi peningkatan permintaan dan eksploitasi spesies landak laut dalam beberapa tahun terakhir. Kajian tersebut melibatkan 187 pengumpul landak laut di 12 lokasi dan empat wilayah di Indonesia Timur sebagai responden dengan menggunakan metode *snowball* sampling. Mayoritas (lebih dari

60%) nelayan landak laut yang diwawancarai adalah laki-laki; rentang usia responden adalah 10-76 tahun, dan sebagian besar sudah menjadi pengumpul landak laut lebih dari 5 tahun. Sebagian besar nelayan mengumpulkan landak laut dengan berjalan kaki menggunakan peralatan sederhana, meskipun ada pula yang menggunakan perahu dan/atau alat snorkeling. Sebagian besar nelayan mengumpulkan landak laut di habitat terumbu karang atau lamun di kedalaman kurang dari 1,5 m dengan dua famili *echinodermata* mendominasi tangkapan: Toxopneustidae (genus *Tripneustes*) dan Diadematidae (genus *Diadema* dan *Echinothrix*), diikuti oleh Echinometridae (genus *Echinometra*). Rata-rata tangkapan per trip berkisar antara 32 ekor (Makassar) hingga 169 ekor (Maluku Tengah) landak laut. Seluruh responden memanfaatkan sebagian atau seluruh hasil tangkapannya untuk konsumsi rumah tangga, sementara 37% menjual sebagian atau sebagian besar hasil tangkapannya. Landak laut sebagian besar dijual dalam keadaan utuh (dengan atau tanpa penghilangan duri) dan dihargai Rp 500-1000 per ekor. Pengolahan pasca panen, termasuk mengeluarkan gonad dan/atau memasak, dapat meningkatkan harga satuan per produk olahan (mengandung landak laut/gonad dalam jumlah yang tidak ditentukan) menjadi Rp 5.000-25.000 per porsi.

Eksplorasi berlebihan kemungkinan besar akan mempengaruhi dinamika populasi landak laut. Studi ini memperkuat indikasi penangkapan landak laut yang berlebihan di Indonesia Timur. Hampir separuh (46%) responden merasakan adanya penurunan kelimpahan landak laut. Mayoritas (84%) responden menganggap perlu adanya suatu bentuk peraturan (formal dan/atau adat), dan 73% menyarankan batasan ukuran dan/atau tangkapan. Hasil-hasil ini menekankan perlunya mengembangkan dan menerapkan pengelolaan yang efektif untuk menjamin keberlanjutan sumber daya landak laut di Indonesia Timur. Pilihan-pilihan pengelolaan perikanan landak laut yang dieksplorasi di Bab VI dapat menjadi masukan bagi upaya konservasi landak laut dan pengelolaan perikanan yang sesuai secara sosio-ekologis untuk mengatasi permasalahan peningkatan laju eksploitasi dan penurunan populasi landak laut. Pilihannya mencakup alat untuk mengendalikan volume tangkapan (misalnya kuota) atau upaya penangkapan ikan (misalnya penutupan musiman, rotasi lokasi, pendekatan berbasis hak, dll.); batas ukuran minimum (diameter uji); pembatasan peralatan (misalnya linggis yang dapat merusak habitat); memasukkan landak laut dalam pengelolaan Kawasan Perlindungan Laut, khususnya pada lokasi yang diidentifikasi sebagai sumber larva; pengembangan pendekatan akuakultur dan *restocking*; pendidikan dan pengembangan kesadaran; dan penelitian untuk mendukung dan meningkatkan manajemen berbasis sains.

SUMMARY

Sea urchins are marine invertebrates which are generally classified as omnivores, although some species are classified as herbivores. These aquatic animals play important roles in maintaining ecosystem balance in seagrass beds and coral reefs. In addition, sea urchin gonads are used as a source of protein for human consumption, certain body parts are used as medicinal ingredients and some sea urchins are used as test animals, for example in toxicological studies on larval development. These important roles and functions mean that sea urchins are widely traded commodities in many countries. The high demand for sea urchins is encouraging over-exploitation in producing countries, and heavy fishing pressure on sea urchin populations can reduce their abundance, causing changes in the ecological balance of seagrass beds and coral reef ecosystems.

In Indonesia, sea urchins are found in almost all coastal waters. Over time there has been an increase in the use of sea urchin gonads as a source of protein by Indonesian coastal communities, especially in eastern Indonesia. Although sea urchins have not been recognized as a leading fishery commodity, the risk of over-exploitation should be considered a serious concern. The increasing trend in sea urchin utilization is a compelling reason to develop a model for sustainable sea urchin management in Indonesia.

Based on these considerations, the general objectives of this research were to assess sea urchin population structure, sea urchin habitat, and the correlations between them, to investigate the utilization of sea urchins by coastal communities, and to compile strategies for sustainable sea urchin fisheries management. These objectives were achieved through several studies in the Spermonde Archipelago, covering the first three objectives, and a study at multiple sites in eastern Indonesia addressing the fourth objective. The fifth objective aimed to compile all results to formulate sustainable management strategies for Indonesian sea urchins.

Chapter one introduces sea urchins and their importance and identifies the research questions. The second, third, and fourth chapters address aspects of the sea urchin community, habitats (sea grasses and coral reefs), and a case study of sea urchin utilization in the Spermonde Archipelago. Chapter five addresses the utilization of sea urchins in Eastern Indonesia. Chapters six and seven combine key insights from the research as a whole to discuss alternative strategies for sustainable sea urchin management as well as to draw conclusions and recommendations.

The study on sea urchin populations in the Spermonde Archipelago (Chapters Two and Three) found eight sea urchin species in the seagrass beds and reef flats around 14 islands in three inshore-offshore zones, of which *Diadema setosum* was the most widespread and abundant, playing a major role in sea urchin community structure in both seagrass and reef flat habitats. Seagrass and reef flat habitats were predominantly in poor to average condition. Sea urchin population structure parameters (abundance and species richness) were higher in seagrass than reef flat, lower in the inshore zone than in the middle and outer zones, and positively correlated with seagrass cover. Correlations between sea urchin population parameters and water quality parameters align with the onshore-offshore gradient and appear related to terrestrial influences in the inshore zone. The case study on the short-spined sea urchin *Tripneustes gratilla* in the Spermonde Archipelago, South Sulawesi, Indonesia in Chapter Four confirmed the importance of seagrass and water quality on the abundance and size distribution of *T. gratilla*.

The study in Chapter Five involved 187 sea urchin collectors in 12 locations and four regions in Eastern Indonesia as respondents using snowball sampling. The majority (over 60%) of sea urchin fishers interviewed were male; collector age range was 10-76 years old, and most had been collecting sea urchins for more than 5 years. Most fishers collected sea urchins on foot using simple equipment, although some used boats and/or

snorkeling gear. They mostly collected sea urchins in coral reef or seagrass habitats in waters less than 1.5 m deep with two echinoderm families dominating the catch: Toxopneustidae (genus *Tripneustes*) and Diadematidae (genera *Diadema* and *Echinothrix*), followed by Echinometridae (genus *Echinometra*). The average catch per trip ranged from 32 (Makassar) to 169 (Central Maluku) individual urchins. All respondents used some or all of their catch for home consumption, while 37% sold some or most of their catch. Sea urchins were mostly sold with intact tests (with or without de-spinning) and were priced at IDR 500-1000 each. Post-harvest processing, including removing the gonads and/or cooking, could increase the unit price per processed product (containing unspecified numbers of sea urchins/gonads) to IDR 5,000-25,000 per portion.

Over-exploitation will most likely affect sea urchin population dynamics, and this study strengthens indications of sea urchin overfishing in Eastern Indonesia as almost half (46%) of respondents had perceived a decrease in sea urchin abundance. A large majority (84%) of respondents considered that some form of regulation (formal and/or customary) was necessary, with 73% suggesting size and/or catch limits. These results emphasize the need to develop and implement effective management to ensure the sustainability of sea urchin resources across eastern Indonesia. The options for sea urchin fishery management explored in Chapter Six can inform socio-ecologically appropriate sea urchin conservation efforts and fisheries management to address the issues of increasing exploitation rates and declining sea urchin populations. Options include tools to control catch volume (e.g. quotas) or fishing effort (e.g. seasonal closures, site rotations, rights-based approaches, etc.); minimum size (test diameter) limits; gear restrictions (e.g. crowbars that can damage habitat); include sea urchins in marine protected area management, especially sites identified as larval sources; development of aquaculture and re-stocking approaches; education and awareness-building; and research to underpin and improve science-based management.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGANTAR DISERTASI	II
HALAMAN PENGESAHAN	V
PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	ERROR!
BOOKMARK NOT DEFINED.	
KATA PENGANTAR	VII
RINGKASAN	IX
SUMMARY	XI
DAFTAR ISI	XIII
DAFTAR TABEL.....	XV
DAFTAR GAMBAR.....	XVII
DAFTAR LAMPIRAN.....	XIX
DAFTAR ARTIKEL	XX
BAB I. PENDAHULUAN UMUM	1
1.1 Pengertian Landak Laut	1
1.2 Bio-Ekologi Landak Laut	4
1.3 Habitat.....	7
1.4 Faktor Lingkungan	8
1.5 Kandungan Nutrisi Gonad Landak Laut	9
1.6 Pemanfaatan dan Pentingnya pengelolaan Landak Laut	10
1.7 Kepulauan Spermonde.....	11
1.8 Penelitian Dibutuhkan Untuk Pengelolaan Berkelanjutan Landak Laut	12
BAB II. STRUKTUR KOMUNITAS LANDAK LAUT PADA TIGA ZONA di KEPULAUAN SPERMONDE	16
2.1 Abstrak.....	16
2.2 Pendahuluan.....	16
2.3 Metode Penelitian	18
2.4 Hasil	20
2.5 Pembahasan.....	29
2.6 Kesimpulan	38
BAB III. KONDISI HABITAT LANDAK LAUT (PADANG LAMUN DAN TERUMBU KARANG) DI KEPULAUAN SPERMONDE.....	40
3.1 Pendahuluan.....	40
3.2 Metode Penelitian	42
3.3 Analisa Data.....	45
3.4 Hasil	46
3.5 Pembahasan.....	56

3.6	Kesimpulan	59
BAB IV. PEMANFAATAN DAN DISTRIBUSI <i>Tripneustes gratilla</i> DI KEPULAUAN SPERMONDE		60
4.1	Abstrak	60
4.2	Pendahuluan	60
4.3	Metode Penelitian	62
4.4	Hasil	64
4.5	Pembahasan	66
4.6	Kesimpulan	68
BAB V. PEMANFAATAN LANDAK LAUT DI KAWASAN INDONESIA TIMUR		69
5.1	Abstrak	69
5.2	Pendahuluan	69
5.3	Metode Penelitian	72
5.4	Hasil	75
5.5	Pemanfaatan dan Perdagangan Landak Laut	82
5.6	Pembahasan	87
5.7	Kesimpulan	98
BAB VI. ALTERNATIF STRATEGI PENGELOLAAN LANDAK LAUT SECARA BERKELANJUTAN.....		100
6.1	Pendahuluan	100
6.2	Landak Laut di Ekosistem Pesisir Kawasan Timur Indonesia.....	100
6.3	Pengumpul dan pola pemanfaatan landak laut di Kawasan Timur Indonesia	105
6.4	Kebutuhan dan peluang pengelolaan lestari landak laut	106
6.5	Model Strategi Pengelolaan Landak Laut di Kawasan Timur Indonesia .	111
BAB VII. PEMBAHASAN UMUM.....		116
7.1	Struktur Komunitas dan Kondisi Habitat Landak Laut di Spermonde	116
7.2	Pola Pemanfaatan dan Urgensi Pengelolaan Landak Laut di Indonesia Timur.....	118
7.3	Kesimpulan	119
7.4	Rekomendasi	120
DAFTAR PUSTAKA		121
LAMPIRAN		139

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1.1.	Komposisi Nutrisi Gonad landak laut di Jepang (Iwasaki & Harada 1985).10
2.1.	Spesies landak laut dan sebarannya di 14 pulau di Kepulauan Spermonde. Nama lokasi diwakili oleh kode tiga huruf, sedangkan X menunjukkan keberadaan22
2.2.	Kekayaan jenis landak laut (S), jumlah individu (n) pada ekosistem lamun dan terumbu karang di 14 lokasi di tiga zona di Kepulauan Spermonde23
2.3.	Arah dan signifikansi korelasi parameter populasi landak laut dengan zona, ekosistem dan variabel lingkungan menggunakan general linear model (glm)24
2.4.	Ringkasan hasil similarity analysis (ANOSIM) terhadap struktur populasi landak laut pada dua habitat di tiga zona Kepulauan Spermonde.....26
2.5.	Kisaran ukuran diameter (mm) landak laut pada dua habitat di 14 lokasi di 3 zona Kepulauan Spermonde27
2.6.	Spesies landak laut yang dilaporkan dari Kepulauan Spermonde dan Selat Makassar oleh berbagai penelitian (X menunjukkan keberadaan; O menunjukkan teramati pada penelitian rujukan namun belum tercantum dalam publikasi ilmiah).31
3.1.	Parameter kualitas air rata-rata \pm deviasi standar (SD) di tiga zona Kepulauan Spermonde46
3.2.	Signifikansi korelasi general linear model (glm) masing-masing parameter populasi landak laut dengan parameter-parameter kualitas air di Kepulauan Spermonde49
3.3.	Komposisi spesies tutupan lamun pada 10 lokasi di di tiga zona Kepulauan Spermonde51
3.4.	Tutupan substrat di rata-rata terumbu karang (reef flat) pada 14 lokasi di tiga zona Kepulauan Spermonde.....52
4.1.	Gradien kualitas air yang diukur pada zona yang berbeda di Kepulauan Spermonde64
5.1.	Ringkasan kuesioner yang digunakan dalam mengumpulkan informasi terkait bentuk pemanfaatan landak laut di kawasan Timur Indonesia74
5.2.	Spesies landak laut yang dikumpulkan oleh responden di berbagai pulau yang ada dalam keempat wilayah di Indonesia Timur.....75
5.3.	Keanekaragaman dan rata-rata volume penangkapan landak laut per trip di 12 lokasi di Indonesia Timur.....76
5.4.	Jumlah responden dan lokasi pengambilan data responden di empat wilayah di Kawasan Timur Indonesia78
5.5.	Beberapa parameter terkait waktu dan frekuensi pengumpulan landak laut ...79
5.6.	Metode penangkapan landak laut di masing-masing Wilayah (responden dapat memilih lebih dari satu jawaban)80
5.7.	Nama lokal spesies landak laut yang dikumpulkan di 12 lokasi di Indonesia Timur.....81

5.8.	Motivasi utama dalam mengumpulkan landak laut, konsumsi dan pengolahan landak laut.	82
5.9.	Bentuk penjualan dan harga landak laut di beberapa Wilayah (responden dapat memilih lebih dari satu jawaban)	85
5.10.	Persepsi responden terkait tren dan ancaman populasi landak laut.....	86
5.11.	Persepsi responden terkait regulasi pemanfaatan landak laut di Indonesia Timur (respondent dapat memberi lebih dari satu jawaban tentang bentuk regulasi)	87
6.1.	Ringkasan opsi pendekatan dan alat pengelolaan perikanan landak laut	112

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1.1.	Morfologi umum gonad landak laut primer, kiri: penataan lobi gonad landak laut dan pola hermafroditisme; kanan : Gd = gonoduct, dan A = asinus (Booolootian & Moore 1956, Fuji 1960, Darsono 1986)5
1.2.	Tingkat perkembangan gonad landak laut, meliputi fase netral (0), fase awal (I) berkembang atau fase tumbuh (II), fase awal prematur (III) matang, fase matang 'mature" (IV), dan fase pemijahan (V). (Okada 1952, Darsono 1986, Paredes et al. 2019).....5
1.3.	Sebaran berbagai jenis landak laut di seluruh dunia mulai dari wilayah tropis hingga subtropis. Sumber: modifikasi peta dunia (https://www.mapsofworld.com/world-map-image.html)6
1.4.	Peta Kepulauan Spermonde dengan sebaran pulau dan batimetri. A. Zonasi Kepulauan Spermonde berdasarkan karakter geomorfologi (Moll 1983); B. Zonasi Kepulauan Spermonde berdasarkan kadar nutrient dan kondisi terumbu karang (Faizal 2023). 12
2.1.	Diagram skematik dari transek sabuk bentik (BBT) berukuran 2 x 70 m (140 m2) pada ekosistem terumbu karang..... 19
2.2.	Peta yang menunjukkan 14 lokasi penelitian di tiga zona perairan di Kepulauan Spermonde. Lokasi diberi label dengan kode lokasi 3 huruf; warna lingkaran kecil menunjukkan zona; jumlah spesies yang ditemukan di setiap lokasi ditunjukkan dalam angka di lingkaran yang lebih besar.....21
2.3.	Dendogram analisis kluster (similaritas Jaccard) komunitas landak laut pada 14 lokasi di Kepulauan Spermonde. Warna kode lokasi menunjukkan zona (merah = zona dalam; biru = zona tengah; hijau = zona luar)24
2.4.	Plot 2D dari non-metric dimensional scaling (nMDS) dengan Bray-Curtis dissimilarity terhadap komunitas landak laut pada tiga zona Kepulauan Spermonde menggunakan transformasi data presence-absence: A. di habitat lamun; B. di habitat rataan karang25
2.5.	Jenis landak laut yang paling berpengaruh terhadap perbedaan struktur komunitas landak laut di tiga zona Kepulauan Spermonde dan persentase kontribusinya terhadap perbedaan antar zona: A. di habitat lamun; B. di habitat rataan karang27
2.6.	Boxplot diameter cangkang landak laut dari genus <i>Diadema</i> pada 12 lokasi penelitian.....28
2.7.	Boxplot diameter cangkang landak laut menurut zona dan habitat: A. <i>Tripneustes gratilla</i> ; B. genus <i>Echinothrix</i>29
3.1.	Peta lokasi penelitian habitat landak laut di Kepulauan Spermonde43
3.2.	Skema yang menunjukkan jarak antara tiap transek dan jarak antara tiap kuadrat pada pengukuran kondisi padang lamun.....44
3.3.	Contoh kuadrat yang digunakan pada metode transek foto bawah laut dalam observasi kondisi terumbu karang.....45
3.4.	Plot Analisa komponen utama (PCA) titik-titik pengamatan landak laut pada tiga zona Kepulauan Spermonde pada dua sumbu utama berdasarkan 7 variabel lingkungan (pH, DO, konduktivitas, turbiditas, suhu, salinitas dan TDS). Grafik SRplot (http://www.bioinformatics.com.cn/srplot).....47

3.5.	Persentase tutupan lamun di tiga zona Kepulauan Spermonde (abu-abu = kategori jarang; hijau = kategori sedang).	50
4.1.	Lokasi studi di sepanjang gradien inshore – offshore di Kepulauan Spermonde, Selat Makassar, Indonesia. Terdapat 3 zona yaitu zona dalam diwakili oleh Pulau Lae-lae, zona tengah diwakili oleh Pulau Barrang Lompo, Samalona dan Bone Batang, serta zona terluar, diwakili oleh Pulau Langkai dan Lanjukang.	63
4.2.	Persentase tutupan lamun (%) sepanjang gradien dari zona dalam, tengah hingga zona terluar di Kepulauan Spermonde.	65
4.3.	Nilai rata-rata <i>T. gratilla</i> yang ditemukan di sepanjang transek sabuk di sepanjang gradien zonasi di Kepulauan Spermonde.	65
4.4.	Diameter rata <i>T.gratilla</i> yang ditemukan di sepanjang transek sabuk di sepanjang gradien zonasi di Kepulauan Spermonde.	66
5.1.	Lokasi penelitian merupakan daerah pesisir dan pulau yang komunitasnya menunjukkan tren pemanfaatan landak laut, dan tersebar di dalam kawasan Indonesia Timur, mulai dari Kepulauan Spermonde, Selayar, Nusa Tenggara Timur, Wakatobi, Maluku, Maluku Utara, dan Papua.	73
5.2.	Habitat utama dimana nelayan atau pengumpul biasa menangkap landak Laut.....	77
5.3.	Preferensi dalam habitat untuk mengumpulkan landak laut per wilayah	77
5.4.	Distribusi usia kolektor (A) dan pengalaman mengumpulkan landak laut (B) dengan total responden sebanyak 187 orang	78
5.5.	Estimasi jumlah tangkapan landak laut (ekor/tahun) per orang pada 12 lokasi pengambilan data	80
5.6.	Histogram jumlah landak laut per satu kali penyajian.....	84

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor		Halaman
1.	Klasifikasi landak laut	139
2.	Kuesioner	140
3.	Foto Spesimen Landak Laut.....	143
4.	General Linear Model, SIMPER dan Diameter Landak Laut BAB II.....	145
5.	General Linear Model BAB III	158
6.	Hasil Analisa regresi BAB III.....	159
7.	Data kualitas air.....	182
8.	Koordinat Lokasi Penelitian	184
9.	Gambar Jenis-jenis Lamun yang Ditemukan	185

DAFTAR ARTIKEL

1. Preliminary Assessment of *Tripneustes gratilla* populations in Seagrass Beds of the Spermonde Archipelago, South Sulawesi, Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 763 (2021); doi:10.1088/1755-1315/763/1/012008. (Published)
2. Sea Urchin Utilization in Eastern Indonesia. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science*. 2023. (Published)
3. Preliminary Exploration of Unreported and Unregulated Sea Urchin Exploitation in Eastern Indonesia. *Coastal Management Journal*. (Re-Submitted, February 2023)
4. Environmental Variables and Sea Urchin Population Structure in Shallow Waters of the Spermonde Archipelago. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* (To be revised and re-submitted in July 2023)

BAB I. PENDAHULUAN UMUM

1.1 Pengertian Landak Laut

Landak laut, disebut juga bulu babi (Bahasa Inggris: *sea urchins*) merupakan kelompok avertebrata laut bersifat bentik dari Filum Echinodermata. Kelas Echinoidea, dengan simetri pentaradial (radial dengan lima bagian) dan karakteristik umum berupa duri (*spines*) di sekitar tubuhnya (McClanahan, 1998). Sebaran landak laut mencakup semua samudra dunia, dari pinggir pantai hingga lebih dari 5 km di bawah permukaan air dan dapat bersifat omnivora, *scavenger*, predator terhadap hewan lainnya, atau herbivora (Lawrence, 2013). Landak laut yang hidup di perairan dangkal cenderung tergolong omnivora bukan herbivora sejati karena selain organisme yang melekat pada alga dan tumbuhan sejati (terutama lamun) kebanyakan bersifat oportunistis dan dapat bertindak sebagai detritivora atau karnivora, termasuk di Kawasan Indo-Pasifik (De Loma et al. 2002, Lawrence 2007, 2013, Steneck 2013).

Landak laut merupakan organisme yang memiliki nilai penting dalam keseimbangan ekologi serta sebagai hewan yang dapat dimanfaatkan secara langsung oleh manusia (Lawrence 2007, Steneck 2013). Sebagai herbivora, landak laut memiliki peran penting dalam keseimbangan komunitas pada ekosistem padang lamun dan terumbu karang (Steneck 2013, McSkimming et al. 2015) Sebagai contoh pada ekosistem terumbu karang, aktivitas herbivora dapat memberikan pengaruh langsung pada kelompok spesies penting dengan membatasi pertumbuhan makroalga yang bersaing dengan karang hermatipik pembentuk terumbu (Krimou et al. 2023). Peningkatan populasi landak laut dapat mendorong perubahan dari ekosistem yang didominasi oleh makroalga ke ekosistem yang didominasi oleh komunitas alga berkapur (*crustose coralline algae* atau CCA) dan sebaliknya, CCA juga merupakan substrat penting dalam *rekrutmen* larva dan pertumbuhan juvenil karang hermatipik (Arnold & Steneck 2011, King et al. 2023) Secara ekologis, landak laut menjadi salah satu kelompok herbivora yang menduduki tingkat tropik yang sangat penting bagi kesehatan ekosistem terumbu karang dan padang lamun (Mumby et al. 2006b, Casilagan et al. 2013, Rustici et al. 2017, Francis et al. 2019). Contoh konkret peran ekologis landak laut sebagai herbivora utama didokumentasikan dengan baik di Kawasan Karibia, dimana landak laut dari genus *Diadema* mengalami kematian massal karena penyakit. Ketidakhadiran landak laut pada ekosistem di Perairan Karibia

menyebabkan pertumbuhan makroalga menjadi tidak terkendali, sehingga mengambil alih dominasi tutupan karang (Hughes et al. 1987, Mumby et al. 2006b). Dalam kasus lain, peran herbivora dapat mengimbangi ancaman beban nutrisi di padang lamun dengan memakan alga epifit yang tumbuh cepat dan menutupi daun lamun (McSkimming et al. 2015). Kondisi saat tidak adanya atau kurangnya populasi landak laut pada akhirnya dapat menyebabkan perubahan pergeseran tutupan permanen (*phase shift*) dari dominasi karang di ekosistem terumbu karang menjadi ekosistem yang didominasi makroalga (McClanahan 1998, Jompa & McCook 2002, Kriegisch et al. 2019b)

Pemanfaatan landak laut secara langsung paling umum dilakukan dengan mengambil gonad yang matang untuk dikonsumsi sebagai sumber protein (Andrew et al. 2002, Lawrence 2007, Baião et al. 2022). Beberapa bagian tubuh landak laut dapat pula menjadi sumber obat-obatan (Sahara et al. 1997, Li et al. 2008, Archana & Babu 2016). Selain itu, beberapa jenis landak laut telah dijadikan sebagai hewan uji toksisitas dengan melihat perkembangan embrionya (Hagström & Lönning 1973, Fujiwara et al. 1990, Pontheaux et al. 2021).

Dinamika pemanfaatan landak laut pun berlanjut hingga ke zaman kontemporer akan tetapi dengan tingkat permintaan dan frekuensi penangkapan yang tinggi mendorong eksploitasi berlebih dan justru menimbulkan konsekuensi terhadap menurunnya stok populasi landak laut di alam. Penurunan populasi landak laut telah diamati oleh berbagai peneliti sejak akhir tahun 1990-an hingga awal tahun 2000-an. Sloan (1984) pertama kali mengamati penangkapan berlebih pada populasi landak laut yang kemudian diteliti oleh Andrew et al. (2002) yang menyimpulkan adanya ekspansi wilayah penangkapan landak laut. Eksploitasi landak laut di seluruh dunia sudah cukup lama dilakukan, misalnya pada tahun 1995 menjadi tahun dengan pemasaran global landak laut tertinggi dengan total 120.306 ton landak laut didaratkan di seluruh dunia. Tetapi kemudian jumlah penangkapan menurun hingga 90.257 ton tiga tahun kemudian (Andrew et al. 2002).

Kecenderungan penurunan jumlah suplai landak laut untuk memenuhi kebutuhan global terus menurun hingga dilaporkan berada pada angka 76.242 ton di tahun 2014 (Hennicke et al. 2021). Beberapa negara tercatat telah melakukan eksplorasi terhadap populasi landak laut dan menjadi penyuplai utama landak laut di pasaran, dimana Chile sebagai penyuplai terbesar permintaan global, mencapai sekitar 50% dari total pendaratan global landak laut. Di berbagai negara lainnya seperti Rusia, Jepang, Amerika Serikat, Kanada, Korea Selatan, Cina, Meksiko,

Peru, Australia dan negara di sekitar Arktik, pemanfaatan landak laut masih terus terjadi, meskipun terindikasi populasinya terus menurun ditandai dengan penurunan pendaratan landak laut secara global (Stefánsson et al. 2017).

Berbeda dengan informasi pemanfaatan dan pemasaran di mancanegara yang sudah tersedia, informasi terkait penangkapan dan pemasaran landak laut di Indonesia masih sangat minim dan hasil tangkapan di Indonesia tidak masuk dalam perhitungan volume pendaratan total landak laut. Hal ini tentunya menjadi tantangan dan paradoks tersendiri, mengingat bahwa Indonesia sebagai negara kepulauan dengan garis pesisir yang cukup panjang, menyediakan habitat bagi landak laut di wilayah pesisir. Selain itu, publikasi ilmiah yang dipublikasikan tentang landak laut Indonesia masih terbatas sehingga tidak memungkinkan untuk memformulasi strategi dan kebijakan pemanfaatan untuk memastikan pemanfaatannya secara berkelanjutan (Toha et al. 2012, Wainwright et al. 2018).

Eksplorasi untuk pemanfaatan landak laut sangat mudah dilakukan karena hanya membutuhkan peralatan yang sederhana. Para nelayan atau masyarakat pesisir, termasuk perempuan dan anak-anak, pada umumnya hanya menunggu hingga air surut sehingga mereka dapat menangkap landak laut dengan mudah di padang lamun atau terumbu karang. Hasil tangkapan landak laut tersebut dikumpulkan dan dimasukkan ke dalam keranjang untuk kemudian dibawa ke pantai. Memudahkan menangkap landak laut ini, dalam jangka panjang dan tanpa pengelolaan, memungkinkan populasi landak mengalami penurunan drastis dan dapat mengalami kepunahan (Melis et al. 2019, Piazzzi & Ceccherelli 2019). Strategi dan kebijakan pengelolaan berbagai sumber daya perikanan yang bernilai ekonomis di perairan Indonesia umumnya masih lemah dan implementasinya juga kurang efektif. Kondisi ini semakin parah atau bahkan tidak ada pengelolaan sama sekali bagi organisme yang belum dianggap sebagai kelompok ekonomi penting, termasuk landak laut. Oleh karena itu, pengelolaan landak laut di Indonesia yang belum berkembang dapat dipahami, bahkan sebagian orang masih menganggap landak laut sebagai 'organisme pengganggu' karena durinya yang tidak bersahabat.

Selain peran ekologis landak laut sangat penting dan juga nilai ekonomis yang bisa ditawarkan. Informasi ilmiah tentang status dan dinamika populasinya di Indonesia masih sangat kurang. Hanya sedikit penelitian yang mengeksplorasi dan menganalisis dinamika populasi landak laut di Indonesia (Toha et al. 2012, Casilagan et al. 2013, Wulandewi et al. 2015, Wainwright et al. 2018). Minimnya

data dan analisis persebaran kelimpahan landak laut menunjukkan bahwa perhatian pemerintah dalam mengelola sumber daya tersebut masih sangat kecil yang mungkin saja telah dieksploitasi secara berlebihan tanpa disadari. Perlindungan total spesies ini tanpa perhitungan ilmiah juga tidak strategis, karena larangan total tidak hanya sulit diterapkan tetapi juga tidak akan selalu secara langsung menguntungkan ekosistem lamun atau terumbu karang, karena jika terjadi ledakan populasi (wabah) maka dapat terjadi *grazing* yang berlebihan sehingga membahayakan ekosistem ini (Eklöf et al. 2008, Wallner-Hahn et al. 2015). Di sisi lain, nilai gizi dan ekonomi gonad landak laut sangat tinggi, sehingga pengaturan pemanfaatan landak laut dengan mempertimbangkan keseimbangan ekologi akan berdampak positif secara berkelanjutan.

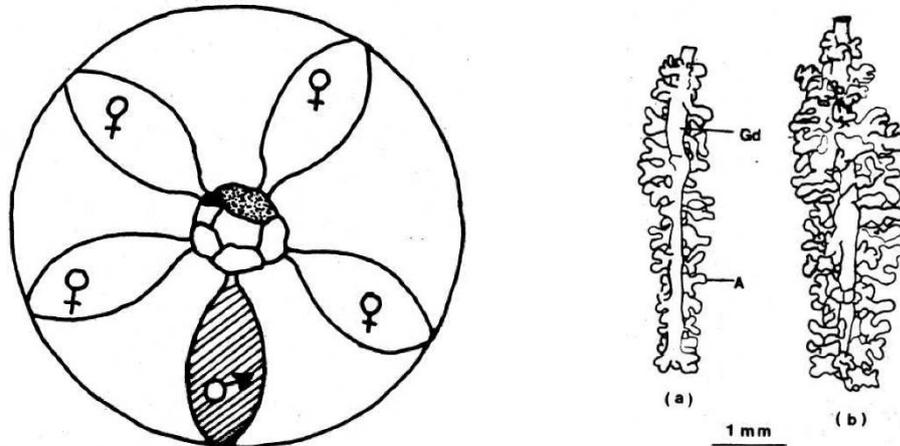
Rendahnya perhatian para pemangku kepentingan, terutama pemerintah terhadap urgensi pengelolaan sumber daya landak laut, kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut antara lain: kurangnya pemahaman tentang peran penting landak laut dalam menjaga keseimbangan dan produktivitas ekosistem (Rustici et al. 2017) dan eksploitasi gonad landak laut tidak secara khusus dicatat sehingga nilai ekonomi totalnya juga tidak diketahui. Oleh karena itu, sangat penting untuk meningkatkan ilmu pengetahuan dan pemahaman tentang status, distribusi, dan pemanfaatan landak laut. Kebutuhan tersebut menjadi dasar utama penelitian ini, dengan fokus pada landak laut di Kawasan Indonesia Timur.

1.2 Bio-Ekologi Landak Laut

1.2.1 Reproduksi

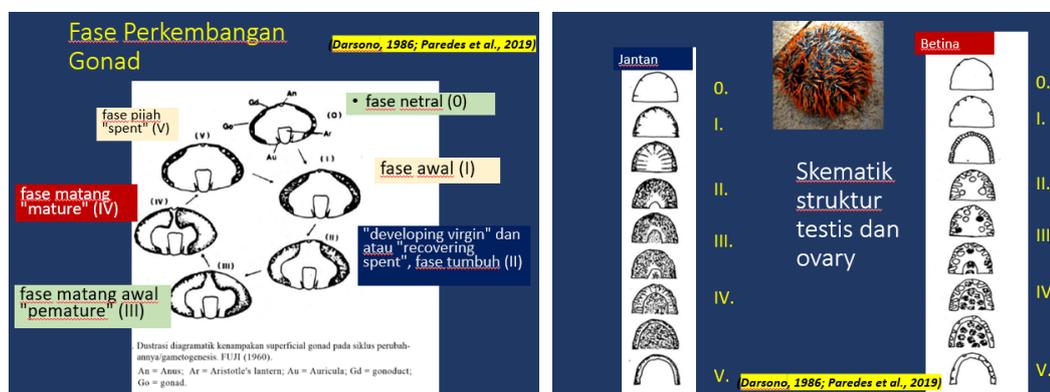
Tanda-tanda seksual sekunder adalah sarana penting untuk mengetahui jenis kelamin landak laut. Hal ini diperlukan untuk beberapa tujuan, misalnya untuk mencari induk untuk keperluan budidaya dan lain-lain. Landak laut memiliki alat kelamin yang terpisah dimana individu jantan memiliki gonad jantan (testis), dan individu betina dengan gonad betina (ovarium). Kedua jenis kelamin tidak memberikan fitur morfologi eksternal yang berbeda. Gonad landak laut umumnya disimpan dan melekat pada "lempeng epitel perivisceral interambulacral". Gonad mengisi rongga tubuh pada sisi apikal yang terdiri dari lima lobi yang tersusun secara radial. Setiap lobus terhubung ke luar pada lempeng genital. Tidak ada perbedaan yang signifikan antara struktur gonad jantan dan gonad betina.

Perbedaannya hanya pada warna. Ovarium yang matang (gonad betina) cenderung berwarna kemerahan, sedangkan testis yang matang (gonad jantan) cenderung berwarna putih kekuningan. Pada tingkat awal gametogenesis sangat sulit untuk membedakan kedua jenis kelamin tersebut, karena pada umumnya memiliki warna yang mirip (Darsono 1986).



Gambar 1.1. Morfologi umum gonad landak laut primer, kiri: penataan lobi gonad landak laut dan pola hermafroditisme; kanan : Gd = gonoduct, dan A = asinus (Booolootian & Moore 1956, Fuji 1960, Darsono 1986)

Perkembangan sel gamet, baik jantan maupun betina, mengalami proses bertahap. Secara umum, terdapat enam kategori tingkat kematangan gonad, termasuk fase awal (perkembangan) dan regresi (pemulihan) gonad. Prinsip pengenalan didasarkan pada dominasi jenis sel dalam folikel dan penampakan yang sederhana/superfisial seperti pada gambar berikut.



Gambar 1.2. Tingkat perkembangan gonad landak laut, meliputi fase netral (0), fase awal (I) berkembang atau fase tumbuh (II), fase awal prematur (III) matang, fase matang 'mature' (IV), dan fase pemijahan (V). (Okada 1952, Darsono 1986, Paredes et al. 2019).

1.2.2 Distribusi

Landak laut tersebar di seluruh samudra dunia, dari perairan pesisir dangkal hingga laut dalam (Lawrence 2007, 2013, Steneck 2013, Kroh & Mooi 2023). Luasnya distribusi setiap spesies landak laut tidak terlepas dari kemampuan adaptasi. Jenis dengan penyebaran luas memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap beberapa faktor; misalnya, memiliki strategi pertahanan dari pemangsa yang baik; sistem imun yang andal; kemampuan dan strategi bertahan dalam kondisi lingkungan yang merugikan; gonad besar yang mengandung banyak sel seksual (sperma/oosit) maupun sel somatik yang menyimpan energi; dan kemampuan regenerasi yang baik (Lawrence 2007, 2013, Lawrence & Agatsuma 2007, Muthiga & McClanahan 2013).

Berbagai jenis landak laut ditemukan di perairan tropis dan subtropis, termasuk di seluruh wilayah Indo-Pasifik Barat dari Afrika Timur (Laut Merah hingga Natal), Kepulauan Laut Selatan (dari Kepulauan Norfolk dan Kermadec hingga Marquesas dan Hawaii), Australia (hingga Port Jackson di pesisir pantai timur dan Teluk Hiu di pantai barat), Jepang, dan Samudra Indo-Pasifik (Hughes et al. 1987, Talaue-McManus & Kesner 1993, Andrew et al. 2002, Lawrence 2007, Lawrence & Agatsuma 2007, Muthiga & McClanahan 2013, Wulandewi et al. 2015, Wainwright et al. 2018) (Gambar 1.3).



Gambar 1.3. Sebaran berbagai jenis landak laut di seluruh dunia mulai dari wilayah tropis hingga subtropis. Sumber: modifikasi peta dunia (<https://www.mapsofworld.com/world-map-image.html>)

1.3 Habitat

Secara global landak laut dapat ditemukan pada berbagai habitat mulai dari laut dalam hingga zona pasang-surut, dari Arktik ke Antartika, dan pada berbagai ekosistem termasuk terumbu karang di laut tropis, ekosistem kelp di wilayah temperat, dan padang lamun tropis maupun sub-tropis atau temperat (Lawrence, 2007, 2013). Adanya beragam kondisi habitat menjadi faktor dalam sebaran spesies berbeda pada habitat atau ekosistem yang berbeda pula. Misalnya, ekosistem laut dalam ditandai dengan kondisi ketersediaan makanan yang rendah dari aspek frekuensi maupun kualitas dan sifat lingkungan yang menantang seperti tekanan yang besar dan suhu maupun kadar oksigen yang rendah sehingga pertumbuhan maupun reproduksi cenderung lambat, dan umur rata-rata relatif panjang, meskipun sangat bervariasi antar jenis (Lawrence 2013, Stevenson & Kroh 2020). Sebagai contoh, *Echinus affinus* dapat ditemukan pada kedalaman 2000 meter dan mampu hidup hingga sedikitnya 28 tahun (Gage & Tyler 1985).

Laut Antartika juga menjadi salah satu habitat dimana landak laut ditemukan. Habitat ini cenderung ditandai dengan perubahan produktivitas musiman pada permukaan air dan perairan yang lebih dangkal tanpa tutupan es dengan kondisi suhu rendah yang konstan (Lawrence, 2013). Sumber daya makanan pada ekosistem ini memiliki karakteristik dengan ketersediaan nutrisi yang rendah dalam jangka waktu yang panjang, yakni hanya pada musim tertentu produktivitas primer akan tinggi (Lawrence, 2013). Oleh karena itu pada habitat ini, potensi produksi landak laut akan menjadi lebih rendah. Dengan kondisi fisik perairan yang stabil, limitasi ketersediaan makanan musiman serta rendahnya tingkat predasi, spesies seperti *Sterechinus neumayeri*, *Ctenocidaris gigantean*, *C. spinosa* dapat ditemukan di perairan Antartika (Lawrence, 2013).

Habitat lainnya yang juga ditemui di daerah temperat adalah hamparan kelp yang ditandai dengan produktivitas yang tinggi dan gangguan dari turbulensi air serta banyaknya musuh alamiah/ predator dari landak laut (Lawrence, 2013). Dengan adanya ancaman dari predator (siput, kepiting, burung) dan turbulensi air, mangsa dalam hal ini landak laut akan banyak ditemukan bersembunyi dalam celah batuan atau di bawah batu untuk menghindari kondisi turbulensi yang tidak menguntungkan dan juga menjauh dari predator. Terlepas dari adanya ancaman tersebut, 'hutan' kelp menjadi tempat yang potensial bagi kelompok herbivora dan detritivora untuk berkembang. *Strongylocentrotus droebachiensis* dan *Strongylocentrotus purpuratus* adalah dua di antara spesies yang ditemukan di

hutan kelp dan memiliki tingkat plastisitas yang tinggi dalam merespon ketersediaan makanan (Lawrence, 2013).

Dua habitat lainnya berada pada umumnya di wilayah tropis, yakni terumbu karang dan padang lamun dan juga akan menjadi wilayah kajian dalam studi ini. Sama halnya dengan ekosistem kelp, terumbu karang dan padang lamun memiliki produktivitas primer yang tinggi dengan berbagai ancaman atau gangguan yang lebih variatif pula. Pada ekosistem terumbu karang terdapat potensi gangguan berupa energi gelombang yang tinggi. Oleh karena itu, beberapa spesies memiliki adaptasi terhadap kondisi lingkungan dengan berlindung pada rekahan karang atau tempat-tempat terlindung lainnya. Selain itu, beberapa spesies termasuk Famili Echinometridae memiliki *test/cangkang* yang lebih kuat sehingga mampu beradaptasi pada perairan dangkal dengan energi gelombang yang tinggi (Ebert 1982). Dengan kondisi tinggi energi gelombang dan gangguan lainnya dari predator, kemampuan spesies yang hidup di ekosistem terumbu karang untuk mencari makan relatif terbatas. Sehingga spesies yang beradaptasi dengan kondisi ini akan memiliki laju pertumbuhan yang lambat dengan *survival rate* yang lebih tinggi (Lawrence, 2013). Ekosistem padang lamun, dengan produktivitas primer yang juga tinggi, memiliki level gangguan yang lebih bervariasi mulai dari suhu, salinitas, gelombang, arus, hingga kejadian-kejadian meteorologi lainnya seperti angin kencang dan badai yang dapat menyebabkan kematian massal pada landak laut. Hal ini akan diperparah dengan kondisi dasar perairan yang cenderung tidak menunjukkan heterogenitas substrat sehingga tidak menyediakan *shelter* bagi landak laut untuk berlindung di tengah kondisi yang tidak menguntungkan. Padang lamun memiliki karakter produktivitas dan gangguan yang tinggi, sehingga kelompok organisme atau spesies ruderal (pionir) yang mampu bertahan hidup dengan kemampuan reproduksi dan pertumbuhan yang cepat akan tetapi tingkat kematian yang tinggi pula, misalnya kelompok landak laut yang masuk dalam Toxopneustidae (Lawrence, 2013).

1.4 Faktor Lingkungan

1.4.1 Arus

Meskipun ada kecenderungan pergerakan air berdampak positif terhadap perkembangan gonad, namun kecepatan arus atau pergerakan air dapat mempengaruhi aktivitas landak laut di berbagai habitat. Tingkat konsumsi

makanan landak laut menurun dengan meningkatnya kecepatan arus, baik melalui penurunan aktivitas maupun peningkatan pergerakan alga (Siddon & Witman 2003). Namun untuk pemeliharaan di akuarium atau bak, konsumsi pakan landak laut justru meningkat dengan meningkatkan kecepatan sirkulasi air dan *juvenile* landak laut cenderung lebih menyukai sirkulasi air yang lambat (Lawrence, 2007).

1.4.2 Cahaya

Dalam hal respon terhadap cahaya, berbagai jenis landak laut di berbagai belahan dunia telah diamati lebih aktif di malam hari (nokturnal) misalnya untuk jenis *Paracentrotus lividus*, *Diadema antillarum*, *D. setosum*, dan *Tripneustes gratilla* (Lawrence & Agatsuma, 2007). Namun, terdapat cukup bukti yang menunjukkan bahwa landak laut juga aktif di siang hari. Hal ini terutama terkait dengan perilaku landak laut, yakni spesies yang sama mungkin memiliki respons yang berbeda terhadap cahaya jika ada perbedaan ada tidaknya predator yang cenderung aktif di siang hari (Westbrook et al. 2015).

1.4.3 Suhu

Sebaran populasi landak laut di sepanjang garis lintang dibatasi oleh kondisi suhu lingkungan. Populasinya sangat berkurang di lingkungan yang suhunya di bawah 10°C. Landak laut paling dominan di daerah intertidal dan litoral terumbu karang, yang suhunya berkisar antara 23,6-26,8°C (Mumby et al. 2006a, Mos et al. 2019). Landak laut yang ditemukan pada garis lintang tertinggi berada di Pasifik tenggara di Pulau Paskah, dengan suhu berkisar antara 17,5-24,0 °C (Fell 1974).

1.5 Kandungan Nutrisi Gonad Landak Laut

Gonad landak laut memiliki kadar nutrien tinggi (Iwasaki & Harada 1985) (Tabel 1.1), meskipun bervariasi dengan fase siklus reproduksi (Darsono 1986). Landak laut memiliki sistem imunitas yang membuatnya mampu beradaptasi terhadap cekaman lingkungan dan melawan berbagai patogen yang menyerangnya serta dilengkapi dengan berbagai komponen bioaktif lainnya yang bisa menjadi sumber obat-obatan (Archana & Babu 2016, Rahman et al. 2022, Moreno-García et al. 2022, Molla & Aljahdali 2023). Oleh karena itu, landak laut dapat digunakan untuk penemuan dan pengembangan obat-obatan seperti

antibakteri, antikarsinogenik dan antivirus. Adanya potensi kandungan bioaktif yang terkandung dalam landak laut telah menjadikannya sebagai target penangkapan. Di Kawasan Asia-Pasifik, landak laut telah dijadikan sebagai metode alternatif dalam pengobatan penyakit seperti penyakit jantung dan kanker (Rahman et al. 2022). Lebih lanjut lagi, peningkatan penangkapan landak laut juga didorong oleh adanya senyawa aktif antioksidan, antikoagulasi, antibiotic, antivirus dan antijamur dalam landak laut (Luparello et al. 2020, Sibiya et al. 2021). Setidaknya ada 9 spesies yang belakangan ini menjadi target untuk dimanfaatkan dalam dunia farmasi dan telah terbukti efektif secara *in vitro* dan *in vivo* sebagai model dalam farmakologi, spesies tersebut meliputi *Diadema antillarum*, *Echinometra mathaei*, *Evechinus chloroticus*, *Mesocentrotus nudus*, *Paracentrotus lividus*, *Scapechinus mirabilis*, *Stomopneustes variolaris*, *Tripneustes depressus* dan *T. Ventricosus* (Moreno-García et al. 2022).

Tabel 1.1. Komposisi Nutrisi Gonad landak laut di Jepang (Iwasaki & Harada 1985).

Analisis Proksimat	Satuan	Kadar
Air	g/100 g	74,1 ± 1,1
Protein	g/100 g	16,3 ± 0,5
Lipid	g/100 g	8,4 ± 0,7
Kolesterol	mg/100 g	310 ± 6,7

1.6 Pemanfaatan dan Pentingnya pengelolaan Landak Laut

Pemanfaatan landak laut secara umum dilakukan dengan berbagai tujuan termasuk untuk konsumsi dengan memanfaatkan gonadnya sebagai sumber protein, pemanfaatannya sebagai organisme model, sebagai bahan dasar obat-obatan, dan pemanfaatan lainnya untuk kepentingan estetik. Pemanfaatan gonad landak laut untuk konsumsi sebagai sumber protein telah sejak lama dilakukan di berbagai negara di dunia, khususnya di Cile, Jepang dan Filipina (Talaue-McManus & Kesner 1993, Andrew et al. 2002).

Sejarah pemanfaatan landak laut sebagai salah satu target tangkapan perikanan dimulai pada zaman prasejarah menurut hasil penelitian di berbagai negara. Temuan cangkang landak laut pada berbagai lapisan batuan dapat terlihat pula di berbagai pulau di Pasifik Selatan, seperti di Pulau Norfolk (Campbell & Schmidt 2001), di Kepulauan Loyalty (Sand et al. 2002), dan di Pulau New Ireland (Allen et al. 1989). Contoh pemanfaatan lainnya adalah yang ditemukan di

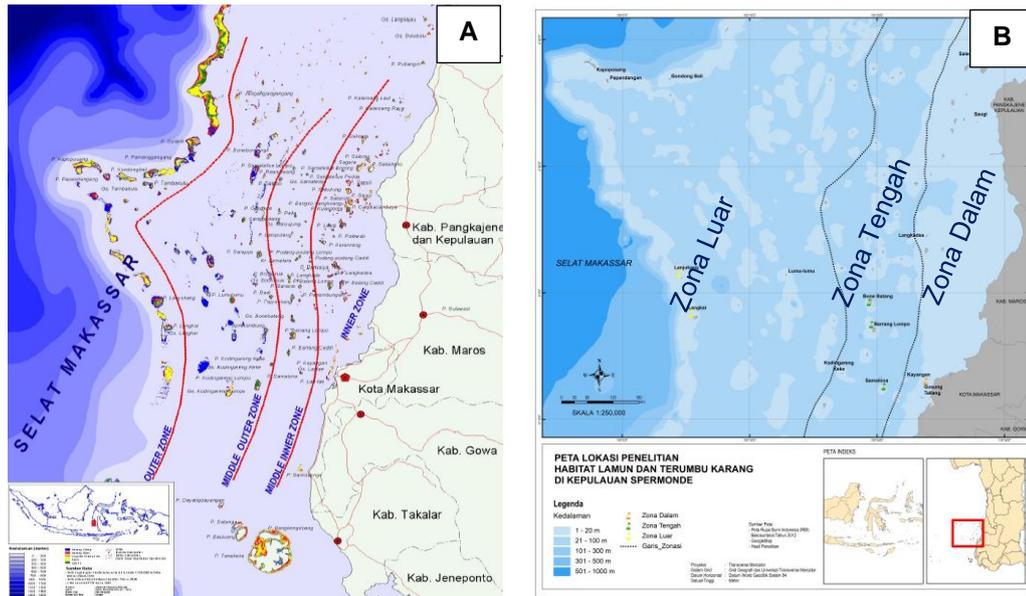
berbagai lokasi di Amerika utara, dimana ditemukan bukti pemanfaatan *Strongylocentrotus droebachiensis* di New Brunswick selatan (Black 2002) dan juga *S. polyacanthus* yang ditangkap oleh suku Aleuts di Pulau Umnak di Alaska (Denniston 1974).

Pemanfaatan landak laut sebagai salah satu target tangkapan perikanan di masa lalu juga ditemukan pada berbagai penelitian yang telah dilakukan di berbagai negara pesisir di Amerika Selatan (Lawrence, 2007). Berbagai hasil penelitian yang telah disebutkan diatas telah menunjukkan bukti adanya kebudayaan masyarakat prasejarah di berbagai pulau di dunia yang menangkap landak laut dan memanfaatkannya sebagai sumber protein untuk keperluan sehari-hari.

Seiring dengan meningkatnya permintaan yang akan berdampak pada penangkapan dan menurunnya populasi, perlu dilakukan pengelolaan yang baik untuk memastikan keberlanjutan perikanan landak laut dan eksistensi populasi landak laut. Sebagaimana contoh pemanfaatan berbagai sumber daya alam, baik di laut maupun di darat, jika tidak dibarengi dengan manajemen yang baik, maka sumber daya alam akan mengalami degradasi dan menurunnya populasi. Salah satu tantangan dalam menjaga kelestarian populasi landak laut di Indonesia adalah sangat kurangnya informasi yang tersedia tentang dinamika populasi dan berbagai aspek bioekologi lainnya (Toha et al. 2012, Wainwright et al. 2018).

1.7 Kepulauan Spermonde

Kepulauan Spermonde merupakan gugusan pulau-pulau kecil dan terumbu-terumbu dangkal serta beberapa gusung yang menyebar di perairan pantai barat Provinsi Sulawesi Selatan (Jompa 1996). Paparan Spermonde dipisahkan oleh Selat Makassar dari Paparan Sunda (Knittweis et al. 2009). Jarak dari daratan Sulawesi Selatan ke batas luar paparan dangkal Kepulauan Spermonde berkisar 30-60 km (Hoeksema 2012, Plass-Johnson et al. 2018a). Berbagai penelitian menemukan perubahan dalam sifat fisik-kimiawi dan bioekologi dari perairan pantai hingga batas luar Kepulauan Spermonde. Zonasi telah dilembangkan berdasarkan perubahan-perubahan atau gradien dalam sifat tertentu di perairan tersebut seiring dengan jarak dari pantai. Zonasi oleh Moll (1983) berdasarkan sifat geomorfologi memiliki empat zona, sedangkan zonasi oleh Faizal (2023) berdasarkan kualitas air laut, termasuk kadar nutrisi dan klorofil, memiliki tiga zona (Gambar 1.4).



Gambar 1.4. Peta Kepulauan Spermonde dengan sebaran pulau dan batimetri. A. Zonasi Kepulauan Spermonde berdasarkan karakter geomorfologi (Moll 1983); B. Zonasi Kepulauan Spermonde berdasarkan kadar nutrisi dan kondisi terumbu karang (Faizal 2023).

Gradien dan Zonasi tersebut terkait pula dengan komunitas biotik, termasuk berbagai taxa biota bersifat bentik (Cleary et al. 2005). Diantaranya sebaran jenis karang keras dari Fungidae (Hoeksema 2012) dan foraminifera (Renema et al. 2001), habitat dan relung trofik ikan herbivora (Plass-Johnson et al. 2018a), dan komposisi zooplankton (Cornils et al. 2010). Namun kajian terhadap keanekaragaman karang keras tidak menemukan perbedaan yang signifikan antar zona tengah dan luar (Yusuf et al. 2021).

1.8 Penelitian Dibutuhkan Untuk Pengelolaan Berkelanjutan Landak Laut

Berdasarkan elaborasi terkait kondisi sebaran populasi, fungsi ekologis, pemanfaatan dan ancaman lainnya terhadap landak laut dengan mempertimbangkan masih minimnya informasi saintifik terkait landak laut dan strategi pemanfaatannya, penelitian ini akan difokuskan untuk melihat kondisi terkini populasi dan tingkat pemanfaatan landak laut yang ada di beberapa pulau di Indonesia, khususnya di Kawasan Timur Indonesia. Hal ini diharapkan dapat memberikan sudut pandang kepada pemerintah untuk lebih memperhatikan pengelolaan yang berkelanjutan terhadap perikanan artisanal yang menjadikan landak laut sebagai target tangkapan.

1.8.1 Identifikasi dan Batasan Masalah

Berdasarkan hasil studi literatur dan analisis awal, terdapat sejumlah masalah yang dapat diidentifikasi, meliputi: (i) Belum adanya studi komprehensif terkait eksploitasi dan pemanfaatan landak laut yang melingkupi wilayah yang luas di Indonesia; (ii) Belum terdapat studi yang menunjukkan hubungan antara berbagai aspek biologi (distribusi spesies dan kepadatan) dan kualitas lingkungan, kondisi habitat dan laju pemanfaatan; (iii) Tidak ada studi terkait strategi/ kebijakan terkait manajemen/ pemanfaatan landak laut yang optimal dari sisi ekonomi dan berkelanjutan dari sisi ekologi di Indonesia.

Meskipun berbagai studi terkait bioekologi dan sosial ekonomi telah dilakukan di Kepulauan Spermonde, pengetahuan terkait dinamika pemanfaatan dan aspek bioekologi landak laut masih kurang. Oleh karena itu, studi ini juga akan menggunakan beberapa studi sebelumnya, khususnya dinamika populasi berbagai jenis landak laut. Pendekatan yang akan digunakan dalam mengembangkan model pemanfaatan dan kebijakan yang berkelanjutan berbagai jenis landak laut adalah dengan mengedepankan manajemen perikanan berbasis ekosistem (Purcell & Pomeroy 2015, Muawanah et al. 2018).

1.8.2 Rumusan Masalah

Latar belakang yang dijelaskan sebelumnya mengarahkan pada beberapa rumusan masalah yang mendasari studi ini. Rumusan masalah disusun dalam beberapa pertanyaan yang akan dielaborasi pada studi yang terpisah. Adapun rumusan masalah sebagai berikut:

- I. Bagaimana jumlah spesies dan kelimpahan landak laut pada tiga zona di Kepulauan Spermonde?
- II. Bagaimana kondisi habitat landak laut (padang lamun dan terumbu karang) di Kepulauan Spermonde serta korelasinya dengan jumlah spesies dan kelimpahan landak laut?
- III. Bagaimana bentuk pemanfaatan landak laut jenis *Tripneustes gratilla* di Kepulauan Spermonde ?
- IV. Bagaimana bentuk-bentuk pemanfaatan landak laut di Indonesia Timur?
- V. Bagaimana alternatif strategi pengelolaan landak laut berkelanjutan di Indonesia?

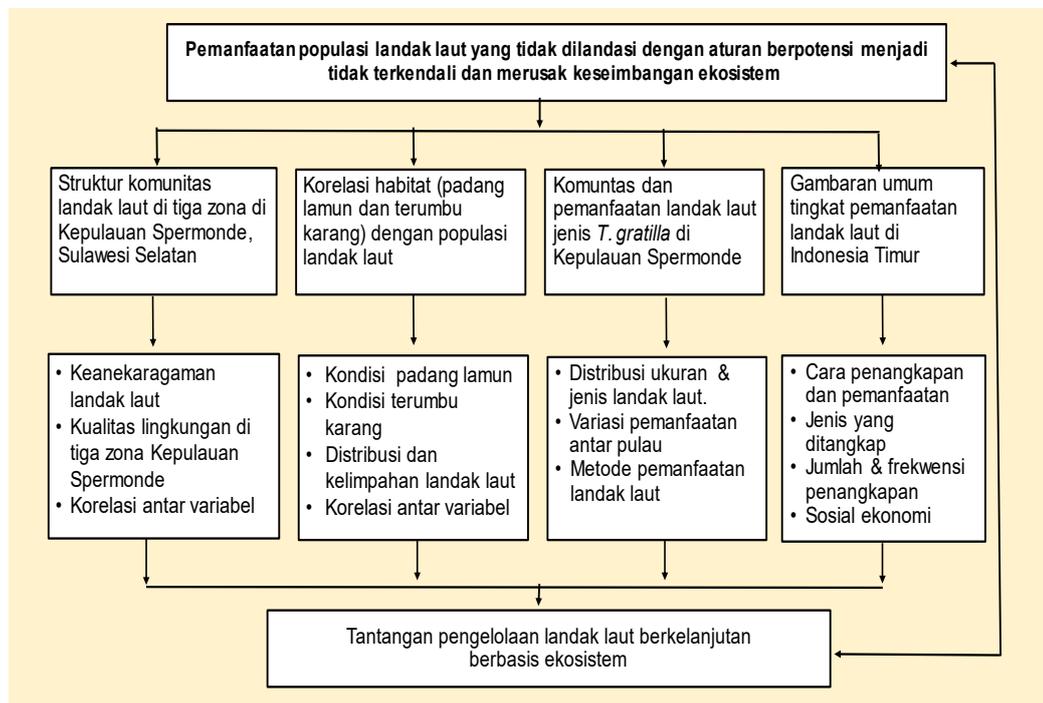
1.8.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang disebutkan sebelumnya, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- I. Menganalisis jumlah spesies dan kelimpahan landak laut pada tiga zona di Kepulauan Spermonde.
- II. Menganalisis kondisi habitat landak laut (padang lamun dan terumbu karang) di Kepulauan Spermonde serta korelasinya dengan jumlah spesies dan kelimpahan landak laut
- III. Menilai pemanfaatan landak laut jenis *Tripneustes gratilla* di Kepulauan Spermonde.
- IV. Menilai bentuk-bentuk pemanfaatan landak laut di Indonesia Timur.
- V. Merumuskan alternatif strategi pengelolaan landak laut berkelanjutan di Indonesia.

1.8.4 Kerangka Penelitian

Dengan bertambahnya populasi manusia, maka kebutuhan akan protein semakin meningkat. Salah satu diantaranya adalah gonad landak laut yang sudah lama dikenal memiliki nilai gizi dan rasa yang sangat lezat. Oleh karena itu secara global permintaan gonad landak laut semakin tinggi dan pada saat yang sama penangkapan landak laut juga semakin meningkat. Namun demikian informasi tentang pemanfaatan landak laut di Indonesia belum banyak tersedia dan bahkan strategi pengelolaan landak laut belum juga ada sampai saat ini. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang untuk memahami beberapa aspek tentang landak laut agar dapat menjadi dasar dalam merumuskan tantangan pengelolaan landak laut berkelanjutan di Indonesia (Gambar 1.5).



Gambar 1.5. Kerangka penelitian yang mengilustrasikan ancaman dan degradasi populasi landak laut yang membutuhkan strategi pengelolaan yang berkelanjutan.