BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bambu laut (*Isis hippuris* Linnaeus, 1758) merupakan salah satu jenis karang lunak (Sub Kelas Octocoralia) yang hidup di perairan tropis Indo-Pasifik. Di Indonesia, jenis ini mendominasi perairan Indonesia bagian timur dan tengah, terutama perairan Sulawesi, Maluku, dan Papua (Arafat et al., 2018). Bambu laut dikelompokkan dalam gorgonian, yaitu kelompok octocoral yang tumbuh dari dasar substrat dan mempunyai kerangka dalam (aksial) yang kokoh (Rowley, 2018). Kerangka aksialnya terdiri dari bahan zat tanduk yang keras dan padat. Gorgonian ini tumbuh subur di berbagai habitat, terutama di perairan dangkal dan jernih dalam eskosistem terumbu karang, dan berfungsi memberikan perlindungan dari gelombang (Joan et at,. 2022).

Bambu laut *Isis hippuris*, yang ditemukan di perairan Pulau Wangi-Wangi, Wakatobi, mengalami penurunan populasi yang signifikan. Hal ini disebabkan karena faktor utama adalah aktivitas destruktif, seperti pemboman ikan dan penggunaan bahan kimia beracun, yang merusak ekosistem laut sejak tahun 1980-2000 (Komunikasi pribadi). Ancaman ini semakin parah karena meningkatnya kegiatan penangkapan ikan yang tidak berkelanjutan, menyebabkan spesies bambu laut semakin sulit ditemukan.

Penangkapan ikan dengan metode merusak telah mengakibatkan kerusakan langsung pada terumbu karang, habitat utama bambu laut. Bambu laut sangat penting untuk menjaga ketersediaannya secara berkelanjutan, karena eksploitasi berlebihan dapat mengancam populasinya (Muliadin et al., 2022). Menurut Haris et al. (2010), bambu laut ditemukan melimpah di Pulau Hoga, tetapi jumlahnya menurun di beberapa pulau lainnya di Wakatobi, termasuk Pulau Wangi-Wangi.

Bambu Laut *Isis hippuris* telah menjadi subjek penelitian yang menarik dalam bidang farmasi dan bioteknologi karena potensi bioaktifnya. Senyawa yang diisolasi dari bambu laut memiliki aktivitas antivirus terhadap Human Cytomegalovirus (HCMV) (Prasetia et al., 2022), sedangkan bahan organik kulit dan polip mengandung substansi kolagen dan senyawa protein. Selanjutnya referensi lain dikatakan bahwa *Isis hippuris* mengandung senyawa sekunder dari golongan Alkaloid, Saponin, Triterpenoid, Steroid, Polifenol, dan Tannin. Kandungan senyawa kimia bambu laut menunjukkan pentingnya upaya restorasi terhadap spesies tersebut, serta pemanfaatannya melalui nilai dari metabolit sekundernya (Ferlin et al., 2023).

Tahun 2014 Kementerian Kelautan dan Perikanan menerbitkan Permen KP No. 46 Tahun 2014. Status Perlindungan Terbatas Bambu Laut

(*Isis hippuris* Linnaeus 1758). Berdasarkan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 8/Kepmen-Kp/2020 melindungi penuh spesies bambu laut (*Isis* spp.) di Indonesia dengan melarang pengambilan, perdagangan, dan pemanfaatan komersial, kecuali untuk pendidikan, penelitian, dan pengembangan yang diawasi ketat. Kebijakan ini merespons ancaman eksploitasi berlebihan dan tingginya permintaan pasar untuk menjaga kelestarian spesies yang penting bagi ekosistem laut tropis (Wibisono et al., 2020). Namun*, Isis hippuris* belum terdaftar dalam Appendix CITES karena bukti ancaman global yang masih terbatas dan lebih banyak berasal dari Indonesia (Nurhayati et al., 2018), kurangnya data ilmiah tentang dampak eksploitasi internasional (Rahmawati et al., 2019), dan fokus CITES pada perdagangan internasional sehingga ancaman lokal kurang menjadi prioritas (Santoso & Hanafi, 2020).

Upaya konservasi diperlukan untuk memulihkan populasi bambu laut, mengingat pentingnya spesies ini dalam meningkatkan keanekaragaman hayati dan keberlanjutan ekosistem laut. Rehabilitasi bambu laut telah dilakukan di Combbitty Garden melalui teknologi akresi mineral dan teknologi restorasi multilokasi, yang dikenal sebagai Rekayasa Teknologi Konservasi Biota Bambu Laut (Asuhadi et al., 2020). Metode yang dapat diterapkan dalam transplantasi bambu laut menggunakan metode substrat jaring dan *Vertical Artificial Reef* (VAR).

Metode substrat jaring dan *Vertical Artificial Reef* (VAR) merupakan pendekatan inovatif dalam upaya restorasi terumbu karang. Substrat jaring, yang menggunakan struktur biodegradable, berperan penting dalam mendukung regenerasi alami karang dengan menyediakan tempat yang stabil, sekaligus mempermudah pemeliharaan ekosistem laut (Munasik, 2017). Sementara itu, VAR memanfaatkan desain substrat vertikal dengan rasio volume terhadap luas permukaan yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi ruang dan mendukung pertumbuhan optimal karang pada kegiatan restorasi (Januar, 2023). Kedua metode ini memberikan solusi efektif untuk merehabilitasi bambu laut.

Transplantasi bambu laut menggunakan kedua metode diatas belum pernah dilakukan di kawasan Combbity Garden Wakatobi, kemudian berbagai metode konservasi telah diterapkan namun data mengenai faktor keterkaitan oseanografi yang mempengaruhi kelangsungan hidup dan pertumbuhan bambu laut masih sangat terbatas, terutama di kawasan Combbity Garden. Faktor-faktor seperti suhu, salinitas, cahaya, kecerahan, dan kecepatan arus memainkan peran penting dalam kesuksesan transplantasi. Dengan demikian perlu dilakukan kajian tentang *Analisis Transplantasi Bambu Laut Isis hippuris dengan transplantasi substrat Jaring serta metode Vertical Artifical Reef (VAR)* pada kawasan Combbity Garden.

Penelitian ini berfokus di kawasan Combbitty Garden Wangi-Wangi, salah satu lokasi potensial terumbu karang di Wakatobi khusus di Pulau Wangi-Wangi seperti di Desa Waha, Koroe Onowa, Wapia-pia, Patuno, dan Matahora. Hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pelestarian biodiversitas laut sekaligus menjadi referensi bagi program konservasi serupa di wilayah lain dan mendukung rencena pemerintah dalam konservasi berkelanjutan bagi spesies *Isis hippuris*.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian di atas, maka dirumuskan beberapa masalah lingkungan habitat *Isis hippuris* yang akan dijawab dalam penelitian ini, sebagai berikut:

1. Bagaimana tingkat kelangsungan hidup bambu laut (*Isis hippuris)* dari metode transplantasi substrat jaring dan metode *Vertical Artificcial Reef* (VAR) pada kedalaman yang berbeda.
2. Bagaimana laju pertumbuhan bambu laut (*Isis hippuris)* yang ditransplantasi dengan metode substrat jaring dan metode *vertical artificial reef* (VAR) pada kedalaman yang berbeda.
3. Bagaimana keterkaitan antara kelangsungan hidup, pertumbuhan, dengan lingkungan oseanografi perairan kawasan Combbity Garden.

1.3 Tujuan Penelitian

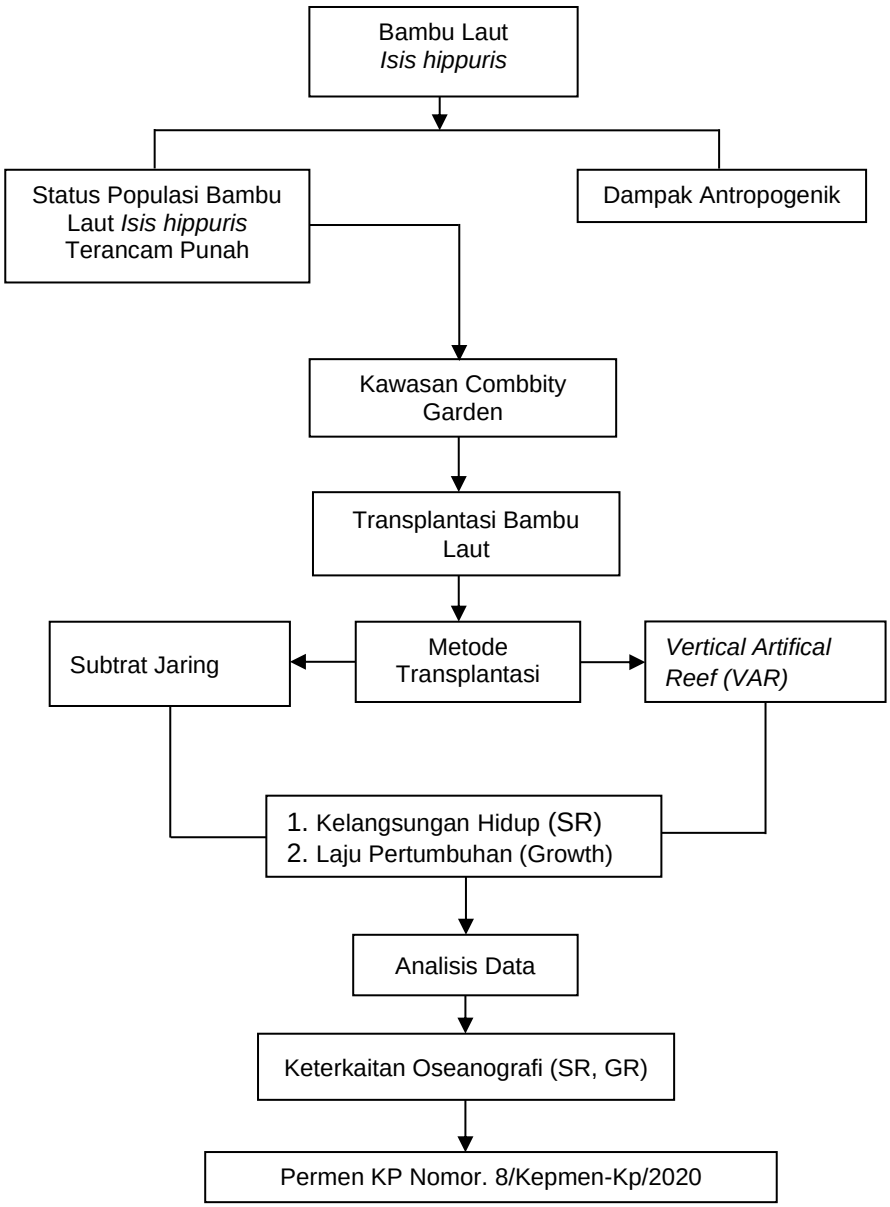
1. Menganalisis perbedaan kelangsungan hidup bambu laut (*Isis hippuris)* dari metode transplantasi substrat jaring dan metode *Vertical Artificial Reef* (VAR) pada kedalaman yang berbeda.
2. Menganalisis pertumbuhan bambu laut (*Isis hippuris)* yang ditransplantasi dengan metode substrat jaring dan metode *Vertical Artificial Reef* (VAR) pada kedalaman yang berbeda.
3. Menganalisis keterkaitan antara kelangsungan hidup, pertumbuhan, dengan lingkungan oseanografi perairan kawasan Combbity Garden.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini dapat menjadi informasi dan bahan kajian bagi pihak-pihak terkait untuk berbagai pengembangan potensi serta upaya konservasi Bambu Laut (*Isis hippuris*) pada perairan Taman Nasional (TN) Wakatobi dan Indonesia pada umumnya. Disamping itu, juga akan memberikan kesadaran pelestarian lingkungan kawasan konservasi terumbu karang secara berkelanjutan.

1.5. Kerangka Pikir Penelitian Transplantasi Bambu Laut

Kerangka penelitian (gambar 1), menjelaskan alur penelitian yang berkaitan dengan konservasi Bambu Laut *Isis hippuris* yang statusnya terancam punah, sesuai dengan aturan No. 8/Kepmen-Kp/2020 dari Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP). Penelitian ini berfokus pada



Gambar 1. Kerangka Pikir Penelitian Transplantasi Bambu Laut.

upaya perlindungan dan transplantasi Bambu Laut dengan tujuan menjaga keberlanjutan populasinya, sesuai pengecualian dalam aturan yang memperbolehkan kegiatan pendidikan, penelitian, dan pengembangan.
Penjelasan kerangka penelitian secara rinci:

1. Bambu Laut (*Isis hippuris*): Penelitian ini dimulai dengan spesies yang dilindungi, yaitu Bambu Laut (*Isis hippuris*), yang keberadaannya terancam punah.
2. Status Populasi Terancam Punah: Menyatakan bahwa populasi spesies ini berada dalam ancaman kepunahan.
3. Dampak Antropogenik: Menunjukkan bahwa salah satu penyebab utama penurunan populasi Bambu Laut adalah aktivitas manusia yang berdampak negatif pada lingkungan laut.
4. Kawasan Kombbity Garden: Kawasan ini dipilih sebagai lokasi untuk melakukan kegiatan transplantasi Bambu Laut sebagai bagian dari upaya konservasi.
5. Transplantasi Bambu Laut: Pada tahap ini, dilakukan transplantasi Bambu Laut ke lokasi baru dalam Kawasan Kombbity Garden, sebagai metode untuk melestarikan dan memulihkan populasinya.
6. Metode Transplantasi: Dua metode transplantasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:
    a. Substrat Jaring media rak dan jaring serta substrat buatan yang digunakan untuk menanam Bambu Laut.
    b. *Vertical Artificial Reef* (VAR): Terumbu buatan vertikal yang digunakan untuk menempatkan dan mendukung pertumbuhan Bambu Laut.
7. Kelangsungan Hidup (SR) dan Laju Pertumbuhan (Growth Rate): Setelah dilakukan transplantasi, dua parameter penting yang diukur adalah kelangsungan hidup (SR) dan laju pertumbuhan (Growth Rate) Bambu Laut.
8. Analisis Data: Data mengenai kelangsungan hidup dan laju pertumbuhan dianalisis untuk mengetahui efektivitas metode transplantasi yang digunakan.
9. Keterkaitan Oseanografi (SR, GR): Hasil analisis data dihubungkan dengan kondisi oseanografi, seperti suhu, salinitas, kecerahan dan kecepatan arus, untuk memahami bagaimana faktor-faktor oseanografi mempengaruhi (SR) dan laju pertumbuhan Bambu Laut (GR).
10. Permen KP No. 8/Kepmen-Kp/2020: Penelitian ini mengacu pada kebijakan Kementerian Kelautan dan Perikanan Indonesia, yang memberikan perlindungan penuh terhadap Bambu Laut (Isis spp.). Namun, pengecualian diberikan untuk kegiatan pendidikan,

penelitian, dan pengembangan, yang sesuai dengan fokus dari penelitian ini.

Secara keseluruhan, kerangka ini menekankan pada upaya penyelamatan Bambu Laut melalui metode transplantasi yang dianalisis berdasarkan faktor kelangsungan hidup dan laju pertumbuhan serta keterkaitan dengan kondisi oseanografi, sehingga mematuhi kebijakan perlindungan yang ditetapkan dalam No. 8/Kepmen-Kp/2020.

1.6 Hipotesis Penelitian

H0: Tidak ada perbedaan kelangsungan hidup dan laju pertumbuhan pada transplantasi bambu laut dengan menggunakan metode dan kedalaman yang berbeda di kawasan Combbity Garden dan tidak ada keterkaitan antara kelangsungan hidup, laju pertumbuhan parameter lingkungan di kawasan Combbity Garden.

H1: Transplantasi bambu laut menggunakan metode dan kedalaman berbeda memiliki kelangsungan hidup dan laju pertumbuhan yang berbeda di pengaruhi oleh parameter lingkungan di Kawasan commbity garden.

BAB II. LANDASAN TEORI

2.1 Klasifikasi dan Morfologi

Bambu laut (*Isis hippuris* Linneaeus 1758) merupakan salah satu jenis karang lunak yang hidup di perairan tropis indo-Pasifik. Bambu laut (*Isis hippuris*) menguasai perairan Indonesia bagian timur khususnya di perairan Sulawesi, 22 Maluku dan Papua. Bambu laut (Isis hippuris) biasanya dijumpai secara berkoloni di ekosistem terumbu karang. Koloni Bambu laut (*Isis hippuris*) merupakan kumpulan suatu individu karang atau polip yang tersusun pada tangkai karang lunak berupa jaringan berdaging yang diperkuat oleh suatu matriks dari partikel-partikel kapur mikroskopis yang disebut sklerit (Bahri dkk., 2016).

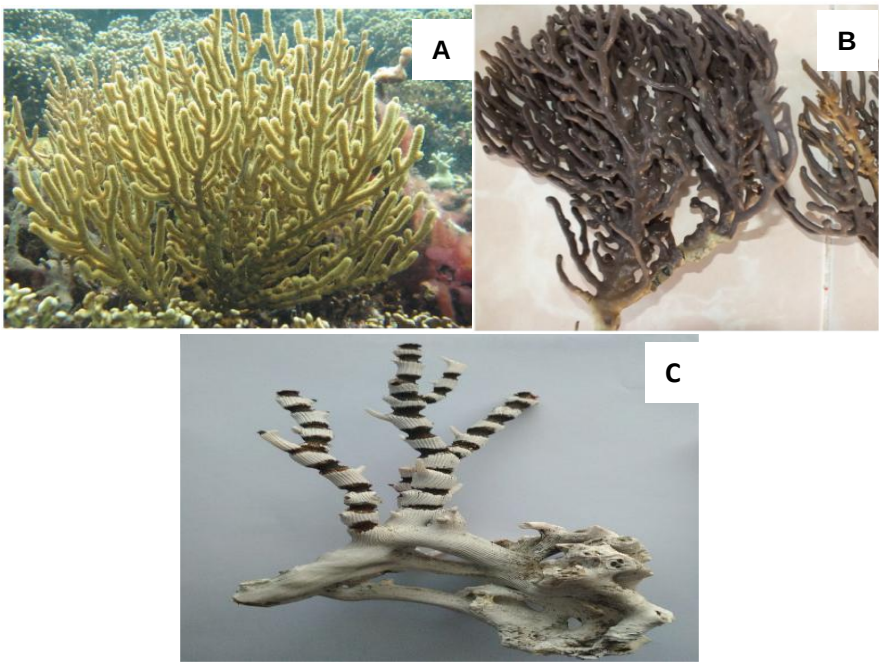
Koloni bambu laut (*Isis* spp.) umumnya berbentuk pohon, dengan pola percabangan yang bisa tidak beraturan, seperti perdu, tetapi dengan cabang bercabang vertikal menyerupai permukaan datar berbentuk kipas. Hewan ini merupakan karang lunak yang biasa disebut kipas laut (Katherine & Alderslade, 2001). Kuning keemasan merupakan perpanjangan dari polip yang mengandung zooxanthellae yang dapat merespons nutrisi (Erhardt & Knop, 2005). Ada juga koloni kuning cerah, kuning kehijauan, atau coklat muda. Warna koloni ini dipengaruhi oleh kandungan pigmen alga uniseluler (zoxanthellae) yang hidup berdampingan dengan jaringan polip. Bambu laut (*Isis* spp*.)* menekuk ke kanan, dan bagian atas koloni melengkung.

Bambu laut *Isis hippuris* memiliki beberapa nama lokal, antara lain: Sariawan (Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara). Dalam klasifikasi taksonomi oleh Linnaeus, 1758, bambu laut diklasifikasikan menjadi:

Kingdom: *Animalia*
Phylum: *Cnidaria*
Class: *Anthozoa*
Sub Class: *Octocorallia*
Ordo: *Alcyonacea*
Sub Ordo: *Calcaxonia*
Family: *Isididae*
Genus: *Isis*
Species: *Isis huppuris*
Nama Umum: *Sea fan*
(Perdagangan Internasional) Nama Lokal: Bambu Laut, Patah Tulang, Sariawan, Karang Bambu, dan Lappa-lappa

Koloni *Isis hippuris* teksturnya sangat keras dan hanya sedikit bergoyang bila terkena arus dan ombak. Bentuk batang *Isis hippuris*

bercabang. Kebanyakan cabang sangat pendek (Fabricius & Alderslade, 2006). Bambu laut (*Isis* spp.) memiliki kerangka internal yang kuat dari gorgonin yang dilapisi dengan lapisan koenzim sebagai tempat tumbuhnya polip (individu hewan karang). Ketika lapisan koenzim terpapar, kerangka aksial (kerangka di dalam stratum korneum) terlihat sebagai area putih (nodul) diselingi dengan sendi artikular coklat tua (nodul). Bagian dari simpul ini adalah titik di mana cabang-cabang baru tumbuh.



Gambar 2. Morfologi. A. Koloni bambu laut *Isis* spp. di alam; B. bambu laut Isis spp. dalam kondisi basah; C. Bambu laut Isis spp. dalam kondisi kering. (Permen KP No.8 /2020).

Karang bambu (famili Isididae) adalah salah satu octocorals air dalam yang paling mudah dikenali karena kerangka artikulasinya terdiri dari ruas berkapur non-sklerit yang paling sering ditemui di laut dalam adalah spesies dalam subfamili keratoisidinae, termasuk genusacanella Abu-abu, 1870, *Isidella* percabangan koloni." Meskipun kunci taksonomi baru-baru ini menggunakan "koloni tidak bercabang" untuk membedakan *Lepidisis*, deskripsi asli genus termasuk morfologi bercabang dan tidak bercabang, dengan kedua bentuk juga diklasifikasikan dalam Prancis, (2007).

Klasifikasi Subfamili Keratoisidinae. Perlakuan taksonomi terbaru (Bayer, 1990) dari Keratoisidinae mencantumkan enam genera dalam subfamili *Keratoisis* (Wright, 1869; *Isidella* Gray, 1857; *Acanella* Gray, 1870; *Lepidisis* Verrill, 1883; *Tenuisis* Bayer dan Stefani, 1987), dan *Orstomisis* Bayer, 1990; Bayer dan Stefani (1987) mendeskripsikan enam

karakteristik morfologi yang telah digunakan untuk mengklasifikasikan dan mengidentifikasi karang bambu: (1) retraksi polip, (2) percabangan koloni, (3) struktur kerangka aksial, (4) sklerit morfologi, (5) susunan sklerit, dan (6) ada tidaknya operkulum pada polip. Yang menarik untuk penelitian saat ini adalah bentuk pertumbuhan bercabang dari koloni, yang digunakan sebagian besar pengamat untuk membedakan *Lepidisis* dari *Keratoisis*. Dalam praktiknya, sebagian besar terumbu karang berada di laut dalam.

Prancis, (2007) menganalisis variasi sekuens DNA mitokondria dari isidid yang apakah karang bambu seperti cambuk yang tidak bercabang dalam subfamily keratoisidinae monofiletik urutan DNA dari *msh1* gen (1426 nukleotida) dari 32 isidid informatif tambahan untuk diskriminasi takson terdukung baik, semuanya mengelompokkan morfologi koloni bercabang dan tidak bercabang tidak ada clade monofiletik tunggal keratoisidinae tidak bercabang didasarkan pada apakah koloni bercabang atau tidak.

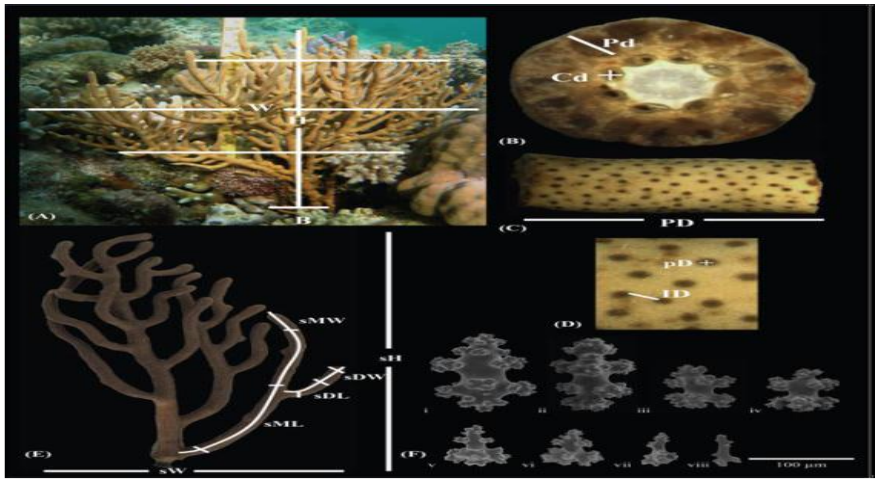
Gambar 3. Karang bambu dalam subfamili Keratoisidinae. (A) Koloni mirip cambuk tidak bercabang (“Lepidisis”) dengan tinggi > 2 m, dengan karakteristik spiral, ujung distal, di Manning Seamount; (B) koloni bercabang distal di Gunung Laut Balanus, kedalaman 1560 m; titik percabangan, yang ditunjukkan oleh tanda panah, berada > 1 m di atas dasar dan tertutupi oleh ujung melingkar salah satu cabang yang mengarah keluar dari bidang halaman; (C) koloni bercabang internodal (“*Keratoisis*”) di Bear Seamount, kedalaman 1478 m; (D) fragmen kerangka dari koloni di 1C, menunjukkan nodus berprotein gelap, ruas berkapur putih, dan percabangan ruas (penggaris = 15 cm). (Kredit foto untuk A, B, C: Grup penelitian Pegunungan di Laut–Institut Eksplorasi (IFE–NOAA) Prancis SC, (2007).

Famili ini dicirikan oleh kerangka aksialnya, yang terdiri dari ruas berkapur bergantian dengan nodus bebas sklerit yang mengandung protein

(Gambar 3). Banyak anggota subfamili Keratoisidinae tumbuh hingga ukuran besar dan menonjol dalam survei visual substrat keras laut dalam. Karena ruas berkapur padat dapat tumbuh dengan diameter yang relatif besar dan terawetkan dengan baik, dan koloni hidup untuk waktu yang lama, mereka telah dipelajari secara ekstensif oleh ahli geokimia tertarik dalam menganalisis tanda isotop sebagai perekam peristiwa paleo-oseanografi (Neil *et al*., 2005; Roark *et al*., 2005; Noé dan Dullo, 2006; Thresher *et al*., 2007) dan ahli biologi yang tertarik pada populasi karang laut dalam yang menua (Mills dan Mullineaux, 2005).

Pada beberapa spesies dari kelompok gorgonian, lapisan koenzim dapat terdiri dari senyawa berkapur acicular, yaitu partikel berkapur acicular yang bervariasi dari spesies ke spesies (Sayuti, 2016). Bentuk khas dari jarum-jarum ini digunakan sebagai pedoman dalam proses identifikasi hingga ke tingkat spesies. Secara umum, spesies *Isis hippuris* memiliki morfologi koloni arboreal, tumbuh dari substrat dan tumbuh tegak di medula yang sama dengan batang tanaman. Sumsum tulang sangat kuat. dan membentuk cabang. Akson yang mengandung zat keras, gorgonin, ditemukan di dalam batang dan cabang. Batang ditutupi dengan lapisan koenzim yang cukup lunak dan merupakan habitat polip.

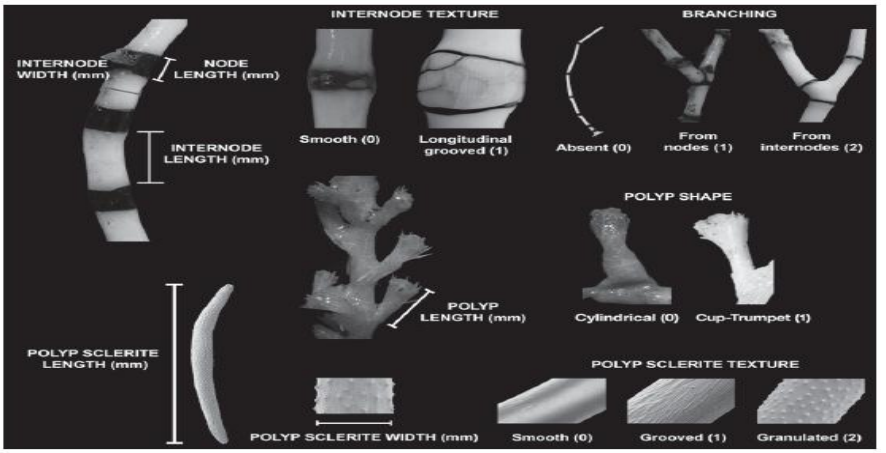
Lapisan koenzim dicirikan dengan terbagi menjadi coklat kehitaman dan putih, dan tidak ada jarum di bagian ini. Polip yang tumbuh pada lapisan koenzim bersifat monomorfik. Jadi hanya ada satu jenis polip yang disebut autosoid. Polip otomaton adalah polip yang berkembang dengan baik, tentakel, berfungsi, dan terlibat dalam aktivitas menelan dan reproduksi (Sayuti, 2016). Polip diatur dalam lingkaran "*Sclerite*" adalah nama umum untuk kerangka internal delapan karang, yang merupakan partikel kalsium karbonat yang disimpan dalam jaringan endoderm. Istilah "*spicule*" biasanya digunakan untuk bentuk siderite dengan ujung runcing. Pada anggota octocorals, peran spikula sebagai perancah internal untuk menopang jaringan tubuh sangat penting untuk tumbuh tegak. Pada *Isis hippuris*, hanya ada di lapisan koenzim. Lapisan koenzim mengandung jarum dengan berbagai kepadatan dan bentuk. Jarum ini digunakan sebagai kunci identifikasi. Lapisan koenensim atau kulit ini membalut "axis" (kerangka dalam zat tanduk) dengan ciri-ciri yang khas yaitu bersegmen dan berwarna coklat kehitaman dan putih serta pada bagian ini tidak terdapat spikula (Fabricius dan Alderslade, 2001).



Gambar 4. Bambu Laut (Isis hippuris). Pengukuran sifat morfologi dari Isis hippuris (A) koloni; s(B,C,D) canal dan polyp dynamics; (E) sub-koloni (branching) dynamics; (F) sisi sklerit/ perbandingan morphotype i dan ii spindle, iii dan iv capstans 7- radiates, v-v dan vii-viii kelompok dari Ridge 1 dan Sampela (Rowley *et al*., 2015).

Morfologis yang muncul beberapa kali saat dipetakan ke filogeni molekuler telah dikaitkan dengan labilitas karakter (Duenas & Sanchez, 2009). Karang bambu adalah octocorals laut dalam berumur panjang yang ditandai dengan modularitas yang menghasilkan morfologi percabangan yang beragam dalam subfamili Keratoisidinae. Dua belas karakter morfologi dipilih untuk membuat rekonstruksi karakter leluhur, tidak ada yang menunjukkan status karakter yang membentuk kelompok monofiletik ketika dipetakan ke dalam filogeni molekuler.

Organisme modular seperti karang bambu dapat memiliki karakteristik evolusi yang lebih tinggi daripada organisme kesatuan. Namun, karang bambu juga dapat menunjukkan plastisitas fenotipik yang terkait dengan karakter kontinu, mengingat mereka dapat merespons kontrol ekstrinsik. Sebagai hasilnya, kami menyarankan agar taksonomi kelompok saat ini dievaluasi ulang dan mekanisme berbeda yang mengatur modularitas dan evolusi Karakter di Karang Bambu dieksplorasi (Duenas & Sanchez, 2009).



Gambar 5. Beberapa karakter morfologi yang dinilai dalam rekonstruksi keadaan karakter leluhur (Duenas & Sanchez, 2009).

Karang bambu yang dikumpulkan selama ekspedisi laut dalam ke Bahama pada tahun 2009 terbukti memiliki kombinasi fitur unik untuk anggota subfamili karang bambu Keratoisidinae struktur dan bentuk polip, sklerit yang seluruhnya terdiri dari batang, beberapa yang memperpanjang panjang polip, kehalusan cabang dengan ruas padat, dan konstruksi (Watling, 2015). Karang bambu (Famili Isididae, sensu lato) terdiri dari serangkaian morfologi yang sangat beragam mulai dari keriting tinggi, kipas lebar atau semak, dan bentuk kecil seperti semak duri, hingga tempat lilin dan koloni (Watling *et al*., 2011). Karang bambu laut dalam yang paling umum berada di subfamily Keratoisidinae, yang saat ini berisi tujuh genera (Alderslade dan McFadden 2012, (Watling dan France 2011).

Faring Octocorallia yang khas, seperti yang dijelaskan oleh Bayer (1974) dan Bayer & Muzik (1976) adalah tabung yang kurang lebih memanjang yang menghubungkan mulut dengan rongga gastrovaskular keberadaan sklerit di faring karang bambu menunjukkan asal ektodermal dari jaringan faring karena skleroblas adalah sel yang berasal dari ektodermal yang telah bermigrasi ke mesogloea (Hyman 1940). Meringkas studi sebelumnya, menyatakan bahwa sementara mesenterium diturunkan secara endodermal, setidaknya sebagian faring berasal dari ektodermal.

Bayer & Muzik (1976) mencatat bahwa faring *Taiaroa tauhou* berlipat melintang, mungkin untuk memungkinkan kontraksi saat anthocodia ditarik ke dalam anthostele dan sklerit kecil yang ada diatur sejajar dengan lipatan. Demikian pula pada *Plexaura homomalla.* Bayer (1974) menyatakan bahwa faring mampu melipat saat polip berkontraksi ke dalam koenenkim. Pada kedua spesies, tentakel terlipat di atas mulut dan lebar faring konsisten sepanjang panjangnya. Pada *Cladarisis*, struktur bukaan mulut dan faring sangat berbeda. Pembatasan antara jaringan peristomal pada

permukaan dorsal polip, dan jaringan faring ditandai dengan sedikit lipatan pada jaringan (R), pada gambar 6.

Artinya, tidak ada lipatan jaringan faring, yang diharapkan pada polip yang berkontraksi. Sebaliknya faring dan peristome bersama-sama dibangun dengan cara yang mengingatkan pada spandrels, atau desain faring lainnya telah terlihat di Keratoisidinae (pengamatan pribadi), dari tabung panjang yang tidak terlipat sama sekali hingga struktur pendek dan mudah dilipat jelas bahwa pemeriksaan struktur faring yang lebih lengkap diperlukan dan penelitian semacam itu dapat menghasilkan karakter morfologi tambahan yang dapat digunakan untuk memahami taksonomi dan filogeni kelompok (Watling, 2015).

2.2 Habitat dan Sebaran

Kondisi perairan yang jernih merupakan habitat yang paling menguntungkan bagi spesies karang yang berhubungan dengan zooxanthellae seperti Xenidae, Nephtidae, Alcyoniidae dan Isididae. Spesies zooxanthellae ini adalah spesies zooxanthellae yang umum ditemukan di karang Ishidae dan terbatas pada daerah yang terbuka untuk arus laut. Komunitas Ishidae di daerah dangkal, yaitu daerah terumbu dangkal, dibatasi oleh adanya energi gelombang yang besar, terutama di daerah berangin, sehingga kelimpahan dan jumlah spesies karang ini rendah. Isididae ditemukan terutama di kawasan lindung dari gelombang, yaitu terumbu dalam atau daerah lereng terumbu (Fabricius & Alderslade, 2001).

Salah satu keunggulan Isis hipprus adalah keberadaannya di mana-mana untuk menunjukkan komposisi spesies dan frekuensi perbedaan antara spesies Daerah (Benayahu, 1985). Tersebar luas di perairan dangkal yang jernih besar terumbu penghalang (barrier reefs), jenis karang ini biasanya terdapat di terumbu berukuran sedang, yaitu perairan dangkal yang aman dari hantaman ombak (Fabricius & Alderslade, 2006). Juga, Isis hippuris didistribusikan di Pasifik dan daerah tropis dan umumnya ditemukan di perairan dangkal. Di perairan dangkal dan transparan yang tidak terpengaruh oleh gelombang, spesies ini biasanya melimpah di tengah terumbu penghalang dan hampir tidak ada di perairan keruh (Fabricius & Alderslade, 2001).

Di perairan Pulau-Pulau Padaido, Biak, terutama Pulau-Pulau Padaido Atas, jenis ini ditemukan melimpah di rataan terumbu pada kedalaman 1-2 m CRITC-COREMAP, 2006. Isis hippuris ditemukan di perairan Andaman, Filipina, Papua Nugini, Indonesia Gambar 7. Taiwan, Palau, dan Kepulauan Ryukyu. Di Indonesia, bambu laut tumbuh di perairan Sulawesi dan Nusa Tenggara (Tabel 1).

Gambar 6. Distribusi *Isis hippuris* di Indonesia (Rowely, 2014).

Tabel 1. Status Kelimpahan dan sebaran bambu laut di beberapa perairan di Indonesia (KKJI, 2013).

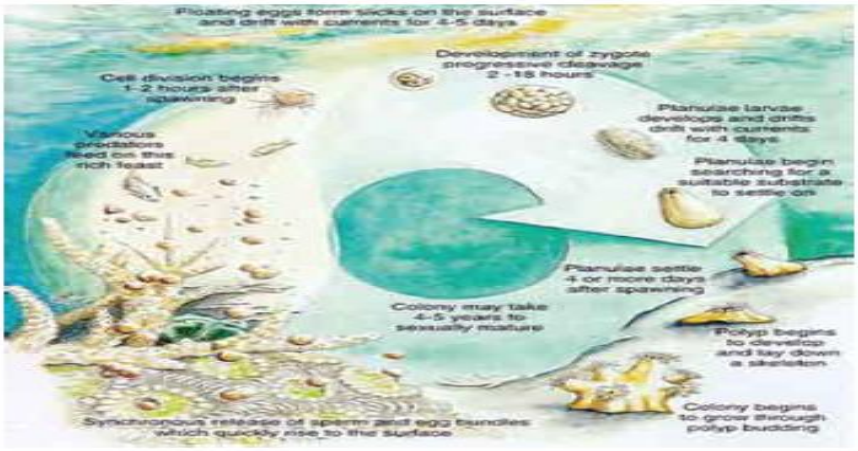
No	Lokasi	Koloni / individu	Kelimpahan	Ukuran koloni (cm)	Kedalaman
1	**Selat Pantar – Alor, NTT**				
	Stasiun 1	23	Jarang	40,34	-
	Stasiun 2	65	Sedikit	41,91	-
	Stasiun 3	78	Sedikit	53,92	-
	Stasiun 4	84	Sedikit	40,25	-
	Stasiun 5	0	Jarang	0	-
	Stasiun 6	0	Jarang	0	-
	Stasiun 7	0	Jarang	0	-
	Stasiun 8	0	Jarang	0	-
	Stasiun 9	36	Jarang	39,30	-
	Stasiun 10	0	Jarang	0	-
2	**Kupang, NTT**				
	Tablolong 1	22	Jarang	20—40	3—5
	Tablolong 2	44	Jarang	20—40	3—5
	Tablolong 3	68	Sedikit	20—40	3—5
	Tablolong 4	50	Jarang	20—40	3—5
	Dermaga TNI AL	96	Sedang	20—40	3—5
	Tenggara P. Semau	180	Melimpah	20—40	3—5
	Selatan P. Kambing	144	Banyak	20—40	3—5
3	**Konawe, Sulawesi Tenggara**				
	Soropia	0	Jarang	0—30	-
	Wawohara	90	Sedang	0—30	3—5
	Wawobungi 1	181	Melimpah	0—30	4—8
	Wawobungi 2	0	Jarang	0—30	-
4	**P. Saronde – Gorontalo Utara, Gorontalo**				
	Stasiun 1	99	Sedang	20—50	3—5
	Stasiun 2	48	Jarang	20—50	3—5
5	**Parigi Moutong, Sulteng**				
	Stasiun 1	426	Melimpah	30—50	5
	Stasiun 2	257	Melimpah	30—50	5
6	**P. Pasi - Selayar, Sulsel**				
	Stasiun 1	45	Melimpah	0—30	3—10
	Stasiun 2	48	Melimpah	0—30	3—10
	Stasiun 3	30	Sedang	0—30	3—10
	Stasiun 4	15	Jarang	0—30	3—10
7	**Spermonde – Makassar, Sulsel**				
	P. Samalona	19	Jarang	30—60	3—7
	P. Kodingarenglompo	12	Jarang	30—60	3—5
	P. Kodingarengkeke	18	Jarang	30—60	3—7
	P. Bonetambung	112	Banyak	30—60	3—5
	Gs. Bonebattang	43	Jarang	30—60	3—10
	P. Barranglompo	36	Jarang	30—60	3—10
8	**Kab. Bima, NTB**				
	St 1. Pasir Putih	92	Sedang	30—100	55,02
	St 2. Tosa	10	Jarang	5—75	45,23
	St 3. Lariti 1	65	Sedikit	10—85	40,11
	St 4. Lampa Jara	67	Sedikit	15—92	35,72
	St 5. Lariti 2	85	Sedang	15—100	44,86

Berdasarkan data di atas, kategori frekuensi yang paling umum adalah Kawasan Parige Mouton, Sulawesi Selatan, dengan frekuensi rata-rata 314 koloni per stasiun, dan frekuensi terendah adalah Selat Punta, Alor, Nusa Tenggara Timur, dengan frekuensi 28 orang di sekitar stasiun Koloni yang ditemukan berukuran sangat besar, dengan luas maksimum 100 cm. Koloni bambu laut (*Isis hippuris*) ditemukan pada kedalaman 3 m sampai 55,02m.

2.3 Reproduksi dan Perkembangan Karang Lunak

Reproduksi aseksual pada karang lunak pada dasarnya dapat dianggap sebagai proses kloning koloni dewasa. Pembentukan tunas dimulai dengan pembentukan polip besar yang terletak di dekat pangkal batang atau di ujung kepala. Polip besar ini kemudian berkembang pada koloni yang terpisah, sementara reproduksi aseksual tetap berlangsung dengan baik, sebagaimana diungkapkan oleh Haris & Rani (2019). Pada koloni yang lebih kecil, tunas yang terbentuk akan berkembang bersama-sama untuk membentuk koloni dengan banyak batang. Namun, jika koloni induk yang mengalami pembelahan cukup besar, tunas yang terbentuk tetap akan berukuran kecil karena terbatas oleh koloni induk yang menghalanginya.

Bambu laut merupakan jenis karang lunak yang memiliki kemampuan untuk berkembang biak baik secara seksual maupun aseksual (Bayer, 1956). Pada karang lunak, reproduksi seksual umumnya bersifat gonokoris, sementara reproduksi aseksual melibatkan beberapa mekanisme yang dikenal, seperti partenogenesis, fragmentasi yang tidak disengaja, serta fragmentasi terprogram, termasuk perbanyakan vegetatif, serta fenomena yang dikenal sebagai “dripping”, “popping”, dan “budding” (Riddle, 2008 *dalam* Haris & Rani, 2019). Reproduksi aseksual ini dapat terjadi melalui fragmentasi dan pemisahan polip dari koloni induk. Teknik ini sering diterapkan dalam perbanyakan vegetatif, terutama dalam konteks transplantasi karang lunak untuk tujuan rehabilitasi dan komersial oleh perusahaan yang bergerak di bidang ekspor karang. Beberapa spesies karang lunak yang paling mudah diperbanyak melalui metode ini termasuk Sarcophyton, Lobophytum, Sinularia, Litophyton, Xenia, dan Anthelia. Penempelan fragmen buatan ini akan berhasil dengan baik apabila didukung oleh kondisi lingkungan yang optimal serta substrat dasar yang sesuai (Sandy, 2000). Pada karang lunak masif, seperti pada genus Sarcophyton, pembentukan tunas individu baru merupakan hal yang umum (Spring dan Delbeek, 1997).



Gambar 7. Reproduksi Seksual Alcyoniidae.(Madi & Yip, 2000).

2.4 Status Populasi dan Penurunan Bambu Laut

Populasi bambu laut belum diteliti secara menyeluruh, namun berdasarkan beberapa hasil survei yang telah dilakukan, kepadatan alaminya bervariasi di setiap daerah. Kelimpahan yang ditemukan di masing-masing daerah berbeda-beda, tergantung pada kondisi wilayah dan kondisi terumbu karang setempat. Kelimpahan jumlah koloni bambu laut dibagi menjadi lima kategori menurut kriteria yang dikemukakan oleh Haris et al. (2010), sebagaimana disajikan pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Kriteria kelimpahan bambu laut berdasarkan jumlah.

No	Kelimpahan (Jumlah Koloni)/ 500 m	Kategori
1.	3-44	Jarang
2.	45-84	Sedikit
3.	85-126	Sedang
4.	127-167	Banyak
5.	168-209	Melimpah

Tabel ini menggambarkan pengategorian kelimpahan bambu laut yang digunakan dalam survei untuk mengevaluasi distribusi koloni berdasarkan jumlahnya. Kategori kelimpahan ini penting untuk memahami dinamika populasi bambu laut di berbagai ekosistem terumbu karang.

Kelimpahan bambu laut dihitung setiap 500 m² karena pada saat pengamatan, panjang garis transek adalah 50 m, dengan lebar transek masing-masing 5 m di kiri dan kanan. Dengan demikian, luas total area yang diamati adalah 500 m². Berdasarkan hasil penelitian Haris et al. (2010), pada perairan Spermonde, Kota Makassar, Sulawesi Selatan, ditemukan bahwa hanya terdapat tiga dari lima kategori kelimpahan yang tercatat, yaitu kategori 'jarang', 'sedikit', dan 'melimpah.

Tabel 3. Jumlah Bambu Laut Berdasarkan Kategori Kelimpahan pada Perairan Pulau Bonetambung.

No	Lokasi	Jumlah Koloni	Kategori
1	P. Samalona	11 - 26	Jarang
2	P. Kodingarenglompo	7 – 17	Jarang
3	P. Kodingarengkeke	3 – 32	Jarang
4	P. Bonetambung	15 – 209	Melimpah
5	Gs. Bonebattang	42 – 44	Jarang
6	P. Barranglompo	26 – 45	Sedikit

Tabel menunjukkan bahwa bambu laut hanya melimpah di perairan Pulau Bonetambung, dengan jumlah koloni sebanyak 209 koloni per 500 m². Hal ini mungkin disebabkan oleh karakteristik lokasi yang merupakan daerah terlindung (Leeward), yang dapat memberikan kondisi yang lebih baik bagi kelimpahan bambu laut.

Pulau Bonetambung merupakan lokasi yang memiliki kondisi terumbu karang yang masih baik. Dari hasil penelitian kelimpahan bambu laut oleh Candri pada tahun (2016) Pulau Bonetambung memiliki jumlah koloni bambu laut yang masih melimpah di bandingkan dengan pulau-pulau lain sekitarnya. Sedangkan pada perairan pulau lainnya koloni bambu laut sedikit di temukan, bahkan di beberapa pulau seperti di Pulau Barrang Lompo dan Pulau Samalona tidak di temukan lagi bambu laut. Pada perairan kepulauan Wakatobi, Pulau Hoga dan Pulau Liwuto merupakan pulau yang memiliki kelimpahan populasi tertinggi di bandingkan dengan pulau lainnya, karena merupakan daerah perlindungan laut.

Data terbaru dari Kepulauan Spermonde pada tahun (2013) dan (2014) menunjukkan penurunan populasi yang signifikan. Di Kepulauan Wakatobi, survei dilakukan di pulau Hoga, Daerah perlindungan laut, dan ditemukan bahwa bambu laut berlimpah, tetapi

bambu laut langka juga ditemukan di beberapa pulau lain. Di Pulau Wanci, penelitian menemukan bahwa bambu laut termasuk dalam kategori kelimpahan rendah, langka, atau tidak ada.

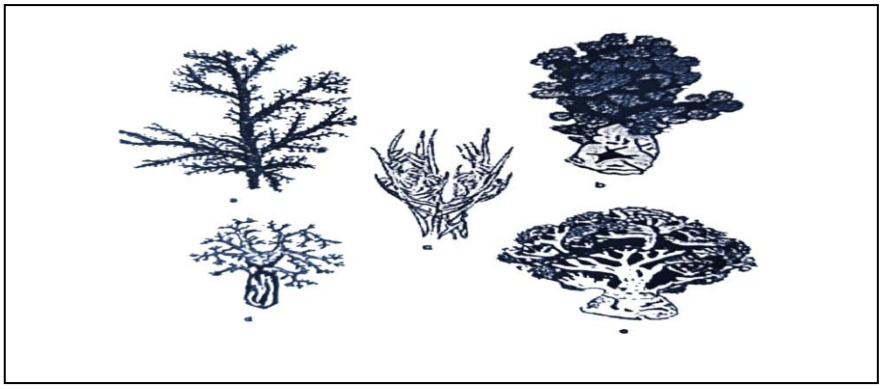
2.5 Bentuk-Bentuk Pertumbuhan

Pertumbuhan adalah perubahan ukuran panjang, bert volume, lebar (koloni, cangkang) atau dimensi-dimensi yang lain dalam kurun waktu tertentu. Menurut Suharsono (1984) *dalam* Haris & Rani, (2019). pertumbuhan karang merupakan proses pertambahan panjang, volume atau perubahan tutupan kerangka karang per satuan waktu. Proses tersebut terjadi karena adanya kalsifikasi yang tersusun dari kalsium karbonat dalam bentuk aragonit kristal (kristal serat CaCO3) dan kalsit, sedangkan. Pertumbuhan karang merupakan pertambahan panjang linear, berat, volume, atau luas kerangka atau bangunan kapur (*Kalsium*) spesies karang dalam kurun waktu tertentu.

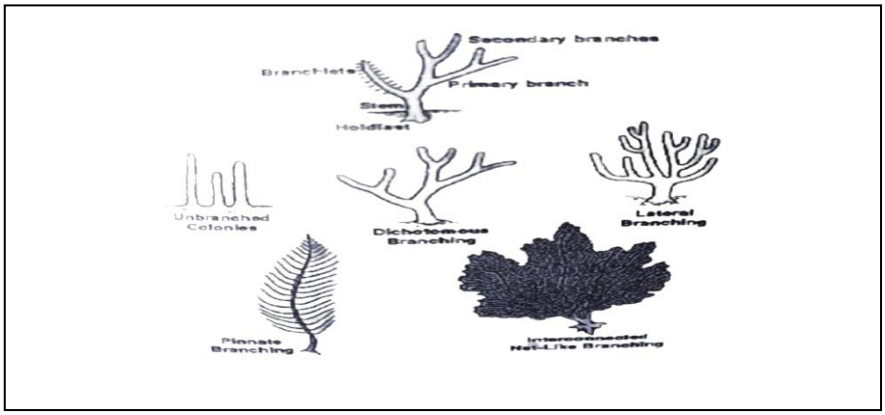
Terumbu karang umumnya menggunakan lebar koloni (yang pertumbuhannya massi panjang cabang (untuk yang pertumbuhannya bercabang) atau perubahan volume koloni. Selain pengukuran secara langsung seperti tersebut di atas, pengukuran secara tidak langsung juga sering dilakukan. Pengukuran tidak langsung tersebut meliputi pertumbuhan kerangka/corallum menggunakan metode pewarnaan alizarin red, metode radio isotop (mengukur laju kalsifikasi), metode X-Radiograph/X-Ray, dan metode fixel menggunakan software tertentu, misal J-Image.

Menurut Bayer *et al*. (1983) *dalam* Manuputty (2002) beberapa bentuk pertumbuhan (percabangan) *Alcyonacea*. Bentuk pertumbuhan (percabangan) karang lunak ditunjukkan pada gambar 8, dan dijelaskan sebagai berikut: Gorgonian isidid perairan dalam atau “karang bambu”, dinamai menurut kemiripannya dengan tumbuhan bambu, adalah oktokoral bertanduk yang pertama kali muncul pada Zaman Kapur (Helm dan Schu¨lke 2003), menunjukkan beberapa kejadian lokal pada sedimen Paleosen hingga Pleistosen (Grant 1976; Grasshoff 1980; Langer 1989; Kocurko 1989; Bernecker dan Weidlich 2005). Spesimen modern tersebar luas di sepanjang batas Indo-Pasifik dan Atlantik saat ini, mulai dari kedalaman kurang dari 100 m hingga lebih dari 4.000 m (Roark *et al*., 2005).

Karang azooxanthellate biasanya tumbuh di daerah dengan energi hidrodinamik tinggi dan fluks zooplankton dan bahan organik partikulat yang cukup, kedua faktor tersebut bertanggung jawab atas pasokan makanan ke habitat gorgonian (Heikoop *et al*., 2002). Koloni karang bambu yang hidup dicirikan oleh koenenkim beragar-agar yang dikakukan oleh



Gambar 8. Bentuk Pertumbuhan pada Alcyonacea dan Pupporting Bundle Neptheidae (Bayer et al.,1983) *dalam* Haris & Rani, (2019).a.Lobata, bertangkai pendek atau panjang, kapitulum terdiri atas lobus yang berbentuk jari pendek atau tonjolan tonjolan bulat yang tidak beraturan bentuk maupun ukurannya; b. Encrusting, Kapitulum tanpa tangkai, pertumbuhan koloni merambat dan melekat erat di dasar, pada permukaan atas kapitulum terdiri dari kumpulan lobus berbentuk bulatan atau seperti pematang arg tegak lurus; c. Arboresen, bentuk pertumbuhan seperti pohon dengan batang utama dan cabang-cabang.d. Glomerata, bentuk pertumbuhan arboresen dengan bang primer bergerombol pendek dan rapat, melekat pada batang utama.e.Divarikata, bentuk pertumbuhan arboresen, dari cabang primer bercabang menjadi abang sekunder namun tidak rapat. F. Bellate, bentuk pertumbuhan seperti arboresen tetapi ng primer dan sekunder tersusun menyerupai paying, sedangkan berdasarkan bentuk percabangannya.



Gambar 9. Bentuk bentuk pertumbuhan berdasarkan bentuk percabangan a. Arboresen; b. Glomerata; c. Supporting Blundle; d. Divaricate.

spikula Mg-kalsit, mengandung polip dengan delapan tentakel menyirip (Kocurko 1989). Koenenkim mengelilingi sumbu pusat pendukung yang

terdiri dari Mg-kalsit dan gorgonin, skleroprotein fleksibel dari serat kolagen dalam matriks proteinageous (Grasshoff dan Zibrowius 1983; Lewis *et al*., 1992; Macintyre *et al*., 2000).

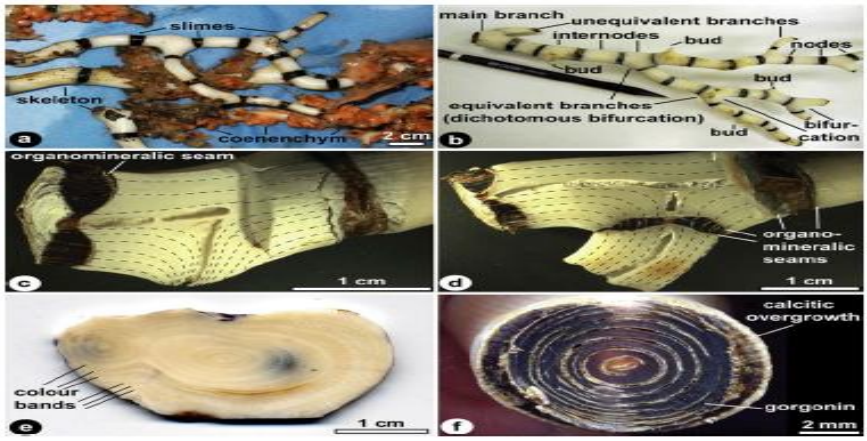
Karena pertumbuhan konsentris mineral dan bagian organik dari sumbu kerangka mereka, isidida dan famili gorgonian terkait baru-baru ini membangkitkan minat paleoceanographers dan paleoclimatologists. Berbeda dengan scleractinians laut dalam seperti *Lophelia pertusa* (Adkins *et al*. 1998; Smith *et al*., 2000; Risk *et al*.,2005; Risk *et al*., 2002; Adkins *et al*., 2004), kerangka gorgonian oktokoral yang tumbuh lambat dengan potensi berumur panjang sekitar 100-an tahun (Heikoop *et al*. 2002; Andrews *et al*., 2005) yang terbentuk pada rentang waktu sub-tahunan hingga seratus tahun dan karena itu merupakan arsip potensial masa lalu samudera dan dinamika iklim pada massa air sedang dan dalam Grigg (1974). Orang pertama yang mencatat pola tahunan pembentukan cincin pertumbuhan di dalamnya.

Pada gorgonian genus Muricea, periodisitas tahunan juga terbukti untuk pita pertumbuhan terang dan gelap dari karang merah berharga *Corallium rubrum* (Marschal et al., 2004), yang ditafsirkan sesuai dengan pertumbuhan cepat dan lambat (Weinbauer et al., 2000). Pola pertumbuhan sub-tahunan (musiman) didokumentasikan dalam lokus kalsit berbentuk kipas dari spesies gorgonian air dangkal Plexaurella dichotoma (Bond et al., 2005). Menurut penyelidikan paleoseanografi sebelumnya, spesies gorgonian perairan dalam *Primnoa rese daeformis* menyediakan proksi berharga dari variasi suhu laut dalam (Heikoop et al., 2002; Thresher et al., 2004; Sherwood et al., 2005; Sinclair et al. 2005) dan permukaan fluktuasi produktivitas (Heikoop et al., 2002).

Berbeda dengan Primnoidae, sejauh ini hanya sedikit investigasi yang berfokus pada keluarga gorgonian *Isididae*, meskipun kerangka “karang bambu” menunjukkan cincin pertumbuhan yang mencolok (Roark et al., 2005) mempresentasikan usia berbasis radiokarbon dan tingkat pertumbuhan kerangka isidid sub-fosil dari Teluk Alaska, sedangkan verifikasi independen tingkat pertumbuhan dengan cara menghitung cincin pertumbuhan dan mengukur rasio Sr/Ca dalam potongan melintang kerangka memungkinkan untuk rekonstruksi bulan pita pertumbuhan siklus. Namun demikian, kerangka gorgonian isidid adalah arsip yang relatif belum dijelajahi, dan potensinya untuk rekonstruksi parameter lingkungan masih dalam tahap percobaan.

Chatham Rise dan di situs Laut Okhotsk yang dangkal memperlihatkan koenenkim organik kemerahan dengan polip dan banyak spikula kalsit di sekitar sumbu kerangka. Meskipun koenenkim sebagian tercabik-cabik oleh prosedur pengerukan, area utuh membuktikan bahwa koloni karang yang hidup seluruhnya menutupi sumbu kerangka mereka.

Slime yang sangat kental membentuk matriks antara endoskeleton ini dan koenenkim gambar 10.

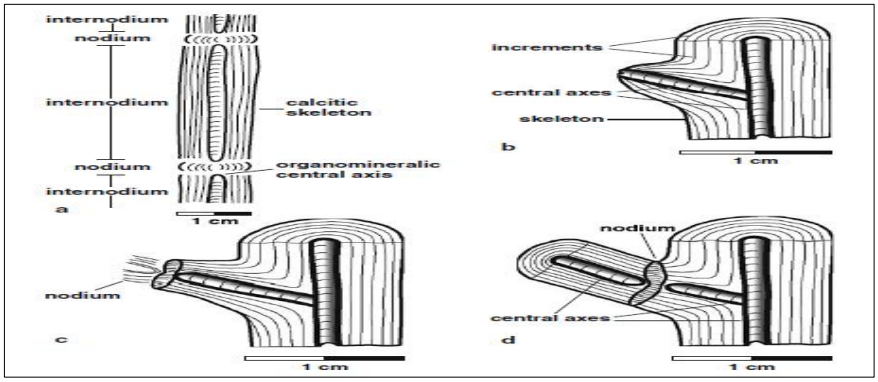


Gambar 10. Isididae mengumpulkan langsung koloni dan fragmen kerangka kerja modern Chatham Rise. Bagian dari koloni gorgonian hidup setelah pemulihan pengerukan. Perhatikan koenenkim kemerahan yang sebagian besar robek karena prosedur pengerukan. b Bingkai fragmen koloni setelahnya pengangkatan jaringan organik menunjukkan tipe tiga cabang. c Bagian memanjang dari fragmen kerangka menunjukkan peningkatan pertumbuhan (garis putus-putus) di seluruh kuncup. d Percabangan dikotomi dua cabang yang setara diilustrasikan pada bagian yang memanjang. e Potong silang bagian dua cabang yang tidak sama. Perhatikan simpul potongan miring di bawah permukaan bagian (titik gelap di dekat bagian tengah) dan pita pertumbuhan kain mikro berserat. f Node pada penampang melintang dengan retak kering intermiten (cincin cerah). Perhatikan pertumbuhan berlebih kalsit marjinal (Noe SU & Dullo WC, 2006).

Kerangka menunjukkan pergantian ruas kalsit dan nodus organik dengan pita horizontal konsentris pada kedua tahap gambar 11b–d. Permukaan ruas yang terpelihara dengan baik dicirikan oleh garis pertumbuhan dengan pola alur yang berjalan miring ke sumbu longitudinalnya. Lurik ini dikaitkan dengan saluran air dari koenenkim (Langer, 1989). Proses berkapur seperti akar membentuk penahan jangkar kerangka di pasir, substrat dasar lunak. Sebuah koloni hidup yang terfragmentasi di Laut Okhotsk menyerupai spesimen Chatham Rise modern. Kerangka Okhotsk yang lebih baru dicirikan oleh struktur pertumbuhan yang identik, menunjukkan ketebalan yang agak lebih besar karena pertambahan jumlah cincin pertumbuhan yang lebih besar gambar 10e.

Fragmen kerangka modern dan subrecent mengungkapkan tiga jenis percabangan gambar 10 b. 1 percabangan dikotomis dari dua cabang yang setara dari cabang utama pada sudut sekitar 60°, (2) percabangan yang tidak sama dari cabang yang lebih tipis dari cabang yang lebih tebal, dan (3) kuncup pada berbagai cabang tebal yang menunjukkan pertumbuhan

cabang yang gagal tanpa perkembangan nodial. Berdasarkan karakteristik percabangan kolonial ruas dan susunan cabang di dua bidang yang disukai (Grant 1976), spesimen modern, subresen dan fosil yang ditemukan dari kedua sisi Pasifik barat diidentifikasi sebagai *Keratoisis* Wright dari famili *Isididae* (subordo *Holaxonia* dalam ordo *Gorgonacea* dari subkelas *Octocorallia*).



Gambar 11. Sketsa menjelaskan mode percabangan dan pola inkremental kerangka isidid. a. bagian memanjang menggambarkan pergantian node dan ruas dan peningkatan pertumbuhan mereka. b Tunas. Ujung tabung tengah yang terbuka menunjukkan pertumbuhan tanpa henti. c Percabangan yang tidak sama menunjukkan simpul di ujung cabang yang lebih tipis. d Percabangan yang setara. Sumbu tengah ruas diinterupsi oleh simpul (Noe & Dullo, 2006).

Mode pertumbuhan kerangka gorgonian isidid air dalam yang menunjukkan ruas Mg-kalsit cerah dan simpul protein gelap daur ulang pada kerangka modern, subrecent, dan fosil. Pita warna makroskopis dihasilkan dari berbagai organisir bundel fasik yang kaya organik dan pita selingan dari kristal granular miskin organik (Noe & Dullo, 2006). Struktur kerangka gorgonian isidid ini sangat berbeda dari pita kepadatan scleractinians. Bifurkasi pada berbagai tahap pertumbuhan menyiratkan bahwa cabang yang berdekatan memiliki usia yang berbeda dan menunjukkan jumlah pertumbuhan pita yang bervariasi pada setiap kerangka penampang. Skleroprotein gorgonin berperan penting berperan dalam pembentukan nodus organik dan sekresi ruas kalsit dengan menyediakan kerangka struktural dalam proses biomineralisasi. Cabang yang tidak setara dan lebih tipis gambar 12.

Karang Gorgonian (Cnidaria: Anthozoa: Octocorallia) adalah komponen lingkungan laut bentik yang mencolok, beragam dan seringkali dominan (Hill Tm, et al., 2008). Namun, sedikit yang diketahui tentang respon taksa gorgonian terhadap parameter lingkungan khususnya di

Indonesia, meskipun menurunkan dan keragaman regionalnya tinggi. Dengan populasi manusia yang berkembang pesat dan tereksploitasi sumber daya laut selanjutnya, terumbu karang di seluruh kepulauan Indonesia mengalami penurunan yang cepat dan sering kali hancur.

Meskipun jelas bahwa taksa gorgonian di dalam (TNWM) memiliki kerahasiaan dan melemahkan yang luar biasa, respons terhadap gangguan lingkungan tiga gagasan yang relevan dan dapat diuji. Ketiga, pengalaman interaksi intrinsik dan ekstrinsik yang menentukan hubungan host-simbion dan keberhasilan diferensial biologi menggunakan pendekatan urutan fisiologis dan generasi berikutnya (Hill Tm et al,. 2008). Ini akan memberikan wawasan yang cukup besar ke dalam proses evolusioner terhadap perubahan lingkungan, yang dipercepat oleh perambahan antropogenik.

Survei ekologi mengungkapkan bahwa keragaman gorgonian yang cukup besar dengan total 197 spesies dan morfotipe dari 42 genera, dan 12 famili di subordo *Calcaxonia* dan *Holaxonia* dan grup *Scleraxonia*, dengan perkiraan saat ini lebih dari 21 spesies baru dan 28 catatan spesies baru untuk wilayah tersebut (Hill Tm et al,. 2008). Kelimpahan dan keragaman gorgonian meningkat dengan kesehatan terumbu karang dan batimetri. Namun, berkurangnya keragaman gorgonian yang jelas ada dengan meningkatnya sedimentasi dan berkurangnya cahaya karena gangguan antropogenik. Secara khusus, dua morfotipe *Isis hippuris* yang berbeda sangat melimpah di antara garis lingkungan: koloni multi atau planar bercabang pendek pada terumbu yang sehat, dan koloni lebat bercabang panjang pada terumbu yang terdegradasi.

Sejauh ini, terbukti bahwa gorgonian adalah organisme modular, dengan pertumbuhan, bentuk, dan ukuran koloni yang pasti (Lasker et al., 2003). Selain itu, bentuk koloni dapat bergantung pada strategi makan dan genotipe yang sama dapat menunjukkan pola alokasi yang berbeda di lingkungan yang berbeda, sesuai dengan hipotesis 'partisi' (Weiner 2004). produktivitas fotosintesis pada taksa gorgonian zooxanthelate, dan meningkatkan respirasi (kehilangan karboni) hingga 95-100% melalui peningkatan produksi lendir (Riegl & Branch 1995). Efek jangka panjang dari pengeluaran semacam itu pada gorgonian tidak diketahui, hampir tidak ada yang diketahui tentang simbiosis karang gorgonian di Indo-Pasifik.

2.6 Teknologi Transplantasi Bambu Laut

Saat ini, cukup banyak metode yang digunakan untuk transplantasi karang. Pemilihan metode transplantasi harus mempertimbangkan metode yang relatif mudah dan memiliki tingkat efisiensi yang tinggi sehingga lebih efektif dalam proses pembuatan dan aplikasinya (Kurniawan, 2011) *dalam* (Subhan et al., 2014). Metode ini dapat diterapkan pada teknologi

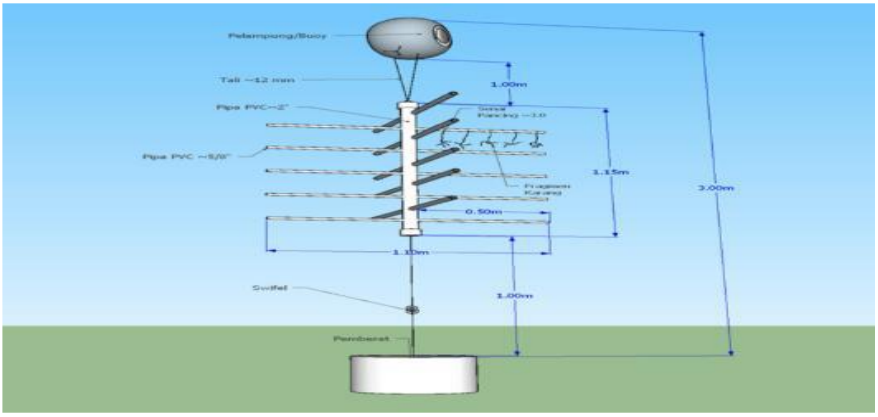
transplantasi bambu laut. Beberapa metode transplantasi yang umum digunakan adalah sebagai berikut:

a) Metode patok. Metode patok merupakan metode transplantasi dengan menggunakan patok kayu tahan air atau besi yang dicat anti karat kemudian ditancapkan di dasar perairan.
b) Metode jaring. Metode jaring merupakan metode transplantasi dengan menggunakan jaring atau tali ris yang berukuran sesuai dengan kebutuhan. Metode jaring dan substrat. metode menggunakan jaring yang dilengkapi dengan substrat terbuat dari semen, keramik atau gerabah dengan ukuran 10x10cm.
c) Metode jaring dan rangka. Merupakan metode transplantasi dengan menggunakan rangka besi anti karat berukuran 100x80 cm dengan ujung-ujungnya terdapat kaki masing-masing sepanjang 30 cm. Pada bagian atas ditutupi oleh jaring.
d) Metode jaring, rangka dan substrat: Merupakan metode transplantasi berupa perpaduan antara metode jaring dengan substrat. Diameter substrat lebih kurang 10 cm dengan tebal 2 cm dan panjang patok 5-10 cm. (Kurniawan, 2011).
e) Transplantasi bambu laut bisa menggunakan salah satu metode tersebut di atas atau modifikasi yang disesuaikan dengan kondisi bambu laut yaitu dengan menggunakan metode rak menggunakan jaring atau tidak menggunakan jaring.

Menurut Asuhadi et al. (2020) menunjukkan bahwa Teknologi Wakatobi Sea Bamboo dapat digunakan untuk memperbaiki metode dan teknik restorasi bambu laut sebelumnya. Dengan teknologi dalam hal ini, restorasi bambu laut dapat dilaksanakan di beberapa lokasi, baik ex-situ maupun in-situ maupun di perairan yang tenang dan dipengaruhi oleh gelombang dan arus yang kuat. sebagaimana ditunjukkan pada gambar 12.

Gambar 12. Substrat Beton Mode Puzzle Teknologi Wakatobi Bambu Laut (Asuhadi et al., 2020).

Metode VAR *Vertical Artificial Reef* merupakan metode yang efektif dalam melakukan transplantasi karang, terutama untuk jenis karang yang mempunyai bentuk pertumbuhan bercabang seperti bambu laut *Isis hippuris*. Cara ini menggunakan media transplantasi gantung yang memungkinkan fragmen karang tumbuh dengan baik, terutama koralit radial dan aksial yang mengalami pertumbuhan dengan penambahan cabang baru. Dengan demikian, metode VAR dapat digunakan secara efektif dalam transplantasi karang untuk memulihkan terumbu karang yang rusak, seperti terlihat pada Gambar 14.



Gambar 13. Media Vertical Artifical Reef VAR. (Noor et al., 2021).

2.7 Faktor Pembatas Pertumbuhan Bambu Laut *Isis hippuris*

Bambu Laut merupakan spesies karang lunak yang berasal dari genus *Sarcophyton, Lobophytum, Sinularia,* dan *Cladiella*, sangat kuat dan menunjukkan perilaku oportunistik, sering menghuni daerah terumbu karang marginal Haris & Rani, (2019). Beberapa dari genus ini juga merupakan hewan pionir di kawasan terumbu karang yang terkenal dengan pencemaran atau kerusakannya. Kondisi lingkungan di dataran terumbu yang dihuni oleh karang lunak yang dilaporkan oleh (Wilkens & Birkholz, 1992) sangat bervariasi dalam satu hari.

Sebaran bambu laut dipengaruhi beberapa faktor lingkungan. Secara umum faktor-faktor lingkungan tersebut adalah seperti berikut Haris & Rani, (2019).

1. Kedalaman 5-7 m *Isis hippuris* lebih banyak ditemukan dengan persentase jumlah koloni 55,97%. Pada kedalaman 3-5m dengan persentase jumlah koloni 19,92%, dan kedalaman 7-10 m keberadaan *Isis hippuris* ini mulai berkurang. Sinar matahari sangat penting untuk pemeliharaan zooxanthellae, sehingga kedalaman air karang lunak fotosintesis tidak boleh melebihi 10-15 meter.

2. Cahaya merupakan faktor pembatas bagi bambu laut. Hal ini berkaitan dengan proses fotosintesis yang dilakukan oleh zooxanthellae yang membutuhkan sinar matahari. Tanpa cahaya yang cukup laju fotosintesis akan berkurang dan bersamaan dengan itu kemampuan karang untuk menghasilkan kalsium karbonat dan membentuk terumbu akan berkurang (Nybakken, 1992). Faktor yang mempengaruhi penetrasi cahaya antara lain kondisi cuaca, kekeruhan dan waktu pengamatan.
3. Suhu merupakan faktor penting untuk kehidupan karang lunak (Haris & Rani, 2019). Biasanya tumbuh pada kisaran suhu 18°- 36°C dan pertumbuhan optimum yang sering terjadi pada perairan yang suhu rata-rata tahunannya sekitar 26° - 28°C. Dan masih dapat menolerir suhu hingga 36°- 40°C (Nybakken, 1992). Perubahan suhu yang teramat besar dapat mematikan sebagian besar jenis karang batu sehingga yang dapat hidup hanyalah jenis-jenis yang kuat. Suhu memiliki peranan penting dalam membatasi penyebaran terumbu karang. Tingkat suhu yang ekstrim akan mempengaruhi binatang karang, seperti metabolisme, reproduksi dan pengapuran (kalsifikasi).
4. Salinitas pada suatu perairan laju pertumbuhan karang lunak (Haris & Rani, 2019). Salinitas optimum untuk pertumbuhan terumbu karang yaitu 32 – 35 ‰. Di perairan dengan salinitas rendah seperti di muara, terumbu karang jarang ditemukan dan di daerah dengan curah hujan yang tinggi akan menyebabkan terumbu karang mengalami gangguan, begitu pula di perairan dengan kandungan garam yang sangat tinggi (*hyperhalin*). Terumbu karang yang ada di reef flat mampu beradaptasi dalam waktu singkat dengan salinitas rendah saat terjadinya hujan, namun hujan lebat dalam waktu yang lama dengan perubahan salinitas yang drastis akan merusak komunitas karang di daerah tersebut.
5. Sedimentasi Terumbu karang tidak dapat hidup di daerah yang sedimentasinya tinggi, karena sedimen ini akan menutupi polip-polip karang khususnya bambu laut sehingga tidak mendapatkan makanan dan sinar matahari yang dibutuhkan untuk kehidupannya.
6. Substrat yang keras dan bersih diperlukan sebagai tempat melekatnya larva planula, sehingga memungkinkan pembentukan koloni baru. Substrat keras ini dapat berupa benda padat yang terdapat di dasar laut, yaitu batu, cangkang moluska, bahkan kapal karam (Nontji, 2005).

2.8 Pemanfaatan Bambu Laut

Beberapa jenis organisme laut merupakan sumber alam yang potensial untuk bahan obat salah satu sumber daya laut yang cukup potensial untuk dieksploitasi adalah gorgonian *Isis hippuris*. Hewan ini

hidup di ekosistem terumbu karang yang tersebar di perairan dangkal dan jernih, terutama di tengah dasar karang (Agus et al., 2004) mengemukakan bahwa aktivitas toksisitas ekstrak Isis hippuris gorgonian terhadap nauplius Artemia salina, LC 50 -24 jam fraksi toksik dan mendeteksi senyawa yang berperan dalam toksisitas. (Agus et al., 2004) Hasil perlakuan ekstrak gorgonian *Isis hippuris* fraksi etil asetat terhadap nauplius A. salina dari 12 fraksi KKT diperoleh 5 fraksi KKT toksik.

Isis hippuris octocorals, digunakan luas di Pasifik barat, telah menghasilkan sejumlah *steroid* polioksigenasi, termasuk tipe hippuristanol, tipe gorgosterol,tipe hippuristerone,dan tipe hippuristerol (Chen Wh Wang Sk & Duh Cy, 2011). Dalam penelitian mereka tentang senyawa bioaktif dari organisme laut, aseton terlarut dari octocorals *Isis hippuris* yang terkumpul di Orchid Island telah mengarah pada isolasi enam steroid polioksigenasi baru, bersama dengan 7 senyawa yang diketahui baru. Struktur senyawa ini ditentukan berdasarkan data spektroskopi dan fisik. Senyawa 7 menunjukkan sitotoksisitas pada garis sel P-388 dan A-549 dengan nilai ED50 masing-masing 3,2 dan 3,86 mg/mL.

Pemanfaatan jenis bambu laut *Isis hippuris* di alam terjadi terutama di daerah pesisir, hal ini dilatarbelakangi oleh permintaan pasar dari pedagang dan pengepul yang membeli langsung. Peralatan yang digunakan oleh masyarakat sekitar untuk menggunakan *Isis hippuris* adalah alat yang sangat sederhana. Bambu laut dikumpulkan dengan menggunakan alat seperti linggis dan parang. Teknik pemanenan sebaiknya dilakukan dengan cara mematahkan batang dan cabang bambu laut, meninggalkan koloni yang digunakan untuk menjaganya tetap hidup. Namun, sebagian besar yang dilakukan adalah mendapatkan koloni bambu laut yang utuh dengan mencungkil substratnya.

Kegiatan pemanenan bambu laut dilakukan setiap hari untuk memperoleh bambu laut secara langsung, seiring dengan kegiatan pengangkutan dari alam. Cenderamata yang terbuat dari bambu laut Gambar 15 juga diproduksi dalam proses ini. Bambu laut yang telah dipanen kemudian direndam dalam air laut selama dua hari sebelum diproses lebih lanjut. Secara umum, masyarakat menjual bambu laut tanpa pengolahan lebih lanjut dengan harga yang relatif rendah, sehingga mereka cenderung menggunakan bambu laut dalam jumlah besar untuk memperoleh pendapatan yang cukup. Kondisi ini berkontribusi terhadap kerusakan bambu laut yang cukup signifikan. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan teknologi pengolahan bambu laut agar dapat menghasilkan produk dengan nilai jual tinggi, seperti produk hasil laut lainnya.

Gambar 14. Cenderamata dari Bambu Laut (Toseda, 2015).

Bambu laut (*Isis hippuris*) adalah spesies karang lunak yang ditemukan di perairan tropis dan subtropis. Ini adalah anggota keluarga Gorgoniidae, dan terkait dengan kipas laut dan bulu babi laut. Bambu laut mendapatkan namanya dari bentuknya yang seperti batang, yang dapat tumbuh hingga ketinggian 3 kaki. Koloni bambu laut dapat memberikan habitat bagi berbagai kehidupan laut, termasuk ikan, udang, dan kepiting.

Pengangkutan bambu laut ilegal. Jika kedapatan membawa bambu laut, dapat dikenai sanksi, termasuk denda atau hukuman penjara. Bambu laut adalah spesies yang dilindungi di banyak negara, termasuk Indonesia. Di Indonesia, perdagangan bambu laut dilarang sejak tahun 2013. Hal ini karena bambu laut merupakan spesies yang terancam punah dan populasinya menurun akibat overfishing dan perusakan habitat. Menurut Toseda (2015), cenderamata yang terbuat dari bambu laut (Isis hippuris) telah menyebabkan populasi bambu laut di alam menurun drastis dan terancam punah. Cenderamata dari bambu laut memang indah dan menarik, namun kita harus menyadari bahwa pengambilannya yang berlebihan dapat menyebabkan kepunahan spesies ini.