

FARMASI BAHARI

PENULIS ;

Yuri Pratiwi Utami, Feronika Evma Rahayu, Riki Ranova,
Delladari Mayefis, Hamsidar Hasan, Nita Triadisti,
Lia Kusmita, Yuli Wahyu Tri Mulyani, Yuvianti Dwi Franyoto



FARMASI BAHARI

**Yuri Pratiwi Utami
Feronika Evma Rahayu
Riki Ranova
Delladari Mayefis
Hamsidar Hasan
Nita Triadisti
Lia Kusmita
Yuli Wahyu Tri Mulyani
Yuvianti Dwi Franyoto**



GETPRESS INDONESIA

FARMASI BAHARI

Penulis : Yuri Pratiwi Utami

Feronika Evma Rahayu

Riki Ranova

Delladari Mayefis

Hamsidar Hasan

Nita Triadisti

Lia Kusmita

Yuli Wahyu Tri Mulyani

Yuvianti Dwi Franyoto

ISBN :

Editor : Dr. Oktavianis, M.Biomed.

Penyunting: Dr. Neila Sulung, N.S., S.Pd., M.Kes.

Desain Sampul dan Tata Letak : Mila Sari, M.Si.

Penerbit: GETPRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi:

Jl. Palarik RT 01 RW 06, Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tengah, Padang, Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id

email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Januari 2024

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan Judul Farmasi Bahari dapat diselesaikan dengan baik atas kerjasama tim penulis. Buku ini berisi mengenai sumber senyawa dan kegunaan senyawa yang dihasilkan dari protista (filum mycophyta dan pycophyta), sumber senyawa dan kegunaan senyawa yang dihasilkan dari macroalga (filum clorophyta, rhodophyta, phaeophyta), sumber dan senyawa toksin yg dihasilkan fitoplankton, sumber dan kegunaan senyawa yang dihasilkan dari lamun, contoh sumber dan senyawa yang dihasilkan filum chordata, porifera, echinodermata, coelenterata, molusca, arthropoda, dan annelida, sumber dan biota laut yang memiliki aktivitas sebagai antikanker, sumber biota laut sebagai antibiotik/antibakteri, contoh sumber dan biota laut yang memiliki aktivitas sebagai antivirus, contoh sumber dan biota laut yg memiliki aktivitas sebagai anti hipertensi.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Padang, Desember 2023
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	viii
PENDAHULUAN	1
BAB 1 SUMBER SENYAWA DAN KEGUNAAN SENYAWA YANG DIHASILKAN DARI PROTISTA (FILUM MYCOPHYTA DAN PYCOPHYTA).....	3
1.1 Pendahuluan	3
1.2 Protista	4
1.3 Metabolisme dan Peran Protista	11
1.4 Filum mycophyta dan pyrrophyta	12
1.5 Contoh Phycophyta dan Mycophyta.....	13
DAFTAR PUSTAKA	17
BAB 2 SUMBER SENYAWA DAN KEGUNAAN SENYAWA YANG DIHASILKAN DARI MACROALGA (FILUM CLOROPHYTA, RHODOPHYTA, PHAEOPHYTA)	21
2.1 Pendahuluan	21
2.2 Makroalga.....	22
2.3 Manfaat Rumput Laut di Bidang Kefarmasian	29
2.4 Manfaat Rumput Laut di Bidang Kosmetik dan Nutraceutical	35
DAFTAR PUSTAKA	37
BAB 3 SUMBER DAN SENYAWA TOKSIN YG DIHASILKAN FITOPLANKTON.....	39
3.1 Pendahuluan	39
3.2 Klasifikasi Fitoplankton.....	45
3.3 Sumber Toksin dalam Fitoplankton.....	51
3.4 Efek Toksin Fitoplankton pada Lingkungan dan Kesehatan Manusia	58
DAFTAR PUSTAKA	61
BAB 4 SUMBER DAN KEGUNAAN SENYAWA YANG DIHASILKAN DARI LAMUN.....	63
4.1 Pendahuluan	63
4.2 Tinjauan Umum Lamun	66
4.3 Morfologi dan Anatomi.....	69
4.4 Distribusi Lamun di Indonesia	70
4.5 Senyawa Kimia dalam Lamun.....	71

4.6 Kegunaan Lamun	72
DAFTAR PUSTAKA.....	74
BAB 5 CONTOH SUMBER DAN SENYAWA YANG DIHASILKAN	
FILUM CHORDATA, PORIFERA, ECHINODERMATA,	
COELENTERATA, MOLUSCA, ARTHROPODA, DAN ANNELIDA	
5.1 Pendahuluan	82
5.2 Chordata	83
5.3 Porifera.....	86
5.4 Echinodermata.....	90
5.5 Coelenterata	93
5.6 Mollusca.....	97
5.7 Annelida	104
5.8 Penutup.....	106
DAFTAR PUSTAKA.....	109
BAB 6 SUMBER DAN BIOTA LAUT YANG MEMILIKI AKTIVITAS	
SEBAGAI ANTIKANKER.....	
6.1 Prospek Agen Antikanker dari Biota Laut.....	112
6.2 Potensi Anti Kanker dari Jamur Laut.....	114
6.3 Potensi Anti Kanker dari Alga Laut	118
6.4 Potensi Anti Kanker Dari Invertebrata Laut.....	123
6.5 Potensi Anti Kanker dari Vertebrata Laut	125
6.6 Potensi Anti Kanker Dari Bakteri Laut.....	126
DAFTAR PUSTAKA.....	130
BAB 7 SUMBER BIOTA LAUT SEBAGAI	
ANTIBIOTIK/ANTIBAKTERI	
7.1 Pendahuluan	138
7.2 Antibiotik.....	140
DAFTAR PUSTAKA.....	149
BAB 8 CONTOH SUMBER DAN BIOTA LAUT YANG MEMILIKI	
AKTIVITAS SEBAGAI ANTIVIRUS	
8.1 Pendahuluan	152
8.2 Biota laut sebagai agen antivirus.....	153
8.3 Mikroorganisme simbiosis spons	161
8.4 Aktivitas antivirus spons laut	161
DAFTAR PUSTAKA.....	166
BAB 9 CONTOH SUMBER DAN BIOTA LAUT YG MEMILIKI	
AKTIVITAS SEBAGAI ANTI HIPERTENSI	
9.1 Pendahuluan	168
9.2 Keanekaragaman Biota Laut Sebagai Antihipertensi.....	172

DAFTAR PUSTAKA.....183
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. A) <i>Gelidium cartilagenium</i> (L) B) <i>Gracilaria confervoides</i> (L)	13
Gambar 1. 2. Agar	14
Gambar 1. 3. Yeast, <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	15
Gambar 1. 4. Tanaman asal Sekale kornutum	16
Gambar 1. 5. Tanaman <i>Usnea misamineensis</i>	16
Gambar 2. 1. Chlorophyta.....	24
Gambar 2. 2. Rhodophyta.....	25
Gambar 2. 3. Phaeophyta.....	27
Gambar 2. 4. Struktur Alginat.....	33
Gambar 2. 5. Struktur Blok Dalam Alginat	34
Gambar 3. 1. Klasifikasi Fitoplankton	45
Gambar 3. 2. Mikrosistin.....	52
Gambar 3. 3. Nodularin	52
Gambar 3. 4. <i>Cylindrospermopsin</i>	53
Gambar 3. 5. Anatoxin-a.....	53
Gambar 3. 6. <i>Lyngbyatoxins</i>	54
Gambar 3. 7. <i>Saxitoxins</i>	54
Gambar 3. 8. Asam Domoat	57
Gambar 4. 1. Lamun	63
Gambar 4. 2. Morfologi Umum Lamun.....	67
Gambar 5. 1. Klasifikasi filum chordota.....	85
Gambar 5. 2. Struktur tunikata	85
Gambar 5. 3. Struktur tubuh porifera.....	87
Gambar 5. 4. Kelas Calcarea	88
Gambar 5. 5. Kelas Demospongiae	89
Gambar 5. 6. Kelas Hexactinellida.....	89
Gambar 5. 7. Kelas sclerospongiae	90
Gambar 5. 8. Ophiuroidea	91
Gambar 5. 9. <i>Protoreaster nodosus</i>	92
Gambar 5. 10. Echinodea.....	92
Gambar 5. 11. <i>Holothuria atra</i>	93
Gambar 5. 12. Beragam organisme yang termasuk dalam filum Cnidaria.....	94
Gambar 5. 13. Dinding tubuh coelenterata (hydra) yang bersifat dipobalstik.....	94

Gambar 5. 14. Anatomi Schyphozoa	95
Gambar 5. 15. Scyphozoa Aurelia aurita	96
Gambar 5. 16. Anthazoa	97
Gambar 5. 17. Struktur Organ Mollusca	98
Gambar 5. 18. Anatomi Chiton	99
Gambar 5. 19. Struktur Morfologi Gastropoda	99
Gambar 5. 20. Arthropoda	100
Gambar 5. 21. Udang Karang.....	101
Gambar 5. 22. Kalajengking.....	102
Gambar 5. 23. Insekta (belalang)	103
Gambar 5. 24. (kaki seribu dan kelabang).....	104
Gambar 5. 25. Cacing tanah Lumbricus rubellus	106
Gambar 6. 1. Simplicilliumtides A.....	115
Gambar 6. 2. Xanthocillin X.....	115
Gambar 6. 3. A) Brocazine G, B) Spirobrocazine C.....	116
Gambar 6. 4. A) Dinokrom A, B) Dinokrom B.....	118
Gambar 6. 5. Dictyol E.....	121
Gambar 6. 6. Elatol	122
Gambar 6. 7. Renieramycin M.....	123
Gambar 6. 8. Plitidepsin	125
Gambar 6. 9. Bryostatin.....	127
Gambar 7. 1. Peta Indonesia	138
Gambar 7. 2. Metabolit sekunder yang dihasilkan bacillus strain.....	141
Gambar 7. 3. Struktur Bogorol A	142
Gambar 7. 4. Spons Holichondria okadai	143
Gambar 7. 5. Struktur molekul dari halichondrin A (a) dan norhalichondrin A (b)	144
Gambar 7. 6. Spons Pandaros acanthifolium.....	145
Gambar 7. 7. Struktur dari acanthifolicin	145
Gambar 7. 8. Tunikata Polycarpa aurata.....	146
Gambar 7. 9. Gambar Holothuria sp.....	147
Gambar 7. 10. Bambu laut.....	154
Gambar 8. 1. Hippuristanol (C28 H40 O5).....	156
Gambar 8. 2. a. Sycon gelatinosum b. Clathrina clathrus	158
Gambar 8. 3. a. Allyspongia aerizusa b. Clathria sp.	159
Gambar 8. 4. a. Euplectella sp. b. Hyalonema sp.	159
Gambar 8. 5. Morfologi spons	160
Gambar 9. 1. Undaria pinnatifida.....	174

Gambar 9. 2. <i>Acaudina molpadioidea</i>	174
Gambar 9. 3. <i>Parastichopus californium</i>	175
Gambar 9. 4. <i>Mytilus edulis</i>	176
Gambar 9. 5. <i>Mytilus edulis</i>	176
Gambar 9. 6. <i>Corbicula fluminea</i>	177
Gambar 9. 7. <i>Sepia officinalis</i>	178
Gambar 9. 8. <i>Spirulina platensis</i>	179
Gambar 9. 9. <i>Dosidicus gigas</i>	179
Gambar 9. 10. <i>Limanda aspera</i>	180
Gambar 9. 11. <i>Paralichthys olivaceus</i>	181
Gambar 9. 12. <i>Salmo salar</i>	182

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Tabel daftar bahan baku obat Chlorophyta	30
Tabel 2. 2. Tabel daftar bahan baku rhodophyta.....	31
Tabel 2. 3. Tabel daftar bahan baku obat Phaeophyta	32
Tabel 2. 4. Tabel daftar polisakarida dalam makroalga.....	36
Tabel 8. 1. Spons laut dan senyawa ekstraknya memiliki aktivitas antivirus.....	162

PENDAHULUAN

Sumber daya alam kelautan Indonesia memiliki keanekaragaman jenis ikan yang tinggi, sehingga masyarakat bisa memanfaatkannya. Berdasarkan data yang terukur, menurut Nuitja (2019:1) mengemukakan bahwa Indonesia memiliki 95.181 km panjang garis pantai, dengan kurang lebih 5 juta luas zona ekonomi eksklusif. Potensi sumber daya kelautan yang sangat besar tersebut perlu dimanfaatkan secara optimal untuk mendorong sektor maritim di Indonesia.

Sekitar 60% wilayah kedaulatan Indonesia merupakan laut. Oleh karenanya negara kita memiliki keanekaragaman hayati yang berlimpah. Keanekaragaman biota laut tersebut sangat bervariasi dan tidak dimiliki oleh negara-negara lain, sehingga disebut pula negara yang memiliki keanekaragaman tertinggi di dunia atau "Mega Diversity in the World."

Ada banyak biota laut terutama hewan laut yang bisa dimanfaatkan secara maksimal untuk kebutuhan hidup manusia terutama digunakan sebagai bahan makanan, obat-obatan, kosmetik, dan bahan lain yang jika dipergunakan secara bijaksana akan memberikan kesejahteraan bagi umat manusia. Penelitian terhadap beberapa biota laut ini sudah dilakukan untuk menemukan sumber obat-obatan baru, sehingga tidak hanya menggunakan sumber bahan alam daratan saja, tapi juga sumber yang ada di lautan pun bisa dimanfaatkan secara maksimal, mengingat negara kita, Indonesia memiliki lebih banyak wilayah lautan dari pada daratan.

Perhatian dunia medis sejak tahun 1980-an terfokus pada berbagai organisme laut sebagai sumber daya yang memungkinkan untuk produksi obat-obatan yang dapat digunakan sebagai bahan baku obat. Organisme laut dari berbagai penelitian menunjukkan bahwa dapat menghasilkan senyawa

kuat yang dapat digunakan sebagai bahan baku obat-obatan yang memiliki potensi yang sangat besar. Jamur, moluska, lumut, tunicata dan lain-lain adalah beberapa biota laut yang diketahui dapat menghasilkan zat aktif (Ismet, 2007).

Biota laut itu sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia jika kita memanfaatkan dengan baik contohnya saja teripang yang berkhasiat mengobati luka bakar, darah tinggi, bahkan sampai kanker sekalipun. Ada juga keong racun yang di manfaatkan sebagai anti nyeri efeknya hampir sama dengan morfin akan tetapi keong racun tidak menyebabkan ketagihan. Ada juga bulu babi yang memiliki manfaat sebagai peningkat kekebalan tubuh, obat kanker, penyembuh penyakit alzheimer, obat penyakit parkinson, dan juga menjadi makanan yang populer di beberapa negara seperti Korea, Jepang, dan Chili. Ada juga bintang laut yang memiliki khasiat mengobati asma dan radang sendi yang di ketahui bersama sulit untuk diobati. Selain itu, ada juga tumbuhan laut yang bermanfaat contohnya pemanfaatan rumput laut, yaitu sebagai bahan obat-obatan, makanan tambahan, agar, kosmetika, pakan ternak, dan pupuk organik. Selain itu, rumput laut juga mengandung serat, mineral, protein, asam lemak, vitamin, dan polifenol yang dibutuhkan oleh tubuh kita. Berikut akan dibahas mengenai pemanfaatan biota laut dalam bidang farmasi.

BAB 1

SUMBER SENYAWA DAN KEGUNAAN SENYAWA YANG DIHASILKAN DARI PROTISTA (FILUM MYCOPHYTA DAN PYCOPHYTA)

Oleh Yuri Pratiwi Utami

1.1 Pendahuluan

Protista memiliki struktur sel eukariotik dan sebagian besar bersifat uniseluler. Protista dapat ditemukan hidup di berbagai jenis perairan, termasuk kolam, sungai, danau, waduk, dan perairan payau dan laut. Protista memainkan peran yang sangat penting di dalam ekosistem karena merupakan dasar kehidupan. Produsen primer di ekosistem perairan adalah alga mikroskopis uniseluler, yang memberikan kontribusi terbesar terhadap produksi total, dan konsumen I adalah protozoa, yang sangat membantu mengarahkan energi dari produsen primer ke produsen tropik seperti ikan dan udang. Sementara protista yang mirip jamur sebagian besar berukuran makroskopis dan tinggal di kayu busuk, batang pohon, tempat basah, dll., mereka tidak penting bagi ekosistem dan beberapa bersifat parasit. Perairan lentik, juga disebut perairan tergenang, terdiri dari tiga wilayah: litoral, limnetik, dan profundal.

Hewan dan tumbuhan laut eukariotik, atau “organisme sejati”, terdiri dari sel-sel dengan inti, mitokondria, dan organel lainnya. Pada kelompok ini, organisme terkecil adalah protista (foraminifera dan ostreococci) dan organisme bersel tunggal seperti protozoa dan plankton. Sebagian besar biota lainnya bersifat multiseluler dan hidup berkoloni seperti cnidaria (karang dan ubur-ubur). Kelompok eukariotik dibagi menjadi vertebrata, ikan, reptil (seperti ular, kura-kura, dan buaya), burung, mamalia (seperti paus, duyung, dan lumba-lumba), dan hewan vertebrata anadromous, seperti echinodermata (spesies laut). mentimun dan bintang laut), krustasea (kepiting, udang) dan moluska (siput, kerang, gurita dan cumi-cumi).

1.2 Protista

Protista adalah mikroorganisme eukariota, artinya tidak berasal dari hewan, tumbuhan, atau jamur. Mereka pernah menjadi bagian dari satu kingdom yang disebut protista, namun sekarang sudah tidak ada lagi (Simonite, 2005). Ini masih digunakan untuk studi ekologi dan morfologi semua eukariota uniseluler yang hidup sendiri, dalam koloni atau bersama-sama, tetapi tidak menunjukkan diferensiasi menjadi jaringan yang berbeda (Sina M, *et.al* . 2005). Karena sifatnya yang parafiletik, pengelompokan ini ditinggalkan dari sudut pandang taksonomi. Kecuali dalam kasus pengelompokan yang mudah (“Systematics of the Eukaryota,” n.d.), organisme Protista tidak memiliki kesamaan antara satu sama lain, uniseluler atau multiseluler tanpa jaringan. Para pengunjung rasa tinggal di sebagian besar sumber air. Mayoritas anggota protista berasal dari protozoa dan alga (Simpson and Eglit, 2016). Banyak protista, seperti alga, berfungsi sebagai produsen fotosintesis dan penting dalam ekosistem, terutama sebagai bagian dari plankton laut.

1.2.1 Sejarah Protista

Sejarah dari protista yaitu dapat dikaji sebagai berikut :

1. Tahun 1830-an, Protista pertama kali diusulkan sebagai organisme terpisah dari organisme hidup lainnya oleh ahli biologi Jerman Georg A. Goldfuss, yang memperkenalkan istilah Protozoa yang mencakup Ciliata dan Karang (Scamardella, 1999).
2. Tahun 1845, Protista. Pendukung Goldfuss memperluasnya hingga mencakup semua hewan bersel tunggal seperti foraminifera dan amoeba.
3. Awal 1860-an, istilah Protoctista sebagai kategori taksonomi pertama kali diusulkan oleh John Hogg, yang menganggap protista harus juga meliputi apa yang dia sebut dengan hewan dan tumbuhan primitif bersel satu. Dia mendefinisikan Protoctista sebagai kingdom keempat setelah tumbuhan, hewan, dan mineral (Scamardella, 1999).
4. Kemudian kerajaan mineral ditinggalkan oleh Ernst Haeckel, meninggalkan tumbuhan, hewan, dan protista (Rothschild, 1989).
5. Tahun 1938, Herbert Copeland menghidupkan lagi klasifikasi Hogg. Menurutny, "Protoctista" secara harfiah berarti "makhluk hidup pertama". Dia menyanggah istilah Haeckel protista karena meliputi mikrob tak berinti sel seperti Bakteri, sedangkan istilah protoctista tidak mencakupnya. Sebaliknya, protoctista mencakup organisme eukariotik dengan inti sel seperti diatom, ganggang hijau, dan jamur (Copeland, 1938).
6. Copeland ini kemudian menjadi dasar dari klasifikasi yang melakukan perombakan, Whittaker yang hanya membagi Protoctista menjadi Protista dan Fungi (Whittaker, 1959). Kingdom Protista ini kemudian berfungsi sebagai pembeda antara prokaryota yang dimasukkan kingdom Monera, dan mikroorganisme eukaryotik yang

dimasukkan Protista definisi Whittaker (Whittaker, 1969).

7. Sistem lima kingdom bertahan hingga ditemukannya filogenetik molekuler pada akhir abad ke-20, karena ternyata protista dan protista tidak berkerabat (tidak harus merupakan kelompok monofiletik).
8. Pada tahun 2004, Cavalier-Smith mendirikan sistem enam kingdom berdasarkan prinsip molekuler, ultrastruktural, dan paleontologi.

1.2.2 Pembagian Klasifikasi Tradisional

Ernst Haeckel adalah orang pertama yang mengusulkan protes. Protista biasanya dikelompokkan menjadi beberapa kelompok berdasarkan bagaimana mereka mirip dengan kerajaan yang lebih tinggi. Kelompok ini termasuk protozoa, yang mirip dengan hewan bersel satu, protophyta, yang mirip dengan tumbuhan, dan jamur lendir dan jamur air, yang mirip dengan jamur.

Dalam sistem tiga kerajaan (Animalia, Plantae, termasuk jamur, dan Protista), baik spons maupun bakteri juga dianggap sebagai protista. Namun, bakteri dipisahkan dari protista setelah diketahui prokariotik. Sedangkan spons dipisahkan dari protista karena memiliki tahap larva (Rothschild, 1989).

Pada tahun 1878, terdapat sepuluh taksa: Monera, Lobosa (Amoebina), Gregarinae, Flagellata, Catallacta (misalnya, Synura), Ciliata, Acinetæ (Suctoria, sekelompok bulu), Labyrinthuleae (sebuah kelompok unik dengan sel darahoid yang membentuk jaringan ektoplasma), Bacillariae (diatom), Fungi, Myxomycetes, Thalomorpha (Rhizopoda), Heliozoa (jaringan hewan kecil), dan Radiolaria (Rothschild, 1989).

1.2.3 Protista Mirip Hewan

Walaupun ada beberapa pengecualian, hampir semua protista adalah protista bersel satu yang memiliki kemampuan fagositosis untuk bergerak dan memakan. Mereka biasanya terlalu kecil untuk dilihat tanpa mikroskop, dengan ukuran antara 0,01 dan 0,5 mm. Bentuk sel protozoa sangat beragam. Beberapa bentuk tetap, sementara yang lain berubah-ubah. Meskipun beberapa protozoa tidak memiliki alat gerak, mereka biasanya dapat bergerak aktif karena mempunyai alat gerak seperti pseudopoda, flagel, dan vibrissae (silia). Kebanyakan protozoa bereproduksi secara asexual dengan pembelahan biner. Beberapa protozoa lain melakukan reproduksi seksual melalui peleburan sel generatif (gamet) atau inti sel vegetatif. Reproduksi seksual melalui peleburan inti sel vegetatif disebut konjugasi. (Anshori and Martono, 2009).

Beberapa protozoa holozoikum, holofitik, dan saprozoikum. Holozoikum memakan organisme yang lebih kecil dari tubuhnya, dan holofit memakan makanannya sendiri melalui fotosintesis. (Firmansyah, Rikky.dkk,2009). Protozoa dapat hidup sendiri atau dalam koloni. Protozoa dapat membentuk kista untuk melindungi diri jika kondisi lingkungannya tidak menguntungkan. Setelah kondisi kembali normal, protozoa akan aktif kembali. Ada yang bersifat parasit, saprofit, dan hidup bebas jika mengonsumsi protozoa (Subardi, Nuryani; dkk, 2009).

Kebanyakan protozoa menjadi trofozoit dan siste selama fase-fase kehidupan. Sebagai suatu sistem, protozoa dapat bertahan hidup dan tumbuh di luar habitatnya. Bentuk kehidupan ini mengalami kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan bagi protozoa, seperti kekurangan makanan, suhu tinggi, dan kondisi air rendah (Subandi, M, 2010).

Protozoa dapat ditemukan di mana-mana, seperti di tanah dan air, dan biasanya dapat bertahan selama periode kering sebagai spora atau kista. Selain itu, protozoa dapat menyebabkan penyakit seperti malaria, amoeba disentri, penyakit tidur, penyakit Chagas, dan sebagainya (Sina M. Adl, dkk. 2005).

Berdasarkan cara mereka bergerak, protozoa dikategorikan menjadi (Sina M, Dkk. 2005).

1. Mastigophora/flagellata bergerak dengan cambuk (rambut yang dicambuk) Contohnya termasuk Trypanosoma dan Trichomonas.
2. Rhizopoda/Sacrododina berpindah menggunakan pseudopoda atau pseudopoda sehingga harus membentuk pseudopoda sebelum dapat bergerak. Misalnya, amuba membentuk fase gel.
3. Cilliata/Ciliophora bergerak menggunakan silia, sejenis rambut cemerlang.
4. Sporozoa tanpa alat; beberapa mampu membentuk spora, seperti *Plasmodium sp.*

1.2.4 Protista Mirip Tumbuhan

Kelompok protista tumbuhan meliputi eukariota uniseluler dan multiseluler. dengan karakteristik sel yang sama dan kemampuan fotosintesis. Sebagian besar protista dalam kelompok ini adalah fitoplankton (Yani, dkk. 2009).

Karena sifatnya yang autotrof, memiliki klorofil, dan mampu melakukan fotosintesis dengan bantuan cahaya matahari, protista (ganggang atau algae) dianggap menyerupai tumbuhan (Sulistiyorini, Ari, 2009). Alga dapat diproduksi secara seksual atau aseksual. Selama hubungan seksual, terjadi isogami dan oogami. Kesetaraan terjadi ketika sel kelamin jantan dan betina berukuran sama dan sulit dibedakan. Oogami terjadi ketika sel

kelamin pria dan wanita memiliki bentuk dan ukuran yang berbeda. Setelah dua sel kelamin menyatu, terjadi pembuahan dan zigot tercipta. Zigot akan terus berkembang (Sulistyorini, Ari, 2009). Alga mencakup semua organisme uniseluler dan multiseluler yang memiliki kloroplas. Termasuk kelompok berikut:

1. Ganggang hijau (Filum Chlorophyta), berkerabat dengan tumbuhan tingkat tinggi (Embryophyta). Misalnya: Ulva
2. Alga merah (Filum Rhodophyta) mencakup banyak jenis alga laut. Misalnya: Styrofoam
3. Heterokontophyta (Filum Phaeophyta), termasuk alga coklat. Misalnya: Makrokista.
4. Filum Euglenophyta. Contoh: *Euglena sp.*
5. Filum Phyrophyta (Dinoflagellata), termasuk alga api. Misalnya: *Ceratium*
6. Filum Bacillariophyta (Diatom)
7. Filum Chrysophyta (berambut pirang). Misalnya: *Dinobryon*

Ganggang hijau dan merah, aptophes dari subkelompok yang disebut Glaucophyta, kini diketahui memiliki hubungan evolusioner yang erat dengan tumbuhan darat, berdasarkan bukti morfologi, fisiologis, dan molekuler. Oleh karena itu, akan lebih tepat untuk memasukkan mereka ke dalam kelompok Archaeplastida, aptophes - seperti tumbuhan pada umumnya.

1.2.5 Protista Mirip Jamur

Protista yang disebut “jamur aptop” memiliki morfologi dan sifat saprofit yang mirip dengan jamur. Satu-satunya hal yang membedakannya dengan jamur adalah sifatnya. Zigot jamur tidak dapat bergerak (imotil) karena tidak memiliki aptophy. Zigot aptop, di sisi lain, dapat bergerak (motil) karena memiliki flagella (Firmansyah, Rikky,dkk. 2009).

Sebagian besar waktu, prototis yang menyerupai jamur hidup dalam bentuk uniseluler. Namun, mereka dapat bergabung dan berkelompok untuk membentuk organisme multiseluler, di mana protozoa mengalami transisi dari uniseluler ke multiseluler. Protesta, juga dikenal sebagai jamur apikal, memiliki susunan sel, cara reproduksi, dan siklus hidup yang berbeda dengan jamur. Namun, mereka tidak memiliki kloroplas (Ferdinand P, dkk. 2009). Pergerakan dan reproduksi protista mirip jamur mirip dengan amuba dan termasuk dalam protista. (Kistinnah, Idun. dkk. 2009). Protista mirip jamur memperoleh makanan dan energi dengan menguraikan partikel alergen dari ranting dan daun yang tumbang, serta bahan alergen lainnya.

Berbagai organisme yang terorganisir pada tingkat protista pada awalnya dianggap mirip dengan jamur karena menghasilkan spora. Ini termasuk chytrids, kapang, kapang air, dan labyrinthulomycetes. Chytrid sekarang diketahui berkerabat dengan jamur dan sering diklasifikasikan bersama mereka. Sementara yang lain kini ditempatkan setara dengan heterokista lain (dengan dinding selulosa bukan kitin) atau Amoebozoa (tanpa dinding sel).

- Filum Myxomycota (Jamur Lendir)
- Filum Oomycota (Jamur Air)

Memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- Beberapa sel mengalami flagela pada suatu saat dalam siklus hidupnya
- Khusus jamur air, dinding selnya terbuat dari selulosa, sedangkan jamur terbuat dari kitin.
- Bentuk spora diploid dan hasil meiosis berupa gametofit. Pada jamur, air menciptakan sesuatu.

1.2.6 Pembagian Klasifikasi Tradisional

Saat ini, istilah “protist” mengacu pada eukariota bersel satu, baik sel aptophyte atau berkoloni, yang tidak menunjukkan perubahan jaringan (Simpson and Eglit, 2016). Dalam klasifikasi kontemporer, istilah “protozoa” tidak lagi digunakan untuk menggambarkan spesies heterotrofik dari protista yang tidak membentuk filamen. Berdasarkan ultrastruktur, biokimia, dan genetika, klasifikasi kontemporer berusaha menyajikan kelompok monofili. Karena protista adalah parafili, lebih sering daripada memperlakukan kelompok protista sebagai 11 aptophyt, mereka memecah atau meninggalkan kingdom tersebut. Di kotak sebelah kanan terlihat beberapa kelompok protista utama yang mungkin dianggap sebagai fila. Meskipun tidak meyakinkan, banyak orang menganggapnya sebagai monofili. Misalnya, jika 11 aptophyte dan cryptomonad dimasukkan, Excavata mungkin tidak monofili, dan chromalveolate mungkin monofili (Cavalier-Smith and Chao, 2003); (Parfrey et al., 2006).

1.3 Metabolisme dan Peran Protista

Flagellata makan dengan menyaring air melalui flagela. Spesies demonstran lainnya mampu menelan bakteri dan mencernanya secara internal dengan memperluas dinding sel di sekitar makanan, membentuk vakuola makanan. Makanan ini kemudian masuk ke dalam sel melalui proses yang disebut endositosis (biasanya fagositosis, terkadang pinositosis) (Firmansyah, Rikky; dkk, 2009).

Beberapa protista bereproduksi secara seksual (konjugasi), sementara yang lain bereproduksi secara aseksual (fisi biner). Siklus hidup biologis *Plasmodium falciparum* sangat kompleks, dengan banyak spesies berbeda yang bereproduksi, sebagian

secara seksual dan sebagian lainnya secara aseksual. Namun, seberapa sering reproduksi seksual menyebabkan pertukaran gen antara strain *Plasmodium* yang berbeda masih belum jelas, dan sebagian besar protista parasit bersifat aseksual, dengan pertukaran genetik yang jarang terjadi dengan strain lain (Tibayrenc et al., 1991).

Beberapa protista mematikan tumbuhan dan hewan. Pada manusia, *Plasmodium falciparum* menyebabkan malaria, dan pada kentang, *Phytophthora infestans* menyebabkan hawar daun. Pemahaman lebih mendalam tentang protista akan memungkinkan pengobatan penyakit ini. Peneliti dari Dinas Penelitian Pertanian sedang mengendalikan populasi semut api (*Solenopsis invicta*) di Argentina dengan menggunakan protozoa sebagai patogen. Populasi semut api dapat dikurangi sebanyak 53 hingga 100 dengan bantuan protista penghasil spora seperti *Kneallhazia solenopsae*. Para peneliti mampu menyuntikkan protozoa ini ke lalat sebagai vektor untuk membunuh semut merah tanpa merugikan lalat (Durham, 2010).

1.4 Filum mycophyta dan pyrrophyta

1.4.1 Filum mycophyta

Mycophyta adalah merupakan organisme mirip jamur atau fungi karena memiliki struktur tubuh dan cara reproduksi mirip fungi (Parfrey et al., 2006).

1.4.2 Filum pycophyta

Phycophyta (rumput laut/macroalga) adalah kelompok tanaman tingkat rendah bersifat fototrof yang tidak mempunyai akar, daun dan batang sebenarnya tetapi memiliki tallus yang berfungsi sebagai alat vegetatif (Parfrey et al., 2006).

1.5 Contoh Phycophyta dan Mycophyta

1.5.1 Agar

Nama lainnya adalah agar-agar, glossa, agar-agar nabati. Tanaman ini berasal dari *Gelidium kartilagonium* (L), *Gracilaria confervoides* (L), dari famili Gelidiaceae dan Spharococcaceae. Nutrisi utamanya adalah garam kalsium gelosa, yang merupakan hidrat kompleks yang terdiri dari serangkaian galaktosa, molekul terakhirnya dihubungkan dengan asam sulfat, sebagai ester. Media agar komersial mengandung 20 hingga 100 bagian per juta yodium (Direktorat Jenderal Kefarmasian dan Alat Kesehatan, 2020).

Kegunaannya adalah pengobatan sembelit, karena mempunyai kemampuan menyerap dan mengikat air, oleh karena itu di dalam usus berfungsi sebagai pelumas dan mengaktifkan isi usus serta sebagai bahan pensuspensi. (Direktorat Jenderal Kefarmasian dan Alat Kesehatan, 2020).



A



B

Gambar 1. 1. A) *Gelidium cartilagenium* (L) B) *Gracilaria confervoides* (L)

(“Seaweed.ie :: *Gelidium spinosum*

https://www.seaweed.ie/descriptions/Gelidium_spinosum.php,” n.d.)



Gambar 1. 2. Agar

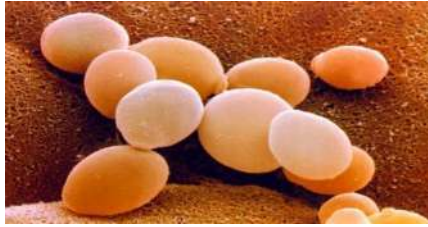
(“Gambar diakses melalui

<https://www.jardimxamanico.com/emagrecedores/109-100-grs-agar-agar-alga-gracilaria-confervoides.html>,” n.d.)

1.5.2 *Saccharomyces siccum*

Nama lainnya adalah ragi kering. Tanaman aslinya adalah keluarga Ascomycetes *Saccharomyces cerevisiae* (Meyen) atau *Candida utilis* (Hannegeng). Zat/kandungan bermanfaat utama: Vitamin dan putih telur. Kegunaannya adalah untuk memberikan vitamin B kompleks dan putih telur. Bagian yang digunakan Ragi diperoleh dari budaya pilihan (Direktorat Jenderal Kefarmasian dan Alat Kesehatan, 2020).

Cara ragi bir dipanen dari tempat pembuatan bir disebut ragi kering, jika rasa pahitnya sudah dihilangkan disebut ragi kering tidak pahit. Ragi yang diperoleh dari kultur pada media yang sesuai disebut ragi kering primer. Informasi: 10 gram ragi sama dengan 35 kalori; 4,6 gram protein nabati; 0,2 gram lemak; 3,7 gram arang terhidrasi; 11 mg kalsium; 189 mg fosfor anorganik dan 1,8 mg zat besi (Direktorat Jenderal Kefarmasian dan Alat Kesehatan, 2020).



Gambar 1. 3. Yeast, *Saccharomyces cerevisiae*

by Power And Syred diakses

<https://fineartamerica.com/featured/4-yeast-saccharomyces-cerevisiae-power-and-syred.html>," n.d.)

1.5.3 *Secale Cornutum*

Nama lainnya adalah *Sekale cornutum*, *Mother Wheat*, *Mother of Rye*, *Ergot*, *Horn Seed*. Asal tanaman *Claviceps purpurea*, *Secale sereal*. Keluarga, Hypocreaceae, Poaceae. Penggunaan semua alkaloid tersebut menyebabkan kontraksi otot polos, terutama otot rahim. Jika dosisnya lebih besar, otot-otot saluran kemih, usus, dan pembuluh darah juga berkontraksi (Direktorat Jenderal Kefarmasian dan Alat Kesehatan, 2020).

Zat berkhasiat utama / Isi yaitu :

- 1) Alkaloida, terbagi 3 golongan:
 - a) Ergotamina (ergotamina, ergotaminina, ergosinina).
 - b) Ergotoksina (ergokristina, ergokriptina, ergokornina, ergokristinina, ergo-kriptinina, ergokomina).
 - c) Ergobasina, (ergobasina /ergonivina, ergobasinina, ergonovinina).
- 2) Selain alkaloida juga mengandung Tiramina, histamina, ergotionina dan glikokolbetaina.
- 3) Lemak termasuk trioleinate, trioxyleinate dan fitosterin, lesitin, ergosterin, asam sphaseline, mannite, trehalose dan mineral utama asam fosfat.



Gambar 1. 4. Tanaman asal Sekale kornutum

("Claviceps purpurea (Fr.) Tul. 1853 media - Encyclopedia of Life diakses <https://eol.org/pages/1029583/media>,")

1.5.4 *Usnea thallus*

Nama lain pohon ini adalah Windwood, *Linchen dasypogus*. Asal tumbuhan *Usnea misamineensis* (Sia-sia), (Acharius) atau *Usnea dasypoga*, *Usnea* sp. termasuk dalam famili *Usneaceae*. Zat/kandungan nutrisi utama adalah asam urat, zat pahit, arang terhidrasi. Ini digunakan sebagai zat, sakit perut, dan antiseptik (Direktorat Jenderal Kefarmasian dan Alat Kesehatan, 2020).

Pemerriannya Secara spesifik, baunya ringan dan rasanya pahit. Bagian yang digunakan adalah thallus utuh, berserat, biasanya bulat dan memanjang, bercabang, berwarna abu-abu sampai biru, hijau muda (Direktorat Jenderal Kefarmasian dan Alat Kesehatan, 2020).



Gambar 1. 5. Tanaman *Usnea misamineensis*

Usnea misamineensis (Vain) diakses (<https://www.medicine.news/2018-01-30-antibiotics-in-the-backyard-usnea-lichen-used-as-effective-natural-medicine.html>),)

DAFTAR PUSTAKA

- Anshori, M., Martono, D., 2009. Biologi Untuk Sekolah Menengah Atas. Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.
- Cavalier-Smith, T., Chao, E.E.-Y., 2003. Phylogeny And Classification Of Phylum Cercozoa (Protozoa). *Protist* 154, 341–358. <https://doi.org/10.1078/143446103322454112>
- Claviceps Purpurea (Fr.) Tul. 1853 Media - Encyclopedia Of Life Diakses <https://eol.org/pages/1029583/media> [Www Document], N.D. Url <https://eol.org/pages/1029583/media> (Accessed 9.15.23).
- Copeland, H.F., 1938. The Kingdoms Of Organisms. *Q. Rev. Biol.* 13, 383–420.
- Direktorat Jenderal Kefarmasian Dan Alat Kesehatan, 2020. Farmakope Indonesia Edisi Vi [Www Document]. Url <https://farmakope.kemkes.go.id/2020/11/farmakope-indonesia-edisi-vi/> (Accessed 9.15.23).
- Durham, S., 2010. Ars Parasite Collections Assist Research And Diagnoses: Usda Ars [Www Document]. Url <https://www.ars.usda.gov/news-events/news/research-news/2010/ars-parasite-collections-assist-research-and-diagnoses/> (Accessed 9.15.23).
- Ferdinand P, Fictor; Ariebowo, Moekti, 2009. Praktis Belajar Biologi Untuk Kelas X Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah (. Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta.
- Firmansyah, Rikky; Mawadi H, Agus; Umar Riandi, M, 2009. Mudah Dan Aktif Belajar Biologi Untuk Kelas X Sekolah Menengah Atas/Madrasah.

<https://Www.Jardimxamanico.Com/Emagrecedores/109-100-Grs-Agar-Agar-Alga-Gracilaria-Confervoides.Html> [Www Document], N.D. Url <https://Www.Jardimxamanico.Com/Emagrecedores/109-100-Grs-Agar-Agar-Alga-Gracilaria-Confervoides.Html> (Accessed 9.15.23).

<https://Www.Medicine.News/2018-01-30-Antibiotics-In-The-Backyard-Usnea-Lichen-Used-As-Effective-Natural-Medicine.Html>, N.D. Antibiotics In The Wild: Usnea, A Lichen That Grows All Around The Globe, Has Been Used As Effective Natural Medicine For Centuries [Www Document]. Med. News. Url <https://Www.Medicine.News/2018-01-30-Antibiotics-In-The-Backyard-Usnea-Lichen-Used-As-Effective-Natural-Medicine.Html> (Accessed 9.15.23).

Kistinnah, Idun; Sri Lestari, Endang, 2009. Biologi 1 Makhluk Hidup Dan Lingkungannya Untuk Sma/Ma Kelas X. Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta.

Parfrey, L.W., Barbero, E., Lasser, E., Dunthorn, M., Bhattacharya, D., Patterson, D.J., Katz, L.A., 2006. Evaluating Support For The Current Classification Of Eukaryotic Diversity. Plos Genet. 2, E220. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.0020220>

Rothschild, L.J., 1989. Protozoa, Protista, Protoctista: What's In A Name? J. Hist. Biol. 22, 277–305. <https://doi.org/10.1007/Bf00139515>

Scamardella, J.M., 1999. Not Plants Or Animals: A Brief History Of The Origin Of Kingdoms Protozoa, Protista And Protoctista. Internatl Microbiol.

Seaweed.le :: Gelidium Spinosum

https://Www.Seaweed.le/Descriptions/Gelidium_Spinosum.Php [Www Document], N.D. Url

https://Www.Seaweed.le/Descriptions/Gelidium_Spinosum.Php (Accessed 9.15.23).

Simonite, T., 2005. Protists Push Animals Aside In Rule Revamp. Nature 438, 8–8. <https://doi.org/10.1038/438008b>

- Simpson, A.G.B., Eglit, Y., 2016. Protist Diversification, In: Kliman, R.M. (Ed.), *Encyclopedia Of Evolutionary Biology*. Academic Press, Oxford, Pp. 344–360. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800049-6.00247-X>
- Sina M. Adl, Alastair G. B. Simpson, Mark A. Farmer, Robert A. Andersen, O. Roger Anderson, John R. Barta, Samuel S. Bowser, Guy Brugerolle, Robert A. Fensome, Suzanne Fredericq, Timothy Y. James, Sergei Karpov, Paul Kugrens, John Krug, Christopher E. Lane, Louise A. Lewis, Jean Lodge, Denis H. Lynn, David G. Mann, Richard M. Mccourt, Leonel Mendoza, Øjvind Moestrup, Sharon E. Mozley-Standridge, Thomas A. Nerad, Carol A. Shearer, Alexey V. Smirnov, Frederick W. Spiegel, Max F. J. R. Taylor ... See Fewer Authors, 2005. *The New Higher Level Classification Of Eukaryotes With Emphasis On The Taxonomy Of Protists*. *J. Eukaryot. Microbiol.* 2.
- Subandi, M, 2010. *Mikrobiologi*. Bandung: Pt Remaja Rosdakarya.
- Subardi, Nuryani; Pramono, Shidiq, 2009. *Biologi Untuk Kelas X Sma Dan Ma*. Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.
- Sulistyorini, Ari, 2009. *Biologi 1 Untuk Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah Kelas X*. Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional., Jakarta.
- Systematics Of The Eukaryota [Www Document], N.D. Url <https://ucmp.berkeley.edu/allife/eukaryotasy.html> (Accessed 9.15.23).
- Tibayrenc, M., Kjellberg, F., Atnaud, J., Oury, B., Breniere, S.F., Darde, M.-D., Ayala, F., 1991. Are Eukaryotic Microorganisms Clonal Or Sexual? A Population Genetics Vantage. [Www Document]. <https://doi.org/10.1073/pnas.88.12.5129>
- Whittaker, R.H., 1969. New Concepts Of Kingdoms Of Organisms. *Science* 163, 150–160. <https://doi.org/10.1126/science.163.3863.150>
- Whittaker, R.H., 1959. On The Broad Classification Of Organisms. *Q. Rev. Biol.* 34, 210–226. <https://doi.org/10.1086/402733>

Yani, Riani; Atikah, Tintin; Purwianingsih, Widi, 2009. Biologi 1 Sma Dan Ma Kelas X. Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional, Pusat Jakarta.

Yeast, *Saccharomyces Cerevisiae* By Power And Syred Diakses <https://fineartamerica.com/featured/4-yeast-saccharomyces-cerevisiae-power-and-syred.html> [Www Document], N.D. . Fine Art Am. Url <https://fineartamerica.com/featured/4-yeast-saccharomyces-cerevisiae-power-and-syred.html> (Accessed 9.15.23).

BAB 2

SUMBER SENYAWA DAN KEGUNAAN SENYAWA YANG DIHASILKAN DARI MACROALGA (FILUM *CLOROPHYTA*, *RHODOPHYTA*, *PHAEOPHYTA*)

Oleh Feronika Evma Rahayu

2.1 Pendahuluan

Laut merupakan wilayah yang terdiri dari suatu genangan air yang luas dan memiliki karakteristik rasa asin pada airnya yang merupakan hasil dari kandungan garam yang terdapat di dalamnya. Studi tentang laut atau juga dikenal dengan istilah oseanografi yaitu bidang ilmu yang mempelajari dan meneliti tentang laut. Studi oseanografi terdapat kesinambungan multidisplin ilmu seperti biologi, kimia, fisika, ekologi, geokimia, geologi, geofisika, dan metrologi. Secara umum benua terbentuk dan dibagi menjadi 3 bagian wilayah laut yaitu lautan pasifik, lautan atlantik, dan lautan hindia yang memanjang ke arah utara.

Perairan laut dan pesisir termasuk dalam ekosistem terbesar bumi yang membentuk kerumitan dan ukuran yang rumit. Biota laut biasanya hidup pada daerah di perairan laut dangkal yang masih ditembus cahaya matahari sampai dasarnya wilayah ini juga biasa dikenal sebagai zona neritik. Biota laut yang hidup pada daerah neritik antara lain yaitu nekton, bentos, plankton, coelenterata, alga dan polifera. Alga merupakan sekelompok organisme autotrof yang tidak memiliki organ dengan perbedaan fungsi nyata. Alga memiliki karakteristik tidak

memiliki akar, batang, dan daun sehingga sering juga dikenal sebagai tumbuhan ber *thallus*.

Indonesia memiliki luas laut yang lebih luas jika dibandingkan dengan luas daratan. Laut Indonesia terdiri dari 6,4 juta kilometer. Hal tersebut juga menyebabkan laut Indonesia memiliki kekayaan alam yang berlimpah. Hasil studi menunjukkan bahwa Indonesia memiliki 76 persen terumbu karang yang mempengaruhi populasi ikan di seluruh dunia. Indonesia juga dikenal sebagai salah satu *Coral Triangle* atau suatu wilayah geografis yang menjadi pusat keseragaman biota laut dunia selain Filipina, Malaysia, Papua Nugini, Timor Leste, dan Kepulauan Solomo. *Coral Triangle* umumnya menjadi habitat setidaknya 500 spesies koral, 3000 spesies ikan, dan enam dari tujuh spesies penyu yang ada di dunia.

Sumber daya laut berdasarkan potensinya terbagi menjadi sumber daya yang dapat diperbarui (*renewable resorces*) dan sumber daya yang tidak dapat diperbarui (*nonrenewable resorces*). Rumput laut adalah salah satu biota laut yang mulai dimanfaatkan di Indonesia pada tahu 1292. Para pelaut Eropa mencatat bahwa rumput laut dimanfaatkan oleh masyarakat Indonesia sebagai sumber pangan dan pengobatan. Umumnya masyarakat pesisir seperti Jepara menggunakan rumput laut untuk mengobati luka bakar. Rumput laut termasuk dalam biota laut yang dapat di budi dayakan untuk mengembangkan sektor kelautan dengan sarana prasarana yang memadai.

2.2 Makroalga

Makroalga atau juga dikenal sebagai berukuran besar. Makroalga memiliki manfaat bagi kesehatan tubuh karena mengandung serat, *trace element* (Iodium, Magnesium, Fe, dan Zn), protein asam amino esensial, asam lemak tak jenuh ganda,

vitamin larut air (B kompleks dan vitamin C), vitamin larut lemak (vitamin A dan E) dan senyawa antioksidan berupa karotenoid. Makroalga mengandung jumlah serat sekitar 23,5% (*Codium reediae*), 64% dari berat kering di *Gracilaria* spp. Pada makroalga cokelat memiliki serat larut sekitar 52-56% yang mempunyai manfaat sebagai prebiotik yang baik untuk pencernaan. Serat pada makroalga akan diangkut di dalam darah dan didistribusikan ke berbagai organ yang akan mengalami proses oksidasi sehingga menghasilkan energi dan mengatur haemostatis energi untuk membentuk imunitas dalam tubuh.

Rumput laut memiliki senyawa metabolit sekunder seperti steroid, flavonoid, alkaloid, terpenoid, dan kumarin. Metabolit sekunder memiliki aktivitas sebagai antioksidan untuk mengatasi radikal bebas. Selain itu senyawa bioaktif memiliki manfaat sebagai aktivitas biologis seperti antijamur, antibakteri, dan antivirus. Laut Indonesia memiliki berbagai jenis rumput laut seperti *Chlorophyta* (rumput laut hijau), *Phaeophyta* (rumput laut cokelat), dan *Rhodophyta* (rumput laut merah).

2.2.1 Chlorophyta

Chlorophyta atau juga dikenal sebagai alga hijau. *Chlorophyta* memiliki *thallus* bersel banyak dengan benang-benang sederhana dan bercabang. Biasanya berkembangbiak menggunakan zoospora atau gamet-gamet yang bergerak. *Chlorophyta* memiliki genus berupa Enteromorfa yang memiliki bentuk benang besar, kasar dengan cabang yang berbelit-belit, dan memiliki struktur berbentuk pipa. Umumnya tumbuh pada daerah teluk dan kuala. *Chlorophyta* memiliki halimeda yaitu segmen-segmen keras seperti batu yang sebagian besar reruntuk berkapur pada telaga pantai di karang pada daerah tropikal.



Gambar 2. 1. Chlorophyta
(<https://www.utakatikotak.com/>)

Indonesia terdapat sekitar 12 marga *chlorophyta* dan 14 diantaranya dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan dan bahan baku obat. *Chlorophyta* dapat hidup pada kedalaman sampai 10 meter atau lebih pada daerah dengan sinar matahari yang memadai. *Chlorophyta* umumnya tumbuh dengan menempel pada substrata seperti batu karang mati, cangkang moluska, dan sebagainya di atas pasir.

2.2.2 Rhodophyta

Rhodophyta atau juga dikenal sebagai *Eucheuma cottonii* merupakan rumput laut merah yang dihasilkan dari fraksi kappa-karagenan sehingga juga dikenal dengan nama *Kappaphycus alvarezii*. Umumnya *rhodophyta* banyak terdapat pada daerah tropis. *Rhodophyta* yang hidup di laut sekitar 400 genus dan 2.500 spesies dan yang hidup di air tawar sekitar 12 genus dan 100 spesies. *Eucheuma cottonii* memiliki ciri-ciri sebagai berikut :

- *Thallus*
- Cabang berbentuk silindris atau pipih
- Percabangan tidak teratur kasar karena ditumbuhi *nodulla* atau *spine* yang berfungsi sebagai gametan

Berikut klasifikasi *E. Cottonii* :

Kingdom : Plantae
Divisi : Rhodophyta
Ordo : Rhodophyceae
Ordo : Gigartinales
Famili : Solieracea
Genus : Eucheuma
Spesies : *Eucheuma alvarezii* Doty

Kappaphycus alvarezii (doty) Doty



Gambar 2. 2. Rhodophyta
(<https://www.utakatikotak.com/>)

Rhodophyta memiliki pigmen merah yang terdapat dalam plastid atau juga dikenal sebagai *fikoeritin*. *Rhodophyta* juga memiliki pigmen biru berupa *fikosianin*. *Rhodophyta* memiliki satu inti sel dengan satu atau lebih kloroplas yang berbentuk cakram atau bintang dan memiliki simpanan cadangan makanan berupa zat arang hidrat dan minyak-minyak.

Thallus pada *rhodophyta* berupa daun yang terbelah berliku-liku atau memiliki bagian seperti batang dengan daun terpisah. Biasanya alga pada karang banyak disisipi kapur. *Thallus* bersifat gametofit haploid dengan kelamin jantan berupa spermatangia bersel tunggal dimana gamet yang tak bercambuk akan diangkut secara pasif ke kelamin jantan atau juga disebut spermatium. Spermatium apabila dibebaskan akan mengapung dan melekat pada *Trikhogin* (alat kelamin betina bersel tunggal di puncak benang *kalpogonial*).

Umumnya alga merah memiliki daun yang lebih rumit sehingga zigotnya tidak melalui miosis melainkan pipa halus atau juga dikenal sebagai oblas yang biasanya berfungsi sebagai sel bantu hasil dari karpogonilum. Inti zigot bergerak pada sepanjang oblas ke sel bantu yang kemudian mengeluarkan serabut gametoblas. Buah dari perkelaminan betina bersifat majemuk yang terdiri dari serabut gametoblas dan karposporangium (*sistokarpa*). Karposporangium akan membebaskan satu spora diploid yang akan tumbuh menjadi tanaman diploid yang hidup bebas atau juga dikenal sebagai tetrasporofit. Tetrasporofit terdiri dari inti tunggal dari tetrasporangium yang mengalami miosis yang menghasilkan tetraspora yang jika dibebaskan akan menjadi tanaman gametofit.

2.2.3 *Phaeophyta*

Phaeophyta terdiri dari warna cokelat atau kuning kehijauan. Biasanya terdiri dari banyak sel yang merupakan benang-benang seperti *thallus*. Umumnya hidup pada daerahdekat pantai beriklim sedang dan dingin pada kedalaman kurang dari 20 meter. *Pheophyta* di Indonesia terdapat sekitar 8 marga dengan 6 jenis di antaranya dimanfaatkan sebagai sumber

pangan dan bahan baku obat. *Phaeophyta* memiliki beberapa ordo seperti Fuka dan Laminaria.



Gambar 2.3. Phaeophyta
(<https://www.utakatikotak.com/>)

Fuka terdiri dari alga menahun yang berserat kasar yang memiliki pegangan seperti pelat berbentuk cakram dan *thallus* bercabang. Pertumbuhan cabang dimulai dari sel puncak tunggal pada setiap cabang. Lapisan sel luar mempunyai struktur pembiakkan yang mengandung tannin yang menyebabkan fuka memiliki warna cokelat. Proses berkembang biak menggunakan reseptakel yaitu lubang-lubang konseptekal. Reseptakel merupakan pembengkakan di ujung cabang baik di semua cabang maupun sebagian. Fuka terdiri dari beberapa ordo seperti *Fukasea*, *Sistoseirasea*, dan *Sargasasea*.

Fukasea terdiri dari gelembung gas berpasangan pada *thallusnya*, gelembung inilah yang akan berfungsi sebagai alat mengapung sehingga tanaman mempunyai kemampuan mengapung selama air pasang naik, membantu dalam proses fotosintesis, dan mempertahankan diri untuk tetap berada pada tempatnya pada saat terjadi gelombang pasang. Fukasea memiliki umur hidup sekitar 3 tahun yang reseptakel-reseptakel terbentuk pada musim semi yang mempunyai kemampuan

menghasilkan 1000 reseptakel selama hidupnya. *Sistoseirasea* memiliki dasar thallus yang lebih kasar dan tebal jika dibandingkan dengan cabangnya. Pada percabangan memiliki bola gas dalam rantai pendek, srea reseptakel terjadi pada ujung ranting akhir dan pembiakan cabang biasanya terjadi pada awal musim dingin. *Sargasasea* memiliki *thallus* bercabang dan menjari. Thallus antara bagian yang berbuah dan tidak berbuah tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Spesies cabang yang tidak berbuah memiliki bentuk selang-seling. *Sargasum* bereproduksi tanpa perkawinan sehingga untuk berkembang biak *sargasum* menggunakan metode pengepungan.

Laminaria terdiri dari ordo berupa kelpi (ganggang kasar) yang memiliki ukuran besar. Bisanya tumbuh pada sepanjang pantai berbatu karang pada perairan beriklim sedang sampai dingin. *Laminaria* memiliki sumber koloid dan pengental sehingga banyak dikembangkan dalam industri kalium, yodium, makanan, dan bahan baku obat. Mikroskop digunakan untuk mengidentifikasi perubahan antara tahap sporofit diploid yang besar dan tahap gametofit haploid yang kecil. Mekanismenya sporofit akan membentuk zoospora-zoospora haploid bercambuk pada kedua sisinya yang terbagi menjadi gametofit haploid jantan dan gametofit haploid betina. Gametofit haploid dicirikan denga memiliki campuk pada dua sisi yang dapat bergerak sedangkan gametofit haploid betina menetap pada ogonium yang akan mengikuti zigota tumbuh membentuk sporofit besar. Sporofit *laminaria* mengandung kloroplas berbentuk cakram yang dapat dikembangkan menjadi bahan pangan. Salah satu yang mempengaruhi kandungannya adalah musim panenya, pada musim semi umumnya alga akan banyak mengandung protein, algin, dan abu sedangkan pada musim gugur alga akan lebih cenderung mengandung manitol dan *laminaria*. *Lesoniasea* memiliki ciri karakteristik tungkai

bercabang dan pada setiap cabang terakhir akan membentuk daun sedangkan pangkal daun berupa maristem. Pada pinggir daun terdapat bintik-bintik hitam yang menghasilkan zoospora. *Lesoniasea* terdiri dari kelpi raksasa makrosistis, neresistis, dan palma laut. *Alariasea* memiliki ciri pertumbuhan membentuk daun lateral sepanjang sisi batangnya atau pada ujung daun. *Alariasea* memiliki batang bercabang dan tidak.

2.3 Manfaat Rumput Laut di Bidang Kefarmasian

Pemanfaatan rumput laut pada bidang kefarmasian digunakan oleh masyarakat pesisir sebagai antiseptik obat luar. Pemanfaatannya dilakukan dengan merebus rumput laut dengan air kemudian hasil rebusan yang digunakan. Cara lain juga biasa dilakukan menggunakan rumput laut yang telah dikeringkan kemudian di gerus menjadi serbuk. Dengan perkembangan ilmu pengetahuan rumput laut juga dikembangkan menjadi bahan baku obat menjadi karagenan (*carrageenan*), furselaran (*furcellaran*), agar, alginat, fucoidon, dan laminaran. Pada bidang kefarmasian rumput laut dikembangkan menjadi bahan baku obat karena kandungannya. Komposisi senyawa organik pada *Eucheuma sp* terdiri dari air 16,99%, protein 2,48%, karbohidrat 63,19%, lemak 4,3%, dan abu 23,04%. Selain dikembangkan sebagai bahan baku obat rumput laut juga dapat dimanfaatkan sebagai cangkang kapsul.

Spesies *Eucheuma cottonii* akan menghasilkan karagenan kappa atau juga dikenal sebagai getah rumput laut diperoleh setelah dilakukan ekstraksi. Proses ekstraksi biasanya dilakukan menggunakan pelarut air atau larutan alkali. Sedangkan spesies *Eucheuma spinosum* akan menghasilkan iota karagenan. Karagenan mengandung polisakarida, garam sodium, potasium, dan kalsium. Karagenan potasium memiliki kandungan alfa

karagenan dan B-karagenan yang memiliki sifat larut dalam air panas sedangkan karagenan sodium larut dalam air dingin.

Rumput laut atau algae mengandung lemak sehat berupa lemak omega 3 yang akan membantu meningkatkan kadar kolesterol HDL (*High Density Lipoprotein*) dan menurunkan kadar kolesterol LDL (*Low Density Lipoprotein*) yang berbahaya bagi tubuh manusia, membantu mengurangi peradangan dalam tubuh, mempertahankan dan menurunkan berat badan, mengobati pembengkakan pada kelenjar tiroid, mempercepat proses penyembuhan luka, menguatkan tulang dan gigi, meningkatkan energi, serta memperlambat penyebaran kanker payudara.

Kelebihan hormon estrogen akan memicu terjadi kanker payudara. Pada penelitian yang dilakukan oleh *Harvard School of Public Health America* terhadap wanita jepang yang rutin mengkonsumsi rumput laut menyebabkan wanita premenopause memiliki peluang tiga kali lebih kecil terkena kanker dibandingkan dengan wanita Amerika. Hal tersebut dikarenakan kandungan serat dan selenium mampu mereduksi estrogen sehingga dapat mencegah terjadinya kanker.

2.3.1 *Chlorophyta*

Dari *chlorophyta* sering dimanfaatkan sebagai bahan obat dan bahan baku obat antara lain sebagai berikut :

Tabel 2. 1. Tabel daftar bahan baku obat Chlorophyta

Jenis	Indikasi
<i>Acetabularia</i>	Gangguan ginjal
<i>Caulerpa</i>	Antijamur
<i>Cladophora</i>	Antibakteri Antivirus
<i>Codium</i>	Obat kimia

Jenis	Indikasi
<i>Dictyosphaeria</i>	Antimikroba Penyakit jantung
<i>Enteromorpha</i>	Antibakteri
<i>Halimeda</i>	Antibakteri
<i>Monostroma</i>	Antibakteri Tekanan darah tinggi
<i>Ulva</i>	Antibakteri Tekanan darah tinggi

Sumber: Penataan Dan Regulasi Pemerintah Atas Paten Obat Yang Berasal Dari Tanaman Lokal Rumput Laut

2.3.2 *Rhodophyta*

Dari *rhodophyta* sering dimanfaatkan sebagai bahan obat dan bahan baku obat antara lain sebagai berikut :

Tabel 2. 2. Tabel daftar bahan baku rhodophyta

Jenis	Indikasi
<i>Acanthrophora</i>	Antimikroba Antikesuburan
<i>Amansia</i>	Antibiotik
<i>Asparagopsis</i>	Antibiotik
<i>Ceranium</i>	Antibakteri
<i>Polysiphonia</i>	Antibakteri
<i>Chondria</i>	Gangguan penyakit dalam
<i>Gracilaria</i>	Gangguan penyakit dalam
<i>Corallina</i>	Obat bius dan antibakteri
<i>Digenea</i>	Obat bius dan antibakteri
<i>Gelidium</i>	Antijamur

Jenis	Indikasi
	Antibakteri Antivirus
<i>Gloiopeltis</i>	Antitumor
<i>Hypnea</i>	Antitumor Gangguan perut
<i>Jania</i>	Obat bius
<i>Porphyra</i>	Kolesterol
<i>Pterocladia</i>	Gangguan dalam Antibiotika
<i>Rhodymenia Wrangelia</i>	Antibiotik Antijamur

Sumber : Penataan Dan Regulasi Pemerintah Atas Paten Obat Yang Berasal Dari Tanaman Lokal Rumput Laut

2.3.3 *Phaeophyta*

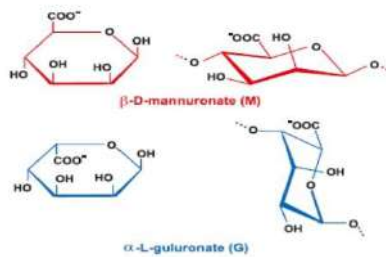
Dari *phaeophyta* sering dimanfaatkan sebagai bahan obat dan bahan baku obat antara lain sebagai berikut :

Tabel 2. 3. Tabel daftar bahan baku obat *Phaeophyta*

Jenis	Indikasi
<i>Dictyopteris</i>	Antitumor
<i>Dictyota</i>	Antibakteri
<i>Padina</i>	Antibakteri
<i>Sargassum</i>	Antibakteri Antitumor Tekanan darah tinggi Gangguan kelenjar
<i>Sylophora</i>	Penyakit jantung

Sumber: Penataan Dan Regulasi Pemerintah Atas Paten Obat Yang Berasal Dari Tanaman Lokal Rumput Laut

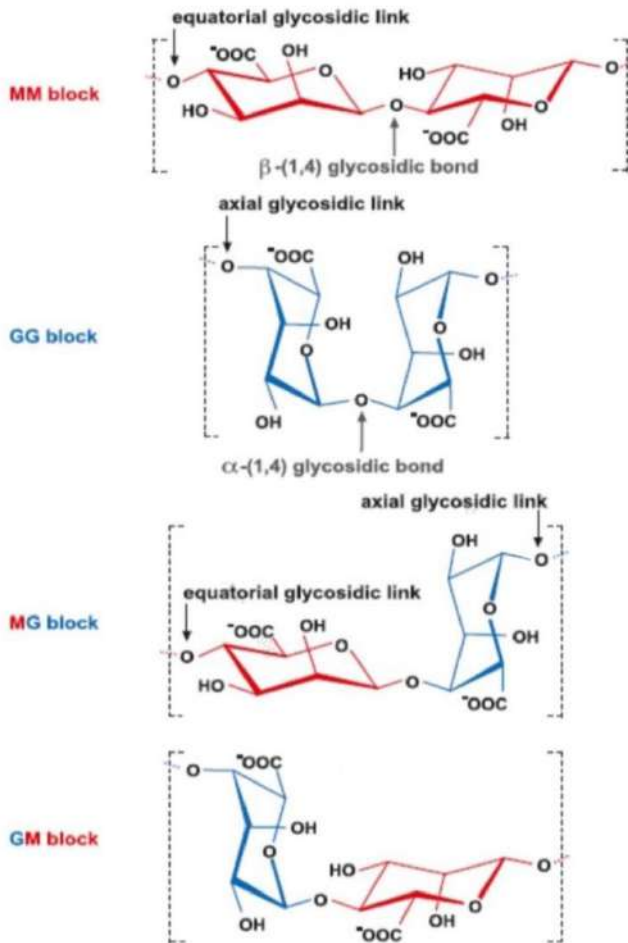
Pemanfaatan rumput laut sebagai bahan baku obat salah satunya dikembangkan menjadi polimer. *Phaeophyta* dapat dikembangkan sebagai bahan baku obat karena memiliki kandungan senyawa alginat. Alginat termasuk dalam polimer anionik alami yang bersifat biokompatibilitas, toksisitas rendah, biaya relatif rendah. Polisakarida pada alginat tidak memiliki cabang dari 1 $\rightarrow$ 4 β - D - asam manuronat (M) dan C - 5 epimer α - L - asam guluronat (G).



Gambar 2. 4. Struktur Alginat

(Jayanudin, 2023)

Berdasarkan sifat kimia alginat termasuk dalam polisakarida yang tersusun atas dua jenis asam uronat. Komponen monomer dan berat molekul dari rantai polimer yang mempengaruhi struktur alginat yang akan mempengaruhi sifat kimia dan fisik. Unit monomer alginat terdiri dari asam guluronat (G) dan manuronat (M) yang terdiri dari blok yang tersiri dari residu mannuronat dan guluronat yang berseling (MGMG-MGM.....), blok asam guluronat (GGGGGG.....) dan blok asam mannuronat (MMM-MMM...).



Gambar 2. 5. Struktur Blok Dalam Alginat
(Jayanudin, 2023)

2.4 Manfaat Rumput Laut di Bidang Kosmetik dan Nutraceutical

Pemanfaatan rumput laut sebagai salah satu biota akuatik pada kosmetik digunakan dalam produksi salep, krim, *lotion*, lipstik, dan sabun. Ekstrak rumput laut *Turbinaria conoides* adalah salah satu jenis rumput laut yang dimanfaatkan sebagai bahan baku kosmetik. Rumput laut juga mengandung berbagai senyawa metabolit sekunder seperti fenolik, pigmen alami, polisakarida sulfat, serat. Senyawa biokatif pada rumput laut biasanya mengandung pigmen dan antioksidan. Sifat fotosintetik pada rumput laut terdiri dari klorofil, karotenoid (karoten dan xantofil) dan fikobilin (fikoeritin dan fikosianin). Senyawa fenol juga dapat berfungsi sebagai antibakteri, antihelmitik, antikolesterol, penggumpalan, pembengkakan, analgesik, antipiretik, antiperadangan, antikanker, dan banyak hal lainnya.

Antioksidan pada rumput laut mengandung molekul antioksidan yang sifatnya stabil seperti karotenoid, mikrosporin-asam amino. Dan senyawa polifenol seperti katekin dan phlorotannin. *Sargassum aquifolium* mengandung antioksidan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber nutraceutical. Dalam pengembangan kosmetik antioksidan pada rumput laut digunakan untuk mencegah penyebab kulit rusak akibat paparan sinar ultraviolet. Penambahan rumput laut dalam sediaan kosmetik biasanya juga dapat berfungsi dalam menjaga stabilitas sistem kelembaban dan kelmbutan kulit.

Rumput laut dalam penuaan dini memiliki fungsi dalam proses peremajaan kulit karena terdapat senyawa vitamin, mineral, asam amino, dan enzim. Selain peremajaan kulit untuk mengatasi penuaan dini juga diperlukan adanya kolagen, pada rumput laut senyawa yang mampu memelihara kolagen adalah

vitamin A (beta karoten) dan vitamin C. Protein pada rumput laut berperan dalam pembentukan jaringan baru pada kulit.

Pada *chlorophyta* mengandung Halimeda mengandung senyawa katekin (polifenol). Pada *rhodophyta* mengandung antioksidan antheraxanthin (karotenoid), phikoeritrin (pigmen bikobilin), galaktan dan sulfat galaktan. Pada *phaeophyta* mengandung sargassum mengandung asam askorbat dan senyawa aktif *S. Fillipendula* termasuk dalam senyawa karotenoid dan asam benzene dikarboksil.

Tabel 2. 4. Tabel daftar polisakarida dalam makroalga

Jenis	Sumber	Komposisi	Pemanfaatan
Agar	Alga merah	Agrase Agropektin	Stabilizer Emulsifier Pembawa obat
Alginat	Alga coklat	<i>Manuoranic acid</i> <i>Guluronic acid</i> Residu	Filter obat
Karagenan	Alga merah	Galaktosa Residu	Stabilizer
Fucoidon	Alga coklat	L-fucose residu	Pencegah kanker HIV (AIDS)

Sumber: Kiat Sukses Budi Daya Rumput Laut di Laut dan Tambak

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, Fransiska. 2016. *Surga Bawah Laut*. Jakarta : PT Elex Media Komputindo.
- Anggoro, S., Indarjo, A., Salim, G., Handayani, K. R., Rasangan, J., & Jabarsyah, A. 2021. *Bioluminesensi Laut*. Banda Aceh : Syiah Kuala University Press.
- Erwin. L. T. 2012. *Pangan Sehat Kaya Manfaat*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.
- Ginting, A., Tohari, A., Mulya, A., Nasution, A. M., Nugraha, A., Rohman, E. A., Teguh, F., Nainggolan, H. L., Dewanti, I. D., Muliawan, I., Tampubolon, J., Cahyaningtyas, J., Madu, L., Mulyadi., Soejarwo, P. A., Sulistyati, R., Haryono, S., Muryantini, S., Wibisono, S. 2019. *Melancong Ke Laut Tata Kelola Pariwisata Maritim Indonesia*. Jakarta : PT Elex Media Komputindo.
- Hendri. 2018. *Untung Berlipat Dari Budi Daya Rumput Laut*. Yogyakarta : Andi.
- Iyam. 2021. *Keanekaragaman Biota Laut*. Bandung : Titian Ilmu.
- Jayanudin. 2023. *Teknologi Dan Sistem Pengantaran Obat*. Indramayu : CV Adanu Abimata.
- Kordi, M. G. H. 2011. *Budi Daya 22 Komoditas Laut Untuk Konsumsi Lokal Dan Ekspor*. Yogyakarta : Andi.
- Kordi, M. G. H. 2011. *Kiat Sukses Budi Daya Rumput Laut di Laut dan Tambak*. Yogyakarta : Andi.
- Nurhidayat. 2023. *Menata Ruang Laut dengan Peta Laut Indonesia*. Jakarta : Kompas.
- Puryono, Sri. 2016. *Mengelola Laut Untuk Kesejahteraan Rakyat*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.

- Rahmah, M., & Barizah, N. 2019. Penataan Dan Regulasi Pemerintah Atas Paten Obat Yang Berasal Dari Tanaman Lokal Rumput Laut. Boyolali : CV Markumi.
- Rozirwan. 2023. Bioteknologi Kelautan Dalam Perspektif Marine Bioprospecting. Purwokerto : CV Amerta Media.
- Safitri, A., Roosdiana, A., Prasetyawan, S., Srihardyastutie, A., Sutrisno., Putri, A. S., & Octaviany, T. D. 2021. Teknologi Mikroenkapsulasi Untuk Bahan Alam. Malang : Media Sutra Atiga.
- Swasta, I. B. J. 2018. Bioekologi Ekosistem Laut dan Estuaria. Depok : Rajawali Pers.
- utakatikotak.com. (7 DESEMBER 2019). 7 Klasifikasi Alga Dan Ciri-ciri Terlengkap. Diakses 28 Agustus 2023. <https://www.utakatikotak.com/7-Klasifikasi-Alga-dan-Ciri-cirinya-Terlengkap/kongkow/detail/16894>.
- Wafi, A., & Ariandi, H. 2020. Budidaya Rumput Laut Di Wilayah Pesisir. Indramayu : Adab.
- Zakiah, U., & Mulyanto. 2021. Produktivitas Primer Di Perairan Laut Terbuka Edisi I. Malang : UB Media.

BAB 3

SUMBER DAN SENYAWA TOKSIN YG DIHASILKAN FITOPLANKTON

Oleh Riki Ranova

3.1 Pendahuluan

3.1.1 Definisi Fitoplankton

Fitoplankton merupakan komponen plankton autotrofik dari istilah Yunani “phyton” yang berarti tumbuhan dan “planktos” yang berarti pengembara. Fitoplankton adalah kelompok mikroorganisme fotosintetik yang hidup di air. Fitoplankton, juga dikenal sebagai mikroalga, mirip dengan tumbuhan darat karena mengandung klorofil dan membutuhkan sinar matahari untuk hidup dan tumbuh. Kebanyakan fitoplankton bersifat mengapung di bagian atas laut di lapisan permukaan laut yang terang, tempat sinar matahari menembus air hingga kedalaman 200 meter di perairan yang sangat jernih (Brunet *et al.*, 2015)

Fitoplankton sebagian besar merupakan organisme fotosintetik mikroskopis bersel tunggal yang hidup di air. Seperti tumbuhan darat, fitoplankton memiliki klorofil untuk menangkap sinar matahari dan mereka menggunakan fotosintesis untuk mengubahnya menjadi energi kimia. Mereka menyerap karbon dioksida, membuat karbohidrat menggunakan energi cahaya, dan melepaskan oksigen. Semua fitoplankton berfotosintesis, namun ada pula yang memperoleh energi tambahan dengan

mengonsumsi organisme lain. Mereka dikenal sebagai produsen utama lautan dan merupakan organisme yang membentuk dasar pada rantai makanan.

Fitoplankton terdiri dari dua jenis organisme yang sangat berbeda. Kategori yang lebih besar mencakup alga bersel tunggal yang dikenal sebagai Protista yang merupakan sel eukariotik tingkat lanjut, mirip dengan protozoa. Jenis sel fitoplankton lainnya, yang lebih primitif namun jauh lebih melimpah dibandingkan alga, adalah bakteri fotosintetik. Sel-sel kecil ini, beberapa hanya berukuran mikron, tidak terlihat tetapi terdapat dalam jumlah ratusan ribu sel per sendok makan air laut. Terlalu kecil untuk ditangkap dalam jaring apa pun, organisme ini tidak diketahui hingga tahun 1970an, ketika kemajuan teknologi membuat mereka terlihat. Para ilmuwan sekarang mengetahui bahwa bakteri ini bertanggung jawab atas setengah dari produktivitas primer lautan dan merupakan organisme paling melimpah di laut. Kelompok ini juga mencakup cyanobacteria, yang diyakini sebagai salah satu organisme tertua di Bumi dan asal mula organel fotosintesis dalam sel tumbuhan yang dikenal sebagai kloroplas (Jhrondsen and Heimdal, 1993).

Fitoplankton memiliki ciri khas yaitu ukurannya yang sangat kecil, sehingga hanya bisa terlihat di bawah mikroskop. Mereka memainkan peran penting dalam rantai makanan laut karena menjadi sumber makanan bagi berbagai organisme laut, mulai dari hewan-hewan mikroskopis hingga ikan besar. Selain itu, fitoplankton juga memiliki kemampuan fotosintesis, yang berarti mereka mampu menghasilkan energi dari sinar matahari dan karbon dioksida untuk menghasilkan oksigen. Keberadaan fitoplankton sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan, seperti suhu air dan kadar nutrisi, sehingga menjadi indikator penting dalam menilai kesehatan ekosistem perairan. Berikut adalah ciri-ciri fitoplankton:

1. Mikroskopis: Fitoplankton tidak dapat dilihat dengan mata telanjang dan memerlukan mikroskop untuk pengamatan rinci. Sebagian besar fitoplankton merupakan organisme uniseluler dengan ukuran berkisar antara 0,4 dan 200 μm
2. Fotosintesis: Fitoplankton mampu melakukan fotosintesis, yaitu mengubah energi matahari menjadi energi kimia dengan menggunakan karbon dioksida dan air. Proses ini menghasilkan oksigen dan gula sederhana sebagai produk sampingan.
3. Habitat Air: Fitoplankton tersebar luas di seluruh dunia, dari laut terbuka hingga perairan dalam. Mereka dapat ditemukan di berbagai habitat air, termasuk perairan tawar, perairan payau, dan air laut.
4. Pigmen Fotosintetik: Fitoplankton mengandung berbagai pigmen fotosintetik seperti klorofil-a, klorofil-b, karotenoid, dan fikobiliprotein. Pigmen-pigmen ini memungkinkan mereka untuk menangkap energi matahari yang diperlukan untuk fotosintesis

Fitoplankton memainkan peran penting dalam ekosistem perairan dan berkontribusi secara signifikan terhadap keseimbangan lingkungan global. Memahami fitoplankton adalah kunci untuk menjaga kesehatan ekosistem perairan dan memastikan keberlanjutan sumber daya air bagi kehidupan di Bumi. Diantara peran fitoplankton dalam ekosistem adalah :

1. Menyediakan oksigen dan makanan dasar untuk organisme di perairan. Memahami fitoplankton membantu dalam manajemen sumber daya perairan dan pemantauan kesehatan ekosistem
2. Komponen Penting dari Rantai Makanan: Fitoplankton adalah produsen utama dalam ekosistem perairan. Mereka menyediakan makanan dasar bagi organisme herbivora dan

menjadi sumber energi untuk hampir semua bentuk kehidupan di lingkungan air.

3. Pigmen fitoplankton mempengaruhi kualitas air dan warna air, terutama selama bloom besar-besaran. Hal ini membantu memprediksi dan mengatasi masalah bloom fitoplankton beracun

3.1.2 Senyawa Toksin Fitoplankton

Toksin adalah senyawa kimia atau zat biologis yang dapat menyebabkan efek berbahaya atau merugikan pada organisme hidup. Senyawa toksin dapat dihasilkan oleh berbagai sumber seperti mikroorganisme, tumbuhan, hewan, dan bahkan beberapa senyawa kimia sintesis. Keberadaan senyawa toksin ini dapat memengaruhi lingkungan secara luas dan memiliki dampak yang bervariasi tergantung pada jenisnya. Beberapa toksin memiliki efek racun yang langsung terhadap organisme, sedangkan yang lain mungkin mempengaruhi proses biologis dalam tubuh atau bahkan beracun hanya dalam jumlah tertentu. Toksin seringkali dapat memicu respons yang merugikan, seperti reaksi alergi, keracunan makanan, atau bahkan efek jangka panjang pada kesehatan organisme hidup. Studi mendalam tentang senyawa toksin menjadi sangat penting untuk memahami cara kerja, dampaknya, dan bagaimana mengurangi risiko terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.

Berdasarkan sumbernya toksin dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Mikroorganisme : Beberapa bakteri, alga, dan jamur menghasilkan toksin sebagai bentuk pertahanan atau untuk mendapatkan keunggulan kompetitif. Contoh senyawa toksin ini adalah Botulinum dan Aflatoksin.

2. Tumbuhan : Beberapa bagian tumbuhan, seperti daun, biji, atau akar, dapat mengandung senyawa beracun. Contoh termasuk ricin dari biji tanaman jarak, dan solanin dari kentang hijau.
3. Hewan : Beberapa hewan, seperti ular, laba-laba, dan beberapa jenis kura-kura, dapat menghasilkan venom atau racun sebagai cara untuk memburu atau mempertahankan diri.
4. Senyawa Kimia Sintetis : Beberapa senyawa kimia yang dihasilkan oleh manusia, seperti pestisida, bahan kimia industri, atau bahan kimia rumah tangga tertentu, dapat bersifat toksik jika digunakan dengan tidak benar atau terpapar dalam jumlah berlebihan.

Peranan toksin dalam kehidupan organisme dan ekosistem sangat kompleks. Meskipun pada dasarnya toksin dianggap sebagai senyawa beracun, beberapa dari mereka memiliki peran yang penting dalam berbagai konteks biologis. Di alam, toksin dapat berfungsi sebagai alat pertahanan diri terhadap pemangsa, memberikan keunggulan kompetitif dalam persaingan lingkungan, atau bahkan sebagai agen pembunuh untuk memastikan sumber daya yang cukup bagi suatu spesies. Pada tingkat yang lebih mikro, bakteri menghasilkan toksin sebagai strategi untuk menyerang atau meniadakan bakteri pesaing dalam suatu lingkungan. Meski demikian, dalam konteks kesehatan manusia, keberadaan toksin mempunyai peran penting tersendiri sehingga perlu untuk dipelajari. (Lundholm and Moestrup, 2006) Berikut diantara pentingnya pemahaman terhadap toksin :

1. Kesehatan Manusia dan Hewan : Memahami jenis-jenis toksin dan sumbernya penting untuk melindungi kesehatan manusia dan hewan dari paparan yang berbahaya.

2. Keamanan Pangan : Pemahaman terhadap mikotoksin dan kontaminan lain dalam makanan penting untuk memastikan keamanan konsumsi pangan.
3. Keamanan Lingkungan : Memahami toksin dari sumber alam atau antropogenik membantu dalam melindungi lingkungan alam dari dampak negatif.
4. Pengembangan Obat dan Terapi : Pemahaman terhadap sifat-sifat toksin dapat membantu dalam pengembangan obat atau terapi baru.
5. Pengelolaan Krisis Kesehatan : Pemahaman tentang jenis-jenis toksin penting dalam penanganan situasi darurat seperti keracunan makanan atau paparan bahan beracun.
6. Pengembangan Bahan Kimia Aman : Bagi industri kimia, memahami sifat-sifat toksik dari senyawa-senyawa yang dihasilkan adalah kunci dalam pengembangan bahan kimia yang aman digunakan.

Toksisitas fitoplankton merujuk pada kemampuan beberapa jenis fitoplankton untuk menghasilkan toksin yang dapat membahayakan organisme lain dalam ekosistem perairan. Fenomena ini dikenal sebagai "bloom" toksik, di mana populasi fitoplankton yang toksik berkembang secara cepat dan mencapai tingkat yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem. Toksin yang dihasilkan oleh fitoplankton dapat meracuni ikan, mamalia laut, bahkan manusia melalui rantai makanan. Kejadian bloom toksik dapat menyebabkan keracunan makanan laut (seafood poisoning) atau menyebabkan kerusakan pada organisme laut lainnya, bahkan kematian (Lundholm and Moestrup, 2006).

Senyawa racun yang dihasilkan fitoplankton berpotensi menjadi sumber metabolit sekunder bioaktif paling baru. Beberapa penelitian terhadap senyawa ini menunjukkan aktivitas antioksidan, antikanker, antibakteri, antijamur, antivirus,

antidiabetik, antiinflamasi, dan aktivitas lain yang dapat digunakan dalam obat. Racun fitoplankton berbahaya bagi organisme lain dan berbahaya bagi hewan dan kesehatan manusia. Meskipun toksin fitoplankton dapat berbahaya bagi ekosistem perairan dan kesehatan manusia, beberapa organisme perairan tidak terpengaruh oleh toksin tersebut dan bahkan mungkin berkontribusi pada beberapa aplikasi biomedis. Senyawa ini mungkin efektif untuk dikembangkan sebagai agen farmakologi terapeutik untuk berbagai penyakit, termasuk dislipidemia, obesitas, kanker, diabetes, dan hipertensi. (Pradhan and Ki, 2022).

3.2 Klasifikasi Fitoplankton

Fitoplankton dapat dikelompokkan berdasarkan ciri morfologis mereka yang beragam. Salah satu pendekatan pengelompokan utama adalah berdasarkan struktur dan karakteristik sel. Fitoplankton dapat dibagi menjadi beberapa kelompok berdasarkan bentuk dan struktur sel mereka yaitu, Cyanobacteria, Diatom, Dinoflagellata, Green Algae dan Coccolithophore (Simon *et al.*, 2009)



Gambar 3. 1. Klasifikasi Fitoplankton

Sumber:

<https://earthobservatory.nasa.gov/features/Phytoplankton>

3.2.1 Algae hijau-biru (Cyanobacteria) : Mikroorganisme Fotosintetik yang Penting

Cyanobacteria, juga dikenal sebagai alga biru-hijau, adalah kelompok mikroorganisme fotosintetik yang memainkan peran penting dalam ekosistem akuatik dan lingkungan global. Meskipun disebut "alga", cyanobacteria sebenarnya merupakan bakteri fotosintetik yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan oksigen melalui fotosintesis. Cyanobacteria adalah kelompok mikroorganisme fotosintetik yang memiliki peran kunci dalam ekosistem perairan dan lingkungan global. Memahami karakteristik dan peran cyanobacteria penting untuk menjaga kesehatan ekosistem air dan melindungi kesehatan manusia serta hewan yang bergantung pada sumber daya air.

Ciri-ciri umum Cyanobacteria:

1. **Struktur Sel:** Cyanobacteria adalah organisme uniselular atau dapat membentuk koloni sel. Mereka memiliki dinding sel yang kuat dan sering kali memiliki bentuk sel yang beragam.
2. **Fotosintesis:** Cyanobacteria mampu melakukan fotosintesis dengan menggunakan pigmen fotosintetik seperti klorofil-a, bersama dengan pigmen tambahan seperti fikobiliprotein (fikosianin dan fikoeritrin).
3. **Habitat :** Cyanobacteria dapat ditemukan di berbagai lingkungan air, termasuk perairan tawar, perairan payau, dan air laut. Mereka dapat hidup di air yang memiliki ketersediaan nutrisi yang beragam.
4. **Bentuk Hidup:** Beberapa cyanobacteria mampu menghasilkan sel-sel berbentuk filamen yang membentuk struktur mirip benang. Ada juga yang hidup secara soliter atau membentuk koloni.

5. **Produksi Oksigen:** Melalui fotosintesis, cyanobacteria merupakan produsen utama oksigen di lingkungan air dan berkontribusi secara signifikan terhadap kadar oksigen di atmosfer Bumi.

3.2.2 Diatom : Fitoplankton Unik dengan Dinding Sel Kaca

Diatom adalah kelompok besar fitoplankton yang terdiri dari berbagai jenis alga uniselular dengan karakteristik dinding sel yang khas terbuat dari silika. Mereka adalah produsen utama di lingkungan akuatik dan memainkan peran penting dalam siklus biogeokimia serta menjadi subjek penelitian ilmiah yang menarik. Memahami karakteristik dan peran diatom adalah kunci untuk menjaga kesehatan ekosistem air dan lingkungan secara keseluruhan.

Ciri-ciri umum Diatom:

1. **Struktur Sel:** Diatom memiliki dinding sel yang terbuat dari silika, membentuk pola simetris yang indah dan rumit. Struktur dinding sel inilah yang memberi diatom penampilan seperti "dinding kaca".
2. **Habitat:** Diatom dapat ditemukan di berbagai habitat air, termasuk perairan tawar, perairan payau, dan laut. Mereka tersebar luas di seluruh dunia, dari air hingga tanah lembab.
3. **Fotosintesis:** Seperti fitoplankton lainnya, diatom melakukan fotosintesis dengan menggunakan pigmen fotosintetik seperti klorofil-a dan klorofil-c.
4. **Reproduksi:** Diatom dapat bereproduksi secara asexual melalui pembelahan sel atau secara seksual melalui pembuahan sel. Proses reproduksi seksual diatom melibatkan penggabungan sel-sel yang berbeda jenis kelamin.

3.2.3. Dinoflagellata : Fitoplankton Berflagela

Dinoflagellata adalah kelompok mikroorganisme fitoplankton yang memiliki flagela dan memainkan peran penting dalam ekosistem perairan. Mereka dapat ditemukan di berbagai habitat air, termasuk air tawar, payau, dan laut. Beberapa jenis dinoflagellata dapat menghasilkan toksin yang dapat berdampak pada hewan dan manusia yang mengonsumsinya. Ini dikenal sebagai fenomena "Red Tide" atau "Bloom Beracun."

Ciri-ciri umum Dinoflagellata:

1. **Flagela** : Dinoflagellata memiliki dua flagela yang memungkinkan mereka untuk bergerak di air. Satu flagela terletak di sepanjang sel, dan yang lain membungkus sekitar sel dalam alur khusus.
2. **Struktur Sel** : Struktur sel dinoflagellata beragam. Beberapa memiliki dinding sel yang kuat, sementara yang lain tidak memiliki dinding sel dan dapat berubah bentuk.
3. **Fotosintesis** : Banyak dinoflagellata adalah organisme fotosintetik yang menggunakan pigmen fotosintetik seperti klorofil-a, klorofil-c, dan pigmen tambahan seperti karotenoid.
4. **Habitat** : Dinoflagellata tersebar luas di berbagai lingkungan air, termasuk air tawar, perairan payau, dan laut. Beberapa spesies dapat hidup dalam kondisi ekstrem seperti air beracun atau air yang memiliki salinitas tinggi.

3.2.4. *Green Algae* : Fitoplankton Multiseluler dengan Keanekaragaman Luar Biasa

Fitoplankton green algae merupakan kelompok fitoplankton fotosintetik yang meliputi sejumlah besar alga bersel tunggal atau bersel banyak yang mengandung klorofil. Mikroorganisme ini mengapung di air dan menjadi salah satu

komponen utama dalam rantai makanan akuatik. Kelompok Green Algae merupakan salah satu bagian penting dari fitoplankton yang hadir dalam beragam habitat perairan, mulai dari air tawar hingga laut.

Ciri-ciri umum *Green Algae*:

1. **Klorofil dan Fotosintesis:** Seperti tumbuhan darat, green algae memiliki pigmen klorofil yang memberikan warna hijau pada sel-sel mereka. Proses fotosintesis yang dilakukan oleh green algae memungkinkan mereka untuk menghasilkan energi dari cahaya matahari, serta mengubah karbon dioksida menjadi oksigen.
2. **Keanekaragaman Morfologis:** Kelompok Green Algae mencakup berbagai bentuk morfologis, mulai dari organisme uniselular yang sederhana seperti *Chlamydomonas* hingga organisme bersel banyak yang lebih kompleks seperti spesies dari genus *Ulva*.
3. **Peran dalam Rantai Makanan:** Green algae merupakan sumber makanan bagi organisme lain dalam ekosistem perairan, seperti zooplankton, larva ikan, dan organisme filtrator lainnya.
4. **Kontribusi pada Siklus Nutrien:** Sebagai bagian dari fitoplankton, green algae juga memainkan peran penting dalam siklus nutrien perairan, seperti siklus karbon dan nitrogen.

3.2.5. Coccolithophores Fitoplankton dengan Cangkang Kalsium Karbonat

Coccolithophores adalah kelompok fitoplankton uniselular yang memiliki cangkang kecil terbuat dari piringan-piringan kalsium karbonat yang disebut coccoliths. Coccolithophores merupakan sumber makanan bagi berbagai organisme akuatik,

termasuk hewan zooplankton. Mereka memainkan peran penting dalam ekosistem laut dan mempengaruhi siklus karbon global. Mereka umumnya ditemukan di perairan laut, terutama di daerah lautan yang kaya nutrisi seperti perairan lepas pantai atau wilayah upwelling. Beberapa spesies coccolithophores memiliki adaptasi khusus yang memungkinkan mereka untuk bertahan dalam kondisi lingkungan yang berubah-ubah.

Ciri-ciri umum Coccolithophores:

1. **Cangkang Kalsium Karbonat:** Coccolithophores membentuk cangkang-cangkang kecil yang disebut coccoliths. Coccoliths ini memiliki berbagai ukuran dan bentuk, mulai dari yang sederhana hingga yang sangat kompleks dan memiliki pola-pola yang teratur.
2. **Ukuran yang Beragam:** Organisme ini bervariasi dalam ukuran, dengan beberapa jenis coccolithophores hanya berukuran beberapa mikrometer.
3. **Fotosintesis:** Seperti fitoplankton lainnya, coccolithophores melakukan fotosintesis menggunakan pigmen fotosintetik seperti klorofil, sehingga mereka membutuhkan cahaya matahari untuk mendukung pertumbuhan dan kelangsungan hidup mereka.
4. **Peran Ekologis:** Meskipun ukurannya kecil, coccolithophores memainkan peran penting dalam siklus karbon laut, karena ketika mereka mati, coccoliths yang mereka hasilkan dapat turun ke dasar laut dan berkontribusi pada formasi sedimen kapur.
5. **Pentingnya dalam Rantai Makanan:** Coccolithophores merupakan sumber makanan bagi organisme laut yang lebih besar seperti zooplankton, ikan kecil, dan sebagainya, sehingga mereka memiliki dampak yang signifikan pada rantai makanan laut.

3.3 Sumber Toksin dalam Fitoplankton

Meskipun sebagian besar fitoplankton menjadi sumber makanan bagi organisme lain di dalam air, beberapa jenis fitoplankton juga memiliki kemampuan untuk menghasilkan toksin berbahaya. Pertumbuhan fitoplankton yang berlebihan dapat terjadi dan menyebabkan "bloom" fitoplankton. Beberapa di antara bloom tersebut dapat menghasilkan toksin yang dapat menjadi berbahaya bagi organisme lain di lingkungan perairan, termasuk ikan, mamalia laut, bahkan manusia jika mengonsumsi ikan atau biota laut yang terkontaminasi oleh toksin tersebut (Beasley, 2020)

3.3.1 Toksin yang dihasilkan Cyanobacteria

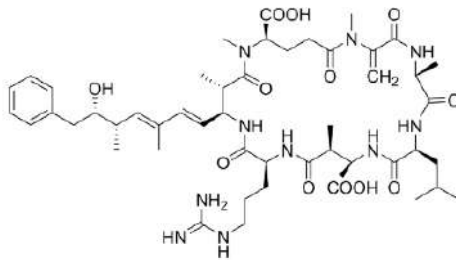
Cyanobacteria, atau alga biru-hijau, terkenal karena kemampuannya dalam memproduksi senyawa-senyawa toksin yang dapat memiliki dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia. Berikut beberapa senyawa toksin yang dihasilkan kelompok ini (Yunes, 2018)

1. Microcystin dan Nodularin

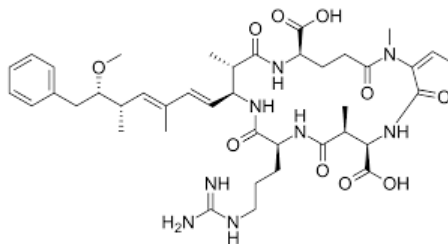
Merupakan salah satu jenis cyanotoxin yang paling umum. Senyawa ini dapat menyebabkan kerusakan pada hati dan lambung jika tertelan atau terhirup. Microcystins mempunyai struktur heptapeptida (tujuh asam amino) dan nodularin adalah pentapeptida (lima asam amino). Senyawa **Microcystin** dihasilkan dari beberapa spesies Cyanobacteria, seperti *Microcystis aeruginosa*.

Pada manusia keracunan mikrosistin, pernah terjadi gangguan liver, sakit kepala, gangguan penglihatan, mual, muntah, dan kelemahan otot. Nodularins mirip dengan microcystins dan dapat memiliki efek serupa. Cyanotoxin ini dapat menyebabkan kerusakan hati dan ginjal jika terhirup

atau tertelan. Nodularin diketahui diproduksi oleh species *Nodularia spumigena*.



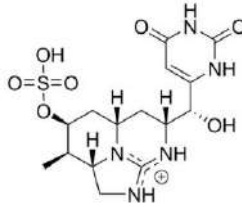
Gambar 3. 2. Mikrosistin



Gambar 3. 3. Nodularin

2. **Cylindrospermopsin**

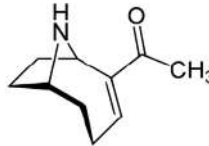
Merupakan cyanotoxin yang dapat menyebabkan kerusakan pada hati, ginjal, dan dapat mengganggu sistem pencernaan. Jika terhirup atau tertelan, dapat menyebabkan gejala seperti mual, muntah, diare, dan bahkan gagal ginjal. Senyawa ini dihasilkan Cyanobacteria seperti *Cylindrospermopsis raciborskii*.



Gambar 3. 4. Cylindrospermopsin

3. Anatoxin-a

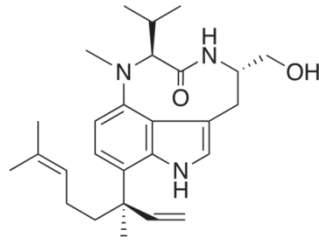
Ini adalah neurotoksin yang dapat mempengaruhi sistem saraf dan dapat menyebabkan masalah pernapasan jika terhirup atau tertelan. Anatoxin-a dapat menyebabkan paralisis dan kematian pada hewan. Dihasilkan oleh beberapa spesies cyanobacteria, terutama *Anabaena sp*



Gambar 3. 5. Anatoxin-a

4. Lyngbyatoxins

Merupakan kelompok cyanotoxin yang dapat menyebabkan kerusakan hati dan dapat menyebabkan sindrom yang dikenal sebagai "Lyngbya Stings" jika kontak langsung dengan kulit. Diproduksi oleh Cyanobacteria dari genus Lyngbya seperti *Lyngbya majuscula*



Gambar 3. 6. Lyngbyatoxins

3.3.2 Toksin yang dihasilkan Cyanobacteria dan Dinoflagellata

1. Saxitoxins

Awalnya ditemukan di dinoflagellata, tetapi juga dapat dihasilkan oleh beberapa jenis Cyanobacteria. Saxitoxins merupakan neurotoksin yang menyebabkan keracunan paralitik. Paparan pada manusia melalui makanan laut yang terkontaminasi dapat mengakibatkan gejala seperti kesulitan bernapas, paralisis, dan dalam kasus ekstrem, kematian. Senyawa ini diproduksi oleh beberapa spesies Cyanobacteria seperti *Anabaena circinalis* dan Dinoflagellata seperti *Alexandrium affine*.



Gambar 3. 7. Saxitoxins

3.3.3 Toksin yang dihasilkan Dinoflagellata

Dinoflagellata memiliki dua flagela yang memungkinkan mereka untuk bergerak di air. Beberapa jenis dinoflagellata menghasilkan toksin dan dapat membentuk bloom beracun. Toksinitas dari Dinoflagellata menjadi perhatian utama dalam kesehatan manusia dan kelestarian lingkungan, terutama karena dampaknya pada sumber daya laut dan makanan laut yang dikonsumsi oleh manusia. Penelitian lebih lanjut terus dilakukan untuk memahami toksinitas ini

1. Okadaic Acid (OA) dan dinophysistoxins (DTXs)

Okadaic acid dapat menyebabkan keracunan makanan jika terakumulasi dalam kerang atau moluska yang dikonsumsi manusia. Gejalanya termasuk diare, mual, dan sakit perut. Sindrom ini disebut juga dengan keracunan kerang diare. Ada juga kekhawatiran bahwa asam okadaat mungkin bersifat neurotoksik, imunotoksik, dan embriotoksik juga. Selain itu, asam okadaat merupakan promotor tumor, dan promotor tumor meningkatkan risiko berbagai bentuk kanker. Senyawa ini diproduksi oleh beberapa spesies Dinoflagellata, terutama dari genus *Prorocentrum* dan *Dinophysis*

2. Ciguatoxins and Brevetoxins

Ciguatoxins dan brevetoxins memiliki struktural dan kerja yang serupa. Senyawa ini dapat larut dalam lemak dan mudah melewati sawar darah otak sehingga mempengaruhi fungsi otak dan bagian perifer (bagian tubuh lainnya). Ciguatoxins disintesis oleh dinoflagellata dari genera, *Gambierdiscus* dan *Fukuyoa*. Produsen ciguatoxin yang paling terkenal adalah *Gambierdiscus toxicus*. Keracunan ciguatoxin terkenal karena dampaknya terhadap manusia. Sindrom ini terutama disebabkan oleh konsumsi ikan predator, seperti barakuda, kakap, kerapu, jack, atau spesies lainnya.

Produsen brevetoxin yang paling banyak dipelajari adalah *Karenia brevis*. K. Manusia yang mengalami keracunan ciguatera dan keracunan kerang neurotoksik sering mengalami mati rasa dan kesemutan (paresthesia), gatal-gatal, pembalikan sensasi panas-dingin, vertigo (pusing), ataksia (kehilangan keseimbangan, inkoordinasi), mialgia (nyeri pada otot rangka), kram perut, muntah, diare, sakit kepala, bradikardia (denyut jantung lambat), midriasis (pupil melebar), dan gangguan pernapasan. Halusinasi juga dapat terjadi. Pada beberapa pasien, efek neurologis bertahan selama beberapa bulan.

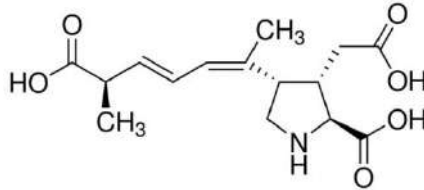
3.3.4 Toksin yang dihasilkan Diatom

Umumnya, diatom tidak menghasilkan toksin dalam jumlah yang signifikan seperti cyanobacteria. Namun, ada beberapa diskusi tentang kemungkinan diatom menghasilkan senyawa yang dapat memiliki dampak toksik dari turunan lemak dan asam lemak atau memiliki efek yang merugikan pada lingkungan dan organisme (Parrish *et al.*, 1991). Beberapa senyawa yang dihasilkan oleh diatom atau ditemukan pada diatom telah menjadi perhatian ilmiah, meskipun penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami dampak dan kelangsungan hidup dari senyawa-senyawa ini. Berikut beberapa senyawa yang terkait dengan diatom (Villac, Doucette and Kaczmarek, 2010)

1. Asam Domoat

Asam domoat merupakan asam amino yang merupakan racun saraf yang kuat. Pada manusia dan primata, paparan oral terhadap beberapa miligram per kilogram akan menimbulkan efek gastrointestinal, sedangkan dosis yang sedikit lebih tinggi menyebabkan gejala neurologis, kejang, gangguan memori, dan degenerasi

sistem limbik. Senyawa ini ditemukan pada Diatom jenis *Pseudo-nitzschia*



Gambar 3. 8. Asam Domoat

2. Polyunsaturated aldehydes (PUAs) (Pepi *et al.*, 2017)

Diatom memproduksi dan melepaskan aldehida tak jenuh ganda (PUA) akhir pertumbuhan di alam. PUA yang diuji 4 kali lebih beracun daripada n-alkanol. Senyawa ini dihasilkan dari degradasi asam lemak pada saat kerusakan sel, mempengaruhi reproduksi Kopepoda melalui gangguan pada keturunannya, sebagai teratogen. Gugus aldehida diduga mengganggu protein melalui pembentukan basa Schiff, dan oleh karena itu, PUA bertindak sebagai racun yang sangat toksik dan efektif, mungkin terakumulasi dalam membran sitoplasma karena hidrofobisitasnya yang tinggi. Senyawa ini dihasilkan dari beberapa jenis diatom seperti *Skeletonema marinoi* dan *Chaetoceros socialis*

3.3.5 Green Algae

Banyak dari alga hijau ini adalah organisme air tawar, meskipun beberapa dapat ditemukan di lingkungan air laut. Sebagian besar alga hijau tidak menghasilkan toksin, tetapi beberapa jenis alga hijau yang tumbuh di permukaan air dilaporkan memberikan reaksi alergi terhadap manusia (Hofbauer, 2021)

3.4 Efek Toksin Fitoplankton pada Lingkungan dan Kesehatan Manusia

3.4.1 Ekologi

Pertumbuhan fitoplankton yang berbahaya telah menjadi perhatian ilmiah dan masyarakat sejak dulu. Banyaknya dinoflagellata beracun diketahui kadang-kadang mengubah warna air menjadi merah atau merah kecoklatan, maka hal ini sampai sekarang masih dikenal sebagai “gelombang merah”. Fitoplankton yang menghasilkan toksin, terutama dari kelompok seperti cyanobacteria, dinoflagellata, dan beberapa diatom, dapat memiliki dampak yang signifikan pada organisme laut dan ekosistem perairan. Racun ini dapat menyebabkan kematian langsung pada organisme laut jika terpapar dalam jumlah yang tinggi. Beberapa toksin fitoplankton diketahui memiliki dampak negatif pada sistem reproduksi organisme laut, bisa mengganggu siklus reproduksi dan pertumbuhan populasi. Toksin fitoplankton dapat mempengaruhi rantai makanan di ekosistem perairan. Misalnya, jika organisme herbivora memakan fitoplankton yang terkontaminasi, toksin dapat terakumulasi dalam tubuhnya dan bergerak melalui rantai makanan.

Tingginya pertumbuhan fitoplankton berbahaya dapat menyebabkan kerugian ekonomi bagi industri perikanan atau pariwisata dimana hal ini dapat mengubah struktur dan fungsi ekosistem perairan, termasuk berpotensi menyebabkan penurunan keanekaragaman hayati dan mempengaruhi keseimbangan ekosistem secara keseluruhan. Senyawa racun juga dapat mengancam kesehatan manusia jika ikan atau hewan laut yang terinfeksi dikonsumsi.

Penting untuk dipahami bahwa dampak toksin fitoplankton pada organisme laut bervariasi tergantung pada jenis toksin, tingkat paparan, dan jenis organisme yang terkena dampak.

Monitoring dan pemahaman yang mendalam terhadap dinamika ekosistem perairan sangat penting untuk mengurangi dampak negatif toksisitas fitoplankton pada lingkungan laut dan keberlanjutan ekosistem.

3.4.2 Kesehatan Manusia

Toksin fitoplankton dalam air dan makanan laut dapat memiliki dampak serius pada kesehatan manusia jika terpapar dalam jumlah yang signifikan. Berbagai toksin yang dihasilkan oleh fitoplankton, seperti saxitoxins, microcystins, okadaic acid, dan ciguatoxins, dapat terakumulasi dalam organisme laut dan memasuki rantai makanan, menyebabkan dampak pada kesehatan manusia jika konsumsi makanan laut yang terkontaminasi. Berikut adalah beberapa dampak utama dari toksin fitoplankton pada manusia:

1. Saxitoxins (PSP): Menyebabkan keracunan paralitik yang bisa berujung pada kelemahan otot, kesulitan bernapas, dan dalam kasus ekstrem, kematian.
2. Okadaic Acid (DSP): Menyebabkan keracunan diare, mual, dan sakit perut.
3. Ciguatoxins: Menyebabkan sindrom keracunan yang dapat menghasilkan gejala seperti kesemutan, nyeri otot, dan gangguan pada sistem saraf.

4. Iritasi Kulit dan Saluran Pernapasan

Toksin seperti palytoxin dari alga tertentu dapat menyebabkan iritasi pada kulit jika terkena langsung atau menyebabkan masalah pernapasan jika terhirup dalam bentuk aerosol.

5. Ancaman pada Kehamilan

Beberapa toksin, seperti ciguatoxins, diduga bisa menjadi ancaman serius bagi wanita hamil karena dapat mempengaruhi perkembangan janin.

6. Ancaman pada Sistem Kesehatan Publik

Toksin fitoplankton dapat menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan dalam industri perikanan dan pariwisata, serta mengancam kesehatan publik jika menyebabkan larangan atau pembatasan konsumsi makanan laut.

7. Ancaman Terhadap Sumber Makanan

Toksin yang terakumulasi dalam ikan atau makanan laut lainnya dapat mempengaruhi sumber makanan yang penting, menyebabkan kerugian ekonomi dan ancaman pada keberlanjutan sumber daya laut.

Dalam situasi tertentu, bloom fitoplankton yang terkontaminasi toksin dapat menciptakan ancaman serius bagi kesehatan manusia, terutama bagi komunitas yang bergantung pada hasil laut sebagai sumber makanan utama. Oleh karena itu, pemantauan yang ketat, pengujian rutin, edukasi masyarakat, dan kebijakan pencegahan yang tepat sangatlah penting untuk meminimalkan dampak negatif dari toksin fitoplankton terhadap kesehatan manusia.

Penting untuk melaksanakan pemantauan yang ketat terhadap tingkat toksin dalam air dan makanan laut serta menyediakan informasi yang jelas kepada masyarakat tentang risiko dan langkah-langkah pencegahan. Langkah-langkah seperti larangan memancing di lokasi yang terkena bloom fitoplankton, serta pemeriksaan dan pengujian rutin pada makanan laut, penting untuk melindungi kesehatan manusia dari dampak negatif toksin fitoplankton.

DAFTAR PUSTAKA

- Beasley, V.R. (2020) *Harmful Algal Blooms (Phycotoxins)*. 2nd edn, *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. 2nd edn. Elsevier Inc. Available at: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.11275-8>.
- Brunet, C. *et al.* (2015) 'Phytoplankton Pigments', *Phytoplankton Pigments: Characterization, Chemotaxonomy and Applications in Oceanography*, 1, pp. 445–471.
- Hofbauer, W.K. (2021) 'Toxic or otherwise harmful algae and the built environment', *Toxins*, 13(7). Available at: <https://doi.org/10.3390/toxins13070465>.
- Jhrondsen, J. and Heimdal, B. (1993) *Marine Phytoplankton. A Guide to Naked Flagellates*. California: Academic Press.
- Lundholm, N. and Moestrup, Ø. (2006) *Ecology of Harmful Algae, Ecology of harmful algae*.
- Parrish, C.C. *et al.* (1991) 'Lipid composition of the toxic marine diatom, *Nitzschia pungens*', *Phytochemistry*, 30(1), pp. 113–116. Available at: [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(91\)84109-6](https://doi.org/10.1016/0031-9422(91)84109-6).
- Pepi, M. *et al.* (2017) 'Toxicity of diatom polyunsaturated aldehydes to marine bacterial isolates reveals their mode of action', *Chemosphere*, 177, pp. 258–265. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.031>.
- Pradhan, B. and Ki, J.S. (2022) 'Phytoplankton Toxins and Their Potential Therapeutic Applications: A Journey toward the Quest for Potent Pharmaceuticals', *Marine Drugs*, 20(4). Available at: <https://doi.org/10.3390/md20040271>.
- Simon, N. *et al.* (2009) 'Diversity and evolution of marine phytoplankton', *Comptes Rendus - Biologies*, 332(2–3), pp. 159–170. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.09.009>.

- Villac, M.C., Doucette, G.J. and Kaczmarska, I. (2010) 'Toxic marine diatoms', *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences, Second Edition*, pp. 540–551. Available at: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511763175.031>.
- Yunes, J.S. (2018) *Cyanobacterial Toxins, Cyanobacteria: From Basic Science to Applications*. Elsevier Inc. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814667-5.00022-2>.

BAB 4

SUMBER DAN KEGUNAAN SENYAWA YANG DIHASILKAN DARI LAMUN

Oleh Delladari Mayefis

4.1 Pendahuluan

Sejak sepuluh tahun terakhir, pengkajian bidang bahan alam laut (*marine natural product*) mulai dilakukan di Indonesia (Haris dan Werorilangi, 2009). Karang, sponge, alga dan lamun merupakan organisme laut yang sering menjadi bahan penelitian untuk menemukan bahan baku obat baru. Namun diantara organisme tersebut, lamun masih tergolong baru dalam pengembangan bahan baku obat baru ini.



Gambar 4. 1. Lamun

Lamun merupakan kelompok tumbuhan berbiji tertutup (*angiospermae*) dan berkeping tunggal (monokotil) yang mampu hidup secara permanen di bawah permukaan air laut. Oleh karena

lamun hidup menetap secara permanen di bawah permukaan air laut, maka lamun tergolong organisme benthik, dimana organisme ini diketahui memproduksi senyawa metabolit sekunder untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya dari gangguan eksternal baik dari segi fisikokimia maupun biologis.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa lamun memiliki kandungan senyawa yang dikenal berpotensi sebagai antikanker (Ren et al., 2003), antioksidan (Winarsi, 2007), dan antibakteri (Jouvenaz et al., 1972; Proksch et al., 2002; Soetan et al., 2006; El-Haddy et al., 2007).

Penelitian mengenai potensi antioksidan dan antibakteri telah banyak dilakukan. Untuk penelitian akan potensi beberapa lamun sebagai antikanker, telah dilakukan beberapa penelitian dan dinyatakan berpotensi sitotoksik akut atau potensial sebagai bahan baku antikanker baru pada beberapa tempat di Indonesia (Riniatsih, 2009; Rumiantin, 2010; Dewi, 2010).

Tumbuhan lamun atau biasa disebut *seagrass* adalah tumbuhan yang hidup dan tumbuh di bawah permukaan laut dangkal (Permana, Amir, & Siti, 2016). Faktor-faktor yang mempengaruhi distribusi lamun di perairan antara lain, cahaya, suhu, salinitas, sedimen, dan nutrisi (Dewi, Bakti, & Farida, 2016). Lamun atau *seagrass* mempunyai bunga, buah, daun dan akar sejati serta tumbuh pada substrat berlumpur, berpasir sampai berbatu (Sjafrie et al., 2018). Itulah mengapa lamun dikategorikan ke dalam tumbuhan tingkat tinggi layaknya tumbuhan yang berada di daratan.

Organisme laut, termasuk lamun, merupakan sumber senyawa aktif biologis yang berharga untuk pengobatan penyakit manusia. Lamun merupakan salah satu tumbuhan berbunga laut sejati yang termasuk dalam kelompok angiospermae yang memiliki 72 spesies di seluruh dunia yang terbagi dalam empat

famili (Zosteraceae, Hydrocharitaceae, Posidoniaceae, dan Cymodoceaceae). Lamun merupakan organisme eukariotik yang ditemukan di perairan dangkal perairan beriklim sedang, subtropis, dan tropis, kecuali di wilayah kutub.

Padang lamun adalah ditemukan di wilayah pesisir dangkal di seluruh dunia, dengan sebaran berkisar pada kedalaman 50–90 m. Padang lamun dapat menyimpan karbon, meningkatkan kualitas air, menyediakan makanan dan habitat, serta berperan sebagai indikator biologis. Lamun diketahui menghasilkan berbagai macam metabolit sekunder yang bertindak sebagai mekanisme pertahanan dalam kondisi stres. Metabolit aktif tersebut, seperti polifenol, terpenoid, dan senyawa halogenasi, dihasilkan oleh beberapa spesies lamun yang dilaporkan mempunyai sifat antikanker (antitumor), antijamur, antiinflamasi, antimikroba, antivirus, antidiabetik, antimalaria, antioksidan, anti penuaan, dan sifat sitotoksik. Spesies ini juga efektif dalam pencegahan penyakit manusia.

Lamun telah digunakan dalam pengobatan tradisional untuk berbagai tujuan pengobatan, seperti pengobatan demam, masalah perut, nyeri otot, luka, dan penyakit kulit; mereka juga digunakan sebagai obat untuk sengatan berbagai jenis sinar dan sebagai obat penenang untuk bayi. Selain aktivitas farmakologisnya, lamun telah dimanfaatkan untuk membuat keranjang, dibakar untuk menghasilkan garam, bahan pengisi kasur, atap jerami, pupuk, bahan kertas untuk mengangkut barang-barang rapuh, dan nitroselulosa, dan kegunaan lainnya.

4.2 Tinjauan Umum Lamun

Lamun (*seagrass*) merupakan kelompok tumbuhan berbiji tertutup (*Angiospermae*) dan berkeping tunggal (Monokotil) yang mampu hidup secara permanen di bawah permukaan air laut. Lamun merupakan satu-satunya tumbuhan berbunga (*Angiospermae*) yang memiliki rhizoma, daun, dan akar sejati yang hidup terendam di dalam laut beradaptasi secara penuh di perairan yang salinitasnya cukup tinggi atau hidup terbenam di dalam air, beberapa ahli juga mendefinisikan lamun sebagai tumbuhan air berbunga, hidup di dalam air laut, berpembuluh, berdaun, berimpang, berakar, serta berbiak dengan biji dan tunas (Fitriana, 2007).

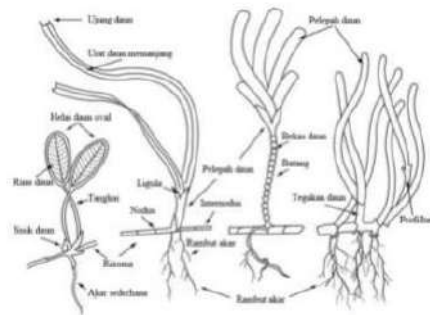
Lamun memiliki sistem perakaran yang nyata, dedaunan, sistem transportasi internal untuk gas dan nutrient, serta stomata yang berfungsi dalam pertukaran gas. Akar pada tumbuhan lamun tidak berfungsi penting dalam pengambilan air karena daun dapat menyerap nutrient secara langsung dari dalam air laut.

Lamun dapat menyerap nutrient dan melakukan fiksasi nitrogen melalui tudung akar. Kemudian untuk menjaga agar tetap mengapung didalam kolom air, tumbuhan ini dilengkapi oleh ruang udara (Dahuri, 2003). Dalam ekosistem lamun, rantai makanan tersusun dari tingkat-tingkat trofik yang mencakup proses dan pengangkutan detritus organik dari ekosistem lamun ke konsumen yang agak rumit. Sumber bahan organik berasal dari produk lamun itu sendiri, di samping tambahan dari epifit dan alga makrobentos, fitoplankton dan tanaman darat. Zat organik dimakan fauna melalui perumputan (*grazing*) atau pemanfaatan detritus (Romimohtarto dan Juwana, 2009). Karena pola hidup lamun sering berupa hamparan maka dikenal juga istilah padang lamun (*Seagrass bed*) yaitu hamparan vegetasi

lamun yang menutup suatu area pesisir/laut dangkal, terbentuk dari satu jenis atau lebih dengan kerapatan padat atau jarang.

Lamun umumnya membentuk padang lamun yang luas di dasar laut yang masih dapat dijangkau oleh cahaya matahari yang memadai bagi pertumbuhannya. Lamun hidup di perairan yang dangkal dan jernih, dengan sirkulasi air yang baik. Air yang bersirkulasi diperlukan untuk menghantarkan zat-zat hara dan oksigen, serta mengangkut hasil metabolisme lamun ke luar daerah padang lamun (Hartog, 1970).

Lamun termasuk dalam Subkelas *Monocotyledonae* dan merupakan tumbuhan berbunga (kelas *Angiospermae*).



Gambar 2.1 Morfologi umum lamun
Sumber: (Mckenzie & Yoshida, 2009)

Gambar 4. 2. Morfologi Umum Lamun

Secara lengkap klasifikasi beberapa jenis lamun yang terdapat di perairan pantai Indonesia menurut Philips dan Menez (1988) adalah sebagai berikut :

Division : Anthophyta
Class : Angiospermae
Subclass : Monocotyledonae
Order : Helobiae

Family : Hydrocharitaceae
 Genus : Enhalus
 Species : Enhalus acoroides
 Genus : Halophila
 Species : *Halophila decipiens*
 Halophila ovalis
 Halophila minor
 Halophila spinulosa
 Genus : Thalasia
 Species : *Thalasia hemprichii*
 Family : Cymodoceaceae
 Genus : Cymodocea
 Species : *Cymodocea rotundata*
 Cymodocea serrulata
 Genus : Halodule
 Species : *Halodule pinifolia*
 Halodule uninervis
 Genus : Syringodium
 Species : *Syringodium isoetifolium*
 Genus : Thalassodendron
 Species : *Thalassodendron ciliatum*

4.3 Morfologi dan Anatomi

Kuo dan Hartog dalam Larkum et al. (1989) menjelaskan bahwa morfologi lamun seperti tumbuhan pada umumnya yang memiliki daun, batang dan rhizoma, serta akar. Secara umum lamun memiliki bentuk luar yang sama, dan yang membedakan antar spesies adalah keanekaragaman bentuk organ sistem vegetatif. Lamun juga memiliki struktur dan fungsi yang sama dengan tumbuhan darat yaitu rumput. Berbeda dengan rumput laut (*marine alga/seaweeds*), lamun memiliki akar sejati, daun, pembuluh internal yang merupakan sistem yang menyalurkan nutrisi, air, dan gas. Berdasarkan genangan air dan kedalaman, sebaran lamun secara vertikal dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu (Kiswara dalam (Suherman, 2011):

- a. Jenis lamun yang tumbuh di daerah dangkal dan selalu terbuka saat air surut yang mencapai kedalaman kurang dari 1 m saat surut terendah. Contoh: *Halodule pinifolia*, *Halodule uninervis*, *Halophila minor/ovata*, *Halophila ovalis*, *Thalassia hemprichii*, *Cymodocea rotundata*, *Cymodocea serrulata*, *Syringodium isotifolium* dan *Enhalus acoroides*.
- b. Jenis lamun yang tumbuh di daerah kedalaman sedang atau daerah pasang surut dengan kedalaman perairan berkisar antara 1 – 5 m. Contoh: *Halodule uninervis*, *Halophila ovalis*, *Thalassia hemprichii*, *Cymodocea rotundata*, *Cymodocea serrulata*, *Syringodium isotifolium*, *Enhalus acoroides* dan *Thalassodendron ciliatum*.
- c. Jenis lamun yang tumbuh pada perairan dalam dengan kedalaman mulai 5 – 35 m. Contoh: *Halophila ovalis*, *Halophila decipiens*, *Halophila spinulosa*, *Thalassia hemprichii*, *Syringodium isotifolium* dan

Thalassodendron ciliatum.

4.4 Distribusi Lamun di Indonesia

Di seluruh dunia diperkirakan terdapat sebanyak 52 jenis lamun, di mana di Indonesia ditemukan sekitar 15 jenis yang termasuk ke dalam 2 famili: (1) Hydrocharitaceae, dan (2) Potamogetonaceae.

Jenis yang membentuk komunitas padang lamun tunggal, antara lain: *Thalassia hemprichii*, *Enhalus acoroides*, *Halophila ovalis*, *Cymodocea serrulata*, dan *Thalassodendron ciliatum*. Padang lamun merupakan ekosistem yang tinggi produktivitas organiknya, dengan keanekaragaman biota yang juga cukup tinggi (Hartog, 1970). Pada ekosistem ini hidup beraneka ragam biota laut seperti ikan, krustasea, moluska (*Pinna* sp., *Lambis* sp., *Strombus* sp.), Ekinodermata (*Holothuria* sp., *Synapta* sp., *Diadema* sp., *Archaster* sp., *Linckia* sp.), dan cacing Polikaeta (Bengen, 2001).

Di Indonesia ditemukan jumlah jenis lamun yang relatif lebih rendah dibandingkan Filipina, yaitu sebanyak 12 jenis dari 7 marga. Namun demikian terdapat dua jenis lamun yang diduga ada di Indonesia namun belum dilaporkan yaitu *Halophila beccarii* dan *Ruppia maritime* (Kiswara, 1997). Dari beberapa jenis yang ada di Indonesia, terdapat jenis lamun kayu (*Thalassodendron ciliatum*) yang penyebarannya sangat terbatas dan terutama di wilayah timur perairan Indonesia, kecuali juga ditemukan di daerah terumbu tepi di kepulauan Riau (Tomascik et al., 1997). Jenis-jenis lamun tersebut membentuk padang lamun baik yang bersifat padang lamun monospesifik maupun padang lamun campuran yang luasnya diperkirakan mencapai 30.000 km² (Nienhuis 1993).

Halophila spinulosa tercatat di daerah Riau, Anyer, Baluran, Irian Jaya, Belitung dan Lombok. Begitu pula *Halophila decipiens* baru ditemukan di Teluk Jakarta, Teluk Moti-Moti dan Kepulauan Aru (Den Hartog, 1970; Azkab, 1999; Bengen 2001).

4.5 Senyawa Kimia dalam Lamun

Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa pada lamun ditemukan beberapa senyawa aktif yang memiliki struktur kimia yang unik dan bersifat antimikroba, diantaranya ialah tannin, saponin, terpene, alkaloida dan glikosida (El-Haddy et al., 2007). Jouvenaz et al. (1972) juga telah membuktikan adanya bioaktivitas antibakterial alkaloid dan saponin (Soetan et al., 2006).

Penelitian yang dilakukan oleh Qi et al. (2008), menemukan kandungan senyawa aktif utama yang terdapat pada lamun jenis *Enhalus acoroides* ialah berupa senyawa flavonoid dan steroid, dimana hasil ini konsisten dengan laporan penelitian sebelumnya mengenai komponen kimia utama pada lamun (Gillan et al., 1984, Todd et al., 1993, Jensen et al., 1998, Bushmann and Ailstock 2006). Rumianti (2001) juga menemukan bahwa *Enhalus acoroides* mengandung senyawa fenol hidrokuinon, tanin dan saponin.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Nurfadilah (2013) menunjukkan bahwa terdapat 3 jenis lamun di Kepulauan Spermonde Kota Makassar yang berpotensi sebagai antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* yaitu *Enhalus acoroides*, *Cymodocea rotundata* dan *Halophila ovalis*. Hal ini mengindikasikan bahwa lamun memiliki senyawa bioaktif. Potensi ekologis ekosistem lamun antara lain sebagai habitat hidup dan daerah asuhan (nursery ground) bagi berbagai macam biota laut (Rahmawati, 2011). Ekosistem lamun berperan seperti

terumbu karang, yaitu untuk habitat ikan sehingga telah lama dimanfaatkan oleh nelayan sebagai area penangkapan ikan (fishing ground) (Tebay & Denny, 2017). Organisme laut seperti penyu hijau, dugong, dan lumba-lumba menjadikan lamun sebagai makanannya (Permana, Amir, & Siti, 2016). Serasah lamun dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik cair yang dalam penggunaannya akan lebih ramah terhadap lingkungan (Dewi, Bkti, & H, 2016).

Selain memiliki potensi ekologis, tumbuhan lamun juga memiliki potensi farmakologis karena mengandung senyawa bioaktif sebagai mekanisme pertahanan diri (Assuyuti, Alfian, Firdaus, & Reza, 2016). Metabolit sekunder yang dimiliki lamun dijadikan sebagai obat alami oleh masyarakat pesisir (Newmaster et al., 2011 dalam Assuyuti et al., 2016). Lamun atau seagrass dengan nama spesies *Thalassia hemprichii* diketahui mengandung senyawa bioaktif sebagai antibakteri, antifungi, antiprotozoa, dan sebagai bahan obat untuk penyakit kardiovaskular (Laksmi et al., 2006 dalam Satrya et al., 2012).

4.6 Kegunaan Lamun

Lamun merupakan salah satu tumbuhan laut yang memiliki beragam potensi yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat. Adaptasi khusus seperti sistem perakaran dan penyerbukan diperlukan lamun sebagai tumbuhan berbunga untuk hidup terbenam di bawah permukaan laut (Tehubijuluw et al., 2018). Senyawa bioaktif dapat dihasilkan oleh lamun dari proses adaptasi khusus antara lamun dengan lingkungannya. Alkaloid, Tanin, Steroid, Flavonoid dan Saponin merupakan beberapa contoh senyawa bioaktif yang ditemukan pada akar dan daun lamun (Gustavina et al., 2018). Senyawa flavonoid merupakan salah satu senyawa antioksidan yang berfungsi merelaksasi

pembuluh darah dan menghambat penggumpalan keping-keping darah (Barung et al., 2011).

Tingginya aktivitas antioksidan pada daun lamun bermanfaat untuk mencegah stress oksidatif yang diakibatkan oleh radikal bebas. Antioksidan berperan dalam meredam radikal bebas, antioksidan akan menyumbangkan satu elektron atau lebih ke radikal bebas (Tristanto et al., 2014). Radikal bebas dapat berasal dari dalam maupun luar tubuh. Reaksi yang ditimbulkan oleh radikal bebas dengan lipid, karbohidrat dan protein dapat menyebabkan munculnya beberapa penyakit seperti kanker, peradangan, katarak dan gagal ginjal (Labola dan Puspita, 2017). Identifikasi dan uji aktivitas antioksidan pada lamun banyak dilakukan guna menemukan sumber antioksidan alami yang diharapkan penggunaannya tidak menimbulkan efek samping. Uji aktivitas antioksidan kebanyakan dilakukan pada daun lamun, karena daun merupakan tempat berlangsungnya proses fotosintesis (Permana et al., 2020). Penggunaan beberapa variasi pelarut dengan tingkat kepolaran yang berbeda juga dapat dilakukan pada uji aktivitas antioksidan dari lamun, karena senyawa bioaktif yang memiliki aktivitas antioksidan belum diketahui secara pasti sifat kepolarannya (Ulfa et al., 2014).

DAFTAR PUSTAKA

- Assuyuti, Y. M., Alfian, F. R., Firdaus, R., & Reza, B. Z. (2016). Estimasi jumlah biomassa lamun di Pulau Pramuka, Karya dan Kotok Besar, Kepulauan Seribu, Jakarta. *Jurnal Depik*, 85-93.
- Barung, E. N., J. Schaduwan dan D. S. Rintjap. 2011. Uji Aktivitas Antioksidan dan Efek Penurunan Kolesterol Darah dari β -Karoten Buah Salak (*Salacca zalacca*) pada Tikus Putih (*Rattus norvegicus*). *Jurnal Ilmu Kesehatan*, 5(2): 128-133.
- Dewi, N. K., Bakti, K., & Farida, H. (2016). Pemanfaatan Serasah Lamun (Seagrass) sebagai Bahan Baku POC. *Proceeding Biology Education Conference*, (hal. 649-652). Madiun.
- El Hady, H.H.A., S.M. Daboor, & A.E. Ghoniemy. 2007. Nutritive and antimicrobial profiles of some seagrass from Bardawil lake. *Egyptian J. Aqu. Research* 33: 103-110.
- Finney, D.J. 1971. *Probit analysis*. 2nd edition. Cambridge University Press. 250pp.
- Fitriana, P. 2007. *Hewan Laut; Buku Pengayaan Seri Flora dan Fauna*. GanecaExact. Jakarta.
- Gillan, F.T., R.W. Hogg and E.A. Drew. 1984. The sterol and fatty acid compositions of seven tropical seagrasses from North Queensland, Australia. *Phytochemistry* 23: 2817-2821.
- Gustavina, N. L. G. W. B., I. G. B. S. Dharma dan E. Faiqoh. 2018. Identifikasi Kandungan Senyawa Fitokimia pada Daun dan Akar Lamun di Pantai Samuh Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 4(2): 271-277.

- Hamburger, M., Hostettmann, K., 1991. Bioactivity in plants: the link between phytochemistry and medicine. *Phytochemistry* 30 (12): 3864–3874
- Harborne, J.B., 1987. *Phytochemical Methods* 2nd edition. Chapman and Hall. New York.
- Haris, A. dan S.Werorilangi. 2009. Uji sitotoksitas ekstrak (crude extract) karanglunak (octocorallia; alycyonacea) dari kepulauan spermonde Kota Makassar. Fakultas Ilmu Kelautan Dan Perikanan Universitas Hasanuddin.
- Harmita. 2009. Analisis uji hayati toksisitas secara mikrobiologi. Bahan Kuliah Toksikologi. IPB.
- Jensen, R., K.M. Jenkins, D. Porter and W. Fenicall. 1998. Evidence that a new antibiotic flavone glycoside chemically Defends the lamun *Thalassia testudinum* against zoosporic fungi. Scripps Institute of Oceanography, Center for Marine Biotechnology and Biomedicine, University of California - San Diego, La Jolla, California. *Appl Environ Microbial.* 64 (4): 1490-1496.
- Jouvenaz, D.P., M.S. Blum, & J.G. Macconnell. 1972. Antibacterial activity of venom alkaloids from the imported fire ant, *Solenopsis invicta* Burrows, antimicrob. *Agent Chemother* 2: 291-293.
- Juniarti., D.Osmeli dan Yuhernita. 2009. Kandungan senyawa kimia, uji toksisitas (brine shrimp lethality test) dan antioksidan (1,1-
- Kiswara, W. 1997. Struktur komunitas padang lamun perairan Indonesia. *Inventarisasi dan Evaluasi Potensi Laut- Pesisir II*, Jakarta: P30 LIPI : 54-61.

- Kuo, J., den Hartog, C. 1989. Seagrass morphology, anatomy and ultrastructure. In Larkum, A.W.D., Orth, J.R., Duarte, M.C (eds.). Seagrasses : Biology, Ecology and Conservation. Springer Publ, Netherlands. pp. 51- 87.
- Laksmi, V., A, K. Goel., M, N. Srivastava., D, K. Kulshreshtha., & R, Raghubir. 2006. Bioactivity of marine organism : Part IX – Screening of some marine flora from the Indian coast. Indian Journal of Experimental Biology, 137-141.
- Lanyon, J., C.J. Limpus and H. Marsh. 1989. Dugongs and turtles: grazers on seagrass system. In Larkum, A.W.D., A.J. McComb and S. A. Sheperd (eds.). Biology of Seagrasses. A Treatise On The Biology of Seagrasses With A Special Reference to The Australian Region. Elsevier, Amsterdam. pp. 610-614.
- Larkum. A.W.D., A.J. Mc COMB and S.A. Shepherd, 1989. Biology of Seagrasses : A Treatise on The Biology of Seagrasses With Special Reference to Australian Region. Elssier, Amsterdam: 6-73.
- Lenny, S. 2006. Senyawa Flavonoida, Fenilpropanoida dan Alkaloida. Karyailmiah. [Laporan Hasil Penelitian] Departemen Kimia, FMIPA, Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Linggawati A, Muhdarina, Erman, Azman dan Midiarty. 2002. Pemanfaatan tannin limbah kayu industri kayu lapis untuk modifikasi resin fenol formaldehid. Jurnal Natur Indonesia 5(1):84-94.
- Lisdayanti. 2013. Potensi Antibakteri dari Bakteri Asosiasi Lamun (Seagrass) dari Pulau Bonebatang Perairan Kota Makassar [Skripsi]. FIKP Universitas Hasanuddin.

- Meyer, B.N., Ferrigni, N.R., Putman, J.E., Jacobsen, L.B., Nicols, D.E., and McLaughlin, J.L. 1982. Brine shrimp : a convenient general bioassay for active plant constituent. *Plant Medica* 45: 31-34.
- Muchtadi, D. 1989. Petunjuk Laboratorium Evaluasi Nilai Gizi Pangan. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi.
- Mudjiman, A. 1988. Udang Renik Air Asin (*Artemia salina*). Bhata Karya Aksara. Jakarta.
- Mudjiman, A. 1995. Budidaya Bandeng di Tambak. Penerbit Swadaya. Jakarta. 25 hal.
- Newmaster, A.F., K. J. Berg., S. Ragupathy., M. Palanisamy., K. Sambandan., & S. G. Newmaster. 2011. Local Knowledge and Conservation of Seagrasses in the Tamil Nadu State of India. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 7-37.
- Nienhuis, P.H. 1993. Structure and functioning of Indonesian seagrass ecosystems. In Moosa, M.K., de long, H.H., H.J.A. Blaauw., and M.K.J. Norinarma (eds.). *Coastal Zone Management of Small Island Ecosystems. Proceedings International Seminar*. Ambon, Indonesia, pp. 82-86.
- Nio, K. 1989. Zat-zat toksik yang secara alamiah ada pada tumbuhan nabati. *Cermin Dunia Kedokteran* 2 :58.
- Nurfadilah. 2013. Uji Bioaktivitas Antibakteri Ekstrak Dan Fraksi Lamun Dari Kepulauan Spermonde Kota Makassar [Skripsi]. FIKP Universitas Hasanuddin.
- Nurhayati, A. 2006. Uji toksisitas ekstrak *eucheuma alvarezii* terhadap *artemiasalina* sebagai studi pendahuluan potensi antikanker. *Akta Kimindo* 2(1): 41-46.

- Patriquin, D.G. 1972. The origin of nitrogen and phosphorus for growth of the marine angiosperm *Thalassia testudinum*. Mar. Biol. 15 : 35-46.
- Permana, A. H., Amir, H., & Siti, A. B. (2016). Aktivitas Antioksidan dan Toksisitas Ekstrak Lamun *Cymodocea* sp. Jurnal Teknologi Pertanian, 37-46.
- Permana, R., A. Andhikawati, N. Akbarsyah dan P. K. D. N. Y. Putra. 2020. Identifikasi Senyawa Bioaktif dan Potensi Aktivitas Antioksidan Lamun *Enhalus acoroides*. Jurnal Akuatek., 1(1): 66-72.
- Phillips R.C. and E.G. Menez. 1988. Seagrasses. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C.
- Proksch P, R.A. Edrada, and R. Ebel, 2002. Drugs from the sea-current status and microbiological implications. Appl. Microbiol. Biot. 59:125-134.
- Qi, S.- H., S. Zhang and P.- Y. Qian., 2008. Antifeedant, antibacterial, and antilarval compounds from the south china seagrass *enhalus acoroides*. Botanica Marina 51. Berlin. New York.
- Rahmawati, S. (2011). Ancaman Terhadap Komunitas Padang Lamun. Jurnal Oseana, 49-58.
- Rangkuti, A., M, M, R. Cordova., A, Rahmawati., Yulma, & E, H. Adimu. (2017). Ekosistem Pesisir dan Laut Terbuka. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Ren, W., Z. Qiao, H. Wang, L. Zhu and L. Zhang. 2003, Flavonoid: promising anticancer agents. Med. Res. Review 2(4): 519-534.
- Rohman, A. dan S. Riyanto. 2005. Daya antioksidan ekstrak etanol Daun Kemuning (*Murraya paniculata* (L) Jack) secara in vitro. Majalah Farmasi Indonesia 16 (3): 136 – 140.

- Romimohtarto, K. dan S. Juwana. 2009. Biologi Laut. Djambatan. Jakarta.
- Rumiantin R.O. 2010. Kandungan Fenol, Komponen Fitokimia dan Aktivitas Antioksidan Lamun *Enhalus acoroides* [Skripsi]. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Satrya, C., Muhammad, Y., Muhandis, S., Beginer, S., Dondy, A., & Fitryah, A. (2012). Keragaman Lamun di Teluk Banten, Provinsi Banten. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 29-34.
- Setyati, W.A., Subagiyo dan A. Ridlo. 2005. Potensi Bioaktivitas Alkaloid dari Lamun (*Seagrass*) *Enhalus acoroides* (L.F) Royle. [laporan kegiatan]. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro. Semarang.
- Sirait M. 2007. Penuntun Fitokimia dalam Farmasi. ITB. Bandung
- Sjafrie, N. D., Udhi, E. H., Bayu, P., Indarto, H. S., Marindah, Y. I., Rahmat, . . . Suyarso. (2018). Status Padang Lamun Indonesia 2018 Ver.02. Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Soetan, K. O., M. A. Oyekunle, O. Aiyelaagbe and M. A. Fafunso. 2006. Evaluation of the antimicrobial activity of saponins extract of *sorghum bicolor*. L. Moench, *African J. Biotechnol.* 5: 2405- 2407.
- Suradikusuma, E. 2001. Penuntun Praktikum Teknik Uji Hayati. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Tebay, S., & Denny, C. M. (2017). Kajian Potensi Lamun dan Pola Interaksi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan Lamun (Studi Kasus Kampung Kornasoren dan Yenburwo, Numfor, Papua). *Jurnal Pengelolaan Perikanan Tropis*, 59-69.

- Tehubijuluw, H., T. Watuguly dan P. M. J. Tuapattinaya. 2018. Analisis Kadar Flavonoid pada Teh Daun Lamun (*Enhalus acoroides*) Berdasarkan Tingkat Ketuaan Daun. *Biopendix*, 5(1): 1-7.
- Todd, J.S., R.C. Zimmerman, P. Crews and R.S. Alberte. 1993. The antifouling activity of natural and synthetic phenol acid sulphate esters. *Phytochemistry* 34: 401-404.
- Tomascik T, A.J. Mah, A. Nontji and M.K. Moosa. 1997. The Ecology of the Indonesia Sea. Part One. The Ecology of Indonesian Series Vol. VII. HongKong: Periplus Edition (HK) Ltd.
- Tristanto, R., M. A. Putri, A. P. Situmorang dan Suryanti. 2014. Optimalisasi Pemanfaatan Daun Lamun *Thalassia hemprichii* Sebagai Sumber Antioksidan Alami. *Jurnal Saintek Perikanan*, 10(1): 26-29.
- Ulfa, F. S., A. D. Anggo dan Romadhon. 2014. Uji Potensi Aktivitas Antioksidan dengan Metode Ekstraksi Bertingkat pada Lamun Dugong (*Thalassia hemprichii*) dari Perairan Jepara. *Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 3(3): 32- 39.
- Vrana, J.A and S. Grant. 2001. Synergistic induction of Apoptosis in Human leukemia cells (U937) exposed to bryostatin 1 and the proteasome Inhibitor lactacystin involves dysregulation of the PKC/MAP cascade. *Blood* 97 (7).
- Williams, P.G., S. Babu, S. Ravikumar, K. Kathiresan, S. Arul Prathap, S. Chinnapparaj, M. P. Marian and S.L. Alikhan. 2007. Antimicrobial activity of tissue and associated bacteria from benthic sea anemone *Stichodactyla haddoni* against microbial pathogens. *J. Environ. Biol.* 28: 782-793.

Winarsi, W., 2007. Antioksidan Alami dan Radikal Bebas, Penerbit Kanisius. Yogyakarta, pp. 13 - 15, 77-81.

BAB 5

CONTOH SUMBER DAN SENYAWA YANG DIHASILKAN FILUM CHORDATA, PORIFERA, ECHINODERMATA, COELENTERATA, MOLUSCA, ARTHROPODA, DAN ANNELIDA

Oleh Hamsidar Hasan

5.1 Pendahuluan

Pulau-pulau kecil yang ada di Australia Timur, terutama di sekitar Samoa, Fiji, Tonga, dan Tahiti, dikelilingi oleh batu karang luas di Samudra Pasifik Selatan. Di perairan hangat sekitar pulau-pulau ini hidup lebih dari 500 jenis moluska predator bernama *Cone Snail* (Conus). *Cone Snail* memiliki cangkang kerucut yang menarik dan berwarna-warni, membuatnya menjadi objek koleksi dan pajangan.

Invertebrata adalah kelompok hewan tanpa tulang belakang, mencakup sekitar 95% dari seluruh spesies hewan. Invertebrata menempati berbagai habitat, mulai dari air panas lubang hidrotermal laut dalam hingga ke tanah beku di Antartika. Keanekaragaman invertebrata melibatkan berbagai bentuk dan ukuran, seperti moluska, artropoda, echinodermata, dan annelida. Meskipun tanpa tulang belakang, invertebrata berhasil beradaptasi dan berkembang dalam berbagai kondisi lingkungan.

Asal-usul invertebrata terkait dengan evolusi dari hewan bertingkat tinggi, yang dapat terlihat melalui prinsip-prinsip evolusi, seperti hukum pertarungan. Pada masa prasejarah, Cephalopod dan Brachiopod mendominasi jumlah invertebrata.

Namun, populasi kedua kelompok ini mengalami penurunan yang signifikan karena pengaruh interaksi dengan manusia.

Dalam pandangan kehidupan sebagai hasil ciptaan Tuhan, banyak makhluk hidup, termasuk manusia, diciptakan dengan keberagaman yang sangat besar. Manusia memiliki kemampuan untuk memahami kehidupan, khususnya melalui penelitian ilmiah yang melibatkan organisme seperti hewan dan tumbuhan. Taksonomi, atau klasifikasi, menjadi sistem yang diciptakan untuk memudahkan pemahaman dan menunjukkan hubungan kekerabatan di antara makhluk hidup. Prinsip KOFGS, yang mencakup Kingdom (kerajaan), Ordo, Famili, Genus, dan Species (spesies), digunakan sebagai panduan utama untuk menyusun kerangka pemahaman tentang keragaman kehidupan dan interaksi antarmakhluk hidup.

Seorang penemu itu bernama Aristoteles yang mengklasifikasikan hewan menjadi dua kelompok, yaitu: Anaima dan Enaima. Sehingga ia dijuluki sebagai "Bapak Zoologi". Ada beberapa filum yang terdapat pada keanekaragaman invertebrata, yaitu Chordata, Porifera, Echinodermata, Coelenterata, Mollusca, Arthropoda, Annelida.

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, melalui penulisan buku ini akan membahas mengenai senyawa-senyawa kimia yang dihasilkan oleh kelompok filum invertebrata serta manfaat dari senyawa tersebut.

5.2 Chordata

Chordata termasuk dalam kelompok hewan dengan notokord sebagai kerangka tubuh. Chordata berasal dari kata Yunani "chorde" yang artinya tali atau dawai. Kelompok ini termasuk dalam kingdom Animalia dengan sifat-sifat seperti eukariotik, heterotrof, multiseluler, dan tanpa dinding sel. Dalam kingdom Animalia, ada dua kelompok besar, yaitu Vertebrata dan

Invertebrata. Invertebrata melibatkan filum seperti Porifera, Coelenterata, Platyhelminthes, dll., sedangkan Vertebrata hanya memiliki satu filum, yaitu Chordata. Pembagian hewan ke dalam filum-filum ini didasarkan pada berbagai kriteria, seperti jumlah lapisan jaringan embrional, habitat, rongga tubuh, kelengkapan organ, anggota gerak, serta keberadaan ruas tulang belakang.

Filum Chordata merupakan kelompok hewan yang melibatkan vertebrata seperti reptil, mamalia, amfibi, ikan, burung, serta makhluk lain yang menyerupai invertebrata dengan ciri-ciri yang serupa. Ciri khas yang ditemukan pada setiap anggota kelompok ini mencakup notokorda (tali saraf dorsal berongga), endostyle, celah faring, serta ekor berotot yang melintasi anus pada suatu tahap dalam siklus hidupnya. Vertebrata, yang merupakan bagian dari filum ini, dicirikan oleh keberadaan tulang belakang.

Filum Chordata memiliki ciri-ciri khas yang membedakannya dari hewan lain, termasuk simetri bilateral, tiga lapisan germinal, tubuh tersegmen-segmen, saluran pencernaan sempurna, dan perkembangan yang baik pada celom. Tiga karakteristik utama yang membedakannya adalah tali saraf tunggal dorsal, notokorda, dan celah insang di faring. Karakteristik-karakteristik ini muncul pada embrio awal dan dapat dipertahankan, mengalami perubahan, atau bahkan menghilang seiring dengan perkembangan kelompok Chordata (Leksono, 2021).

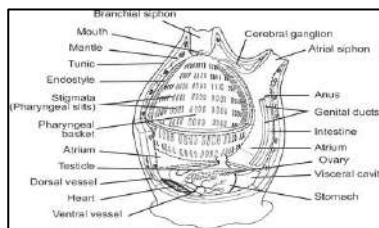
Filum Chordata diklasifikasikan menjadi tiga subfilum yaitu Urochordata (tunikata), Cephalochordata (lanset) dan Vertebrata (vertebrata).



Gambar 5. 1. Klasifikasi filum chordota

5.2.1 Urochordata (Tunikata)

Tunikata, yang juga dikenal sebagai Ascidian, adalah hewan laut yang umumnya hidup secara tak bergerak (sesil) dan tersebar luas di perairan laut global. Tunikata termasuk dalam kelompok avertebrata air, yang berarti tidak memiliki tulang belakang. Tunikata dapat ditemukan di berbagai wilayah laut, terutama di perairan litoral dari zona intertidal hingga subtidal. Tunikata cenderung menempel pada berbagai substrat, seperti cangkang moluska, karang, lambung kapal, atau di lumpur atau pasir (Suwingyo dkk., 2005).



Gambar 5. 2. Struktur tunikata

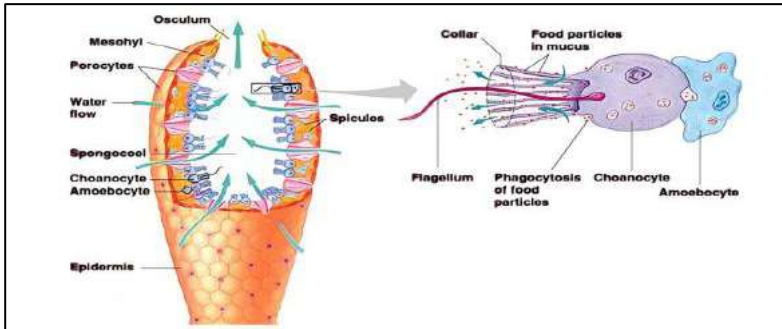
Tunikata, sebagian besar ditemui sebagai organisme penempel di ekosistem terumbu karang, cenderung hidup secara sesil atau menempel pada substrat. Kehidupan sesil ini membuatnya memiliki potensi untuk membentuk hubungan simbiosis dengan bakteri.

Tunikata bisa berasosiasi dengan mikroba fotosintetik, seperti bakteri simbion. Metabolit sekunder yang dihasilkan oleh bakteri tersebut berfungsi sebagai pertahanan bagi tunikata dan memiliki manfaat bagi manusia, termasuk sebagai antitumor, antikanker, antibakteri, dan antifungi, menawarkan potensi untuk pengembangan obat-obatan atau terapi kesehatan manusia (Watermann, 1999).

5.3 Porifera

Porifera berasal dari bahasa Latin, artinya "membawa pori". Filum ini, juga dikenal sebagai hewan sponsa, adalah hewan multiseluler paling sederhana dengan tubuh berpori menyerupai busa. Struktur berpori memungkinkan aliran air dan partikel makanan, memungkinkan penyaringan nutrisi dan oksigen.

Porifera atau hewan sponsa merupakan kelompok hewan yang dapat ditemukan baik di air laut maupun air tawar, namun, sebagian besar populasinya hidup di lingkungan laut. Porifera mendiami berbagai habitat, mulai dari perairan pantai yang dangkal hingga kedalaman mencapai 5,5 Km. Porifera bersifat sesil, yang berarti melekat pada substrat di dasar laut atau di permukaan benda lain dan tidak memiliki kemampuan untuk berpindah tempat secara bebas. Ciri khas Porifera adalah tubuhnya yang berpori, menyerupai busa atau spons. Porifera memiliki rongga dalam tubuhnya, yang disebut dengan spongosol.



Gambar 5. 3. Struktur tubuh porifera

Tubuh porifera memiliki struktur diplobalstik (memiliki dua lapisan) yaitu:

1. Lapisan luar yaitu lapisan epidermis yang terdiri atas pinakosit, dengan sel-sel berbentuk polygonal dan tersusun dengan rapat.
2. Lapisan dalam, yaitu koanosit. Sel koanosit berfungsi sebagai organ respirasi dan mengatur pergerakan air. Terdapat juga mesophyll (mesoglea) yaitu antara lapisan luar dan lapisan dalam. Mesoglea mempunyai beberapa organel didalamnya, diantaranya yaitu:
 - a. Gelatin protein matrik
 - b. Arkeosit yaitu sel amubosit yang tumpul dan membentuk sel-sel reproduktif.
 - c. Amubosit berfungsi dalam transportasi zat-zat makanan dan O_2 , ekskresi serta penghasil gelatin.
 - d. Skleroblast berfungsi membentuk spikula.
 - e. Porosit / miosit ada di disekitar bagian pori serta berfungsi membuka dan menutup pori.
 - f. Spikula merupakan unsur pembentuk tubuh.

5.3.1 Calcareea

Kelas calcarea terdiri dari sekitar 500 jenis (kurang dari 5% dari semua Porifera yang dikenal) yang terdiri dari 75 genera, 22 famili, dan 5 ordo. Sistem saluran air nya dapat berupa asconoid, syconoid, sylleibid atau leuconoid (Haris & Jompa, 2021).

Kelas calcarea mempunyai karakteristik berikut: Spikula berbentuk seperti kapur, memiliki tipe triaxon, monaxon, atau tetraxon; berwarna gelap; mempunyai permukaan tubuh berbulu; tingginya tidak melebihi 15 cm.



Gambar 5. 4. Kelas Calcareea

5.3.2 Demospongiae

Kelas Demospongia merupakan kelompok sponge yang mendominasi dalam filum Porifera. Demospongia terdistribusi luas di berbagai perairan laut, dari dangkal hingga kedalaman yang signifikan. Dengan warna cerah dan bentuk massif, Demospongiae memiliki sistem saluran internal kompleks yang memungkinkan aliran air untuk penyaringan nutrisi dan oksigen. Spikula dalam Kelas Demospongiae adalah struktur pendukung yang beragam, bisa terbuat dari silikat, serat sponging, atau serat kolagen, atau tanpa spikula (Haris & Jompa, 2021).



Gambar 5. 5. Kelas Demospongiae

5.3.3 Hexactinellida

Hexactinellida merupakan kelompok sponsa yang umumnya ditemukan di laut dalam. Hexactinellida memiliki spikula terbuat dari silikat dan tidak mengandung sponging, memberikan ciri khas tersendiri. Kelas Sclerospongia banyak hidup di perairan dalam seperti: gua-gua, terumbu karang, serta celah-celah batuan bawah laut dengan tubuh bertipe leuconoid yang kompleks. Semua jenis dalam kelas ini memiliki serat sponging dan spikula silikat, dikelilingi jaringan hidup pada rangka basal kalsium karbonat yang kokoh. Kedua kelompok ini menunjukkan adaptasi struktural yang khas terhadap lingkungan laut dalam dan berperan dalam dinamika ekosistem di habitatnya (Warren, 1982; Harrison and De Vos, 1991; Ruppert and Barnes, 1991).



Gambar 5. 6. Kelas Hexactinellida

5.3.4 Sclerospongiae

Sclerospongiae merupakan spons laut yang memiliki spikula silikat monaxon. Spons memiliki jaringan hidup yang membentuk lapisan tipis mengelilingi rangka kapur. Ukuran Sclerospongiae bisa mencapai diameter 1 meter dan dapat ditemukan di sekitar terumbu karang dengan continental slope di Jamaika. Beberapa contoh genus dalam kelas ini meliputi Ceratoporella, Merlia, dan Storomatospongia (Khoirun. 2022)



Gambar 5. 7. Kelas sclerospongiae

5.4 Echinodermata

Echinodermata adalah kelompok hewan laut yang memiliki peran signifikan dalam ekosistem. Echinodermata berkontribusi pada pembersihan lingkungan laut, terutama di sekitar pantai. Echinodermata berfungsi sebagai pemakan sampah organik dan hewan kecil. Selain itu, echinodermata juga berperan sebagai bioindikator, yang berarti keberadaannya dapat digunakan untuk menilai kualitas ekosistem laut suatu wilayah. Beberapa contoh dari spesies echinodermata ialah sebagai berikut :

5.4.1 Ophiuroidea

Menurut penelitian Stohr et al. pada tahun 2012, kelas Ophiuroidea mencakup 16 famili dan 276 genus, dengan sekitar 2064 spesies telah teridentifikasi. Kelas Ophiuroidea atau bintang mengular, juga dikenal sebagai basket star atau brittle star. Bintang mengular adalah bagian dari biota pemakan detritus, yang memainkan peran vital sebagai pemakan sisa-sisa organik di lingkungan laut. Keberadaan brittle star membantu menjaga kebersihan lingkungan laut dan mengatur siklus nutrisi di dalam ekosistem. Menurut penelitian oleh Aronson pada tahun 1988, bintang mengular juga menyediakan sumber makanan bagi ikan dan kepiting yang hidup di terumbu karang intertidal.



Gambar 5. 8. Ophiuroidea

5.4.2 Asteroidea

Bintang laut, yang termasuk dalam kelas Asteroid, merupakan kelompok terbesar dalam keluarga hewan laut yang disebut Echinodermata, dengan sekitar 1.600 spesies. Bintang laut biasanya berbentuk seperti bintang segi lima dan sebagian besar memiliki lima lengan, meskipun ada yang memiliki lebih. Beberapa contohnya termasuk Acanthaster, Linckia, dan Pentaceros. Ukurannya bisa bervariasi, rata-rata antara 10 hingga 20 cm, dengan yang terkecil sekitar 1 cm dan yang terbesar mencapai 100 cm. Tubuhnya memiliki pusat yang disebut *central disc* dengan mulut di tengahnya dan di setiap ujung tangan terdapat tentakel dengan bintik pigmen merah. Permukaan pisin

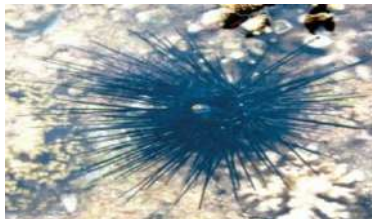
tengah dan bagian bawah tangan disebut mulut, sementara bagian atasnya disebut aboral. Anus berada di pusat pisin aboral, yang juga merupakan tempat di mana madreporit dapat ditemukan (Suwignyo et al., 2005).



Gambar 5. 9. Protoreaster nodosus

5.4.3 Ecinoidea

Kelas Echinodea (bulu babi) biasanya mempunyai tubuh dengan bentuk bola, padat dengan ditutupi dengan endoskeleton atau cangkang dari pelat yang tertutup rapat. memiliki cangkang keras serta dipenuhi duri. Duri-duri tersebut disusun dalam barisan sebanyak baris. Keanekaragaman bulu babi di Perairan Dofa 96 berbentuk memanjang dan bergerak, runcing, panjang dan ada jenis duri yang tumpul serta pendek, contoh: Spatangus (berbentuk oval), Arabia Strongylocentrotus (berbentuk bola), Echinaracinus (berbentuk skapula) (Ubaghs, 2013).



Gambar 5. 10. Echinodea

5.4.4 Holothuria

Teripang (Holothuroidea) merupakan komponen utama biota laut sebagai pemakan sedimen atau sedimen. Teripang memakan plankton 5 atau detritus yang banyak terdapat di alam di badan air atau di dasar perairan (Rustam, 2006).



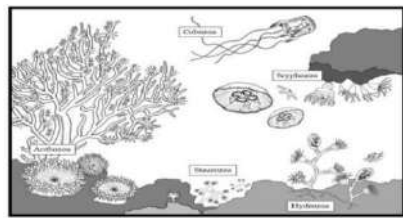
Gambar 5. 11. *Holothuria atra*

Menurut penelitian dari Litbangkan (1998) di China, teripang, terutama *Sticopus japonicus*, dianggap memiliki khasiat obat. Kulit teripang mengandung asam mukopolisakarida yang dapat mengobati berbagai penyakit seperti anemia, ginjal, pneumonia, diabetes, serta memiliki sifat anti-kanker, mencegah penuaan jaringan tubuh, anti-inflamasi, dan mencegah fibrosis serta aterosklerosis. Ekstrak teripang murni mengandung holotoxin dengan efek mirip antimisin, 6,25 hingga 25 g/ml.

5.5 Coelenterata

Coelenterata dengan nama lain Cnidiria (berasal dari bahasa Yunani *cnida* yang berarti penyengat) merupakan hewan invertebrata yang mempunyai rongga berbentuk tubuh seperti tabung dan mulut yang dikelilingi tentakel. Tentakel pada coelenterata sendiri memiliki sel penyengat, ukuran tubuh hewan invertebrata ini adalah yang paling besar baik yang soliter maupun yang berbentuk koloni jika dibandingkan dengan hewan invertebrata lain.

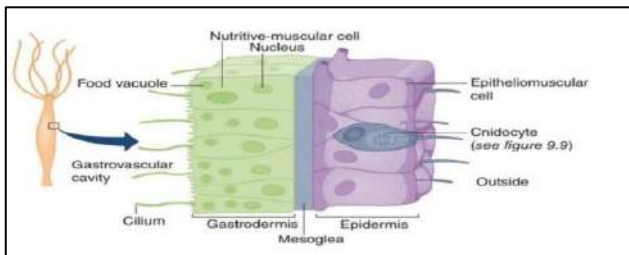
Filum Cnidaria atau Coelenterata bersifat diploblastik dengan dua lapisan utama, epidermis dan gastrodermis, dipisahkan oleh mesogleia. Sel-sel diferensiasi di epidermis dan gastrodermis menjalankan fungsi perlindungan, koordinasi pergerakan, pengumpulan makanan (melalui nematokista), dan pencernaan serta penyerapan nutrisi.



Gambar 5. 12. Beragam organisme yang termasuk dalam filum Cnidaria

5.5.1 Hydrozoa

Hydrozoa adalah filum dalam kelompok Cnidaria yang umumnya ditemukan di laut dan air tawar. Hydrozoa dapat hidup secara individu atau membentuk koloni, dan memiliki kemampuan unik untuk hidup seperti kantong. Contoh terkenalnya adalah *Hydra viridis*, organisme air tawar yang mampu berkembang melalui reproduksi aseksual dengan tunas.

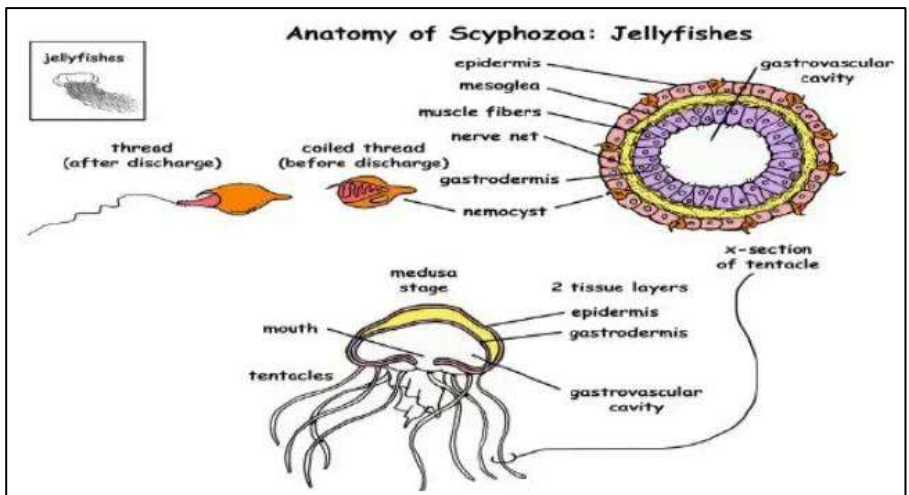


Gambar 5. 13. Dinding tubuh coelenterata (hydra) yang bersifat diploblastik

Hydra adalah organisme berbentuk tubuh polip dengan 6-10 tentakel di mulutnya untuk menangkap makanan. Cakram basalnya digunakan untuk menempel pada substrat. Hydra memiliki otot yang dapat bergerak dengan cara memendek dan memanjang, hal ini memungkinkan gerakan jungkir balik.

5.5.2 Scyphozoa

Scyphozoa merupakan hewan dengan bentuk tubuh seperti soliter, mangkuk, dengan bentuk dominan berupa medusa. *Scyphozoa* hidup menempel pada dasar perairan laut, *medusa scyphozoa* biasa disebut ubur-ubur. Berikut ini beberapa contohnya: *Chrysaora colorata*, *Aurelia aurita*, serta *Cyanea*.



Gambar 5. 14. Anatomi Schypozoa

Medusa dari kelas *Schypozoa* ini mudah dibedakan dengan jenis lain, yaitu pada bagian tepi tubuhnya mempunyai 8 buah lekukan dan tidak bervelum. Pada fase *polyp* masih melekat pada substrat di dasar laut. Bagian tubuhnya yang berlekuk dilengkapi sense organ. Mulut terletak dibagian tengah di atas *manubrium* yang pendek. Disekitar ditemukan 4 buah oral arm berbentuk

seperti pita dan dibagian pinggirnya terdapat *nematocyst*. *Entero* (usus) bercabang menjadi 4 buah *gastric pouches* yang berisi *gastric filament* dan dilengkapi dengan *nematocyst* (Wijarni dan Arfiati, 1984).



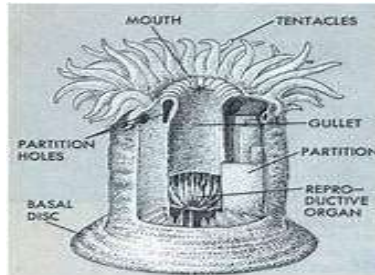
Gambar 5. 15. Scyphozoa Aurelia aurita

5.5.2 Anthozoa

Anthozoa merupakan kelompok hewan invertebrata yang termasuk dalam filum Cnidaria. Anthozoa biasa disebut "mawar laut" karena bentuk tubuh yang menyerupai bunga. Nama "Anthozoa" sendiri berasal dari bahasa Yunani, dengan "Anthos" yang berarti bunga dan "zoon" yang berarti hewan, merujuk pada karakteristik bentuk bunga pada hewan ini. Tubuh Anthozoa berbentuk polip, melekat pada dasar perairan dengan panjang sekitar 5-7 cm dan memiliki simetri radial. Struktur tubuh utamanya terdiri dari cakram pedal (kaki), batang tubuh, dan cakram oral (kapitulum).

Anthozoa termasuk kelompok hewan karang dalam filum Cnidaria, memiliki sistem pencernaan yang melibatkan dua cara: ekstrasel dan intrasel. Pada pencernaan ekstrasel, mangsa dilumpuhkan oleh nematokist dan ditarik ke dalam mulut dengan bantuan tentakel. Setelah itu, makanan melewati stomodeum dan memasuki rongga gastrovaskuler, di mana dicerna oleh enzim.

Sari-sari makanan diserap oleh gastrodermis, dan zat sisa dikeluarkan melalui mulut.



Gambar 5. 16. Anthazoa

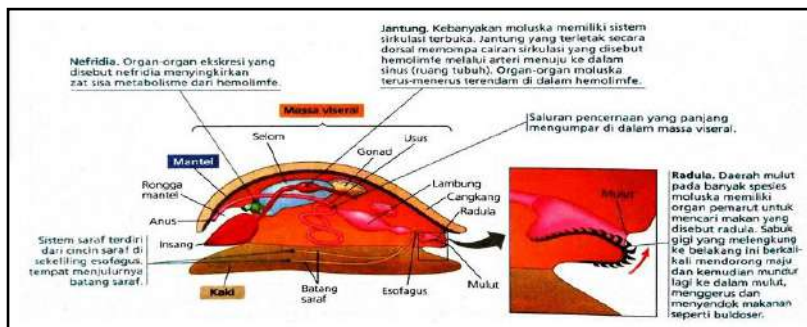
Kelas anthazoa sering disebut flower animals, memiliki bentuk polip, tidak ada medusa, hidup di laut dalam atau dangkal, di wilayah tropis sampai kutub, bersifat solter atau juga koloni, dan kebanyakan punya skeleton. Terdapat sub kelas dalam anthozoa, yaitu Subkelas *Zoantharia*, Subkelas *Alcyonaria*, dan subkelas *Ceriantipatharia* (Ni Made Suartanti, 2014).

5.6 Mollusca

Menurut Herlanti dan Maulidia (2010), "Mollusca" merupakan filum hewan yang secara umum dilindungi oleh cangkang, meskipun beberapa jenisnya tidak memiliki cangkang. Hewan-hewan ini termasuk dalam kategori "triploblastik selomata," menandakan keberadaan tiga lapisan embrionik dan adanya rongga tubuh di antara lapisan mesoderm.

Menurut Waluyo (2010), Mollusca adalah hewan invertebrata dengan tubuh lunak, tanpa segmen, dan dilindungi oleh cangkang berkapur yang terbentuk dari lipatan mantel. Mollusca mampu mengeluarkan lendir untuk bergerak, memiliki gigi radula di mulut sebagai pengunyah, dan melakukan reproduksi secara seksual dengan pembuahan internal. Sistem

peredaran darah terletak di belakang jantung, bernafas melalui insang, dan ekskresinya menggunakan ginjal.



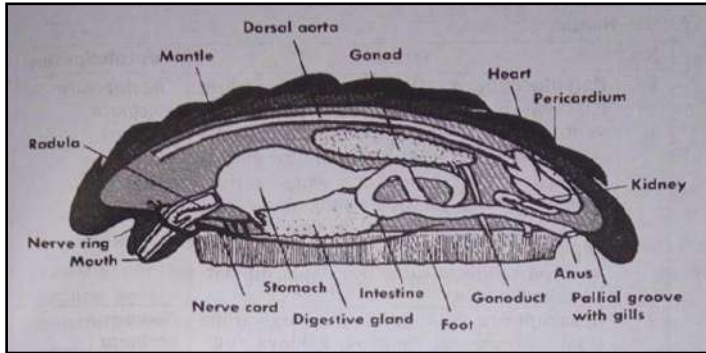
Gambar 5. 17. Struktur Organ Mollusca

Siklus hidup mollusca menurut Campbell *et al.* (2008) “*Mollusca* memiliki jenis kelamin yang berbeda dan gonadnya terletak di massa visceral. Meskipun banyak spesies siput atau gastropoda bersifat hermafrodit. Kebanyakan mollusca melewati tahapan dalam siklus hidupnya sebagai larva bersilia, yang kemudian berkembang menjadi dewasa”.

5.6.1 Polyplacophora

Menurut Campbell (2008) kiton memiliki tubuh oval dan cangkang yang terbagi menjadi delapan lempeng punggung. Namun tubuh chiton tidak bersegmen. Hewan laut ini bisa anda temukan menempel di bebatuan sepanjang pantai saat air surut. Kaki chiton berfungsi sebagai alat penghisap yang sangat kuat. Chiton juga dapat menggunakan kakinya untuk merangkak perlahan di permukaan batu.

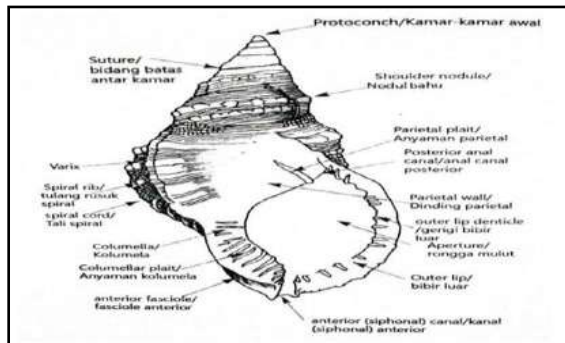
Menurut Rusyana (2010) karakteristik chiton adalah Chiton merangkak perlahan di dasar laut, di bebatuan lunak. Bagian belakang bodinya terbuat dari potongan kapur. Sambungan antar kapur bisa ditekuk sehingga badan bisa terlipat seperti bola.



Gambar 5. 18. Anatomi Chiton

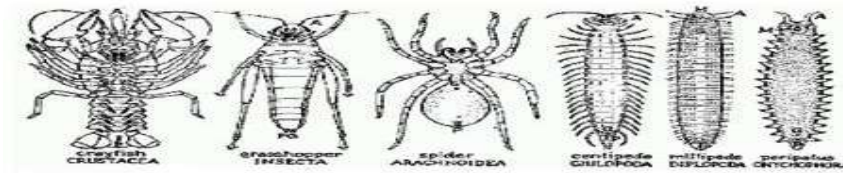
5.6.2 Gastropoda

Menurut Sodiq (2014) “Scaphopoda memiliki tubuh memanjang yang ditutupi cangkang dan terbuka di kedua ujungnya. Hewan ini juga memiliki tubuh simetris bilateral”. Sedangkan menurut Waluyo (2010) menambahkan “Anggota kelas hewan ini menghabiskan sebagian besar hidupnya terkubur di pasir. Hewan golongan ini tidak mempunyai insang dan bernapas melalui mantel. Hewan ini mempunyai captacula (tentakel berbulu yang dapat ditarik), khususnya organ peraba untuk menangkap mangsa, khususnya mikrobiota dan mikroflora yang terdapat di dekat mulutnya”.



Gambar 5. 19. Struktur Morfologi Gastropoda

5.6.3 Arthropoda



Gambar 5. 20. Arthropoda

Arthropoda adalah kelompok hewan dengan kaki beruas-ruas, berasal dari bahasa Yunani ("arthro" dan "podos"). Terdapat sekitar 900.000 spesies dalam filum Arthropoda, yang memiliki tubuh beruas-ruas dengan sepasang kaki di setiap ruas. Ciri khasnya meliputi simetri bilateral, rangka luar berkitin, dan proses molting di mana hewan melepaskan dan mengganti rangka luar secara berkala.

Arthropoda memiliki sistem peredaran darah terbuka yang melibatkan cairan hemolimfa, bukan pembuluh darah seperti vertebrata. Hemolimfa mengalir bebas di rongga tubuh, disirkulasikan oleh gerakan otot dan tekanan jantung dorsal. Sistem saraf terdiri dari otak, ganglion, dan serangkaian saraf untuk mengatur respons dan fungsi tubuh. Sistem ekskresi menggunakan pembuluh Malphigi yang mengumpulkan dan menyaring bahan sisa dari usus, kemudian dikeluarkan melalui anus. Sedangkan dari referensi lain lebih rinci dijelaskan bahwa hewan yang termasuk dalam filum arthropoda memiliki ciri-ciri sebagai berikut⁵:

1. Eksoskeleton (dinding tubuh) bersegmen dan berkitin,
2. Kaki dan tubuh bersegmen,
3. Bernafas dengan permukaan tubuh, trakea dan insang,
4. Mulut beruas serta dapat beradaptasi untuk makan,
5. Alat pembuangan melalui pipa panjang di rongga tubuh,

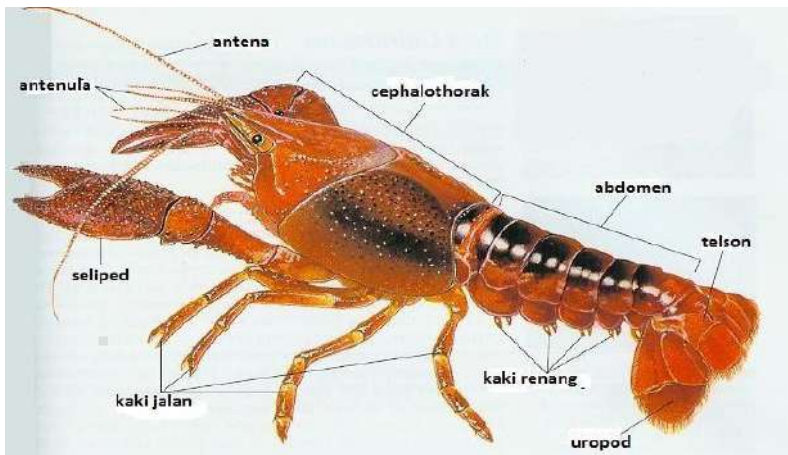
6. Alat pencernaan makanan terletak di sepanjang tubuh dan berbentuk tabung,

Ditambah beberapa ciri khusus Filum Arthropoda berikut:

1. Tubuh berbentuk bilateral simetris,
2. Mempunyai appendage yang beruas,
3. Tubuh yang terdiri dari beberapa ruas dengan kaki yang melekat di ruas tersebut,
4. Tubuh dibungkus oleh zat kitin,
5. Sistem saraf tangga tali,
6. Coelom pada hewan dewasa berisi darah (homocoel) dan berukuran kecil.

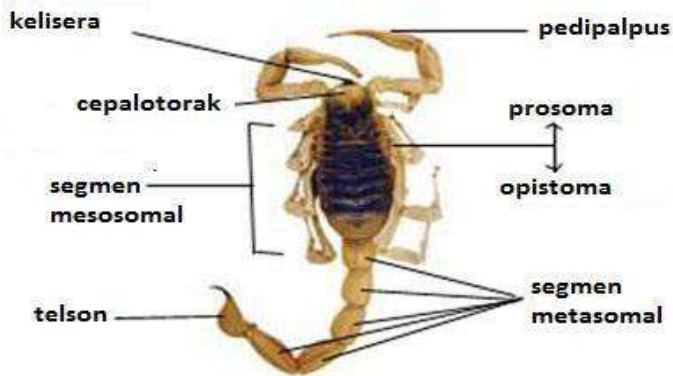
5.6.4 Klasifikasi Arthropoda

1. Kelas Crustaceae



Gambar 5. 21. Udang Karang

Crustacea adalah kelompok hewan dengan kulit keras, berasal dari kata Latin "crusta." Crustacea memiliki dua pasang antena dan beberapa anggota tubuh yang dimodifikasi sebagai bagian mulut, termasuk mandibula yang keras, serta kaki untuk berjalan di toraks. Udang, lobster, dan kepiting termasuk dalam kelompok ini. Meskipun sebagian besar crustacea hidup di air, ada yang dapat ditemukan di darat. Anggota badan crustacea sangat khusus, seperti pada udang galah yang memiliki 19 pasang anggota badan. Keistimewaan lainnya adalah kemampuan crustacea untuk meregenerasi anggota tubuh yang hilang.



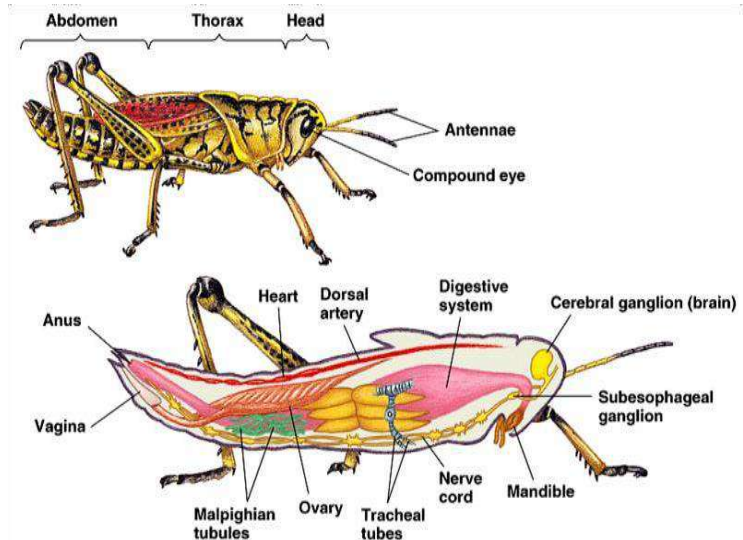
Gambar 5. 22. Kalajengking

2. Arachnoidea

Arachnoidea atau kelompok laba-laba, mencakup berbagai hewan termasuk kalajengking, dengan jumlah spesies mencapai 32. Meskipun sering dikaitkan dengan laba-laba, kelompok ini juga mencakup anggota lain. Arachnoidea termasuk hewan darat yang bisa hidup bebas atau parasit. Ukuran tubuh arachnoidea sangat bervariasi, dari kurang dari 0,5 mm hingga 9 cm. Arachnoidea bersifat karnivora, memakan hewan kecil di sekitarnya. Tubuh Arachnoidea terdiri dari sefalotoraks, abdomen, dan empat

pasang kaki, tanpa mandibula seperti beberapa arthropoda lainnya

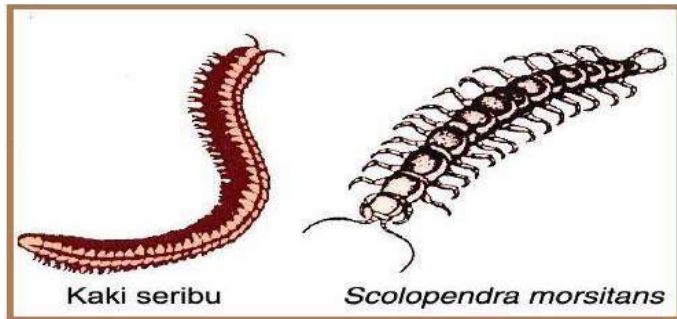
3. Insecta



Gambar 5. 23. Insekta (belalang)

Insecta mencakup serangga dan berasal dari bahasa Latin yang berarti "serangga." Ciri khas utamanya adalah memiliki enam kaki, sering disebut sebagai hexapoda. Anatomi Insecta terbagi menjadi tiga bagian utama: caput (kepala), thorax, dan abdomen. Pada kepala, terdapat antena, mata dengan variasi mata majemuk atau sederhana, serta mulut dengan bagian-bagian seperti mandibula dan maxilla. Thorax, bagian tengah tubuh, terdiri dari tiga segmen dengan masing-masing membawa satu pasang kaki, dan pada beberapa spesies, bisa membawa sayap untuk pergerakan dan terbang. Abdomen, bagian tubuh belakang, memiliki segmen-segmen internal seperti saluran pencernaan dan sistem reproduksi, dengan bagian terminal yang sering berisi organ genital.

4. Myriapoda



Gambar 5. 24. (kaki seribu dan kelabang)

Dalam sistem klasifikasi Myriapoda, terdapat perbedaan antara satu sistem dengan yang lain karena perbedaan pendapat di kalangan ilmuwan. Kelas Myriapoda terdiri dari dua ordo, yaitu Diplopoda (milipede) dan Chilopoda (centipede). Milipede memiliki tubuh panjang dengan banyak segmen, sementara centipede memiliki tubuh pipih, cepat, dan pasangan kaki pada setiap segmen tubuhnya.

5.7Annelida

Annelida termasuk filum hewan dengan tubuh terbagi menjadi segmen-segmen atau cincin-cincin. Annelida berasal dari kata "annulus," yang artinya cincin. Filum ini mencakup dua kelas utama: Oligochaeta dan Polychaeta. Oligochaeta termasuk cacing tanah seperti *Lumbricus* sp. dan *Eisenia foetida*, memiliki sedikit seta pada setiap segmen tubuh dan umumnya ditemukan di tanah, serta berperan dalam dekomposisi bahan organik. Polychaeta biasa hidup di lingkungan laut, memiliki banyak seta pada setiap segmen tubuh, dan beberapa jenisnya dimanfaatkan

sebagai bahan pangan, terutama di Kepulauan Maluku, Bangka Belitung, dan Lombok (Roslim, 2013).

5.7.1 Cacing Tanah

Cacing tanah memiliki tubuh yang terdiri dari segmen-segmen berbentuk cincin, dengan rambut kecil di setiap segmen kecuali dua segmen pertama. Prostomium, ujung anterior, berfungsi sebagai lokasi mulut. Organ kelamin jantan memiliki dua pasang testis pada segmen ke-10 dan 11, sementara organ kelamin betina (ovarium) terletak pada segmen ke-13. Pada tahap kedewasaan, terjadi penebalan epitelium pada posisi tertentu membentuk klitelium. Klitelium berperan sebagai tabung peranakan atau rahim dalam proses reproduksi cacing tanah, memainkan peran penting dalam pembentukan kapsul kokon tempat telur-telur diletakkan (Roslim, 2013).

Cacing tanah memiliki kandungan protein yang tinggi, mencapai sekitar 72%. Protein ini mengandung asam amino Arginin sebanyak 10,17% dan Triptofan sebanyak 4,14%. Kandungan asam amino ini secara signifikan lebih tinggi daripada yang terdapat dalam kacang tanah dan ikan salem untuk Arginin, serta lebih besar dari hati sapi untuk Triptofan. Karena nilai nutrisinya yang unggul, cacing tanah menjadi sumber protein potensial dan berkualitas untuk memenuhi kebutuhan pakan ternak. Cacing tanah dapat dianggap sebagai alternatif yang baik untuk meningkatkan kandungan protein dalam pakan ternak dengan mempertimbangkan ketersediaan dan kualitas nutrisi.

Cacing tanah sebagai hewan hermaphrodit, memiliki alat kelamin jantan dan betina dalam satu individu. Saat mencapai kedewasaan kelamin, cacing tanah membentuk klitelium selaku struktur yang membedakan spesies dan berfungsi sebagai alat reproduksi. Klitelium terbentuk melalui penebalan jaringan epitel permukaan dan mengandung banyak sel-sel kelenjar yang

menghasilkan sekret lendir. Fungsi utama sekret ini adalah dalam pembentukan kokon dan memberikan perlindungan kepada embrio selama perkembangannya (Roslim, 2013).



Gambar 5. 25. Cacing tanah *Lumbricus rubellus*

Cacing tanah *Lumbricus rubellus* memiliki bentuk tubuh membulat di bagian atas dan pipih di bagian bawah, dengan lendir dari kelenjar epidermis yang membantu pergerakannya. Tubuhnya terdiri dari 90-195 segmen, dengan klitelium pada segmen 27-32. Anusnya terletak di bagian akhir tubuh untuk membuang sisa makanan dan tanah. Ukuran tubuhnya relatif kecil, sekitar 4-7 cm, dengan warna coklat cerah hingga kemerahan di bagian punggung, krem di perut, dan kekuningan di ekor. Tubuhnya semi-transparan dan elastis (Ciptanto, 2011).

5.8 Penutup

1. Porifera berasal dari bahasa latin yaitu porus berarti pori dan fer berarti membawa. Porifera atau sponsa atau hewan berpori merupakan salah satu filum untuk hewan multiseluler yang paling sederhana. Hewan ini memiliki ciri yaitu tubuhnya berpori seperti busa atau spons sehingga porifera disebut juga sebagai hewan sponsa.
2. Echinodermata adalah hewan laut yang penting dalam ekosistem. Echinodermata berperan sebagai komponen

dalam rantai makanan, memakan sampah organik dan hewan kecil, yang membantu membersihkan lingkungan laut, terutama di pantai. Selain itu, Echinodermata dapat digunakan sebagai bioindikator untuk menilai kualitas lingkungan laut di ekosistem perairan.

3. Coelenterata atau Cnidaria adalah filum hewan invertebrata yang memiliki tubuh berbentuk tabung dengan rongga. Coelenterata memiliki tentakel yang mengelilingi mulut dan mengandung sel penyengat, cnidocytes, yang digunakan untuk menangkap mangsa atau mempertahankan diri. Coelenterata dapat tumbuh menjadi hewan invertebrata terbesar dan dapat ditemukan sebagai individu soliter atau membentuk koloni.
4. *Mollusca* berasal dari bahasa Latin yang berarti "lunak," adalah filum hewan di kingdom Animalia dengan tubuh lunak, sebagian besar mollusca dilindungi oleh cangkang. Mollusca termasuk kelompok triploblastik selomata, memiliki tiga lapisan utama selama perkembangan embrionik. Tubuh molluska terdiri dari kepala, kaki, dan massa viseral.
5. Arthropoda adalah filum dalam kingdom Animalia yang berasal dari bahasa Yunani, artinya "ruas" dan "kaki". Hewan-hewan dalam filum ini memiliki kaki yang beruas-ruas, memungkinkan gerakan yang fleksibel. Filum Arthropoda mencakup sekitar 900.000 spesies, termasuk serangga, laba-laba, udang, dan kepiting. Keanekaragaman ini tersebar di berbagai habitat, baik darat maupun air.
6. Annelida adalah filum dalam kingdom Animalia yang memiliki tubuh bersegmen atau bercincin. Nama "Annelida" berasal dari kata Latin "annulus" yang berarti "cincin." Filum ini terbagi menjadi kelas Oligochaeta (cacing tanah) dan Polychaeta (cacing laut). Salah satu ciri khas Annelida adalah keberadaan seta, yaitu rambut keras

dan pendek yang berfungsi dalam pergerakan, penataan posisi tubuh, dan respons terhadap lingkungan sekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Miller, S., & John P, H. 2016. *Zoology (10th Ed.)*. New York: Mcgraw-Hill.
- Abida, Indah Wahyu. 2012. *Potensi nutrisi Nereis sp. di perairan pantai Kwanyar Kabupaten Bangkalan*. Seminar Nasional Kedaulatan Pangan dan Energi, Fakultas Pertanian, Universitas Trunojoyo Madura
- Abrar, Carpenter, K. E., , M., Aeby, G., Aronson, R. B., Banks, S., Bruckner, A., & Wood, E. (2008). One-third of reef-building corals face elevated extinction risk from climate change and local impacts. *Science*, 321(5888), 560-563.
- Aronson, R. B. (1988). Palatability of five Caribbean ophiuroids. *Bulletin of marine science*, 43(1), 93-97.
- Campbell, Neil A, Jane B Reece, Lisa A Urry, Michael L Cain, Steven A Wasserman, Peter V Minorsky, and Robert B Jackson. 2008. BIOLOGI. Edited by Wibi Hardani and Prinandita Adhika. Jakarta: Erlangga.
- D. A. Pratiwi; Maryati, Sri; Srikini; Suharno; S, Bambang. 2007. Biologi Jilid 1 untuk SMA Kelas X hal 174. Jakarta. Penerbit Erlangga Diakses 23 Januari 2011.
- Dewi Mukti Larasati, 2015. *Pengaruh Induksi Racun Ubur-Ubur (Physalia Utriculus) Terhadap Perubahan Gambaran Morfologi Eritrosit Tikus Wistar (In Vivo) Dan Eritrosit Manusia (In Vitro)*. Fakultas Kedokteran Universitas Jember. Digital Repository Universitas Jember.
- Hale, Garron. 1999. *The Classification And Distribution Of The Class Scyphozoa*. Journal Biological Diversity: University Of Oregon.

- Johannes, E. 2008. *Isolasi, Karakterisasi Dan Uji Bioaktivitas Metabolit Sekunder Dari Hydroid Aglophenia Cupressina Lamoureaux Sebagai Bahan Dasar Antimikroba*. Program Pasca Sarjana, Makassar.
- Johnson, D., S. Wang, Dan A. Suzuki. 1999. *Edamame Vegetable Soybean For Colorado*. In Janick, J. Ed. *Perspectives On New Crops And New Uses*. Ashs Press, Alexandria.
- Khoirun Najah. 2022. Modul invertebrata berbasis modified free inquiry. Jogjakarta .
- Kozloff, E. N. (1990). *Invertebrates*. New York : Saunders College Publishing.
- Leksono, A. S., & Hakim, L. (2021). *Sistematika Hewan Vertebrata*. Universitas Brawijaya Press.
- Maulida, A, A, A. 2015. *Budidaya Cacing Tanah Unggul Ala Adam Cacing*. Penerbit PT Agro Media. Jakarta Selatan.
- Ni Made Susanri, 2014. *Mata Kuliah Taksonomi Invertebrata* Nontji, A. 1987. *Laut Nusantara*. Penerbit Djambatan. Jakarta.
- Reny E.P.M., Margareth S.P.L. 2013. Aktivitas sitotoksik dari Ekstrak Bintang Ular (*Ophiomastix Annulosa*) Terhadap Embrio Awal Bulu Babi (*Tripneustes Gratilla*), *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, Vol.3 No.1 Pada Dua Macam Media Pertumbuhan. *Jurnal penelitian*. Hlm. 1-9.
- Rusyana (2011) Shaqila Adelia, 2020. *Skrining Antibakteri Ekstrak Kasar Ubur-Ubur (Catostylus Sp.) Terhadap Bakteri Staphylococcus Aureus Dan Aeromonas Hydrophila*. Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Ilmu Kelautan Dan Perikanan Universitas Hasanuddin Makassar.

- Suwignyo, S. 2005. Avertebrata Air Jilid 2. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Suwignyo, S., Widigdo B, Wardiatno Y, Krisanti M. 2005. Avertebrata Air Jilid 2. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Ubaghs, G. 2012. General Characteristics of the Echinoderms. In
- Vahdettin Bayazit, 2009. Evaluation of Cortisol and Stress in Captive Animals. Australian journal of basic and applied sciences.
- Waluyo, L. (2010). Teknik dan Metode Dasar dalam Mikrobiologi. UMM Press. Malang.
- Watermann, B. 1999. Alternative Antifoulant Techniques Present and Future. LimnoMar: 1-6.
- Wijarni Dan Arfiati, D. 1984. *Diktat Avertebrata Air*. Fakultas Perikanan. Universitas Brawijaya. Malang
- Wilson, W. H. dan R. E. Ruff. 1988. *Sandworm and Bloodworm*. US Fish and Wildlife Service. Louisiana.
- Winarsi, H. 2007. Antioksidan Alami dan Radikal Bebas Potensi dan Aplikasinya dalam Kesehatan. Yogyakarta: Kanisius. Hal 105.

BAB 6

SUMBER DAN BIOTA LAUT YANG MEMILIKI AKTIVITAS SEBAGAI ANTIKANKER

Oleh Nita Triadisti

6.1 Prospek Agen Antikanker dari Biota Laut

Bahan alam laut memiliki beragam bioaktivitas yang berpotensi dalam pengobatan Bakteri dan jamur laut, serta spons, alga, dan karang, telah terbukti mampu menghasilkan metabolit sekunder baru dengan berbagai struktur kimia yang dapat digunakan untuk mengembangkan pengobatan antikanker. Prokariota, terutama bakteri laut seperti *Lactobacillus* dan *Noctiluca scintillans*, serta alga (rumput laut) telah menghasilkan berbagai senyawa antikanker poten. Demikian pula, mikroflora laut dan mikroalga yang menghasilkan sekitar 90% dari seluruh biomassa laut. Berbagai bioaktivitas telah dilaporkan dari bahan alam laut sehingga menunjukkan bahwa bahan alam laut merupakan sumber yang kaya akan anti kanker baru (Alves and Diederich, 2021).

Salah satu strategi pengobatan kanker yang paling efektif adalah melibatkan penargetan berbagai jalur transduksi sinyal seluler yang terlibat dalam tumorigenesis. Beberapa penelitian lebih lanjut terkait pengaturan jalur transduksi telah dilakukan pada berbagai organisme laut untuk melihat potensinya dalam mempengaruhi perkembangan pertumbuhan tumor dan

mengurangi karsinogenesis. Penelitian obat antikanker modern telah menelusuri senyawa sitotoksik kuat dengan fokus pada peningkatan efikasi, efisiensi, dan spesifisitas agen potensial (Malve, 2016).

Berbagai senyawa antikanker dari biota laut yang menjanjikan tergolong dalam beberapa golongan, dimana sebagian besar merupakan senyawa terpen (40,5%), peptida (19%), makrolida (14,3%), dan alkaloid (12%) (Flores, Dicato and Diederich, 2022). Mekanisme molekuler yang terlibat dalam aktivitas antikanker dari senyawa yang diteliti terutama adalah terkait penghentian siklus sel dengan menghambat kerja tubulin dan berbagai mekanisme aktivasi *caspases* 3, 8, 7, dan 9 yang menginduksi apoptosis (Boice and Bouchier-Hayes, 2016), depolarisasi potensial membran mitokondria (Aminzadeh-Gohari *et al.*, 2020), efek anti-migrasi melalui perilaku penghambatan pada saluran *transient receptor potential cation membrane-7* (TRPM-7) yang spesifik. Sifat anti-angiogenik dengan menahan sekresi faktor pertumbuhan endotel vaskular A; fungsi anti inflamasi dengan menekan ekspresi COX 2 dan iNOS (Alves *et al.*, 2018).

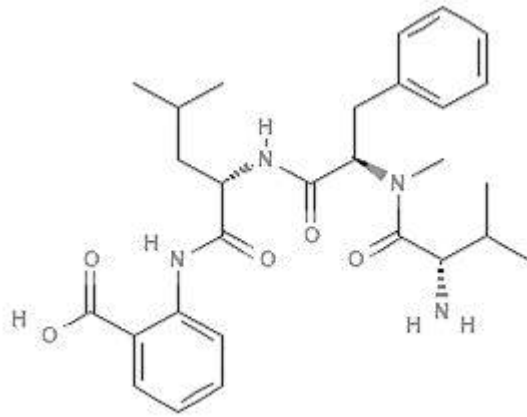
Laut memiliki lingkungan produktif yang luar biasa dimana obat-obatan potensial baru saat ini tengah dieksplorasi, terutama penelusuran agen antikanker baru. Hal ini menunjukkan adanya kemajuan luar biasa dalam pengembangan pengobatan kanker baru dari biota laut. Hal ini menunjukkan bahwa ekosistem laut memiliki potensi yang luar biasa dalam pengembangan pengobatan antikanker baru. Berbagai agen terapi antikanker dari biota laut telah dilaporkan memiliki berbagai properti mekanisme antikanker penting, diantaranya melalui mekanisme ekstrinsik kematian sel apoptosis dengan memicu jalur reseptor kematian (TNFR, TRAIL, dan Fas) juga melalui mekanisme intrinsik misalnya terkait mitokondria (pemrosesan proteolitik

caspase). Kemampuan dalam mempengaruhi jalur pensinyalan PI3K/AKT juga telah terbukti menjadi strategi efektif untuk penargetan terapi kanker, sebagai contoh agen antikanker golongan meroterpen menginduksi apoptosis siklus sel dengan menghambat jalur pensinyalan ERK/JNK/AKT, heteronemin mempengaruhi proses seluler serta kematian sel apoptosis melalui kaskade NF- κ B yang diinduksi TNF α karena penekanan proteasome (Sugumaran *et al.*, 2022).

6.2 Potensi Anti Kanker dari Jamur Laut

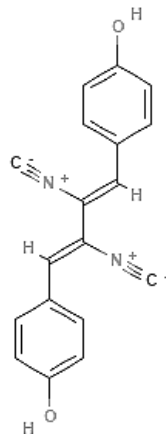
Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai metabolit jamur laut dengan beragam struktur kimia telah dilaporkan memiliki aktivitas terhadap beberapa target. Berbagai laporan menunjukkan lebih dari 1000 metabolit jamur laut memiliki potensi dalam pengobatan, termasuk sebagai antikanker, namun sejauh ini belum ada satupun senyawa bahan alam laut yang beredar di pasaran (Deshmukh, Prakash and Ranjan, 2018).

Simplicilliumtides A diperoleh dari kaldu jamur laut dalam, *Simplicillium obclavatum* EIODSF 020e yang ditemukan di pesisir timur Samudera Hindia telah dilaporkan memiliki aktivitas sitotoksik yang signifikan terhadap sel lini leukemia manusia HL-60 dengan nilai IC₅₀ 64,7 μ M (Liang, Luo and Luesch, 2019).



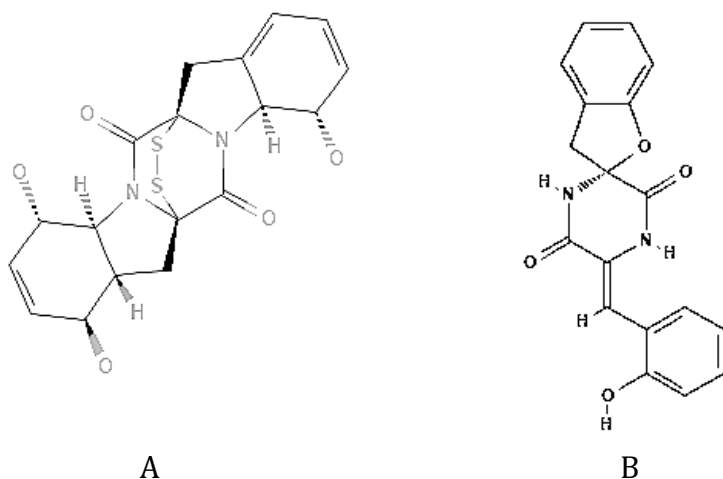
Gambar 6. 1. Simplicilliumtides A

Senyawa *Xanthocillin X* telah terbukti menghambat pertumbuhan berbagai sel lini kanker, antara lain : MCF-7, HeLa, HepG2, MDA-MB-231, NCI-H460, dan DU-145 dengan nilai IC₅₀ berturut-turut : 12,0, 7,0, 10,0 , 10,0, 8,0, dan 8,0 µg/mL (Zhao *et al.*, 2012).



Gambar 6. 2. Xanthocillin X

Penicillium brocae, MA-231 berhasil diperoleh dari jamur endosimbion mangrove yang kaya akan *Spirobrocazines C* dan *Brocazine G*. Struktur kimia *Spirobrocazine C* menunjukkan aktivitas terhadap sel A2780 dengan IC_{50} 59 μ M. *Brocazine G*, juga menunjukkan aktivitas luar biasa terhadap sel A2780CisR dan A2780, bahkan lebih signifikan daripada kinerja cisplatin dengan nilai IC_{50} berturut-turut 6,64 dan 6,61 μ M (Meng *et al.*, 2014).



Gambar 6. 3. A) Brocazine G, B) Spirobrocazine C

Lasiodiplodia sp. telah diperoleh dari *Excoecaria agallocha*, jamur endofit yang dipanen dari bakau, terdiri dari senyawa utama 2,4-dihidroksi-6-nonilbenzoat, yang memiliki aktivitas sitotoksik terhadap sel lini MMQ dan GH3 dengan nilai IC_{50} masing-masing 5,2 dan 13,0 μ M (Newman, 2018).

Jamur endosimbion *Lasiodiplodia theobromae* ZJ-HQ1 telah diekstraksi dari daun bakau laut *Acanthus ilicifolius* L. Preussomerin H, Preussomerin G, Sprechzomerin K, dan Preussomerin F berhasil diisolasi dari jamur ini dan

menunjukkan aktivitas biologis terhadap sel lini kanker manusia A549 dan MCF-7 dengan nilai IC₅₀ berkisar antara 5,9 hingga 8,9 μ M (Chen *et al.*, 2016).

Senyawa *7-O-methylnigrosporolide* yang diperoleh dari mikrospora jamur *Pestalotiopsis* yang bersumber dari hutan bakau menunjukkan potensi efek sitotoksik pada sel limfoma L5178Y, yang menunjukkan nilai IC₅₀ terendah yaitu 3,9 μ M (Liu *et al.*, 2016).

Tanaman bakau Mesir *Avicennia marina* dibudidayakan untuk mendapatkan jamur *Stemphylium globuliferum* dan senyawa yang berhasil diisolasi dari jamur tersebut antara lain : *Altersolanols A, B, N, Dihydroaltersolanol C*, dan *Alterporriol E* menunjukkan aktivitas sitotoksik terhadap sel lini limfoma tikus L5178Y dengan nilai IC₅₀ masing-masing : 3,7 dan 6,9 μ M (Teiten *et al.*, 2013). Jamur bakau *Pestalotiopsis clavispora*, telah diisolasi dari *Rhizophora harrisonii*, dan berhasil menghasilkan senyawa poliketida pestal poliol I. Jamur ini menunjukkan sitotoksitas terhadap sel lini limfoma tikus (Pérez Hemphill *et al.*, 2016).

Meroterpen yang diisolasi dari jamur laut *Penicillium* sp dan diklasifikasikan sebagai *miniolutelide* dilaporkan memiliki aktivitas sitotoksik yang signifikan terhadap sel kanker usus besar manusia HT-29 karena kemampuannya untuk menekan siklus sel dengan mengganggu regulasi jalur sinyal ERK/JNK/AKT (Zbakh *et al.*, 2020).

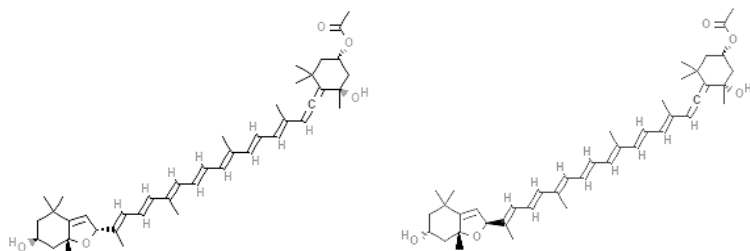
Senyawa alkaloid fumitremorgin C; *12,13-dihydroxy fumitremorgin C*; *Hetero spirocyclic γ -lactams Pseurotin A*, dan *pseurotin D* telah berhasil diisolasi dari *Aspergillus* sp yang berasal dari tanah laut dalam yang berada di wilayah pesisir timur laut Brasil. Semua senyawa ini menunjukkan toksisitas yang kuat terhadap sel kanker HCT116 dengan nilai IC₅₀ 4,5–72,0 μ M (Helal *et al.*, 2019).

Triptoquivalin T, triptoquivalin U, dan fiskalin B yang diisolasi dari *Neosartorya fischeri* telah terbukti menginduksi apoptosis terhadap sel lini NCI-H460 dan HCT-1. Bioaktivitas senyawa tersebut terhadap apoptosis sel HL-60 menunjukkan nilai IC₅₀ berturut-turut sebesar 82,3, 90,0, dan 8,8 μ M (Long *et al.*, 2018).

6.3 Potensi Anti Kanker dari Alga Laut

Beberapa spesies dinoflagellata mampu menghasilkan toksin, dimana beberapa racun ini sangat efektif dalam dosis yang lebih rendah bila dibandingkan dengan *camptothecin*, *doxorubicin*, dan *5-fluorouracil*. Protein tirosin kinase terbukti secara efisien dihambat oleh *Malhamenicilipin-A* yang berhasil diperoleh dari *Poterioochromonas mathumensis* (Anand *et al.*, 2018).

Senyawa Dinokrom A dan B adalah dua karotenoid yang diperoleh dari spesies akuatik *Peridinium bipes* (Maoka, Tsushima and Nishino, 2002). Sifat anti-proliferasi *Dinochrome A* telah terbukti lebih efektif terhadap sel lini kanker manusia, seperti OST (osteosarcoma), HeLa (kanker serviks), dan GOTO (neuroblastoma).



Gambar 6. 4. A) Dinokrom A, B) Dinokrom B

Efek sitotoksitas minyak Lingshi A, yang diperoleh dari *Amphidinium* sp., diamati terhadap sel lini kanker paru-paru manusia A-549 dan sel lini leukemia myeloblastik manusia. Amphidinolide, senyawa lain yang dipisahkan dari *Amphidinium* sp., terbukti memiliki aktivitas sitotoksik, anti tumor, dan antineoplastik melalui alkilasi akibat interkalasi topoisomerase melalui kerusakan DNA (Bosch *et al.*, 2019).

Ekstrak *Caulerpa microphysa* memiliki kemampuan untuk meregulasi sel leukemia manusia (HL-60, BCRC 60027), dalam penelitian tersebut dilaporkan bahwa ekstrak *C. microphysa* memiliki aktivitas antioksidan dan anti-proliferasi pada sel lini HeLa dan Huh-7 (Tanna, Yadav and Mishra, 2020).

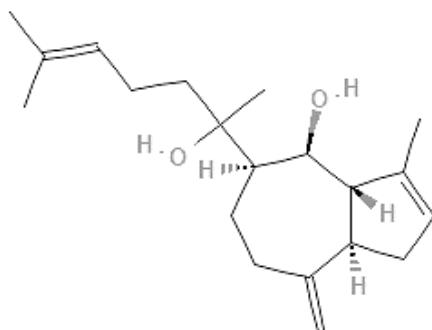
Kandungan kimia yang diekstraksi dari *Avrinvillea nigricans*, seperti *Nigriccanoides* A dan B memiliki aktivitas antitumor terhadap MCF-7 dan kanker usus besar manusia HCT-116 (Williams *et al.*, 2007). *Cymopolia barbata* dan *Neomeris annulata* kaya akan kandungan senyawa 4-isosimobarbatol dan simobarbatol yang berperan dalam aktivitas antimitogenik (Barzkar *et al.*, 2019). Senyawa Kahalalide, yang merupakan peptida linier dan siklik yang diisolasi dari spesies *Elysia Rufescens* telah mencapai uji klinis fase II yang memverifikasi efeknya pada prostat. *Caulerpenyne* berasal dari spesies alga laut *Caulerpa* spp. telah menunjukkan bioaktivitasnya melawan berbagai sel kanker manusia (Tripathi, Shalini and Singh, 2020).

Diarylheptanoids, seperti *cymodiene*, *cymodienol*, *nodosal*, dan *isocymodine*, telah berhasil diisolasi dari *Cymodocea nodosa*, bersama dengan diterpenebrominasi trisiklik lainnya, dilaporkan memiliki aktivitas sitotoksik terhadap sel karsinoma paru NSCLC-N6 (Kontiza *et al.*, 2005).

Ganggang hijau *Capsosiphon fulvescens*, yang merupakan makanan fungsional Korea telah dieksplorasi potensi antikanker dan imunomodulatornya. Polisakarida sulfat yang diperoleh dari *C. fulvescens* (SPS-CF) memiliki aktivitas stimulasi imun yang luar biasa pada sel murine RAW264.7 juga memiliki aktivitas apoptosis sel kanker usus besar manusia HT-29 (Choi *et al.*, 2019). SPS-CF dapat mensintesis mediator proinflamasi dengan merangsang makrofag untuk melepaskan IL-6, TNF- α , PGE2, dan NO. Hal ini menunjukkan penerapan SPS-CF yang menjanjikan sebagai agen imunomodulator yang digabungkan dengan agen antikanker lambung yang telah diidentifikasi sebelumnya (Manlusoc *et al.*, 2019).

Fucales dan *Dictyotales* adalah spesies ganggang coklat yang kaya akan metabolit sekunder yang diketahui berguna dalam mengobati berbagai jenis kanker. Teks pengobatan dari Tiongkok dan Ayurveda menunjukkan bahwa ganggang coklat telah diresepkan untuk pengobatan banyak jenis kanker (Sanjeeva *et al.*, 2018). Alga coklat, *Laminaria*, telah diindikasikan sebagai suplemen makanan untuk kanker payudara, yang prevalensinya terjadi pada sekitar seperenam wanita di Jepang dan Amerika Serikat. Spesies *Sargassum* dan *Laminaria* juga telah banyak digunakan sebagai obat herbal kanker tradisional yang potensial di Tiongkok (Liu *et al.*, 2016). Polisakarida sulfat yang berasal dari ganggang coklat *Saccharina japonica* dan *Undaria pinnatifida* telah dilaporkan memiliki aktivitas terhadap sel kanker payudara T-47D dan SK-MEL-28 (Gutiérrez-Rodríguez *et al.*, 2018). Alga rumput laut coklat kaya fukoidan yang diisolasi dari *U. pinnatifida* dan *S. japonica* telah secara ekstensif mengurangi proliferasi sel lini kanker payudara dan melanoma serta pembentukan koloni. Polisakarida sulfat dari *S. japonica* dan *U. pinnatifida* telah terbukti memiliki aktivitas yang dapat membantu dalam pengobatan kanker (Malyarenko and Ermakova, 2017).

Senyawa utama telah berhasil diekstraksi dari *Dictyota sp.* dan *Halimeda stuposa*, termasuk diterpen seperti *dictyol E*, *Xenicane diterpene 4 hydroxydictyolactone I*, *indole-3-carboxaldehyde* dan *8,11-dihydroxypachydictyol A*. Potensi sitotoksik dari berbagai senyawa ini telah dilaporkan terhadap sel lini manusia dan mamalia, antara lain : MCF-7, CHO-K1, SF 268, HT-29, dan H460 (El-Shaibany *et al.*, 2020).



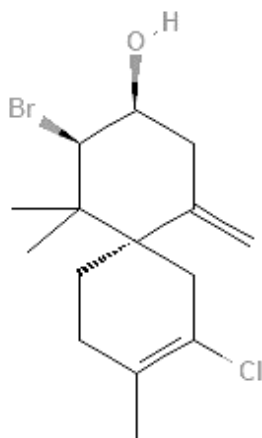
Gambar 6. 5. Dictyol E

Ekstrak air *Sargassum oligocystum* menunjukkan potensi antikanker pada sel tumor manusia, seperti K562 dan Daudi (Zandi *et al.*, 2010). Beberapa spesies *Sargassum* seperti : *S. fusiforme*, *S. confusum*, *S. lomentaria*, dan *S. kjellmanianum* memiliki kompetensi imunostimulator yang diujikan pada hewan pengerat dan memiliki potensi sitotoksik apoptosis pada sel tumor manusia tertentu (Sanjeewa *et al.*, 2017).

Ekstrak *Ascophyllum nodosum* dengan kandungan senyawa fukoidan berbobot molekul rendah memiliki aktivitas mencegah infiltrasi sel kanker payudara manusia dengan menghentikannya berikatan dengan matriks ekstraseluler dan membatasi penetrasi sel adenokarsinoma usus besar (Anastyuk *et al.*, 2012). *Ascophyllan*, yang diperoleh dari *Ascophyllum*, ganggang coklat

telah dilaporkan memiliki aktivitas terhadap sel melanoma B16 (Abu *et al.*, 2015).

Dalam alga merah, terdapat banyak metabolit sekunder termasuk senyawa turunan halogen. Aktivitas antitumor elatol dan seskuiterpen yang diisolasi dari alga merah *Laurencia microcladia* dilaporkan aktivitasnya terhadap sel lini Colo 205, U-937, dan B16F10 (Bacellos Marini *et al.*, 2019). Selain itu, efek sitotoksik Elatol telah dipelajari pada tikus C57Bl6 dengan sel B16F10, di mana senyawa tersebut menginduksi apoptosis sel dengan memicu penghambatan pertumbuhan pada tahap G1 dan sub-G1 (Campos *et al.*, 2012). Analisis Western blot menunjukkan bahwa *cyclin-D1*, *cyclin-E*, *cyclin-dependent kinase* (CDK) 2, dan *cdk4* mengalami penurunan dengan adanya elatol.



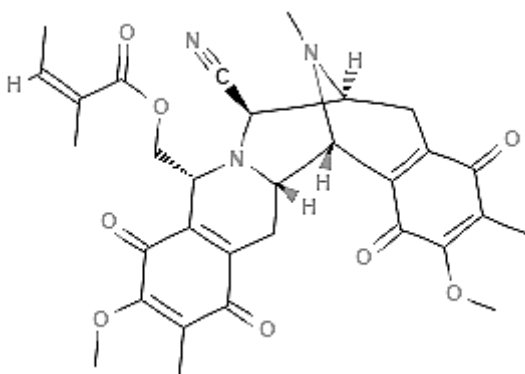
Gambar 6. 6. Elatol

Aktivitas anti-proliferasi terhadap sel lini adenokarsinoma serviks manusia (HeLa) dari ekstrak etanol dari ganggang merah *Corallina pilulifera* telah dilaporkan (Kwon *et al.*, 2007). Dalam penelitian lain, rumput laut merah *Acanthospora spicifera* menunjukkan aktivitas tumorisidal pada sel lini A549, termasuk

penurunan jumlah tumor dan jumlah viabilitas sel. Spesies *Rhodophyceae* lainnya juga menunjukkan aktivitas anti-proliferasi, yaitu *Enteromorpha lingulata* dan *Gracilaria edulis* yang dievaluasi aktivitasnya terhadap sel lini HCT15 (Murugan and Iyer, 2012).

6.4 Potensi Anti Kanker Dari Invertebrata Laut

Renieramycin M merupakan senyawa yang berasal dari spons laut yang telah terbukti memiliki aktivitas antikanker. *Renieramycin* merupakan senyawa *tetrahydroisoquinoline* dan memiliki bentuk *tetrahydro-quinoline* (Pinkhien *et al.*, 2016). Aktivitas apoptosis oleh *renieramycin M* Pada karsinoma paru disebabkan oleh jalur apoptosis p53 (Rodrigo and Costa, 2019). Senyawa lain yang berasal dari spons laut : Monanchosidin yang merupakan senyawa alkaloid polisiklik guanidin, diisolasi dari *Monanchora pulchra*, senyawa ini diuji aktivitas apoptosis sel pada sel leukemia monositik manusia (Dyshlovoy *et al.*, 2016).



Gambar 6. 7. Renieramycin M

Senyawa Spongistatin-I yang diisolasi dari spesies *Spongia* dilaporkan memiliki aktivitas untuk menginduksi kematian sel pada beberapa sel ganas dengan memicu terhentinya pertumbuhan karena kemampuannya dalam pembatasan. Senyawa Heteronemin yang berasal dari spons laut juga dilaporkan memiliki aktivitas terhadap sel lini kanker manusia A549, ACHN, dan A498 juga memiliki aktivitas antitumor (Wu *et al.*, 2015). Heteronemin merupakan sesterterpen yang berasal dari spons, memiliki pengaruh untuk mempengaruhi proses seluler dan apoptosis oleh penghambatan proteasome (Schumacher *et al.*, 2010).

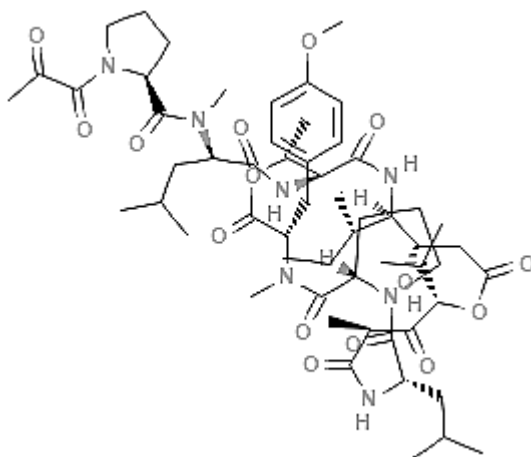
Senyawa Manzamine A terdapat pada banyak spons laut dan juga menunjukkan efek antitumor (Gomes *et al.*, 2016), selanjutnya *8-hydroxymanzamine A* adalah senyawa yang diisolasi dari jenis spons lain yang menunjukkan aktivitas antitumor ringan (Samoylenko *et al.*, 2009). *Sigmatocia pumila* dan *Holothuria atra* (teripang) telah dipelajari aktivitas antitumornya secara *in vitro* dan *in vivo*. *S. pumila* dan *H. atra* menunjukkan aktivitas antitumor tingkat tinggi terhadap adenokarsinoma payudara manusia (MCF7), sel karsinoma duktal payudara manusia (T47D), sel lini adenokarsinoma serviks manusia (HeLa), dan sel adenokarsinoma kolorektal manusia (WiDr) (Nursid, Marraskuranto and Chasanah, 2020).

Moluska seperti tiram, kerang, dan abalon merupakan penghasil peptida bioaktif yang memiliki sifat antiproliferasi dan antimetastatik pada sel kanker, termasuk kanker payudara, prostat, paru-paru, dan usus besar. Selain itu, teripang yang merupakan makanan laut yang populer di banyak negara Asia ternyata banyak mengandung sejumlah glikosida triterpen dan berbagai asam amino penting juga asam lemak tak jenuh ganda. Frondanol A5, glikolipid yang diperoleh dari teripang Atlantik Utara (*Cucumaria frondosa*) telah menunjukkan aktivitas

penghambatan karsinogenesis usus besar secara in vitro dan mengurangi kanker usus besar pada hewan (Correia-da-Silva *et al.*, 2017).

6.5 Potensi Anti Kanker dari Vertebrata Laut

Tunikata yang diklasifikasikan sebagai filum Chordata dilaporkan memiliki efek sitotoksik yang kuat terhadap banyak sel lini kanker. Senyawa dari tunikata telah dilaporkan antara lain : senyawa Plitidepsin (dari *Aplidium albicans*) yang sudah mencapai uji fase III untuk myeloma kambuhan/refrakter pada tahun 2016, dan juga senyawa *Haterumaimide J* (dari *Lissoclinum* sp) yang dilaporkan memiliki aktivitas sitotoksik terhadap sel leukemia P388 (Sugumaran *et al.*, 2022).



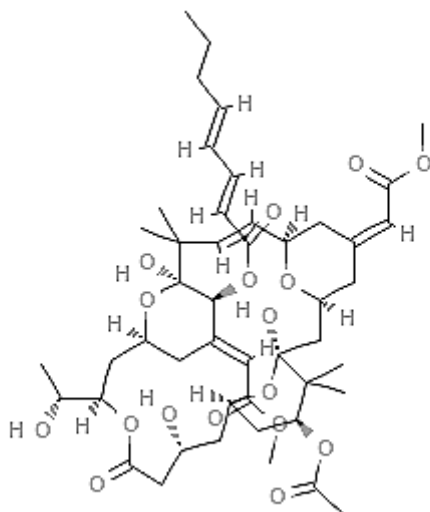
Gambar 6. 8. Plitidepsin

Alkaloid baru, N-metil beta-karbon yang berhasil diperoleh dari *Eudistoma gilboverde* telah menunjukkan aktivitas sitotoksik terhadap sel lini manusia (sel THP-1, HL-60, dan HT-460)

(Rashid, Gustafson and Boyd, 2001). Oda et al (2007) telah melaporkan sitotoksitas dari *lissoclibadins* serta *lissoclinotoxins* dari *Lissoclinum cf* Badium terhadap sembilan sel lini kanker manusia yang berbeda untuk menguji efektivitas antikankernya di masa depan (Oda et al., 2007)

6.6 Potensi Anti Kanker Dari Bakteri Laut

Zat bioaktif yang diperoleh dari pseudomonas laut beragam antara lain pirol, pseudopeptida, benzaldehida, fenantrena, pirolidinedion, andrimid, phenazine, quinoline, phloroglucinol, phthalate, moiramide, bushrin dan zafrin (Gupta et al., 2013). Secara *in vivo*, *Lactobacillus* dan *Noctiluca scintillans* menunjukkan aktivitas pencegahan kanker terhadap kanker kolorektal dan melanoma (Baindara and Mandal, 2020). *Lactobacillus* dapat meminimalkan produksi nitro-reduktase dan azo-reduktase, hal ini diujikan secara *in vivo* pada tikus yang menunjukkan bahwa *Lactobacillus* dapat mengurangi kejadian kanker usus besar (Nowak, Paliwoda and Błasiak, 2019). *Bacillus laterosporus* menghasilkan Basiliskamides A yang merupakan senyawa aktif Anti-HeLa, Anti-HepG2, dan memiliki sifat sitotoksik. Toksin bakteri adalah sitotoksin paling kuat yang dihasilkan oleh bakteri itu sendiri, seperti *Cytolysin A* (ClyA) yang merupakan toksin enzim bakteri yang dihasilkan oleh *Enterococcus faecalis*, yang bekerja dengan membuat pori-pori pada membran sel eukariotik dan memicu kematian sel yang dimediasi caspase. Beberapa penelitian menemukan bahwa uji *in vivo* pada tikus dengan strain *Salmonella typhimurium* atau *E. coli* yang mengekspresikan toksin *ClyA* dapat menghambat pertumbuhan tumor (Sedighi et al., 2019).



Gambar 6. 9. Bryostatin

Halomonas spp yang berasal dari laut, telah dinyatakan dapat mencegah perkembangan HepG2 dan adenokarsinoma lambung. Bakteri laut A5S-46 dan strain ZZ338 dari *sea squirts* yang kaya akan aktinomisin D, mampu memicu penghentian siklus sel yang menyebabkan apoptosis pada sel lini MCF7 dan secara ekstensif menghambat proliferasi sel glioma U251 manusia dengan mempengaruhi regulasi enzim glioma (El-Garawani *et al.*, 2020).

Komposit polimer yang sangat heterogen, yaitu eksopolisakarida (EPS) dan EPS sulfat yang diekstraksi dari *H. stenophila* menunjukkan efek pro-apoptosis pada sel T-leukemia dalam lingkungan hipersalin. Hanya sel tumor yang ditemukan lebih rentan terhadap induksi stres oksidatif oleh EPS sulfat (B100S), sedangkan sel T tetap bersifat imun (Asker *et al.*, 2018).

Senyawa sitotoksik asam hidroksil fenil pirola dikarboksilat yang berhasil diisolasi dari *Halomonas* spp laut, yaitu : asam 3,4-di-(4-hidroksi-fenil) pirola-2,5-dikarboksilat (HPPD-2), asam 3-(4-hidroksifenil)-4-fenilpirol-2,5-dikarboksilat (HPPD-1), indol-3-karboksaldehid, turunan indol lainnya : 3-(hidroksiasetil)-indol, asam indol-3-asetat, asam indol-3-karboksilat (Wang *et al.*, 2006). Baik HPPD-1 dan HPPD-2 menunjukkan potensi aktivitas antikanker dengan menghambat *12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate* (TPA) yang memediasi fasilitasi antigen virus Epstein-Barr (Regmi *et al.*, 2015).

Berbagai bakteri laut merupakan sumber dari senyawa-senyawa yang memiliki potensi sebagai anti kanker diantaranya adalah : *Cyanobacterium notostoc* spp yang menghasilkan *Cryptophycins* yang memiliki sifat sitotoksik dan anti proliferasi, *Lyngbya majuscula* menghasilkan senyawa *Laxaphycin A* yang memiliki efek sitotoksik terhadap sel limfoblastik manusia, *Salinospora* sp yang menghasilkan senyawa Salinosporamide A yang memiliki aktivitas antitumor, *Geitlerinema* sp sebagai sumber senyawa Ankaraholide A yang memiliki aktivitas antitumor terhadap tumor paru-paru NCI-H-460, karsinoma payudara, dan kanker usus besar, *Lyngbya bouillonii* menghasilkan Apratoxin A yang memiliki potensi antikanker pada osteosarkoma U2OS, adenokarsinoma kolon HT29, dan karsinoma serviks HeLa, *Lyngbya majuscula* yang dilaporkan menghasilkan senyawa Aurilide B dengan potensi antitumor pada tumor paru-paru manusia, *Nostoc* sp. menghasilkan senyawa *Cryptophycin 1* dengan sifat sitotoksik pada leukemia, karsinoma usus besar, karsinoma payudara, dan karsinoma serviks HeLa, *Symploca* sp. yang menghasilkan Belamide A dengan sifat sitotoksik pada kanker usus besar HCT116, *Lyngbya* sp. menghasilkan senyawa Bisebromoamida yang memiliki efek antitumor pada epitel HeLa S3 dan kanker paru-paru, *Oscillatoria*

margaritifera menghasilkan senyawa *ethyl tumonoate* yang merupakan antikanker pada kanker paru-paru H-460, *Symplocos hydroides* menghasilkan Malevamide D yang memiliki sifat sitotoksik pada kanker paru A549, kanker usus besar HT29, dan melanoma MEL-28, *Bacillus laterosporus* menghasilkan senyawa basiliskamides A sebagai anti-HeLa, Anti-HepG2, dan memiliki aktivitas sitotoksik (Sugumaran *et al.*, 2022).

DAFTAR PUSTAKA

- Abu, R. *et al.* (2015) 'Anti-metastatic effects of the sulfated polysaccharide ascophyllan isolated from *Ascophyllum nodosum* on B16 melanoma', *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 458(4), pp. 727–732. doi: 10.1016/j.bbrc.2015.01.061.
- Alves, C. *et al.* (2018) 'From marine origin to therapeutics: The antitumor potential of marine algae-derived compounds', *Frontiers in Pharmacology*, 9(AUG), pp. 1–24. doi: 10.3389/fphar.2018.00777.
- Alves, C. and Diederich, M. (2021) 'Marine Natural Products as Anticancer Agents 2.0', *Marine Drugs*, 21(4), pp. 10–12. doi: 10.3390/md21040247.
- Aminzadeh-Gohari, S. *et al.* (2020) 'From old to new — Repurposing drugs to target mitochondrial energy metabolism in cancer', *Seminars in Cell and Developmental Biology*, 98(March 2019), pp. 211–223. doi: 10.1016/j.semcdb.2019.05.025.
- Anand, J. *et al.* (2018) 'Bioactive potential and composition analysis of sulfated polysaccharide from *Acanthophora spicifera* (Vahl) Borgeson', *International Journal of Biological Macromolecules*, 111(May), pp. 1238–1244. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.01.057.
- Anastyuk, S. D. *et al.* (2012) 'Anticancer activity in vitro of a fucoidan from the brown alga *Fucus evanescens* and its low-molecular fragments, structurally characterized by tandem mass-spectrometry', *Carbohydrate Polymers*, 87(1), pp. 186–194. doi: 10.1016/j.carbpol.2011.07.036.
- Asker, M. S. *et al.* (2018) 'Production of exopolysaccharides from novel marine bacteria and anticancer activity against hepatocellular carcinoma cells (HepG2)', *Bulletin of the National Research Centre*, 42(1). doi: 10.1186/s42269-018-0032-3.

- Bacellos Marini, M. *et al.* (2019) 'Cytotoxic activity of halogenated sesquiterpenes from *Laurencia dendroidea* Maíra', *Phytotherapy Research*, 38(4), pp. 243–248.
- Baindara, P. and Mandal, S. M. (2020) 'Bacteria and bacterial anticancer agents as a promising alternative for cancer therapeutics', *Biochimie*, 177(October), pp. 164–189. doi: 10.1016/j.biochi.2020.07.020.
- Barzkar, N. *et al.* (2019) 'Metabolites from marine microorganisms, micro, and macroalgae: Immense scope for pharmacology', *Marine Drugs*, 17(8). doi: 10.3390/md17080464.
- Boice, A. and Bouchier-Hayes, L. (2016) 'Targeting apoptotic caspases in cancer Ashley', *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Cell Research*, 176(1), pp. 139–148. doi: 10.1016/j.bbamcr.2020.118688.Targeting.
- Bosch, L. *et al.* (2019) 'Amphidinolides and Iriomoteolides, Potent Anticancer Macrolides', in *2nd Molecules Medicinal Chemistry Symposium (MMCS): Facing Novel Challenges in Drug Discovery*, p. 41. doi: 10.3390/proceedings2019022041.
- Campos, A. *et al.* (2012) 'Anti-tumour effects of elatol, a marine derivative compound obtained from red algae *Laurencia microcladia*', *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 64(8), pp. 1146–1154. doi: 10.1111/j.2042-7158.2012.01493.x.
- Chen, S. *et al.* (2016) 'Cytotoxic and Antibacterial Preussomerins from the Mangrove', *Journal of Natural Products*, 79(9), pp. 2397–2402. doi: 10.1021/acs.jnatprod.6b00639.1D.
- Choi, J. W. *et al.* (2019) 'Glucuronorhamnoxylan from *Capsosiphon fulvescens* inhibits the growth of HT-29 human colon cancer cells in vitro and in vivo via induction of apoptotic cell death', *International Journal of Biological Macromolecules*, 124(March), pp. 1060–1068. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.12.001.
- Correia-da-Silva, M. *et al.* (2017) 'Anticancer and cancer

preventive compounds from edible marine organisms', *Seminars in Cancer Biology*, 46(October), pp. 55–64. doi: 10.1016/j.semcancer.2017.03.011.

Deshmukh, S. K., Prakash, V. and Ranjan, N. (2018) 'Marine fungi: A source of potential anticancer compounds', *Frontiers in Microbiology*, 8(JAN), pp. 1–24. doi: 10.3389/fmicb.2017.02536.

Dyshlovoy, S. A. *et al.* (2016) 'Guanidine alkaloids from the marine sponge *Monanchora pulchra* show cytotoxic properties and prevent EGF-induced neoplastic transformation in vitro', *Marine Drugs*, 14(7), pp. 1–17. doi: 10.3390/md14070133.

El-Garawani, I. M. *et al.* (2020) 'A newly isolated strain of *Halomonas* sp. (HA1) exerts anticancer potential via induction of apoptosis and G2/M arrest in hepatocellular carcinoma (HepG2) cell line', *Scientific Reports*, 10(1), pp. 1–15. doi: 10.1038/s41598-020-70945-8.

El-Shaibany, A. *et al.* (2020) 'The Yemeni Brown Algae *Dictyota dichotoma* Exhibit High in Vitro Anticancer Activity Independent of Its Antioxidant Capability', *BioMed Research International*, 2020. doi: 10.1155/2020/2425693.

Florea, C., Dicato, M. and Diederich, M. (2022) 'Immune-modulating and anti-inflammatory marine compounds against cancer', *Seminars in Cancer Biology*, 80(May), pp. 58–72. doi: 10.1016/j.semcancer.2020.02.008.

Gomes, N. G. M. *et al.* (2016) 'Marine invertebrate metabolites with anticancer activities: Solutions to the "supply problem"', *Marine Drugs*, 14(5). doi: 10.3390/md14050098.

Gupta, A. P. *et al.* (2013) 'Marine resource: A promising future for anticancer drugs', *Studies in Natural Products Chemistry*, 40, pp. 229–325. doi: 10.1016/B978-0-444-59603-1.00008-4.

Gutiérrez-Rodríguez, A. G. *et al.* (2018) 'Anticancer activity of seaweeds', *Drug Discovery Today*, 23(2), pp. 434–447. doi: 10.1016/j.drudis.2017.10.019.

Helal, G. A. *et al.* (2019) 'Pseurotin A from *Aspergillus fumigatus* fr.

- AUMC 8002 exhibits anticancer activity against hepatocellular carcinoma in vitro and in vivo', *Slovenian Veterinary Research*, 56(2), pp. 59–74. doi: 10.26873/SVR-610-2019.
- Kontiza, I. *et al.* (2005) 'Cymodienol and cymodiene: New cytotoxic diarylheptanoids from the sea grass *Cymodocea nodosa*', *Tetrahedron Letters*, 46(16), pp. 2845–2847. doi: 10.1016/j.tetlet.2005.02.123.
- Kwon, H. J. *et al.* (2007) 'Induction of apoptosis in HeLa cells by ethanolic extract of *Corallina pilulifera*', *Food Chemistry*, 104(1), pp. 196–201. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.11.031.
- Liang, X., Luo, D. and Luesch, H. (2019) 'Advances in exploring the therapeutic potential of marine natural products', *Pharmacological Research*, 147(September). doi: 10.1016/j.phrs.2019.104373.
- Liu, S. *et al.* (2016) 'Cytotoxic 14-Membered Macrolides from a Mangrove-Derived Endophytic Fungus, *Pestalotiopsis microspora*', *Journal of Natural Products*, 79(9), pp. 2332–2340. doi: 10.1021/acs.jnatprod.6b00473.
- Long, S. *et al.* (2018) 'Antitumor activity of quinazolinone alkaloids inspired by marine natural products', *Marine Drugs*, 16(8), pp. 1–18. doi: 10.3390/md16080261.
- Malve, H. (2016) 'Exploring the ocean for new drug developments: Marine pharmacology', *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 8(2), pp. 83–91. doi: 10.4103/0975-7406.171700.
- Malyarenko, O. S. and Ermakova, S. P. (2017) 'Fucoidans: Anticancer Activity and Molecular Mechanisms of Action', *Seaweed Polysaccharides: Isolation, Biological and Biomedical Applications*, (20), pp. 175–203. doi: 10.1016/B978-0-12-809816-5.00010-4.
- Manlusoc, J. K. T. *et al.* (2019) 'Pharmacologic application potentials of sulfated polysaccharide from marine algae',

Polymers, 11(7). doi: 10.3390/polym11071163.

- Maoka, T., Tsushima, M. and Nishino, H. (2002) 'Isolation and characterization of dinochrome A and B, anti-carcinogenic active carotenoids from the fresh water red tide *Peridinium bipes*', *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 50(12), pp. 1630–1633. doi: 10.1248/cpb.50.1630.
- Meng, L. H. *et al.* (2014) 'Brocazines A-F, cytotoxic bisthiodiketopiperazine derivatives from *Penicillium brocae* MA-231, an endophytic fungus derived from the marine mangrove plant *Avicennia marina*', *Journal of Natural Products*, 77(8), pp. 1921–1927. doi: 10.1021/np500382k.
- Murugan, K. and Iyer, V. (2012) 'Antioxidant and Antiproliferative Activities of Marine Algae, *Gracilaria edulis* and *Enteromorpha lingulata*, from Chennai Coast', *International Journal of Cancer Research*, 8(1), pp. 15–26. doi: 10.3923/ijcr.2012.15.26.
- Newman, D. J. (2018) 'Are Microbial Endophytes the "Actual" Producers of Bioactive Antitumor Agents?', *Trends in Cancer*, 4(10), pp. 662–670. doi: 10.1016/j.trecan.2018.08.002.
- Nigam, M. *et al.* (2019) 'Marine anticancer drugs and their relevant targets: a treasure from the ocean', *DARU, Journal of Pharmaceutical Sciences*, 27(1), pp. 491–515. doi: 10.1007/s40199-019-00273-4.
- Nowak, A., Paliwoda, A. and Błasiak, J. (2019) 'Anti-proliferative, pro-apoptotic and anti-oxidative activity of *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* strains: A review of mechanisms and therapeutic perspectives', *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(21), pp. 3456–3467. doi: 10.1080/10408398.2018.1494539.
- Nursid, M., Marraskuranto, E. and Chasanah, E. (2020) 'Liquid Chromatography High-Resolution Mass Spectrometry Analysis, Phytochemical and Biological Study of Two Aizoaceae Plants: A New Kaempferol Derivative from

- Trianthema portulacastrum L.', *Pharmacognosy Research*, 10(October), pp. 24–30. doi: 10.4103/pr.pr.
- Oda, T. *et al.* (2007) 'Cytotoxicity of lissoclibadins and lissoclinotoxins, isolated from a tropical ascidian *Lissoclinum* cf. *badium*, against human solid-tumor-derived cell lines', *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 30(2), pp. 385–387. doi: 10.1248/bpb.30.385.
- Pérez Hemphill, C. F. *et al.* (2016) 'Polyketides from the Mangrove-derived fungal endophyte *Pestalotiopsis clavispora*', *Tetrahedron Letters*, 57(19), pp. 2078–2083. doi: 10.1016/j.tetlet.2016.03.101.
- Pinkhien, T. *et al.* (2016) 'Bishydroquinone renieramycin M induces apoptosis of human lung cancer cells through a mitochondria-dependent pathway', *Anticancer Research*, 36(12), pp. 6327–6333. doi: 10.21873/anticancer.11229.
- Rashid, M. A., Gustafson, K. R. and Boyd, M. R. (2001) 'New cytotoxic N-methylated β -carboline alkaloids from the marine ascidian *Eudistomagilboverde*', *Journal of Natural Products*, 64(11), pp. 1454–1456. doi: 10.1021/np010214+.
- Regmi, S. C. *et al.* (2015) 'The anti-tumor activity of succinyl macrolactin a is mediated through the β -catenin destruction complex via the suppression of tankyrase and PI3K/Akt', *PLoS ONE*, 10(11), pp. 1–15. doi: 10.1371/journal.pone.0141753.
- Rodrigo, A. P. and Costa, P. M. (2019) 'The hidden biotechnological potential of marine invertebrates: The Polychaeta case study', *Environmental Research*, 173(June), pp. 270–280. doi: 10.1016/j.envres.2019.03.048.
- Samoylenko, V. *et al.* (2009) 'Bioactive (+)-Manzamine A and (+)-8-Hydroxymanzamine A Tertiary Bases and Salts from *Acanthostrongylophora ingens* and their Preparations', *Natural Product Communications*, 4(2), pp. 185–192525.
- Sanjeewa, K. K. A. *et al.* (2017) 'The potential of brown-algae polysaccharides for the development of anticancer agents:

An update on anticancer effects reported for fucoidan and laminaran', *Carbohydrate Polymers*, 177(December), pp. 451–459. doi: 10.1016/j.carbpol.2017.09.005.

Sanjeeva, K. K. A. *et al.* (2018) 'Bioactive potentials of sulfated polysaccharides isolated from brown seaweed *Sargassum* spp in related to human health applications: A review', *Food Hydrocolloids*, 81(August), pp. 200–208. doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.02.040.

Schumacher, M. *et al.* (2010) 'Erratum to Heteronemin, a spongean sesterterpene, inhibits TNF α -induced NF- κ B activation through proteasome inhibition and induces apoptotic cell death [Biochem. Pharmacol. 79, (2010), 610–622]', *Biochemical Pharmacology*, 79(12), p. 1837. doi: 10.1016/j.bcp.2010.02.021.

Sedighi, M. *et al.* (2019) 'Therapeutic bacteria to combat cancer; current advances, challenges, and opportunities', *Cancer Medicine*, 8(6), pp. 3167–3181. doi: 10.1002/cam4.2148.

Sugumaran, A. *et al.* (2022) 'Marine biome-derived secondary metabolites, a class of promising antineoplastic agents: A systematic review on their classification, mechanism of action and future perspectives', *Science of the Total Environment*, 836(March), p. 155445. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.155445.

Tanna, B., Yadav, S. and Mishra, A. (2020) 'Anti-proliferative and ROS-inhibitory activities reveal the anticancer potential of *Caulerpa* species', *Molecular Biology Reports*, 47(10), pp. 7403–7411. doi: 10.1007/s11033-020-05795-8.

Teiten, M. H. *et al.* (2013) 'Anticancer effect of altersolanol A, a metabolite produced by the endophytic fungus *Stemphylium globuliferum*, mediated by its pro-apoptotic and anti-invasive potential via the inhibition of NF- κ B activity', *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 21(13), pp. 3850–3858. doi: 10.1016/j.bmc.2013.04.024.

Tripathi, R., Shalini, R. and Singh, R. K. (2020) 'Evolutionary Diversity as a Source for Anticancer Molecules',

Evolutionary Diversity as a Source for Anticancer Molecules, (6), pp. 1–369. doi: 10.1016/C2019-0-03285-2.

- Wang, L. *et al.* (2006) 'Bioactive hydroxyphenylpyrrole-dicarboxylic acids from a new marine *Halomonas* sp.: Production and structure elucidation', *Applied Microbiology and Biotechnology*, 72(4), pp. 816–822. doi: 10.1007/s00253-006-0370-1.
- Williams, D. E. *et al.* (2007) 'Nigricanosides A and B, antimitotic glycolipids isolated from the green alga *Avrainvillea nigricans* collected in Dominica', *Journal of the American Chemical Society*, 129(18), pp. 5822–5823. doi: 10.1021/ja0715187.
- Wu, S. Y. *et al.* (2015) 'Heteronemin, a spongean sesterterpene, induces cell apoptosis and autophagy in human renal carcinoma cells', *BioMed Research International*, 2015. doi: 10.1155/2015/738241.
- Zbakh, H. *et al.* (2020) 'Anticancer Activities of Meroterpenoids Isolated from the Brown Alga *Cystoseira usneoides* against the Human Colon Cancer Cells HT-29', *Foods*, 9(3). doi: 10.3390/foods9030300.
- Zhao, Y. *et al.* (2012) 'SD118-xanthocillin X (1), a novel marine agent extracted from *Penicillium commune*, induces autophagy through the inhibition of the MEK/ERK pathway', *Marine Drugs*, 10(6), pp. 1345–1359. doi: 10.3390/md10061345.

BAB 7

SUMBER BIOTA LAUT SEBAGAI ANTIBIOTIK/ANTIBAKTERI

Oleh Lia Kusmita

7.1 Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan yang 70% wilayahnya berupa laut dan perairan (Gambar 9.1).



Gambar 7. 1. Peta Indonesia

Sumber: <https://theglobal-review.com/wp-content/uploads/2017/08/Indonesia-peta.jpg>

Wilayah tersebut memiliki keanekaragaman yang tinggi dan potensial untuk dikembangkan. Organisme laut memiliki lingkungan hidup yang ekstrim dan variatif sehingga akan

menghasilkan senyawa kimia yang memiliki karakteristik yang beraneka ragam (Martin et al, 1997). Pengelompokkan organisme laut didasarkan atas cara hidup setiap organisme terhadap lingkungannya (Nybakken, 1993). Selain itu, umumnya organisme laut tidak memiliki sistem sekresi yang sempurna seperti mamalia. Sistem sekresi yang tidak sempurna ini akan menghasilkan senyawa metabolit sekunder yang banyak dan beranekaragam. Realita itu disebabkan karena metabolit sekunder tersimpan dalam sel dan jaringan suatu organisme.

Organisme yang menghasilkan banyak metabolit sekunder potensial untuk dimanfaatkan pada bidang farmasi. Kemanfaatan metabolit sekunder dipengaruhi dari bentuk struktur molekulnya (Dougherty et al., 2006). Bentuk dan struktur molekul dari senyawa yang dihasilkan oleh organisme laut berbeda dengan organisme darat. Keadaan ini menjadikan organisme laut sangat potensial dalam bidang farmasi sebagai obat, salah satunya adalah antibiotik atau antibakteri (Baslow, 1969 dan Trusch, 1978).

Antibiotik merupakan obat yang digunakan untuk melawan infeksi khususnya oleh bakteri. Kata antibiotik berasal dari Bahasa Yunani yaitu *anti* (melawan) dan *bios* (kehidupan). Cara kerja dari antibiotik ada 2 (dua) cara yaitu menghentikan pertumbuhan dan membunuh bakteri. Antibiotik digolongkan menjadi 7 golongan, dan saat ini penemuan antibiotik baru mengalami penurunan. Uhan et al (2016) menyatakan bahwa pada tahun 1960 sampai 1970 ditemukan 4 kelas antibiotik, di akhir tahun 1980 terdapat 2 kelas antibiotik, dan semenjak itu, belum ada penemuan tentang antibiotik baru. Penemuan antibiotik menurun dan kasus resistensi bakteri meningkat mencapai 28% di Kawasan asia (Chen dan Huang, 2014).

7.2 Antibiotik

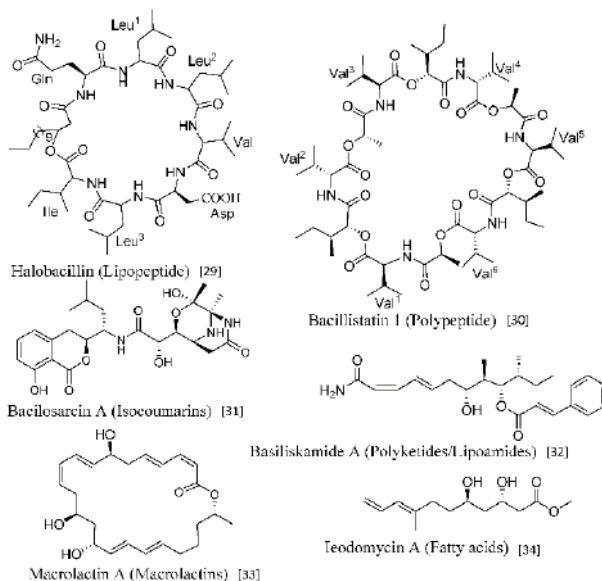
Antibiotik merupakan obat yang digunakan untuk melawan infeksi khususnya oleh bakteri. Kata antibiotik berasal dari Bahasa Yunani yaitu *anti* (melawan) dan *bios* (kehidupan). Cara kerja dari antibiotik ada 2 (dua) cara yaitu menghentikan pertumbuhan dan membunuh bakteri. Antibiotik digolongkan menjadi 7 golongan, dan saat ini penemuan antibiotik baru mengalami penurunan. Uhan et al (2016) menyatakan bahwa pada tahun 1960 sampai 1970 ditemukan 4 kelas antibiotik, di akhir tahun 1980 terdapat 2 kelas antibiotik, dan semenjak itu, belum ada penemuan tentang antibiotik baru. Penemuan antibiotik menurun dan kasus resistensi bakteri meningkat mencapai 28% di Kawasan asia (Chen and Huang, 2014).

Untuk mengatasi resistensi dibutuhkan sumber antibiotik baru. Salah satu sumber antibiotik adalah dari lautan (Kasaneh and Hamann, 2004). Lingkungan laut menyediakan keanekaragaman hayati bakteri yang luar biasa. Kurang lebih ada sekitar 108 taksa bakteri berasal dari laut (Pedrós-Alió, 2006). Di lingkungan laut, bakteri berperan sebagai sumber makanan, sumber enzim, dan penghasil metabolit sekunder (Das et al., 2006). Bakteri laut dapat menjadi sumber antibiotik baru yang menjanjikan karena menghasilkan senyawa unik daripada bakteri terestrial (Rey et al., 2004). Senyawa unik tersebut dihasilkan sebagai bentuk pertahanan diri dari kondisi ekstrim di lautan seperti tekanan tinggi, cahaya dan oksigen yang terbatas (De bbab et al., 2012).

7.2.1 Marine *Bacillus* strain

Isolat *Bacillus* laut menghasilkan metabolit sekunder yang beragam secara strukturnya, seperti lipopeptida, polipeptida, makrolakton, asam lemak, poliketida, lipoamida, dan isocoumarin (Ma dkk., 2016) (Gambar 9.2.). Senyawa struktural

serbaguna ini menunjukkan berbagai aktivitas biologis, seperti antimikroba, antikanker, antialgal, dan antiperonosporomycetal (Wu dkk., 2017).



Gambar 7. 2. Metabolit sekunder yang dihasilkan bacillus strain
Sumber: Yamashita, dkk (2015)

Isolat *Bacillus* laut menghasilkan beragam metabolit sekunder bioaktif dengan cara baru, sehingga memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan. Pengembangan tersebut dapat dilihat dari aktivitas biologisnya sebagai antibiotik. Senyawa metabolik sekunder dari isolat bakteri laut yang memiliki aktivitas antibiotik adalah Halobacilin (Lipopeptida), dan Bogorol A (Mondol, Shin and Islam, 2013).

A. Halobacilin

Halobacilin siklik (cLPs) adalah metabolit serbaguna yang diproduksi oleh berbagai genera bakteri. Senyawa tersebut terdiri dari oligopeptida siklik pendek yang dihubungkan dengan ekor asam lemak, dan menunjukkan

sifat surfaktan yang kuat. cLPs diproduksi secara nonribosom pada sintetase hibrid NRPS (nonribosomal peptida synthetase)—PKS (polyketide synthetase) yang besar. *Rhizobacterium* (terrestrial) pembentuk endospora *B. subtilis* menghasilkan varietas peptida antimikroba yang disintesis secara ribosom dan dimodifikasi pasca-translasi (misalnya, lantibiotik dan peptida mirip lantibiotik), atau dihasilkan secara nonribosom. Peptida yang disintesis secara ribosom dan nonribosom oleh *Bacillus* spp terrestrial (Stincone dkk., 2020). cLPs telah mendapat banyak perhatian karena aktivitas antibiotiknya terhadap berbagai organisme patogen manusia dan tanaman, termasuk virus yang terbungkus, mikoplasma, tripanosom, bakteri, jamur, dan peronosporomycetes (Chen dkk., 2007).

B. Bogorol A

Bogorol A merupakan senyawa antibiotik baru yang aktif melawan MRSA (methicilin-resistant *Staphylococcus aureus*) dan VRE (vancomycin-resistant *Enterococcus* spp.). Senyawa tersebut telah diisolasi dari kultur *Bacillus* sp laut yang dikumpulkan di Papua Nugini. Struktur bogorol A dijelaskan dengan kombinasi analisis spektroskopi dan degradasi kimia. Bogorol A mengilustrasikan struktural baru untuk “antibiotik peptida kationik” (Gambar 9.3).



Gambar 7.3. Struktur Bogorol A

Sumber: Yamashita, dkk (2015)

Bogorol A [(E)-1], memiliki rangkaian dodekapeptida linier (E)-2-amino-2-butenamida yang tidak disukai secara termodinamika. Sintesis total (E)-isomer (E)-1 alami dan (Z)-isomer (Z)-1 buatannya sangat efisien dengan menggunakan strategi fase padat penuh telah dilaporkan. Gugus (E)- dan (Z)-2-amino-2-butenamida dibuat secara stereoselektif dengan menerapkan ligasi Staudinger tanpa jejak pada resin. Menariknya, (E)- dan (Z)-1 menunjukkan aktivitas antimikroba yang sebanding (MIC = 4 µg/mL).

7.2.2 *Holichondria okadai*

Holichondria okadai adalah spesies spons laut yang tergolong dalam kelas Demospongiae, genus *Halichondria* dan famili *Halichondriidae* (Gambar 7.4). Organisme *H.okadai* yang dikenal sebagai spons hitam yang berasal dari laut Jepang. Spons yang berasal dari genus *Holichondria* ini memiliki 93 spesies dengan kandungan metabolit penting yang ada dilautan dunia.

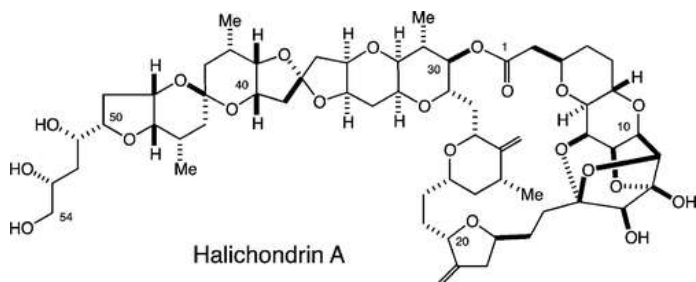


Gambar 7. 4. Spons *Holichondria okadai*

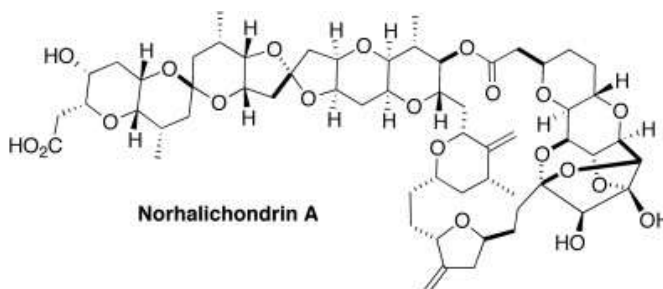
Sumber:

https://www.shimoda.tsukuba.ac.jp/~hassei/animals/okadai_E.html

Salah satu potensi terbesar dari kandungan metabolit *H.okadai* yang berhasil diisolasi adalah sebagai antibiotik (Ueda dkk., 2009). Senyawa yang dapat berperan sebagai antibiotik adalah Okadaic Acid dengan sinonim Halochondrine A dan Norhalichondrin A (Gambar 7.5.)



(a)



(b)

Gambar 7. 5. Struktur molekul dari halichondrin A (a) dan norhalichondrin A (b)

Sumber: Ueda, dkk (2009)

Halichondrin A adalah senyawa polyether yang pertama diisolasi diidentifikasi di Jepang. Senyawa ini telah banyak diisolasi dari beberapa spesies spon, salah satunya adalah *Halichondria okadai*. Beberapa penelitian telah mengkonfirmasikan halichondrin A sebagai antibiotik.

7.2.3. *Pandaros acanthifolium*

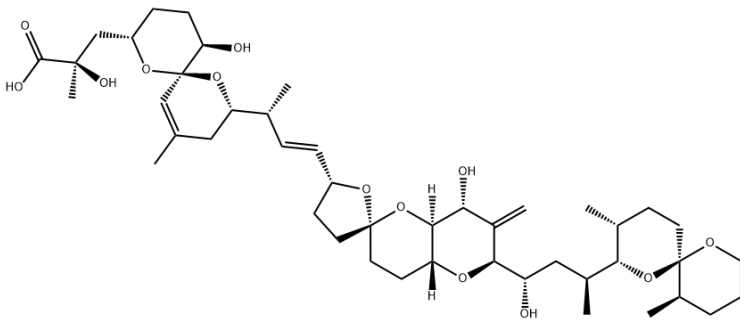
Pandaros acanthifolium merupakan salah satu spesies dari spons yang tergolong dalam kelas Demospongiae (Gambar 9.6). Spesies tersebut permukaannya keras dan memiliki tubuh berpori.



Gambar 7. 6. Spons *Pandaros acanthifolium*

Sumber: <https://reefguide.org/pandarosacanthifolium.html>

Spons *Pandaros acanthifolium* menghasilkan senyawa acanthifolicin (Gambar 7.7.)



Gambar 7. 7. Struktur dari acanthifolicin

Sumber: <https://www.chemicalbook.com/price-india/81720-10-7.htm>

Acanthifolicin adalah asam polieter karboksilat baru yang mengandung episulfida. Senyawa tersebut merupakan antibiotik yang berasal dari laut.

7.2.4. Tunikata *Polycarpa aurata*

Tunikata *Polycarpa aurata* adalah hewan yang termasuk subfilum dan bertempat tinggal di laut. Tunikata ini memiliki ciri khas bertubuh agak keras serta berwarna biru dan kuning. Gambar dari tunikata *Polycarpa aurata* ditunjukkan pada Gambar 7.8.



Gambar 7. 8. Tunikata *Polycarpa aurata*

Sumber: <https://inaturalist.ala.org.au/taxa/155047-Polycarpa-aurata>

Sekitar 1.000 bahan aktif telah diisolasi dari tunikata (Schmidt, and Donia, 2010). Selain itu hewan laut seperti tunikata *P. aurata* yang ada di terumbu karang, diketahui memiliki senyawa yang berguna untuk bahan antibiotik, antiradang, dan antikanker. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Pham dkk., (2013) menunjukkan bahwa hasil ekstraksi tunikata *Polycarpa aurata* mengandung senyawa kimia berupa peptida dan golongan alkaloid yang bersifat sitotoksik dan memiliki kemampuan sebagai antibakteri terhadap beberapa bakteri patogen. Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Litaay dkk., (2015) menunjukkan bahwa isolat bakteri yang berasal dari tunikata *Polycarpa aurata* berpotensi menghasilkan senyawa antibakteri berifat bakteriosidal maupun bersifat bakteriostatik.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa tunikata. Menurut penelitian Kumayas dkk., (2015), aktivitas yang paling baik terjadi pada fraksi kloroform dengan daya hambat sebesar 8,90 mm menghambat bakteri *Staphylococcus aureus* dan daya hambat sebesar 7,03 mm menghambat bakteri *Escherichia coli* dengan kategori sedang.

7.2.5. *Holothuria sp.*

Holothuria sp. atau sering disebut teripang timba kolong adalah jenis teripang yang biasa hidup diperairan tenang yang berpasir pada kedalaman ± 15 meter dari permukaan. Gambar dari *Holothuria sp.* ditunjukkan pada gambar 9.9.



Gambar 7. 9. Gambar *Holothuria sp.*

Sumber: <https://reeflifesurvey.com/species/holothuria-sp-coalescent-dark-brown-spots/>

Berdasarkan penelitian penelitian Roihanah, dkk., (2013) ekstrak dari *Holothuria sp.* memiliki aktivitas antibakteri terhadap bakteri *Vibrio harveyi*. Ekstrak tersebut mengandung

senyawa triterpenoid yang dapat merusak dinding sel dan membrane sel dari bakteri. Arma dkk., (2017) juga meneliti aktivitas antibakteri dari ekstrak *Holothuria sp.* terhadap bakteri *Streptococcus viridans*. Aktivitas ekstrak *Holothuria sp.* terhadap zona hambat *Streptococcus viridans* disebabkan karena adanya zat aktif yang berpotensi sebagai antibakteri yaitu triterpen glikosida.

DAFTAR PUSTAKA

- Arma, U., Prestya, P. D. and Busman, B. 2017. Potensi antibakteri teripang Timba Kolong (*Holothuria* sp.) Kepulauan Mentawai Sumatera Barat Antibacterial potential of Timba Kolong sea cucumber (*Holothuria* sp.) of Mentawai Island West Sumatera. *Jurnal Kedokteran Gigi Universitas Padjadjaran*, 29(3), pp. 1–4. doi: 10.24198/jkg.v29i3.12374.
- Baslow, M.H. 1969. *Marine Pharmaceuticals*. Williams & Wilkinis, Baltimore.
- Chen, C. J. and Huang, Y. C. 2014. New epidemiology of *Staphylococcus aureus* infection in Asia', *Clinical Microbiology and Infection. European Society of Clinical Infectious Diseases*. 20(7): 605–623. doi: 10.1111/1469-0691.12705.
- Chen, X. H. dkk. 2007. Comparative analysis of the complete genome sequence of the plant growth-promoting bacterium *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. *Nature Biotechnology*, 25(9):1007–1014. doi: 10.1038/nbt1325.
- Das, S., Lyla, P.S. Khan, S.A. 2006. Marine microbial diversity and ecology: Import- ance and future perspectives. *Current Science*. 90(10), 1325–1335. <https://pdfs.semanticscholar.org/074a/cc7188e761359d05c98855cb1453f84c55fb.pdf>
- Debbab, A., Aly A.H, Ruangelie E.E, Victor W. 2012. New anthracene derivatives-Structure elucidation and antimicrobial activity. *European Journal of Organic Chemistry*. 7, 1351–1359. <https://doi.org/10.1002/ejoc.201101442>.
- Dougherty, D.A. and E. V. Anslyn. 2006. *Modern Physical Organic Chemistry*. University Sciences Books.

- Litaay, M, G. Christine, R.G. B, Z.Dwyana. 2015. Bioaktivitas simbion tunikata Polycarpa auratasebagai antimikroba. *Prosiding Semnas PBIke 23*. Jayapura.
- Kasanah, N. and Hamann, M. T. 2004. Development of antibiotics and the future of marine microorganisms to stem the tide of antibiotic resistance. *Current Opinion in Investigational Drugs*, 5(8), pp. 827–837.
- Kumayas, A. R., Wewengkang, D. S. and Sudewi, S. 2015. Aktifitas Antibakteri dan Karakteristik Gugus Fungsi dari Tunikata Polycarpa Aurata. *PHARMACON Jurnal Ilmiah Farmasi*, 4(1), pp. 32–44.
- Ma, Y. *et al.* 2016. Identification of lipopeptides in *Bacillus megaterium* by two-step ultrafiltration and LC–ESI–MS/MS', *AMB Express*. Springer Berlin Heidelberg, 6(1). doi: 10.1186/s13568-016-0252-6.
- Martin, L. and G. Padila. 1973. *Marine Pharmacognosy*. Academic Press, New York
- Mondol, M. A. M., Shin, H. J. and Islam, M. T. 2013. Diversity of secondary metabolites from marine bacillus species: Chemistry and biological activity. *Marine Drugs*. 11(8): 2846–2872. doi: 10.3390/md11082846.
- Nybakken, J. W. 1993. *Marine Biology: An Ecological Approach*. Harper collins College Publisher.
- Pedrós-Alió, C. 2006. Marine microbial diversity: can it be determined?. *Trends in Microbiology*, 14(6):257–263. doi: 10.1016/j.tim.2006.04.007.
- Pham, C. D., H. Weber, R. Hartmann, V. Wray, W. Lin, D. Lai, and P.Proksch. 2013. New Cytotoxic 1,2,4-Thiadiazole Alkaloids from the Ascidian Polycarpa aurata. *Org. Lett.* 15 (9): 2230-2233

- Roihanah, Sukoso and Andayani. 2013. Aktivitas Antibakteri Ekstrak Teripang *Holothuria* sp. Terhadap Bakteri *Aeromonas hydrophila* Secara In vitro. *The Journal of Experimental Life Sciences*. 3(1): 40–44. doi: 10.21776/ub.jels.2013.003.01.08.
- Schmidt, E.W., and Donia, M. 2010. Life in cellulose houses: Symbiotic bacterial biosynthesis of ascidian drugs and drug leads. *Curr Opin Biotechnol*. 21(6):827–833. doi: 10.1016/j.copbio.2010.10.006.Life.
- Stincone, P.; Brandelli, A. Marine bacteria as source of antimicrobial compounds. *Crit. Rev. Biotechnol*. 2020, 40, 306–319. [CrossRef]
- Trusch, B. J. 1978. *Chemistry of Marine Natural Products*. Vol. 2. Academic Press. New York
- Ueda, T. *et al*. 2009. Topical and Transdermal Drug Products. *Pharmacoepial Forum*, 35(3), pp. 750–764.
- Urahn, S.K., Allan C., Ellizabeth J. 2016. A Scientific Roadmap for Antibiotic Discovery. *The Pew Charitable Trusts*. 1–42. <http://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/reports/2016/05/a-scientific-roadmap-for-antibiotic-discovery>
- Wu dkk. 2017. Bacillibactins E and F from a Marine Sponge-Associated *Bacillus* sp. *Physiology & behavior*, 176(3), pp. 139–148. doi: 10.1021/acs.jnatprod.0c01170.General.
- Yamashita T, Kuranaga T, Inoue M. 2015. Solid-Phase Total Synthesis of Bogorol A: Stereocontrolled Construction of Thermodynamically Unfavored (E)-2-Amino-2-butenamide. *Org Lett*. 1;17(9):2170-3. doi: 10.1021/acs.orglett.5b00769. Epub 2015 Apr 13. PMID: 25866994.

BAB 8

CONTOH SUMBER DAN BIOTA LAUT YANG MEMILIKI AKTIVITAS SEBAGAI ANTIVIRUS

Oleh Yuli Wahyu Tri Mulyani

8.1 Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan yang beriklim tropis sehingga memiliki banyak keanekaragaman jenis flora dan fauna. Iklim tropis memberikan keuntungan bagi Indonesia, sehingga tersedia sumber bahan baku obat yang tak terbatas untuk pengembangan obat tradisional baik yang berasal dari hutan tropis maupun dari potensi bahari. Potensi bahari yang ada di Indonesia belum dimanfaatkan secara produktif dan maksimal.

Potensi bahari yang dimiliki Indonesia sangat beragam, baik berupa ikan sebagai pangan dan sumber protein, serta biota laut yang bisa dimanfaatkan karena kandungan zat aktifnya. Bahan-bahan yang aktif secara biologis atau bahan kimia yang terdapat pada biota laut merupakan sumber daya yang potensial bagi industri farmasi, kosmetik, dan bioteknologi lainnya. Beberapa tahun terakhir, penelitian tentang kimia organisme laut mengalami peningkatan yang luar biasa karena kebutuhan akan senyawa-senyawa yang memiliki bioaktivitas dan kemungkinan aplikasi farmasi atau manfaat lainnya sebagai bahan kimia, obat-obatan dan kosmetik.

Ekosistem laut atau ekosistem bahari merupakan ekosistem yang terdapat diperairan meliputi, perairan dalam, perairan abisal dan pasang surut. Ekosistem biota laut terbentuk oleh adanya biota karang yang menjadi unsur utama penyusun terumbu serta biota lainnya.

Organisme laut menjadi potensi yang memiliki beragam manfaat, yang memiliki struktur dan senyawa utama telah terbukti berpotensi dalam pengembangan industri farmasi sebagai kosmetik, suplemen nutrisi, bahan kimia, dan agen terapi untuk berbagai penyakit. Senyawa-senyawa baru dan metabolitnya, dengan beragam aktivitas biologis mulai dari antikanker hingga antivirus, telah diisolasi dari berbagai sumber laut, beberapa di antaranya saat ini sedang digunakan.

8.2 Biota laut sebagai agen antivirus

Virus merupakan parasit obligat intraseluler yang berukuran kecil dan mengandung genom, baik RNA atau DNA yang dikelilingi oleh lapisan pelindung yang dikenal sebagai lapisan protein berkode virus (*virus-coded protein coat*). Selama berabad-abad, virus telah menjadi penyebab berbagai penyakit, seperti cacar air, AIDS, SARS dan campak serta agen penyebab pandemi saat ini untuk sindrom pernapasan akut. Berikut biota laut yang memiliki potensi sebagai agen antivirus.

8.2.1 Bambu Laut (*Isis hippuris*)

Isis hippuris adalah spesies dari famili Isididae dengan sumbu yang unik bercirikan segmen berkapur dan protein yang disebut gorgonium. *Isis hippuris* tidak berkerabat secara filogenetik dengan genus lain, sehingga Isididae bersifat polifiletik. Bioma bambu laut sekilas hampir mirip dengan *Rhumpella* sp. saat masih di dalam air, permukaan koloninya licin

dan tumbuh seperti semak. Perbedaan keduanya antara bambu laut dan akar bahar adalah dahan bambu laut mengarah ke kanan dengan ujung kolonial melengkung dan bentuk serta ukuran dahannya pendek dengan ujung membulat, sedangkan akar bahar lebih panjang. Selain itu, struktur batang koloni bambu laut cenderung kaku dan hanya sedikit bergoyang jika bergelombang, berbeda dengan akar bahar bambu laut yang cenderung miring dan bergelombang jika terkena arus.

Warna koloni bambu laut adalah kuning kehijauan, coklat muda dan kuning cerah. Kandungan pigmen alga uniseluler (zooxanthellae) yang hidup bersimbiosis dalam jaringan koenzim baru dapat mempengaruhi warna koloni. Jika lapisan koenzim dihilangkan, akan terlihat kerangka berwarna putih dengan warna hitam kecokelatan di antaranya yang disebut nukleus (sumbu). Ruas adalah nama bagian (poros) yang berwarna putih, sedangkan ruas adalah bagian berwarna hitam kecokelatan yang bentuknya seperti sambungan. Titik pertumbuhan "cabang"; Yang baru ada di bagian node. Lapisan koenzim pada beberapa jenis bambu laut tersusun dari senyawa berkapur, yaitu partikel kapur berbentuk jarum, dan setiap jenis memiliki bentuk yang berbeda-beda. Pada tingkat tipe, karakteristik bentuk laras dapat dikontrol sampai batas tertentu dalam proses identifikasi. Berikut bentuk morfologi dan rangka bambu laut disajikan pada gambar 8.1.



Gambar 7. 10. Bambu laut

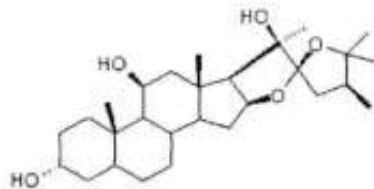
Sumber: (Fabricus dan Alderslade, 2006)

1. Metabolit Bambu Laut

Metabolit bambu laut diklasifikasikan menjadi dua yaitu. metabolit primer dan metabolit sekunder. Metabolit primer dibentuk dalam jumlah terbatas dan digunakan untuk pertumbuhan dan metabolisme. Metabolit bambu laut diklasifikasikan menjadi dua kategori yaitu metabolit primer dan metabolit sekunder. Metabolit primer dibentuk dalam jumlah terbatas dan digunakan untuk pertumbuhan dan kehidupan organisme. Metabolit sekunder merupakan senyawa yang dihasilkan organisme untuk melindungi dirinya dari kondisi lingkungan ekstrem atau ancaman predator. Metabolit sekunder tidak digunakan untuk pertumbuhan dan terbentuk dari metabolit primer dalam kondisi stres. Senyawa bioaktif merupakan salah satu bentuk metabolit sekunder. Metabolit sekunder sendiri merupakan metabolit yang tidak esensial bagi pertumbuhan dan perkembangan organisme, namun biasanya berbentuk senyawa aromatik. Komposisi senyawa tersebut bervariasi dan juga dipengaruhi oleh paparan sinar matahari, keragaman genetik, dan lokasi geografis. Metabolit sekunder dapat berperan sebagai antikanker, antikoagulan, antibiotik, antioksidan, antibakteri, antivirus, serta dapat mencegah efek karsinogenik terhadap kehidupan organisme tersebut. Metabolit sekunder merupakan senyawa yang dihasilkan organisme untuk melindungi dirinya dari kondisi lingkungan ekstrem atau ancaman predator. Metabolit sekunder tidak digunakan untuk pertumbuhan dan terbentuk dari metabolit primer dalam kondisi stres. Senyawa bioaktif merupakan salah satu bentuk metabolit sekunder. Metabolit sekunder sendiri merupakan metabolit yang tidak esensial bagi pertumbuhan dan perkembangan organisme, namun biasanya berbentuk senyawa aromatik. Komposisi senyawa

tersebut bervariasi dan juga dipengaruhi oleh paparan sinar matahari, keragaman genetik, dan lokasi geografis. Metabolit sekunder dapat berperan sebagai penghambat kanker, agen pembekuan darah, antibiotik, antioksidan, antibakteri dan antivirus serta dapat mencegah efek karsinogenik.

Senyawa spesifik dalam bambu laut adalah hippuristanol yang memiliki sifat antivirus. Senyawa hippuristanol mampu menghambat proses replikasi virus. Hippuristanol memiliki sifat sitotoksik yang dapat mempengaruhi sel jaringan dengan toksisitasnya. Senyawa hippuristanol mampu memperlambat reproduksi virus. Bambu laut juga mengandung senyawa hidrokarbon dan asam lemak yaitu naftalena, xilan, fenilasetonitril, 1,2-benzenedikarboksilat dan turunan fenol. Selain itu, bambu laut mengandung senyawa Hippuristerone A, steroid polioksigenasi yang mengandung senyawa steroid polioksigenasi, hippuristeron J-L, hippuristerol E-F, dan gorgosteroid, $1\alpha,3\beta,5\beta,11\alpha$ -tetrahydroxygorgostan-6-one, yang memiliki sifat sitotoksik terhadap sel. -sel karsinoma Struktur/rumus molekul hippuristanol adalah sebagai berikut:



Gambar 8. 1. Hippuristanol (C₂₈ H₄₀ O₅).

Sumber: Manuputty, A. (2008)

Bentuk molekul steroid *Hippuristanol* disebut cincin spiroketal (spiroketal ring), cara kerjanya lebih aktif dibandingkan dengan yang bentuk molekulnya sederhana.

8.2.2. Spons Laut (*Porifera demospongeae*)

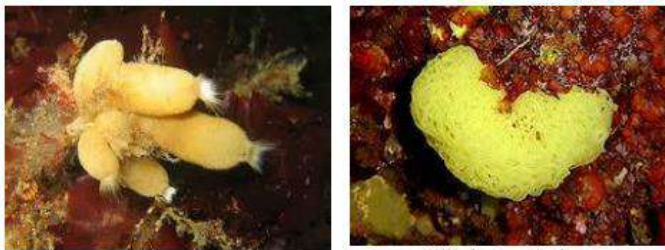
Spons laut adalah invertebrata sesil yang ditemukan di zona beriklim sedang, Arktik, dan tropis. Mereka dikenal sebagai kontributor utama senyawa bioaktif. Senyawa yang diekstraksi dari jamur ini dapat memberikan efek yang beragam, salah satunya sebagai antivirus. Selain itu, jamur merupakan sumber potensial senyawa bioaktif dengan struktur unik. Morfologi luar spons laut sangat dipengaruhi oleh faktor fisik, kimia, dan biologi lingkungannya. Sampel di lingkungan terbuka dan dengan gelombang besar cenderung memendek atau menyebar. Sebaliknya, spesimen sejenis cenderung tumbuh tegak dan tinggi di lingkungan terlindung atau di perairan dalam yang arusnya tenang. Di perairan dalam, spons cenderung lebih simetris dan bertubuh lebih besar dibandingkan spesies perairan dangkal karena lingkungan yang lebih stabil. Jamur adalah hewan multiseluler yang paling primitif dan terbagi dalam tiga kategori utama: Calcarea, Demospongiae, Hexactinellida, dan Sclerospongia.

- (a) Kelas Calcarea merupakan kelas spons yang semuanya hidup di laut. Spons ini memiliki struktur yang sederhana dibandingkan spons lainnya. Spikula terdiri dari kalsium karbonat dalam bentuk kalsit.
- (b) Kelas Demospongiae merupakan kelompok spons yang dominan diantara porifera lainnya. Mereka tersebar luas di alam dan jumlah jenis serta organismenya sangat banyak. Mereka seringkali berukuran besar dan berwarna

cerah serta memiliki sistem saluran yang rumit yang dihubungkan oleh ruang flagel bulat kecil. Beberapa sisik tersusun dari silikat, dan beberapa (Dictyoceratida, Dendroceratida, dan Verongida) memiliki duri yang hanya terdiri dari serat spons, serat kolagen, atau tidak sama sekali.

- (c) Kelas Hexactinellida adalah spons kaca. Kebanyakan dari mereka hidup di laut dalam dan tersebar luas. Spikula tersusun atas silikat dan tidak mengandung spons.
- (d) Kelas Sclerospongia merupakan spons yang banyak hidup di perairan dalam pada terumbu karang atau di gua, celah batu bawah air atau terumbu karang. Semua tipe ini merupakan tipe leukoid kompleks dengan duri silikat dan serat spons. Unsur-unsur tersebut dikelilingi oleh jaringan hidup yang berada pada badan utama kalsium karbonat padat atau pada rongga-rongga yang ditutupi oleh kalsium karbonat.

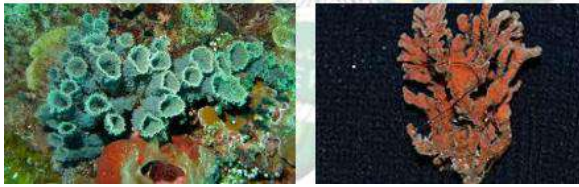
Contoh kelas Calcarea



Gambar 8. 2. a. *Sycon gelatinosum* b. *Clathrina clathrus*

Sumber: id. wikipedia.org (2008)

Contoh kelas Demospongiae



Gambar 8. 3. a. *Allyspongia aerizusa* b. *Clathria* sp.

Sumber: id. wikipedia.org (2008)

Contoh kelas Hexactinellid

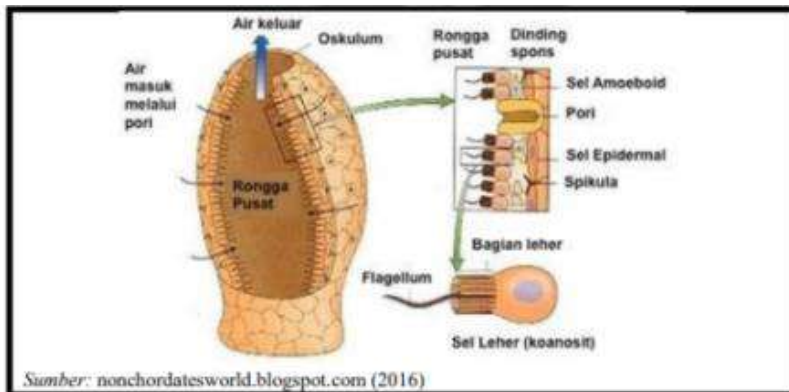


Gambar 8. 4. a. *Euplectella* sp. b. *Hyalonema* sp.

Sumber: id. wikipedia.org (2020)

Spons memiliki khasiat yang unik, ditemukan dalam berbagai bentuk mulai dari lapisan tipis hingga besar. Spons memiliki ciri khas tersendiri tergantung dari genus dan spesiesnya. Di dalam spons terdapat duri yaitu sel-sel yang menyusun tubuh dan berbentuk seperti jarum. Ukuran dan bentuk spikula (kelas megaskleri dan mikroskleri) diperlukan untuk menentukan jenis spons. Spikula terbagi menjadi dua yaitu megasklera dan mikrosklera. Megascleres adalah elemen pendukung utama kerangka besar. Sedangkan ukuran mikrosklera hampir sama dengan megasklera, namun sedikit lebih kecil. Spikula lebih sering terletak pada lapisan mesoile dan pinacoderm. Spons juga tersusun dari serat protein seperti kolagen. Serat spons ini mempengaruhi kepadatan spons.

Semakin banyak pori maka semakin padat, keras dan kasar dan sebaliknya. Ada juga berbagai jenis spons yang memiliki lapisan silika pada sebagian atau bahkan seluruh area serat spons agar lebih kaku.



Gambar 8. 5. Morfologi spons

Sel amoeboid ditemukan di mesoail dan terdiri dari beberapa jenis sel. Spons memberi makan menggunakan sel yang disebut archaeosit. Sel-sel tersebut merupakan sel fagositik yang fungsinya untuk pencernaan/makan. Sel-sel ini juga dapat berubah fungsinya sesuai kebutuhan spons atau disebut totipoten. Sel persisten lainnya, yang disebut collents, bertanggung jawab atas sekresi jaringan kolagen yang menyebar melalui dinding tubuh spons. Sel sklerositik amoeboid menghasilkan spikula yang membentuk kerangka. Jaringan spons merupakan hasil sekresi sel spongosit. Di dalam mesoail terdapat lapisan yang disebut koanosit yang berjalan sejajar dengan spongocoel. Struktur sel ini mirip dengan protozoa choanoflagellata. Bentuk koanosit bulat, ujungnya terhubung langsung dengan mesoail. Pada saat yang sama, sisi yang berlawanan memiliki filamen yang dikelilingi oleh mikrovili. Fungsi sel koanosit adalah mengatur pergerakan air dalam tubuh spons untuk memperoleh makanan.

8.3 Mikroorganisme simbiosis spons

Selain bersimbion dengan alga/ganggang, spons juga bersimbion dengan mikroorganisme lain seperti bakteri. Sekitar 40% biomassa spons terdiri dari komunitas bakteri yang membentuk simbiosis di dalam tubuhnya. Fungsi bakteri tersebut adalah menghasilkan senyawa bioaktif untuk adaptasi ekologi spons itu sendiri. Sampai saat ini, interaksi antara spons dan simbiosis mikrobanya belum sepenuhnya dipahami. Ada beberapa teori yang menunjukkan bahwa filter adalah proses pertama dimana mikroba simbiosis mendapatkan akses ke mezopelagial dan kemudian terperangkap selama hidupnya didalam spons. Namun ada juga mikroorganisme yang bersimbiosis, baik bakteri maupun spons, yang diturunkan secara genetik. Mikroba simbiosis spons memiliki banyak fungsi yang membantu spons menghasilkan senyawa bioaktif untuk menjaga kestabilan pertumbuhan, perkembangan, dan kesehatan spons. Mikroba ini juga menyediakan nutrisi yang diubah menjadi energi, menghambat mikroorganisme patogen, melindungi dari sinar UV dan menghasilkan antioksidan.

8.4 Aktivitas antivirus spons laut

Organisme laut yaitu spons telah dilaporkan dapat mensintesis senyawa bioaktif yang memiliki aktivitas antimikroba. Misalnya saja spesies laut yang termasuk dalam genus *Erylus* mampu mensintesis glikolipid untuk menghambat pertumbuhan bakteri, jamur, dan virus, termasuk virus HIV. Tabel 8.1 merangkum berbagai aktivitas antimikroba dari spons laut.

Tabel 8. 1. Spons laut dan senyawa ekstraknya memiliki aktivitas antivirus

Spons laut	Senyawa aktif	Bioaktivitas
<i>Aaptos aaptos</i>	• 2-isopropyl-10-methoxyimidazo [4,5,1-<i>ij</i>]pyrido[2,3,4-<i>de</i>]quinolone. • 2(phenethylamino)demethyl(oxy)aaptamine • 3(isopentylamino)demethyl(oxy)aaptamine.	aaptamine menghambat replikasi virus HIV-1 masing-masing sebesar 27,7%, 88% dan 72,3%.
<i>Dactylospongia metachromia</i>	• Metachromin A	Menghambat produksi virus Hepatitis B
<i>Stachybotri</i> sp	• Stachybotrisphenone B • Grisephenone A 3,6,8-trihydroxy-1-methylxanthone	Menghambat replikasi enterovirus
<i>Dysidea avara</i>	avarone (R1: OH)	Aktivitas antivirus terhadap Human Immunodeficiency virus (HIV)

Spons laut	Senyawa aktif	Bioaktivitas
<i>Hamigera tarangaensis</i>	Hamigeran B	Aktivitas antivirus melawan virus herpes dan polio

Sumber: Varijakzhan Disha (2021)

Senyawa-senyawa bioaktif yang dihasilkan oleh spons laut seperti stachyogrisephenone B, grisephenone A, dan 3,6,8-trihydroxy-1-methylxanthone merupakan senyawa yang diisolasi dari strain jamur *Stachybotry* sp. Senyawa ini diisolasi dari spons laut. Senyawa tersebut menunjukkan aktivitas antivirus terhadap virus pada saluran pencernaan yaitu Enterovirus. Senyawa ini menunjukkan nilai IC₅₀ (konsentrasi yang dapat menghambat aktivitas virus sebesar 50%) sebesar 30,1 μ M, 50 μ M, dan 40,3 μ M dibandingkan dengan kontrol positif ribavirin. , yang memiliki nilai IC₅₀ 0,60 μ M. Semua senyawa yang menunjukkan aktivitas antivirus merupakan turunan xanthone.

Senyawa lain yang menunjukkan aktivitas antivirus adalah metachromin A Senyawa seskuiterpen yang diisolasi dari metachromia mampu menghambat produksi virus Hepatitis B secara signifikan pada nilai EC₅₀ (konsentrasi dimana 50% sel target terlindungi dari kematian akibat infeksi virus) sebesar 0,8 μ M dan nilai SI (indeks selektivitas) sebesar 19,6. Aktivitas antivirus dari senyawa ini diktribusi oleh adanya gugus hidrokuinon dan adanya ikatan rangkap pada C-5 dan C-9 dari senyawa tersebut, yang disebabkan oleh penghambatan promotor inti sel dan produksi virus Hepatitis B dari partikel virus. Senyawa tersebut juga diidentifikasi dapat menekan replikasi virus melalui penurunan regulasi aktivitas promotor.

Dua senyawa lain yang ditemukan menunjukkan aktivitas antivirus terhadap sel virus Hepatitis B adalah 3,5-dibromo-2-(2,4-dibromophenoxy)-phenol dan 3,4,5-tribromo-2-(2,4-dibromophenoxy)-phenol, yang termasuk dalam difenil eter polibrominasi, diisolasi dari *Dysidea* sp. Kedua senyawa ini mampu menghambat produksi sel virus Hepatitis B pada cell line HepG2.2.15.7 secara dose-dependent, dengan nilai EC50 sebesar 0,23 μ M untuk 3,5-dibromo-2-(2, 4-dibromophenoxy)-phenol dan 0,80 μ M untuk 3,4,5-tribromo-2-(2,4-dibromophenoxy)-phenol dan nilai masing-masing sebesar 18,2 dan 12,8.

Selain virus Hepatitis B, senyawa manoolide, yang pertama kali diisolasi dari spons laut *L. variabilis*, menunjukkan aktivitas antivirus terhadap virus Hepatitis C. Senyawa tersebut ditemukan menghambat aktivitas RNA helicase dan ATPase dari protein NS3 virus Hepatitis C dengan cara yang bergantung pada dosis, dengan konsentrasi IC50 masing-masing 15 μ M dan 70 μ M. Senyawa tersebut ditemukan bertindak sebagai inhibitor non-kompetitif dengan menghambat protein NS3 agar tidak berikatan dengan RNA beruntai tunggal. NS3 adalah protein non-struktural yang melibatkan koordinasi proses intraseluler partikel virus Hepatitis C. Senyawa lain yang menunjukkan aktivitas antivirus terhadap virus Hepatitis C adalah senyawa Psammaplin A, senyawa ini turunan bifenol bromotirosin. Senyawa tersebut umumnya diisolasi dari spons laut *Psammaplysilla* sp., *Poecillastra* sp. dan *Jaspis* sp. Mirip dengan senyawa manoolide, psammaplin A juga menunjukkan aktivitas antivirus dengan menghambat protein NS3 mengikat ssRNA dengan cara yang bergantung pada dosis. Senyawa tersebut bertindak sebagai inhibitor non-kompetitif pada motif helikase dengan mengikat situs alosterik, sehingga memodulasi aktivitas pengikatan ATPase dan RNA melalui perubahan konformasi helikase. Senyawa tersebut juga mampu menghambat replikasi virus Hepatitis C

pada nilai EC50 6,1 dan 6,3 μM pada sel replika subgenomik. Dengan demikian, senyawa tersebut, mirip dengan manoolide, menunjukkan kemampuan untuk menghambat ATPase, pengikatan RNA, dan aktivitas helikase NS3.

Virus herpes simpleks tipe-1 (HSV-1) adalah agen penyebab infeksi kulit yang menyebabkan lesi mukokutan yang dikenal sebagai *herpes labialis*. Senyawa manzamine A, suatu alkaloid β -karbolin, banyak ditemukan pada spons laut genus Haliclona, Chalinidae, Niphatidae, Petrosidae, Thorectidae dan keluarga Irciniidae. Senyawa manzamine A, yang diekstraksi dari spons laut genus Acanthostrongylophora, menunjukkan aktivitas antivirus terhadap HSV-1 dengan menghambat replikasi partikel virus dalam garis sel kornea (SIRC) pada konsentrasi rendah 1 μM dan nilai IC50 5,6 μM . Manzamine A pada konsentrasi 1 μM terbukti mampu mengurangi pembentukan plak hingga 1011 kali lipat. Senyawa tersebut ditemukan dapat menyebabkan penurunan regulasi gen ICP0, yang merupakan protein seluler menular yang diproduksi pada tahap awal infeksi setelah memasuki sel inang

Selain itu, berbagai senyawa yang diisolasi dari spons laut menunjukkan tingkat potensi yang berbeda-beda terhadap HIV. Senyawa baculiferin C, E-H, dan K-N, asam amino DOPA (2-amino-3-(3',4'-dihydroxyphenyl) propionic acid) merupakan alkaloid yang berasal dari spons laut *Iotrochota baculifera* dan senyawa stellettapeptins A dan B, senyawa depsipectida yang diisolasi dari spons laut *Stelletta* sp. telah menunjukkan aktivitas yang ampuh melawan partikel virus HIV. Senyawa baculiferin C, E-H dan K-N ampuh melawan garis sel MT4 dan sel MAGI yang dikodekan dengan virus HIV-1 IIIB.

DAFTAR PUSTAKA

- Bell, J.J. The functional roles of marine sponges. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2008, 79, 341–353
- Fabricus, K and G. De'ath .1997. The effects of flow, depth and slope on cover of soft coral taxa and growth forms on Davies Reef, Great Barrier Reef. *Proc. of the 8th Coral Reef Symp., Panama Vol.2:1071-1076.*
- Fisch, K.; Gurgui, C.; Heycke, N.; van der Sar, S.; Anderson, S.; Webb, V.; Taudien, S.; Platzer, M.; Rubio, B.; Robinson, S. Polyketide assembly lines of uncultivated sponge symbionts from structure-based gene targeting. *Nat. Chem. Biol.* 2009, 5, 494–501.
- He, Q.; Miao, S.; Ni, N.; Man, Y.; Gong, K. A Review of the Secondary Metabolites from the Marine Sponges of the Genus *Aaptos*. *Nat. Prod. Commun.* 2020, 15.
- Laport, M.; Santos, O.; Muricy, G. Marine Sponges: Potential sources of new antimicrobial drugs. *Curr. Pharm. Biotechnol.* 2009, 10, 86–105.
- Manuputty Anna. 2008.*Isis hippuris* Linnaeus 1758:Oktoral Pengasil Antivirus. *Jurnal Oceana.* 33 (1).P.19-24
- Pandey, A. Pharmacological Significance of Marine Microbial Bioactive Compounds. *Environ. Chem. Lett.* 2019, 17, 1741–1751.
- Sagar Sunil, Mandeep Kaur and Kenneth P. Minneman.2010. Antiviral Lead Compounds from Marine Sponges.*Marine Drugs Journal.* 8. P.2619-2638.
- Tanaka, H.T. Yasuma and Hiroyuki. 1981. Hippuristanols, cytotoxic polyoxygenated steroids from the gorgonian *isishippuris*. *Chem. Lett.* 11:1647-1650.

Varijakzhan Disha, Loh JY, Yap WS, Yusoff Khatijah, Seboussi Rabiha. 2021. Bioactive Compounds from Marine Sponges: Fundamentals and Applications. *Marine Drugs Journal*. 19 (246). P.1-38.

BAB 9

CONTOH SUMBER DAN BIOTA LAUT YG MEMILIKI AKTIVITAS SEBAGAI ANTI HIPERTENSI

Oleh Yuvianti Dwi Franyoto

9.1 Pendahuluan

Salah satu penyakit tidak menular yang saat ini menjadi prioritas dalam dunia kesehatan secara global adalah hipertensi. Hipertensi adalah suatu kondisi di mana tekanan darah meningkat dan berada di atas normal. Di masyarakat penyakit hipertensi dikenal juga dengan nama tekanan darah tinggi (Musakkar and Djafar, 2021). Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) mengatakan tekanan darah normal orang dewasa adalah 120/80 mmHg. Angka 120 mmHg menunjukkan tekanan sistolik, yaitu tekanan yang dihasilkan oleh jantung saat memompa darah ke seluruh tubuh, sementara 80 mmHg menunjukkan tekanan diastolik, yaitu tekanan yang dihasilkan oleh jantung saat relaksasi dan menerima darah kembali dari seluruh tubuh.

Berdasarkan rekomendasi *Join National Committee* dalam *The Eighth Report of Join National Committee on Prevention, Detection, Evaluation and Treatment of High Blood Pressure* menyatakan bahwa tekanan darah tinggi (hipertensi) merupakan suatu keadaan dimana tekanan darah seseorang ≥ 140 mmHg (sistolik) dan/atau ≥ 90 mmHg. Selain sebagai salah satu jenis

penyakit tidak menular, Hipertensi juga menjadi faktor risiko utama penyakit kardiovaskuler lainnya.

Menurut *American Heart Association* atau AHA dalam Kemenkes (2018), hipertensi merupakan *silent killer* dimana gejalanya sangat bermacam-macam pada setiap individu dan hampir sama dengan penyakit lain. Gejala-gejala yang timbul pada hipertensi antara lain rasa berat di tengkuk, sakit kepala, vertigo, jantung berdebar-debar, mudah lelah, penglihatan kabur, telinga berdenging dan mimisan (Kementrian Kesehatan RI, 2018).

Hipertensi berdasarkan penyebab terjadinya terbagi atas dua bagian (Smeltzer and Bare, 2013), yaitu :

1. Hipertensi Primer (Esensial)

Hipertensi primer biasanya terjadi pada 90-95% orang dewasa. Hipertensi primer tidak memiliki penyebab klinis yang dapat diidentifikasi dan kondisinya kemungkinan besar bersifat multifaktorial. Hipertensi primer tidak dapat disembuhkan tetapi dapat dikontrol dengan pengobatan yang tepat. Dalam hal ini, faktor genetik mungkin memainkan peranan penting dalam perkembangan hipertensi primer, dan bentuk tekanan darah tinggi cenderung berkembang secara bertahap selama beberapa tahun (Bell, Twiggs and Olin, 2015).

2. Hipertensi Sekunder

Hipertensi sekunder ditandai dengan peningkatan tekanan darah dan disertai dengan penyebab yang spesifik, seperti penyempitan arteri ginjal, kehamilan, pengobatan tertentu, dan penyebab lainnya. Hipertensi sekunder juga bisa bersifat akut, yang menunjukkan perubahan pada curah jantung (Ignatavicius, Workman and Rebar, 2017).

Salah satu enzim yang berperan dalam regulasi tekanan darah adalah ACE (*Angiotensin- Converting Enzyme*). Mekanisme ACE pada hipertensi melibatkan sistem *renin-angiotensin-aldosteron* (RAAS), yang merupakan salah satu sistem regulasi tekanan darah dalam tubuh. Berikut adalah mekanisme ACE pada hipertensi:

1. **Renin Release:** Renin adalah enzim yang dilepaskan oleh ginjal ketika terjadi penurunan tekanan darah, penurunan volume darah, atau penurunan kadar natrium dalam darah. Renin akan merubah angiotensinogen (yang dihasilkan oleh hati) menjadi angiotensin I.
2. **Angiotensin I to Angiotensin II Conversion by ACE:** Angiotensin I yang dihasilkan akan melewati pembuluh darah dan mencapai paru-paru. Di paru-paru, enzim ACE yang terdapat di dalam pembuluh darah pulmoner akan mengubah angiotensin I menjadi angiotensin II.
3. **Angiotensin II:** Angiotensin II memiliki beberapa efek yang dapat meningkatkan tekanan darah, antara lain:
4. **Vasokonstriksi:** Angiotensin II menyebabkan pembuluh darah menyempit, meningkatkan resistensi pembuluh darah, dan secara langsung meningkatkan tekanan darah.
5. **Aldosteron Release:** Angiotensin II merangsang pelepasan aldosteron dari kelenjar adrenal. Aldosteron meningkatkan retensi natrium dan air oleh ginjal, yang meningkatkan volume darah dan tekanan darah.
6. **Stimulasi Sekresi ADH (Vasopressin):** Angiotensin II juga merangsang pelepasan hormon antidiuretik (ADH

atau vasopressin) dari hipofisis posterior, yang menyebabkan peningkatan retensi air oleh ginjal.

7. **Vasopressor Effect:** Angiotensin II memiliki efek vasopresor, artinya ia meningkatkan tekanan darah dengan mempersempit pembuluh darah dan meningkatkan volume darah.

Penghambatan ACE oleh obat-obatan ACE inhibitor adalah strategi umum dalam pengobatan hipertensi. ACE inhibitor menghambat konversi angiotensin I menjadi angiotensin II, sehingga mengurangi efek vasokonstriksi dan retensi natrium, yang pada akhirnya membantu menurunkan tekanan darah. Obat-obatan ini juga dapat memiliki efek positif pada fungsi pembuluh darah dan ginjal.

Hipertensi telah menjadi masalah kesehatan global yang meningkat seiring dengan perubahan gaya hidup, pola makan yang tidak sehat, dan peningkatan usia populasi. World Health Organization (WHO) memperkirakan bahwa hampir setengah dari kematian akibat penyakit jantung dan stroke disebabkan oleh tekanan darah tinggi. Meskipun obat-obatan antihipertensi telah ada, beberapa individu mengalami efek samping pada pengobatan konvensional.

Pada saat ini minat penelitian beralih ke potensi sumber daya alam sebagai sumber obat alternatif termasuk pada pengobatan hipertensi. Lautan merupakan salah satu ekosistem yang paling beragam dan menawarkan berbagai kekayaan hayati. Biota laut dengan keragaman senyawa kimia dan nutrisi yang dimilikinya, menawarkan peluang baru dalam pengembangan obat-obatan antihipertensi yang efektif dan berkelanjutan.

9.2 Keanekaragaman Biota Laut Sebagai Antihipertensi

Lautan merupakan wilayah terluas di planet ini, meliputi sekitar 70% dari total luas permukaan bumi, yang merupakan proporsi yang signifikan jika dibandingkan dengan luas daratan. Selain itu, laut juga dikenal sebagai sumber daya alam yang sangat berlimpah. Terdapat berbagai senyawa bioaktif yang dapat ditemukan dalam berbagai organisme laut, seperti ikan, kerang, moluska, gastropoda, sefalopoda, krustasea, dan echinodermata. Keberagaman ini secara mencolok memberikan kontribusi besar pada pengembangan ekonomi dan kemajuan penelitian di berbagai bidang (Destoumieux-Garzón et al., 2016).

Lingkungan laut kaya akan keragaman biologis dan kimia; senyawa-senyawa yang berhasil diisolasi dari organisme laut telah dimanfaatkan dalam berbagai bidang seperti obat-obatan, nutrasetika, dan kosmetika. Berbagai organisme yang ada di laut menyimpan beragam metabolit sekunder, termasuk terpen, steroid, poliketida, peptida, alkaloid, polisakarida, protein, dan porfirin (Aneiros and Garateix, 2004).

Organisme laut menghuni lingkungan yang kompleks dan kondisi ekstrim, seperti fluktuasi salinitas, tekanan, suhu, dan tingkat pencahayaan yang berubah-ubah. Hal ini memungkinkan mereka untuk menghasilkan berbagai jenis metabolit sekunder yang tidak dapat ditemukan di lokasi lain (Hamed et al., 2015). Selain itu, organisme laut juga memberikan manfaat signifikan dalam ranah farmasi melalui berbagai aktivitasnya, termasuk aktivitas antihipertensi (Hamed et al., 2015). Berikut beberapa organisme laut yang memiliki aktivitas sebagai antihipertensi.

Organisme laut, seperti ikan, kerang, rumput laut, mikroalga, moluska, krustasea, dan cephalopoda, adalah sumber yang kaya senyawa fungsional, seperti peptida bioaktif, enzim,

asam lemak poli-unsaturasi, vitamin, mineral, tannin, fenolik, dan polisakarida. Selain itu, karena beberapa organisme laut, terutama ikan, merupakan sumber protein yang kaya, mereka ideal untuk menghasilkan peptida bioaktif yang berasal dari protein (Harnedy and FitzGerald, 2012). Peptida bioaktif laut memiliki efek farmakologi seperti antihipertensi, antioksidan, antikoagulan, antimikroba, antitrombotik, dan hipo kolesterolemia (Ngo, Ryu and Kim, 2014).

9.2.1 *Undaria pinnatifida*

Undaria pinnatifida, yang lebih dikenal dengan nama wakame, adalah jenis rumput laut cokelat yang sering ditemui di perairan laut Jepang. Komposisi nutrisinya mencakup serat sebanyak 35,3%, terdiri dari 30% serat larut air dan 5,3% serat tidak larut air (Burtin, 2003). Selain itu, spesies ini kaya akan fukosterol, mencapai 83-97% dari total sterol yang terkandung dalamnya (Pal, Kamthania and Kumar, 2014). Protein juga dapat ditemukan dalam jumlah signifikan, berkisar antara 11-24% (Fleurence, Moranchais and J. Dumay, 2018).

Penelitian Suetsuna dkk menguji aktivitas penghambat *Angiotensin Converting Enzyme I* (ACE) dan efek antihipertensi dari ekstrak air panas wakame, *Undaria pinnatifida*. Sepuluh dipeptida diisolasi dari ekstrak melalui beberapa langkah kromatografi, dan urutan asam amino mereka adalah Tyr-His, Lys-Trp, Lys-Tyr, Lys-Phe, Phe-Tyr, Val-Trp, Val-Phe, Ile-Tyr, Ile-Trp, dan Val-Tyr. Baik pemberian tunggal maupun pemberian oral berulang dari dipeptida sintesis Tyr-His, Lys-Tyr, Phe-Tyr, dan Ile-Tyr secara signifikan menurunkan tekanan darah pada tikus hipertensi (Suetsuna, Maekawa and Chen, 2004).



Gambar 9. 1. *Undaria pinnatifida*

(Sumber: *Undaria pinnatifida* Wakame (reeflex.net))

9.2.2 *Acaudina molpadioidea*

Acaudina molpadioidea adalah salah satu jenis teripang yang termasuk dalam Filum Echinodermata, dan umumnya ditemukan mendiami wilayah pantai yang berlumpur. Teripang telah dianggap sebagai sumber potensial untuk menghasilkan peptida bioaktif karena kandungan proteinnya yang tinggi. Peptida bioaktif yang diisolasi dari gelatin teripang (*Acaudina molpadioidea*) menggunakan bromelain dan alkase terbukti memiliki aktivitas penghambat ACE (*Angiotensin Converting Enzyme*) dan sebagai antihipertensi (Zhou et al., 2007).



Gambar 9. 2. *Acaudina molpadioidea*

(Sumber: *Acaudina molpadioides* - Wikipedia)

9.2.3 *Parastichopus californium*

Parastichopus californium adalah jenis teripang yang ditemukan di perairan pantai Pasifik Utara, terutama di sepanjang pesisir California. Protelisat kolagen yang diisolasi dari *Parastichopus californium* memiliki aktivitas sebagai penghambat ACE (Liu et al., 2011).



Gambar 9. 3. *Parastichopus californium*

(Sumber : Giant California sea cucumber - Alchetron, the free social encyclopedia)

9.2.4 *Mytilus edulis*

Mytilus edulis adalah moluska bivalvia laut yang mendiami batu pantai. *Mytilus edulis* adalah spesies kerang yang umumnya dikenal sebagai kerang biru. Moluska ini memiliki cangkang berwarna biru-hitam yang khas dan tersebar luas di sepanjang pantai belahan bumi utara. Penelitian menunjukkan bahwa hidrolisat *Mytilus edulis* memiliki potensi penghambat ACE-I (Naik, Mora and Hayes, 2020).



Gambar 9.4. *Mytilus edulis*

(Sumber : Blue Mussel (*Mytilus edulis*) · iNaturalist)

9.2.5 *Channa striatus*

Haruan (*Channa striatus*) memiliki manfaat farmakologis tradisional yang teridentifikasi dalam pengobatan luka, mengurangi rasa sakit. sifat farmakologis ikan ini dapat diperoleh melalui asam amino dan asam lemak yang terkandung dalam jumlah yang tinggi. Penelitian menunjukkan bahwa hidrolisat protein daging Haruan adalah penghambat ACE yang kuat dan dapat digunakan untuk menurunkan tekanan darah.



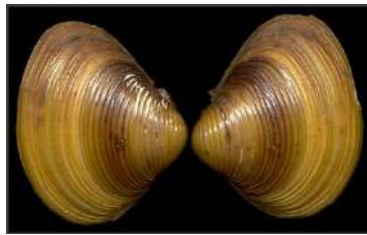
Gambar 9.5. *Mytilus edulis*

(Sumber : Wild Haruan -*Channa striatus* -in an aquarium. | Download Scientific Diagram (researchgate.net))

9.2.6 *Corbicula fluminea*

Corbicula fluminea adalah jenis kerang air tawar yang juga dikenal sebagai "Asian clam" atau "kerang air mancur." Ini adalah spesies kerang air tawar yang berasal dari Asia dan telah menyebar ke berbagai bagian dunia, termasuk Amerika Utara dan Eropa. *Corbicula fluminea* memiliki cangkang yang relatif kecil, hampir segi tiga, dan dapat tumbuh dalam jumlah besar di perairan tawar seperti sungai, danau, dan saluran air.

Kandungan protein larut dan kandungan peptida dari ekstrak air panas *Corbicula fluminea* masing-masing adalah 85 dan 84 mg/g. Nilai IC₅₀ pada ACE adalah 1.95 mg/ml. Hidrolisat kerang air tawar pada konsentrasi peptida 5 mg/ml digunakan sebagai minuman yang diberikan kepada tikus hipertensi selama 8 minggu menghasilkan efek tekanan darah sistolik dan berkurang secara signifikan sebesar 22.0 dan 13.2 mmHg. Hal ini berarti *Corbicula fluminea* memiliki efek hipotensi (Tsai *et al.*, 2006).



Gambar 9. 6. *Corbicula fluminea*

(Sumber : *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) Asian Clam (jaxshells.org))

9.2.7 *Sepia officinalis*

Sepia officinalis adalah nama ilmiah untuk sotong, sering disebut sebagai *cuttlefish* dalam bahasa Inggris. *Sepia officinalis* termasuk moluska cephalopoda. Sembilan peptida penghambat ACE telah berhasil diisolasi dari *Sepia officinalis*. Massa molekul

serta urutan asam amino ditentukan menggunakan ESI-MS dan ESI-MS/MS, secara berturut-turut. Struktur dari peptida paling poten diidentifikasi sebagai Val-Glu-Leu-Tyr-Pro, Ala-Phe-Val-Gly-Tyr-Val-Leu-Pro, dan Glu-Lys-Ser-Tyr-Glu-Leu-Pro. Peptida pertama dari *Sepia officinalis* menunjukkan aktivitas penghambatan ACE tertinggi dengan IC₅₀ sebesar 5,22 µM (Balti *et al.*, 2015).



Gambar 9. 7. *Sepia officinalis*

(Sumber : *Sepia officinalis* - Monaco Nature Encyclopedia)

9.2.9 *Spirulina platensis*

Spirulina merupakan mikroalga fotosintetik berfilamen multiseluler yang berwarna biru-hijau. Saat dilihat di bawah mikroskop, *Spirulina platensis* tampak sebagai benang tipis (filamen) dengan bentuk spiral. Struktur filamen ini merupakan koloni sel yang dapat bergerak. Filamen yang terdiri dari banyak sel memiliki panjang sekitar 200-300 mikron dan lebar 5-70 mikron. Sebuah filamen dengan 7 spiral dapat mencapai panjang sekitar 1000 mikron dan mengandung 250-400 sel. Pemberian fraksi peptida ke dalam tikus hipertensi secara oral pada dosis 200 mg/kg berat badan menghasilkan efek antihipertensi yang signifikan (Suetsuna and Chen, 2001).



Gambar 9. 8. *Spirulina platensis*

(Sumber : *Spirulina platensis*... | Download Scientific Diagram (researchgate.net))

9.2.10 *Dosidicus gigas*

Cumi-cumi raksasa (*Dosidicus gigas*), atau yang juga dikenal sebagai cumi-cumi Humboldt, merupakan hewan yang dapat mencapai lebar tubuh hingga 1.5 meter. Potensi efek antihipertensi dari fraksi hidrolisat kulit *Dosidicus gigas* cukup tinggi (Alemán, Gómez-Guillén and Montero, 2013).



Gambar 9. 9. *Dosidicus gigas*

(Sumber : Stock photo of Humboldt squid (*Dosidicus gigas*) cannibalising another squid of the same.... Available for sale on www.naturepl.com)

9.2.11 *Limanda aspera*

Limanda aspera adalah nama ilmiah untuk ikan sole kuning, yang merupakan salah satu spesies ikan laut. Ikan ini termasuk dalam keluarga Pleuronectidae. Kerangka ikan

Limanda aspera, yang umumnya dianggap sebagai limbah industri dalam proses pembuatan ikan, dapat diisolasi proteinnya. Protein tersebut diurai dengan α -chymotrypsin dan memiliki manfaat sebagai penghambatan enzim pengubah angiotensin I (ACE) (Jung *et al.*, 2006).



Gambar 9. 10. *Limanda aspera*

(Sumber : *Limanda aspera* - Penelusuran Google)

9.2.12 *Paralichthys olivaceus*

Ikan flounder adalah sejenis ikan laut yang termasuk dalam keluarga Pleuronectidae. Ciri khas utama ikan ini adalah bentuk tubuhnya yang datar dan pipih, serta kedua mata yang terletak di satu sisi kepala. Mata ikan flounder selalu berada di sisi yang menghadap ke atas saat mereka berada di dasar laut. Hal ini memungkinkan mereka bersembunyi di pasir atau lumpur dan memantau sekitarnya sambil menunggu mangsa.

Ikan flounder dapat ditemui di perairan laut dangkal hingga dalam, tergantung pada spesiesnya. Mereka biasanya memiliki warna tubuh yang dapat menyesuaikan diri dengan lingkungan sekitarnya untuk melindungi diri dari pemangsa atau sebagai alat untuk berburu mangsa. Ikan flounder termasuk dalam kelompok ikan yang umumnya dikenal sebagai "flatfish" atau ikan datar. Peptida dari ikan flounder (*Paralichthys olivaceus*) memiliki aktivitas sebagai penghambat enzim

pengubah angiotensin I dan berfungsi sebagai agen antihipertensi yang kuat (Ko et al., 2016).



Gambar 9. 11. *Paralichthys olivaceus*

(Sumber : Dietary soy peptide protects juvenile Japanese flounder from heat stress - Hatchery International)

9.2.13 *Salmo salar* L.

Salmo salar adalah nama ilmiah untuk salmon Atlantik, sebuah spesies ikan salmon yang berasal dari Samudra Atlantik. Kandungan gizi salmon dapat bervariasi tergantung pada faktor-faktor seperti usia ikan, makanan yang dikonsumsi, dan lingkungan hidupnya. Kandungan gizi yang terdapat pada ikan salmon seperti asam lemak omega 3, vitamin B, Vitamin D, astaxanthin, kolin dan protein. Peptida kolagen dari kulit salmon yang diperoleh memiliki kandungan protein tinggi. Dua dipeptida, Ala-Pro dan Val-Arg, yang diperoleh dari kulit salmon dianalisis aktivitas penghambatan terhadap ACE. Hasil uji menunjukkan IC_{50} aktivitas penghambatan ACE dari Ala-Pro sebesar $0,060 \pm 0,001$ mg/ml dan Val-Arg $0,332 \pm 0,005$ mg/ml (Gu et al., 2011).



Gambar 9. 12. Salmo salar

(Sumber : Photo 165423227, (c) Hans-Petter Fjeld, some rights reserved (CC BY-SA) · iNaturalist Canada)

DAFTAR PUSTAKA

- Alemán, A., Gómez-Guillén, M.C. and Montero, P. (2013) 'Identification of ace-inhibitory peptides from squid skin collagen after in vitro gastrointestinal digestion', *Food Research International*, 54(1), pp. 790–795. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.08.027>.
- Aneiros, A. and Garateix, A. (2004) 'Bioactive peptides from marine sources: pharmacological properties and isolation procedures', *Journal of Chromatography B*, 803(1), pp. 41–53. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2003.11.005>.
- Balti, R. *et al.* (2015) 'Nine novel angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory peptides from cuttlefish (*Sepia officinalis*) muscle protein hydrolysates and antihypertensive effect of the potent active peptide in spontaneously hypertensive rats', *Food Chemistry*, 170, pp. 519–525. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.091>.
- Bell, K., Twigg, J. and Olin, B.R. (2015) 'Hypertension: The Silent Killer Update JNC-8 Guideline Recommendations.', in: Alabama Pharmacy Association.
- Burtin, P. (2003) 'Nutritional Value of Seaweeds', *Electron. J. Environ. Agric. Food Chem*, 2(4), pp. 498–503.
- Destoumieux-Garzón, D. *et al.* (2016) 'Antimicrobial peptides in marine invertebrate health and disease', *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1695). Available at: <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0300>.
- Fleurence, J., Morancáis, M. and J. Dumay, J. (2018) 'Seaweed proteins', *Proteins in Food Processing (Second Edition)*, pp. 245–262.

- Gu, R.-Z. *et al.* (2011) 'Angiotensin I-converting enzyme inhibitory activity of low-molecular-weight peptides from Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) skin', *Food Research International*, 44(5), pp. 1536–1540. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.04.006>.
- Hamed, I. *et al.* (2015) 'Marine Bioactive Compounds and Their Health Benefits: A Review', *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(4), pp. 446–465. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1541-4337.12136>.
- Harnedy, P.A. and FitzGerald, R.J. (2012) 'Bioactive peptides from marine processing waste and shellfish: A review', *Journal of Functional Foods*, 4(1), pp. 6–24. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.09.001>.
- Ignatavicius, Workman and Rebar (2017) *Medical Surgical Nursing: Concepts For Interprofessional Collaborative Care*. 9th edn. St. Louis : Elsevier Inc.
- Jung, W.-K. *et al.* (2006) 'Angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptide from yellowfin sole (*Limanda aspera*) frame protein and its antihypertensive effect in spontaneously hypertensive rats', *Food Chemistry*, 94(1), pp. 26–32. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.09.048>.
- Kementrian Kesehatan RI (2018) *Profil Kesehatan Indonesia 2017*. Jakarta: Kemenkes RI.
- Ko, J.-Y. *et al.* (2016) 'Angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides from an enzymatic hydrolysate of flounder fish (*Paralichthys olivaceus*) muscle as a potent anti-hypertensive agent', *Process Biochemistry*, 51(4), pp. 535–541. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procbio.2016.01.009>.

- Liu, Z. *et al.* (2011) 'Optimization of hydrolysis condition for the production of angiotensin-I converting enzyme inhibitory peptides from sea cucumber collagen hydrosilates', *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 20(2), pp. 231–235.
- Musakkar and Djafar, T. (2021) *Promosi Kesehatan: Penyebab Terjadinya Hipertensi (H. Aulia (ed.))*. CV. Pena Persada.
- Naik, A.S., Mora, L. and Hayes, M. (2020) 'Characterisation of seasonal mytilus edulis by-products and generation of bioactive hydrolysates', *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(19), pp. 1–21. Available at: <https://doi.org/10.3390/app10196892>.
- Ngo, D.-H., Ryu, B. and Kim, S.-K. (2014) 'Active peptides from skate (*Okamejei kenojei*) skin gelatin diminish angiotensin-I converting enzyme activity and intracellular free radical-mediated oxidation', *Food Chemistry*, 143, pp. 246–255. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.067>.
- Pal, A., Kamthania, M.C. and Kumar, A. (2014) 'Bioactive Compounds and Properties of Seaweeds- A Review.', *Open Access Library Journal*, 1(e752).
- Smeltzer, S.C. and Bare, B.G. (2013) *Buku Ajar Keperawatan Medikal Bedah*. 8th edn. Edited by Brunner and Suddarth. Jakarta: EGC.
- Suetsuna, K. and Chen, J.R. (2001) 'Identification of antihypertensive peptides from peptic digest of two microalgae, *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis*', *Marine Biotechnology*, 3(4), pp. 305–309. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10126-001-0012-7>.
- Suetsuna, K., Maekawa, K. and Chen, J. (2004) 'Antihypertensive effects of *Undaria pinnatifida* (wakame) peptide on blood pressure in spontaneously hypertensive rats', *The Journal of nutritional biochemistry*, 15, pp. 267–272. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2003.11.004>.

- Tsai, J.S. *et al.* (2006) 'The inhibitory effects of freshwater clam (*Corbicula fluminea*, Muller) muscle protein hydrolysates on angiotensin I converting enzyme', *Process Biochemistry*, 41(11), pp. 2276–2281. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.05.023>.
- Zhou, Y. *et al.* (2007) 'Antihypertensive effect and purification and synthesis of an ACE- inhibitory peptide from sea cucumber gelatin hydrolysate', *Process Biochemistry*, 42(12), pp. 1586–1591.

BIODATA PENULIS



apt. Yuri Pratiwi Utami, S.Farm., M.Si.

Dosen Program Studi Sarjana Farmasi
Fakultas Kesehatan Universitas Almarisah Madani

Penulis lahir di Ujungpandang, pada 7 Oktober 1988. Penulis tercatat sebagai lulusan Fakultas Farmasi Universitas Muslim Indonesia (S1 Farmasi). Fakultas Farmasi Universitas Hasanuddin (Profesi Apoteker & S2 Farmasi). Wanita yang kerap disapa Yuri ini adalah anak dari pasangan Dr. Ir. Muh. Usman Asri.,M.Si (ayah) dan Nuraeni Nudju (ibu). **Yuri Pratiwi Utami** seorang akademisi/ dosen di bidang Biologi Farmasi di Program Studi Sarjana Farmasi, Fakultas Kesehatan Universitas Almarisah Madani dan Apoteker Penanggung Jawab di Apotek Sentosa Farma. Yuri aktif di beberapa organisasi baik profesi maupun non profesi diantaranya PD IAI SULSEL, ATB PD IAI SULSEL, DPD Perkumpulan Ahli dan Dosen Republik Indonesia (ADRI) SULSELBAR, dan DPD IWAPI SULSEL.

BIODATA PENULIS



Feronika Evma Rahayu, S.Farm., M.Farm.

Dosen Program Studi Farmasi
STIKes Medistra Indonesia

Penulis lahir di Batang Sangir Maret 1995. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknologi Farmasi dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknologi Farmasi. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Farmasi STIKes Medistra Indonesia dan mengajar bidang Teknologi Farmasi dan Pengembangan Obat dan Kosmetik.

BIODATA PENULIS



apt. Riki Ranova, M.Farm.

Dosen Program Studi D III Farmasi
Akademi Farmasi Imam Bonjol Bukittinggi

Penulis lahir di Padang tanggal 03 November 1983. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi D III Farmasi Akademi Farmasi Imam Bonjol Bukittinggi. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Farmasi, Pendidikan Profesi Apoteker dan melanjutkan S2 pada Jurusan Magister Farmasi Universitas Andalas Padang. Penulis menekuni bidang Menulis.

BIODATA PENULIS



apt. Delladari Mayefis, S.Farm., M.Farm

Dosen Program Studi S1 Farmasi
Institut Kesehatan Mitra Bunda Batam

Penulis lahir di Padang tanggal 11 Maret 1989. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi S1 Farmasi Institut Kesehatan Mitra Bunda Batam. Menyelesaikan pendidikan S1 Farmasi di Universitas Andalas pada Tahun 2010 Setelah itu, melanjutkan pendidikan Profesi Apoteker serta Pascasarjana dan meraih gelar Magister dalam bidang Farmasi dari Universitas Andalas pada tahun 2013. Selama karirnya penulis telah menerbitkan sejumlah artikel dan buku di berbagai jurnal terkemuka.

BIODATA PENULIS



Dr. Lia Kusmita, M.Si.

Dosen Program Studi S1 Farmasi
Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Yayasan Pharmasi Semarang

Penulis lahir di Salatiga tanggal 17 Juni 1984. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi S1 Farmasi Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi (STIFAR) Yayasan Pharmasi Semarang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia FSM UKSW, melanjutkan S2 pada Jurusan Biologi UKSW, dan melanjutkan S3 pada Jurusan FKIP Undip. Penulis menekuni bidang Menulis.

1. Pigmen alami
2. Bahan Alam Laut

BIODATA PENULIS



Yuli Wahyu Tri Mulyani, M.Si.
Dosen Program Studi Farmasi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tulang Bawang Lampung

Penulis lahir di Karya Bhakti (Tulang Bawang) 02 Juli 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Farmasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tulang Bawang Lampung. Penulis memiliki konsentrasi keilmuan pada bidang Biologi Farmasi. Penulis mampu mata kuliah Biologi sel dan molekuler, Bioteknologi Farmasi dan Botani Farmasi. Pendidikan Sarjana penulis selesaikan di Universitas Sriwijaya dan Pendidikan Magister di Institut Pertanian Bogor.

Penulis selain menjadi dosen juga aktif dalam Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Tulang Bawang Lampung serta aktif melakukan kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat baik melalui hibah internal perguruan tinggi dan hibah eksternal Dikti. Selain itu, penulis juga terus menulis buku-buku yang berkaitan dengan Biologi farmasi, dengan harapan sebagai upaya pengembangan diri dan dapat menjadi amal jariyah untuk dunia dan akhirat.

BIODATA PENULIS



Yuvianti Dwi Franyoto, M.Sc., Apt.

Dosen Program Studi S1 Farmasi
Sekolah Tinggi Farmasi Yayasan Pharmasi Semarang

Penulis lahir di Dumai tanggal 13 November 1985. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi S1 Farmasi Yayasan Pharmasi Semarang. Menyelesaikan pendidikan S1 Farmasi Apoteker di Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Yayasan Pharmasi Semarang pada tahun 2008 dan S2 pada jurusan Farmasi di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta pada tahun 2013. Menjadi dosen pengampu pada beberapa mata kuliah biologi farmasi seperti botani farmasi, farmakognosi, dan isolasi dan standarisasi bahan alam.