

BAHAN ALAM LAUT

KEKAYAAN YANG TERSEMBUNYI



Penulis:

Aninditia Sabdaningsih, Ika Maharani, Novy Dwi Susilowati,
Yosua Bayu Kristianto, Retno Sari Utomo, Ida Saridewi,
Hilya Umami Najwa, Yanuar Pandu Pertiwi,
Ida Suskawati, Lia Kusmita

BAHAN ALAM LAUT

**Aninditia Sabdaningsih
Ika Maharani
Novy Dwi Susilowati
Yosua Bayu Kristianto
Retno Sari Utomo
Ida Saridewi
Hilya Ummi Najwa
Yanuar Pandu Pertiwi
Ida Suskawati
Lia Kusmita**



GETPRESS INDONESIA

BAHAN ALAM LAUT

Penulis : Aninditia Sabdaningsih

Ika Maharani

Novy Dwi Susilowati

Yosua Bayu Kristianto

Retno Sari Utomo

Ida Saridewi

Hilya Umami Najwa

Yanuar Pandu Pertiwi

Ida Suskawati

Lia Kusmita

ISBN : 978-623-125-556-3

Editor : Mila Sari, M.Si.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

PENERBIT GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Jl. Palarik RT 01 RW 06 Kelurahan Air Pacah

Kecamatan Koto Tangah Padang Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id

email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Desember 2024

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga buku **"Bahan Alam Laut"** ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai wujud kontribusi dalam memperkaya khasanah ilmu pengetahuan, khususnya terkait sumber daya alam laut yang memiliki potensi luar biasa dalam berbagai bidang, seperti farmasi, bioteknologi, kesehatan, dan lingkungan.

Sumber daya laut adalah salah satu kekayaan yang dimiliki oleh Indonesia, sebagai negara maritim dengan keanekaragaman hayati yang sangat tinggi. Buku ini membahas secara komprehensif berbagai komponen bahan alam laut, mulai dari mikroalga, makroalga, spons, mangrove, lamun, teripang, hingga karang lunak dan keras. Tidak hanya itu, peran mikroba simbiosis biota laut yang memiliki potensi besar dalam aplikasi bioteknologi juga dibahas dalam buku ini.

Kami berharap buku ini dapat menjadi referensi yang bermanfaat bagi mahasiswa, dosen, peneliti, dan praktisi yang bergerak di bidang kelautan, biologi, farmasi, serta disiplin ilmu terkait lainnya.

Kami menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kami sangat terbuka terhadap kritik dan saran konstruktif dari para pembaca demi penyempurnaan edisi berikutnya.

Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam proses penyusunan buku ini.

Padang, Desember 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 BAHAN ALAM LAUT.....	1
1.1 Pengantar Bahan Alam Laut	1
1.2 Sumber Bahan Alam Laut.....	2
1.3 Koleksi Sampel sebagai Sumber Bahan Alam Laut	8
1.3.1 Tahapan Koleksi Sampel	8
1.3.2 Proses Preservasi/Proses Lanjut.....	13
DAFTAR PUSTAKA	15
BAB 2 MIKROALGA	17
2.1 Pendahuluan.....	17
2.2 Taksonomi dan Jenis – jenis Mikroalga.....	18
2.2.1 Chlorophyceae (Alga Hijau)	18
2.2.2 Chrysophyceae (Alga Emas).....	21
2.2.3. Cyanophyceae (Alga Hijau Biru)	22
2.2.4 Bacillariophyceae (Diatom)	24
2.3 Morfologi Mikroalga	27
2.4 Klasifikasi Mikroalga	28
2.5 Habitat Mikroalga	29
2.6 Faktor Lingkungan yang Mendukung Pertumbuhan Mikroalga	29
2.7 Pertumbuhan Mikroalga yang Berbahaya	31
2.8 Manfaat Mikroalga.....	32
2.9 Senyawa Bioaktif dan Aktivitas Farmakologi Mikroalga	33
2.9.1 Metabolit Primer Bioaktif.....	34
2.9.2 Metabolit Sekunder Mikroalga.....	37
2.9.3 Ekstraksi Metabolit Bioaktif Mikroalga	49
2.9.4 Produk dari Mikroalga.....	52
DAFTAR PUSTAKA	55
BAB 3 MAKROALGA.....	59
3.1 Pendahuluan.....	59
3.2 Taksonomi dan Jenis-jenis Makroalga.....	59
3.3 Morfologi Makroalga	64
3.4 Habitat Makroalga	66

3.5 Faktor yang mempengaruhi Pertumbuhan Makroalga.....	66
3.6 Reproduksi Makroalga	67
3.7 Manfaat Makroalga	67
3.8 Senyawa Bioaktif pada Makroalga	68
3.8.1 Senyawa metabolit Primer	69
3.8.2 Senyawa metabolit sekunder	70
3.9 Metode Ekstraksi dan Pemurnian Makroalga	72
3.10 Senyawa bioaktif pada Makroalga dan aktivitasnya	73
3.11 Produk dari Makroalga.....	74
DAFTAR PUSTAKA	78
BAB 4 SPONS.....	83
4.1 Pendahuluan	83
4.2 Identitas, Penggolongan dan Struktur Spons	84
4.2.1 Identitas Spons	84
4.2.2 Penggolongan Spons	85
4.2.3 Struktur Spons	87
4.3 Fisiologi, Anatomi, Morfologi dan Histologi Spons.....	88
4.3.1 Fisiologi Spons	88
4.3.2 Anatomi Spons.....	89
4.3.3 Morfologi Spons	90
4.3.4 Histologi Spons	91
4.4 Mikrosimbion Spons.....	92
4.4.1 Spons dan Mikroorganisme.....	92
4.4.2 Interaksi Spons Terhadap Mikroorganisme.....	94
4.5 Senyawa Bioaktif Spons	95
4.6 Potensi dan Aplikasi Spons	96
DAFTAR PUSTAKA	101
BAB 5 MANGROVE.....	103
5.1 Pendahuluan	103
5.2 Taksonomi dan Jenis-jenis Mangrove	104
5.2.1 Acanthaceae	104
5.2.2 Arecaceae.....	104
5.2.3 Avicenniaceae.....	105
5.2.4 Rhizophoraceae	105
5.2.5 Sonneratiaceae	106
5.3 Morfologi Mangrove.....	107
5.3.1 Acanthaceae	107
5.3.2 Arecaceae.....	108
5.3.3 Avicenniaceae.....	108

5.3.4 Rhizophoraceae.....	109
5.3.5 Sonneratiaceae.....	110
5.4 Habitat dan Adaptasi Mangrove	111
5.5 Manfaat Mangrove	113
5.6 Komponen Bioactive	113
5.6.1 Acanthaceae.....	114
5.6.2 Arecaceae	114
5.6.3 Avicenniaceae.....	114
5.6.4 Rhizophoraceae.....	116
5.6.5 Sonneratiaceae.....	116
DAFTAR PUSTAKA	117
BAB 6 LAMUN	121
6.1 Keajaiban Lamun dalam Kehidupan Laut	121
6.2 Klasifikasi Lamun.....	122
6.3 Beberapa Jenis Lamun	123
6.3.1 Posidonia oceanica (Lamun Laut Tengah)	124
6.3.2 Zostera marina (Lamun Rumpai Laut).....	125
6.3.3 Halophila ovalis (Lamun Bulat)	126
6.3.4 Enhalus acoroides (Lamun Ranting)	128
6.3.5 Thalassia hemprichii (Lamun Hijau)	129
6.4 Manfaat Lamun	130
6.4.1 Manfaat Bagi Perikanan	131
6.4.2 Manfaat Sebagai Penyerap Karbon.....	133
6.5 Parameter Lingkungan yang Mempengaruhi Pertumbuhan Lamun	134
6.5.1 Kecerahan Cahaya.....	134
6.5.2 Suhu Air.....	134
6.5.3 Salinitas	135
6.5.4 Arus Laut.....	135
6.5.5 Substrat.....	135
6.5.6 Ketersediaan Nutrien.....	136
6.6 Senyawa Aktif, Bioaktivitas, dan Produk Potensial untuk Dikembangkan	136
6.6.1 Potensi Lamun Sebagai Antibakteri	136
6.6.2 Potensi Lamun Sebagai Antioksidan.....	138
6.6.3 Potensi Lamun Sebagai Antikanker.....	139
6.6.4 Potensi Lamun Sebagai Antidiabet.....	140
DAFTAR PUSTAKA	141
BAB 7 TERIPANG.....	145

7.1 Pendahuluan	145
7.2 Morfologi dan Anatomi Teripang	146
7.3 Taksonomi dan Jenis-jenis Teripang.....	147
7.3.1 Actinopyga	147
7.3.2 Bohadschia.....	148
7.3.3 Holothuria	149
7.3.4 Muelleria	150
7.3.5 Pearsonothuria.....	151
7.3.6 Stichopus.....	152
7.3.7 Synapta	153
7.3.8 Thelenota.....	153
7.4 Habitat Teripang.....	154
7.5 Adaptasi Teripang.....	155
7.6 Manfaat Teripang	155
7.7 Senyawa Bioaktif dan Aktivitas Farmakologi Teripang	156
7.8 Produk dari Teripang.....	158
DAFTAR PUSTAKA	160
BAB 8 SOFT CORAL (KARANG LUNAK).....	163
8.1 Pendahuluan	163
8.2 Sistematika dan Taksonomi.....	165
8.2.1 Ordo Alcynoeae.....	166
8.2.2 Ordo Helioporacea.....	167
8.2.3 Ordo Pennatulacea	167
8.3 Morfologi	167
8.3.1 Morfologi Alyconacea	171
8.3.2 Morfologi Helioporacea	178
8.3.4 Morfologi Pennatulacea.....	179
8.4 Distribusi dan Habitat	182
8.5 Makanan dan Reproduksi.....	185
8.5.1 Makanan.....	185
8.5.2 Reproduksi.....	186
8.7 Manfaat Karang Lunak	188
8.8 Peran Penting Karang Lunak Dalam Bidang Farmasi	189
BAB 9 HARD CORAL.....	195
9.1 Pendahuluan	195
9.3 Komposisi Spesies.....	199
9.4 Anatomi Dan Morfologi.....	200
9.5 Reproduksi.....	201
9.6 Family Pada Scleractinia.....	203

9.6.1 Family Acroporidae.....	203
9.6.2 Famili Fungidae.....	204
9.7 Kandungan Bioaktif.....	207
9.8 Aktivitas Bioaktif Hard coral.....	207
9.9 Sediaan.....	207
DAFTAR PUSTAKA	209
BAB 10 MIKROBA SIMBION BIOTA LAUT	211
10.1 Pendahuluan.....	211
10.2 Mikroba Simbion.....	213
10.2.1 Mikroba Simbion Karang Lunak.....	213
10.2.2. Mikroba Simbion Spons.....	215
10.2. 3 Mikroba Simbion dari Lamun.....	216
10.3 Identifikasi Mikroba Simbion	217
DAFTAR PUSTAKA	219

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Sponge yang belum diketahui jenisnya dari perairan Tulamben, Bali	6
Gambar 1. 2. Teripang yang didokumentasikan di bawah laut dan di darat.....	7
Gambar 1. 3. Alur perijinan Kawasan konservasi (SIMAKSI-Surat Ijin Masuk Kawasan Konservasi)	9
Gambar 1. 4. Sampling ekosistem Mangrove, lamun, dan terumbu karang	10
Gambar 1. 5. Teknik pengambilan sampel	12
Gambar 1. 6. Identifikasi sampel penelitian	12
Gambar 1. 7. Koleksi spesimen Sumber:.....	13
Gambar 2. 1. Jenis Mikroalga Clorophyta	20
Gambar 2. 2. Chlamidonas reinhardtii.....	21
Gambar 2. 3. Jenis Mikroalga Chrysophyta. a. <i>Chrysamoeba</i> , b. <i>Chromulina</i> , c. <i>Chrysococcus</i> , d. <i>Ochromonas</i> , e. <i>Chrysothecopsis</i> , f. <i>Uroglena</i> , g. <i>Dinobryon</i> , h. <i>Chrysocopsa</i> , i. <i>Mallomonas</i> , j. <i>Gloeochrysis</i> , k. <i>Phaeoplaca</i> , l. <i>Hydrurus</i> , m. <i>Synura</i>	21
Gambar 2. 4. <i>Synura uvella</i> Ehrenberg	22
Gambar 2. 5. Jenis Mikroalga Cyanophyceae.....	23
Gambar 2. 6. <i>Spirulina platensis</i>	24
Gambar 2. 7. Mikroalga Diatom	26
Gambar 2. 8. <i>Navicula</i> sp.	27
Gambar 2. 9. Skema sel prokariotik dan eukariotik	28
Gambar 2. 10. Pertumbuhan Alga Berbahaya.....	32
Gambar 2. 11. Manfaat Mikroalga.....	33
Gambar 2. 12. Aplikasi Metabolit Sekunder dari Mikroalga	48
Gambar 2. 13. Manfaat Kesehatan Dari Senyawa Bioaktif Mikroalga.....	48
Gambar 2. 14. Ilustrasi bertahap untuk produksi metabolit bioaktif yang berasal dari mikroalga	50
Gambar 2. 15. Berbagai Jenis Metabolit Bioaktif Yang Terkandung Dalam Biomassa Mikroalga dan Metode Ekstraksinya	51

Gambar 3. 1. <i>Caulerpa racemosa</i>	60
Gambar 3. 2. <i>Gracilaria salicornia</i>	62
Gambar 3. 3. <i>Sargassum polycystum</i>	63
Gambar 3. 4. Bagian-bagian dari makroalga	65
Gambar 3. 5. Senyawa bioaktif Makroalga.....	69
Gambar 3. 6. Metode ekstraksi dan pemurnian makroalga	72
Gambar 4. 1. Struktur Spons secara Umum.....	87
Gambar 4. 2. Hasil Analisis Histomorfologi <i>Callyspongia</i> sp.	91
Gambar 4. 3. Spons <i>Callyspongia</i> sp.....	98
Gambar 4. 4. Spons <i>Xestospongia</i> sp	100
Gambar 5. 1. <i>Acanthus ebracteatus</i>	107
Gambar 5. 2. <i>Nypa fruticans</i>	108
Gambar 5. 3. <i>Avicennia alba</i>	109
Gambar 5. 4. <i>Rhizophora mucronata</i>	110
Gambar 5. 5. <i>Sonneratia alba</i>	111
Gambar 8. 1. Octocorallia memiliki delapan tentakel dan delapan meseteri pada polipnya (Fabricius dan Alderslade, 2001)	166
Gambar 8. 2. Anatomi Polip Coral (Britannica, n.d.)	168
Gambar 8. 3. Penampang melintang polip karang lunak BAYER 1956 dalam (Manuputty, 1986).	169
Gambar 8. 4. A. Susunan spikula pada antokodia.....	169
Gambar 8. 5. A. Penampang melintang keping mulut Alcyonaria. B. Penampang melintang melalui faring.C. Penampang melintang melalui bagian bawah faring. HYMAN 1940 dalam (Manuputty, 1986).	170
Gambar 8. 6. Struktur polip Octocorallia. A : dua autozoid dari Clavularia sp. (disini polip kecil yang matang dan baru bertunas, namun sudah berkembang sempurna). Tampilan sekitar 4 cm. B : Lobophytum sp menunjukan banyak bukaan pada siphonozoid kecil sebagian titik-titik gelap disekitar dasar autozoid yang lebih besar dan berkembang sempurna. Tampilan sekitar 2,5 cm (Fabricius, dkk, 2001).....	171

Gambar 8. 7. Penampang Vertikal Autozoid dan Siphonozoid (Fabricius dan Alderslade, 2001).....	172
Gambar 8. 8. Koloni hidup dari 2. <i>Sarcophyton crassocaule</i> . 3. <i>Briareum excavatum</i> 4. <i>Sinularia</i> dan <i>Lobophytum</i> . 5. <i>Sarcophyton</i> and <i>Sinularia</i> . 6. <i>Sinularia leptoclados</i> . 7. <i>Sinularia polydactyla</i> . 8. Agregasi dari <i>Sinularia flexibilis</i> . 9. <i>Cladiella australis</i> (Benayahu dkk., 2004)...	175
Gambar 8. 9. Koloni hidup dari 10. <i>Klyxum</i> 11. <i>Lobophytum crassum</i> . 12. <i>Lobophytum pauciflorum</i> 13. <i>Sarcophyton ehrenbergi</i> 14. <i>Sarcophyton glaucum</i> . 15. <i>Sarcophyton infundibuliforme</i> . 16. <i>Cespitularia caerulea</i> . 17. <i>Anthelia glauca</i> (Benayahu dkk., 2004)...	176
Gambar 8. 10. Koloni hidup dari 18. <i>Xeniidae</i> 19. <i>Clavularia inflata</i> . <i>Capnella fungiformis</i> 21. <i>Lemnalia flava</i> 22. <i>Asterospicularia laurae</i> . 23. Koloni Alcyoniidae. 24. <i>Dendronephthya</i> sp. 25. <i>Chironephthya</i> sp (Benayahu dkk., 2004).	178
Gambar 8. 11. A: Bagian permukaan koloni <i>Heliopora coerulea</i> yang diperbesar, memperlihatkan lima kaliks dan dikelilingi tabung-tabung koenenkim (Colgan, 1984). B: Koloni Hidup dari <i>Heliopora coerulea</i> (English dkk., 1998).	179
Gambar 8. 12. A. <i>Anthoptilum</i> sp. B. <i>Umbellula</i> indahli. C. <i>Ptilosarcus gurneyi</i> . D. <i>Protoptilum carpenteri</i> . E. <i>Pennatula</i> sp (Williams, 2011).....	181
Gambar 8. 13. Koloni Hidup pennatulaceans. A. <i>Veretillum</i> B. <i>Pteroeides</i> sp., C. <i>Virgularia</i> . D. <i>Actinoptilum</i> E. <i>Scytalium</i> . F. <i>Sclerobelemnon</i> sp. G. <i>Cavernularia</i> . H. <i>Pennatula phosphorea</i> . I. <i>Umbellula</i> (Williams, 2011)..	181
Gambar 8. 14. A: Golden anemone (<i>Condylactis aurantiaca</i>) yang hidup didasar laut yang berpasir. B. <i>Polycyathus muelleriae</i> yang hidup berasosiasi dengan batu dan dinding (Aguilar, 2006).....	184
Gambar 8. 15. Zonasi Vertikal Karang Lunak (Manuputty, 1996).....	185
Gambar 8. 16. Perbanyakan aseksual pada Octocorallia. A : pembentukan stolon dan polip anak pada	

	<i>Efflatounaria</i> . B: Pembelahan koloni di <i>Sarcophyton</i> (Fabricius dan Alderslade, 2001).....	186
Gambar 8. 17.	Tahap awal pengumpulan dan pembentukan koloni pada karang lunak alcyoniid <i>Lobophytum compactum</i> . A dan B: Polip pendiri, C: tahap awal pertumbuhan polip (Fabricius dan Alderslade, 2001).....	188
Gambar 9. 1.	(a) Hermatypic, (b) Ahermatypic.....	198
Gambar 9.	2Tiga bentuk koloni karang. A, <i>Montastrea valenciennesi</i> .,B, <i>Platygyra sinensis</i> , C, <i>Seriatopora hystrix</i> , dan D, <i>Fungia (Verrillofungia) concinna</i> . A dan B (bentuk massive), C (bentuk bercabang), D, tipe soliter, E)bentuk tabulate, dan F) bentuk digitate. A, B, C, E dan F jenis karang tipe berkoloni.	199
Gambar 9. 3.	Anatomi dan morfologi polip karang keras (Pamacca, 2014)	201
Gambar 9. 4.	Siklus reproduksi karang keras (Ihsan <i>et al.</i> , 2019).....	202
Gambar 9. 5.	<i>Acropora</i> palifera.....	204
Gambar 9. 6.	Fosil <i>Fungia</i> sp	204
Gambar 9. 7.	<i>Caryophyllidae</i>	205
Gambar 9. 8.	<i>Faviidae</i>	206
Gambar 9. 9.	<i>Meandrinidae</i>	206
Gambar 9. 10.	Sediaan yang dibuat dari Coral.....	208
Gambar 10. 1.	Biodiversitas Organisme di Perairan Indonesia.....	211
Gambar 10. 2.	Bakteri simbion penghasil pigmen karotenoid dari a) <i>Sarchophyton</i> dan b) <i>Sinularia</i>	214
Gambar 10. 3.	Krim vs (a), ow (b), dan wo (c).....	215

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Aktivitas senyawa yang dihasilkan oleh makroalga.....	73
Tabel 3. 2. Produk yang dihasilkan dari Makroalga	75

BAB 1

BAHAN ALAM LAUT

Oleh Aninditia Sabdaningsih

1.1 Pengantar Bahan Alam Laut

Bahan alam menurut Nugroho (2017) dideskripsikan sebagai suatu materi organik yang berasal dari alam dan telah dikaji serta dibuktikan secara empiris maupun dimanfaatkan secara tradisional berbasis kearifan lokal dengan penggunaan turun - temurun yang dianggap memiliki khasiat tertentu untuk kesehatan. Bahan alam tersebut dapat berbentuk segar, sediaan kering, ekstrak, atau dapat juga berupa senyawa tunggal hasil pemurnian.

Bahan alam yang tersedia saat ini banyak diteliti dan dikembangkan dari terestrial atau daratan. Padahal, Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang $\frac{3}{4}$ luasannya adalah berupa perairan (Adyasari *et al.*, 2021). Bahan alam laut sendiri diartikan sebagai bahan alam yang berasal dari laut. Kehidupan di laut sangat kompleks dan dihuni oleh berbagai macam organisme.

Bahan alam laut dalam nomenklatur yang diakui secara internasional dikenal dengan sebutan *marine natural products*. Publikasi ilmiah berupa review artikel dari topik ini sudah dimulai sejak tahun 1984 oleh John Falkner, seorang Professor dari Scripps Institution of Oceanography, University of California at San Diego, USA. Pada awal tahun 70-an, Faulkner menemukan bahwa halogenasi pada tumbuhan laut adalah proses alami yang dominan di lingkungan laut. Halogenasi dari klorin dan bromin yang berasal dari laut juga tersebar luas pada invertebrata laut hingga dapat ditemukan ragam struktur kimia dari 100 senyawa terpena dan poliketida terhalogenasi (Fenical, 2003).

Di Indonesia sendiri, istilah bahan alam laut ini banyak dikaji di bidang farmasi, biologi, kimia, kedokteran, ilmu perikanan dan kelautan. Sejarah perkembangan bahan alam laut ini dimulai sejak ratusan bahkan ribuan tahun lalu, ketika masyarakat pesisir telah lama menggunakan rumput laut sebagai bahan makanan maupun obat-obatan. Menurut Moelyono (2017), riset ilmiah bahan alam laut dimulai pada tahun 1899-1900 dalam ekspedisi Siboga yang menemukan terdapat setidaknya 555 jenis makroalga di Indonesia. Berdasarkan studi literatur yang dilakukan oleh Hanif *et al.* (2019) menjelaskan bahwa sejak Januari tahun 1970 hingga Desember tahun 2017 telah dilaporkan sebanyak 732 bahan alam laut dengan 4 struktur yang diisolasi pertama yang kemudian diproduksi secara sintetis diperoleh dari 94 spesies dari 270 publikasi pada kurun waktu tersebut.

Pada buku ini, akan dijabarkan secara lengkap dari beberapa jenis sumber organisme yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan alam laut dan banyak diteliti di Indonesia.

1.2 Sumber Bahan Alam Laut

Indonesia adalah negara yang memiliki keanekaragaman flora dan fauna yang tinggi (*megadiversity*) termasuk dengan spesies endemik yang tinggi pula. Pentingnya keanekaragaman ini salah satunya adalah karena obat tradisional yang digunakan turun-menurun oleh masyarakat Indonesia. Hal ini dapat dikembangkan dalam bidang farmasi (Rintelen *et al.*, 2017). Bahan alam laut sendiri, dapat bersumber dari tumbuhan, hewan, maupun mikroorganisme yang hidup di laut dan sekitarnya. Lingkungan laut sebagai habitat alami bagi beragam organisme, memiliki fisiologi yang khas dan kemampuannya dalam adaptasi dengan lingkungan (Margulis & Schwartz, 1998). Organisme di laut seperti sponges, tunikata, ikan, karang lunak, nudibranch, moluska, echinodermata, bryozoa, dan mikroorganisme adalah sumber senyawa aktif yang dapat dimanfaatkan (Malve, 2016).

Pada buku ini, secara spesifik dibahas beberapa organisme dari tumbuhan hingga mikroorganisme seperti mangrove, lamun, makroalga, hard coral, soft coral, sponge, teripang, mikroalga, serta mikroba simbion.

a. Mangrove

Mangrove adalah tumbuhan yang mampu hidup pada kondisi salinitas. Umumnya ditemukan di daerah pasang surut. Luasan maupun keanekaragaman mangrove di Indonesia sangat besar dan memberikan manfaat baik secara ekologis maupun ekonomis.

Menurut Purnobasuki (2004), ekstrak maupun bahan mentah dari mangrove dimanfaatkan oleh masyarakat yang hidup di pesisir sebagai obat tradisional. Seluruh bagian tubuh tumbuhan mangrove memberikan manfaat bagi masyarakat pesisir. *Batang* dari *Avicennia alba* digunakan sebagai obat rematik, cacar, maupun luka/borok. Daun dari *Ceriops tagal* digunakan untuk mengatasi saat tersengat ubur-ubur. Bagian buah dari *Rhizophora mucronata* dapat dimanfaatkan untuk mengobati bengkak maupun keseleo, sedangkan bunga dari *Bruguiera gymnorhiza* digunakan untuk infeksi telinga (Bandaranayake, 1998).

b. Makroalga

Alga adalah kelompok organisme autotrof yang berdasarkan jenisnya *dibedakan* menjadi makroalga yang dikenal dengan seaweed dan mikroalga lebih dikenal sebagai fitoplankton. Makroalga hidup pada daerah litoral yang terdiri dari Chlorophyta (alga hijau), Rhodophyta (alga merah), dan Phaeophyta (alga coklat).

Di Indonesia, makroalga dimanfaatkan sebagai sumber pangan, *selain* itu banyak ekstraknya yang telah dikembangkan sebagai bahan aktif pada kosmetik, suplemen, vitamin, dan industri (Suparmi&Sahri, 2009).

c. Mikroalga

Mikroalga ditemukan di habitat litoral maupun bentik serta tersebar luas di perairan laut sebagai fitoplankton. Fitoplankton terdiri dari diatom (Bacillariophyta), dinoflagellata (Dinophyta), maupun cyanobacteria. *Organisme* ini mampu berfotosintesis dan memiliki peran dalam produktivitas perairan serta sebagai dasar dari rantai makanan di laut.

Mikroalga telah banyak dikembangkan di Indonesia sebagai pangan fungsional, energi terbarukan, pakan alami dalam *budidaya* perikanan serta masih banyak yang dapat dikembangkan dari turunan ekstrak mikroalga.

d. *Hard coral*

Hard coral adalah hewan karang yang mampu menghasilkan kalsium karbonat sehingga membentuk terumbu yang keras. Hewan ini sebagian besar hidup berkoloni meskipun ada jenis tertentu yang soliter seperti kelompok Fungia. Karang pembentuk terumbu ini menjadi tempat bermukim bagi banyak invertebrata laut yang banyak menghasilkan *senyawa* metabolit dengan manfaat yang beragam seperti anti-peradangan, anti-kanker, perbaikan tulang, maupun neurologi (Cooper *et al.*, 2014). Di Indonesia kajian mengenai *hard coral* masih difokuskan pada hewan asosiasinya, karena kesulitan teknis dalam mengekstrak hewan karang keras ini.

e. *Soft coral*

Soft coral adalah hewan laut yang tidak mampu mengendapkan kalsium karbonat sehingga tidak dapat membentuk terumbu yang keras. Hewan ini disusun oleh sekumpulan sklerit. Tumbuh berasosiasi dengan terumbu karang. Hewan yang sering dieksplorasi dari jenis *Sinularia* sp., *Sarcophyton* sp., maupun *Lobophytum* sp. sebagai antimikroba, anti-kanker (Fatmawati, 2015; Tanjung *et al.*, 2020, Kusuma *et al.*, 2023).

f. *Sponge*

Sponge adalah metazoa tertua yang masih hidup hingga saat ini dan merupakan hewan yang hidup menetap, *filter feeder*, dan mampu membentuk mekanisme perlawanan terhadap benda asing seperti virus, bakteri maupun organisme eukariotik (Sabdaningsih *dalam* Ayuningrum *et al.*, 2021). Sponge laut menjadi sumber farmakologis yang paling banyak dikaji karena mengandung banyak senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan dari kluster enzim fungsional baik dari sponge itu sendiri maupun mikroba simbiotiknya (Sabdaningsih *et al.*, 2020). Sebanyak lebih dari 5.300 senyawa dihasilkan dan setiap tahunnya setidaknya dilaporkan 200 senyawa baru dari sponges (Abad *et al.*, 2011).

Di Indonesia, masih banyak sponge yang belum teridentifikasi dan dilaporkan spesimennya pada data *The World Porifera Database* ([World Porifera Database](http://www.worldporifera.org/)) maupun data genetiknya pada GeneBank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>), hal ini dapat menjadi sumber bahan alam laut yang baik dan terus digali untuk menghasilkan senyawa-senyawa yang belum pernah dilaporkan dan memberi

manfaat di bidang formasi. Pada Gambar 1.1 merupakan sponge yang belum berhasil diidentifikasi dari perairan Tulamben, Bali.



Gambar 1. 1. Sponge yang belum diketahui jenisnya dari perairan Tulamben, Bali

Sumber: Dokumentasi Pribadi

g. Teripang

Teripang atau yang dikenal dengan timun laut adalah hewan invertebrata yang sebagian besar dapat dikonsumsi. Hewan yang masuk kelas Holothuroidea ini banyak dimanfaatkan sebagai sumber makanan dan obat tradisional.

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara penghasil teripang terbesar di dunia. Tercatat 56 jenis yang diperdagangkan secara ekspor untuk sumber daya ini. Adapun morfologinya dapat dilihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1. 2. Teripang yang didokumentasikan di bawah laut dan di darat

Sumber: Setyastuti *et al.*, 2019

h. Mikroba Simbion

Sumber bahan laut lain yaitu mikroba simbion yaitu mikroorganisme yang dapat berasal dari jenis bakteri, jamur, maupun actinobacteria. Mikroba simbion ditemukan hidup pada organisme inang/lain. Simbion artinya memiliki peran terhadap organisme inangnya. Dalam simbiosis ada hubungan saling menguntungkan atau yang satu diuntungkan yang lain tidak, namun dalam konteks sumber bahan alam laut ini, jenis mikroba yang hidup bersama inang tidak memiliki dampak negatif/kerugian/penyakit bagi inangnya.

Dalam istilah lain, jika belum diketahui hubungan simbiosisnya, maka dapat disebut sebagai mikroba asosiatif artinya hidup berasosiasi dengan organisme inangnya. Fenical (1993) menyebutkan bahwa bakteri yang bersimbiosis dapat menjadi penghasil sebenarnya dari banyak senyawa bioaktif yang diisolasi dari karang, sponges, tunikata, maupun organisme invertebrata lainnya. Rohwer *et al.*, (2002) menambahkan bahwa terdapat bakteri yang mampu melindungi karang dari patogen yang mampu menghasilkan

antibiotik. Haygood (2004) menjelaskan *Candidatus Endobugula sertula* adalah bakteri simbiosis dari bryozoa jenis *Bugula neritina* maupun *Bugula simplex* yang diketahui sebagai penghasil sebenarnya dari senyawa bryostatins (Davidson *et al.*, 2001; Triandade-Silva *et al.*, 2010). Bryostatin adalah poliketida yang berfungsi sebagai anti-kanker, anti-AIDS/HIV. Bryostatin berfungsi juga dalam mengatasi gangguan sistem saraf bagi penderita Alzheimer (Kollár *et al.*, 2014).

1.3 Koleksi Sampel sebagai Sumber Bahan Alam Laut

1.3.1 Tahapan Koleksi Sampel

Pengumpulan sampel yang digunakan dalam suatu penelitian harus memperhatikan tingkat keterwakilan (representatif) disuatu wilayah atau tempat. Enam tahapan yang perlu diketahui dalam pengumpulan koleksi sampel yaitu persiapan, penentuan titik sampel dan waktu pelaksanaan, sampling, pengambilan sampel, koleksi dan identifikasi sampel dan proses preservasi sampel atau proses lanjut.

a. Tahap Persiapan

Tahap persiapan dalam koleksi sampel organisme laut penting dilakukan guna untuk memperhitungkan situasi dan kondisi di lapangan serta memastikan kebutuhan yang akan digunakan.

Alur penerbitan surat ijin pada salah satu kawasan konservasi ditampilkan pada Gambar 1.3.



Gambar 1. 3. Alur perijinan Kawasan konservasi (SIMAKSI-Surat Ijin Masuk Kawasan Konservasi)

Sumber : Balai Taman Nasional Karimunjawa

Komponen yang perlu diperhatikan pada tahap persiapan sebagai berikut :

1. Persiapan alat dan bahan yang diperlukan
 2. Persiapan tim yang berangkat sampling
 3. Persiapan kendaraan yang digunakan
 4. Persiapan dana yang diperlukan
 5. Persiapan persuratan (misal surat ijin, surat tugas, dst)
 6. Persiapan perijinan jika memasuki Kawasan konservasi (SIMAKSI-Surat Ijin Masuk Kawasan Konservasi)
- b. Penentuan titik sampling dan waktu pelaksanaan

Penentuan titik sampling perlu diperhatikan biota target yang akan dikoleksi serta kondisi dari ekosistem tersebut. Pada ekosistem mangrove dan lamun, yang perlu diperhatikan adalah cuaca dan pasang surut air laut. Berbeda dengan ekosistem terumbu karang, yang perlu diperhatikan yaitu perhatikan cuaca, karena pada saat hujan, visibilitas akan rendah dan pengambilan sampel akan sulit dilakukan, hindari saat

gelombang besar. Dokumentasi saat di lapangan dapat dilihat dari Gambar 1.4.



Gambar 1. 4. Sampling ekosistem Mangrove, lamun, dan terumbu karang

Sumber: Koleksi pribadi

c. Teknik Sampling / Pengambilan sampel

Ketika sampling di lapangan, maka perhatikan alat-alat yang penting untuk pengambilan sampel termasuk untuk melabel sampel. ALat yang perlu dipersiapkan adalah sebagai berikut: (1) Pisau/Gunting/dsb untuk mengambil sampel; (2) Plastik Ziplock untuk menyimpan sampel; (3) Kertas Tahan Air untuk melabel sampel; (4) Kabel ties untuk mengelompokkan sampel; (5) Tas jaring untuk mengumpulkan sampel; (6) Sarung Tangan untuk melindungi diri; (7) Kamera/ Underwater Camera untuk mendokumentasikan sampel; (8) GPS untuk

menentukan posisi sampling; (9) Peralatan selam snorkel/SCUBA; (10) Papan dan pensil.

Teknik pengambilan sampel berhubungan erat dengan populasi atau sampel yang menjadi bagian penting dari sebuah penelitian (Gambar 1.5). Dengan penentuan jenis objek penelitian, peneliti bisa menentukan metode penelitian yang lebih sesuai dengan kondisi dan kebutuhan.

Pengambilan sampel dilakukan dengan beberapa teknik:

1. *Systematic Random Sampling*: Teknik ini digunakan apabila ukuran populasi sangat besar yang tidak memungkinkan dilakukan pemilihan sampel dengan cara pengundian
2. *Purposive Sampling*: Teknik ini digunakan jika memerlukan sumber data yang memiliki kualifikasi spesifik.
3. Sampel harus diberikan kode yang jelas agar tidak tertukar dengan koleksi yang lain, misal tahun, lokasi, jenis sampel, sampel ke-
4. Sampel harus segera dimasukkan ke cool box yang berisi es/ice gel untuk mempertahankan kualitas sampel/ menghindari dari proses pembusukan oleh mikroba.



Gambar 1. 5. Teknik pengambilan sampel

Sumber: Koleksi pribadi

d. Koleksi dan Identifikasi Sampel

Koleksi sampel yang telah terkumpul disimpan pada ziplock plastic bag disatukan dalam cooler box sehingga sampel aman dari kontaminasi. Dalam menentukan identifikasi sampel dilakukan dengan identifikasi secara morfologi kemudian dicocokkan pada buku referensi dan website yang relevan. Sampel dibandingkan antara foto di dalam laut dan di darat. Foto di darat menggunakan alat ukur untuk memastikan bahwa pengambilan sampel tidak mengganggu keseimbangan ekosistem di alam (Gambar 1.6.).



Gambar 1. 6. Identifikasi sampel penelitian

Sumber: Koleksi pribadi

1.3.2 Proses Preservasi/Proses Lanjut

Berdasarkan cara pengawetannya, koleksi spesimen pada dasarnya dapat dibagi menjadi dua kelompok koleksi, koleksi basah dan kering. Koleksi kering diawetkan dalam kantong plastik bebas asam dan/atau dimasukkan ke dalam toples plastik atau kotak karton bebas asam. Koleksi basah dilarutkan dengan etanol teknis 70% untuk koleksi biasa atau 96% untuk koleksi dengan tujuan studi molekuler. Wadah penyimpanan adalah botol kaca dan ditutup rapat untuk mencegah penguapan dan mencegah masuknya hama yang dapat menyebabkan kerusakan specimen (Gambar 1.7). Label yang dimasukkan ke dalam tempat penyimpanan biota diusahakan terbuat dari bahan yang awet dan bebas asam agar tidak mudah hancur dan tumbuh jamur. Pengawetan spesimen untuk jangka panjang tidak dapat menggunakan formalin. Formalin 4% atau $MgCl_2$ hanya digunakan untuk fiksasi, bahkan tidak digunakan sama sekali untuk spesimen dengan tujuan analisa molekuler. Formalin digunakan hanya untuk pengawetan spesimen untuk waktu yang tidak lama, dan kemudian dipindahkan ke dalam larutan alkohol 70%.



Gambar 1. 7. Koleksi spesimen Sumber:

<https://australian.museum/>
<http://www.xinhuanet.com/>

<https://www.thisiscolossal.com/>;

DAFTAR PUSTAKA

- Abad, M.J., Bedoya, L.M., Bermejo, P. 2011. Marine compounds and their antimicrobial activities. *Formatex*, pp:1293-1306.
- Adyasari, D., Pratama, M.A., Teguh, N.A., Sabdaningsih, A., Kusumaningtyas, M.A., Dimova, N. 2021. Anthropogenic impact on Indonesian coastal water and ecosystem: Current status and future opporstunities. *Marine Pollution Bulletin* 171, 112689. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112689>.
- Bandaranayake, W.M. 1998. Traditional and medical uses of mangroves. *Mangroves and Salt Marshes* 2:133-148.
- Cooper, E. L., Hirabayashi, K., Strychar, K. B., & Sammarco, P. W. 2014. Corals and their potential applications to integrative medicine. Evidence-based complementary and alternative medicine : eCAM, 2014, 184959. <https://doi.org/10.1155/2014/184959>.
- Davidson, S.K., Allen, S.W., Lim, G.E., Anderson, C.M., Haygood, M.G. 2001. Evidence for the biosynthesis of bryostatins by the bacterial symbiont "*Candidatus Endobugula sertula*" of the bryozoan *Bugula neritina*. *Applied and Environmental Microbiology*. 67:4531–4537. doi: 10.1128/AEM.67.10.4531-4537.2001.
- Nugroho, A. 2017. *Teknologi Bahan Alam*. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press: 155p.
- Fatmawati, A. 2015. Uji Aktivitas Ekstrak Karang Lunak *Sarcophyton* sp. terhadap *Staphylococcus aureus*. *Al-Kimia Jurnal*. 3(1). 12-23. <https://doi.org/10.24252/al-kimia.v3i1.1657>.
- Fenical, W. 2003. D. John Faulkner (1942–2002): Marine Natural Products Chemistry and Marine Chemical Ecology. *Angewandte Chemie International Edition*, 42: 1438-1439. <https://doi.org/10.1002/anie.200390369>.
- Kollár, P., Rajchard, J., Balounová, Z., Pazourek, J. 2014. Marine natural products: bryostatins in preclinical and clinical studies. *Pharmaceutical Biology*. 52 (2): 237–42. doi:10.3109/13880209.2013.804100.

- Kusuma, A.H., Kurniawan, K., Gipari, N. 2023. Aktivitas antibakteri ekstrak karang lunak terhadap bakteri patogen *Escherichia coli*. Journal Perikanan. 13(3):925-934.<http://doi.org/10.29303/jp.v13i3.614>
- Moelyono, MW. 2017. Farmasi Bahari. Daerah Istimewa Yogyakarta: Deepublish, CV. Budi Utama. 91p.
- Rintelen, K.V., Arida, E., Hauser, C. 2017. A review of biodiversity-related issues and challenges in megadiverse Indonesia and other Southeast Asian countries. Research Ideas and Outcome. 3(1):e20860. DOI: 10.3897/rio.3.e20860.
- Margulis L, Schwartz KV. 3rd ed. New York, USA: W.H. Freeman and Company; 1998. Five Kingdoms – An Illustrated Guide to the Phyla of Life on Earth
- Malve, H. 2016. Exploring the ocean for new drug developments: Marine pharmacology. Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences. 8(2):83–91. doi: 10.4103/0975-7406.171700.
- Setyastuti, A., Wirawati, I., Permadi, S., Vimoni, I.B. 2019. Teripang Indonesia: Jenis, Sebaran dan Status Nilai Ekonomi. Bogor: PT Media Sains Nasional. 69p.
- Suparmi, S. & Sahri, A. 2009. Mengenal potensi rumput laut: kajian pemanfaatan sumber daya rumput laut dari aspek industri dan kesehatan. Sultan Agung. XLIV(118):95-116.
- Tanjung, M.J.P., Yoswaty, D. Effendi, I. 2020. Antibacterial Activities of Soft Coral Extract *Lobophytum* sp. towards Pathogenic Bacteria (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Pseudomonas aeruginosa*). Jurnal Perikanan dan Kelautan 25(2):151-157.
- Trindade-Silva, A.E., Lim-Fong, G.E., Sharp, K.H., Haygood, M.G. 2010. Bryostatins: biological context and biotechnological prospects. Current Opinion Biotechnology. 21:834–842. doi: 10.1016/j.copbio.2010.09.018.

BAB 2

MIKROALGA

Oleh Ika Maharani

2.1 Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara dengan keanekaragaman hayati terkaya. Beriklim tropis dan terletak diantara dua benua dan dua samudra yaitu benua Asia dan Australia, serta Samudra Hindia dan Pasifik, terletak antara 6°LU-11°LS dan 95°BT dan 141°BT. Secara geografis Indonesia tidak terlepas dari kekayaan flora dan faunanya. Kondisi geografis Indonesia menyebabkan Indonesia mempunyai keanekaragaman hayati yang sangat tinggi, di Indonesia mempunyai 1.500 jenis alga yang tersebar di perairan laut dan perairan air tawar (Selviana, Harmoko and Arisandy, 2021).

Mikroalga adalah mikroorganisme fotosintetik nutrien yang berukuran antara satu mikrometer sampai ratusan mikrometer yang memiliki zat hijau (klorofil), hidup di air tawar atau laut, memerlukan karbondioksida, beberapa nutrisi, dan cahaya untuk berfotosintesis (Tasman, Dharma and Syfrizayanti, 2022).

Mikroalga secara umum diketahui sebagai biota air yang dapat dijadikan sebagai bioindikator untuk melihat suatu perairan. Mikroalga sebagai salah satu parameter ekologi dapat memberikan gambaran keadaan perairan dan termasuk salah satu komponen biotik penting dalam metabolisme badan air, karena merupakan mata rantai primer di dalam rantai makanan ekosistem perairan, penting bagi kehidupan ikan dan organisme air lain sehingga keberadaannya sangat menentukan kondisi ekosistem. Ukuran diversitas mikroalga suatu perairan dinyatakan sebagai spesies mikroalga yang terdapat di perairan tersebut. Semakin besar jumlah

spesies dengan jumlah individu dapat dinyatakan dalam bentuk diversitas (Harmoko, 2017).

Alga merupakan tumbuhan talus yang hidup di perairan laut maupun perairan tawar, habitatnya lembab atau basah. Pergerakan alga bergerak secara motil maupun non motil sesuai dengan jenisnya. Mengetahui keragaman jenis organisme mikroalga merupakan tolak ukur dalam sebuah ekosistem, baik ekosistem perairan tawar atau perairan air laut. Mikroalga termasuk dalam kelompok mikroba karena mikroalga termasuk protista mirip tumbuhan yang keberadaannya sebagai patauan terhadap kondisi dan keberlangsungan ekosistem perairan. Mikroalga yang terapung di air merupakan bagian dari fitoplankton. Fitoplankton yang mendominasi pada air tawar umumnya terdiri dari divisi Bacillariophyta (diatom) dan Chlorophyta (ganggang hijau). Karena kedua divisi ini mempunyai kemampuan baik dari menyesuaikan dengan lingkungannya dan berkembang biak dengan cepat. Mikroalga mempunyai tiga macam pigmen fotosintetik yaitu klorofil, karotenoid dan fikobilin. Semua pigmen fotosintetik ini terdapat pada kloroplas alga. Semua alga mempunyai klorofil *-a* yang terdapat di semua organisme fotosintetik. Klorofil yang lainnya adalah klorofil *b*, *c*, *d*, dan *e* yang dibedakan menurut struktur molekuler dan dapat menentukan gelombang cahaya yang bisa diserap oleh tipe klorofil sebagai energi (Rahayu and Susilo, 2021). Mikroalga yang sudah dapat dikenali terbagi dalam empat kelompok yaitu alga hijau (Chlorophyceae), alga emas (Chrysophyceae), alga biru (Cyanophyceae), dan diatom (Bacillariophyceae) (Gildantia *et al.*, 2022).

2.2 Taksonomi dan Jenis – jenis Mikroalga

2.2.1 Chlorophyceae (Alga Hijau)

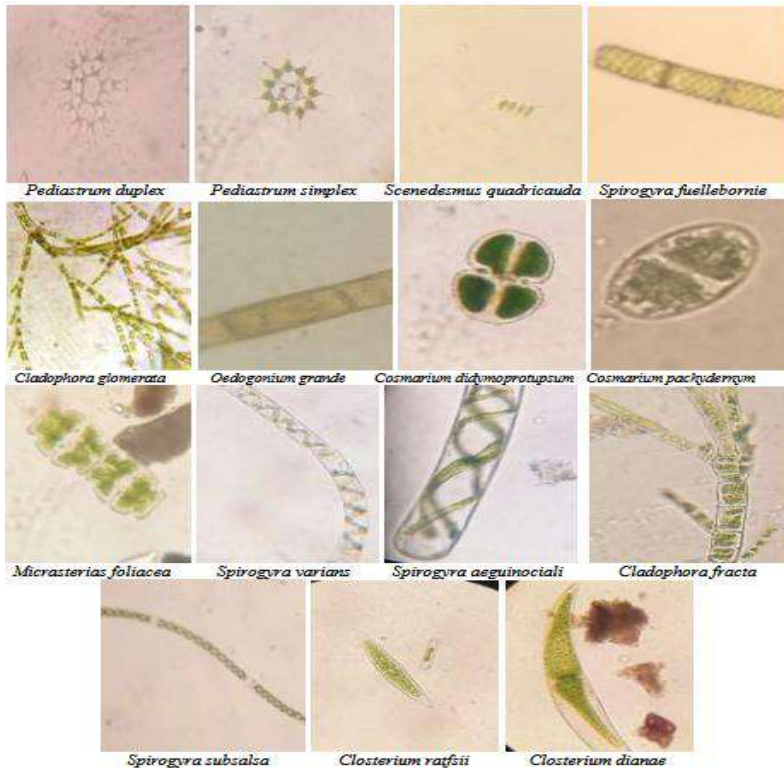
Chlorophyceae atau alga hijau merupakan kelompok terbesar dari vegetasi alga. Alga hijau termasuk dalam divisi Chlorophyta bersama Charophyta. Divisi ini berbeda dengan divisi lainnya karena memiliki warna hijau yang jelas seperti pada tumbuhan tingkat tinggi karena mengandung pigmen klorofil *a* dan klorofil *b* lebih dominan dibandingkan karoten dan xantofil. Hasil

asimilasi beberapa amilum, penyusunnya sama pula seperti pada tumbuhan tingkat tinggi yaitu amilosa dan amilopektin. Jenis alga pada kelas ini merupakan kelompok alga yang paling beragam, karena ada yang bersel tunggal, berkoloni, dan bersel banyak. Banyak terdapat di danau, kolam, tetapi banyak juga yang hidup di laut. Alga ini meliputi sebanyak 7.000 spesies, baik yang hidup di air maupun di darat. Sejumlah alga hijau tumbuh dalam laut, namun golongan ini secara keseluruhan lebih khas bagi alga air tawar. Alga berperan sebagai produsen dalam ekosistem. Berbagai jenis alga yang hidup bebas di air terutama yang tubuhnya bersel satu dan dapat bergerak aktif merupakan penyusun fitoplankton. Sebagian besar fitoplankton adalah anggota alga hijau, pigmen klorofil yang dimilikinya efektif melakukan fotosintesis sehingga alga hijau merupakan produsen utama dalam ekosistem perairan (Silalahi, 2014).

Chlorophyta (alga hijau) merupakan kelompok terbesar dari vegetasi alga Chlorophyta sebagian besar hidup di air tawar. Chlorophyta mengandung pigmen klorofil *a* dan klorofil *b* lebih dominan dibandingkan karoten dan xantofil, bersifat kosmopolit, terutama hidup di perairan yang cahayanya cukup seperti di kolam, danau, genangan air hujan, pada air mengalir (sungai dan selokan). Chlorophyta ditemukan pula pada lingkungan semi akuatik yaitu pada batuan, tanah lembab, dan kulit batang pohon yang lembab. Chlorophyta merupakan produsen utama dalam ekosistem perairan karena fitoplankton (bersel satu atau motil) merupakan anggota Chlorophyta yang memiliki pigmen klorofil sehingga efektif untuk melakukan fotosintesis. Susunan tubuh Chlorophyta bervariasi baik dalam ukuran, bentuk maupun susunannya, bisa berupa uniseluler dan motil (*Chlamydomonas*), uniseluler dan non motil (*Chlorella*), sel senobium (*Volvox*), koloni tak beraturan (*Tetraspora*), dan filamen (bercabang: *Oedogonium*, tidak bercabang: *Pithophora*) (Fauziah S., 2015).

Chlorophyta bersifat uniseluler soliter atau koloni. Memiliki klorofil *a* dan *b* serta bermacam variasi karotenoid. Cadangan makanannya berupa zat tepung (amilum). Dinding selnya terbentuk dari polisakarida, kadang-kadang selulosa. Ada sekitar 7000 spesies

yang telah diketahui: Klas Charophyceae, uniseluler, berkoloni dalam jumlah sel terbatas, dan berupa filamen (alga benang). Sel-sel bergerak memiliki dua flagella. Dominan hidup di air tawar. Klas Chlorophyceae, sel-sel bergerakanya berflagel dua, empat atau banyak. Dominan terjadi pada air tawar. (Japa, Bahri and Sedijani, 2019). Contoh genus divisi Chlorophyta dapat ditunjukkan pada gambar 1 dan 2.



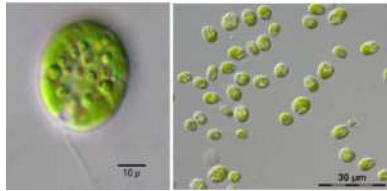
Gambar 2. 1. Jenis Mikroalga Clorophyta

(Abizar and Rahmah, 2020)

Taksonomi

Kingdom	: Protista
Divisio	: Chlorophyta
Classis	: Chlorophyceae
Ordo	: Volvocales
Family	: Chamydomonadaceae

Genus : *Chlamydomonas*
Spesies : *Chlamydomonas* sp

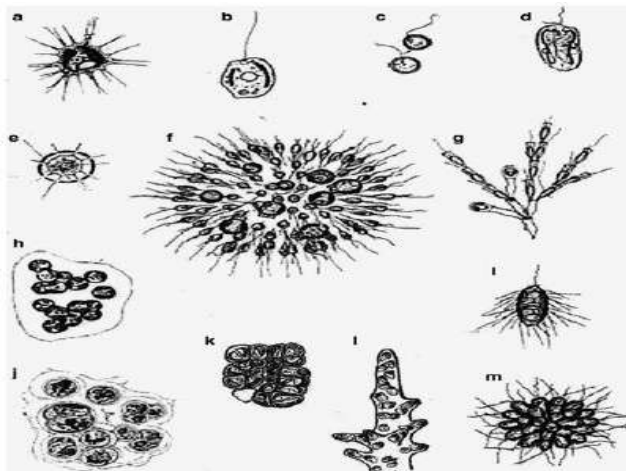


Gambar 2. 2. *Chlamydomonas reinhardtii*

(Calatrava *et al.*, 2023)

2.2.2 Chrysophyceae (Alga Emas)

Chrysophyta digolongkan ke dalam 3 kelas, yaitu Bacillariophyceae, Xanthophyceae, dan Chrysophyceae. Chrysophyta mempunyai ciri-ciri antara lain dinding sel diperkuat dengan bahan silikat, berflagel yang tidak sama panjangnya dan tidak sama bentuknya (Heterokontae). Sel terdiri dari dua bagian, tutup (epiteka) dan wadah (hipoteka). Pigmen terdiri dari karoten dan xantofil yang berwarna kuning (Ambarwati, Widyastuti and Widyartini, 2014). Contoh genus divisi Chrysophyceae dapat ditunjukkan pada gambar 3 dan 4.



Gambar 2. 3. Jenis Mikroalga Chrysophyta. a. *Chrysamoeba*, b. *Chromulina*, c. *Chrysococcus*, d. *Ochromonas*, e. *Chrysothecopsis*, f. *Uroglena*, g. *Dinobryon*, h. *Chrysocopsa*, i. *Mallomonas*, j. *Gloeochrysis*, k. *Phaeoplaca*, l. *Hydrurus*, m. *Synura*.

(Kristiansen Joergen, 2017)

Taksonomi

Kingdom : Chromista
Phylum : Heterokotophyta
Subphylum : Ochrophytina
Class : Chrysophyceae
Order : Synurales
Family : Mallomonadaceae
Genus : Synura



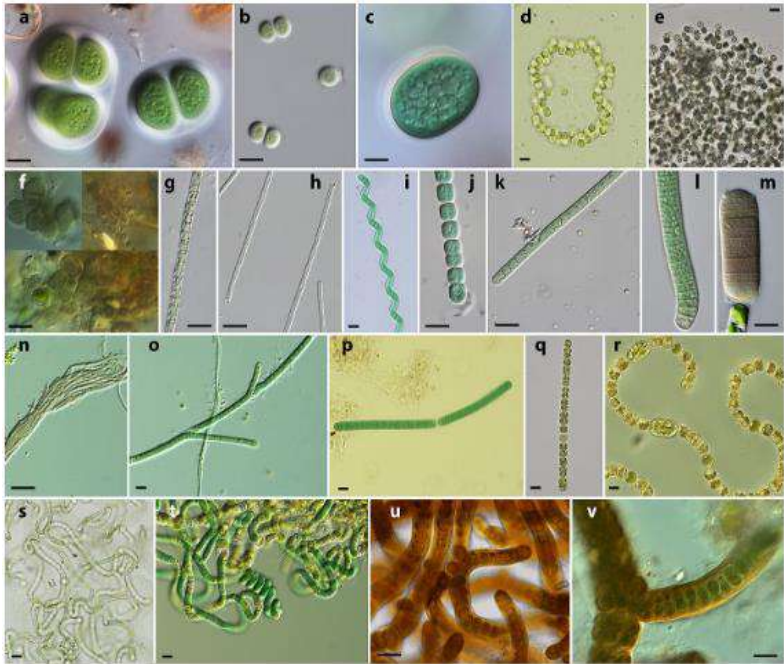
Gambar 2. 4. Synura uvella Ehrenberg

https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=32358

2.2.3. Cyanophyceae (Alga Hijau Biru)

Cyanophyceae atau ganggang hijau biru merupakan fitoplankton yang bersifat prokariotik. Bentuk sel Cyanophyceae umumnya berupa sel tunggal, koloni atau filament. Dalam bentuk koloni atau filamen alga ini mampu melakukan proses fiksasi nitrogen sehingga dapat menyebabkan ledakan populasi blooming baik di perairan tawar maupun perairan laut. Cyanophyceae umumnya ditemukan melimpah di daerah dan estuari tetapi dapat dijumpai pula di perairan tropis dan sub tropis. Fitoplankton dari kelas Cyanophyceae mempunyai sifat-sifat khas, antara lain: (a) memiliki toleransi terhadap keadaan kering biasanya pada genus Oscillatoria; (b) memiliki toleransi terhadap suhu tertentu pada genus (Oscillatoria); (c) beberapa jenis alga biru mampu mengikat

molekul zat lemas (N_2) dari udara, apabila dalam tanah tidak terdapat nitrat; (d) belum mempunyai inti yang sempurna (Nirmalasari, 2018). Contoh genus Cyanophyceae (alga hijau biru) dapat ditunjukkan pada gambar 5 dan 6.



Gambar 2. 5. Jenis Mikroalga Cyanophyceae

I. Chroococcales : a. *Chroococcus subnudus*, b. *Ch. limneticus*, c. *Cyanothece aeruginosa*, d. *Snowella litoralis*, e. *Microcystis aeruginosa*. **II. Pleurocapsales :** f. *Pleurocapsa minor*. **III. Oscillatoriales :** g. *Planktothrix agardhii*, h. *Limnothrix redekei*, i. *Arthrospira jenneri*, j. *Johanseninema constrictum*, k. *Phormidium* sp., l. m. *Oscillatoria* sp., n. *Schizothrix* sp., o. *Tolypotrix* sp., p. *Katagnymene accurata*., **IV. Nostocales :** q. *Dolichospermum planctonicum*, r. *Dolichospermum* sp., s. *Nostoc* sp., t. *Nodularia moravica*. **V. Stigonematales :** u, v. *Stigonema* sp. Skala a-u = 10 μm , v = 20 μm .

(Dvořák *et al.*, 2015)

Taksonomi

Kingdom : Cyanophyta

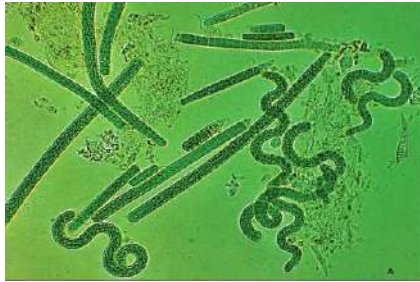
Kelas : Cyanophyceae

Famili : Oscilatoriaceae

Genus : Spirulina

Spesies: *Spirulina* sp.

(Kamaludin and Holik, 2022)



Gambar 2. 6. *Spirulina platensis*

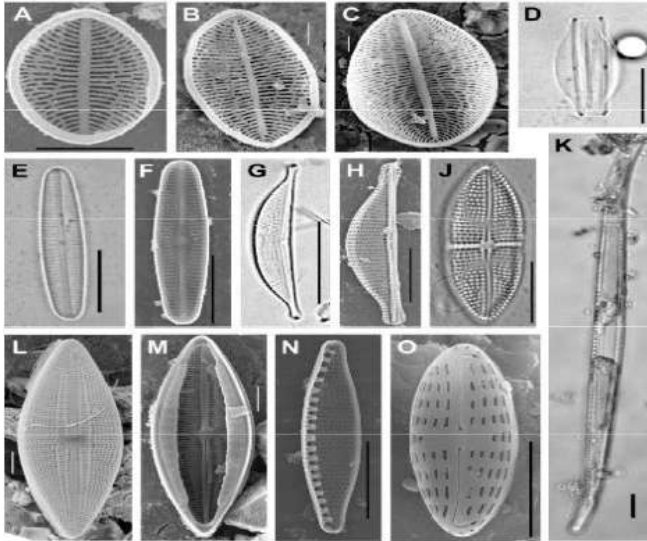
(Seyidoglu, Inan and Aydin, 2017)

2.2.4 Bacillariophyceae (Diatom)

Diatom yang merupakan sebutan lain untuk kelas Bacillariophyceae, merupakan fitoplankton yang dominan di laut. Bentuk diatom dapat berupa sel tunggal atau rangkaian sel panjang, setiap sel dilindungi oleh dinding silica yang menyerupai kotak. Jenis-jenis diatom yang banyak ditemui di perairan pantai atau mulut sungai adalah *chaetoceros*, *rhizosolenia* dan *coscinodiscus*. Distribusi diatom sangat luas meliputi air laut sampai air tawar, baik dalam komunitas plankton maupun benthik. Kondisi ini disebabkan oleh kemampuan reproduksi diatom yang lebih besar dibandingkan dengan kelompok fitoplankton lainnya. Struktur cangkang Diatom diibaratkan sebagai sebuah kotak bersama tutupnya karena terdiri dari dua bagian yang cocok satu sama lain. Dinding (bersama selnya) disebut frustule. Morfologi frustule terdiri dari dua vulva (*valve*) setangkup bagaikan cawan petri (*Petri dish*) yang dihubungkan oleh sabuk-sabuk penghubung yang saling tumpang tindih dan bersama-sama membentuk gelang (*girdle*). *Valve* yang lebih besar dinamakan epiteka (*epitheca*) dan *valve* yang lebih kecil dinamakan hipoteka (*hipotheca*). Protoplasma seluruhnya terletak di dalam cangkang,

tetapi untuk pertukaran hasil-hasil metaboliknya dihubungkan oleh rafe (*raphae*) dalam valve pada jenis-jenis tertentu atau melalui pori-pori kecil pada jenis yang lain.

Berdasarkan bentuknya, diatom dikelompokkan menjadi dua, yaitu kelompok *centric* Diatom dan kelompok *pennate* Diatom. Kelompok *centrales* memiliki bentuk valve yang tersusun secara radial atau terkonsentrasi satu titik. Umumnya kelompok ini mempunyai gambaran bentuk dinding sel bulat, silindris atau segitiga dan sebagian besar bersifat planktonik. Sedangkan kelompok *pennate* memiliki bentuk yang panjang dengan simetris bilateral sepanjang sumbu katup dinding sel. Diatom merupakan sebutan lain dari kelas *Bacillariophyceae*, merupakan fitoplankton yang dominan di laut. Bentuk diatom dapat berupa sel tunggal atau rangkaian sel panjang, setiap sel dilindungi oleh dinding silika yang menyerupai kotak. Jenis-jenis diatom yang banyak ditemukan diperairan pantai atau mulut sungai adalah *chaetoceros*, *rhizosolenis*, dan *coscinodiscus*. Distribusi diatom sangat luas meliputi air laut sampai air tawar, baik dalam komunitas plankton maupun benthik. Kondisi ini disebabkan oleh kemampuan reproduksi diatom yang lebih besar dibandingkan dengan kelompok fitoplankton lainnya (Nirmalasari, 2018). Contoh genus divisi *Bacillariophyceae* ditunjukkan pada gambar 7 dan 8.



Gambar 2. 7. Mikroalga Diatom

A-C. *Cocconeis kujalnitzkensis*; **D.** *Halamphora hyaline*; **E,F.** *Dickieia subinflata* ; **G,H.** *Halamphora coffeiformis* ; **J.** *Achnanthes brevipes* ; **K.** *Nitzschia sigma* ; **L.M.** *Mastogloia braunii* ; **L.** tampilan katup luar ; **M.** tampilan katup dalam ; **N.** *Nitzschia frustulum* ; **O.** *Navicula ramosissima*. Scale bar : **B,C,L** = 2 μm ; **O.** 3 μm ; **A,H,M,N** = 5 μm ; **D-F, K.** 10 μm ; **G,J.** 20 μm .

(Balycheva *et al.*, 2023)

Taksonomi

Kingdom	: Kromista
Divisi	: Bacillariophyta
Kelas	: Bacillariophyceae (Diatom)
Order	: Pennales
Famili	: Naviculaceae
Genus	: Navicula
Spesies:	<i>Navicula salinicola</i>

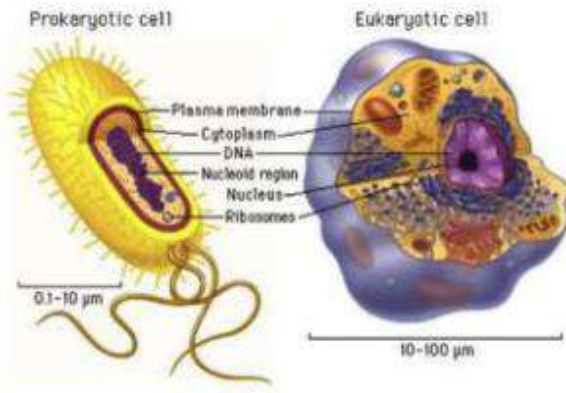


Gambar 2. 8. Navicula sp.

(Kurnia, 2020)

2.3 Morfologi Mikroalga

Mikroalga adalah organisme kecil yang dapat dibagi menjadi 4 kategori ukuran sebagai mikrop plankton (20-1000 μm), nanoplankton (2-100 μm) ultraplankton (0,5-15 μm) dan picoplankton (0,2-2 μm). Ukurannya yang kecil memungkinkan melakukan fotosintesis secara efektif, mengubah energi cahaya menjadi CO_2 yang larut dalam air untuk menghasilkan lipid, karbohidrat, dll. Sel dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok utama yaitu eukariotik dan prokariotik. Faktor pembedanya adalah keberadaan nukleus dan flotas DNA di dalam sel, dan ciri-ciri ini tidak terdapat pada prokariotik. Mikroalga umumnya terdiri dari sel-sel eukariotik. Oleh karena itu, sel-sel ini memiliki nukleus dan organel. Semua mikroalga memiliki kloroplas, badan klorofil dan pigmen fotosintesis lainnya yang melakukan fotosintesis. Tumbuhan tingkat tinggi, dibandingkan mikroalga yang tidak memiliki akar, batang, atau daun, namun memiliki efisiensi fotosintesis yang lebih tinggi dibandingkan tumbuhan atau pohon. Pada gambar 9 diperlihatkan contoh sel alga eukariotik dan prokariotik dengan dimensi yang berbeda. Contoh mikroalga prokariot adalah dan mikroalga eukariot adalah alga hijau, alga coklat keemasan, dan diatom (Olapade and Dias, 2020).



Gambar 2. 9. Skema sel prokariotik dan eukariotik
(Olapade and Dias, 2020)

2.4 Klasifikasi Mikroalga

Klasifikasi mikroalga berdasarkan pigmen, jenis, bahan penyimpanan, alat gerak, reproduksi, dinding sel dan habitat.

Tabel 2. 1. Klasifikasi Mikroalga (Hachicha *et al*, 2022)

Mikroalga	Pigmen	Bahan Penyimpanan	Alat gerak	Reproduksi	Dinding Sel	Habitat
Chlorophyceae (alga hijau)	Klorofil a, b, α dan β karoten, lutein, zeaxanthin, violaxanthin, neoxanthin, cillaxanthin,	Pati dan minyak	Dari dua sampai empat flagela (bergerak), isokont	Isogamy, anisogamy, oogamy, Motile zoospore, non-motile spore	Cellulose+, mannans+, xylans, sitosterol,	Air laut, air tawar
Cyanophyceae (cyanobacteria atau alga biru hijau)	Klorofil a, β karoten, flavacene, Echinenone isozea, zeaxanthin, myxoxanthin, oscillaxanthin, APC, C-	Pati dan glikogen	Tidak ada flagela	Pembagian sederhana, tidak bergerak endospora, vegetatif fragmentasi, tidak bersifat	Kurangnya selulosa	Air laut dan air tawar

Mikroalga	Pigmen	Bahan Penyimpanan	Alat gerak	Reproduksi	Dinding Sel	Habitat
	PC, C-PE			seksual		
Chrysophyceae (alga keemasan)	Klorofil a, c, β karoten Fuco-, Diatom-, diadinoxantin	Chrysolaminarin, Fucosterol, Porifasterol	Dua heterokont flagela	Zoospora, statospora	Lebih sedikit selulosa dengan silisifikasi atau kalsifikasi membran	Air laut dan air tawar
Bacillariophyceae (Diatom)	Klorofil a, c, β karoten, Fuco-, Diatom-, diadinoksan tin	Chrysolaminarin, minyak	Tanpa flagela kecuali untuk gamet jantan	Pembelahan sel Oogami (diatom) Amoeboid isogami	Silika + pektik senyawa	Air laut dan air tawar

2.5 Habitat Mikroalga

Mikroalga adalah organisme berfotosintesis yang dapat ditemukan di banyak habitat perairan seperti kolam, sungai, danau, laut bahkan air limbah. Persyaratan faktor lingkungan yang diperlukan untuk pertumbuhan mikroorganisme yaitu mulai dari beragamnya kisaran suhu, pH, salinitas, dan intensitas cahaya. Kondisi lingkungan yang ekstrim misalnya gurun, mata air panas maupun es di kutub dapat ditemukan di mikroalga (Salim, 2022).

2.6 Faktor Lingkungan yang Mendukung Pertumbuhan Mikroalga

1. Suhu

Mikroalga dapat tumbuh pada suhu optimum 22-30°C.

2. pH

Derajat keasaman optimum untuk sebagian besar alga yaitu antara 6,5-9,5.

3. Kecerahan air

Kecerahan atau cahaya merupakan salah satu faktor penting bagi pertumbuhan mikroalga yakni berguna untuk melakukan proses fotosintesis.

4. DO (*Dissolved Oxygen*)

DO berpengaruh terhadap kualitas perairan sungai. Nilai oksigen terlarut di oksigen sebaiknya berkisar antara 6-8 mg/L, makin rendah nilai DO maka makin tinggi tingkat pencemaran ekosistem tersebut.

5. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD (Chemical Oxygen Demand) adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air. Jika nilai kadar COD tinggi mendekati batas maksimum 100 mg/L maka bahan organik yang ada sengaja diurai secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat kalium bikromat pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak sulfat, sehingga segala macam bahan organik, baik yang mudah terurai maupun bahan organik kompleks dan sulit terurai akan teroksidasi. Dengan demikian selisih nilai antara COD dan BOD memberikan gambaran besarnya bahan organik yang sulit terurai yang terdapat di perairan.

6. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik.

7. Indeks pemerataan

Kemerataan individu suatu biota yaitu 0-0,5 (kemerataan antar individu rendah) artinya kekayaan individu yang dimiliki masing-masing spesies sangat jauh berbeda atau tidak seragam, dan pemerataan individu biota 0,6-1 (kemerataan individu relatif seragam atau jumlah individu masing-masing spesies relatif sama).

8. Indeks dominasi (D)

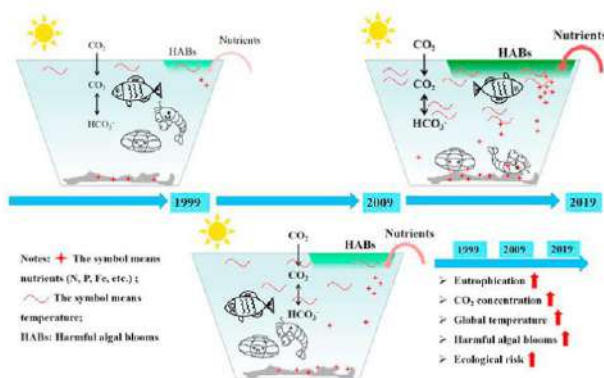
Indeks dominasi (D) menggambarkan ada atau tidaknya biota perairan yang mendominasi. Jika indeks dominansi mendekati nilai 1 maka ada salah satu jenis yang mendominasi daripada jenis lain, hal ini dikarenakan mikroalga mengalami tekanan ekologis berupa stres.

9. Indeks kelimpahan relatif (%) yaitu proporsi masing-masing spesies dari setiap jumlah individu yang dipresentasikan dalam suatu komunitas (Rahayu and Susilo, 2021).

2.7 Pertumbuhan Mikroalga yang Berbahaya

Blooming alga didefinisikan sebagai pertumbuhan yang cepat akibat akumulasi mikroalga di permukaan air dalam kondisi nutrisi, hidrologi, dan iklim yang mendukung pertumbuhan mikroalga. Ketika mikroalga tertentu terutama yang beracun mencapai konsentrasi tinggi di perairan tertentu, maka akan menimbulkan dampak berbahaya terhadap ekologi perairan di sekitarnya. Sehingga terjadinya pertumbuhan mikroalga berbahaya akan menyebabkan penurunan transparansi perairan, kandungan oksigen, peningkatan toksin alga, kematian hewan, dan masalah keamanan air minum. Sejak abad ke -20 pertumbuhan alga berbahaya telah sering terjadi di 108 negara, diantaranya diatom, dinoflagellata, dan cyanobacteria karena mikroalga jenis ini meningkat frekuensinya, durasinya yang lama dan beracun. Berdasarkan mekanisme pembentukan blooming alga beracun maka perlu dilakukan pencegahan dan pengendalian yaitu:

- a. Memperlambat atau menghentikan proses eutrofikasi perairan
- b. Menggunakan metode fisik dan reagen kimia untuk menghilangkan atau membunuh alga
- c. Penyesuaian struktur dan fungsi ekosistem melalui persaingan atau pengaruh konsumsi hewan, tumbuhan, dan mikroorganisme air (Sha *et al.*, 2021).

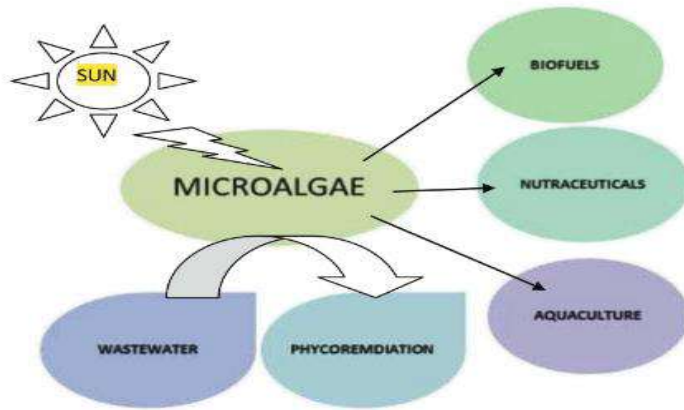


Gambar 2. 10. Pertumbuhan Alga Berbahaya

(Sha *et al.*, 2021)

2.8 Manfaat Mikroalga

Mikroalga dapat dimanfaatkan dalam berbagai keperluan seperti bahan bakar hayati, suplemen makanan, kosmetik maupun obat-obatan. Manfaat lain seperti pengolahan air limbah dan mitigasi CO₂. Berbagai produk bermanfaat dapat dihasilkan dari mikroalga seperti polisakarida, lipida, pigmen, protein, vitamin dan berbagai senyawa bioaktif yang bersifat antioksidan. Saat ini mikroalga menjadi bahan baku dalam produksi bahan bakar hayati yang terbarukan dan berkelanjutan. Teknik budidaya dan rekayasa genetik terus digalakkan sehingga hasil bahan bakar hayati makin meningkat untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar yang ramah lingkungan. Budidaya mikroalga untuk mendapatkan biomassa yang berlimpah sebagai sumber makanan dan suplemen nutrisi yang bergizi, sedangkan ekstraknya difokuskan pada produksi biofarmaka dan kosmetik (Salim, 2022).



Gambar 2. 11. Manfaat Mikroalga

(Brown and Blackburn, 2014)

2.9 Senyawa Bioaktif dan Aktivitas Farmakologi Mikroalga

Mikroalga adalah sumber alami senyawa aktif biologis yang sangat menarik. Senyawa ini telah mendapat banyak perhatian dari para peneliti dan perusahaan dalam beberapa tahun terakhir karena potensi penerapannya dalam berbagai bidang ilmu kehidupan. Penerapannya berkisar dari produksi biomassa untuk makanan dan pakan hingga produksi senyawa bioaktif untuk industri medis dan farmasi. Mengingat keanekaragaman hayati mikroalga yang sangat besar dan perkembangan terkini dalam rekayasa genetika, kelompok mikroorganisme ini merupakan salah satu sumber yang paling menjanjikan untuk produk dan aplikasi baru.

Mikroalga adalah mikroorganisme autotrof yang menggunakan energi cahaya dan nutrisi anorganik (karbon dioksida, nitrogen, fosfor, dll.) untuk mengembangkan dan mensintesis *biocompound* yang memiliki nilai gizi agregat tinggi dan fungsi terapeutik, seperti lipid, protein, karbohidrat, pigmen, dan polimer. Penelitian terbaru melaporkan bahwa mikroalga dapat menghasilkan senyawa kimia berbeda dengan aktivitas biologis berbeda, seperti karotenoid, fikobilin, asam lemak tak jenuh ganda,

protein, polisakarida, vitamin, sterol, dan bahan kimia lainnya (De Moraes *et al.*, 2015).

Metabolit primer dan sekunder yang disintesis oleh mikroalga dan saat ini sedang dikomersialkan atau sedang dipertimbangkan untuk ekstraksi komersial meliputi: klorofil, karotenoid, fikobilin, polisakarida rantai panjang, vitamin dan mineral, tokoferol dan sterol, protein, β -karoten, astaxantin, allo fikosianin. Senyawa bioaktif ini berfungsi sebagai antioksidan, antiinflamasi, antimikroba, antivirus dan antitumor, berdasarkan aktivitas spesifiknya. Berikut metabolit primer dan sekunder dari senyawa bioaktif mikroalga :

2.9.1 Metabolit Primer Bioaktif

2.9.1.1 Asam Lemak Tak Jenuh Ganda (PUFA)

Asam lemak tak jenuh ganda (PUFA) tidak dapat diproduksi oleh tubuh manusia sehingga perlu diperoleh melalui konsumsi makanan. Mereka dibagi menjadi dua kelompok yaitu asam lemak omega-3 (termasuk γ -linolenat, ALA; asam eicosapentaenoic, EPA; dan asam docosahexaenoic, DHA) dan asam lemak omega-6 (termasuk asam arakidonat, ARA; asam linoleat, LA; γ -asam linoleat, GLA; dan asam linoleat terkonjugasi, CLA). Mikroalga untuk kesehatan sebagian dapat diarahkan pada komposisi PUFA, yang telah terbukti meningkatkan kesehatan otak dan mata, serta melindungi terhadap penyakit kardiovaskular, obesitas, diabetes, dan radang sendi. Produsen mikroalga PUFA yang terkenal antara lain *Cryptocodinium*, *Schizochytrium* dan *Ulkenia* sp. meskipun genus lain seperti *Phaeodactylum*, *Monodus*, *Nannochloropsis* dan *Porphyridium* juga menunjukkan tingkat DHA dan EPA yang cukup besar. Namun, sebagian besar data penelitian mengenai PUFA mikroalga dilaporkan dengan mengacu pada aplikasi biofuelnya, dan sangat sedikit laporan mengenai aplikasi makanan, kesehatan, dan farmasi (Ampofo and Abbey, 2022).

2.9.1.2 Polisakarida

Polisakarida mikroalga sebagian besar dieksploitasi dari genus *Porphyridium*, *Phaeodactylum*, *Chlorella*, *Tetraselmis*, *Isochrysis* dan *Rhodella*. Dalam mikroalga, polisakarida berfungsi sebagai agen perlindungan, *reservoir* energi dan molekul struktural, dan dibagi menjadi pektin, protein glikol, polisakarida tersulfasi (SPS) dan homo- dan hetero-polisakarida. Di antara kelompok polisakarida ini, yang paling banyak dilaporkan adalah kelompok tersulfonasi dengan manfaat antiinflamasinya (Ampofo and Abbey, 2022).

2.9.1.3 Vitamin dan Mineral

Vitamin adalah mikronutrien biologis yang penting, yang tidak dapat disintesis oleh organisme dalam jumlah yang tepat sehingga harus diperoleh dari makanan. *Dunaliella tertiolecta*, *Tetraselmis suecica*, *Chlorella* dan *Spirulina* mampu mensintesis vitamin B kompleks, E, dan C (Kaur *et al.*, 2023). Mikroalga mewakili sumber penting vitamin A, B1, B2, B6, B12, C, E, nikotinat, biotin, asam folat dan asam pantotenat serta mineral, Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn termasuk mineral (Subudhi, 2017). Pigmen biru yang bertanggung jawab untuk menghijaukan tiram, diatom *Haslea* (*Navicula*) *ostrearia* sangat kaya akan vitamin E. Mikroalga lain bernama *P. cruentum* kaya akan vitamin C, E (tokoferol) dan provitamin A (β -karoten). Selain itu *Dunaliella salina* selain menghasilkan β -karoten (provitamin A) juga menghasilkan tiamin, piridoksin, riboflavin, asam nikotinat, biotin dan tokoferol (S. Santhosh, 2016).

2.9.1.4 Peptida

Peptida adalah asam amino rantai pendek (yaitu, 20-50 unit) yang dihubungkan satu sama lain melalui ikatan peptida. Peptida secara global saat ini bersumber dari tanaman terestrial dan mungkin akan digantikan oleh protein dari mikroalga dan serangga. Mempertimbangkan hal ini, peptida mikroalga telah dieksploitasi dari *Chlorella*, *Navicula*, *Tetraselmis* dan *Nitzschia*. Peptida mikroalga dapat menunjukkan sifat antihipertensi melalui (i) penghambatan ACE, enzim utama yang bertanggung jawab atas vasokonstriksi vena dan arteri (ii) memicu efek vasodilatasi, yaitu kapasitas untuk meningkatkan kadar oksida nitrat melalui stimulasi jalur sintase

oksida nitrat endotel (Ampofo and Abbey, 2022). Metabolit primer dari berbagai spesies mikroalga ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. 2. Komposisi Metabolit Primer dengan Biomassa Kering dari Berbagai Spesies Mikroalga **(Kaur *et al.*, 2023)**

Spesies Mikroalga	Komposisi (% bahan kering)		
	Protein	Lipid	Karbohidrat
<i>Anabena cylindrica</i>	43-56	4-7	25-30
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	62	3	23
<i>Botryococcus braunii</i>	39-40	25-34	19-31
<i>Chaetoceros calcitrans</i>	40	23	37
<i>Chaetoceros gracilis</i>	12	7,2	4,7
<i>Chaetoceros muelleri</i>	59	31	10
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	48	21	17
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	14-22	12-17
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	57	2	26
<i>Dunaliella primolecta</i>	12	-	-
<i>Dunaliella salina</i>	57	6	32
<i>Dunaliella sp.</i>	34,17	14,36	14,57
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	11	-	-
<i>Euglena gracilis</i>	39-61	22-38	14-18
<i>Isochrysis galbana</i>	50-56	12-14	10-17
<i>Nannochloropsis sp.</i>	30	22	10
<i>Nannochloropsis granulata</i>	18-34	24-28	14-18

<i>Nitzschia closterium</i>	26	13	9,8
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	34,8	16,1	16,8
<i>Pavlova sp.</i>	24-29	9-14	6-9
<i>Porphyridium cruentum</i>	28-39	9-14	40-57
<i>Prymnesium parvum</i>	28-45	22-38	25-33
<i>Scenedesmus obliquus</i>	50-56	12-14	10-17
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	8-18	16-40	21-52
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	47	1,9	21-52
<i>Schizochytrium sp.</i>	-	50-77	-
<i>Skeletonema costatum</i>	25	10	4,6
<i>Spirogyra sp.</i>	6-20	11-21	33-64
<i>Spirulina maxima</i>	60-71	6-7	13-16
<i>Spirulina platensis</i>	46-63	4-9	8-14
<i>Synechococcus sp.</i>	63	11	15
<i>Tetraselmis chuii</i>	31-46	25	12
<i>Tetraselmis maculata</i>	52	3	15
<i>Thalassiosira pseudonana</i>	34	19	8,8

2.9.2 Metabolit Sekunder Mikroalga

2.9.2.1 Pigmen

Pigmen adalah metabolit sekunder yang bertanggung jawab atas pewarnaan organisme hidup, penyerapan energi cahaya untuk fotosintesis, dan perlindungan terhadap stres oksidatif. Hingga saat ini, kelompok utama pigmen mikroalga meliputi karotenoid, fenolat,

klorofil dan fikobiliprotein (Ampofo and Abbey, 2022). Pigmen dari mikroalga yang berbeda ditunjukkan pada Tabel. 3.

Tabel 2. 3. Pigmen dari Mikroalga yang Berbeda **(Wu *et al.*, 2021)**

Mikroalga	Genus	Pigmen
Mikroalga hijau	Chlorophyta	Klorofil <i>a</i> dan <i>b</i> , β -karoten, prasinoxantin, siphonaxantin, astaxantin
Mikroalga coklat	Diatoms	Klorofil <i>a</i> dan <i>c</i> , β -karoten, fucoxantin, diadinoxantin
Mikroalga biru hijau	Cyanophytes	Klorofil <i>a</i> , xanthophylls, phycobiliprotein
Dinoflagellata	Dinophyta	Klorofil <i>a</i> dan <i>c</i> , β -karoten, peridinin

2.9.2.1.1 Senyawa Fenolik

Pada dasarnya, fenolik adalah senyawa bercincin benzena, dengan gugus hidroksil terdapat dalam struktur kimianya. Tergantung pada kerangka karbonnya, senyawa fenolik dibagi menjadi asam fenolik (misalnya asam hidroksi benzoat seperti asam galat dan vanilat serta asam hidroksisinamat seperti asam caffeic dan kumarat), flavonoid (misalnya antosianin, kuersetin, dan katekin), tanin (misalnya antosianin, kuersetin, dan katekin). misalnya, phlorotannins dan stilbenes. Meskipun mikroalga memiliki kadar senyawa fenolik yang cukup besar, sebagian besar studi literatur mengenai fenolik perairan dilaporkan terjadi pada makroalga (misalnya rumput laut). Namun demikian, beberapa literatur yang tersedia mengenai mikroalga menunjukkan variasi yang signifikan karena jenis spesies, kondisi budidaya dan teknik yang digunakan untuk

ekstraksi, identifikasi dan kuantifikasi (Ampofo and Abbey, 2022).

2.9.2.1.2 Karotenoid

Karotenoid adalah pigmen yang larut dalam lemak terutama bertanggung jawab atas warna ungu, merah, oranye dan kuning pada organisme hidup. Secara struktur, karotenoid merupakan tetraterpen yang terdiri dari delapan unit isoprena dengan kerangka 40 karbon, terbagi menjadi dua golongan yaitu karoten dan xantofil. Gugus karoten likopen dan β -karoten hanya terdiri dari hidrokarbon ($C_{40}H_{56}$), sedangkan xantofil (misalnya lutein, zeaxantin, dan astaxantin) terdiri dari karbon, hidrogen, dan oksigen ($C_{40}H_{56}O_2$).

Spesies mikroalga misalnya kelompok penghasil karotenoid yang dominan adalah *Chlorophyceae*, yang dapat menghasilkan sekitar 90% xantofil dan karoten dengan kadar *fucoxantin*, *diatoxantin*, dan *diadinoxantin* yang terbatas. Pada organisme fotosintetik, termasuk alga dan tumbuhan, selama fase fotosintesis, karotenoid bertindak sebagai pigmen dalam pengumpulan cahaya dan juga mampu melakukan fotoproteksi pada proses fotosintesis dari kelebihan cahaya dengan mengais spesies oksigen reaktif dengan oksigen singlet dan radikal bebas lainnya. Hampir semua karotenoid terlibat dalam pendinginan oksigen singlet dan menjebak radikal peroksil. Karotenoid secara luas digunakan sebagai pewarna. Pada organisme fotosintetik, termasuk alga dan tumbuhan, selama fase cahaya fotosintesis, karotenoid bertindak sebagai pigmen aksesori dalam penyerapan cahaya dan juga mampu melakukan fotoproteksi mesin fotosintesis dari kelebihan cahaya dengan mengais spesies oksigen reaktif dengan

oksigen singlet dan radikal bebas lainnya. Hampir semua karotenoid terlibat dalam pendinginan oksigen singlet dan menjebak radikal peroksil.

Lebih dari 750 karotenoid telah diidentifikasi namun, hanya sedikit yang telah digunakan secara komersial seperti astaxantin, canthaxantin, lutein, likopen dan β -karoten adalah yang paling umum. Seperti banyak senyawa antioksidan lain yang terdapat dalam sel alga, keuntungan utama penggunaan mikroalga sebagai pembawa karotenoid adalah dampak positifnya terhadap kesehatan manusia. Astaxantin disintesis oleh keluarga Chlorophyceae yaitu *Chlorella*, *Chlamydomonas*, *Dunaliella* dan *Haematococcus* spp., dll. Padahal, beberapa mikroalga hijau seperti *Haematococcus* sp. dapat mengakumulasi xantofil dalam badan minyak di luar plastida di sitoplasma. Pembentukan xantofil pada sel alga dapat dipengaruhi oleh keterbatasan nitrogen, suhu, oksidasi, intensitas cahaya, ion logam dan garam. (S. Santhosh, 2016). Mikroalga utama yang kaya karoten adalah Chlorophyta, termasuk *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Chlamydomonas*, *Dunaliella*, dan *Haematococcus*, ditunjukkan pada Tabel 4. (Wu *et al.*, 2021).

Tabel 2. 4. Turunan Utama Karotenoid dari Mikroalga

Karotenoid	Mikroalga
β -Karoten	<i>Dunaliella salina</i> , <i>Dunaliella Bardawil</i>
Astaxantin	<i>Haematococcus pluvialis</i> , <i>Chlorella vulgaris</i>
Canthaxantin	<i>Haematococcus pluvialis</i> , <i>Chlorella vulgaris</i>
Violaxantin	<i>Dunaliella tertiolecta</i> , <i>Chlorella ellipsoidea</i>
Lutein	<i>Nannochloropsis</i> sp., <i>Scenedesmus almeriensis</i> , <i>Chlorella protothecoides</i>

β -Karoten

β -karoten sebagian besar diproduksi oleh *Scenedesmus almeriensis*, *Dunaliella bardawil*, *Dunaliella tertiolecta* dan *Dunaliella salina*. Konsumsi mikroalga dapat membantu memenuhi kebutuhan fisiologis vitamin A, karena penelitian telah melaporkan kapasitas tubuh dalam mengubah β -karoten menjadi vitamin A. Di antara spesies mikroalga, *Dunaliella salina* dilaporkan sebagai sumber β -karoten tertinggi, yaitu sekitar 98,5% β -karoten dalam kaitannya dengan total kandungan karotenoidnya (13%, biomassa kering). Mikroalga β -karoten dibandingkan dengan sumber lain telah terbukti menjadi sumber yang kaya akan 9-cis β -karoten yaitu karoten siklik dengan struktur β -karoten, tetapi dengan ikatan rangkap cis yang terikat pada posisi 9 dan 10. Faktanya, struktur ini merupakan kontributor utama dalam kapasitasnya menangkal radikal bebas (Ampofo and Abbey, 2022).

β -Karoten adalah provitamin A karotenoid dan oleh karena itu dapat diubah menjadi retinol. Vitamin A telah terbukti mengurangi risiko degenerasi makula. Mekanisme kerja β -karoten yang diusulkan dalam pencegahan kanker termasuk menghambat pertumbuhan kanker, induksi diferensiasi melalui modulasi protein pengatur siklus sel, modifikasi insulin seperti faktor pertumbuhan-1, penghambatan kerusakan oksidatif DNA, dan kemungkinan peningkatan karsinogen memetabolisme enzim. Secara eksplisit, β -karoten telah terbukti memadatkan pertumbuhan sel dan menginduksi apoptosis pada berbagai lini sel kanker, mungkin melalui ekspresi caveolin-1 (S. Santhosh, 2016).

Likopen

Likopen disebut sebagai karotenoid non-provitamin A dan memiliki beragam aktivitas biologis, termasuk aktivitas antioksidan melalui pendinginan oksigen singlet, pembersihan radikal peroksil, pencegahan kanker melalui penghambatan pertumbuhan kanker, dan induksi diferensiasi melalui modulasi protein pengatur siklus sel. Sifat tambahan likopen yang dilaporkan mencakup perubahan insulin seperti faktor pertumbuhan-1 atau tingkat faktor

pertumbuhan endotel vaskular, mencegah kerusakan DNA oksidatif, kemungkinan pengembangan enzim pemetabolisme karsinogen, penurunan risiko beberapa jenis kanker, dan beberapa kejadian kardiovaskular (Santhosh, 2016).

Lutein

Lutein telah mendapatkan banyak perhatian penelitian dalam beberapa tahun terakhir karena sifat pewarna makanan dan nilai nutraceutical, terutama sebagai agen antioksidan dan antikanker, dengan asupan hingga 60 mg/hari aman untuk orang dewasa dengan berat badan 60 kg. Penelitian sebelumnya telah mengkorelasikan lutein dengan manfaat antioksidan, anti penuaan, anti-kardiovaskular, dan antikanker. *Chlorella* genus dilaporkan sebagai sumber lutein terbaik, dengan *Chlorella protothecoides* menjadi dominan (sekitar 4,6% berdasarkan berat kering). Spesies mikroalga lainnya seperti *Muriellopsis* sp. *D. salina*, *Scenedesmus almeriensis* dan *Galdieria sulphuraria* juga dieksploitasi untuk lutein. Meskipun eksploitasi industri lutein alami bersumber dari kelopak bunga marigold (yaitu, 0,03% berdasarkan berat kering), konsentrasi lutein di *Chlorella protothecoides* dan *Muriellopsis* sp. 150 dan 18 kali lebih tinggi dibandingkan marigold (Ampofo and Abbey, 2022).

Fucoxantin

Senyawa ini menyumbang sekitar 10% dari total karotenoid yang ditemukan di alam. Mikroalganya berlimpah jika dibandingkan dengan tanaman air lainnya. Fucoxantin adalah senyawa lipofilik yang ditandai dengan struktur karoten dan tulang punggung teroksigenasi, dengan adanya gugus fungsi seperti gugus hidroksil, epoksi, karboksil, dan karbonil. Fucoxantin menyerap cahaya dalam rentang 450–540 nm, sehingga menerjemahkan cahaya di bagian biru-hijau menjadi kuning-hijau dari spektrum tampak. Penelitian sebelumnya telah melaporkan manfaat bioaktif positif dari makanan kaya fucoxantin seperti antioksidan, antimikroba, antikanker, antihipertensi dan banyak lainnya. Manfaat bioaktif ini telah

dikaitkan dengan mekanisme aksi yang berbeda seperti induksi apoptosis, penghentian siklus sel, penghambatan spesies oksigen reaktif intraseluler dan penghambatan proliferasi sel (Ampofo and Abbey, 2022).

Astaxantin

Rantai makanan perairan salah satunya adalah mikroalga yang mewakili sumber utama astaxantin. Astaxantin, xantofil berwarna merah, adalah karotenoid mikroalga kedua yang paling banyak dieksploitasi setelah β -karoten. Spesies mikroalga penghasil utama astaxantin adalah *Haematococcus pluvialis*, dengan sekitar 81% dibandingkan dengan total hasil karotenoidnya sebesar 7% berdasarkan berat kering. *Haematococcus pluvialis*, spesies seperti *Chlorella zofingiensis*, *Chlorococcum* sp. dan *Scenedesmus* sp dan *Aegagropilum* sp. juga dapat memperoleh astaxantin tetapi pada tingkat terbatas. Kapasitas antioksidan astaxantin 10 kali lebih tinggi dibandingkan lutein, β -karoten, likopen dan zeaxantin bahkan 100 kali lebih tinggi dibandingkan vitamin C dan E, dengan efektivitas ini dikaitkan dengan komposisi strukturnya yang terdiri dari tiga belas ikatan rangkap terkonjugasi. Mengingat kapasitas antioksidannya yang tinggi, mikroalga kaya astaxantin dapat dimanfaatkan sebagai bahan baru untuk pengembangan pangan fungsional. Saat ini, sedang diterapkan oleh industri akuakultur, dimana mikroalga kaya astaxantin digunakan sebagai pakan ikan dan crustaceans (Ampofo and Abbey, 2022).

Astaxantin menangkap radikal bebas, memberikan perlindungan terhadap kanker dan berperan dalam proses inflamasi, kesehatan mata, dan diabetes. Studi terbaru tentang astaxantin telah menunjukkan efektivitasnya melawan proliferasi sel kanker usus besar, kemungkinan melalui penghambatan pertumbuhan sel dan peningkatan apoptosis sel kanker usus besar manusia (S. Santhosh, 2016).

Zeaxantin

Zeaxantin sebagian besar diproduksi oleh strain mikroalga *Scenedesmus almeriensis* dan *Nannochloropsis okulata*. Penelitian telah membuktikan hubungan simultan antara asupan zeaxantin dan manfaat kesehatan seperti perlindungan terhadap degenerasi makula, katarak, kanker dan tumor (Ampofo and Abbey, 2022).

2.9.2.1.3 Klorofil

Klorofil adalah pigmen hijau alami yang penting dalam organisme fotosintetik untuk menyerap energi dari sinar matahari yaitu sebagai klorofil *a*, *b* atau *c*. Namun, klorofil *c* hanya terdapat pada alga coklat dan tidak terdapat pada alga hijau. Spesies dari *Chlorella* adalah produsen utama klorofil, dengan spesies lain seperti *Spirulina* dan *Arthrospira* menghasilkan konsentrasi terbatas. Klorofil telah terbukti menunjukkan kapasitas antioksidan yang kuat

2.9.2.2 Phycobiliprotein

Phycobiliprotein adalah protein hidrofilik berwarna yang mampu menyerap energi cahaya antara rentang panjang gelombang 470–660 nm. Menurut tingkat spektrum serapan cahayanya, phycobiliprotein dibagi menjadi empat kelompok utama termasuk phycoerythrins (540–570 nm), phycocyanin (610–620 nm), allophycocyanin (650–6500 nm) dan phycoerythrocyanin (560–600 nm). Phycobiliprotein sebagian besar ditemukan di antara cyanobacteria (misalnya, *Spirulina*), ganggang merah (misalnya, *Porphyridium* dan *Galdieria*), kriptofit dan glaukofit. Secara struktur, terdiri dari dua rantai peptida berbeda yang terikat secara kovalen pada kromofor. Phycocyanin adalah pigmen alami, berwarna biru yang digunakan dalam formulasi permen, produk susu, makanan ringan dan minuman. Memberikan manfaat kesehatan seperti efek antiinflamasi, antivirus, antioksidan, hepatoprotektif dan neuroprotektif (Ampofo and Abbey, 2022).

Phycobiliprotein berfungsi sebagai pigmen tambahan pada alga merah dan cyanobacteria dan menunjukkan sifat fluoresen yang berharga. Beberapa phycobiliprotein yang umum termasuk phycoerythrin (PE), phycocyanin (PC), dan allophycocyanin (APC). Pigmen ini merupakan hetero-oligomer yang terdiri dari pengelompokan subunit dalam sel penghasil (Cyanophyta) atau kloroplas (Rhodophyta) yang disusun menjadi kompleks yang disebut “phycobilisomes”. Phycobiliprotein telah digunakan sebagai pewarna alami; selain itu, banyak digunakan sebagai nutraceuticals atau dalam aplikasi bioteknologi lainnya. (S. Santhosh, 2016).

2.9.2.3 Asam Amino seperti Mikosporin (MAAs)

Asam amino seperti mikosporin (MAAs) menunjukkan kapasitas serapan UV antara 310 nm dan 365 nm. Secara struktural, MAAs adalah molekul dengan berat molekul rendah (<400 Da) yang terdiri dari kromofor sikloheksenon atau sikloheksenimin yang terkonjugasi dengan satu atau dua asam amino. Contoh penting dari MAAs termasuk shinorine, asam palythenic, mycosporine-glisin, mycosporine-aurine, palythine dan porphyra-334. Mayoritas data MAAs mengenai manfaat kesehatan didasarkan pada kapasitas penyerapan UV, dengan literatur yang sangat terbatas mengenai aplikasi makanan. Namun, dengan memanfaatkan kapasitasnya dalam menangkap radikal bebas, penerapan MAAs dapat digunakan sebagai pengawet makanan alami (Ampofo and Abbey, 2022).

2.9.2.4 Phytosterols

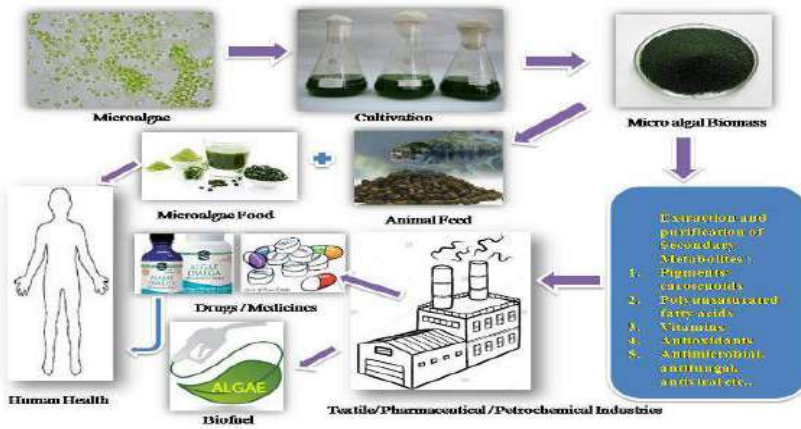
Phytosterols adalah steroid nabati seperti kolesterol hewani tetapi hanya berbeda dalam rantai samping karbonnya atau adanya ikatan rangkap dibandingkan dengan kolesterol hewani. Fitosterol terdiri dari dua kelompok yang berbeda, yaitu sterol dan stanol, dengan sterol yang memiliki ikatan rangkap dalam strukturnya (yaitu menjadikannya tidak jenuh) dan sebaliknya untuk stanol (yaitu menjadikannya jenuh). Baru-baru ini, fitosterol mikroalga

mendapat perhatian dari para peneliti karena dampak positifnya terhadap kesehatan seperti antikanker, antioksidan, anti-inflamasi, anti-aterogenesis, perlindungan kardiovaskular dan pengurangan kolesterol LDL. Metabolit sekunder dari beberapa spesies mikroalga dan manfaatnya bagi kesehatan ditunjukkan pada Tabel 5 dan aplikasi metabolit sekunder dari mikroalga ditunjukkan pada Gambar 2.12.

Tabel 2. 5. Metabolit Sekunder dari Spesies Mikroalga dan Manfaat Bagi Kesehatan **(Ampofo and Abbey, 2022)**

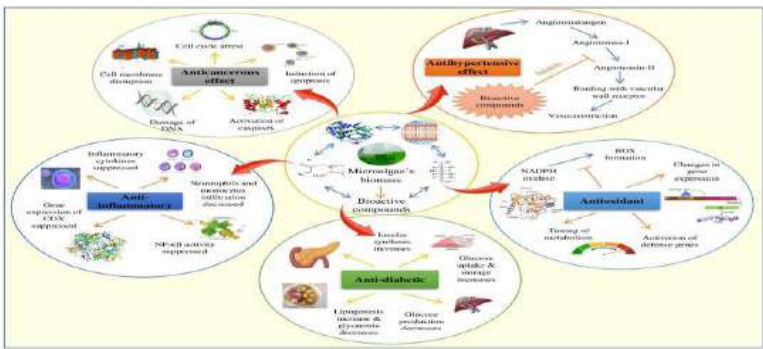
Genus/ Spesies	Metabolit	Konsentrasi	Efek Bioaktif
<i>Dunaliella salina</i> <i>Klorella sorokiniana</i>	Lutein	0,4-0,8 % 5,21 mg/g	Antioksidan, antikanker, katarak dan makula perlindungan degenerasi
<i>Heterochlorella luteoviridis</i> <i>Dunaliella salina</i>	β -karoten	0,19 mg/g 0,01-15,0 g/ L	Antikanker, antioksidan, antihipertensi, neuroprotektif, perlindungan terhadap makula degenerasi, antikolesterol
<i>Chaetoceros sp.</i> <i>Odontella sp.</i> <i>Chaetoceros sp</i>	Fukoxantin	1,5-2,0% 5,13 mg/g	Antioksidan, antikanker, antikolesterol, antidiabetes, dan antitumor
<i>Haematococcus pluvialis</i>	Astaxantin	1,95–2,75%	Antibakteri, antikanker, antiinflamasi, antioksidan, neuroprotektif, antimikroba
<i>Chlorella zofingiensis</i>	Astaxantin	1,5%	Antibakteri, antikanker,

Genus/ Spesies	Metabolit	Konsentrasi	Efek Bioaktif
			antiinflamasi, antioksidan, neuroprotektif, antimikroba
<i>Heterochlorella luteoviridis</i> <i>Duneliella salina</i> <i>Lyngbya sp.</i> <i>Lyngbya sp</i>	Zeaxantin	0,224 mg/g 6 mg/g 0,13 mg/g 27,47 mg/g	Meningkatkan kesehatan mata dan antidiabetes
<i>Anabaena sp.</i> <i>Cyanidium caldarium</i> <i>Spirulina platensis</i> <i>Arthrospira platensis</i> <i>Oscillatoria quadripunctulata</i>	Phycocyanin	8,3 % 4-53 mg/g 6,5-152 mg/g 54,65 mg/g 27,43 mg/g	Neuroprotektif, antiinflamasi, antioksidan, hepatoprotektif, antiaging dan anti tumor.
<i>Spirulina platensis</i> <i>Spirulina sp.</i> <i>Porphyridium cruentum</i> <i>Spirulina platensis</i>	Allophycocyanins	26.8–45.2 mg/g 20–70 mg/g 13.20 mg/g 92 mg/g	Hepatoprotektif, antioksidan dan antiinflamasi



Gambar 2. 12. Aplikasi Metabolit Sekunder dari Mikroalga

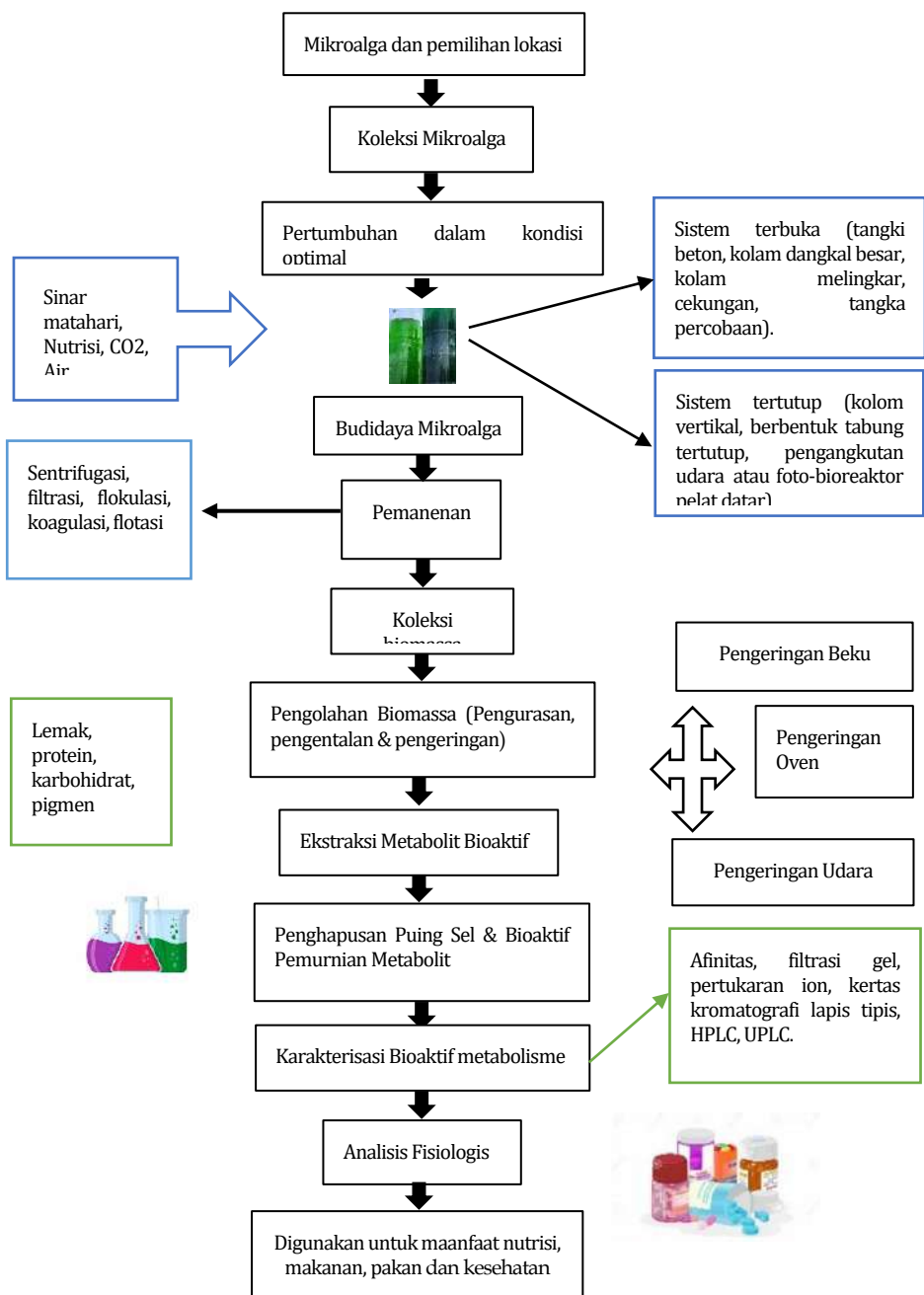
Senyawa bioaktif yang diisolasi dari berbagai spesies mikroalga memiliki beberapa aplikasi farmasi seperti aktivitas anti inflamasi, antimikroba, dan antioksidan serta memiliki kemampuan untuk meningkatkan kesehatan dan mengurangi risiko penyakit degeneratif. Ilustrasi aspek biokimia untuk manfaat kesehatan dari mikroalga ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 2. 13. Manfaat Kesehatan Dari Senyawa Bioaktif Mikroalga
(Kaur *et al.*, 2023)

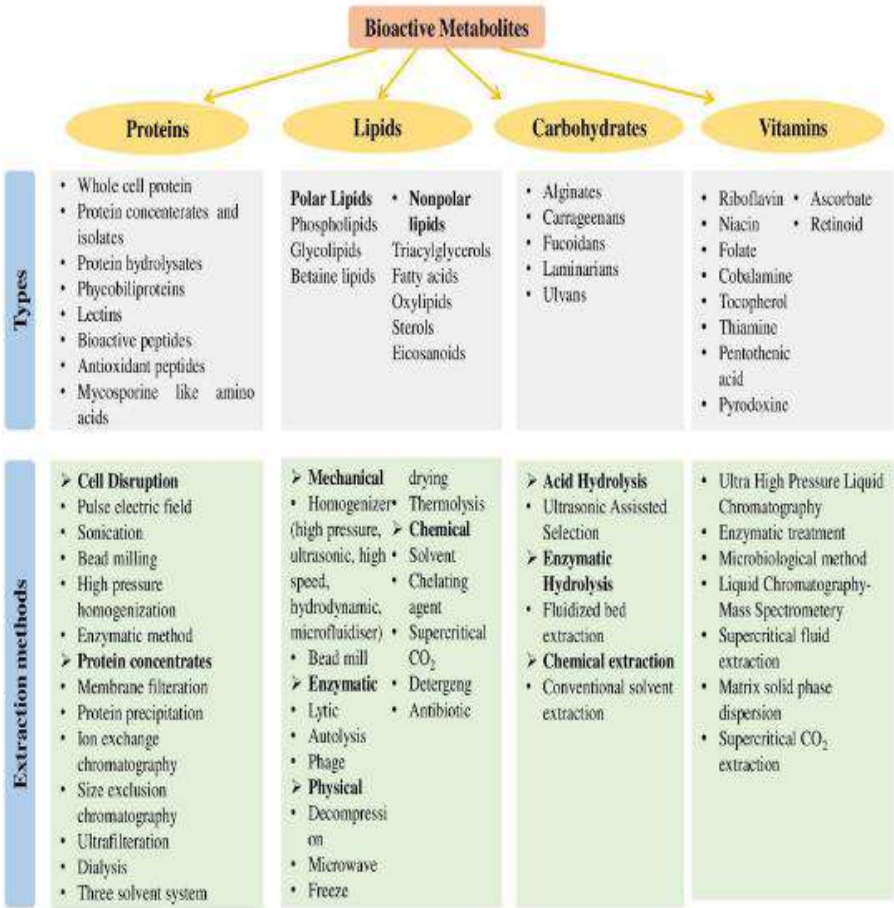
2.9.3 Ekstraksi Metabolit Bioaktif Mikroalga

Langkah kunci untuk produksi metabolit bioaktif turunan mikroalga adalah proses budidaya dan pemanenan. Karena sifatnya yang serbaguna, mikroalga mampu tumbuh dalam berbagai kondisi seperti kultur fototrofik, mixotrofik, atau heterotrofik. Produksi komersial dapat dilakukan di luar ruangan, dalam tangki beton, kolam dangkal, laguna, *raceway*, cekungan, tangki percontohan atau pot tanah, dan budidaya di dalam ruangan dapat dilakukan dalam kolom vertikal, tabung tertutup, pengangkutan udara atau fotobioreaktor pelat datar. Kolam penting untuk produksi mikroalga dalam skala besar. Untuk menambah atau merangsang produksi metabolit bioaktif (protein, karbohidrat, lipid, pigmen, atau mineral), mikroalga dibudidayakan dalam sistem dua langkah di mana kondisi awal diperkaya dengan nutrisi untuk memperoleh hasil biomassa tertinggi dan diikuti oleh nutrisi pertumbuhan yang terbatas untuk merangsang jalur biosintesis yang berbeda (Kaur *et al.*, 2023). Ilustrasi bertahap untuk produksi metabolit bioaktif yang diturunkan dari mikroalga ditunjukkan pada Gambar 2.14



Gambar 2. 14. Ilustrasi bertahap untuk produksi metabolit bioaktif yang berasal dari mikroalga

Berbagai metode ekstraksi untuk metabolit bioaktif yang ditargetkan ditunjukkan pada Gambar 15. Setelah ekstraksi metabolit bioaktif, langkah pemurnian biasanya diperlukan untuk menghilangkan zat kontaminan. Prosedur pemurnian biasanya terdiri dari berbagai pelarut seperti campuran metanol : kloroform : air (4:2:1; v/v/v) dan metodologi fisik, misalnya pertukaran ion, afinitas, saringan molekuler, dan metode pemisahan membran (Kaur *et al.*, 2023)



Gambar 2. 15. Berbagai Jenis Metabolit Bioaktif Yang Terkandung Dalam Biomassa Mikroalga dan Metode Ekstraksinya (Kaur *et al.*, 2023)

2.9.4 Produk dari Mikroalga

Keanekaragaman hayati mikroalga mewakili sumber daya yang sangat besar untuk produksi berbagai bahan kimia yang menarik, banyak diantaranya memiliki nilai komersial yang cukup besar. Namun, terlepas dari keanekaragamannya, hanya beberapa spesies mikroalga yang dibudidayakan dalam skala besar (Encarnação *et al.*, 2015). Tabel 6 menunjukkan beberapa perusahaan yang merupakan produsen mikroalga.

Tabel 2. 6. Perusahaan yang Memproduksi Produk Mikroalga

Spesies mikroalga	Aplikasi/produk	Perusahaan	Negara
<i>Nannochloropsis</i> <i>Tetraselmis</i> <i>Phaeodactylum</i>	Kosmetik dan budidaya perikananana	Astaxa	Jerman
<i>Nannochloropsis</i> <i>Haematococcus</i> <i>pluvialis</i> <i>Spirulina</i> <i>Chlorella</i>	PUFA, omega 3, EPA astaxantin	Bluebiotech	Jerman
<i>Haematococcus</i> <i>pluvialis</i>	Astaxantin/konsumsi manusia, ikan dan hewan	Alga Technologies	Israel
<i>Nannochloropsis</i> sp. <i>Phaeodactylum</i> <i>tricornutum</i> <i>Amphora</i> sp. <i>Navicula</i> sp. <i>Dunaliella</i> sp. <i>Chlorococcum</i> sp. <i>Tetraselmis</i> sp. <i>Nannochloris</i> sp.	Bahan tambahan makanan, pakan ternak dan ikan, biofuel	Seambiotic	Israel
<i>Haematococcus</i> <i>pluvialis</i>	Astaxantin	Biogenic Co., Ltd.	Jepang
<i>Spirulina</i> <i>Haematococcus</i> <i>pluvialis</i> <i>Chlorella</i>	Astaxantin	Cyanotech	Amerika Serikat
<i>Spirulina</i> <i>Chlorella</i> <i>Crypthecodinium</i> <i>Cohnii</i>	Asthaxantin	Solazyme	Amerika Serikat
	Biofuel, nutrisi, bahan kimia	Femico	Taiwan

Berikut adalah beberapa produk olahan dari mikroalga yang ada di pasaran dan mempunyai manfaat sebagai kosmetika (masker, krim anti aging, serum), produk makanan (snack bar, sereal) dan suplemen:

Tabel 2. 7. Produk dari Spesies Mikroalga

Produk	Keterangan
	Masker wajah - kosmetik
	Krim dan serum - kosmetik
	Spirulina bar dan cereal - produk makanan

	Softgel Astaxantin- suplemen
	Kapsul Spirulina - suplemen
	Kapsul Spirulina dan Chlorella - suplemen

DAFTAR PUSTAKA

- Abizar and Rahmah, S.W. (2020) 'Alga hijau (chlorophyceae) yang ditemukan di sungai sumatera barat green alga (chlorophyceae) found in the west sumatera river', *Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi Bioconcetta*, 6(1), pp. 21–26. Available at: ejournal.stkip-pgri-sumbar.ac.id/index.php/BioCONCETTA.
- Ambarwati, R., Widyastuti, E. and Widyartini, D.S. (2014) 'Kelimpahan Chrysophyta Pada Media Budidaya Ikan Nila Yang Diberi Pakan Fermentasi Dengan Penambahan Tepung Kulit Ubi Kayu Dan Probiotik', *Scripta Biologica*, 1(1), p. 68. Available at: <https://doi.org/10.20884/1.sb.2014.1.1.28>.
- Ampofo, J. and Abbey, Lord (2022) 'Microalgae: Bioactive Composition, Health Benefits, Safety and Prospects as Potential High-Value Ingredients for the Functional Food Industry', *Foods*, 11(12). Available at: <https://doi.org/10.3390/foods11121744>.
- Balycheva, D. *et al.* (2023) 'Salinity-Dependent Species Richness of Bacillariophyta in Hypersaline Environments', *Water (Switzerland)*, 15(12). Available at: <https://doi.org/10.3390/w15122252>.
- Brown, M.R. and Blackburn, S.I. (2014) 'Biofuels from microalgae', *Sustainable Energy Solutions in Agriculture*, pp. 277–321. Available at: <https://doi.org/10.1201/b16643>.
- Calatrava, V. *et al.* (2023) 'Chlamydomonas reinhardtii, a Reference Organism to Study Algal–Microbial Interactions: Why Can't They Be Friends?', *Plants*, 12(4), pp. 1–18. Available at: <https://doi.org/10.3390/plants12040788>.
- Encarnação, T. *et al.* (2015) 'Cyanobacteria and microalgae: A renewable source of bioactive compounds and other chemicals', *Science Progress*, 98(2), pp. 145–168. Available at: <https://doi.org/10.3184/003685015X14298590596266>.
- Fauziah, Shadidiqah Haddiqah Munawaroh Laily, A.N. (2015) 'Identifikasi Mikroalga dari Divisi Chlorophyta di Waduk Sumber Air Jaya Dusun Kreet Kecamatan Bululawang Kabupaten Malang', *Bioedukasi: Jurnal Pendidikan Biologi*, 8(1),

- p. 20. Available at: <https://doi.org/10.20961/bioedukasi-uns.v8i1.3150>.
- Gildantia, E. *et al.* (2022) 'Identifikasi Spesies Mikroalga dari BBPBAP Jepara secara Morfologi dan Molekuler menggunakan 18S rDNA', *Buletin Oseanografi Marina*, 11(2), pp. 167–176. Available at: <https://doi.org/10.14710/buloma.v11i2.39703>.
- Hachicha, Rihab *et al.* (2022) 'Biomolecules from Microalgae and Cyanobacteria: Applications and Market Survey', *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(4). Available at: <https://doi.org/10.3390/app12041924>.
- Harmoko, S. (2017) 'KEANEKARAGAMAN MIKROALGA DI SUNGAI KATI KOTA LUBUKLINGGAU', 4(September), pp. 201–205.
- Japa, L., Bahri, S. and Sedijani, P. (2019) 'Mengenal Fitoplankton untuk Penguatan Materi Kompetensi Dasar Protista Pada Siswa Jurusan IPA (Biologi) MA Hidayatul Muhsinin Desa Labulia Lombok Tengah', *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 1(1). Available at: <https://doi.org/10.29303/jpmppi.v1i1.231>.
- Kamaludin, A.M.R. and Holik, H.A. (2022) 'Artikel Ulasan: Kandungan Senyawa Kimia dan Aktivitas Farmakologi *Spirulina* sp.', *Indonesian Journal of Biological Pharmacy*, 2(2), p. 59. Available at: <https://doi.org/10.24198/ijbp.v2i2.38269>.
- Kaur, M. *et al.* (2023) *Microalgal bioactive metabolites as promising implements in nutraceuticals and pharmaceuticals: inspiring therapy for health benefits*, *Phytochemistry Reviews*. Springer Netherlands. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11101-022-09848-7>.
- Kristiansen Joergen, P.S. (2017) *Chrysophyta, Handbook of the Protists: Second Edition*. Denmark: Springer International Switzerland. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-32669-6_43-1.
- Kurnia, D. (2020) 'KANDUNGAN KIMIA DARI *Navicula* sp dan BIOAKTIVITASNYA', *Indonesia Natural Research Pharmaceutical Journal*, 5(1), pp. 65–69. Available at: <https://doi.org/10.52447/inspj.v5i1.4049>.
- De Morais, M.G. *et al.* (2015) 'Biologically Active Metabolites Synthesized by Microalgae', *BioMed Research International*,

2015. Available at: <https://doi.org/10.1155/2015/835761>.
- Nirmalasari, R. (2018) 'Analisis Kualitas Air Sungai Sebangau Pelabuhan Kereng Bengkiray berdasarkan Keanekaragaman dan Komposisi Fitoplankton', *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 9(17), pp. 48–58.
- Olapade, O. and Dias, A.P.V.S.P. (2020) 'Microalgae to Energy', *Petroleum & Petrochemical Engineering Journal*, 4(2), pp. 1–22. Available at: <https://doi.org/10.23880/ppej-16000223>.
- Rahayu, R.I. and Susilo, H. (2021) 'Keanekaragaman Mikroalga Sebagai Bioindikator Pencemaran Di Situ Cibanten Kecamatan Ciomas Kabupaten Serang Banten', *Jurnal Lingkungan dan Sumberdaya Alam (JURNALIS)*, 4(2), pp. 104–116. Available at: <https://doi.org/10.47080/jls.v4i2.1459>.
- S. Santhosh, R.D. and N.H. (2016) 'Bioactive compounds from Microalgae and its different applications- a review', *Pelagia Research Library* [Preprint].
- Salim, M.A. (2022) *Mikroalga Dalam Riset Biologi*.
- Selviana, D., Harmoko, H. and Arisandy, D.A. (2021) 'Keanekaragaman Mikroalga Di Bendungan Barata Desa E.Wonokwerto Kabupaten Musi Rawas', *Florea : Jurnal Biologi dan Pembelajarannya*, 8(2), p. 112. Available at: <https://doi.org/10.25273/florea.v8i2.9746>.
- Seyidoglu, N., Inan, S. and Aydin, C. (2017) 'A Prominent Superfood: Spirulina platensis', *Superfood and Functional Food - The Development of Superfoods and Their Roles as Medicine*, pp. 1–28. Available at: <https://doi.org/10.5772/66118>.
- Sha, J. *et al.* (2021) 'Harmful algal blooms and their eco-environmental indication', *Chemosphere*, 274. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129912>.
- Silalahi, M. (2014) *Buku Bahan Ajar Taksonomi Tumbuhan Rendah*. Universtas Kristen Indonesia.
- Subudhi, S. (2017) 'Bioprospecting for Algal Based Nutraceuticals and High Value Added Compounds', *Journal of Pharmacy and Pharmaceutics*, 4(2), pp. 145–150. Available at: <https://doi.org/10.15436/2377-1313.17.1651>.

- Tasman Marta A, A.D. dan S. (2022) 'Isolasi dan identifikasi spesies mikroalga air tawar sebagai antioksidan dan antihiperglikemik', *Jurnal Litbang Industri*, 2014(2), pp. 73–81.
- Wu, J. *et al.* (2021) 'Bioactive substances and potentiality of marine microalgae', *Food Science and Nutrition*, 9(9), pp. 5279–5292. Available at: <https://doi.org/10.1002/fsn3.2471>.

BAB 3

MAKROALGA

Oleh Novy Dwi Susilowati

3.1 Pendahuluan

Kepulauan Indonesia mempunyai kekayaan alam sumber daya plasma nutfah berupa makroalga sebanyak 6,42% dari jumlah biodiversitas makroalga dunia. Makroalga berperan menjadi sumber utama dari rantai makanan, memberikan makanan untuk ikan-ikan kecil di laut selain itu juga memberikan oksigen bagi spesies lain yang ada di dalam air. Makroalga di perairan Indonesia mempunyai keanekaragaman spesies (*biodiversity*) yang tinggi (Septiady, 2023).

Makroalga termasuk salah satu jenis mirip tumbuhan yang berukuran besar dari beberapa centimeter sampai bermeter-meter dan memiliki tubuh seperti talus. Makroalga masuk golongan kingdom Protista. Makroalga cara hidupnya dengan menempel diberbagai substrat seperti batu, batu berpasir, kayu cangkang moluska dan tumbuhan epifit lainnya. Menempelnya makroalga di substrat agar makroalga tidak hanyut terbawa oleh arus, gelombang, atau keadaan air laut pasang surut. Makroalga juga bisa menempel pada karang yang mengalami pelapukan (Tarigan et al., 2020). Makroalga kebanyakan hidup di wilayah perairan, baik perairan tawar maupun perairan laut (Kampa et al., 2021).

3.2 Taksonomi dan Jenis-jenis Makroalga

Makroalga diklasifikasikan menjadi 3 jenis berdasarkan pigmen penyusunnya :

1. Alga Hijau (*Chlorophyceae*)

Termasuk divisi Chlorophyta mempunyai pigmen yang dominan warna hijau yang berasal dari klorofil yang

terdapat pada alga. Divisi *Chlorophyta* tersebar luas dan menempati berbagai substrat seperti tanah yang lembab, batang pohon, batuan basah danau, laut hingga salju. Chlorophyceae sebagian besar (90,5%) hidup di air tawar dan umumnya merupakan penyusun komunitas plankton (Septiady, 2023).

Ciri-ciri alga hijau :

- Mempunyai talus berbentuk filamen yang bercabang dan tidak bercabang ada juga yang berbentuk daun.
- Percabangan talus bersifat sel banyak atau multiseluler
- Alga hijau mengandung klorofil a dan b, alfa dan beta karoten, lutein serta zeaxanthin
- Dinding selnya mengandung selulosa, hidroksiprolin, glikosida, xilan dan manna (Cheng et al., 2022).
- Contohnya : *Boergensia forbessi*, *Caulerpa cupressoides*, *Caulerpa racemosa*, *Chaetomorpha crassa*, *Halimeda sp*, *Ulva sp*, *Ulva reticulata* (Srimariana et al., 2020).

Salah satu contoh taksonomi alga hijau *Caulerpa racemosa*



Gambar 3. 1. *Caulerpa racemosa*

(Septiyaningrum, 2020)

Taksonomi

Kingdom : *Plantae*
Subkingdom : *Viridiplantae*
Phylum : *Chlorophyta*
Class : *Ulvophyceae*
Ordo : *Bryopsidales*
Family : *Caulerpaceae*
Genus : *Caulerpa* J. V. F Lamouroux
Spesies : *Caulerpa racemose* (Forsskal) J. Agarrdh.

(Sumber : *Integrated Taxonomic Information System*).

Caulerpa racemosa mempunyai ciri talus berwarna hijau seperti tanaman rumput, terdiri dari banyak cabang tegak yang tingginya sekitar 2.5-6 cm. Batangnya berukuran antara 16-22 cm. Tumbuhan ini memiliki bulatan-bulatan seperti anggur pada puncak cabang sekitar 2.5 -10 cm (Septiyaningrum, 2020).

2. Alga Merah (*Rhodophyceae*)

Alga merah merupakan kelompok alga yang spesiesnya memiliki berbagai bentuk daun dengan variasi warna.

Ciri-cirinya :

- Ukuran talus tidak begitu besar.
- Bentuk talus silindris, gepeng dan lembaran.
- Sistem percabangannya ada yang sederhana dan ada yang kompleks (Septiady,2023).
- Alga merah mengandung pigmen klorofil a dan d, karoten, xantofil, fikobilin, fikoeritrin (Biris-Dorhoi et al., 2020).
- Dinding selnya mengandung selulosa, xillan, galaktan, alginate (Cheng et al., 2022).
- Contohnya : *Amphiroa sp*, *Archantophora spicifera*, *Euchema denticulatum*, *Euchema edule*, *Gracilaria salicornia* (Srimariana et al., 2020)

Salah satu contoh taksonomi alga merah (*Rhodophyceae*)
Gracilaria salicornia



Gambar 3. 2. *Gracilaria salicornia*

(Yulianti, 2018)

Taksonomi

Kingdom : *Plantae*

Subkingdom : *Biliphyta*

Phylum : *Rhodophyta*

Class : *Florideophyceae*

Ordo : *Gracilariales*

Family : *Gracilariaceae*

Genus : *Gracilaria* *grev*

Spesies : *Gracilaria salicornia* *J. Agardh*

(Sumber : *Integrated Taxonomic Information System*).

Talus licin, berbuku-buku atau bersegmen segmen.
Percabangan timbul pada setiap antar buku, warna hijau
kekuning-kuningan (Shobir, 2019).

3. Alga coklat (*Phaeophyceae*)

Alga coklat merupakan tumbuhan laut dan hanya
Sebagian kecil yang hidup di air tawar, memiliki ukuran

terbesar bila dibandingkan dengan kelompok alga yang lainnya dan bentuknya beragam.

Ciri-cirinya :

- Memiliki talus dengan morfologi luas yang tersusun dari filamen bercabang sampai susunan yang sangat kompleks.
- Kebanyakan phaeophyceae hidup dalam air laut dan hanya beberapa jenis yang hidup di air tawar.
- Talusnya dapat mencapai ukuran besar dan sangat berbeda-beda bentuknya (Septiady, 2023).
- Alga coklat mengandung pigmen karoten, fucoxanthin, klorofil a dan c (Biris-Dorhoi et al., 2020).
- Dinding selnya mengandung selulosa, alginate dan fucoidan (Cheng et al., 2022).
- Contohnya : *Hidroclathrus clatratus*, *Padina minor*, *Sargassum sp*, *Torbinaria ornate*, *Sargassum polycystum*.

Salah satu contoh taksonomi alga coklat (Phaeophyceae)
Sargassum polycystum



Gambar 3. 3. *Sargassum polycystum*

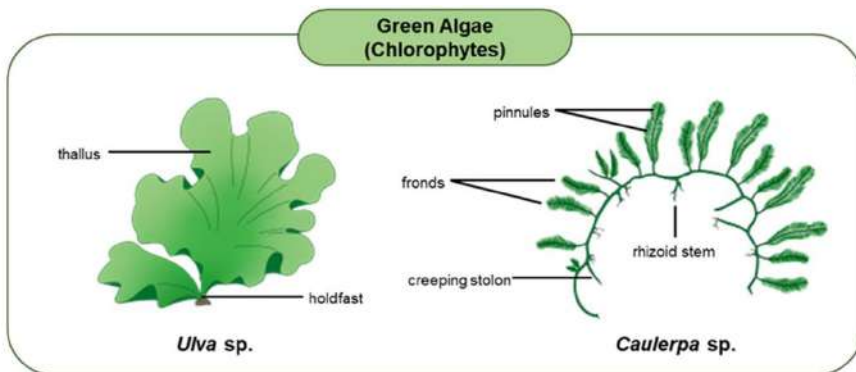
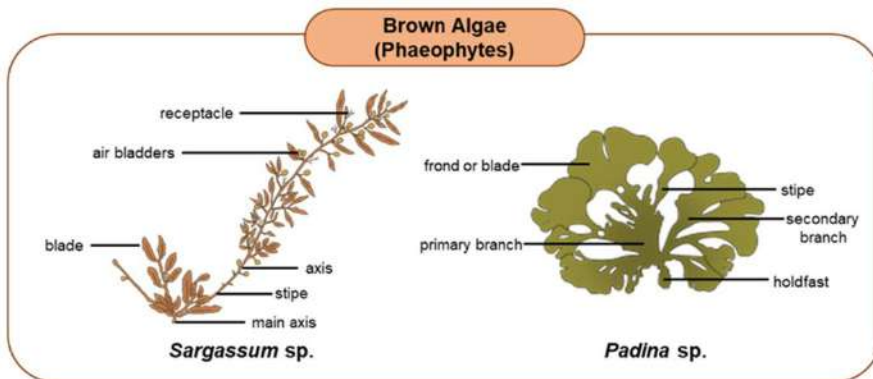
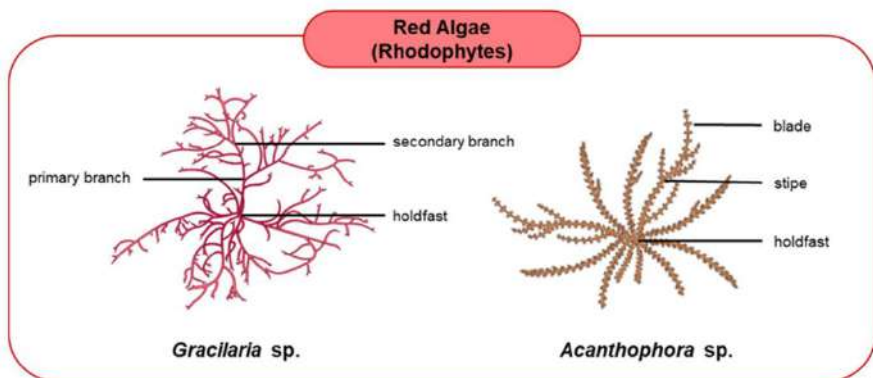
(Kusmita et al., 2023)

Kingdom : *Chromista*
Subkingdom : *Chromista*
Phylum : *Phaeophyta*
Class : *Florideophyceae*
Ordo : *Fucales*
Family : *Sargassaceae*
Genus : *Sargassum C. Agardh*
Spesies : *Sargassum polycystum c. Ag*
(Sumber : *Integrated Taxonomic Information System*).

Talus silindris, berduri-duri kecil rapat, holdfast membentuk cakram kecil dengan diatasnya terdapat stolon yang rimbun . Talus batang pendek dengan percabangan utama tumbuh rimbun dibagian ujungnya(Shobir,2019).

3.3 Morfologi Makroalga

Makroalga termasuk tanaman tingkat rendah dan tergolong divisi thallophyta, makroalga merupakan tumbuhan yang belum dapat dibedakan akar, batang dan daun. Makroalga mempunyai bentuk dan ukuran tubuh makroskopik dan merupakan alga multiseluler. Struktur tubuh makroalga terdiri dari 3 bagian yaitu pertama blade merupakan struktur yang menyerupai daun pipih yang biasanya lebar. Kedua stipe, merupakan struktur yang menyerupai batang dan lentur berfungsi sebagai guncangan ombak. Ketiga holdfast , merupakan bagian akar dan berfungsi melekatkan tubuhnya pada substrat (Septiady, 2023).



Gambar 3. 4. Bagian-bagian dari makroalga
(Cheng et al., 2022)

3.4 Habitat Makroalga

Sebaran makroalga ada yang terdapat pada zona intertidal merupakan daerah pasang surut dengan kedalaman dan hanya 0,01% cahaya untuk fotosintesis yang tersedia. Pada perairan yang jernih alga laut dapat hidup sampai pada kedalaman 150 m. Sebaran makroalga di perairan intertidal dan subtidal bisa mendapatkan Cahaya sinar matahari untuk proses fotosintesis. Makroalga bisa menyerap nutrisi berupa fosfat dan nitrogen di lingkungan sekitar yang dapat dijadikan bioindikator dan filter kondisi perairan.

Makroalga bisa didapatkan tumbuh dan tersebar di berbagai daerah Pantai dan pulau-pulau karang. Sebaran alga dapat dibagi menurut kedalamannya yaitu di perairan dangkal didominasi oleh alga hijau kemudian diikuti alga coklat dan sering ditemukan pada perairan paling dalam alga merah (Septiady, 2023).

3.5 Faktor yang mempengaruhi Pertumbuhan Makroalga

Keanekaragaman jenis dan pertumbuhan makroalga dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu faktor fisika seperti suhu optimum untuk pertumbuhan makroalga antara 15-31° C untuk alga yang hidup di daerah tropis. Kecepatan arus, arus sangat berpengaruh terhadap kesuburan makroalga karena dengan melalui pergerakan air, nutrient-nutrien yang terbawa arus dapat terdistribusi dan terserap melalui talus, kisaran arus yang baik untuk pertumbuhan makroalga yang baik antara 20-40 cm/detik. Kecerahan merupakan faktor untuk menunjukkan intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam perairan sehingga bisa untuk mendukung proses fotosintesis makroalga, kisaran kecerahan adalah 100 %. Faktor kimia juga berpengaruh terhadap pertumbuhan makroalga, Faktor kimia yaitu salinitas, salinitas mempunyai peran yang sangat penting terhadap pertumbuhan makroalga, persyaratan untuk salinitas kisaran 30-32%. PH sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan makroalga pH normal menunjukkan perairan yang jernih, kisaran pH optimum bagi makroalga adalah 7-8. Oksigen terlarut merupakan faktor utama bagi kehidupan di laut dan merupakan indikator kesuburan perairan,

kisaran oksigen terlarut untuk pertumbuhan makroalga adalah 5-6 mg/L. Nitrat dan Fosfat adalah zat hara yang diperlukan dan berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan hidup makroalga kisaran nilai kadar nitrat adalah 0.042mg/l-0.047 mg/l, kadar fosfat kisaran 0.010 mg/l- 0.026 mg/l (Kampa et al., 2021).

3.6 Reproduksi Makroalga

Terdapat 2 cara reproduksi makroalga yaitu secara aseksual dan seksual. Reproduksi aseksual yaitu penyebaran tetraspora, vegetatif, dan konjugatif. Sporofit dewasa menghasilkan spora yang disebut tetraspora sesudah proses germinasi tumbuh menjadi tanaman beralat kelamin yang disebut gametofit jantan dan gametofit betina. Perkembangbiakan secara vegetatif adalah dengan cara stek. Potongan seluruh bagian dari thallus akan membentuk percabangan baru dan tumbuh berkembang menjadi tanaman dewasa. Reproduksi secara seksual yaitu gametofit jantan disebut spermatia (Septiady, 2023).

3.7 Manfaat Makroalga

Makroalga telah dimanfaatkan oleh manusia selama ratusan tahun yaitu sebagai :

1. Makanan manusia

Sebagai makanan alga digunakan untuk pembuatan roti kering, dimakan sebagai sayuran laut, digunakan sebagai suplemen makanan (Pereira, 2021)

2. Pakan ternak

Penggunaan alga sebagai pakan ternak, komposisinya sangat bervariasi tergantung pada spesies, waktu pengumpulan, habitat serta kondisi eksternal, seperti suhu air, intensitas cahaya dan konsentrasi nutrisi air. Sebagai pakan ternak makroalga dibutuhkan dalam jumlah besar (Pereira, 2021).

3. Pertanian digunakan sebagai pupuk

Penggunaan makroalga untuk memperbaiki pH tanah, selain itu untuk meningkatkan produksi tanaman karena

mengandung unsur-unsur penting, seperti magnesium strontium, boron dan besi (Pereira, 2021).

4. Industri

Digunakan untuk memproduksi Kalsium karbonat, minuman ringan, gelas dan sabun, selain itu juga untuk ekstraksi iodium dan beberapa pewarna (Pereira, 2021)

5. Farmasi

Dalam bidang farmasi alga dapat diaplikasikan untuk obat-obat yang bersifat antioksidan antimikroba, antivirus, antikanker, anti jamur, antidiabetes, anti obesitas (Aditya et al., 2016).

6. Kosmetika

Makroalga mengandung komponen polisakarida, protein, lipid, pigmen, senyawa fenol. Sebagai kosmetik digunakan sebagai anti aging, pemutih, antioksidan, pelembab, lulur herbal. Selain itu makroalga juga bisa digunakan pada pembuatan sabun, shampoo, bedak, krim (Oktarina, 2017).

7. Nutraceutical

Nilai nutraceutical alga saat ini dipasaran sangat tinggi. Bisa digunakan sebagai suplemen makanan dan suplemen non makanan. Produk utama dari alga yaitu asam lemak tak jenuh ganda Omega 3, betakaroten. Astaxanthin, karotenoid (Aditya et al., 2016).

3.8 Senyawa Bioaktif pada Makroalga

Makroalga merupakan kelompok organisme laut multiseluler yang beranekaragam. Makroalga diklasifikasikan menjadi tiga filum utama berdasarkan pigmen fotosintesisnya, yaitu alga merah (*Rhodophyta*), alga hijau (*Chlorophyta*), dan alga coklat (*Phaeophyta*). Masing-masing filum ini memiliki sifat unik dan senyawa bioaktif (Adarshan et al., 2024). Alga tersebar luas di lingkungan yang beragam dan ekstrim, dan sangat berharga karena memiliki kandungan senyawa dan aktivitas biologi yang berbeda, termasuk senyawa

organik kompleks dan metabolit sekunder dan primer. Diantaranya adalah fitopigmen (xantofil dan karotenoid), polyunsaturated fatty acids (PUFAs) yang terdiri dari asam docosahexaenoic (DHA), senyawa fenolik, tannin, peptida, lipid, enzim, vitamin, karbohidrat, dan terpenoid. Sehingga alga merupakan sumber biomassa senyawa berharga yang layak dan ekonomis dengan aplikasi potensial dalam industri nutraceutical, farmasi, kimia, makanan dan kosmetik (Biris-Dorhoi et al., 2020).



Gambar 3. 5. Senyawa bioaktif Makroalga

(Adarshan et al., 2024)

Senyawa bioaktif pada makroalga terdiri dari metabolit primer dan sekunder.

3.8.1 Senyawa metabolit Primer

a. Protein dan asam amino

Sembilan dari 21 asam amino yang dianggap penting bagi manusia, yaitu histidine, isoleusin, leusin, lisin metionin, fenilalanin, treonin, triptofan, dan valin. Perkiraan jumlah

asam amino bebas berkisar antara 2-14,5 %, jumlah terendah pada alga hijau dan tertinggi pada alga merah. Kandungan protein alga laut berbeda-beda menurut spesiesnya. Kadar protein umumnya rendah pada rumput laut coklat (3-15% berdasarkan berat keringnya), rumput laut hijau (9-26%), pada rumput laut merah mencapai 47% (Biris-Dorhoi et al., 2020).

b. Lipid dan Asam lemak

Kandungan lipid pada spesies makroalga relative rendah, dengan nilai kurang dari 5%. Variasi kuantitas dan profil asam lemak dapat disebabkan oleh perbedaan lingkungan (intensitas Cahaya, salinitas, air laut, suhu) dan genetik antar spesies. Spesies berwarna coklat memiliki kandungan lipid yang tinggi dibandingkan dengan varietas hijau. Alga merah dan coklat kaya akan asam eicosapentaenoic (EPA) dan asam arakidonat (AA). Selain itu juga mengandung PUFA dan SFA (asam lemak jenuh) yang menguntungkan bagi Kesehatan manusia dibandingkan alga hijau (Biris-Dorhoi et al., 2020).

c. Karbohidrat

Karbohidrat yang meliputi mono, oligo, dan polisakarida dianggap sebagai sumber energi yang penting dan tak tergantikan untuk mendukung fungsi tubuh manusia dan aktivitas fisiknya. Polisakarida alga seperti alginate, karagenan, fucoidan dan laminarin (Biris-Dorhoi et al., 2020).

3.8.2 Senyawa metabolit sekunder

a. Polifenol

Diantara beberapa kelas polifenol, phlorotannin merupakan senyawa yang paling menonjol karena efek farmakologis. Senyawa -senyawa ini disintesis melalui jalur asetat-malonat. Distribusi phlorotannin di alam terbatas pada alga coklat dan jumlahnya dapat bervariasi antar spesies (Barbosa et al., 2014).

b. Alkaloid

Alkaloid merupakan senyawa nitrogen heterosiklik yang secara alami pada tumbuhan, mikroba, hewan dan organisme laut. Alkaloid dari alga laut relatif jarang, jika dibandingkan dengan alkaloid tumbuhan terrestrial, dan potensi biologisnya belum diketahui sepenuhnya. Alkaloid yang relative sedikit yang diisolasi dari makroalga dapat didistribusikan dalam empat kelompok 2-feniletilamin, indol, indol terhalogenasi dan turunan 2,7 naphtryridin. Alkaloid yang diisolasi dari alga laut Sebagian besar golongan 2 feniletilamin dan indol. Alkaloid terhalogenasi spesifik untuk alga, karena alkaloid yang mengandung brom dan klorida sangat dominan di Chlorophyta, Sebagian besar alkaloid indol terdapat pada Rhodophyta(Barbosa et al., 2014).

c. Terpen

Terpen merupakan salah satu kelas utama metabolit yang dihasilkan alga laut. Secara kimia, dianggap berasal dari prekursor lima karbon isopentenyl pirofosfat (IPP). Terpen diklasifikasikan menjadi hemiterpene (C₅), monoterpene (C₁₀), seskuiterpen (C₁₅), diterpene (C₂₀), sesterterpene (C₂₅), triterpene (C₃₀) dan politerpen (> C₃₀). Secara biosintetik terbentuk melalui jalur utama : mevalonate (MVA) dan deoxyxylulose 5 fosfat / 2-C methylerythritol 4-fosfat (DOXP/MEP) (Barbosa et al., 2014).

d. Sterol

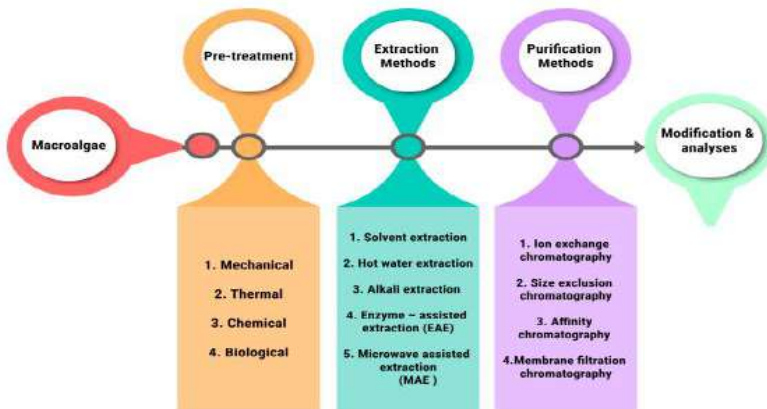
Sterol terdapat berlimpah di makroalga. Senyawa ini dapat terjadi dalam bentuk bebasnya, diesterifikasi dengan asam lemak atau terlibat dalam konjugasi glikosilasi. Fucosterol merupakan sterol yang dominan ditemukan di Chlorophyta dan Phaeophyta, sedangkan kolesterol adalah senyawa utama di Rhodophyta (Barbosa et al., 2014).

f. Pigmen

Makroalga menggunakan cahaya sebagai sumber energi dan pigmen

memainkan peranan penting dalam mengumpulkan energi matahari. Pigmen ini menyerap cahaya dari sp tampak. Pigmen alga utama yang digunakan secara komersial saat ini terdiri dari : beta-karoten, astaxanthin, lutein, phycocyanin, klorofil dan fucoxanthin (Biris-Dorhoi et al, 2020)

3.9 Metode Ekstraksi dan Pemurnian Makroalga



Gambar 3. 6. Metode ekstraksi dan pemurnian makroalga
(Adarshan *et al.*, 2024)

Metode ekstraksi dan pemurnian komponen makroalga tergantung pada industrinya. Komponen makroalga dapat diekstraksi menggunakan berbagai metode, termasuk ekstraksi pelarut dan ekstraksi air panas. Berbagai metode lanjutan seperti homogenitis tekanan tinggi, pirolisis, ekstraksi dengan bantuan ultrasonik, dengan bantuan gelombang mikro, dengan bantuan enzim (Adarshan *et al.*, 2024).

Senyawa bioaktif dari makroalga memiliki banyak aktivitas biologis. Beberapa penelitian telah menunjukkan aktivitas dari senyawa dari makroalga Tabel 3.1.

Makroalga	Senyawa	Aktivitas	Literatur
Alga hijau (Chlorophyta) <i>-Caulerpa racemosa</i>	Fenol,tanin, flavonoid, alkaloid, Saponin.klorofil	Antibakteri Antioksidan	(Rachmawati et al., 2016), (Mokoginta et al., 2021)
<i>- Ulva sp</i>	Fucoxantin Lutein Astaxanthin Canthaxanthin Zeaxanthin	Antidiabetes Antiobesitas Antioksidan antiinflamasi	(Kurniawan et al., 2023) (Ditasari et al., 2022)
<i>-Halimeda makroloba</i>	Alkaloid, steroid, tannin.	Antihiperglikemia	(Sampulawa & Nirmala, 2021)
<i>-Halimeda makroloba</i>	Flavonoid, Terpenoid, fenolik, saponin, alkaloid.	Antibakteri	
Alga merah (Rhodophyta) <i>- Gracilaria salicornia</i>	Terpenoid, flavonoid, fenolik, alkaloid	Antifungi	(Julyasih, 2022)
<i>-Gellidium amansii</i>	Polisakarida (agar)	Antidiabetik	(Aziz et al., 2021) (Chou et al., 2020)

Makroalga	Senyawa	Aktivitas	Literatur
- <i>Haematococcus pluvialis</i>	Astaxanthin	Antiaging	(Lucienne , 2023)
- <i>Gracilaria sp</i>	Asam Eikosapentanoat (EPA)	Mengurangi kardiovaskuler	
Alga coklat (Phaeophyta)			
- <i>Sargassum echinocarpum</i>	Fucoxantin	Antiobesitas	(Firdaus et al., 2015)
- <i>Sargassum hemiphyllum</i>	Fuxocantin	Antidiabetes	(Tsai, 2014)
- <i>Sargassum siliquastrum</i>	Fucoxantin	Antiinflamasi	(Heo et al., 2012)
			(Thinh et al., 2013)
- <i>Sargassum mcclurei</i>	Fucoidan	Anticancer	(Nuzul, 2018)
- <i>Padina sp</i>	Saponin Flavonoid	Antibakteri	(Eka Wati et al., 2020)
- <i>Sargassum polycystum</i>	Fuxocanthin	Antioksidan	

3.11 Produk dari Makroalga

Makroalga dapat memberikan manfaat untuk makanan, Kesehatan, farmasi dan kosmetika. Berikut merupakan produk dari alga merah (*Rhodophyta*), alga hijau (*Chlorophyta*), dan alga coklat (*Phaeophyta*) table 2.

Tabel 3. 2. Produk yang dihasilkan dari Makroalga

Makroalga	Produk	Keterangan
Red Alga (<i>Rhodophyta</i>)		Kosmetika (body lotion)
		Suplemen
		Suplemen

Alga coklat (Phaeophyta)		Sereal
		Kosmetika (gel masker) Kapsul penurun berat badan

		
Alga hijau (Chlorophyta)		Madu herbal untuk hipertensi

DAFTAR PUSTAKA

- Adarshan, S., Sree, V. S. S., Muthuramalingam, P., Nambiar, K. S., Sevanan, M., Satish, L., Venkidasamy, B., Jeelani, P. G., & Shin, H. (2024). Understanding Macroalgae: A Comprehensive Exploration of Nutraceutical, Pharmaceutical, and Omics Dimensions. *Plants*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/plants13010113>
- Aditya, T., Bitu, G., & G, M. E. (2016). The Role of Algae in Pharmaceutical Development. *Special Issue: Reviews on Pharmaceutics and Nanotechnology Research & Reviews: Journal of Pharmaceutics and Nanotechnology*, 4, 82–89. <http://www.rroij.com/open-access/the-role-of-algae-in-pharmaceutical-development-.pdf%0Ahttps://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a067600.pdf>
- Aziz, E., Batool, R., Khan, M. U., Rauf, A., Akhtar, W., Heydari, M., Rehman, S., Shahzad, T., Malik, A., Mosavat, S. H., Plygun, S., & Shariati, M. A. (2021). An overview on red algae bioactive compounds and their pharmaceutical applications. *Journal of Complementary and Integrative Medicine*, 17(4). <https://doi.org/10.1515/jcim-2019-0203>
- Barbosa, M., Valentão, P., & Andrade, P. B. (2014). Bioactive compounds from macroalgae in the new millennium: Implications for neurodegenerative diseases. *Marine Drugs*, 12(9), 4934–4972. <https://doi.org/10.3390/md12094934>
- Biris-Dorhoi, E. S., Michiu, D., Pop, C. R., Rotar, A. M., Tofana, M., Pop, O. L., Socaci, S. A., & Farcas, A. C. (2020). Macroalgae—A sustainable source of chemical compounds with biological activities. *Nutrients*, 12(10), 1–23. <https://doi.org/10.3390/nu12103085>
- Cheng, A., Lim, W. Y., Lim, P. E., Yang Amri, A., Poong, S. W., Song, S. L., & Ilham, Z. (2022). Marine Autotroph-Herbivore Synergies: Unravelling the Roles of Macroalgae in Marine Ecosystem Dynamics. *Biology*, 11(8), 1–16. <https://doi.org/10.3390/biology11081209>

- Chou, H. Y., Ma, D. L., Leung, C. H., Chiu, C. C., Hour, T. C., & Wang, H. M. D. (2020). Purified Astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* Promotes Tissue Regeneration by Reducing Oxidative Stress and the Secretion of Collagen in Vitro and in Vivo. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/4946902>
- Ditasari, U., Samudra, A. G., & Pertiwi, R. (2022). EFEKTIVITAS ANTIHIPERGLIKEMIA EKSTRAK ETANOL SUKROSA ANTIHYPERGLYCHEMIC EFFECTIVENESS OF ETHANOL EXTRACT *Ulva* sp . AND *Sargassum* sp . IN SUCROSE-INDUCED. *Jurnal Ilmiah Kefarmasian*, 7(4), 789–796.
- Eka Wati, N. K., Suhendra, L., & Wartini, N. M. (2020). Karakteristik Kandungan Fukosantin dan Aktivitas Antioksidan Ekstrak Alga Coklat (*Sargassum polycystum*) pada Perlakuan Konsentrasi Pelarut Aseton dan Suhu Maserasi. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 8(1), 80. <https://doi.org/10.24843/jrma.2020.v08.i01.p09>
- Firdaus, M., Agustin, F. P., Kholifatul, A. J., Wiratama, N., & Sudjarmiko, Y. A. (2015). ANTI OBESITY OF FUCOXANTHIN FROM *Sargassum echinocarpum* BY INCREASING β -OXIDATION IN ADIPOCYTE. *KnE Life Sciences*, 2(1), 97. <https://doi.org/10.18502/kls.v1i0.91>
- Heo, S., Yoon, W., Kim, K., Oh, C., Choi, Y., Yoon, K., Kang, D., Qian, Z., Choi, I., & Jung, W. (2012). Anti-inflammatory effect of fucoxanthin derivatives isolated from *Sargassum siliquastrum* in lipopolysaccharide-stimulated RAW 264 . 7 macrophage. *FOOD AND CHEMICAL TOXICOLOGY*, 50(9), 3336–3342. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.06.025>
- Julyasih, S. (2022). SENYAWA BIOAKTIF BEBERAPA JENIS RUMPUT LAUT DAN AKTIVITAS PENGHAMBATAN TERHADAP JAMUR *Aspergillus flavus* PADA TANAMAN JAGUNG (*Zea mays* L.). *Jurnal Perikanan Unram*, 12(3), 450–456. <https://doi.org/10.29303/jp.v12i3.363>
- Kampa, P., Wawobili, D., In, T., Beach, K., & Wawobili, W. (2021). *Konawe Kepulauan Regency J.* 6(1), 19–36.
- Kurniawan, R., Nurkolis, F., Taslim, N. A., Subali, D., Surya, R., Gunawan, W. Ben, Alisaputra, D., Mayulu, N., & Salindeho, N.

- (2023). Carotenoids Composition of Green Algae *Caulerpa racemosa*. *Molecules*, 28(3267).
- Kusmita, L., Pratiwi, H. D., & Bagiana, I. K. (2023). Identification, Isolation and Antioxidant Activity of Pigments from *Sargassum polycystum* from Sumbawa, Indonesia. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 27(6), 433–443. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2023.329253>
- Lucienne Agatha Larasati Nugraha Putri. (2023). “Potensi Asam Eikosapentanoat (EPA) Pada Ganggang Merah (*Gracilaria* sp.) sebagai Suplementasi Nutrisi untuk Mengurangi Risiko Penyakit Kardiovaskular.” *Prosiding Workshop Dan Seminar Nasional Farmasi*, 2, 125–140. <https://doi.org/10.24843/wsnf.2022.v02.p10>
- Mokoginta, T. A., Yudistira, A., & Mpila, D. A. (2021). Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Rumput Laut *Caulerpa racemosa* dari Pulau Mantehage Sulawesi Utara. *Pharmacon*, 10(3), 948–952.
- Nuzul, P. (2018). Uji AKTIVITAS ANTIBAKTERI ALGA COKLAT JENIS *Padina* sp. DARI PANTAI SORIDO BIAK TERHADAP BAKTERI *Staphylococcus aureus* DAN *Shigella dysenteriae*. *Jurnal Farmasi Medica/Pharmacy Medical Journal (PMJ)*, 1(1). <https://doi.org/10.35799/pmj.1.1.2018.19647>
- Oktarina, E. (2017). Alga: Potensinya pada Kosmetik dan Biomekanismenya. *Majalah Teknologi Agro Industri (Tegi)*, 9(2), 1–10.
- Pereira, L. (2021). Macroalgae. *Encyclopedia*, 1(1), 177–188. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia1010017>
- Rachmawati, S., Sumardianto, & Romadhon. (2016). Potensi Ekstrak *Caulerpa racemosa* Sebagai Antibakteri Pada Fillet Ikan Bendeng (*Chanos chanos*) Selama Penyimpanan Dingin. (March), 11–40.
- Sampulawa, S., & Nirmala, W. (2021). POTENSI ANTIBAKTERI EKSTRAK ALGA HIJAU *Halimeda makroloba* Decaisne DARI PERAIRAN DESA HUTUMURI KOTA AMBON. *Jurnal Sain Veteriner*, 39(2), 138. <https://doi.org/10.22146/jsv.59980>

- Septiady, D., Hendrawan, I. G., & Putra, I. N. G. (2023). Keanekaragaman Jenis Makroalga di Perairan Teluk Gilimanuk Bali. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(10), 4831–4843. <https://doi.org/10.56799/jim.v2i10.2253>
- Septiyaningrum, I., Utami, M. A. F., & Johan, Y. (2020). IDENTIFIKASI JENIS ANGGUR LAUT (*Caulerpa* sp.) TELUK SEPANG KOTA BENGKULU. *Jurnal Perikanan Unram*, 10(2), 195–204. <https://doi.org/10.29303/jp.v10i2.215>
- Shobir, H., . T., & . I. (2019). Kenekaragaman Jenis Makroalga Yang Berpotensi Sebagai Bahan Obat Di Perairan Pantai Cidatu Kabupaten Pandeglang. *Ekologia*, 19(2), 89–98. <https://doi.org/10.33751/ekol.v19i2.1664>
- Srimariana, E. S., Kawaroe, M., Lestari, D. F., & Nugraha, A. H. (2020). Biodiversity and Utilization Potency of Macroalgae at Tunda Island. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(1), 138–144. <https://doi.org/10.18343/jipi.25.1.138>
- Tarigan, N., Ndahawali, S., Meiyasa, F., Tega, Y. R., & Henggu, K. U. (2020). Eksplorasi Keanekaragaman Makroalga di Perairan Londalima Kabupaten Sumba Timur. *BIOSFER, J.Bio. & Pend.Bio.*, 5(1), 259–268. <https://doi.org/10.23969/biosfer.v5i1.2547>
- Thinh, P. D., Menshova, R. V., Ermakova, S. P., Anastyuk, S. D., Ly, B. M., & Zvyagintseva, T. N. (2013). Structural characteristics and anticancer activity of fucoidan from the brown alga *Sargassum mcclurei*. *Marine Drugs*, 11(5), 1453–1476. <https://doi.org/10.3390/md11051456>
- Tsai, P. H. Y. H. Y. (2014). *The brown seaweed Sargassum hemiphyllum exhibits a -amylase and a -glucosidase inhibitory activity and enhances insulin release in vitro*. <https://doi.org/10.1007/s10616-014-9745-9>
- Yulianti, Y., & Baso Manguntungi, A. Y. (2018). Aktivitas Antibakteri Ekstrak Alga Merah dari Pantai Luk, Sumbawa terhadap *Salmonella thypi* dan *Staphylococcus aureus*. *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 3(1), 1–11. <https://doi.org/10.24002/biota.v3i1.1888>

BAB 4

SPONS

Oleh Yosua Bayu Kristianto

4.1 Pendahuluan

Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, memiliki wilayah perairan yang sangat luas, dimana dua pertiganya adalah laut. Wilayah ini kaya akan sumber daya alam hayati laut yang melimpah, sehingga tidak mengherankan jika populasi dan variasi spesies spons di Indonesia cukup tinggi. Salah satu potensi alam yang belum sepenuhnya dieksplorasi dan dimanfaatkan dalam berbagai aspek kehidupan manusia adalah ekosistem terumbu karang. Ekosistem ini merupakan bagian penting dari keanekaragaman hayati di laut dan menyediakan berbagai manfaat seperti sumber pangan, bahan obat, serta material pendukung untuk pemulihan lingkungan dan penanggulangan pencemaran. (Marzuki, 2018).

Spons adalah salah satu jenis hewan dari filum porifera yang beragam spesiesnya hidup di perairan laut. Mereka dapat ditemukan dan bertahan hidup di berbagai habitat, termasuk pasir, lumpur, pohon yang sudah lapuk, dan karang. Spons, juga dikenal sebagai hewan berpori, mengambil makanannya dari air laut melalui proses penyaringan dan hidup di dasar perairan. Mereka bisa bertahan dengan baik di lingkungan dengan arus air yang kuat, karena aliran tersebut menyediakan makanan dan oksigen. Makanan spons terdiri dari bahan organik seperti bakteri, *zooplankton*, dan *fitoplankton*, yang ditangkap oleh sel-sel rambut cambuk mereka (Fidayat dkk., 2021).

Kehadiran spons di perairan laut dapat berfungsi sebagai penanda biologis untuk menilai kualitas perairan. Komunitas Porifera di daerah perairan merupakan salah satu indikator biologis untuk mengukur kualitas perairan. Porifera cenderung tidak bergerak dan penyebaran larvanya terbatas oleh hambatan-hambatan tertentu, sehingga mereka harus beradaptasi dengan perubahan fisik dan biologis dalam lingkungan perairan tersebut (Inzaghi dkk., 2022).

Spons termasuk dalam Filum Porifera yang terbagi menjadi empat kelas, yaitu *Calcarea*, *Hexactinellida*, *Archaeocyatha*, dan *Demospongiae*. Kelas *Demospongiae* sendiri menyumbang sekitar 90% dari total spesies spons yang ada di dunia, yang diperkirakan mencapai 4.500–5.000 spesies. Kelas ini terbagi menjadi tiga subkelas, 13 ordo, 71 famili, dan 1.005 genera, meskipun hanya sekitar 507 genera yang masih hidup. Dari jumlah tersebut, sekitar 481 genera ditemukan di perairan laut dan 26 genera ditemukan di air tawar. *Demospongiae* merupakan kelas spons yang paling melimpah dan memiliki distribusi yang luas, dengan jenis-jenis yang sangat beragam (Suparno dkk., 2009).

Kandungan utama dalam spons laut adalah senyawa metabolik yang memiliki potensi sebagai bahan baku obat. Beberapa jenis spons laut membentuk hubungan simbiosis dengan mikroorganisme, termasuk bakteri. Sebagian dari spons laut tersebut bersimbion dengan bakteri dan mampu menguraikan hidrokarbon aromatik yang sangat beracun dengan menggunakan karbon dari komponen polisiklik aromatik hidrokarbon sebagai sumber energi (Marzuki, 2021).

4.2 Identitas, Penggolongan dan Struktur Spons

4.2.1 Identitas Spons

Porifera, yang berasal dari bahasa Latin, memiliki arti "porus" yang berarti berpori, dan "fer" yang berarti membawa.

Porifera merupakan hewan multiseluler atau metazoa yang paling sederhana. Hewan ini ditandai dengan tubuhnya yang berpori seperti spons atau busa, sehingga sering disebut sebagai hewan spons. Karakteristik tubuh Porifera mencakup berbagai hal seperti ukuran, bentuk, struktur, dan fungsi tubuh. Beberapa jenis Porifera memiliki ukuran sekecil butiran beras, sementara yang lain bisa mencapai ukuran tubuh spons raksasa dengan tinggi hingga 2 meter dan diameter hingga 2 meter.

Secara umum, tubuh Porifera bersifat asimetris atau tidak beraturan, meskipun ada yang memiliki simetri radial. Bentuknya bervariasi, ada yang menyerupai tabung, vas bunga, mangkuk, atau bercabang seperti tumbuhan. Tubuh mereka memiliki lubang-lubang kecil atau berpori (*ostium*). Warna tubuhnya juga beragam, dari pucat hingga cerah seperti merah, jingga, kuning, bahkan ungu. Porifera melakukan reproduksi secara asexual maupun seksual. Reproduksi asexual terjadi melalui pembentukan tunas/pucuk dan *gemmule*, yang juga dikenal sebagai tunas internal. Umumnya, Porifera mampu menghasilkan ovum dan sperma pada satu individu, sehingga mereka diklasifikasikan sebagai hewan hermafrodit, yang memiliki kedua jenis kelamin.

Identitas utama spons adalah jenis hewan berpori, bersifat *filter feeder* (menyerap, menyaring dan menyemprotkan) nutrisi dalam memperoleh makanan. Spons dapat menjadi habitat bagi mikroorganisme lain dengan bersarang pada tubuh spons. Identitas lain terkait spons adalah kemampuan untuk bersimbiosis dengan mikroorganisme lain secara mutualisme, baik secara inter maupun intra selular. (Marzuki, 2018)

4.2.2 Penggolongan Spons

Penggolongan spons terdiri dari empat kelas, yang didasarkan pada struktur tubuh, pola hidup, dan pertumbuhannya. Kelas *Calcarea* terdiri dari spons yang semua jenisnya hidup di laut.

Spons-spons ini memiliki struktur yang relatif sederhana dibandingkan dengan yang lainnya, dan biasanya ditemukan di perairan dangkal di sekitar pantai. Tubuh mereka memiliki bentuk yang sederhana dengan kerangka yang terbuat dari CaCO_3 . Biasanya, spons-spons dalam kelas *Calcarea* memiliki tinggi kurang dari 10 cm, seperti *Leucosolenia*, *Clathrina*, *Grantia*, *Scypha*, dan *Sycon*.

Kelas *Demospongiae* merupakan kelompok spons yang paling dominan di antara porifera yang ada saat ini. Mereka umumnya hidup di laut, meskipun ada juga yang ditemukan di air tawar. Kelas ini mendominasi lebih dari 90% dari total spesies spons. Beberapa jenis *Demospongiae* dapat bertahan hidup di lingkungan dengan iklim ekstrim, meskipun umumnya tidak bertahan lama. Meskipun demikian, beberapa jenis spons ini diketahui dapat hidup hingga usia 200 tahun atau bahkan lebih.

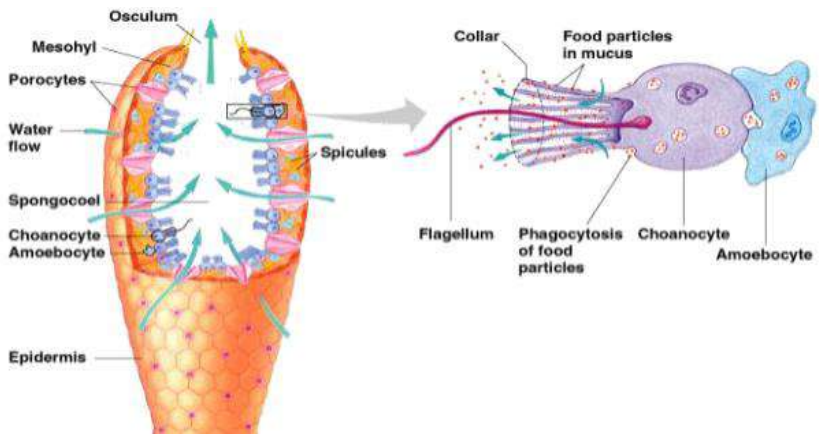
Kelas *Hexactinellida*, atau yang dikenal sebagai spons gelas, hidup di laut dalam dan tersebar luas, dengan spikula terbuat dari silikat dan tanpa mengandung spongin. Mayoritas spesies spons memiliki kemampuan untuk melakukan gerakan yang terkoordinasi di seluruh tubuh mereka, terutama kontraksi dari sel-sel *pinacocytes*, yang dapat menyaring saluran air dari sedimen dan mengurangi penyumbatan dengan mengeluarkan zat lain. Spons juga dapat berkontraksi untuk mengurangi area yang rentan terhadap serangan predator. Spons gelas mampu mengirimkan impuls listrik dengan cepat melalui seluruh bagian *syncytium*, dan menggunakannya untuk menghentikan gerakan flagela jika air yang masuk mengandung racun atau sedimen yang berlebihan.

Kelas *Sclerospongia* terdiri dari spons yang sebagian besar hidup di perairan dalam di terumbu karang, gua-gua, celah-celah batuan bawah laut, atau terowongan terumbu karang. Semua jenis ini memiliki struktur tubuh yang kompleks tipe *leuconoid*, dengan spikula silikat dan serat spongin. Elemen-elemen ini dikelilingi oleh jaringan hidup yang terdapat pada rangka basal kalsium karbonat

yang kuat atau pada rongga yang tertutupi oleh kalsium karbonat (Marzuki, 2018).

4.2.3 Struktur Spons

Secara umum struktur spons tersusun atas *Osculum*, *mesohyl*, *spongocoel*, *Choanocyt*, *Amoebocyt*, dan *Spicula*; dimana struktur spons tersebut dilengkapi dengan saluran aliran air dan terlihat bahwa tubuh spons memiliki porositas yang menjamin spons sebagai hewan *filter feeder*. Bagian dari tubuh spons tersebut dibungkus oleh Epidermis. Sistem pencernaan spons terdiri atas bagian yang dapat mendeaktivasi zat racun pada system nutrisi yakni *Phagocytosis* dan juga memiliki perut atau kantong makanan, dilengkapi dengan Flagella.



Gambar 4. 1. Struktur Spons secara Umum

(Sumber : Longman, Inc.)

Gambar 4.1 memperlihatkan struktur spons secara umum, artinya bagian-bagian penyusun tubuh spons relatif dimiliki oleh setiap jenis spons. Bagian yang penting dalam tubuh spons seperti *osculum*, *mesohyl*, *choanocytes*, *amoebocyte* dan *spikula* dan saluran

air. Setiap bagian yang menyusun tubuh spons memiliki fungsi masing-masing yang dijalankan untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan spons sebagai salah satu hewan laut dengan memperoleh makanan cara *filter feeder* (Marzuki, 2018).

4.3 Fisiologi, Anatomi, Morfologi dan Histologi Spons

4.3.1 Fisiologi Spons

Bentuk tubuh spons bervariasi, ada yang sederhana seperti tabung dengan dinding tipis, ada yang masif, kurang beraturan, dan beragam. Beberapa jenis spons memiliki cabang yang menyerupai pohon, sementara yang lain memiliki bentuk seperti sarung tinju, cawan, atau kubah. Spons mengandung gen yang hanya aktif di sel termos, yang hanya muncul selama tahap larva, dan memberikan beberapa kemampuan sensorik. Ini menunjukkan bahwa sel termos merupakan bagian awal dari sistem deteksi neuron, menunjukkan bahwa spons memiliki neuron. Neuron mungkin hilang karena adaptasi ke gaya hidup *sesil*.

Spons tidak memiliki sistem kekebalan tubuh yang kompleks. Beberapa spesies spons laut memiliki sel yang berperan dalam menolak benda asing dengan menghasilkan zat kimia yang mencegah pergerakan sel lain di area tertentu, sehingga mencegah penyusupan benda asing menggunakan sistem internalnya.

Spons memiliki kemampuan untuk menghasilkan zat kimia sebagai pertahanan terhadap predator, kecuali spons kaca. Toksisitas zat kimia yang dihasilkan oleh spons tidak mengganggu keberadaan ikan di sekitarnya; bahkan, predasi oleh ikan dapat membantu menyebarkan spons. Spons dalam kehidupan nyata memiliki berbagai bentuk dan warna yang sangat beragam. Banyak spons memiliki alat reproduksi ganda, meskipun sulit untuk membedakan antara spons jantan dan betina. Meskipun sebagian

spons memiliki identitas kelamin yang jelas (*dioecious*), kebanyakan spons adalah hermafrodit atau memiliki kelamin ganda. Spons hermafrodit mampu memproduksi sel telur dan sel sperma pada waktu yang berbeda. Dengan metode ini, spons dapat berkembang biak secara seksual di antara komunitas spons dalam habitatnya. Perkembangbiakan secara aseksual juga dapat terjadi, di mana spons membentuk tunas internal (*gemmules*) dari *archeocyte* dan cadangan makanan (Affandi, 2002).

4.3.2 Anatomi Spons

Anatomi spons meliputi tiga tipe saluran air: *askonoid*, *sikonoid*, dan *leukonoid*, dengan pencernaan yang terjadi secara intraseluler di dalam koanosit dan amoebosit. Spons hidup secara heterotrof, memakan bakteri dan plankton yang masuk ke dalam tubuhnya dalam bentuk cairan. Pencernaan dilakukan secara intraseluler di dalam *koanosit* dan *amoebosit*. Reproduksi spons dapat dilakukan secara aseksual maupun seksual. Umumnya, spons bersifat hermafrodit. Reproduksi aseksual terjadi melalui pembentukan tunas atau pucuk baru dan *gemmule*. Tunas atau pucuk baru terbentuk dari tubuh induk, yang lama-kelamaan membentuk koloni porifera. Fragmen kecil dapat melepaskan diri dari spons induk, menempel pada substrat, dan tumbuh menjadi spons baru. Reproduksi aseksual pada spons air tawar juga bisa dilakukan untuk mengatasi kondisi lingkungan yang kering dengan pembentukan *gemmae*, yaitu butir benih atau tunas internal yang terbungkus oleh tiga lapisan kuat. *Gemmae* dihasilkan menjelang musim dingin di dalam tubuh spons air tawar. *Gemmae* terbentuk saat induk hancur. Jika kondisi lingkungan membaik, lapisan pelindung *gemmae* pecah, dan kehidupan dapat dilanjutkan. Spons menghasilkan senyawa bioaktif yang berfungsi sebagai pertahanan diri. Senyawa tersebut memiliki potensi sebagai bahan obat-obatan. (Affandi, 2002)

4.3.3 Morfologi Spons

Ciri-ciri morfologi spons tubuhnya berpori (*ostium*), multiseluler, tubuh spons asimetri (tidak beraturan), meskipun ada yang simetri radial, berbentuk seperti tabung, vas bunga, mangkuk, atau tumbuhan, warnanya bervariasi, tidak berpindah tempat (sesil). memiliki tiga tipe saluran air, yaitu *askonoid*, *sikonoid*, dan *leukonoid* pencernaan secara intraseluler di dalam *koanosit* dan *amoebosit*. Spons dapat berbentuk sederhana seperti tabung dengan dinding tipis, atau masif bentuknya dan agak tidak teratur.

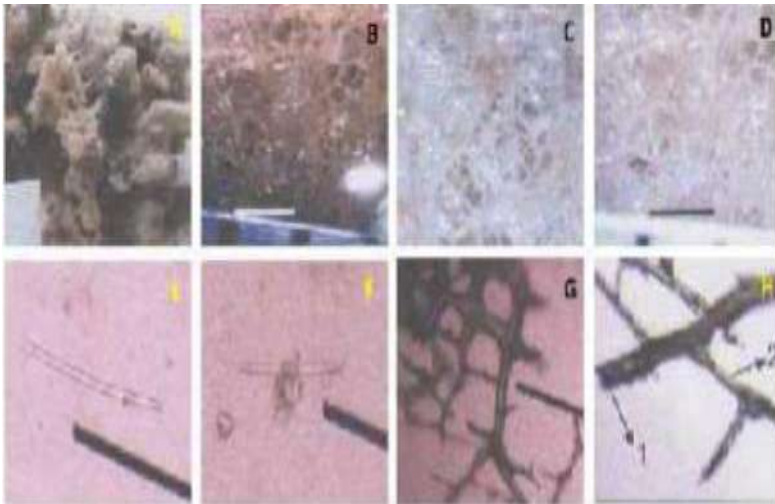
Banyak spons tersusun atas segumpal jaringan yang tak tentu bentuknya, menempel dan membuat kerak pada batu, cangkang, tonggak, atau tumbuh-tumbuhan. Morfologi luar spons laut dipengaruhi sangat kuat oleh faktor fisika, kimiawi, dan biologis lingkungannya. Spesimen yang berada di lingkungan yang terbuka dan berombak besar cenderung pendek pertumbuhannya atau juga merambat. Sebaliknya spesimen dari jenis yang sama pada lingkungan yang terlindung atau pada perairan yang lebih dalam dan berarus tenang, pertumbuhannya cenderung tegak dan tinggi. Pada perairan yang lebih dalam spons cenderung memiliki tubuh yang simetris dan lebih besar sebagai akibat dari lingkungan yang lebih stabil apabila dibandingkan dengan jenis yang sama pada perairan yang dangkal.

Umumnya spons cenderung memiliki morfologi yang berbeda, jika hidup pada dua lingkungan yang berbeda, berakibat sifat, jenis mikroorganisme dan jumlah simbion yang dapat terjadi juga akan berbeda. Faktor seperti nutrien, arus laut, tingkat cemaran pada laut tempat perkembangbiakan, jenis cemaran, pH, intensitas cahaya, kedalaman dan intensitas ancaman terhadap kehidupan spons diduga sebagai penyebab perbedaan tersebut. Karakteristik utama yang mencirikan suatu jenis spons tersebut mampu mendegradasi hidrokarbon dilihat pada struktur tubuh yang memiliki lendir atau lumpur yang ada dalam tubuh maupun yang

menyelimuti tubuh spons. Lendir ini mengandung bakteri yang bertugas memproduksi sejumlah enzim sebagai respon atas ancaman yang dialami oleh spons, sehingga spons yang hidup pada area tercemar hidrokarbon dimana spons tersebut tetap dapat bertahan hidup (Affandi, 2002).

4.3.4 Histologi Spons

Histologi adalah ilmu yang mempelajari tentang struktur jaringan secara detail menggunakan mikroskop pada sediaan jaringan yang dipotong tipis, salah satu dari cabang-cabang biologi. Histologi dapat juga disebut sebagai ilmu anatomi mikroskopis. Ilmu yang mempelajari jaringan tubuh secara mikroskopis. Salah satu contoh hasil pengamatan histologi pada jenis spons melalui preparat histologi spons *Callyspongia* sp.



Gambar 4. 2. Hasil Analisis Histomorfologi *Callyspongia* sp.

(Sumber : Harrison, 1991)

Melalui preparat histologi spons *Callyspongia* sp., dapat diamati bahwa terdapat spikula oxea yang tersebar di bagian ektosom (korteks), serta spikula style dan strongyle yang terdapat di bagian ektosom (korteks) dan endosom (*medulla*). Gambar 4.2

menampilkan struktur sel spons *Callyspongia* sp., dimana dapat diamati sel-sel *archaeocyt* (*amoebocyt*) dengan nukleus berukuran besar. Pengamatan histologi jenis spons ini menggunakan mikroskop fase kontras, menghasilkan identifikasi komponen struktur seperti spikula dan jaringan spongin yang menyusun skeleton, serta sel-sel berukuran besar yang diduga sebagai *archaeocyt* (Harrison, F. W., and De Vos, L., 1991)

4.4 Mikrosimbion Spons

4.4.1 Spons dan Mikroorganisme

Interaksi antara organisme dalam lingkungan akuatik sangat beragam, dan peran penting dalam interaksi tersebut dijalankan oleh mikroorganisme. Mikroorganisme sering ditemukan tumbuh secara komensal di permukaan dan dalam berbagai binatang akuatik, termasuk di dalam organ pencernaan mereka, di mana sejumlah bakteri sering ditemukan. Mikroorganisme juga menjadi makanan bagi sejumlah hewan yang hidup di sedimen atau di perairan, sehingga memainkan peran penting dalam aspek nutrisi. Beberapa hewan dapat hidup secara simbiotik dengan bakteri atau fungi tertentu. Hubungan simbiotik yang penting terjadi antara spons dengan sejumlah bakteri dan alga. Dalam hubungan ini, spons menyediakan dukungan dan perlindungan bagi simbiionnya, sedangkan simbion menyediakan makanan bagi spons. Alga yang bersimbiosis dengan spons memberikan nutrisi yang dihasilkan dari produk fotosintesis, yang menjadi tambahan bagi aktivitas normal filter feeder yang dilakukan spons. Faktor yang mempengaruhi terjadinya mikrosimbion spons diantaranya

1. Ketersediaan Nutrien

Ketersediaan nutrisi berupa senyawa-senyawa organik menjadi faktor yang berkontribusi besar terhadap pertumbuhan dan perkembangan spons. Nutrien yang cukup memberi manfaat

terhadap spons dalam mencukupi kebutuhan tubuhnya untuk kelangsungan hidup spon yang lebih baik.

2. Salinitas, temperatur dan pH

Salinitas yang sesuai dengan suatu jenis spons akan menyebabkan spon tersebut dapat bertahan pada lingkungan hidupnya, namun demikian bahwa beberapa jenis spons yang tidak dapat bertahan dengan tingkat salinitas dimana spons tersebut berdian. Jika terjadi hal demikian, maka spons harus dapat beradaptasi dengan keadaan tersebut atau spons dapat saja melakukan migrasi, namun itu sangat sulit, karena spons merupakan jenis hewan dengan pergerakan paling kecil. Derajat pH pada area perairan dan temperatur dimana komunitas spons berada berpengaruh buruk dengan pertumbuhan spons.

3. Topografi

Dasar laut yang landai memberi manfaat bagi spons untuk menjalankan kemampuannya spons sebagai hewan filter feeder dapat berjalan maksimal. Topografi landai dan dasar laut yang sedikit berlumpur akan menjadikan spons dapat melakukan nutrisi secara maksimal dan efektif. Topografi dasar laut yang curam menyulitkan spons untuk menjalankan kemampuannya sebagai hewan *filter feeder*.

4. Ancaman Pencemaran

Jenis pencemaran dapat berupa senyawa organik (hidrokarbon), sampah organik (plastik dan sejenisnya), dan senyawa anorganik (logam berat), sampah anorganik (kaleng, potongan logam, dan lain-lain), pencemaran karena bahan kimia tertentu dan bahkan kekeruhan akibat reklamasi dan lain sebagainya. Pencemaran yang terjadi disekitar lingkungan komunitas spons yang menyebabkan air mengalami kekeruhan dan mungkin berbau. Jika keadaan ini berlangsung dalam waktu lama

dapat menyebabkan terjadinya suplai oksigen dalam air menurun yang berdampak pada gangguan terhadap spons yang dapat berakibat pada matinya spons tersebut.

5. Arus Laut, Kedalaman dan Gelombang

Ada dua arus laut yang berpengaruh pada pertumbuhan dan perkembangan spons, yakni arus atas oleh ombak, meskipun pengaruhnya lebih kecil terhadap kehidupan spons, sedangkan arus bawah laut yang terjadi di dasar laut membuat spons dapat terombang ambing oleh gerakan air tersebut, dampak lainnya adalah spons sulit untuk melakukan penyerapan dan penyaringan cairan yang mengandung nutrisi, dan juga gerakan arus bawah laut berdampak pada kemungkinan terjadi kekeruhan yang justru akan menyulitkan bagi spons untuk melakukan aktivitas secara normal. (Marzuki, 2018).

4.4.2 Interaksi Spons Terhadap Mikroorganisme

Beberapa jenis mikroorganisme yang dapat bersimbion dengan spons, namun diketahui bahwa tidak ada pola yang baku suatu simbiosis yang dapat terjadi antara spons dengan mikroorganisme. Satu jenis spons dapat bersimbion dengan banyak jenis mikroorganisme, termasuk banyak jenis bakteri, dan sebaliknya jenis mikroorganisme (bakteri) dapat bersimbion dengan lebih dari satu jenis spons. Jenis simbiosis yang terjadi dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti ketersediaan nutrisi bagi spons, ancaman yang dapat terjadi pada habitat spons, besar kecilnya arus yang dapat membuat mikroorganisme terombang ambing, jenis predator baik oleh spons maupun terhadap bakteri dan juga ada tidaknya pencemaran pada lingkungan hidup spons. Organisme inang mensintesis senyawa bioaktif sebagai metabolit sekunder untuk melindungi dirinya dan menjaga keseimbangan lingkungan.

Spons laut memiliki sumber makanan yang kaya mikroorganisme baru dengan potensi aktivitas farmakologi. Interaksi antara spons dan bakteri terjadi dalam bentuk simbiosis komensalisme dimana dalam interaksi ini dihasilkan senyawa bioaktif. Pola simbiosis spons dan mikroorganisme yang tidak baku menyebabkan potensi produksi zat aktif oleh spons juga akan bervariasi. Zat aktif spons yang diproduksi sesungguhnya bukanlah dihasilkan oleh spons tetapi justru diproduksi oleh bakteri simbiosis sebagai bentuk respon tubuh bakteri terhadap ancaman predator terhadap inangnya (spons), dimana zat aktif tersebut sepertinya adalah zat yang menyerupai karakter atau berkarakter seperti enzim. Pola simbiosis spons terhadap bakteri tidak dapat diprediksi, karena begitu rumitnya mirip dengan karakter protein yang saling berkombinasi satu dengan lainnya atau kombinasi protein dengan senyawa lainnya. (Marzuki, 2018)

4.5 Senyawa Bioaktif Spons

Terdapat banyak manfaat dari spons, hewan unik yang memiliki kemampuan untuk memproduksi senyawa bahan alam seperti terpenoid, alkaloid, dan steroid yang memiliki sifat antibakteri. Senyawa-senyawa ini memiliki potensi biomedis yang beragam, termasuk sebagai antibiotik, antitumor, antiinflamasi, inhibitor enzim, dan lainnya. Selain itu, spons juga diduga mengandung berbagai senyawa kimia lainnya seperti saponin, asam fenolik, glikosida, peptide, amina, turunannya, serta squalen dan turunannya yang dihasilkan dari metabolit sekunder. Spons juga kaya akan senyawa kimia lain seperti asam amino, asam lemak, keratin, sterol, brominat phenol, dan turunan senyawa *dibromotyrosine* dan bromopyrol. Penelitian terhadap potensi spons menemukan tiga manfaat utama. Pertama, biomassa spons memiliki potensi untuk mengurangi sifat toksik beberapa jenis hidrokarbon

dan sebagai media pertumbuhan bagi mikroorganisme tertentu yang memiliki aktivitas antibakteri. Kedua, spons mengandung komponen metabolit primer dan sekunder yang berpotensi sebagai bahan baku obat dan kosmetik. Ketiga, spons dapat bersimbion dengan beberapa jenis mikroorganisme potensial, termasuk bakteri pendegradasi zat karsinogenik dan mutagenik limbah aromatik hidrokarbon, serta sebagai bioabsorben beberapa jenis logam berat dalam limbah.

Porifera, atau yang lebih dikenal sebagai spons, memiliki potensi yang bermanfaat bagi kehidupan manusia melalui kandungan kimia yang dimilikinya. Beberapa bahan kimia ini telah ditemukan memiliki efek farmasi yang bermanfaat, termasuk senyawa untuk berbagai jenis penyakit. Setiap jenis spons juga memiliki komposisi kimia yang berbeda, yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Metabolit yang dihasilkan oleh spons memiliki manfaat sebagai pertahanan kimia terhadap lingkungan dan juga sebagai bahan aktif dalam obat-obatan, makanan kesehatan, dan kosmetik. Pembentukan senyawa bioaktif dalam spons dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk enzim, nutrisi, dan simbiosis dengan biota lain seperti bakteri, kapang, dan dinoflagellata. (Higa, 1994).

4.6 Potensi dan Aplikasi Spons

Porifera atau lebih dikenal dengan sebutan spons memiliki potensi yang bermanfaat bagi kehidupan dari kandungan kimia yang dimiliki oleh tubuhnya. Beberapa bahan kimia ini telah ditemukan memiliki efek farmasi bermanfaat bagi manusia, termasuk senyawa untuk obat pernapasan, kardiovaskular, gastrointestinal, anti inflamasi, antitumor, dan antibiotik. Setiap jenis porifera juga tersusun oleh kandungan kimia yang berbeda. Misalnya Porifera kapur, Porifera jenis ini kerangka tubuhnya terbuat dari bahan kristal zat kapur atau CaCO_3 dan Porifera silikat, Porifera jenis ini kerangka tubuhnya terbuat dari bahan kristal silikat $\text{H}_2\text{Si}_3\text{O}_7$, kristal-

kristal yang berbentuk seperti duri, bintang, mata kail, jangkar dan lain-lain yang biasa disebut specula itu merupakan hasil bentukan atau sekresi dari sel-sel skleroblas. Porifera (spons) menghasilkan metabolit primer dan metabolit sekunder sebagai hasil dari proses metabolisme. Pembentukan metabolit ini dipengaruhi oleh faktor lingkungan, dimana diasumsikan bahwa pada kondisi lingkungan yang berbeda, spesies yang sama belum tentu memiliki kandungan metabolit yang sama. Metabolit ini memiliki manfaat yaitu sebagai *chemical defense* untuk melindungi dirinya terhadap serangan lingkungannya, dengan kata lain untuk mempertahankan hidupnya dari serangan predator. Manfaat untuk manusia, sebagai substansi bioaktif untuk obat-obatan, makanan kesehatan dan kosmetik. Beberapa contoh spons yang dapat memberikan manfaat di bidang farmasi diuraikan seperti berikut :

1. Zat bioaktif spons sebagai antioksidan

Callyspongia (Cladochalina) plicifera adalah spesies spons yang tergolong dalam kelas *Demospongiae*. Spesies ini juga merupakan bagian dari genus *Callyspongia* dan famili *Callyspongiidae*. Temuan tentang senyawa bioaktif spons, mengingat pada pentingnya fungsi antioksidan bagi tubuh manusia, maka diperlukan suatu penelitian mengenai aktivitas antioksidan yang terdapat pada spons *Callyspongia sp.*



Gambar 4. 3. Spons *Callyspongia* sp.

(Sumber : IDN Times)

Penarikan kandungan kimia bahan alam yang diisolasi dapat dilakukan dengan proses ekstraksi. Ekstraksi adalah proses pelarutan senyawa-senyawa kimia yang terdapat dalam suatu sampel dengan menggunakan pelarut yang sesuai dengan komponen yang diinginkan. Maserasi merupakan metode ekstraksi sederhana yang dilakukan dengan merendam serbuk atau simplisia dalam pelarut. Pada uraian ini, kami mengambil spons *Callyspongia* sp. yang merupakan salah satu genus spons yang banyak diteliti kandungan dan aktivitas senyawa bioaktifnya.

Pada spons ini ditemukan kandungan beberapa senyawa metabolit sekunder seperti alkaloid *3-alkilpiridin*, *akartepin* yang merupakan inhibitor dari *fosfatidilinositol*, *meroterpenoid sulfat* dan masih banyak lagi jenis senyawa bioaktif yang dapat ditemukan dalam spesies spons *Callyspongia* sp.

Uji aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH menun-

jukkan bahwa ekstrak *Callyspongia* sp. mempunyai IC₅₀ sebesar 41,21 µg/ ml. Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak tersebut mempunyai aktifitas antioksidan yang kuat, karena mempunyai IC₅₀ kurang dari 200 µg/ ml. Metode DPPH dipilih karena sederhana, mudah, cepat dan peka serta hanya memerlukan sedikit

sampel. Senyawa antioksidan dapat bereaksi dengan radikal DPPH melalui mekanisme donasi atom hydrogen dan menyebabkan terjadinya peluruhan warna.

2. Zat bioaktif spons sebagai antibakteri

Agelas nakamurai adalah spesies spons yang tergolong dalam kelas Demospongiae. Spesies ini juga merupakan bagian dari genus *Agelas* dan famili *Agelasidae*. Beberapa spons dari genus *Agelas* telah dilaporkan memiliki aktivitas antibakteri.

Penarikan zat kimia dari bahan alami yang telah diisolasi dapat dilakukan melalui proses ekstraksi. Ekstraksi merupakan langkah di mana senyawa-senyawa kimia dalam sampel larut dengan menggunakan pelarut yang sesuai dengan komponen yang diinginkan. Salah satu metode ekstraksi yang sederhana adalah maserasi, di mana serbuk atau bagian sampel direndam dalam pelarut. Dalam konteks ini, kami menggunakan spons *Agelas nakamurai*, yang merupakan salah satu genus spons yang telah banyak diteliti untuk kandungan dan aktivitas senyawa bioaktifnya.

Ekstrak etanol spons *Agelas nakamurai* menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap tiga bakteri patogen yaitu *A. hydrohila*, *A. salmonicida* dan *E. tarda*. Diketahui metabolit sekunder yang ikut berperan terhadap aktivitas antibakteri tersebut yaitu *Agelasine A-F* dan alkaloid bromopirrol. Hasil pengujian ini mengindikasikan bahwa *A. nakamurai* mampu menghambat ketiga bakteri uji dengan besar daya hambat bergantung pada konsentrasi ekstrak *A. nakamurai* (Aristyawan, dkk. 2017).

3. Zat bioaktif spons sebagai antimalaria

Penelitian uji antimalaria ekstrak spons *Xestospongia* sp. telah dilakukan terhadap *Plasmodium* sp. secara in vitro. *Plasmodium* adalah protozoa yang menyebabkan salah satu penyakit infeksi yaitu malaria. Infeksi *Plasmodium falciparum* dapat menimbulkan efek serius, misalnya anemia, komplikasi otak (hingga koma), hipoglikemia dan *glomerulonephritis*. Spons laut memiliki potensi sebagai obat untuk penyakit seperti malaria, kanker dan

penyakit yang diakibatkan oleh virus. Salah satu contoh, spons laut dari genus *Xestospongia* (*Haploscleridae*, *Petrosiidae*) telah terbukti menjadi sumber yang kaya akan metabolit bioaktif sekunder seperti alkaloid polisiklik kuinon, aminoalkohol, senyawa heterosiklik dan sterol (aragusterol). Beberapa senyawa menunjukkan bioaktivitas sitotoksik, antimikroba, antiplasmodium, atau aktivitas vasodilator.



Gambar 4. 4. Spons *Xestospongia* sp

(Sumber : Joseph R. Pawlik)

Pengujian antimalaria telah dilakukan untuk mengetahui aktivitas ekstrak spons *Xestospongia* sp. terhadap penghambatan Plasmodium sp. secara in vitro. Dan didapatkan hasil bahwa konsentrasi tertinggi menunjukkan efek penghambatan tertinggi setelah inkubasi 72 jam. Suatu bahan dikatakan berpotensi aktif sebagai antimalaria jika $IC_{50} < 5-50 \mu\text{g/ml}$, aktif lemah $> 50 \mu\text{g/ml}$ sampai $100 \mu\text{g/ml}$ dan tidak aktif jika $IC_{50} > 100 \mu\text{g/ml}$. Pada ekstrak spons *Xestospongia* sp. menunjukkan nilai IC_{50} sebesar $46.51 \mu\text{g/ml}$. Oleh karena itu ekstrak spons *Xestospongia* sp. berpotensi aktif sebagai antimalaria (Wahyuningsih, 2020).

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, R. & Tang, U.M. 2002. Fisiologi Hewan Air. Riau :Unri Press.
hlm 94-98.
- Aristyawan, dkk. 2017. Potensi Antibakteri dari Ekstrak Etanol Spons *Agelas cavernosa*. Jurnal Farmasi Dan Ilmu Kefarmasian Indonesia Vol. 4 No. 1 : Universitas Airlangga.
- Fidayat. 2021. Keanekaragaman Spons pada Ekosistem Padang Lamun di Perairan Malang Rapat, Kabupaten Bintan. Tanjungpinang : Universitas Maritim Raja Ali Haji.
- Harrison, F. W., and De Vos, L., 1991, Porifera, Di dalam: Harrison FW, Westfall JA (ed.). Microscopic Anatomy of Invertebrates. Volume 2. Placozoa, Porifera, Cnidaria, and Ctenophora. Wiley-Liss. A John Wiley & Sons, Inc., Publication. New York, Chicester, Brisbane, Toronto, Singapore, 28 –89.
- Higa, T., Tanaka, J., Kitamura, A., Koyama, T., Takahashi, M., and Uchida, T., 1994, Bioactive compounds from marine sponges, Pure & Appl. Chem., 66 (10/11), 2227-2230.
- Inzaghi. 2022. Keanekaragaman Jenis Porifera di Kawasan Budidaya Rumput Laut Perairan Pesisir Desa Lare-Lare Kecamatan Bua Kabupaten Luwu. Kota Palopo : Universitas Cokroaminoto Palopo.
- Ismail Marzuki. 2018. Eksplorasi Spons Indonesia : Seputar Kepulauan Spermonde. Makassar : Penerbit Nas Media Pustaka.
- Joseph R. Pawlik. 2021. Unusual Morphotypes of the Giant Barrel Sponge off the Coast of Barbados. Diversity : 13, 663.
- Rachmaniar, R. 2007. Spons Indonesia Kawasan Timur Keragaman, Distribusi, Kelimpahan, dan Kandungan Metabolit

Sekundernya. Oseanologi dan Limnologi di Indonesia. 33 (1): 123–138.

Suparno. 2009. Transplantasi Spons Laut *Petrosia Nigricans*. Bogor : Institut Pertanian Bogor.

Wahyuningsih, Sri. 2020. Uji Antimalaria Ekstrak Spons *Xestospongia* Sp. Terhadap *Plasmodium* Sp. Secara In Vitro. Jurnal Farmasi Fkik Vol.8 No.1 : Universitas Megarezky.

BAB 5

MANGROVE

Oleh Retno Sari Utomo

5.1 Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan wilayah pantai yang banyak ditumbuhi hutan mangrove. Luas hutan mangrove di Indonesia kurang lebih sekitar 3,7 juta hektar, dimana merupakan hutan mangrove terluas yang ada di Asia dan bahkan di dunia (Karimah, 2017). Luasan kawasan mangrove terbesar di Indonesia berada di pulau papua (50,4%), di pesisir Pulau Kalimantan (19,7%), dan di pesisir Pulau Sumatera (17,8%) dari total luasan mangrove di Indonesia. Indonesia yang berada di dekat khatulistiwa dengan temperature udara sekitar 27°C, diapit 2 benua yaitu Hindia dan Pasifik, beriklim muson tropis dengan 2 musim yaitu hujan dan kemarau sehingga menyebabkan adanya keragaman habitat mangrove. Hutan mangrove berfungsi sebagai habitat biota laut, perlindungan wilayah pesisir dan pantai, penyerapan karbon, pencegah terjadinya abrasi dari berbagai ancaman sedimentasi, pemecah gelombang, dan tempat pemijahan bagi ikan yang hidup di laut bebas (Kholifi, Wardhani and Muhsoni, 2021). Indonesia memiliki keanekaragaman mangrove yang tinggi, dimana tercatat setidaknya terdapat 202 jenis tumbuhan mangrove. Tumbuhan mangrove di Indonesia meliputi 89 jenis pohon, 5 jenis palma, 19 jenis pemanjat, 44 jenis herba tanah, 44 jenis epifit dan 1 jenis paku (Noor, Khazali and Suryadiputra, 2012).

Menurut Dawes (1981) kata mangrove berasal dari bahasa Portugis yaitu *mangue* yang merupakan salah satu spesies bakau, dan *grove* dari bahasa Inggris yang berarti tegakan pohon. Dimana secara ekologi termasuk semak dan pohon yang terdapat di zona intertidal dan subtidal (Kasemat, 2014). Mangrove merupakan

kelompok tumbuhan yang berhasil tumbuh dan berkembang pada habitat intertidal yang berada di antara daratan dan laut di daerah tropis dan sub-tropis, daerah pasang surut, bersubstrat lumpur dan tahan terhadap salinitas (Djamaluddin, 2018; Rumondang *et al.*, 2023). Tumbuhan mangrove memiliki banyak macam jenis dan dibagi ke dalam beberapa famili, yaitu famili *Acanthaceae*, *Sonneratiaceae*, *Rhizophoraceae*, *Arecaceae* (Supardi, Eliaumra and Novayanti, 2019).

5.2 Taksonomi dan Jenis-jenis Mangrove

5.2.1 Acanthaceae

Taksonomi mangrove ini dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Kingdom : *Plantae*
Subkingdom : *Tracheobionta*
Superdivision : *Spermatophyta*
Division : *Magnoliophyta*
Class : *Magnoliopsida*
Subclass : *Asteridae*
Ordo : *Scrophulariales*
Famili : *Acanthaceae*
Genus : *Acanthus L.*
Species :

1. *Acanthus ebracteatus* Vahl
2. *Acanthus ilicifolius* L. (Noor, Khazali and Suryadiputra, 2012; Astiningseh *et al.*, 2022)

5.2.2 Arecaceae

Taksonomi mangrove ini dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Kingdom : *Plantae*

Divisio : *Magnoliophyta*

Class : *Liliopsida*

Ordo : *Arecales*

Famili : *Arecaceae*

Genus : *Nypa*

Species : *Nypa fruticans* (Noor, Khazali and Suryadiputra, 2012; Karim, Haruna and Samaduri, 2023)

5.2.3 Avicenniaceae

Taksonomi mangrove ini dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Kingdom : *Plantae*

Divisi : *Angiospermophyta*

Kelas : *Dicotyledonae*

Famili : *Avicenniaceae*

Genus : *Avicennia*

Spesies:

1. *Avicennia alba*

2. *Avicennia eucalyptifolia*

3. *Avicennia lanata*

4. *Avicennia marina*

5. *Avicennia officinalis* (Noor, Khazali and Suryadiputra, 2012; Sukma *et al.*, 2023)

5.2.4 Rhizophoraceae

Taksonomi mangrove ini dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Kingdom : *Plantae*

Subkingdom : *Tracheobionta*

SuperDivisi : *Spermatophyta*

Divisi : *Magnoliophyta*

Kelas : *Magnoliopsida*

SubKelas : *Rosidae*

Ordo : *Myrtales*

Famili : *Rhizophoraceae*

1. Genus : *Rhizophora*

Spesies : *Rhizophora apiculate*, *Rhizophora mucronata*,
Rhizophora stylosa

2. Genus : *Bruguiera*

Spesies : *Bruguiera sexangula*, *Bruguiera parviflora*,
Bruguiera hainessii, *Bruguiera gymnorrhiza*,
Bruguiera exaristata, *Bruguiera cylindrical*

3. Ordo : *Malpighiales*

Genus : *Ceriops*

Spesies : *Ceriops tagal*, *Ceriops decandra*

(Noor, Khazali and Suryadiputra, 2012; Astiningseh *et al.*, 2022;
Karim, Haruna and Samaduri, 2023)

5.2.5 Sonneratiaceae

Taksonomi mangrove ini dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Kingdom : *Plantae*

Divisi : *Magnoliophyta*

Kelas : *Magnoliopsida*

Sub Kelas : *Rosidae*

Ordo : *Myrtales*

Famili : *Sonneratiaceae*

Genus : *Sonneratia*

Spesies :

1. *Sonneratia alba*
2. *Sonneratia caseolaris*
3. *Sonneratia ovata* (Noor, Khazali and Suryadiputra, 2012; Syakur, 2019)

5.3 Morfologi Mangrove

5.3.1 Acanthaceae

Acanthus ebracteatus

A. ebracteatus hampir sama dengan *A. ilicifolius* tetapi seluruh bagiannya lebih kecil. *A. ebracteatus* perakarannya tidak bercabang dan muncul dari batang, cabang bagian bawah atau yang disebut dengan akar gantung. Pinggiran daun umumnya rata kadang bergerigi seperti *A. ilicifolius*. Mahkota bunga berwarna biru muda hingga ungu lembayung cerah,, terkadang agak putih di bagian ujungnya. Buah saat masih muda berwarna hijau cerah dan permukaannya licin mengkilat, buah berbentuk bulat lonjong seperti buah melinjo (Noor, Khazali and Suryadiputra, 2012; Astiningseh et al., 2022).



Gambar 5. 1. *Acanthus ebracteatus*

Sumber : google (Sucofindo conservation)

5.3.2 Arecaceae

Nypa fruticans

N. fruticans adalah spesies tumbuhan palma tanpa batang di permukaan, membentuk rumpun. Spesies ini tingginya dapat mencapai 4-9 meter. *N. fruticans* mempunyai akar serabut yang menjalar. Batang terdapat di bawah tanah, kuat dan menggarpu. Daunnya sama seperti daun kelapa, berwarna hijau mengkilap terlihat pada bagian atas permukaannya dan dibagian bawah permukaan terlihat seperti memiliki serbuk. Memiliki bentuk daun lanset dengan ujung runcing. Bunga biseksual tumbuh dari dekat puncak batang pada gagang sepanjang 1-2 m. Bunga betina membentuk kepala melingkar dengan diameter 25-30 cm. Bunga jantan kuning cerah, terletak di bawah kepala bunganya. Buah berbentuk bulat, warna coklat, kaku dan berserat (Noor, Khazali and Suryadiputra, 2012; Karim, Haruna and Samaduri, 2023).



Gambar 5. 2. *Nypa fruticans*

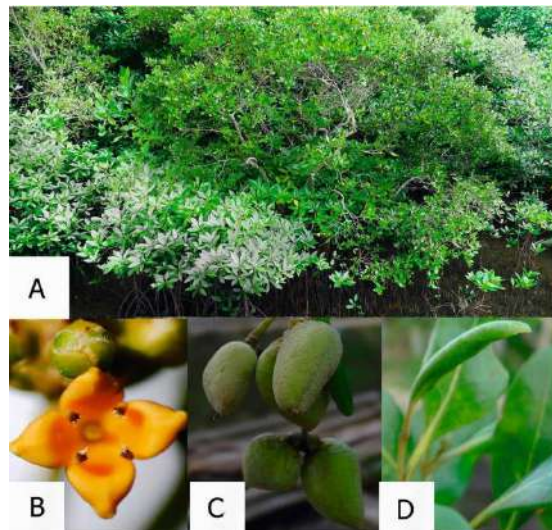
Sumber : google (wikipedia common)

5.3.3 Avicenniaceae

Avicennia alba

A. alba tumbuh menyebar dengan ketinggian mencapai 25 m. Kumpulan pohon membentuk sistem perakaran horizontal dan akar nafas yang rumit. Akar nafas biasanya tipis, berbentuk jari yang

ditutupi oleh lentisel. Kulit kayu luar berwarna keabu-abuan atau gelap kecoklatan, beberapa ditumbuhi tonjolan kecil, terkadang memiliki permukaan yang halus. Pada bagian batang yang tua, terkadang ditemukan serbuk tipis. Daunnya memiliki permukaan yang halus, berwarna hijau mengkilat dan bagian bawah berwarna pucat, berbentuk lanset dan kadang elips. Bunga berbentuk trisula dengan gerombolan bunga kuning hampir di sepanjang tandan dan jumlah bulir ada 5-15 bunga setiap tandannya. Buah berbentuk kerucut, berwarna hijau muda kekuningan (Noor, Khazali and Suryadiputra, 2012; Sukma et al., 2023).



Gambar 5. 3. *Avicennia alba*

Sumber : gambar dari Felita C. Torero

5.3.4 Rhizophoraceae

Rhizophora mucronata

R. mucronata ini memiliki ketinggian mencapai 27 - 30 meter. *R. mucronata* memiliki sistem perakaran tunjang yang percabangannya keluar dari batang, tumbuh diatas permukaan tanah serta memanjang keluar dan menuju ke permukaan tanah, dengan warna abu-abu dan ketinggian akar hingga 5 meter Daun berkulit, tangkai daun berwarna hijau, pinak daun terletak pada

pangkal gagang daun, berbentuk elips melebar hingga bulat memanjang dengan ujung meruncing. Daun mempunyai letak yang sederhana dan berlawanan. Bunga bersifat biseksual, masing-masing menempel pada gagang individu yang panjangnya 2,5-5 cm. Buah berrbentuk elips hingga berbentuk telur dengan ukuran 5-7 cm, berwarna hijau kecoklatan, bagian pangkal biasanya kasar, berbiji tunggal. Hipokotil silindris, kasar dan berbintil (Noor, Khazali and Suryadiputra, 2012; Astiningseh *et al.*, 2022; Sukma *et al.*, 2023).



Gambar 5. 4. *Rhizophora mucronata*

Sumber : google (PUI mangrove)

5.3.5 Sonneratiaceae

Sonneratia alba

S. alba dapat tumbuh hingga ketinggian 15 meter. Kulit kayu berwarna putih tua hingga coklat, dengan celah longitudinal yang halus. Akar berbentuk kabel di bawah tanah dan muncul ke permukaan sebagai akar nafas yang berbentuk kerucut tumpul dan tingginya mencapai 25 cm. Daun berkulit, memiliki kelenjar yang tidak berkembang pada bagian pangkal gagang daun. Daun terletak berlawanan, berbentuk elips dengan ujung membuldar. Bunga biseksual, bagian luar berwarna hijau dan dalamnya kemerahan seperti lonceng, panjangnya 2-2,5 cm. Buah berbentuk seperti bola, ujungnya bertangkai dan bagian dasarnya terbungkus kelopak

bunga. Buah mengandung banyak biji dan tidak akan membuka pada saat telah matang, ukuran buah memiliki diameter 3,5-4,5 cm (Noor, Khazali and Suryadiputra, 2012; Syakur, 2019; Sukma *et al.*, 2023).



Gambar 5. 5. *Sonneratia alba*

Sumber : wikipedia

5.4 Habitat dan Adaptasi Mangrove

Habitat mangrove berkaitan erat dengan tipe tanah (lumpur, pasir atau gambut), keterbukaan (terhadap hempasan gelombang), salinitas serta pengaruh pasang surut (Noor, Khazali and Suryadiputra, 2012). Mangrove mampu berada pada keadaan salin dan tawar, tidak terpengaruhi iklim (Rahim and Baderan, 2017). Mangrove dapat tumbuh pada tempat-tempat tertentu, dimana terdapat kondisi minimal yang dibutuhkan tumbuhan mangrove untuk memulai siklus hidupnya sebagai individu dan kemudian membentuk suatu komunitas. Tumbuhan mangrove banyak sekali ditemukan di daerah intertidal yang berarti daerah antara pantai dan laut, dimana daerah tersebut merupakan daerah transisi darat dan laut, antara lain di daerah tepi sungai, pesisir pantai dan teluk yang terlindung, pantai, laguna, muara, delta dan rawa

(Rahmadhani *et al.*, 2021; Mahmuda *et al.*, 2023). Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mangrove yaitu :

1. Tingkat perendaman dan hidrologi
2. Tekstur dan salinitas substrat permukaan
3. Ketersediaan zat hara (Djamaluddin, 2018).

Mangrove mempunyai daya adaptasi yang sesuai dengan habitatnya, dimana adaptasi tersebut berupa :

1. Adaptasi akan kadar oksigen rendah yang menyebabkan mangrove mempunyai bentuk perakaran cakar ayam, perakaran tongkat/penyangga.
2. Adaptasi terhadap kadar garam yang tinggi, dengan adanya sel-sel khusus di dalam daun yang berperan untuk menyimpan garam. Daun yang kuat dan tebal yang mengandung air untuk mengatur keseimbangan garam, serta daunnya mempunyai struktur stomata khusus untuk mengurangi penguapan.

Beberapa jenis mangrove dapat menyesuaikan diri terhadap salinitas tinggi, yaitu dengan cara membentuk kelenjar garam pada daun yang berfungsi untuk membuang kelebihan garam. Kelenjar garam banyak ditemukan pada bagian permukaan daun, sehingga kadang-kadang pada permukaan daun sering terlihat kristal-kristal garam.

3. Adaptasi akan tanah yang kurang stabil serta adanya pasang surut dengan mengembangkan struktur akar yang benar-benar ekstensif serta membentuk jaringan horizontal yang lebar. Akar ini juga berfungsi untuk mendapatkan unsur hara serta menahan sedimen (Sarno and Ridho, 2016; Rahim and Baderan, 2017).

Mangrove memiliki beberapa ciri ekosistem mangrove, antara lain :

- Memiliki jenis pohon yang relatif sedikit

- Memiliki akar yang tidak beraturan, misalnya seperti jangkar melengkung dan menjulang (*Rhizophora* spp.), akar yang mencuat ke atas/ vertical seperti pensil (*Sonneratia* spp., *Avicennia* spp.)
- Memiliki buah (propagule) yang bersifat vivipar atau telah berkecambah di pohon, khususnya pada *Rhizophora*
- Memiliki banyak lentisel pada bagian kulit pohon (Sari, 2023).

5.5 Manfaat Mangrove

Hutan mangrove berfungsi sebagai habitat biota laut, perlindungan wilayah pesisir dan pantai, penyerapan karbon, pencegah terjadinya abrasi dari berbagai ancaman sedimentasi, pemecah gelombang, dan tempat pemijahan bagi ikan yang hidup di laut bebas (Kholifi, Wardhani and Muhsoni, 2021). Manfaat lain dari hutan mangrove ini adalah sebagai obyek daya tarik wisata alam (Senoaji *et al.*, 2016). Mangrove dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan, pertanian, perikanan, keperluan rumah tangga, makanan, minuman dan obat-obatan (Noor, Khazali and Suryadiputra, 2012)

5.6 Komponen Bioactive

Komponen bioaktif yang terdapat pada tanaman mangrove sangat beragam jenisnya, baik metabolit primer maupun metabolit sekunder. Metabolit primer sangat penting untuk pemeliharaan proses kehidupan dari tanaman, misalnya karbohidrat, asam amino, protein, dll. Sementara metabolit sekunder memiliki peran farmakologis, toksikologis, maupun ekologis, misalnya alkaloid, fenolik, steroid, tanin, saponin, karotenoid, terpenoid, flavonoid dll (Bandaranayake, 2002; Mitra, Naskar and Chaudhuri, 2021). Berikut ini komponen bioaktif dan aktivitas farmakologi dari beberapa genus mangrove.

5.6.1 Acanthaceae

Acanthaceae salah satu spesiesnya adalah *Acanthus ilicifolius* yang digunakan mengobati kelumpuhan, asma, nyeri rematik, dan memiliki aktivitas analgetik dan antiinflamasi. Alkaloid baru dengan nama acanthacifolin telah diisolasi serta dikembangkan dari spesies ini (Mitra, Naskar and Chaudhuri, 2021). Kandungan fitokimia yang dimiliki oleh Acanthaceae antara lain alkaloid, flavonoid, steroid, triterpene, tannin, saponin, terpenoid, fenol. Dimana kandungan senyawa ini memiliki peran dalam Kesehatan manusia. *Acanthaceae* memiliki khasiat dalam pengobatan antara lain sebagai agen anti jamur, antivirus, antikanker, antiinflamasi dan sitotoksik, sehingga merupakan suatu terobosan baru dalam pengembangan obat dari bahan alam (Mitra, Naskar and Chaudhuri, 2021).

5.6.2 Arecaceae

Family Arecaceae (palem) merupakan salah satu family mangrove yang terbesar di dunia dan tersebar luas di zona tropis. Selain itu Arecaceae memiliki keanekaragaman yang tinggi di Indonesia dan dimanfaatkan secara luas oleh Masyarakat sebagai bahan makanan, minuman, bahan bakar bahan kimia, dan obat-obatan. Salah satu spesies dari famili Arecaceae adalah *Nypa fruticans*, dimana banyak sekali dijumpai pada sepanjang tepi Sungai yang bermuara ke laut. *Nypa fruticans* banyak sekali dimanfaatkan sebagai pangan dan memiliki manfaat sebagai kesehatan. Kandungan bioaktif dari spesies ini antara lain polifenol, flavonoid, saponin, tannin, triterpenoid dan alkaloid (Fitri *et al.*, 2023). Banyaknya senyawa bioaktif dalam spesies ini memberikan manfaat bagi kesehatan manusia, antara lain antioksidan, antibakteri, analgetik, antiinflamasi, antidiabetes, sitoprotektif, antinositif, antikanker (Nugroho *et al.*, 2020).

5.6.3 Avicenniaceae

Terdapat beberapa spesies dari famili *Avicenniaceae* antara lain *Avicennia marina*, *Avicennia officinalis*, *Avicennia alba*, *Avicennia lanata*. *Avicennia marina* memiliki beberapa manfaat pengobatan yang digunakan oleh masyarakat secara turun menurun. Daun dan kulit dari *Avicennia marina* dapat digunakan sebagai diare, asma,

dan gatal-gatal. Sedangkan buahnya dapat digunakan sebagai penurun demam, radang tenggorokan, antiplasmodial, antitumor, anti ulkus, antioksidan, anti kanker, disentri, antijamur, antibakteri, antiangiogenic, antidiabetes, dan bahan makanan pada manusia(Fernandes and Noor'an, 2019; Andriani *et al.*, 2021; Yassien *et al.*, 2021; Rosyida, Mahrudin and Irianti, 2023). Selain itu dapat pula dimanfaatkan untuk mengobati penyakit hepatitis, cacar, rematik dan antifertilitas(Kamaei and Moghadamnia, 2019).

Kandungan fitokimia dari *Avicennia marina* antara lain alkaloid, flavonoid, tanin, senyawa fenolik, glukosida iridoid, terpenoid, saponin, amina, kumarin, tokoferol, asam askorbat, asam ellagic(Hardoko *et al.*, 2019; Kamaei and Moghadamnia, 2019; Setiyabudi, 2022; Witoyo, Jatmiko; Utoro, 2023).

Avicennia alba memiliki komponen bioaktif yang melimpah terutama karbohidrat, tannin, alkaloid, flavonoid, terpenoid, steroid, dan senyawa fenolik. Pada daun *A. alba* dapat digunakan sebagai antioksidan. Kulit kayu dan biji dari *A. alba* dapat dimanfaatkan sebagai racun ikan, sedangkan resinnya digunakan untuk kontrasepsi, bisul, penyakit kulit, antikanker. Aktivitas farmakologi lain dari *A. alba* antara lain antijamur, afrodisiak, asma, kudis, kelumpuhan, gigitan ular, antidiabetes, antiinflamasi, analgetic dan antidiare (Mitra *et al.*, 2022)

Avicennia officinalis merupakan tanaman bakau yang populer ditemukan di Bangladesh, juga di Eropa, Asia Barat, dan Afrika Utara. Umumnya dikenal sebagai Bain atau Bakau India. *A. officinalis* memiliki beberapa manfaat pengobatan antara lain antidiabetes, antiinflamasi, antikanker, antioksidan dan antimikroba. Selain itu *A. officinalis* juga memiliki manfaat untuk mengobati penyakit asma, pencernaan yang terganggu, rematik, kelumpuhan, tumor, dan antivirus. Senyawa bioaktif yang terdapat pada *A. officinalis* antara lain terpen, asam stearate, fenolik, alkaloid, fenol, flavonoid, dan asam lemak (Mahmud *et al.*, 2021).

Avicennia lanata biasa ditemukan di di substrat berpasir atau lanau keras di zona intertidal menengah sampai tinggi. *A. lanata* memiliki kandungan zat aktif antara lain asam ursolik, lupeol,

botulin, sitosterol, sitosterol 3-O- β -D-glucopyranoside, dan tectochrysin, naftokuinon, triterpen(Lam *et al.*, 2013; Mazlan, Clements and Edrada-Ebel, 2020). Sedangkan *avicennia lanata* dapat digunakan sebagai pengobatan untuk menurunkan kolesterol, anti inflamasi, antikanker, antiulcer, antitrypanosomal (Mazlan, Clements and Edrada-Ebel, 2020; Pambudi, 2022).

5.6.4 Rhizophoraceae

Rhizophoraceae merupakan mangrove sejati yang terdiri dari beberapa genus antara lain *Bruguiera* yang terdiri dari tujuh spesies, *Ceriops* terdiri dari lima spesies, *Kandelia* terdiri dari dua spesies, dan *Rhizophora* terdiri dari sepuluh spesies. Aktivitas farmakologi dari *Rhizophoraceae* antara lain antivirus, antioksidan, antibakteri, antiinflamasi, antidiabetic, antijamur (Nebula, Harisankar and Chandramohanakumar, 2013). Sedangkan senyawa bioaktif yang terkandung pada *Rhizophora* adalah alkaloid, amina, diterpenoid (beyerene, pimarane), triterpenoid (lupane, oleanane, dan dammarane), flavonoid, asam fenolik, tannin, kuinon, steroid, saponin (Mutik *et al.*, 2022; Indriaty *et al.*, 2023).

5.6.5 Sonneratiaceae

Tumbuhan Sonneratiaceae menghasilkan senyawa bioaktif yang berguna dalam bidang kesehatan. Senyawa-senyawa tersebut antara lain alkaloid, fenolik, flavonoid, phytosterol, kumarin, saponin, tanin, terpenoid, kuinon dan steroid. Sedangkan aktivitas farmakologi dari famili Sonneratiaceae antara lain antibakteri, antivirus, antijamur, insektisida, antioksidan, antidiabetes, analgetik, antidepresan, antiinflamasi, aktivitas penghambatan asetilkolinesterase, penghambatan tirosinase, penghambatan polifenol oksidase, anti aterosklerotik, sitotoksik, antikanker, antimalaria.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, S. *et al.* (2021) 'Cytotoxic Activity Of Methanol Extraction Of Avicennia Marina And Taurin In The Hela Cancer Cells', *Journal of Physics: Conference Series*, 1751(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1751/1/012045>.
- Astiningseh, Y.Y. *et al.* (2022) 'Inventarisasi Dan Identifikasi Tanaman Mangrove Dikawasan Kawang, Muncar Kabupaten Banyuwangi', *Prosiding Seminar Nasional MIPA UNIBA*, pp. 216–224.
- Bandaranayake, W.M. (2002) 'Bioactivities, Bioactive Compounds And Chemical Constituents Of Mangrove Plants', *Wetlands Ecology And Management*, 10(6), pp. 421–452. Available at: <https://doi.org/10.1023/A:1021397624349>.
- Djamaluddin, R. (2018) *Mangrove Biologi, Ekologi, Rehabilitasi, dan Konservasi*. Manado: Universitas Sam Ratulangi Press.
- Fernandes, A. and Noor'an, R.F. (2019) 'Uji Fitokimia Dan Gc-MS Buah Api-Api (Avicennia Marina (Forssk.) Vierh)', *Jurnal Insan Farmasi Indonesia*, 2(2), pp. 261–270. Available at: <https://doi.org/10.36387/jifi.v2i2.321>.
- Fitri, Y. *et al.* (2023) 'Characteristic And Bioactivities Value Of Nypa Fruticans From Coastal Area In West Aceh District, Indonesia As A Candidate Antidiabetic Agent', *Biodiversitas*, 24(10), pp. 5260–5269. Available at: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d241006>.
- Hardoko *et al.* (2019) 'Antidiabetic Activity Of Herbal Green Tea Extract From White Mangrove (*Avicennia marina*) Leaves Towards Blood Glucose Level Of Diabetic Wistar Rats (*Rattus Novergicus*)', *International Journal of Food Studies*, 8(2), pp. 43–52. Available at: <https://doi.org/10.7455/ijfs/8.2.2019.a5>.
- Indriaty *et al.* (2023) 'Phytochemical Screening, Phenolic And Flavonoid Content, And Antioxidant Activity Of *Rhizophoraceae* Methanol Extract From Langsa, Aceh, Indonesia', *Biodiversitas*, 24(5), pp. 2865–2876. Available at: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240541>.

- Kamaei, L. and Moghadamnia, D. (2019) 'Comparison of Antidiabetic Effect of Aqueous Extract of the Leaves and Fruits of *Avicennia marina* in Streptozotocin-induced Diabetic Male Rats', 13(2), pp. 7–12. Available at: <http://www.ijt.ir>.
- Karim, M.F., Haruna, M.F. and Samaduri, A. (2023) 'Identifikasi Tumbuhan Mangrove di Kawasan Pesisir Pantai Desa Pakowa Bunta Kecamatan Nuhon Kabupaten Banggai Mitha', *Jurnal Biologi Babasal*, 2(1), pp. 42–55.
- Karimah (2017) 'Peran Ekosistem Hutan Mangrove Sebagai Habitat Untuk Organisme Laut', *Jurnal Biologi Tropis*, 17(2), pp. 51–58.
- Kasemat (2014) 'Pengertian dan Habitat MAn Grove', *blog*, 1, pp. 1–5.
- Kholifi, K., Wardhani, M.K. and Muhsoni, F.F. (2021) 'Parameter Lingkungan Habitat Mangrove Di Kecamatan Modung Kabupaten Bangkalan', *Juvenil*, 2(2), pp. 78–85.
- Lam, K.P. *et al.* (2013) 'Chemical constituents from leaves of *Avicennia lanata* non ridley, Phamhoang (Avicenniaceae)', *Science and Technology Development Journal*, 16(2), pp. 20–25. Available at: <https://doi.org/10.32508/stdj.v16i2.1437>.
- Mahmud, S. *et al.* (2021) 'Efficacy Of Phytochemicals Derived From *Avicennia officinalis* For The Management Of Covid-19: A Combined In Silico And Biochemical Study', *Molecules*, 26(8), pp. 1–18. Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules26082210>.
- Mahmuda, R. *et al.* (2023) 'Mengatasi Dalam Rehabilitasi di Kawasan Mangrove di Paluh Marbau, Tanjung Rejo, Kabupaten Deli Serdang', *Jurnal Ilmiah Multi Disiplin Indonesia*, 2(E-ISSN: 2809-1612, P-ISSN: 2809-1620), pp. 553–565.
- Mazlan, N.W., Clements, C. and Edrada-Ebel, R. (2020) 'Targeted Isolation of Anti-Trypanosomal Naphthofuran-Quinone Compounds from the Mangrove Plant *Avicennia lanata*', *Marine Drugs*, 18(12). Available at: <https://doi.org/10.3390/MD18120661>.
- Mitra, S. *et al.* (2022) 'Pharmacological Potential of *Avicennia alba* Leaf Extract: An Experimental Analysis Focusing on Antidiabetic, Anti-inflammatory, Analgesic, and Antidiarrheal Activity', *BioMed Research International*, 2022. Available at: <https://doi.org/10.1155/2022/7624189>.

- Mitra, S., Naskar, N. and Chaudhuri, P. (2021) 'A Review On Potential Bioactive Phytochemicals For Novel Therapeutic Applications With Special Emphasis On Mangrove Species', *Phytomedicine Plus*, 1(4), p. 100107. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.phyplu.2021.100107>.
- Mutik, M.S. *et al.* (2022) 'Kandungan Senyawa Bioaktif dan Aktivitas Biologis Ekstrak Daun *Rhizophora apiculata* Asal Perairan Teluk Awur, Jepara', *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(3), pp. 378–390. Available at: <https://doi.org/10.14710/jkt.v25i3.14287>.
- Nebula, M., Harisankar, H.S. and Chandramohanakumar, N. (2013) 'Metabolites and bioactivities of Rhizophoraceae mangroves', *Natural Products and Bioprospecting*, 3(5), pp. 207–232. Available at: <https://doi.org/10.1007/s13659-013-0012-0>.
- Noor, Y.R., Khazali, M. and Suryadiputra, I.N.N. (2012) *Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia*. Bogor: PHKA/WI-IP.
- Nugroho, G.D. *et al.* (2020) 'Review: Phytochemical composition, medicinal uses and other utilization of *Nypa fruticans*', *International Journal of Bonorowo Wetlands*, 10(1), pp. 51–65. Available at: <https://doi.org/10.13057/bonorowo/w100105>.
- Pambudi, D. bagus (2022) 'Aktivitas Farmakologi Senyawa Bioaktif Tumbuhan Mangrove Di Indonesia: Systematic Aktivitas Farmakologi Senyawa Bioaktif Tumbuhan Mangrove Di Indonesia : Systematic Review', *Tesis [Preprint]*.
- Rahim, S. and Baderan, D.W.K. (2017) *Hutan Mangrove dan Pemanfaatannya*. Yogyakarta: Deepublish.
- Rahmadhani, T. *et al.* (2021) 'Zonasi dan Formasi Vegetasi Hutan Mangrove: Studi Kasus di Pantai Baros, Yogyakarta', *Jurnal Sains Dasar*, 10(2), pp. 69–73. Available at: <https://doi.org/10.21831/jsd.v10i2.43912>.
- Rosyida, N., Mahrudin and Irianti, R. (2023) 'Kajian Etnobiologi Tumbuhan Api-api (*Avicennia*) di Desa Pagatan Besar Kabupaten Tanah Laut', *Scripta Biologica*, 10(3), pp. 1–9.
- Rumondang *et al.* (2023) *Mangrove*. Purbalingga: Eureka Media Aksara.
- Sai, A. (2023) 'Hutan Mangrove : Pengertian, Fungsi, Ciri-Ciri dan Manfaatnya', *artikel*, 0, pp. 1–6.

- Sarno and Ridho, M.R. (2016) *Pengantar Biologi Mangrove*. Palembang: Universitas Sriwijaya Press.
- Senoaji, G. *et al.* (2016) 'Peranan Ekosistem Mangrove di Pesisir Kota Bengkulu dalam Mitigasi Pemanasan Global Melalui Penyimpanan Karbon', *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 23(3), pp. 327–333.
- Setiyabudi, L.D. (2022) 'In-Silico Analysis of Maricaffeoylide From *Avicennia marina* Using Molecular Docking With Tumor Necrosis Factor Receptor', 8(1), pp. 20–24.
- Sukma, R.N. *et al.* (2023) 'Identifikasi Jenis-Jenis Mangrove Di Pantai Ya'ang, Desa Labuhan, Kecamatan Brondong, Kabupaten Lamongan', *J-Tropimar*, 5(1), pp. 9–20.
- Supardi, N.P., Eliaumra and Novayanti, I. (2019) 'Perbandingan Struktur Morfologi Tumbuhan Mangrove Berdasarkan Kondisi Ekosistem Di Desa Bakti Agung Dan Desa Labuan Kabupaten Poso', *Jurnal Kependidikan*, 12(1), pp. 13–28.
- Syakur, A. (2019) 'Jenis-Jenis Tumbuhan Mangrove di Kelurahan Takalala Kecamatan Wara Selatan Kota Palopo', *Biogenerasi*, 4(19), pp. 6–12.
- Witoyo, Jatmiko; Utoro, P. (2023) 'Bioactivity of *Avicennia marina* Leaves Extract and Its Application in Food Product: A Brief Literature Review', 16(2), pp. 114–127.
- Yassien, E.E. *et al.* (2021) 'In vitro antioxidant, antibacterial, and antihyperlipidemic potential of ethanolic *Avicennia marina* leaves extract supported by metabolic profiling', *Environmental Science and Pollution Research*, 28(21), pp. 27207–27217. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12496-7>.

BAB 6

LAMUN

Oleh Ida Saridewi

6.1 Keajaiban Lamun dalam Kehidupan Laut

Lamun, atau sering disebut sebagai *seagrass*, merupakan tumbuhan laut yang tumbuh di dasar laut, menyajikan keindahan dan keberagaman dalam ekosistem laut. Meskipun seringkali terabaikan, keberadaan lamun memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan laut dan memberikan manfaat besar bagi kehidupan di bawah permukaan laut.

Lamun merupakan kelompok tumbuhan berbunga yang tumbuh di lingkungan air asin, biasanya di zona pesisir, laguna, dan perairan dangkal sepanjang pantai. Kehidupan lamun yang terendam di bawah permukaan air sering kali menyimpan misteri kehidupan laut yang menarik untuk diungkap. Lamun menjadi salah satu komponen ekosistem laut yang paling melimpah.

Keunikan lamun tidak hanya terletak pada penampilannya yang menawan, tetapi juga pada peran fungsionalnya dalam menjaga keberlanjutan ekosistem laut. Lamun berperan sebagai penyedia habitat yang penting bagi berbagai spesies laut, termasuk ikan, moluska, dan crustacea (Waycott dkk., 2009). Tidak hanya itu, lamun juga menjadi tempat perlindungan untuk berbagai jenis larva ikan dan menjadi tempat berkumpulnya berbagai organisme laut kecil.

Selain memberikan habitat yang subur, lamun juga memiliki kemampuan luar biasa dalam mengatasi perubahan iklim dan menjaga kualitas air. Akarnya yang panjang membantu mengikat sedimen dan menciptakan lapisan pelindung, mencegah erosi pantai yang dapat merusak habitat laut. Selain itu, lamun juga memainkan peran kunci dalam siklus karbon laut dengan menyerap karbon

dioksida dan menyimpannya di dalam jaringan mereka (Duarte dkk., 2013).

Meskipun memiliki banyak manfaat, lamun saat ini menghadapi berbagai ancaman yang mengancam kelangsungan hidupnya. Perubahan iklim, polusi, dan kerusakan habitat oleh aktivitas manusia menjadi tantangan serius yang perlu diatasi untuk melindungi keberadaan lamun dan menjaga keseimbangan ekosistem laut.

Dalam halaman ini, kita akan menjelajahi lebih jauh tentang kehidupan lamun, mulai dari morfologi hingga peran ekologisnya yang vital. Penelitian dan upaya konservasi terus dilakukan untuk memahami lebih dalam tentang kehidupan lamun, serta untuk mengembangkan strategi yang efektif dalam melestarikannya. Dengan semakin meningkatnya kesadaran akan pentingnya lamun dalam menjaga keseimbangan ekosistem laut, diharapkan upaya kolektif dapat dilakukan untuk melindungi dan merawat keajaiban bawah laut ini.

6.2 Klasifikasi Lamun

Klasifikasi lamun yang terdapat di Indonesia (Zurba, 2018) adalah:

Divisi: Anthophita

Kelas: Angiospermae

Subkelas: Monocotyledoneae

Ordo: Helobiae

Famili: Potamogetonaceae

Genus: *Halodule*

Spesies: *Halodule pinVolia*

Spesies: *Halodule uninervis*

Genus: *Cymodocea*

Spesies: *Cymodocea rotundata*

Spesies: *Cymodocea serulato*

Genus: *Syringodium*

Spesies: *Syringodium isoetifolium*

Genus: *Thalassodendron*

Spesies: *Thalassodendron ciltatum*

Famili: Hydrocharitaceae

Genus: *Enhalus*

Spesies: *Enhalus acoroides*
Genus: *Thalassia*
Spesies: *Thalassia hemprichii*
Genus: *Halophila*
Spesies: *Halophila spinulosa*
Spesies: *Halophila decipiens*
Spesies: *Halophila decipiens*
Spesies: *Halophila minor*
Spesies: *Halophila avails*

6.3 Beberapa Jenis Lamun

Lamun, atau seagrass, telah menjadi subjek penelitian yang mendalam di berbagai bidang ilmu kelautan. Setiap jenis lamun memiliki karakteristik unik dan peran ekologis yang beragam laut. *Posidonia oceanica* terkenal karena membentuk padang lamun yang luas dan produktif di Laut Tengah, memberikan dukungan penting bagi keanekaragaman hayati di kawasan tersebut. Spesies ini memiliki kemampuan luar biasa dalam menyimpan karbon, menjadikannya komponen penting dalam strategi mitigasi perubahan iklim global. *Posidonia oceanica* memainkan peran vital dalam menjaga kualitas air laut dan stabilitas ekosistem melalui penyediaan habitat dan pengendalian sedimen.

Zostera marina mampu bertahan di perairan pesisir dingin dan memiliki adaptasi khusus yang memungkinkannya untuk menyaring nutrisi dan memperbaiki kualitas air. Lamun ini berfungsi sebagai zona pemijahan dan pembibitan bagi banyak spesies ikan dan invertebrata, yang penting untuk industri perikanan. Sebagai salah satu spesies lamun yang paling umum di belahan bumi utara, *Zostera marina* menawarkan peluang studi dan pemantauan yang luas untuk para ilmuwan.

Halophila ovalis dikenal karena kemampuan cepatnya dalam menyebar dan mengkolonisasi area baru, memberikan manfaat ekologis seperti penyerapan karbon dan penyediaan habitat yang efisien. Tumbuh di berbagai lingkungan mulai dari perairan dangkal hingga dalam, spesies ini menunjukkan fleksibilitas ekologi yang tinggi. Perannya dalam mitigasi perubahan iklim melalui

penyerapan karbon menjadikannya subjek penting dalam upaya konservasi laut.

Akar yang kuat dan daun yang rapat dari *Enhalus acoroides* membantu mencegah erosi dan melindungi garis pantai dari dampak gelombang besar dan badai. Spesies ini mendukung ekosistem pesisir yang kaya dengan menyediakan tempat tinggal bagi berbagai organisme laut dan berkontribusi pada keanekaragaman hayati. Keberadaannya yang melimpah di kawasan tropis dan subtropis juga penting bagi komunitas pesisir yang bergantung pada sumber daya alam untuk penghidupan.

Thalassia hemprichii adalah salah satu lamun dominan di perairan tropis dan subtropis, berperan penting dalam ekosistem tersebut. Kemampuannya untuk menyerap dan menyimpan karbon dioksida dari air laut membuatnya esensial dalam upaya global untuk mengatasi perubahan iklim. Selain memberikan habitat yang aman bagi berbagai spesies laut, lamun ini juga membantu dalam menjaga keseimbangan ekosistem laut dengan interaksinya yang kompleks dengan lingkungan sekitarnya.

6.3.1 *Posidonia oceanica* (Lamun Laut Tengah)

Posidonia oceanica menghadirkan keindahan dan keberagaman kehidupan di dasar laut yang mendalam. *Posidonia oceanica* biasanya hidup di kedalaman mulai dari 1 hingga 40 meter di bawah permukaan laut. Namun, lamun ini paling sering ditemukan di kedalaman antara 5 hingga 20 meter. Ini membuatnya menjadi salah satu lamun yang tumbuh di kedalaman yang lebih dalam dibandingkan dengan beberapa spesies lamun lainnya. Kedalaman yang lebih dalam memungkinkan *Posidonia oceanica* untuk tumbuh dengan baik di habitat laut yang relatif stabil dan terlindungi, di mana tingkat cahaya dan ketersediaan nutrisi dapat mendukung pertumbuhan mereka.

Lamun ini merupakan salah satu spesies yang paling menonjol dan kritis dalam menjaga keberlanjutan ekosistem laut di wilayah Laut Tengah. Dengan daun panjang, linear, dan berwarna hijau gelap yang membentuk padang lamun yang lebat, *Posidonia oceanica* menciptakan habitat yang sangat penting bagi berbagai organisme laut.

Keberadaan lamun ini tidak hanya berperan sebagai tempat perlindungan bagi ikan kecil, moluska, dan crustacea, tetapi juga dalam siklus karbon laut. Lamun Laut Tengah memiliki kemampuan unik dalam menyerap karbon dioksida dari air laut, yang berkontribusi pada upaya mitigasi perubahan iklim. Studi oleh Marbà dkk. (2015) menggambarkan peran kunci *Posidonia oceanica* dalam menyimpan karbon dan menunjukkan dampaknya terhadap kesehatan ekosistem laut secara keseluruhan.

Keberlanjutan ekosistem Laut Tengah sangat tergantung pada kelestarian lamun *Posidonia oceanica*. Kehadirannya tidak hanya memberikan manfaat ekologis tetapi juga ekonomis, karena berkontribusi pada sektor pariwisata dan perikanan di kawasan tersebut. Upaya pelestarian dan pemantauan terus menerus terhadap lamun ini sangat penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem laut dan mewariskan keindahannya kepada generasi mendatang. Lamun Laut Tengah, dengan keanggunan dan peran ekologisnya, terus menjadi penjaga kehidupan di bawah permukaan Laut Tengah yang biru. Lamun jenis *Posidonia oceanica* dapat dilihat pada Gambar 2.3.1.



Gambar 6. 1. *Posidonia oceanica*

(Sumber : <https://www.terna.it/en/projects/sapei/posidonia-oceanica>)

6.3.2 *Zostera marina* (Lamun Rumpai Laut)

Penelitian tentang *Zostera marina*, telah difokuskan pada perannya dalam menjaga kualitas air dan memberikan habitat yang penting bagi berbagai organisme laut. *Zostera marina* biasanya hidup di kedalaman antara 0,5 hingga 4 meter di bawah permukaan laut. Namun, lamun ini

paling sering ditemukan di kedalaman antara 1 hingga 2 meter. Kedalaman yang relatif dangkal ini memungkinkan *Zostera marina* tumbuh dengan baik di perairan pesisir yang tenang dan terlindungi. Lamun ini biasanya tumbuh di substrat berpasir atau berlumpur di dekat garis pantai, tetapi juga dapat ditemukan di estuari atau teluk yang dangkal. Studi terbaru oleh Waycott dkk. (2006) memberikan pemahaman yang mendalam tentang distribusi global dan keragaman genetik *Zostera marina*.

Zostera marina memberikan manfaat yang signifikan dalam menjaga keberlanjutan ekosistem laut. Sebagai salah satu jenis lamun yang dominan di perairan pesisir, *Zostera marina* menyediakan habitat yang kaya bagi berbagai spesies laut, termasuk ikan, moluska, dan crustacea. Selain itu, lamun ini juga berperan dalam memelihara kualitas air dengan menyerap nutrisi berlebih dan meredam tingkat keasaman air laut. Dengan demikian, *Zostera marina* tidak hanya mendukung kelimpahan hayati laut, tetapi juga menyumbang pada ekosistem yang sehat dan berkelanjutan. Lamun jenis *Zostera marina* dapat dilihat pada Gambar 2.3.2.



Gambar 6. 2. *Zostera marina*

(Sumber : <https://aggietranscript.ucdavis.edu/the-relationship-between-genetic-diversity-and-disturbance-in-the-eelgrass-species-zostera-marina/>)

6.3.3 *Halophila ovalis* (Lamun Bulat)

Halophila ovalis menyajikan keindahan kehidupan laut di habitat dasar laut. Dengan padang lamunnya yang rapat, lamun bulat ini bukan hanya menambahkan keberagaman visual, tetapi juga memegang peran penting dalam ekosistem laut yang rumit. *Halophila ovalis* adalah spesies lamun yang biasanya ditemukan di kedalaman antara 0,5 hingga 10 meter

di bawah permukaan laut. Namun, lamun ini lebih sering ditemukan di perairan dangkal, biasanya di kedalaman kurang dari 5 meter. *Halophila ovalis* cenderung tumbuh di perairan yang terlindungi seperti laguna, laguna pantai, dan teluk yang dangkal. *Halophila ovalis* sering ditemukan di sepanjang pantai berpasir atau berlumpur, tempat mereka dapat berkembang dengan baik di substrat yang lembut dan terlindung dari gelombang laut yang kuat.

Keunikan lamun bulat adalah dalam penyerapan karbon, dengan akumulasi *blue carbon* yang signifikan. *Halophila ovalis* tidak hanya menyediakan habitat bagi organisme laut, tetapi juga berkontribusi secara substansial dalam mitigasi perubahan iklim melalui penyerapan karbon yang efisien. Selain itu, lamun bulat ini memiliki dampak positif dalam memelihara keseimbangan ekosistem melalui interaksi dinamis dengan jenis-jenis sedimen di sekitarnya. Penelitian oleh Lavery dkk. (2013) telah menunjukkan bahwa hubungan antara lamun bulat dan jenis sedimen memberikan kontribusi signifikan terhadap dinamika ekosistem perairan dangkal.

Dengan mengeksplorasi lebih jauh tentang lamun bulat, kita semakin memahami keberagaman peran dan manfaatnya dalam menjaga kesehatan ekosistem laut. Meskipun terkadang dianggap kecil, lamun bulat membawa dampak besar dalam mendukung kehidupan laut dan menjaga keseimbangan ekosistem yang kompleks. Lamun jenis *Halophila ovalis* dapat dilihat pada Gambar 6.3.



Gambar 6. 3. *Halophila ovalis*
(Sumber : <https://eatlas.org.au/media/4026>)

6.3.4 *Enhalus acoroides* (Lamun Ranting)

Enhalus acoroides biasanya ditemukan di kedalaman antara 1 hingga 10 meter di bawah permukaan laut. Namun, lamun ini cenderung lebih sering ditemukan di perairan dangkal, khususnya di kedalaman kurang dari 5 meter. *Enhalus acoroides* tumbuh subur di perairan yang tenang seperti laguna, estuari, dan teluk yang terlindungi. *Enhalus acoroides* biasanya tumbuh di substrat pasir atau lumpur yang lunak, dekat dengan pantai atau daerah yang dilindungi dari gelombang laut yang kuat. Meskipun dapat ditemukan di kedalaman yang lebih dalam, *Enhalus acoroides* lebih sering ditemukan di perairan dangkal di sepanjang pantai tropis dan subtropis. Penelitian terbaru oleh Koch dkk. (2009) mengungkapkan pentingnya lamun ranting dalam mendukung keanekaragaman hayati laut dan menjaga keseimbangan ekosistem. *Enhalus acoroides* memegang peran penting dalam ekosistem laut dengan memberikan manfaat yang luar biasa. Lamun ini berperan sebagai penyedia habitat yang subur, menciptakan lingkungan yang ideal bagi berbagai organisme laut, seperti moluska, ikan, dan crustacea.

Keberadaannya tidak hanya mendukung kehidupan laut, tetapi juga memberikan manfaat langsung bagi manusia, terutama dalam aspek ekonomi dan sumber daya pesisir. Selain itu, *Enhalus acoroides* terbukti efektif dalam melindungi garis pantai dari abrasi dan erosi. Akar lamun yang panjang dan daun yang rapat membantu mengikat sedimen, mengurangi gelombang energi, dan meredam kecepatan aliran air laut. Dengan demikian, lamun ranting memberikan kontribusi vital dalam pelestarian garis pantai dan memitigasi dampak buruk dari badai dan gelombang besar.

Manfaat ekologis dan fungsi lamun ranting dalam menjaga keseimbangan ekosistem laut, merawat keanekaragaman hayati, dan melindungi pesisir menjadi bukti nyata bahwa pelestariannya bukan hanya untuk kepentingan ekologi, tetapi juga kesejahteraan manusia. Perlindungan terhadap *Enhalus acoroides* menjadi esensial dalam usaha kita untuk mendukung ekosistem laut yang berkelanjutan dan kehidupan pesisir yang seimbang. Lamun jenis *Enhalus acoroides* dapat dilihat pada Gambar 2.3.4.



Gambar 6. 4. *Enhalus acoroides*

(Sumber : <https://combine.ncscm.res.in/combine/details?cid=5697>)

6.3.5 *Thalassia hemprichii* (Lamun Hijau)

Thalassia hemprichii, menarik minat peneliti karena kontribusinya terhadap ekosistem tropis dan subtropis. *Thalassia hemprichii* umumnya hidup di kedalaman antara 1 hingga 30 meter di bawah permukaan laut. Namun, lamun ini paling sering ditemukan di perairan dangkal, biasanya di kedalaman kurang dari 10 meter. *Thalassia hemprichii* cenderung tumbuh subur di perairan yang tenang, seperti laguna, estuari, dan teluk yang terlindungi. *Thalassia hemprichii* biasanya tumbuh di substrat pasir atau lumpur di dekat pantai atau daerah yang terlindungi dari gelombang laut yang kuat. Meskipun dapat ditemukan di kedalaman yang lebih dalam, *Thalassia hemprichii* lebih sering ditemukan di perairan dangkal di sepanjang pantai tropis dan subtropis.

Studi oleh Van Katwijk dkk. (2015) memberikan wawasan tentang pengaruh lamun hijau terhadap stabilitas pantai dan pentingnya pelestarian habitatnya. *Thalassia hemprichii* menjadi elemen penting dalam ekosistem tropis dan subtropis dengan manfaat yang signifikan. Keberadaannya menciptakan habitat yang produktif dan berkembang biak bagi berbagai organisme laut.

Selain itu, lamun hijau memainkan peran kunci dalam menjaga keseimbangan ekosistem laut dengan menyediakan tempat yang aman untuk ikan muda, moluska, dan sejumlah fauna laut lainnya. Dengan kemampuannya menyerap karbon dioksida dari air laut, *Thalassia hemprichii* juga berkontribusi dalam upaya mitigasi perubahan iklim.

Manfaat ekologis dan ekonomis lamun hijau menandakan pentingnya pelestariannya guna mempertahankan keanekaragaman hayati dan keseimbangan ekosistem di wilayah-wilayah tropis dan subtropis. Lamun jenis *Thalassia hemprichii* dapat dilihat pada Gambar 2.3.5.



Gambar 6. 5. *Thalassia hemprichii*

(Sumber : https://www.inaturalist.org/guide_taxa/288125)

6.4 Manfaat Lamun

Lamun, atau seagrass, bukan hanya memberikan pemandangan yang indah di dasar laut, tetapi juga menyimpan sejumlah manfaat luar biasa bagi ekosistem laut dan manusia. Penelitian terkini menyoroti berbagai kontribusi positif yang dibawa oleh lamun, mulai dari dukungan terhadap biodiversitas hingga peran penting dalam mitigasi perubahan iklim.

Salah satu manfaat utama lamun adalah perannya sebagai penyedia habitat yang penting bagi berbagai spesies laut. Lamun memberikan tempat perlindungan dan berkembang biak bagi berbagai organisme, termasuk ikan, moluska, dan crustacea. Lamun juga memainkan peran penting dalam memelihara kualitas air di ekosistem laut. Proses fotosintesis yang aktif pada lamun membantu menyerap nutrisi berlebih dan meredam tingkat keasaman air laut. Lamun terlibat dalam siklus karbon laut, menyimpan karbondioksida dari air laut dan mengurangi dampak perubahan

iklim global. Penelitian oleh Duarte dkk. (2013) memberikan pemahaman mendalam tentang kontribusi lamun terhadap mitigasi perubahan iklim melalui penyerapan karbon.

Lamun membantu melindungi garis pantai dengan akarnya yang panjang, membantu mengikat sedimen dan mengurangi risiko erosi pantai. Manfaat lamun tidak hanya terbatas pada ekosistem laut, tetapi juga memberikan kontribusi signifikan terhadap keberlanjutan ekonomi dan kesejahteraan manusia. Penelitian oleh Short dkk. (2011) menggambarkan pentingnya lamun sebagai sumber daya ekonomi melalui aktivitas seperti perikanan dan pariwisata.

6.4.1 Manfaat Bagi Perikanan

Lamun, atau seagrass, memegang peran yang sangat penting dalam menjaga keberlanjutan perikanan dan kelimpahan hayati laut secara umum. Selain memberikan habitat yang subur bagi berbagai spesies ikan dan invertebrata, lamun juga menyediakan berbagai manfaat langsung dan tidak langsung yang mendukung produktivitas perikanan yang berkelanjutan.

Lamun memberikan habitat yang penting bagi berbagai tahap kehidupan ikan, mulai dari larva hingga dewasa. Perpaduan antara daun yang rapat dan akar yang kompleks memberikan perlindungan dari predator dan meningkatkan kelangsungan hidup ikan muda. Lamun bukan hanya menyediakan habitat yang aman, tetapi juga menyediakan sumber makanan yang kaya bagi berbagai spesies ikan. Kehadiran lamun di suatu wilayah juga dapat meningkatkan produktivitas tangkapan nelayan lokal. Lamun memberikan tempat bagi berbagai spesies ikan target yang sering kali menjadi sasaran utama nelayan.

Selain manfaat ekologisnya, lamun juga memberikan manfaat ekonomi yang signifikan bagi masyarakat pesisir yang bergantung pada sektor perikanan. Penelitian oleh Cullen-Unsworth dkk. (2014) menunjukkan bahwa lamun memberikan kontribusi yang penting bagi pendapatan dan kesejahteraan masyarakat pesisir melalui peningkatan tangkapan ikan.

Padang lamun dan ikan dugong membangun suatu hubungan simbiosis yang tak terelakkan, membentuk sebuah cerita penting dalam keseimbangan ekosistem laut. Lamun, dengan padang rumput bawah lautnya, menyediakan habitat yang sangat penting bagi berbagai jenis organisme laut, termasuk ikan yang menjadi menu utama bagi dugong. Dugong, atau "sapi laut," yang merupakan herbivora laut terbesar, menjadikan lamun sebagai pilihan utama makanannya, memastikan regenerasi dan kelangsungan hidup padang lamun. Aktivitas dugong di padang lamun dapat dilihat pada Gambar 2.4.1.



Gambar 6. 6. Dugong di Padang Lamun

(Sumber : <https://bluecsolutions.org/coastal-blue-carbon-ecosystems/>)

Lamun bukan hanya menjadi sumber makanan bagi dugong, tetapi juga tempat berkembang biak yang aman dan tempat berlindung dari predator bagi ikan-ikan kecil yang menjadi bagian integral dalam rantai makanan laut. Keberadaan lamun memberikan perlindungan dan nutrisi yang diperlukan bagi larva ikan yang baru menetas, menciptakan dasar ekosistem yang kuat. Namun, simbiosis ini tidak bersifat satu arah. Dugong, dengan kebiasaannya merumput di padang lamun, membantu menjaga kebersihan dan kesehatan lamun. Tindakan mengunyah dugong pada lamun membantu memotong dan memelihara padang lamun, mendorong pertumbuhan yang baru, dan memberikan peluang bagi tanaman lamun yang lebih muda untuk tumbuh. Dengan kata lain, aktivitas dugong membantu dalam regenerasi dan pemeliharaan padang lamun, menciptakan lingkungan yang lebih subur dan sehat. Studi oleh Waycott dkk. (2009) memberikan gambaran komprehensif tentang pentingnya keterkaitan antara dugong dan lamun dalam menjaga keberlanjutan

ekosistem laut. Penelitian ini menggambarkan bagaimana aktivitas makan dugong tidak hanya mempengaruhi komposisi lamun tetapi juga merangsang pertumbuhan dan keberlanjutan ekosistem padang lamun.

6.4.2 Manfaat Sebagai Penyerap Karbon

Padang lamun memiliki peran penting dalam siklus karbon global dengan kemampuannya yang luar biasa dalam menyerap dan menyimpan karbon di atmosfer. Fenomena ini terjadi melalui proses fotosintesis, di mana lamun menggunakan cahaya matahari untuk mengubah karbondioksida (CO_2) dan air menjadi glukosa dan oksigen. Proses fotosintesis pada lamun melibatkan penangkapan CO_2 dari air laut. Dengan bantuan klorofil dalam sel-selnya, lamun mengubah CO_2 menjadi zat organik, termasuk karbohidrat. Karbohidrat yang dihasilkan dijadikan sumber energi bagi pertumbuhan lamun dan menyimpan karbon dalam jaringan tanaman tersebut (Macreadie dkk., 2019).

Selain disimpan dalam jaringan tanaman, sebagian besar karbon yang dihasilkan oleh lamun tersimpan di sedimen bawah laut. Akar lamun yang panjang dan padat membantu menangkap dan mengendapkan partikel-partikel organik dan anorganik, termasuk karbon yang terperangkap dalam padatan sedimen. Seiring waktu, sedimen ini berfungsi sebagai cadangan karbon yang dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama. Kemampuan lamun dalam menyimpan karbon menjadikannya sebagai salah satu alat penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Dengan menyimpan karbon di dalam tanaman dan sedimen, padang lamun membantu mengurangi jumlah karbon dioksida di atmosfer, yang menjadi salah satu pemicu pemanasan global.

Padang lamun dianggap sebagai salah satu komponen dari sumber daya *blue carbon* yang mencakup ekosistem perairan laut seperti padang lamun, hutan mangrove, dan rawa bakau. Konsep *blue carbon* menekankan pentingnya ekosistem ini dalam menyimpan karbon dan menyumbang secara signifikan terhadap keseimbangan karbon global. Pertumbuhan lamun yang sehat dan berkelanjutan menciptakan lebih banyak potensi penyerapan karbon. Oleh karena itu, pelestarian dan pemulihan padang lamun menjadi langkah kritis dalam mengamankan potensi penyerapan karbon yang dimiliki oleh ekosistem ini. Potensi padang lamun sebagai penyerap karbon tidak hanya memberikan manfaat langsung terhadap lingkungan laut, tetapi juga berkontribusi secara signifikan dalam upaya

global untuk mengurangi tingkat karbondioksida di atmosfer dan menjaga keseimbangan iklim bumi (Macreadie dkk., 2019).

6.5 Parameter Lingkungan yang Mempengaruhi Pertumbuhan Lamun

Faktor lingkungan memainkan peran penting dalam pertumbuhan dan distribusi lamun di habitatnya. Beberapa parameter lingkungan yang signifikan yang mempengaruhi pertumbuhan lamun meliputi kecerahan cahaya, suhu air, salinitas, arus laut, jenis substrat, ketersediaan nutrisi, dan interaksi antara faktor-faktor tersebut.

6.5.1 Kecerahan Cahaya

Kecerahan merupakan faktor lingkungan utama yang mempengaruhi pertumbuhan dan distribusi lamun. Karena lamun melakukan fotosintesis, cahaya merupakan sumber energi yang vital bagi proses metabolisme mereka. Tingkat kecerahan yang cukup memastikan bahwa lamun dapat melakukan fotosintesis secara optimal. Namun, terlalu tinggi atau rendahnya tingkat cahaya dapat menghambat pertumbuhan lamun. Cahaya yang berlebihan dapat menyebabkan stres oksidatif pada lamun, sementara cahaya yang kurang dapat mengurangi laju fotosintesis dan pertumbuhan. Tingkat cahaya yang ideal bervariasi tergantung pada spesies lamun dan kedalamannya di perairan. Penelitian menunjukkan bahwa penurunan kecerahan dapat menyebabkan penurunan biomassa dan produktivitas lamun (Duarte, 1991).

6.5.2 Suhu Air

Suhu air juga merupakan faktor penting yang mempengaruhi pertumbuhan lamun. Lamun biasanya lebih baik tumbuh di perairan dengan suhu yang relatif stabil dan hangat. Suhu yang ekstrem, baik terlalu panas atau terlalu dingin, dapat mengganggu proses fisiologis lamun dan bahkan menyebabkan kematian pada tingkat yang ekstrem. Sebagai contoh, peningkatan suhu air dapat mempercepat laju metabolisme lamun dan meningkatkan kebutuhan akan nutrisi. Namun, peningkatan suhu

yang signifikan juga dapat menyebabkan penurunan produktivitas lamun (Duarte, 1991).

6.5.3 Salinitas

Salinitas, atau konsentrasi garam dalam air laut, juga memainkan peran penting dalam pertumbuhan lamun. Lamun cenderung tumbuh dan berkembang dengan baik di perairan yang memiliki salinitas yang relatif stabil dan sesuai dengan preferensi spesies masing-masing. Fluktuasi salinitas yang signifikan dapat menyebabkan stres osmotik pada lamun dan mempengaruhi kemampuannya untuk menyerap air dan nutrisi. Penelitian telah menunjukkan bahwa lamun memiliki rentang toleransi salinitas yang berbeda-beda tergantung pada spesiesnya, dengan beberapa spesies lebih toleran terhadap fluktuasi salinitas daripada yang lain (Duarte, 1991).

6.5.4 Arus Laut

Arus laut juga merupakan faktor penting yang mempengaruhi pertumbuhan lamun. Arus yang kuat dapat membawa pasir atau sedimentasi yang dapat mengubur lamun dan menghambat proses fotosintesis lamun. Di sisi lain, arus yang terlalu lemah dapat mengakibatkan penumpukan material organik dan sisa-sisa organisme di sekitar lamun, yang dapat mengurangi cahaya dan akses ke nutrisi bagi lamun. Oleh karena itu, arus yang moderat dan seimbang penting untuk menjaga kesehatan dan produktivitas lamun (Duarte, 1991).

6.5.5 Substrat

Substrat atau dasar laut di mana lamun tumbuh juga mempengaruhi pertumbuhan lamun. Lamun cenderung tumbuh lebih baik di substrat yang stabil dan bersih, seperti pasir atau lumpur halus, yang memungkinkan akar lamun untuk menancap dengan baik dan menyerap nutrisi dari lingkungan sekitarnya. Substrat yang terlalu padat atau berlumpur dapat menghambat penetrasi cahaya dan pertumbuhan lamun. Selain itu, substrat yang terlalu berbatu atau bergelombang dapat menyebabkan kerusakan pada lamun dan menghambat pertumbuhannya (Duarte, 1991).

6.5.6 Ketersediaan Nutrien

Parameter nutrien memainkan peran penting dalam pertumbuhan dan perkembangan lamun di lingkungan laut. Nutrien, seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan unsur-unsur lainnya, adalah zat-zat kimia yang diperlukan oleh lamun untuk melakukan berbagai fungsi biologis, termasuk pembentukan jaringan baru, fotosintesis, dan reproduksi. Ketersediaan nutrien dalam air laut dapat memengaruhi keseimbangan ekologi lamun dan menentukan produktivitas serta keberhasilan reproduksi lamun (Duarte, 1991).

6.6 Senyawa Aktif, Bioaktivitas, dan Produk Potensial untuk Dikembangkan

Lamun mengandung berbagai senyawa aktif atau metabolit aktif yang memberikan kontribusi pada aktivitas biologis tertentu. Beberapa senyawa yang umumnya ditemukan dalam lamun bersifat bioaktif dan telah menarik perhatian peneliti untuk potensi aktivitas biologisnya. Beberapa jenis lamun memiliki senyawa dan metabolit sekunder yang berpotensi sebagai agen antibakteri, antioksidan, antikanker, dan antidiabetes. *Thalassia hemprichii* mengandung terpena, flavonoid, saponin, tanin, dan triterpena yang memberikan efek antibakteri dan antioksidan. *Enhalus acoroides* diketahui memiliki alkaloid, flavonoid, saponin, terpenoid, polifenol, tanin, steroid, triterpenoid, stigmasta-3,5-dien-7-on, asam palmitat, stigmat-5,22-dien-3-ol, 5,7,3,4-tetrahidroksi glikosida flavon, serta 5,7,3-trihidroksi glikosida flavon yang bermanfaat dalam melawan bakteri, kanker, dan diabetes. *Cymodocea rotundata* mengandung fenol, flavonoid, dan tanin yang memiliki sifat antibakteri, sedangkan *Thalassodendron ciliatum* memiliki alkaloid yang berpotensi sebagai agen antikanker. Senyawa-senyawa tersebut memiliki berbagai mekanisme aksi yang mendukung pengembangan obat-obatan baru yang lebih efektif dan berkelanjutan.

6.6.1 Potensi Lamun Sebagai Antibakteri

Aktivitas antibakteri lamun di Indonesia berpotensi sebagai alternatif antibiotik baru. Lamun diuji bioaktivitasnya terhadap beberapa bakteri seperti *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* dan *Bacillus subtilis*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas antibakteri terbaik dari ekstrak *Thalassia hemprichii* adalah sebesar 62.50 µg/mL dalam pelarut n-heksana terhadap bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. Sementara bioaktivitas antibakteri terbaik dari ekstrak *Enhalus acoroides* adalah sebesar 15.62 µg/mL dalam pelarut n-heksana terhadap *Staphylococcus aureus* (Purnama dkk., 2018).

Lamun memiliki potensi yang menjanjikan sebagai sumber obat antibakteri alami. Penelitian telah menunjukkan bahwa ekstrak dari beberapa jenis lamun mengandung senyawa-senyawa aktif yang dapat melawan pertumbuhan bakteri. Pada penelitian Ulfa dkk. (2014) disebutkan bahwa *Thalassia hemprichii* memiliki senyawa aktif terpena, flavonoid, saponin dan tanin. Sedangkan dalam penelitian Mahmiah dkk. (2023) disebutkan bahwa *Enhalus acoroides* memiliki senyawa aktif alkaloid, flavonoid, saponin, terpenoid, dan polifenol.

Senyawa-senyawa aktif dalam lamun yang memiliki sifat antibakteri ini dapat menjadi titik awal bagi pengembangan obat-obatan baru untuk mengatasi infeksi bakteri. Potensi lamun sebagai obat antibakteri menunjukkan bahwa sumber daya alam seperti ini memiliki nilai yang signifikan dalam upaya pengembangan obat-obatan baru yang lebih efektif dan berkelanjutan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut tentang senyawa-senyawa aktif dalam lamun dan mekanisme kerjanya dalam melawan bakteri sangat diperlukan untuk memahami dan memanfaatkan potensi ini secara optimal dalam bidang farmasi.

Penelitian yang dilakukan oleh Septiani dkk. (2017) menunjukkan bahwa lamun jenis *Cymodocea rotundata* mengandung senyawa bioaktif yang bersifat antibakteri, antara lain fenol, flavonoid, dan tanin. Senyawa-senyawa ini memiliki potensi sebagai agen antibakteri alami terhadap bakteri patogen seperti *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. Senyawa-senyawa tersebut dapat merusak dinding sel bakteri, mengubah permeabilitas membran, mengganggu sintesis protein, dan menghambat kerja enzim. Selain itu, flavonoid juga dapat membentuk kompleks dengan protein ekstrak seluler dan dinding mikroba, serta mengganggu sel mikroorganisme dan menghambat siklus sel mikroba. Oleh karena itu, *Cymodocea rotundata* memiliki potensi sebagai sumber senyawa antibakteri yang efektif terhadap bakteri patogen.

Lama inkubasi dan konsentrasi ekstrak *Cymodocea rotundata* memiliki pengaruh signifikan terhadap aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi optimum untuk menghambat pertumbuhan

Staphylococcus aureus dan *Escherichia coli* adalah 15% dengan lama inkubasi 48 jam, menghasilkan zona hambat masing-masing sebesar 6,123 mm dan 5,833 mm. Selain itu, ekstrak *Cymodocea rotundata* juga efektif sebagai antibakteri dengan kategori sedang, dengan zona hambat berkisar antara 5-10 mm. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi dan lama inkubasi yang tepat dapat meningkatkan aktivitas antibakteri terhadap kedua bakteri tersebut.

Dengan demikian, berdasarkan temuan ini, ekstrak *Cymodocea rotundata* memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai obat antibiotika alami. Senyawa-senyawa bioaktif yang terkandung dalam ekstrak dapat menjadi dasar untuk pengembangan obat-obatan antibiotika yang efektif dalam mengatasi infeksi bakteri, terutama terhadap bakteri patogen seperti *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. Dengan penelitian lebih lanjut dan pengembangan formulasi yang tepat, ekstrak *Cymodocea rotundata* dapat dijadikan sebagai sumber potensial untuk obat antibiotika yang efektif dan berkelanjutan.

6.6.2 Potensi Lamun Sebagai Antioksidan

Lamun sebagai sumber daya laut menunjukkan potensi yang menjanjikan sebagai obat antioksidan alami. Penelitian telah mengungkapkan bahwa beberapa jenis lamun mengandung senyawa aktif yang memiliki aktivitas antioksidan. Lamun sebagai sumber yang kaya akan senyawa-senyawa yang dapat melawan radikal bebas dan mengurangi stres oksidatif dalam tubuh manusia. Salah satu contoh lamun yang telah diteliti untuk potensi antioksidannya adalah *Thalassia hemprichii*. Ekstrak dari lamun ini telah terbukti melindungi sel-sel dari kerusakan oksidatif dan mengurangi peradangan. Senyawa aktif seperti triterpene, flavonoid, saponin dan tanin dalam ekstrak lamun ini telah terbukti memiliki aktivitas antioksidan, membantu melindungi tubuh dari kerusakan yang disebabkan oleh radikal bebas (Ulfa dkk., 2014).

Menurut penelitian Suleman dkk. (2022) diketahui bahwa konsentrasi inhibitor 50% (IC_{50}) untuk vitamin E adalah sebesar 473,53 mg/L. Sedangkan, ekstrak metanol dari daun lamun *Thalassia hemprichii* memiliki nilai IC_{50} sebesar 1,25 mg/L, menunjukkan bahwa ekstrak tersebut memiliki efek antioksidan yang sangat kuat. Pemanfaatan lamun sebagai obat antioksidan dapat memiliki implikasi penting dalam pencegahan dan pengobatan berbagai penyakit terkait stres oksidatif, seperti penyakit jantung, kanker, dan penuaan dini. Namun, penelitian

lebih lanjut diperlukan untuk memahami secara mendalam mekanisme kerja senyawa aktif dalam lamun dan potensi aplikasinya dalam pengembangan obat-obatan yang efektif.

6.6.3 Potensi Lamun Sebagai Antikanker

Terdapat tiga jenis lamun yang memiliki potensi sebagai agen antikanker, yaitu *Enhalus acoroides*, *Thalassodendron ciliatum*, dan *Thalassia hemprichi*. Lamun ini mengandung senyawa aktif yang memiliki aktivitas sitotoksik, yang berpotensi sebagai zat antikanker. Selain itu, lamun juga mengandung senyawa metabolit sekunder seperti saponin, triterpena, steroid, flavonoid, alkaloid, dan fenol, yang memiliki aktivitas biologis dan berpotensi sebagai obat. Hal tersebut menunjukkan bahwa lamun memiliki potensi sebagai sumber obat baru yang berasal dari bahan alami untuk mengurangi efek samping pengobatan kanker (Septiana dkk., 2023).

Sejumlah senyawa aktif telah ditemukan dalam lamun yang berpotensi sebagai agen antikanker. *Enhalus acoroides* mengandung senyawa golongan flavonoid, tanin, steroid, triterpenoid, stigmasta-3,5-diena-7-on, asam palminat, stigmat,5-22-dien-3-ol, 5,7,3,4-tetrahidroksi glikosida flavon, dan 5,7,3-trihidroksiglikosida flavon. *Thalassia hemprichii* mengandung senyawa golongan fenolik, yang berpotensi sebagai antioksidan, serta senyawa bioaktif yang berpengaruh pada sistem kardiovaskular, antifertility, antivirus, antiprotozoa, antifungi, dan antibakteri. Selain itu, senyawa metabolit sekunder seperti saponin, triterpena, sterol, fenol, dan alkaloid juga ditemukan dalam ekstrak lamun, yang memiliki aktivitas biologis dan berpotensi sebagai obat. Senyawa alkaloid pada *Thalassodendron ciliatum* dapat menghambat pertumbuhan sel kanker kolon, sementara senyawa bioaktif dari lamun *Thalassia hemprichi* juga memiliki potensi sebagai antikanker. Dengan demikian, senyawa-senyawa ini memberikan dasar yang kuat untuk potensi lamun sebagai agen antikanker (Dewi dkk., 2012).

Senyawa alkaloid yang ditemukan dalam *Thalassodendron ciliatum* telah terbukti memiliki potensi untuk menghambat pertumbuhan sel kanker kolon. Nilai IC₅₀ (konsentrasi yang menghambat pertumbuhan sel kanker sebesar 50%) dari senyawa alkaloid tersebut adalah 32,68 µg/mL (Putram dkk., 2017). Selain itu, studi lain menunjukkan bahwa ekstrak senyawa bioaktif dari lamun *Thalassia hemprichi*, memiliki nilai LC₅₀ (konsentrasi yang menyebabkan kematian 50% dari organisme uji, dalam

hal ini *A. salina*) sebesar 3,95 mg/L. Menurut klasifikasi yang diberikan oleh National Cancer Institute (NCI), sebuah ekstrak dianggap aktif dalam mengatasi kanker jika nilai toksisitasnya (IC_{50}) kurang dari 20 $\mu\text{g/mL}$ (Karim dkk., 2019).

Penelitian ini menunjukkan bahwa senyawa-senyawa yang terkandung dalam *Thalassodendron ciliatum* dan *Thalassia hemprichi* memiliki potensi sebagai agen antikanker. Walaupun nilai IC_{50} senyawa alkaloid dari *Thalassodendron ciliatum* sedikit lebih tinggi dari ambang batas yang ditetapkan oleh NCI, hal tersebut masih menunjukkan aktivitas antikanker yang signifikan. Studi toksisitas terhadap *Artemia salina* dari ekstrak *Thalassia hemprichi* menunjukkan kemampuan untuk menghambat pertumbuhan organisme uji, yang dapat diindikasikan bahwa senyawa-senyawa tersebut memiliki potensi untuk digunakan dalam pengembangan terapi antikanker.

6.6.4 Potensi Lamun Sebagai Antidiabet

Ekstrak etil asetat daun lamun (*Enhalus acoroides*) mengandung beberapa senyawa seperti flavonoid, alkaloid, steroid, dan tanin. Senyawa tersebut berkontribusi pada efek antidiabetes melalui berbagai mekanisme. Flavonoid, misalnya, menghambat enzim α -glukosidase di usus, memperlambat penyerapan glukosa, menghambat enzim α -amylase dan mengaktifkan ekspresi gen PPAR- γ , meningkatkan ambilan glukosa dan resistensi insulin. Selain itu, flavonoid dapat menghambat proses gluconeogenesis di hati, merangsang pengambilan glukosa melalui regulasi GLUT4, dan meningkatkan sekresi insulin serta faktor-faktor yang terkait dengan sensitivitas insulin. Aktivitas antioksidannya juga dapat menangkal radikal bebas, mencegah apoptosis pankreas, dan kerusakan sel beta pankreas.

Alkaloid, seperti yang terdapat dalam ekstrak, juga memiliki potensi antidiabetes. Alkaloid dapat berinteraksi dengan reseptor seperti α -glukosidase, AMP-activated protein kinase, NAMPT, dan 11- β -hydroxysteroid dehydrogenase 1, yang berperan dalam metabolisme glukosa. Steroid telah terbukti dapat berikatan dengan sisi aktif enzim α -glukosidase, serta merangsang sel beta pankreas untuk mensekresikan insulin. Tanin, juga memiliki aktivitas pembersih radikal bebas dan dapat menghambat lipoksigenase dan peroksidase lipid. Mereka juga dapat meningkatkan pengambilan glukosa melalui mediator jalur pensinyalan insulin, seperti aktivasi PI3K, P38 MAPK, dan translokasi GLUT-4.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, ekstrak etil asetat daun lamun (*Enhalus acoroides*) memiliki potensi sebagai agen antidiabetes. Penelitian menunjukkan bahwa ekstrak tersebut mampu menghambat penyerapan sukrosa pada mencit, dengan total penghambatan terbesar terjadi pada pemberian dosis 250 mg/kgBB. Selain itu, senyawa-senyawa seperti flavonoid, alkaloid, steroid, dan tanin yang terkandung dalam ekstrak tersebut telah terbukti memiliki aktivitas antidiabetes melalui berbagai mekanisme, termasuk penghambatan enzim α -glukosidase, aktivasi gen PPAR- γ , dan aktivitas antioksidan. Senyawa-senyawa ini juga dapat meningkatkan transportasi glukosa di dalam darah, menghambat absorpsi glukosa di usus, merangsang sintesis glikogen, dan menghambat sintesis glukosa. Oleh karena itu, berdasarkan temuan ini, ekstrak etil asetat daun lamun (*Enhalus acoroides*) memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai obat diabetes (Hasan dkk., 2022).

DAFTAR PUSTAKA

- Cullen-Unsworth, L.C. dkk. 2014. Seagrass Meadows Globally as A Coupled Social–Ecological System: Implications For Human Wellbeing. *Marine Pollution Bulletin*, 83(2), 387-397.
- Dewi, C. S. U. dkk. 2012. Komponen Fitokimia dan Toksisitas Senyawa Bioaktif dari Lamun *Enhalus acoroides* dan *Thalassia hemprichii* dari Pulau Pramuka, DKI Jakarta, *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 3(2), 23-27.
- Duarte, C. M. 1991. Seagrass Depth Limits. *Aquatic Botany*, 40(4), 363-377.
- Duarte, C. M., dkk. 2013. The Role of Coastal Plant Communities for Climate Change Mitigation and Adaptation. *Nature Climate Change*, 3(11), 961-968.
- Hasan, H. dkk. 2022. Uji Aktivitas Antidiabetes Ekstrak Etil Asetat Daun Lamun (*Enhalus acoroides*) Pada Mencit (*Mus musculus*). *Journal Syifa Sciences and Clinical Research*, 4(1), 293-305.
- Karim, F.Y. dkk. 2019. Uji Toksisitas dari Ekstrak Lamun Jenis *Thalassia hemprichii* dari Perairan Kalasey dengan Menggunakan Metode Brine Shrimp Lethality Test, *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 7(3), 265-270
- Koch, E.W. dkk. 2009. Non-Linearity in Ecosystem Services: Temporal and Spatial Variability in Coastal Protection. *Frontiers In Ecology and The Environment*, 7(1), 29-37.
- Lavery, P. S. dkk. 2013. Variability on The Carbon Storage of Seagrass Habitats and Its Implications for Global Estimates of Blue Carbon Ecosystem Service. *PloS one*, 8(9), e73748.
- Macreadie, P.I. dkk. 2019. The Future of Blue Carbon Science. *Nature Communications*, 10(1), 1-13.
- Mahmiah dkk. 2023. Profil Metabolit Ekstrak Etanol *Enhalus acoroides* (L.F.) Royle, 1839 dari Nusa Tenggara Timur. *Journal of Marine Research*, 12(1), 151-160.
- Marbà, N. dkk. 2015. Impact of Seagrass Loss and Subsequent Revegetation on Carbon Sequestration and Stocks. *Journal of Ecology*, 103(2), 296-302.
- Purnama dkk. 2018. Bioaktivitas Antibakteri Lamun *Thalassia hemprichii* dan *Enhalus acoroides*. *Jurnal Biologi Universitas Andalas*, 6(1), 45-50.

- Putram, N.M. dkk. 2017. Aktivitas Antikanker dari Fraksi Aktif Teripang, *JPHPI*, 20(1), 53-62.
- Septiana, K. dkk. 2023. Potensi Lamun Sebagai Antikanker: Review Artikel. *Jurnal Sains Fisika*, 3(1), 9-18.
- Septiani, dkk. 2017. Aktivitas Antibakteri Ekstrak Lamun (*Cymodocea Rotundata*) Terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *Journal of Fisheries Science and Technology*, 13(1) 1-6.
- Short, F.T. dkk. 2011. Extinction Risk Assessment of The World's Seagrass Species. *Biological Conservation*, 144(7), 1961-1971.
- Suleman, I.F. dkk. 2022. Identifikasi Senyawa Saponin dan Antioksidan Ekstrak Daun Lamun (*Thalassia hemprichii*). *Jambura Fish Processing Journal*, 4(2), 94-102.
- Ulfa, F.S. dkk. 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.
- Van Katwijk, M.M. dkk. 2015. Global Analysis of Seagrass Restoration: The Importance of Large-Scale Planting. *Journal of Applied Ecology*, 53(2), 1-12.
- Waycott, M. dkk. 2009. Accelerating Loss of Seagrasses Across The Globe Threatens Coastal Ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(30), 12377-12381.
- Waycott, M. dkk. 2006. Seagrass Evolution, Ecology and Conservation: A Genetic Perspective. *Springer*. 25-50.
- Zurba, N. 2018. *Pengenalan Padang Lamun, Suatu Ekosistem yang Terlupakan*. Lhokseumawe: Unimal Press.

BAB 7

TERIPANG

Oleh Hilya Ummi Najwa

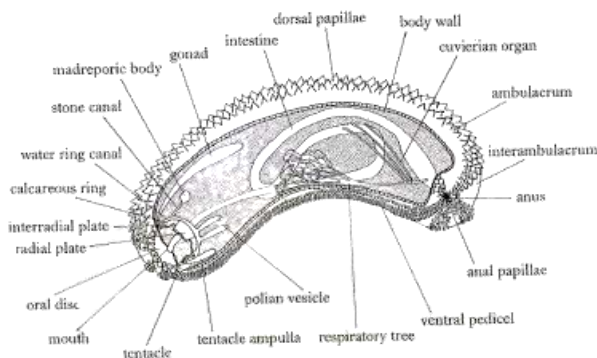
7.1 Pendahuluan

Indonesia yang dikenal sebagai wilayah tropis memiliki beraneka ragam jenis sumber daya alam. Keanekaragaman sumber daya laut di Indonesia salah satunya adalah teripang (Sosiawan and Mustalafin, 2022). Terdapat sekitar 650 spesies teripang yang telah dikenal di seluruh dunia. Di Indonesia, diperkirakan mencapai 141 spesies tetapi yang telah diketahui baru sebanyak 60 spesies (Suryanti, 2019). Teripang dapat dijadikan sebagai sumber protein yang cukup tinggi, memiliki nilai jual, serta dapat dimanfaatkan dalam industri obat-obatan dan kosmetik (Matrutty, Wakano and Suriani, 2021).

Teripang (*sea cucumbers*) biasa disebut timun laut merupakan hewan invertebrata yang memiliki tubuh lunak, hidup secara berkelompok maupun menyebar dan banyak terdapat di perairan dengan substrat pasir, berbatu karang, maupun pasir bercampur lumpur. Teripang memiliki berbagai ukuran, bentuk, struktur, dan warna yang bervariasi mulai dari hitam pekat, merah, putih, kuning, hijau dan lain-lain (Hisam, Kusrini and Taharu, 2022). Perairan Indonesia memiliki lebih dari 400 jenis teripang. Seluruh jenis teripang secara klasifikasi ilmiah masuk ke dalam Ordo *Aspidochirotida* (Setyastuti *et al.*, 2019). Teripang terdiri dari berbagai genus diantaranya yaitu : *Actinopyga*, *Bohadschia*, *Holothuria*, *Muelleria*, *Pearsonothuria*, *Stichopus*, *Synapta* dan *Thelenota* (Setyastuti *et al.*, 2019; Suryanti, 2019; Sosiawan and Mustalafin, 2022).

7.2 Morfologi dan Anatomi Teripang

Teripang merupakan salah satu anggota filum Echinodermata (kulitnya berduri). Duri-duri pada kulit teripang merupakan butir-butir kapur mikroskopis yang letaknya tersebar dalam lapisan epidermis (Karnila, 2011; Prasajo, 2016). Teripang berbentuk silindris memanjang menyerupai mentimun, tidak memiliki tulang belakang dan bergerak dengan cara merayap. Tubuh teripang terbagi menjadi anterior-posterior dan dorsal-ventral. Pada bagian anterior terdapat mulut (oral) bertentakel yang berfungsi untuk mengambil, menghisap partikel/makanan/larutan, sedangkan pada bagian posterior terdapat kloaka (aboral) untuk mengeluarkan sisa-sisa makanan. Pada bagian anus terdapat kelenjer seperti getah (tubulus cuvier) yang berfungsi sebagai alat pertahanan diri. Kaki tabung pada bagian ventral berfungsi untuk pergerakan dan di bagian dorsal berfungsi untuk alat sensor dan respirasi. Dinding tubuh teripang tidak memiliki batas yang jelas antara epidermis dan endodermis. Pada lapisan endodermis mengandung jaringan fibrosa yang membungkus spikula, pigmen, rongga coelom dan jaringan saraf. Spikula terbentuk dari skeleton, dan pada setiap jenis teripang memiliki bentuk spikula yang berbeda (Karnila, 2011; Prasajo, 2016; Setyastuti *et al.*, 2019; Suryanti, 2019). Teripang memiliki sisten syaraf yang tersusun oleh cincin syaraf dan terdapat 5 syaraf radial. Sistem saraf melingkar dekat pangkal tentakel dan pharynx (Prasajo, 2016; Firnando, 2022).



Gambar 7. 1. Morfologi dan Anatomi Teripang

(Prasajo, 2016)

Teripang bersifat '*dioecious*' yaitu memiliki alat kelamin jantan dan betina yang terdapat pada individu berbeda. Namun, terdapat beberapa spesies yang bersifat '*hermafrodit*' dimana alat kelamin jantan dan betina ditemukan dalam satu individu (Nastiti, 2015). Fertilisasi terjadi di luar tubuh, yaitu di dalam air laut. Telur yang telah dibuahi akan membelah dan menghasilkan blastula, kemudian berkembang menjadi gastrula. Gastrula ini berkembang menjadi larva. Larva akan berubah menjadi branchidaria, lalu mengalami metamorfosis dan akhirnya menjadi dewasa (Maya and Nurhidayah, 2020; Firnando, 2022).

Ukuran tubuh setiap jenis teripang berbeda-beda sesuai dengan jenis masing-masing. Panjang tubuh dewasa untuk spesies terkecil 2,54 cm ukuran terpanjang 90 cm. Berat teripang juga bervariasi dari 0,25-6 kg tergantung dari masing-masing jenisnya (Karnila, 2011; Suryanti, 2019).

7.3 Taksonomi dan Jenis-jenis Teripang

7.3.1 Actinopyga

Actinopyga memiliki lima papillae yang mengelilingi anus (anal papillae) dan spikula tipe mawar (Purwati and Wirawati, 2011). Taksonomi teripang ini dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Phylum	: Echinodermata
Sub-Phylum	: Echinozoa
Class	: Holothuroidea
Sub-class	: Aspidochirotaceae
Ordo	: Aspidochirotida
Famili	: Aspidochirotae
Genus	: <i>Actinopyga</i>
Spesies	:
	1. <i>Actinopyga bannwarthi</i>
	2. <i>Actinopyga caerulea</i>

3. *Actinopyga echinites*
4. *Actinopyga lecanora*
5. *Actinopyga mauritiana*
6. *Actinopyga miliaris* (Setyastuti *et al.*, 2019; Suryanti, 2019; Sosiawan and Mustalafin, 2022)



Gambar 7. 2. *Actinopyga lecanora*

(Setyastuti *et al.*, 2019)

7.3.2 Bohadschia

Bohadschia memiliki tepi anus yang bergelombang, tanpa papillae dan spikula berbentuk butiran (Purwati and Wirawati, 2011). Taksonomi teripang ini dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Phylum : Echinodermata
 Sub-Phylum : Echinozoa
 Class : Holothuroidea
 Sub-class : Aspidochirotaeae
 Ordo : Aspidochirotida
 Famili : Aspidochirotae
 Genus : Bohadschia
 Spesies :

1. *Bohadschia argus*
2. *Bohadschia marmorata*
3. *Bohadschia ocellata*
4. *Bohadschia subrubra*

5. *Bohadschia vitiensis* (Setyastuti *et al.*, 2019; Suryanti, 2019; Sosiawan and Mustalafin, 2022)



Gambar 7. 3. *Bohadschia subrubra*

(Setyastuti *et al.*, 2019)

7.3.3 *Holothuria*

Holothuria penampang tubuhnya bulat/sedikit pipih di bagian ventral. Tepi anus rata atau bergelombang atau dengan papilla. Tipe spikula berupa meja, kancing, batang dan roset (Purwati and Wirawati, 2009). Taksonomi teripang ini dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Phylum : Echinodermata
Sub-Phylum : Echinozoa
Class : Holothuroidea
Sub-class : Aspidochirotae
Ordo : Aspidochirotida
Famili : Aspidochirotae
Genus : *Holothuria*
Spesies :

1. *Holothuria albiventer*
2. *Holothuria argus*
3. *Holothuria atra*
4. *Holothuria coluber*
5. *Holothuria conusalba*
6. *Holothuria edulis*

7. *Holothuria excellens*
8. *Holothuria fuscocinerea*
9. *Holothuria fuscogilva*
10. *Holothuria fuscopunctata*
11. *Holothuria hilla*
12. *Holothuria cf imitans*
13. *Holothuria impatiens*
14. *Holothuria lessoni*
15. *Holothuria leucospilota*
16. *Holothuria nobilis*
17. *Holothuria pardalis*
18. *Holothuria pervicax*
19. *Holothuria rigida*
20. *Holothuria roseomaculata*
21. *Holothuria scabra*
22. *Holothuria turriscelsa*
23. *Holothuria vagabunda*
24. *Holothuria whitmaei* (Setyastuti *et al.*, 2019; Suryanti, 2019)



Gambar 7. 4. *Holothuria atra*
(Suryanti, 2019)

7.3.4 Muelleria

Taksonomi teripang ini dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Phylum	: Echinodermata
Sub-Phylum	: Echinozoa
Class	: Holothuroidea

Sub-class : Aspidochirotaceae

Ordo : Aspidochirotida

Famili : Aspidochirotae

Genus : *Muelleria*

Spesies :

1. *Muelleria lecanora* (Suryanti, 2019)



Gambar 7.5. *Muelleria lecanora*

(Yusuf *et al.*, 2020)

7.3.5 Pearsonothuria

Pearsonothuria memiliki spikula tipe meja palsu yang sangat menonjol di samping tipe mawar kompleks (Purwati and Wirawati, 2011). Taksonomi teripang ini dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Phylum : Echinodermata

Sub-Phylum : Echinozoa

Class : Holothuroidea

Sub-class : Aspidochirotaceae

Ordo : Aspidochirotida

Famili : Aspidochirotae

Genus : *Pearsonothuria*

Spesies :

1. *Pearsonothuria graeffei* (Setyastuti *et al.*, 2019; Suryanti, 2019)



Gambar 7.6. *Pearsonothuria graeffei*

(Setyastuti *et al.*, 2019)

7.3.6 Stichopus

Taksonomi teripang ini dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Phylum	: Echinodermata
Sub-Phylum	: Echinozoa
Class	: Holothuroidea
Sub-class	: Aspidochirotae
Ordo	: Aspidochirotida
Famili	: Aspidochirotae
Genus	: <i>Stichopus</i>

Spesies :

1. *Stichopus chloronotus*
2. *Stichopus herrmanni*
3. *Stichopus horrens*
4. *Stichopus cf monotuberculatus*
5. *Stichopus noctivagus*
6. *Stichopus ocellatus*
7. *Stichopus pseudohorrens*
8. *Stichopus quadrifasciatus*
9. *Stichopus vastus* (Setyastuti *et al.*, 2019; Suryanti, 2019)



Gambar 7.8. *Stichopus chloronotus*

(Setyastuti *et al.*, 2019)

7.3.7 Synapta

Taksonomi teripang ini dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Phylum : Echinodermata

Class : Holothuroidea

Ordo : Apodida

Famili : Synaptidae

Genus : *Synapta*

Spesies :

1. *Synapta maculate*
2. *Synapta reticulate* (Suryanti, 2019; Tuhumury, Suriani and Wakano, 2019; Sosiawan and Mustalafin, 2022)



Gambar 7.9 *Synapta maculate*

(Suryanti, 2019)

7.3.8 Thelenota

Taksonomi teripang ini dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Phylum : Echinodermata
Sub-Phylum : Echinozoa
Class : Holothuroidea
Sub-class : Aspidochirotaceae
Ordo : Aspidochirotida
Famili : Aspidochirotae
Genus : *Thelenota*
Spesies :
1. *Thelenota ananas*
2. *Thelenota anax*
3. *Thelenota rubralineata* (Setyastuti *et al.*, 2019;
Suryanti, 2019)



Gambar 7.10. *Thelenota ananas*
(Setyastuti *et al.*, 2019)

7.4 Habitat Teripang

Habitat adalah tempat hidup dari suatu organisme. Zona intertidal merupakan daerah pantai yang terletak antara pasang tertinggi dan surut terendah. Pada zona ini memiliki variasi faktor lingkungan yang terbesar, meliputi suhu, salinitas, intensitas cahaya, pasang surut, pH dan substrat, sehingga berpengaruh pada keanekaragaman jenis organisme yang cukup tinggi. Teripang tersebar di semua lautan mulai dari perairan dangkal sampai kedalaman 40 meter. Teripang banyak ditemukan pada substrat seperti pasir, pasir berlumpur, batu karang, dan juga pada vegetasi lamun serta alga (Prasojo, 2016). Beberapa jenis teripang memiliki

pola pergeseran habitat seiring dengan pertumbuhan. Pada fase juvenil (berukuran kecil), teripang memilih untuk berada di area lamun yang lebat atau di area yang terdapat banyak batuan atau pecahan karang mati agar terlindung dari arus pasang surut dan predator alami. Saat dewasa (berukuran besar), teripang akan bergerak ke area yang lebih dalam (Setyastuti *et al.*, 2019).

7.5 Adaptasi Teripang

Teripang secara umum hidup di alam dengan bergerombol, tetapi ada juga yang sendiri/soliter (Suryanti, 2019). Teripang bersifat nokturnal yaitu aktif bergerak dan mencari makan pada malam hari. Teripang akan muncul di permukaan dasar perairan pada malam hari terutama pada saat menjelang pasang. Teripang akan membenamkan diri dalam pasir atau di bawah batu dan karang pada siang hari (Prasojo, 2016; Suryanti, 2019). Teripang mempertahankan diri dengan mengerutkan badannya saat merasa terganggu. Teripang juga dapat mengeluarkan getah/benang putih yang lengket dan beracun untuk mempertahankan diri, sehingga dapat menjerat atau melumpuhkan predator (Prasojo, 2016).

7.6 Manfaat Teripang

Teripang dimanfaatkan sebagai salah satu sumber makanan yang cukup penting untuk manusia. Pada bidang ekologis, teripang berperan sebagai komponen dekomposer dalam rantai makanan (Prasojo, 2016). Selain itu, teripang juga sebagai sumber ekonomi karena memiliki nilai jual, serta sebagai salah satu *keystone species* atau biota kunci bagi keseimbangan ekosistem perairan dangkal (Setyastuti *et al.*, 2019). Teripang berperan dalam ekosistem perairan diantaranya sebagai berikut :

1. Memelihara dan meningkatkan kualitas sedimen.
2. Membersihkan sedimen untuk regenerasi dan mineralisasi permukaan sedimen.
3. Nitrat terlarut dan fosfat yang diekskresikan teripang ke sekitarnya dapat diserap oleh organisme didekatnya.

4. Mempunyai berbagai hubungan simbiosis yaitu menjadi inang bagi ektokomensalis, endokomensalis, dan parasit (Tuhumury, Suriani and Wakano, 2019).

7.7 Senyawa Bioaktif dan Aktivitas Farmakologi Teripang

Kandungan gizi dari teripang adalah protein, lemak, karbohidrat, fosfor, zat besi, yodium, natrium, vitamin A, vitamin B1 (tiamin), vitamin B2 (riboflavin), vitamin B3 (niacin), kalsium, magnesium, besi, seng, selenium, germanium, strontium, tembaga, mangan, molibdenum, dan unsur mikro lainnya yang bermanfaat bagi kesehatan manusia. Selain itu, teripang memiliki kandungan senyawa bioaktif diantaranya yaitu; kolagen, glikosida, polisakarida, glikosaminoglikan, N-asetilglukosamin, kondroitin sulfat, steroid, lektin, asam lemak omega-3 dan senyawa fenolik (Shujuan *et al.*, 2016; Maskur *et al.*, 2024).

Teripang memiliki aktivitas farmakologi yang beragam antara lain; antikanker, antikoagulan/antitrombotik, antimikroba, antioksidan, antihiperlipidemia, antihiperglikemik, antiinflamasi, antihipertensi, radioprotektif, imunomodulator, penyembuhan luka dan sebagai pengobatan penyakit Alzheimer dan Parkinson (Shujuan *et al.*, 2016).

Tabel 7. 1. Senyawa bioaktif

Teripang	Senyawa	Aktivitas	Pustaka
<i>Actinopyga</i>	Peptide hydrolysates, Holothurin A, Holothurin B	Antihipertensi, antioksidan, anticancer, antimikroba	(Khotimchenko, 2018; Xu, Zhang and Wen, 2018)
<i>Bohadschia</i>	Triterpene glycosides: argusides A, B, C, D, E; Galactocerebroside, marmoratoside A, impatienside A, 17α-hydroxy impatienside A,	Anticancer, antimikroba	(Khotimchenko, 2018; Xu, Zhang and Wen, 2018)

Teripang	Senyawa	Aktivitas	Pustaka
	bivittoside D		
<i>Holothuria</i>	Fucoidan, fenolic, Polysaccharides, Triterpene glycoside	Anticancer, antiinflamasi, antioksidan, antitrombotik, antidiabetik, antimikroba, hepatoprotektif	(Khotimchenko, 2018; Xu, Zhang and Wen, 2018; Liang <i>et al.</i> , 2022)
<i>Muelleria</i>	9-Hexadecenoic acid methyl ester (Z), Hexadecanoic Acid, Tetradecanoic Acid, Palmitic Acid, Stearic acid methyl ester, Tetratriacontane, Pentacosane, EPA/Omega, Stigmast-5-EN-3-OL, (3.Beta.,24S)-/gamma.-Sitosterol, Caryophyllene, Heneicosane, Docosane	Anticancer, antiinflamasi, inhibitor tiroid, antidiabetes, antimikroba, antioksidan dan hipokolesterol	(Yusuf <i>et al.</i> , 2020; Yusuf, Fitriani and Attahmid, 2021)
<i>Pearsonothuria</i>	Fucoidan, Holothurin A, Echinocide A	Anticancer, antidiabetes, antihiperlipidemia, antiinflamasi, antitrombotik	(Liang <i>et al.</i> , 2022)
<i>Stichopus</i>	Holotoxin A ₁ , Polysaccharides, Triterpene diglycosides, Enzyme hydrolysates, Cerebrosides, Collagen hydrolysates	Antioksidan, antitrombotik, anticancer, antiinflamasi, antidiabetes, antimikroba, antihiperlipidemia	(Khotimchenko, 2018; Xu, Zhang and Wen, 2018; Liang <i>et al.</i> , 2022)
<i>Synapta</i>	Synaptoside A, Synaptoside A ₁	Anticancer	(Mondol <i>et al.</i> , 2017)
<i>Thelenota</i>	Polysaccharides: fucosylated	Anticancer, antitrombotik,	(Khotimchenko, 2018)

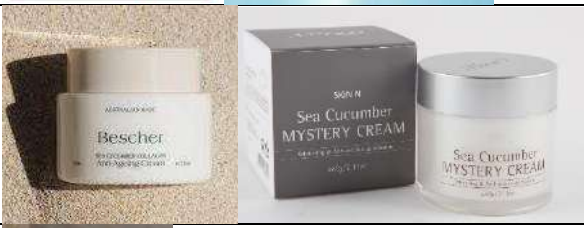
Teripang	Senyawa	Aktivitas	Pustaka
	chondroitin sulfate, Triterpene glycosides: stichoposide C, cucumarioside A2- 2, cucumarioside A4-2	antimikroba	

7.8 Produk dari Teripang

Manfaat produk dari teripang yaitu sebagai sumber makanan, membantu memelihara kesehatan tubuh, meningkatkan sistem imun. Selain itu, beberapa produk kosmetik dapat digunakan untuk menjaga kesehatan kulit. Berikut adalah beberapa produk olahan dari teripang yang terdapat dipasaran :

Tabel 7. 2. Produk yang terbuat dari teripang

Produk	Keterangan
	Keripik teripang - makanan
	Jelly teripang - suplemen
	Kapsul teripang - suplemen

Produk	Keterangan
	Masker wajah-kosmetik
	Krim - kosmetik
	Serum -kosmetik

DAFTAR PUSTAKA

- Firnando, A. (2022) 'Modul Taksonomi Invertebrata (Filum Echinodermata)', in *Skripsi*. Lampung: Fakultas Kedokteran dan Ilmu-ilmu Kesehatan Universitas Raden Intan Lampung.
- Hisam, L.M.F., Kusri and Taharu, F.I. (2022) 'Identifikasi Jenis-Jenis Teripang (Holothuroidea) Pada Zona Intertidal di Perairan Laut Kelurahan Gu Timur Kecamatan Lakudo Kabupaten Buton Tengah', *Jurnal Penelitian Biologi dan Kependidikan*, 1(1), pp. 1–10.
- Karnila, R. (2011) 'Pemanfaatan Komponen Bioaktif Teripang dalam Bidang Kesehatan', *Repository University of Riau*, pp. 100–114.
- Khotimchenko, Y. (2018) 'Pharmacological Potential of Sea Cucumbers', *International Journal of Molecular Sciences*, 19(1342), pp. 1–42. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms19051342>.
- Liang, Q. *et al.* (2022) 'In Vivo and Clinical Studies of Sea Cucumber-Derived Bioactives for Human Health and Nutrition From 2012-2021', *Frontiers in Marine Science*, 9, pp. 1–20. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.917857>.
- Maskur, M. *et al.* (2024) 'Bioactive Compound and Functional Properties of Sea Cucumbers as Nutraceutical Products', *Reviews in Agricultural Science*, 12, pp. 45–64.
- Matrutty, M., Wakano, D. and Suriani, S. (2021) 'Struktur Komunitas Teripang (Holothuroidea) di Perairan Pantai Desa Namtabung, Kecamatan Selaru, Kabupaten Kepulauan Tanimbar', *Jurnal TRITON*, 17(1), pp. 10–17.
- Maya, S. and Nurhidayah (2020) *Zoologi Invertebrata*. Bandung: Penerbit Widina Bhakti Persada.
- Mondol, M.A.M. *et al.* (2017) 'Sea Cucumber Glycosides : Chemical Structures , Producing Species and Important Biological Properties', *Marine Drugs*, 15(317), pp. 1–33. Available at: <https://doi.org/10.3390/md15100317>.
- Nastiti, I. (2015) 'Penentuan Jenis Kelamin Teripang *Phyllophorus dobsoni* di Selat Madura Periode Mei, Juni, dan Juli 2013.', in *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga.

- Prasojo, N.D. (2016) 'Keanekaragaman Holothuroidea di Zona Intertidal Tanjung Bilik Taman Nasional Baluran', in *Skripsi*. Jember: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Purwati, P. and Wirawati, I. (2009) 'Holothuriidae (Echinodermata, Holothuroidea, Aspidochirotida) Perairan Dangkal Lombok Barat Bagian I. Genus Holothuria', *Jurnal Oseanologi*, 2(1), pp. 1–25.
- Purwati, P. and Wirawati, I. (2011) 'Holothuriidae (Echinodermata, Holothuroidea, Aspidochirotida) Perairan Dangkal Lombok Barat Bagian II. Genus Actinopyga, Bohadschia, Pearsonothuria, Labidodemas', *Jurnal Oseanologi*, 3(1), pp. 1–10.
- Setyastuti, A. *et al.* (2019) *Teripang Indonesia*. Jakarta: PT. Media Sains Nasional.
- Shujuan, S. *et al.* (2016) 'Bioactive compounds of sea cucumbers and their therapeutic effects', *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 34, pp. 549–558.
- Sosiawan, T.G. and Mustalafin (2022) 'Studi Kelimpahan dan Sebaran Jenis Teripang (Holothuria sp.) di Pulau Kelapa Dua, Pulau Panjang Besar dan Panjang Kecil, Kepulauan Seribu', *Prosiding Simposium Nasional IX Kelautan dan Perikanan*, pp. 15–24.
- Suryanti (2019) *Buku Ajar Bioekologi Phylum Echinodermata*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Tuhumury, L., Suriani, S. and Wakano, D. (2019) 'Inventarisasi Teripang (Holothuroidea) di Desa Namtabung Provinsi Maluku', *Rumphius Pattimura Biological Journal* 41, 1(2), pp. 41–46.
- Xu, C., Zhang, R. and Wen, Z. (2018) 'Bioactive compounds and biological functions of sea cucumbers as potential functional foods', *Journal of Functional Foods*, 49, pp. 73–84. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.08.009>.

- Yusuf, M. *et al.* (2020) 'Phytochemical and antibacterial properties of sea cucumber (*Muelleria lecanora*) from Barrang Lompo Islands, Makassar South Sulawesi', *Food Research*, 4(6), pp. 1885–1895. Available at: [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(6\).187](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(6).187).
- Yusuf, M., Fitriani, N. and Attahmid, U. (2021) 'GC-MS analysis and antibacterial activity of the Sea cucumber (*Muelleria lecanora*) extract', *Journal of Biological Research*, 94, pp. 1–10. Available at: <https://doi.org/10.4081/jbr.2021.9765>.

BAB 8

SOFT CORAL (KARANG LUNAK)

Oleh Yanuar Pandu Pertiwi

8.1 Pendahuluan

Anggota filum Coelenterata merupakan binatang yang sederhana tubuhnya berbentuk seperti tabung dengan rongga perut di tengahnya. Mulut berfungsi juga sebagai anus. Lapisan jaringan tubuhnya terdiri dari tiga lapis yaitu ektoderm, mesoglea dan endoderm. Di dalam ektoderm terdapat sel mucus dan sel nematocyst yang masing-masing berfungsi sebagai alat pembersih dan alat pertahanan diri. Lapisan endoderm didalamnya terdapat zooxanthellae atau dinoflagellata yang bersel tunggal, yang merupakan simbiosis karang. Hampir seluruh anggota Coelenterata bersimbiosis dengan zooxanthellae. Mesoglea merupakan cairan hyaline yang didalamnya terdapat sel-sel syaraf dan lapisan luarnya terdapat sel-sel otot. Filum Coelenterata atau Cnidaria dibagi menjadi 3 kelas yaitu Hydrozoa, Scyphozoa dan Anthozoa. Kelas Anthozoa tidak mempunyai fase medusa dan hanya hidup di air laut. Kelas Anthozoa dibagi menjadi dua subkelas yaitu Octocorallia dan Zoantharia. Sub kelas Zoantharia dikenal dengan nama karang batu dan Octocorallia dikenal sebagai karang lunak (Soermorumekso, 2014).

Karang lunak dari subkelas Octocorallia adalah salah komponen penyusun terumbu karang di banyak tempat di dunia, baik pada perairan dangkal maupun perairan daerah tropis, subtropis, bahkan disekitar kutub. Istilah Octocorallia diidentikkan sebagai nama umum karang lunak, tetapi sebenarnya dari kelompok Octocorallia dimasukan tiga kelompok besar yaitu "*sea pen*", karang lunak (*soft coral*) dan gorgonian (*sea fan*). Nama lain Octocorallia adalah Alcyonaria. Kelompok Octocorallia merupakan salah satu anggota Coelenterata/Cnidaria yang berperan dalam pembentukan

terumbu. Sama halnya dengan karang batu, bentuk tubuh anggota Octocorallia berupa " polip" yaitu bentuk bunga kecil, namun berbeda dengan karang batu, dalam tekstur tubuhnya tidak memiliki kerangka yang keras tetapi berupa duri-duri kecil dari senyawa kalsium karbonat, yang tertanam dalam jaringan tubuhnya (Haris dan Rani, 2019)

Karang adalah hewan, meskipun bentuknya seperti tumbuhan dan memiliki banyak ciri yang sama. Karang lunak termasuk dalam filum Cnidaria (dari kata Yunani yang berarti " jarum penyengat ") dan kelas Anthozoa. Karang lunak memiliki tubuh lunak yang dapat bergerak dan mengalir mengikuti arus laut. Jika dilihat, karang lunak menyerupai tumbuhan yang anggota tubuhnya tertiuip angin, sedangkan karang keras menyerupai bebatuan. Karang lunak tidak memiliki kerangka kalsium karbonat yang keras seperti karang batu. Akibatnya, mereka tidak membangun terumbu karang. Sebaliknya, mereka tumbuh seperti pohon dan memiliki inti seperti kayu serta bagian luar yang lembut untuk perlindungan (Frey, 2022).

Pada karang lunak, polip membentuk struktur kecil dan runcing yang disebut sklerit yang membantu mempertahankan bentuknya. Terumbu karang yang besar dan ikonik terbentuk ketika banyak sekali polip berkumpul dan saling membangun menjadi koloni polip yang benar-benar bertindak sebagai satu organisme. Di dalam polipnya, banyak karang, baik keras maupun lunak, mengandung alga mikroskopis bersel tunggal yang disebut zooxanthellae yang melalui fotosintesis menghasilkan energi untuk karang inangnya. Beberapa spesies karang yang hidup di perairan dalam yang tidak terjangkau sinar matahari dapat bertahan hidup tanpa zooxanthellae karena mereka dapat memperoleh makanannya melalui *filter feeding* (Frey, 2022).

Karang lunak Octocorallia banyak mengandung berbagai golongan senyawa, seperti alkaloid, flavonoid, phenol hydroquinone , steroid, triterpenoid, tanin dan saponin dan banyak lagi turunan senyawa lainnya. Octocorallia dilaporkan memiliki bioaktivitas, dan sebagian besar menunjukkan sifat-sifat sebagai antioksidan, antibakteri, antivirus, antijamur dan antiinflamasi, serta memiliki sifat sitotoksitas terhadap tumor dan serangkaian sel kanker.

Keberadaan karang lunak Octocorallia di Indonesia sudah mulai dikaji dan diteliti. Akhir bab ini dipaparkan juga tentang bahan alam (*natural product*) yang berasal dari karang lunak Octocorallia, terutama terkait dengan senyawa bioaktif yang dihasilkannya dan potensinya sebagai sumber obat-obatan untuk penyembuhan penyakit pada manusia (Haris dan Rani, 2019).

8.2 Sistematika dan Taksonomi

Kelas anthozoa subkelas Octocorallia ini mencakup karang lunak gorgonian (kipas laut/*sea fans*, cambuk laut/*sea whips*), pena laut (*sea pens*), dan karang biru (*blue coral*). Octocorallia saat ini jumlahnya diestimasi sekitar 3000 spesies. Octocorallia memiliki delapan tentakel dan delapan meseteri pada polipnya. Semua Octocorallia memiliki polip koloni, kecuali pada *Taiaroa tauhou* dari kelompok pena laut yang memiliki polip tunggal (Haris dan Rani, 2019).

Pada saat ini penyusunan sistematika dan taksonomi Octocorallia didasarkan pada morfologi dan anatomi tubuhnya, terutama pada skleritnya yang sangat beragam. Dalam menentukan jenis Octocorallia suatu peneliti dengan peneliti yang lainnya mempunyai tingkatan yang berbeda karena tingginya keanekaragaman karakter-karakter untuk menggolongkan dalam satu takson tertentu. Sistematika Octocorallia menurut Rose (2009) adalah sebagai berikut (Haris dan Rani, 2019):

Subkelas Octocorallia

Ordo Alcyonacea

Subordo Calcaxonia (gorgonian)

Subordo Holaxonia (gorgonian)

Subordo Sleracxonia (gorgonian)

Subordo Alcyoniina (karang lunak yang sebenarnya)

Stolonifera (karang berstolon)

Ordo Helioporaceae/Caenothecalia (Karang biru)

Ordo Pennatulacea (pena laut dan bunga pansy laut/*sea pansies*).



Gambar 8. 1. Octocorallia memiliki delapan tentakel dan delapan meseteri pada polipnya (Fabricius dan Alderslade, 2001)

8.2.1 Ordo Alcynoceae

Pada saat ini berjalan ordo tunggal yaitu Alcyonaceae , yang sebelumnya secara historis mewakili empat ordo yaitu Alcynonacea, Gorgonacea, Stolonifera, Telestacea. Pada susunan terbaru kelompok empat ordo tersebut dibagi menjadi lima subordo yaitu Calcaxonia, Holaxonia, Sleracxonia, Alcyoniina, Stolonifera.

Subordo Calcaxonia, Holaxonia, Sleracxonia semuanya adalah gorgonia. Gorgonia adalah kelompok Octocorallia yang beranekaragam, memiliki kerangka terbuat dari gorgonian (protein berserat kompleks) dan atau kalsium karbonat. Rangka tubuhnya ditutupi dengan kulit seperti halnya karang lunak, dengan konsentrasi sklerit yang sangat tinggi dan polipnya benar-benar dapat tertarik masuk kedalam koenenkim.

Subordo Stolonifera terdiri dari karang yang tidak memiliki koenenkim atau yang disebut dengan karang “sederhana” biasanya menyerupai hydrozoa besar seperti genus Carijoa (sering disebut sebagai telestacea), tetapi juga meliputi karang pipa yang unik

(*Tubipora musica*). Alcyoniina adalah karang lunak yang sebenarnya dan karang ini termasuk Xeniidae, Nephtheidae, karang berdaging/*fleashy corals*. Karang-karang ini memiliki koenenkim, tebal berdaging dengan sclerites yang banyak di dalamnya. Koenenkim adalah jenis jaringan yang memungkinkan karang lunak untuk membentuk tubuhnya menjadi berbagai macam. Karang lunak ini memiliki polip siphonozooids, yang bertanggung jawab untuk memperbesar ukuran koloni dan untuk bereproduksi, polip gastrozooids untuk menangkap dan mencerna makanan.

8.2.2 Ordo Helioporacea

Ordo Helioporacea (karang biru) hanya berisi dua famili (Helioporidae dan Lithothelestidae) dan tiga genera. Octocorallia ini memiliki kerangka dari *aragonit fibrocrystalline* dan karakteristiknya berwarna biru yang berasal dari garam besi. Genus Heliopora sering disebut sebagai fosil hidup karena telah ada dalam bentuk umum yang sama sejak zaman kapur (Cretaceous).

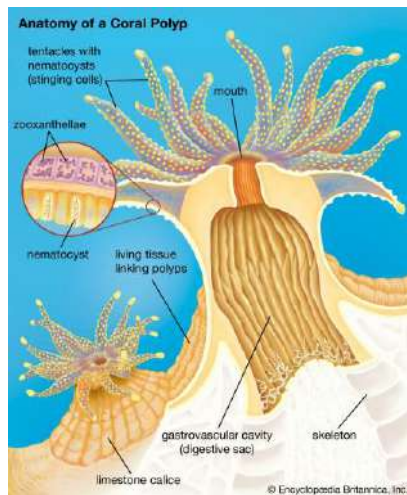
8.2.3 Ordo Pennatulacea

Ordo Pennatulacea terdiri dari empat belas famili mencakup sekelompok Octocorallia yang kompleks (terutama pena laut) yang mudah dibedakan dari clades Octocorallia lainnya. Struktur fisiologis pena laut sangat berbeda dari Octocorallia lainnya. Ordo Pennatulacea memiliki tiga jenis zooids, yaitu : (1) zooid primer membentuk sumbu pusat koloni yang disebut *rachis* dan memiliki akar seperti tangkai yang digunakan untuk jangkar koloni dalam sedimen. (2) gastrozooid adalah polip untuk menangkap dan mencerna makanan dan (3) siphonozooids berfungsi sebagai struktur asupan air. Pena laut menghuni perairan yang lebih dalam dengan kedalaman kurang atau lebih dari 2.000 meter, beberapa jenis menghasilkan Cahaya bioluminusens.

8.3 Morfologi

Sebelum mengenal Octocorallia atau karang lunak lebih lanjut, perlu diketahui beberapa istilah yang sering digunakan dalam pembagian bentuk – bentuk tubuh secara morfologis, sehingga

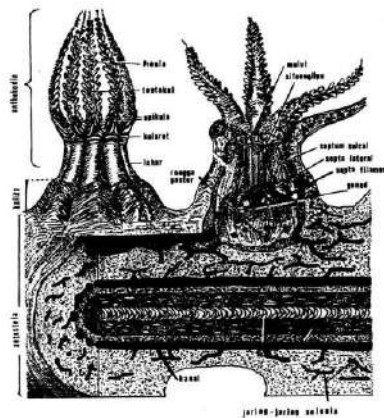
dapat terlihat perbedaan antara genus atau jenis yang satu dengan yang lainnya. **Polip** adalah individu atau binatang karang, kumpulan dari beberapa individu membentuk koloni karang (Haris dan Rani, 2019). Bagian polip yang menonjol ke dalam air membungkus suatu ruang yang disebut **rongga gastrovaskuler**, dan mempunyai dinding setebal 3 lapis. Ujung atas polip yang bebas mempunyai bukaan mulut yang terletak ditengah, dikelilingi oleh delapan **tentakel**. Tentakel ini memiliki ekstensi seperti jari di setiap sisinya, yang disebut **pinnules**, yang memberikan penampilan berbulu dan sangat mempertegas area permukaan dalam dan luar polip. Tentakel menyirip bersifat mobile dan kontraktile, tertutup rapat dengan sel sensorik atau kapsul penyengat, dan sering kali terdapat alga simbiosis. Jumlah pinnule per baris, dan jumlah baris pinnule disetiap sisi tentakel, bervariasi antar spesies. Pada beberapa spesies, pinnules sangat kecil sehingga hampir tidak terlihat, dan pada beberapa spesies yang baru ditemukan, yang belum dideskripsikan, pinnules tersebut menyatu (Fabricius, dkk., 2001).



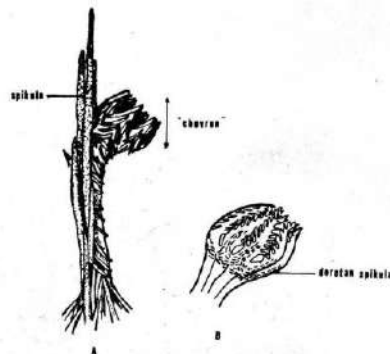
Gambar 8. 2. Anatomi Polip Coral (Britannica, n.d.)

Polip dapat dibagi menjadi tiga bagian besar yaitu **antokodia**, **kaliks** dan **antostela**. Antokodia merupakan bagian yang terdapat di permukaan koloni dan bersifat **retraktile**. Apabila antokodia ditarik ke dalam, maka yang nampak dari atas adalah pori-pori kecil seperti bintang. Bangunan luar dari pori-pori inilah

yang disebut kaliks. Pada antokodia ditemukan tentakel yang berjumlah delapan dengan deretan duri-duri di sepanjang sisinya. Duri-duri ini disebut **pinnules**, fungsinya untuk membantu mengalirkan air dan zat-zat makanan ke dalam mulut. Selain tentakel, ditemukan mulut (sifonoglifa) yang melanjutkan diri membentuk septa. Antokodia juga mengandung spikula yang letaknya berderet sampai ke ujung masing-masing tentakel.



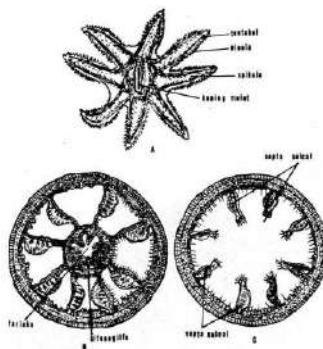
Gambar 8. 3. Penampang melintang polip karang lunak BAYER 1956 dalam (Manuputty, 1986).



Gambar 8. 4. A. Susunan spikula pada antokodia

B. Susunan spikula pada tentakel
HYMAN 1940 dalam (Manuputty, 1986)

Pada pangkal tentakel terdapat mulut yang berbentuk kepingan yang disebut stomodeum (Gambar 5A). Lanjutan mulut berupa saluran pendek disebut faring atau esofagus. Bagian dalam faring disusun oleh sel-sel epitel kelenjar dan sel-sel epitel kolumnar yang berflagela. Fungsi flagela untuk membantu mengalirkan air ke dalam rongga perut pada proses respirasi. Sel-sel epitel tadi tersusun sedemikian rupa sehingga bagian dalam faring berbentuk alur-alur yang disebut sifonoglifa (Gambar 5B). Bagian polip dimana sifonoglifa terletak disebut bagian ventral, sebaliknya yang berseberangan dengannya disebut bagian dorsal. Pada daerah kaliks ditemukan rongga gastrovaskuler atau rongga perut, terusan dari faring yang terbagi menjadi delapan dan disebut septa, benang-benang septa dan organ reproduksi atau gonad. Septa membagi rongga perut menjadi delapan ruangan. Ujung akhir septa menebal membentuk benang septa dan menggantung bebas di dalam rongga perut. Dua di antara delapan septa tadi lebih panjang dan melebar ke bagian basal polip, mengandung banyak flagela dan fungsinya untuk membantu menyalurkan air dan sisa-sisa makanan ke atas untuk dibuang ke luar. Sedangkan enam septa lainnya pendek-pendek, mengandung sel-sel kelenjar yang fungsinya membantu proses pencernaan makanan. Masing-masing septa mempunyai otot retraktor yang fungsinya membantu kontraksi antokodia (Manuputty, 1986).



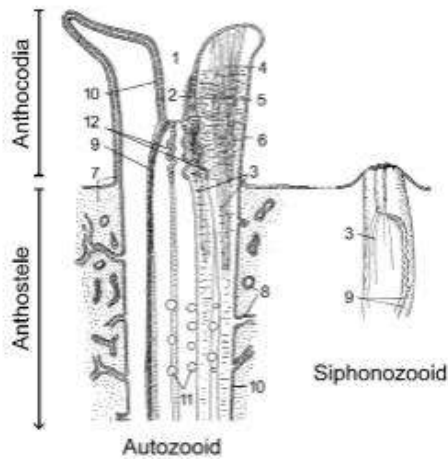
Gambar 8. 5. A. Penampang melintang keping mulut Alcyonaria. B. Penampang melintang melalui faring. C. Penampang melintang melalui bagian bawah faring. HYMAN 1940 dalam (Manuputty, 1986).

8.3.1 Morfologi Alyconacea

Kebanyakan Octocorallia hanya memiliki satu jenis polip, yaitu autozoid, yang pada sebagian besar kasus bertanggung jawab atas penangkapan dan reproduksi makanan. Spesies yang hanya memiliki satu jenis polip disebut monomorfis. Beberapa spesies, yang sebagian besar bentuknya lebih besar, disebut dimorfisme (dua bentuk) karena mempunyai jenis polip kedua yang disebut siphonozoid, yang lebih kecil dan tidak mempunyai tentakel. Autozoid pada dasarnya adalah struktur silinder atau tubular dengan mulut dan tentakel di salah satu ujungnya.



Gambar 8. 6. Struktur polip Octocorallia. A : dua autozoid dari *Clavularia* sp. (disini polip kecil yang matang dan baru bertunas, namun sudah berkembang sempurna). Tampilan sekitar 4 cm. B : *Lobophytum* sp menunjukkan banyak bukaan pada siphonozoid kecil sebagian titik-titik gelap disekitar dasar autozoid yang lebih besar dan berkembang sempurna. Tampilan sekitar 2,5 cm (Fabricius, dkk, 2001).

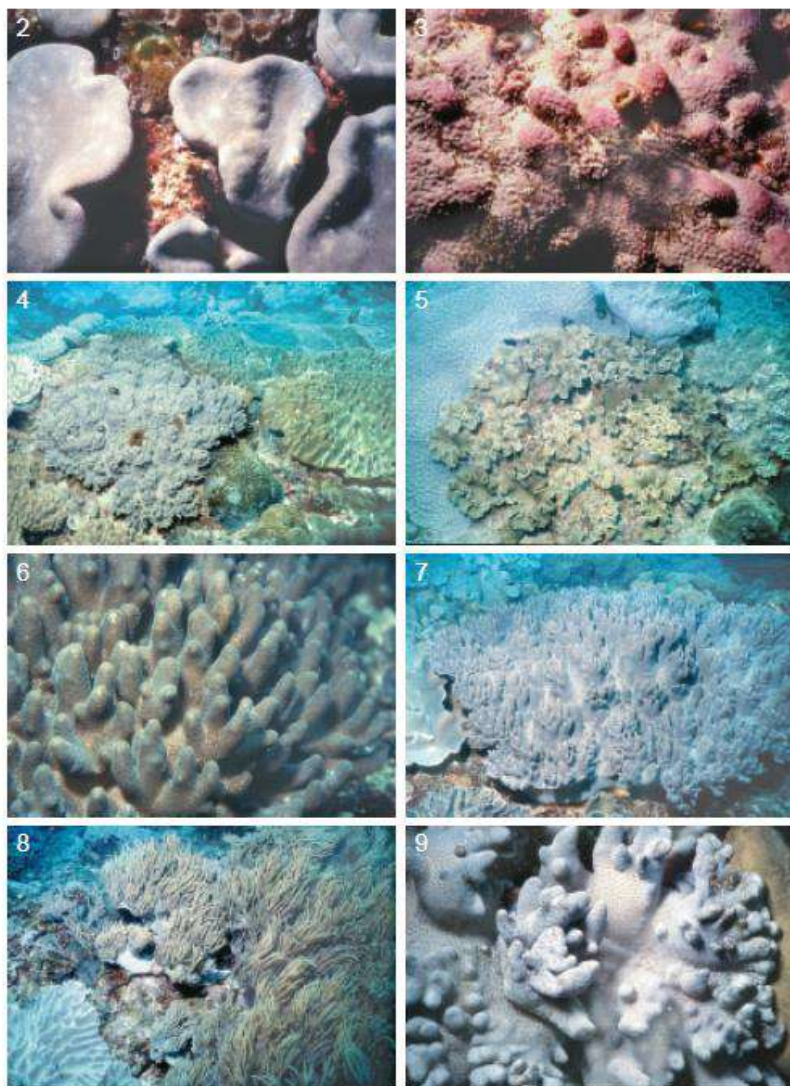


Gambar 8. 7. Penampang Vertikal Autozoid dan Siphonozoid (Fabricius dan Alderslade, 2001).

Keterangan :

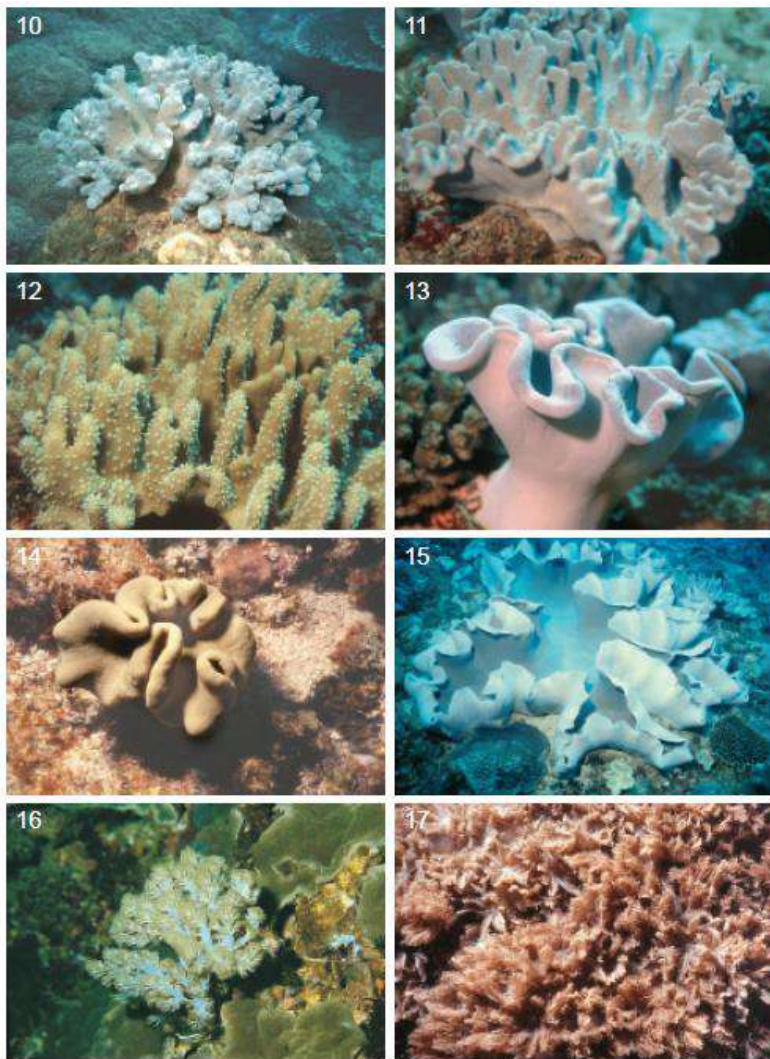
1. Farinks,
2. Sifonoglifa,
3. Septa ,
4. Otot penggerak Septa,
5. Serat mesenterial transversal,
6. Epidermis,
7. Mesoglea,
8. Solenia,
9. Mesentri asulkal,
10. Gastrodermis,
11. Gonad,
12. Filamen mesenterial

Berikut keanekaragaman spesies jenis karang lunak Octocorallia :
Alcynonaceae (Benayahu dkk., 2004) :



Gambar 8. 8. Koloni hidup dari 2. *Sarcophyton crassocaule*. 3. *Briareum excavatum* 4. *Sinularia* dan *Lobophytum*. 5.

***Sarcophyton* and *Sinularia*. 6. *Sinularia leptoclados*. 7. *Sinularia polydactyla*. 8. Agregasi dari *Sinularia flexibilis*. 9. *Cladiella australis* (Benayahu dkk., 2004).**



Gambar 8. 9. Koloni hidup dari 10. *Klyxum* 11. *Lobophytum crassum*. 12. *Lobophytum pauciflorum* 13. *Sarcophyton*

ehrenbergi 14. *Sarcophyton glaucum*. 15. *Sarcophyton infundibuliforme*. 16. *Cespitularia caerulea*. 17. *Anthelia glauca* (Benayahu dkk., 2004).



Gambar 8. 10. Koloni hidup dari 18. *Xeniidae* 19. *Clavularia inflata*. 20. *Capnella fungiformis* 21. *Lemnalia flava* 22. *Asterospicularia laurae*. 23. Koloni *Alcyoniidae*. 24. *Dendronephthya* sp. 25. *Chironephthya* sp (Benayahu dkk., 2004).

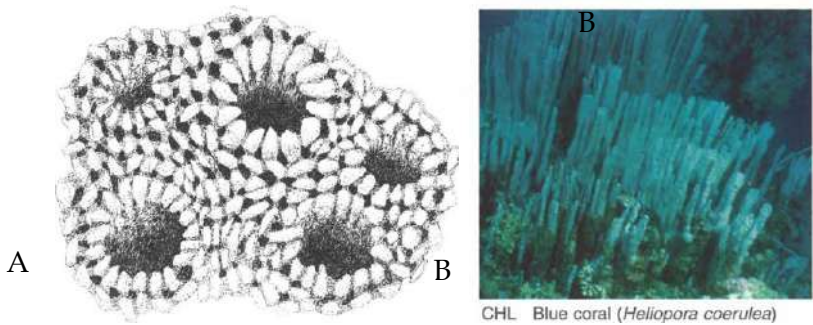
8.3.2 Morfologi Helioporacea

Ordo Helioporacea atau Coenothecalia hanya memiliki satu family, yaitu Helioporiidae, satu spesies, yaitu *Heliopora coerula*, dan dua subspecies yaitu, *Heliopora coerulea meandrina* dan *Heliopora coerula tuberosa*. *Helicopora coerula* tersebar di negara-negara tropis maupun subtropic, Australia, Indonesia, Malaysia, Iran, Amerika Serikat, Maladewa, Fillipina, Micronesia, Guam, dan Northern Mariana Islands.

Ordo Helioporacea direpresentasikan oleh spesies *Heliopora coerula*, yang berada dengan semua Octocorallia yang lainnya. Faktanya bahwa kerangkanya tidak tersusun dari spikula, tetapi dibentuk oleh suatu sekresi sel-sel pada suatu lapisan yang disebut *calicoblast*, yang berasal dari ectoderm. Corallum *Heliopora* berwarna biru, dan memiliki bentuk yang besar, tegak, berlobus, atau digitate, dan pipih dari sisi ke sisi. Permukaan berlubang-lubang besar dan halus. Lubang yang besar berbentuk rongga, yang disebut kaliks, yang dimana zooids tertancap/tertanam, dan lubang yang kecil yang jumlah sangat banyak berbentuk polygonal. Lubang yang kecil ini berisi tabung bercabang pendek, yang dikenal sebagai tabung koenenkim. Dinding kaliks dan tabung koenenkim berbentuk lempengan datar yang tersusun dari calcite, yang begitu dihilangkan terlihat bahwa dinding sebuah tabung masuk kedalam massa dinding tabung yang berdekatan, dan dinding kaliks dibentuk oleh dinding tabung koennkim yang berdekatan.

Struktur zooid *Heliopora* adalah tipikal zooid dari Octocorallia, yaitu septa yang memiliki delapan tentakel yang ber-pinnate. Walaupun struktur zooidnya sama dengan karang Madreporaria, tetapi berbeda dalam hal jumlah tentakel. Madreporania hanya

memiliki enam tentakel dan tidak berpinnate (Haris dan Rani, 2019).

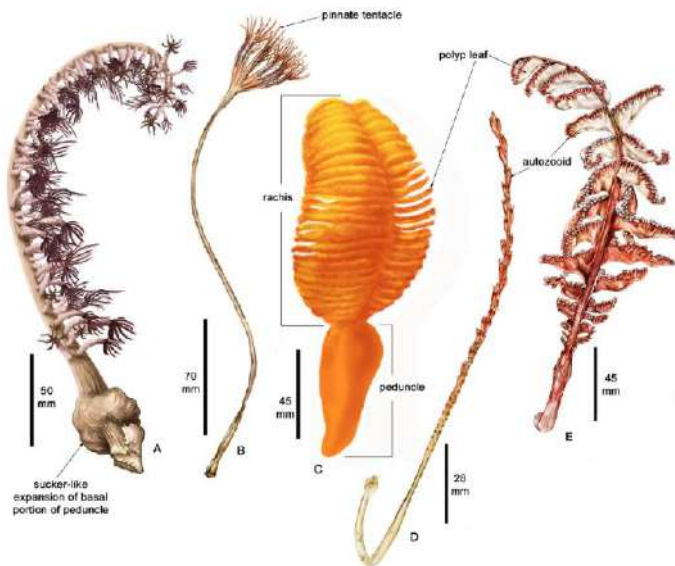


Gambar 8. 11. A: Bagian permukaan koloni *Heliopora coerulea* yang diperbesar, memperlihatkan lima kaliks dan dikelilingi tabung-tabung koenenkim(Colgan, 1984). B: Koloni Hidup dari *Heliopora coerulea*(English dkk., 1998).

8.3.4 Morfologi Pennatulacea

Pennatulacea adalah kelompok Cnidaria Octocorallia yang terspesialisasi dan berbeda secara morfologis . Tidak seperti Octocorallia lainnya, Octocorallia ini dibentuk oleh satu polip primer besar, yang juga dikenal sebagai polip inti atau oozoid. Polip primer melekat pada sedimen lunak melalui tangkai otot proksimal. Daerah distal polip primer membentuk tulang rusuk yang berisi beberapa atau banyak polip sekunder atau polip cabang, yang muncul secara lateral dari tulang inti yang tidak bercabang sebagai autozoid (polip makan yang lebih besar) dan siphonozoid (polip kecil untuk sirkulasi air). Beberapa spesies memiliki daun polip yang mencolok, sering kali merupakan perluasan seperti sayap berbentuk tali, yang dapat berisi banyak autozoid. Beberapa spesies, seperti *Pennatula inflata*, memiliki polip perantara dalam bentuk yang dikenal sebagai mesozoids. Nama umum “sea pen” dan nama grup “Pennatulacea”

berasal dari kemiripan spesies pada beberapa general seperti *Pennatula*, *Pteroeides*, dan *Virgularia* untuk pena bulu kepemilikan daun polip yang mencolok. Sklerit Pennatulacea (spikula), sebagian besar tidak menunjukkan keragaman bentuk dan ornamen yang besar, seperti pada *Octocorallia* lainnya, tetapi biasanya berupa gelendong bergelang tiga yang halus, terkadang berbentuk oval, atau pelat yang bentuknya tidak beraturan. Jaringan tipis kantung laut disebut koenenchim, dan seperti pada semua oktokoral, terdiri dari tiga lapisan: epidermis luar dan gastrodermis bagian dalam, dengan lapisan mesogleal di tengahnya. Mesoglea adalah tempat sklerit dibentuk oleh sel amoeboid khusus yang dikenal sebagai skleroblas. Secara internal, sebagian besar pennatulacea memiliki poros tengah yang terutama terdiri dari kalsium karbonat, yang membentang sebagian atau seluruhnya di sepanjang tubuh hewan, dan penampangnya berbentuk lingkaran atau segi empat. Beberapa pennatulacea tidak memiliki kapak, seperti pada *general Renila*, *Echinoptilum*, *Actinoptilum*, serta beberapa *veretillids* (Williams, 2011).



Gambar 8. 12. A. Anthoptilum sp. B. Umbellula lindahli. C. Ptilosarcus gurneyi. D. Protoptilum carpenteri. E. Pennatula sp (Williams, 2011).



Gambar 8. 13. Koloni Hidup pennatulaceans. A. Veretillum B. Pteroeides sp., C. Virgularia. D. Actinoptilum E. Scytalium. F. Sclerobelemnon sp. G. Cavernularia. H. Pennatula phosphorea. I. Umbellula (Williams, 2011).

8.4 Distribusi dan Habitat

Jenis-jenis *Octocorallia* hidup didaerah pasang surut sampai kedalaman 200 m. Umumnya syarat-syarat hidupnya sama dengan karang batu. Hewan ini menyukai perairan yang hangat atau sedang terutama di Indo-Pasifik. Ada beberapa jenis yang hidup sampai kedalaman 3.000 m, seperti pena laut *Pennatulacea*, karang mulia (precious corals) seperti karang merah dan merah muda (*corallium* spp), dan beberapa jenis karang gorgonian (Haris dan Rani, 2019).

Karang lunak merupakan salah satu komponen pembentuk terumbu karang, pemasok senyawa karbonat, dan juga berkontribusi bagi keanekaragaman hayati lautan. Karang lunak umumnya memiliki warna yang indah. Warna warni itu dihasilkan oleh alga simbiotik (*zooxanthellae*) yang hidup dalam jaringan tubuh karang yang menghasilkan warna hijau, kuning, coklat dan sebagainya. Potensi yang dimiliki karang lunak dapat dimanfaatkan sebagai objek wisata bawah laut. Pertumbuhan karang lunak dapat dipengaruhi oleh faktor kedalaman adapun, pengaruh kedalaman biasanya berhubungan dengan faktor lingkungan lain seperti cahaya, pergerakan air bahkan di beberapa tempat lainnya dengan suhu dan salinitas. Karang lunak dapat ditemukan mulai dari rata-rata terumbu sampai kedalaman 10 meter, melekat pada bekas atau patahan karang mati. Karang lunak sering menyebar pada kedalaman dibawah surut terendah menghindari proses pengeringan (Aban dkk., 2016).

Kepadatan karang lunak juga sangat dipengaruhi oleh kondisi parameter lingkungan pada suatu perairan. Batas kedalaman untuk pertumbuhan genus – genus karang lunak bertambah sejalan dengan bertambahnya tingkat kecerahan suatu perairan (Fabricius dan Alderslade, 2001). Kecerahan sangat diperlukan bagi karang lunak untuk mendapatkan intensitas cahaya matahari yang masuk ke perairan karena cahaya matahari dibutuhkan untuk proses fotosintesis pada *zooxanthellae* hal ini disebabkan semakin tinggi kecerahan maka semakin besar cahaya matahari yang masuk ke perairan. Batas minimum dan maksimum suhu berkisar antara 16 – 36 °C. Suhu yang mempengaruhi

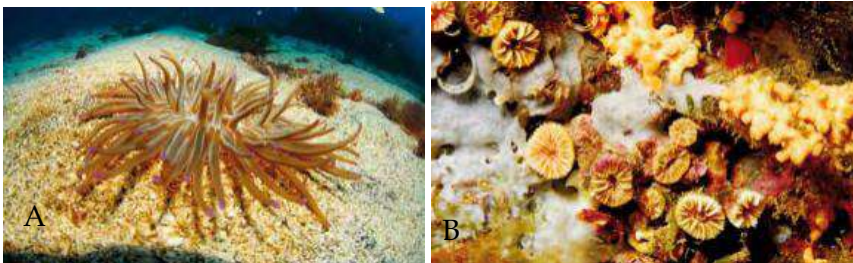
kepadatan karang lunak tidak hanya suhu yang ekstrem atau suhu minimum dan maksimum saja, namun disebabkan perbedaan suhu secara mendadak mengalami perubahan dari suhu alami baik itu diatas maupun dibawah dari suhu alami (Aban dkk., 2016).

Karang lunak rentan terhadap terjadinya abrasi, kehilangan habitat/tempat tinggal dan bentuk gangguan lain oleh badai gelombang dan pencampuran pergerakan dari pasir dan rubble. Genus karang lunak yang merayap seperti *Sinularia* atau *Cladiella* dan beberapa spesies lain, seperti *Capnella*, *Paralemnalia*, *Asterospicularia* dan *Xenia*, yang bisa mentoleransi aksi gelombang dan dapat ditemukan di daerah yang terlindung pada daerah reef flat pada daerah pecahnya ombak (Fabricius dan Alderslade, 2001).

Semua genus karang lunak ditemukan pada kedalaman 3 meter dan tidak ditemukan pada kedalaman 1 meter, hal ini disebabkan kedalaman 1 meter merupakan ekosistem yang berbatasan langsung pada daerah tepi pantai yang merupakan daerah pecahan ombak yang berhubungan dengan terjadinya abrasi pantai. Karang lunak sangat rawan terhadap abrasi yang diakibatkan oleh ombak. Kedalaman 1 meter merupakan daerah yang cepat mengalami proses kekeringan dibandingkan pada kedalaman 3 meter. Karang lunak banyak terdapat di kedalaman 3 meter, karena karang lunak sering menyebar pada kedalaman dibawah surut terendah menghindari proses pengeringan (Aban dkk., 2016).

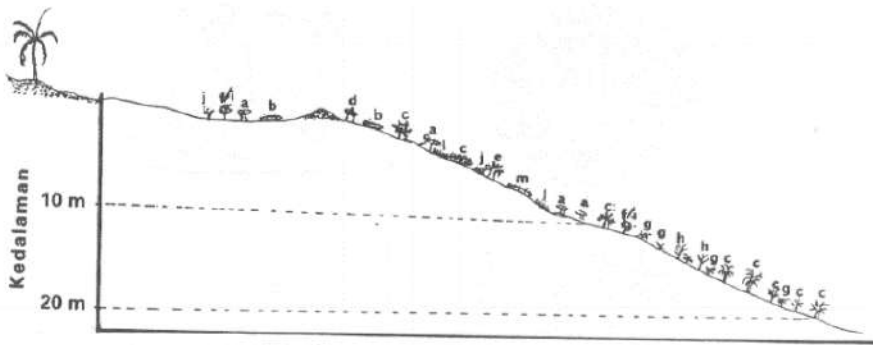
Karang menempel pada substrat yang berbeda membuat karang menjadi kolonisasi yang efisien, bahkan pada bebatuan dan dinding yang sangat curam. Dinding, dataran pantai, dan bebatuan tinggi merupakan tempat favorit bagi banyak spesies karang. Tidak semua karang menyukai sinar matahari. Beberapa dari mereka mencari gua atau cekungan untuk bertumbuh. Beberapa spesies telah menjadi terspesialisasi di habitat yang teduh. Diantaranya terdapat banyak spesies dendrophylliidas, mengingat sebagian besar spesies yang termasuk dalam genus ini tidak hidup berdampingan dengan alga simbiosis sehingga tidak membutuhkan

cahaya. Beberapa spesies juga hidup pada dasar atau pasir laut dan perairan yang dangkal (Aguilar, 2006).



Gambar 8. 14. A: Golden anemone (*Condylactis aurantiaca*) yang hidup didasar laut yang berpasir. B. *Polycyathus muellerae* yang hidup berasosiasi dengan batu dan dinding (Aguilar, 2006)

Zonasi vertical karang lunak terutama jenis atau genus yang sering dijumpai, umumnya tergantung pada profil tegak lurus, umumnya tergantung pada profil tegak lurus pantai dan kemiringan Pantai atau dasar laut. Untuk memudahkan, dibedakan atas rataaan terumbu, lereng terumbu atas, lereng terumbu tengah dan lereng bawah. Zonasi vertical genus karang lunak disajikan dalam gambar berikut (Manuputty, 1996).



Zonasi vertikal karang lunak (Octocorallia, Alcyonacea, Stolonifera).
a. *Sarcophyton*, b. *Lobophytum*, c. *Sinularia*, d. *Cladiella*, e. *Alcyonium*,
f. *Nephtea*, g. *Dendronephthya*, h. *Lemnalia*, i. *Capnella*, j. *Xenia*,
k. *Anthelia*, l. *Clavularia*, dan m. *Pachyclavularia*.

Gambar 8. 15. Zonasi Vertikal Karang Lunak (Manuputty, 1996)

8.5 Makanan dan Reproduksi

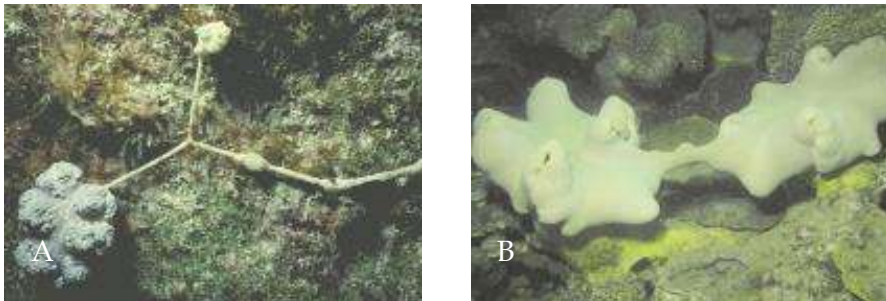
8.5.1 Makanan

Umumnya Octocorallia khususnya karang lunak, cara makannya holozoik. Mereka menangkap organisme planktonik dalam jumlah besar. Sejumlah krustasea kecil dan larva moluska selalu diketemukan di dalam rongga gastrovaskuler polipnya. Beberapa jenis dari suku *Xeniidae* dan jenis-jenis dari marga *Clavularia* dapat hidup bertahan lama walaupun sama sekali tidak mengambil makanan dari air laut. Jenis-jenis ini mengandung *zooxanthellae* dalam jumlah besar di dalam dinding gastrodermisnya. Bila tidak ada cahaya matahari atau dalam keadaan gelap, mereka cenderung mengalami nekrosis dan mati. Walaupun zat-zat makanan di sekelilingnya cukup banyak, mereka se- akan-akan tidak mempunyai kekuatan lagi untuk mencerna makanan. Jenis-jenis yang mengandung banyak *zooxanthella* dalam jaringan tubuhnya biasanya hanya mengandung sedikit nematosis, bahkan pada beberapa jenis tidak ditemukan sama sekali. Susunan pencernaan makanannya akan mengalami reduksi. Melimpahnya nematosis dan jaringan pencernaan yang berkembang

baik, biasanya berhubungan dengan *zooxanthella*. Sisa-sisa makanan akan dikeluarkan melalui mulut dengan bantuan flagella septa (Manuputty, 1986).

8.5.2 Reproduksi

Reproduksi karang lunak dapat secara asexual atau sexual. Reproduksi asexual dapat terjadi dengan jalan membentuk tunas. Polip karang lunak berhubungan satu dengan lainnya melalui saluran yang disebut jaring-jaring solenia yang terdapat di bagian basal tubuhnya. Dari jaringan solenia ini muncul tunas baru sebagai polip sekunder yang bentuk serta ukurannya berbeda dengan polip primer.



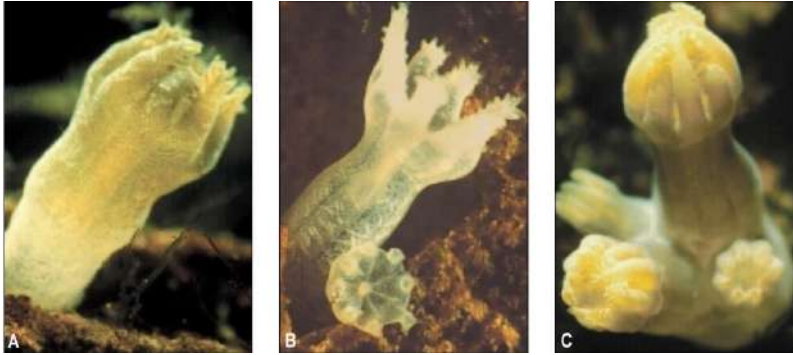
Gambar 8. 16. Perbanyakan aseksual pada Octocorallia. A : pembentukan stolon dan polip anak pada *Eflatounaria*. B: Pembelahan koloni di *Sarcophyton*(Fabricius dan Alderslade, 2001).

Reproduksi sexual terjadi dengan cara kawin. Sebagian besar karang lunak bersifat dioesius dimana alat kelamin jantan dan alat kelamin betina letaknya terpisah. Yang bersifat monoesius

biasanya hermaphrodit protandri. Sel-sel kelamin berasal dari lapisan endodermis, terdapat di dalam rongga gastrovaskuler berupa gelembung-gelembung kecil, bertangkai dan melekat pada septa. Septa yang ada alat kelamin hanya septa sulkal yang berjumlah enam sedangkan dua septa lainnya yaitu septa asulkal bersifat steril. Telur yang telah matang tetap melekat pada septa dan diliputi oleh lapisan gastrodemis yang tipis. Fertilisasi dapat terjadi di luar tubuh atau juga di dalam tubuh, dimana telur yang telah dibuahi tetap tinggal sampai menjadi planula, baru keluar ke dalam air laut. Peristiwa ini hanya terjadi pada jenis-jenis yang monoesius. Fertilisasi external terjadi bila telur dan spermatozoa dikeluarkan ke dalam air laut. Jenis *Alcyonium digitatum* melepaskan sel kelaminnya pada bulan Desember sampai Januari. Sedangkan *A. siderium* yang bersifat *hermaphrodit protandri* atau *monoesius*, hasil pembuahannya tetap di dalam tubuh sampai menjadi planula. Sedangkan jenis *Lobophytum crassum* melepaskan sel kelaminnya pada bulan Juni sampai Agustus (Manuputty, 1986).



Gambar 8. 17. Larva *Lobophytum compactum* yang dilihat dibawah mikroskop (Fabricius dan Alderslade, 2001)



Gambar 8. 17. Tahap awal pengumpulan dan pembentukan koloni pada karang lunak alcyoniid *Lobophytum compactum*. A dan B: Polip pendiri, C: tahap awal pertumbuhan polip (Fabricius dan Alderslade, 2001).

8.7 Manfaat Karang Lunak

Manfaat karang bagi kehidupan manusia secara langsung tidak terlalu besar namun manfaat secara tidak langsung dan manfaat secara ekologis sangat besar. Manfaat secara tidak langsung, terumbu karang berfungsi sebagai pelindung pantai dari hempasan ombak dan dapat dipakai sebagai sarana rekreasi karena keunikan dan keindahan panorama bawah laut. Sebagai bahan obat-obatan dan kosmetika, kandungan S 320 yang ada di karang merupakan bahan anti sinar UV. Manfaat karang secara ekologis adalah sebagai tempat bertelur, memijah dan membesarkan berbagai biota yang hidup berasosiasi dengan karang. Terumbu karang merupakan filter air laut yang terbesar yang dapat membersihkan berbagai zat organik maupun anorganik. Terumbu karang sebagai sumber bahan makanan bagi ikan dan biota lainnya. Karang juga dapat menyerap CO₂ dan dapat dipakai sebagai pencatat iklim masa lalu (Soermorumekso, 2014).

8.8 Peran Penting Karang Lunak Dalam Bidang Farmasi

Ahli farmakologi dan ahli biokimia yang mencari produk baru seperti obat-obatan atau anti-fouling menginvestasikan sumber daya yang besar dalam mengekstraksi bahan kimia bioaktif yang dihasilkan oleh Octocorallia. Bioproduk alami dari sejumlah Octocorallia (misalnya beberapa spesies *Sarcophyton* dan *Eleutherobia*) sedang diuji untuk menguji nilai farmakologisnya (Fabricius dan Alderslade, 2001). Kajian karang lunak dari beberapa wilayah menunjukkan potensi yang sangat beragam. Karang lunak merupakan salah satu sumber protein, karbohidrat terutama lemak yang potensial dan beberapa diantaranya telah diteliti mengandung substansi yang bersifat toksik. Senyawa atau substansi kimia tersebut merupakan hasil metabolit sekunder organisme hidup yang sering dikenal dengan natural product yang umumnya berupa terpenoid (Sahidin, dkk, 2016).

Spesies karang lunak dari genus *Sarcophyton*, *Sinularia*, dan *Lobophytum* merupakan spesies karang lunak yang paling banyak diteliti berhubungan dengan pemanfaatan senyawa aktifnya karena memiliki aktivitas biologis yang beragam. Mayoritas senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan oleh karang lunak memiliki aktivitas antiinflamasi kemudian diikuti dengan aktivitas antikanker atau sitotoksik, dan antibakteri (Pengukuhan dkk., 2023). Pada penelitian yang dilakukan (Putra dkk., 2016) pada salah satu genus *Lobophytum* menunjukkan aktivitas antioksidan, antibakteri dan antimalaria serta sitotoksitas pada Fraksi *Lobophytum*. Karang lunak yang termasuk dalam genus *Lobophytum* (Alcyoniidae) telah terbukti kaya akan cembranoid makrosiklik dan turunan sikliknya. Analisa kimia dari Fraksi menunjukkan adanya dari alkaloid, steroid, triterpenoid, flavonoid, saponin, terpenoid dan fenol. Beberapa laporan sebelumnya yang memiliki tingkat tinggi dalam memberikan aktivitas biologis seperti antinflamasi, aktivitas antimikroba, dan antivirus yaitu terpenoid. Sebagian besar terpenoid yang diisolasi dari senyawa diterpenoid atau cembranoid, yang ditemukan dalam konsentrasi tinggi (hingga 5% berat kering)

di karang lunak dan mungkin memiliki peran pertahanan kimia terhadap predator seperti ikan serta mikroorganisme dan lainnya karang. Pada penelitian ini juga menunjukkan Aktivitas antioksidan dan sitotoksitas dari fraksi *Lobophytum*.

Dilaporkan bahwa karang lunak *Nepthea* mempunyai aktivitas biologis antioksidan sitotoksik. Secara kualitatif, terpenoid, alkaloid, dan fenolat merupakan senyawa yang dihasilkan oleh *Nepthea*. Namun sebagai senyawa yang terdapat pada *Nepthea* adalah terpenoid, khususnya seskuiterpen dan diterpene. Jumlah terpenoid yang terdksi pada *Nepthea* sebanding dengan yang ditemukan pada karang lunak lainnya seperti *sarcophine* dan terpenoid dari *Lobophytum crissum* (Sahidin dkk., 2023).

Karang lunak *Sinularia siasensis* ini menunjukkan bahwa mengurangi peradangan dan osteoklastogenesis secara in vitro. Hasilnya menunjukkan bahwa ,senyawa 8-epoxy-11-sinulariolide acetate pada *Sinularia siasensis* secara signifikan menghambat peradangan sel RAW264.7 yang diinduksi lipopolisakarida (LPS) dan menekan aktivator reseptor untuk ligan

nuklir- κ B (RANKL) yang memicu osteoklastogenesis. Senyawa 8-epoxy-11-sinulariolide acetate secara signifikan menurunkan regulasi ekspresi protein iNOS, COX-2, dan TNF- α dengan menghambat jalur NF- κ B/MAPK/PI3K dan mengurangi pelepasan spesies oksigen reaktif (ROS) pada makrofag RAW264. Selain itu, senyawa 8-epoxy-11-sinulariolide acetate secara signifikan menghambat diferensiasi osteoklas dan menekan ekspresi penanda spesifik osteoklas seperti protein NFATC1, MMP-9, dan CTSK (Ke dkk., 2024).

Karang lunak dari genus *Xenia* (keluarga Xenidiidae) telah terbukti kaya akan terpenoid, terutama beberapa diterpen dengan bioaktivitas yang menjanjikan. Senyawa ini menunjukkan potensi aktivitas antitumor, anti bakteri dan antijamur. Diterpen diekstraksi dari *Xenia* telah menunjukkan aktivitas menginduksi Apoptosis dan diterpenoid dari *X.umbellata* telah menunjukkan sitotoksitas terhadap sel kanker. Steroid diisolasi dari *Petasis Umbellulifera*, yaitu Petasitosteron A, Petasitosteron B dan spirosteroid Petasitosteron C

telah menghambat proliferasi panel terbatas garis sel kanker dan aktivitas anti-inflamasi untuk menghambat produksi oksida nitrat (NO)₂ (Kasimala dkk., 2020).

Heteroksenia spesies juga memiliki berbagai senyawa bioaktif. Berbagai data spektral *H. fuscescens* telah mengkonfirmasi adanya 6-Hydroxy - α - Muurolene yang mempunyai potensi aktivitas antibakteri dan antijamur; 1-Nonadecyloxy-2,3-propanediol dan N-Hexadecanoyl-2-amino 4,8-octadecadiene-1,3-diol telah menunjukkan aktivitas sitotoksik terhadap berbagai lini sel tumor manusia. Seiring dengan senyawa ini ekstrak etanol spesies *Heteroksenia* telah melaporkan keberadaan Gorgosten-5(E)-3 β -ol, (+)- α -Muurolene dan Sarcoaldosterol-A yang telah menunjukkan aktivitas antioksidan, antipiretik, antiglikemik, dan anti-inflamasi (Kasimala dkk., 2020).

Tabel 1. Senyawa yang menghasilkan aktivitas farmakologis dalam dekade terakhir dari spesies cnidaria dalam ordo Alcyonacea (karang lunak), kelas Anthozoa (Rocha dkk., 2011).

DAFTAR PUSTAKA

- Aban, P.T., Pesona, T., Dan Rebo, D.A.N. 2016. Pola Sebaran Karang Lunak (Soft Coral) Terhadap Kedalaman Yang Berbeda Di Pantai Turun Aban, Tanjung Pesona Dan Rebo **10**: 14–21.
- Aguilar, R. 2006. The Corals Of The Mediterranean. *Oceana*, 1–86.
- Benayahu, Y., Jeng, M.S., Perkol-Finkel, S., Dan Dai, C.F. 2004. Soft Corals (Octocorallia: Alcyonacea) From Southern Taiwan. II. Species Diversity And Distributional Patterns. *Zoological Studies*, **43**: 548–560.
- Colgan, M.W. 1984. The Cretaceous Coral *Heliopora* (Octocorallia, Coenothecalia)—A Common Indo-Pacific Reef Builder 266–271.
- English, S., Wilkinson, C., Dan Baker, V. 1998. Survey Manual For Tropical Marine Resources. Second Edition. *Survey Manual For Tropical Marine Resources. Second Edition*, .
- Fabricius, K. Dan Alderslade, P. 2001. Soft Corals And Sea Fans : A Comprehensive Guide To The Tropical Shallow Water Genera Of The Central-West Pacific, The Indian Ocean And The Red Sea. Australian Institute Of Marine Science, Australia.
- Frey, M. 2022. 'All About Soft Corals', *Ocean Conservancy*. Url: <https://oceanconservancy.org/blog/2022/08/11/soft-corals/>.
- Haris, A. Dan Rani, C. 2019. Karang Lunak Anthozoa: Octocorallia, Dalam: *Karang Lunak*. Deepublish, Yogyakarta.
- Kasimala, M., Babu, B.H., Awet, B.A., Henok, G.G., Haile, A.H., Dan Hisham, O.M. 2020. A Review On Bioactive Secondary Metabolites Of Soft Corals (Octocorallia) And Their Distribution In Eritrean Coast Of Red Sea. *Indian Journal Of Geo-Marine Sciences*, **49**: 1793–1800.

- Ke, L.M., Yu, D.D., Su, M.Z., Cui, L., Dan Guo, Y.W. 2024. In Vitro Insights Into The Role Of 7,8-Epoxy-11-Sinulariolide Acetate Isolated From Soft Coral *Sinularia Siaesensis* In The Potential Attenuation Of Inflammation And Osteoclastogenesis. *Marine Drugs*, **22**: .
- Manuputty. 1986. Karang Lunak, Salah Satu Penyusun Terumbu Karang **Xi**: 131–141.
- Manuputty, A.E.. 1996. Pengenalan Beberapa Karang Lunak.Pdf. *Oseana*, .
- Pengukuhan, O., Riset, P., Kesehatan, B.B., Putra, M.Y., Riset, B., Dan Inovasi, D.A.N. 2023. *Keanekaragaman Senyawa Bahan Alam Dari Invertebrata Laut Indonesia Dan Potensinya Sebagai Bahan Baku Obat*.
- Putra, M.Y., Murniasih, T., Swasono, R.T., Wibowo, J.T., Saputri, A.N.C., Widhiana, M.R., Dkk. 2016. Secondary Metabolites And Their Biological Activities In Indonesian Soft Coral Of The Genus *Lobophytum*. *Asian Pacific Journal Of Tropical Biomedicine*, **6**: 909–913.
- Rocha, J., Peixe, L., Gomes, N.C.M., Dan Calado, R. 2011. Cnidarians As A Source Of New Marine Bioactive Compounds - An Overview Of The Last Decade And Future Steps For Bioprospecting. *Marine Drugs*, **9**: 1860–1886.
- Sahidin; Sadarun, Baru; Fristiohady, Adryan; Wahyuni; Yodha, A.W.M. 2016. *Karang Lunak Sulawesi Tenggara Mengenal Aspek Kimia Dan Farmasi*. Eureka Media Aksara.
- Sahidin, I., Sadrun, B., Rahmatika, N.S., Yodha, A.W.M., Fristiohady, A., Sundowo, A., Dkk. 2023. Phytochemical Screening And Antioxidant And Cytotoxic Activities Of Ethyl Acetate Subfractions Of Soft Coral *Nephtea* Sp. Growing In Southeast Sulawesi. *Journal Of Applied Pharmaceutical Science*, **13**: 99–105.

Silurian Coral-Stromatoporoid Community N.D. . *Encyclopædia Britannica*, .

Soermorumekso, S. 2014. *Biodiversitas Biota Laut*.

Williams, G.C. 2011. The Global Diversity Of Sea Pens (Cnidaria: Octocorallia: Pennatulacea). *Plos One*, **6**: .

BAB 9

HARD CORAL

Oleh Ida Suskawati

9.1 Pendahuluan

Sebaran terumbu karang di Indonesia diperkirakan berkisar 750.000 ha. Namun sebenarnya banyak pulau di Indonesia yang mempunyai fringing reef berada beberapa kilometer dari tepi pantai. Terumbu karang merupakan sumber daya alam hayati yang sangat penting di Indonesia, baik dipandang dari aspek ekonomis maupun ekologi. Ekosistem terumbu karang merupakan bagian dari ekosistem laut karena menjadi sumber kehidupan bagi beraneka ragam biota laut. Kondisi sekarang maupun perkembangannya dari waktu ke waktu perlu selalu dimonitoring dan perlu dilakukan penelitian (*assessment*). Monitoring terhadap terumbu karang harus senantiasa dilakukan secara benar dan tepat untuk dapat diambil kesimpulan yang diperlukan dalam mengambil kebijakan dan langkah-langkah strategis terutama bagi pengelola dan pihak terkait lainnya (Ihsan *et al.*, 2019).

Kawasan terumbu karang merupakan kawasan khas yang terdapat di wilayah pesisir tropis. Pada dasarnya terumbu karang terbentuk dari endapan-endapan kalsium karbonat (CaCO_3) yang dihasilkan oleh organisme karang pembentuk terumbu (karang hermatif) dari filum *Cnidaria*, ordo *Scleractinia* yang hidup bersimbiosis dengan *zooxantellae* dan sedikit tambahan dari *algae* berkapur (*Crustose coralline algae*) serta organisme lain yang menyekreasikan kalsium karbonat. Terumbu karang merupakan salah satu ekosistem di bumi yang paling produktif dan kaya hayati serta memiliki banyak fungsi ekologis antara lain sebagai habitat (tempat tinggal), tempat mencari makan (*feeding ground*), tempat

asuhan dan pembesaran (*nursery ground*), sebagai pemikat (*attractant*) organisme laut untuk meningkatkan efisiensi penangkapan dan menjaga keseimbangan siklus rantai makanan (Suryatini and Rai, 2020).

Hard coral atau karang keras berasal dari ordo *Scleractinia* dan sub kelas *Octocorallia* (kelas Anthozoa). Karang keras (*Scleractinia*) dikenal sebagai salah satu jenis karang pembentuk terumbu dan pada umumnya *Scleractinia* mampu mendeposit kapur (CaCO_3) yang berguna sebagai kerangka hewan karang. Terumbu karang dikenal sebagai suatu komponen yang memiliki peranan penting bagi ekosistem perairan. Terbentuknya terumbu karang merupakan proses yang lambat dan kompleks. Proses terbentuknya terumbu karang dimulai dengan penempelan biota penghasil kapur, pembentuk utama terumbu karang adalah *Scleractinia* atau karang batu kapur dimana sebagian besar dari karang tersebut mempunyai alga bersel tunggal yang terletak didalam endodermnya. Biota tersebut adalah zoo xanthela (Polapa *et al.*, 2021).

Karang termasuk kelompok hewan avertebrata sederhana, berbentuk hanya seperti tabung yang dilengkapi tentakel yang tersusun dalam bentuk melingkar di sekitar mulut untuk menangkap makanan.

9.2 Klasifikasi

Kebanyakan karang batu akan memperpanjang tentakelnya dengan cara memakan zooplankton. Meskipun beberapa spesies karang adalah colonial namun karang scleractinia dapat dipilah secara morfologi berdasarkan apakah mereka hidup sebagai individu atau sebagai koloni yang terdiri dari banyak polip. Kerangka polip *scleractinia* dikenal sebagai *corallite*. *Scleractinia* individu menghasilkan polip yang terpisah masing-masing dengan dinding coralite sendiri-sendiri.

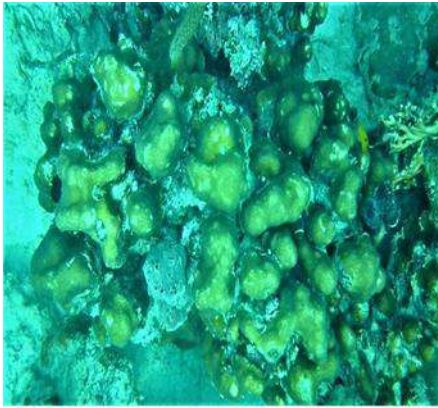
Pengelompokan hewan karang dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu

a. *Hermatypic*

Sekelompok karang yang dapat membentuk terumbu karang. dalam kehidupannya, kelompok ini mempunyai hubungan simbiosis dengan mikroalga *zooxanthellae*. artinya hewan golongan ini hanya bisa ditemukan di perairan dangkal, hingga kedalamannya sekitar 70 meter, yang masih terdapat cahaya dari *zooxanthellae* yang hidup di dalam tubuhnya. karang diperbolehkan berfotosintesis di sana seperti pada Gambar 1a.

b. *Ahermatypic*

merupakan anggota keluarga karang yang tidak dapat membentuk terumbu karang. kelompok jenis *aherma* tidak bergantung pada cahaya dan hidup di perairan dalam. kebanyakan karang *atermal* tidak mengandung *zooxanthellae*, dan *zooxanthellae* adalah karang kolonial atau soliter, beberapa di antaranya terdapat di lautan beriklim sedang dengan perairan tropis dan lainnya dengan perairan tropis seperti pada Gambar 9.1b.



a)

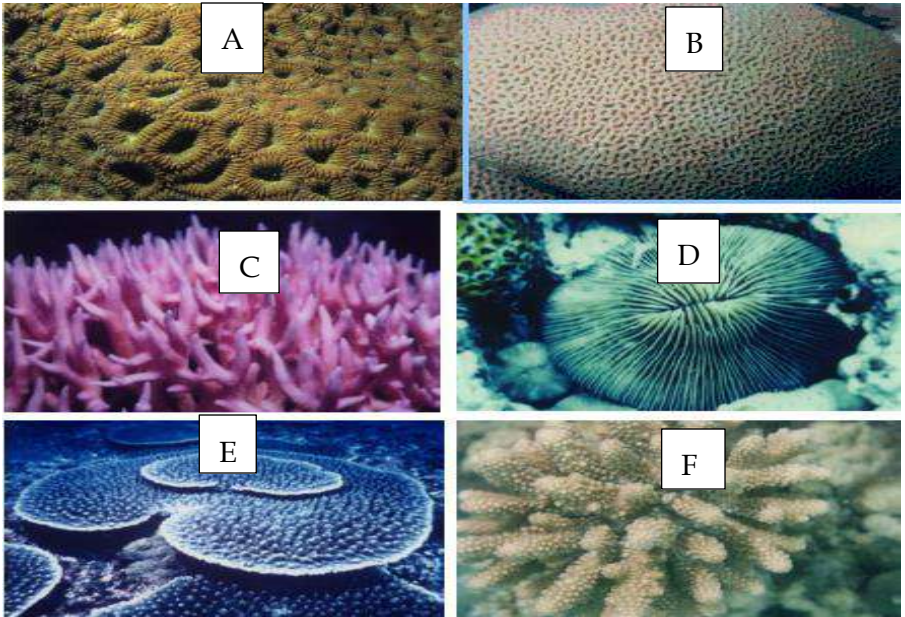


b)

Gambar 9. 1. (a) Hermatypic, (b) Ahermatipic

Berdasarkan cara hidupnya karang Scleractinia dibagi dalam dua kelompok yakni:

- a. Hidup berkoloni
Individu karang dalam bentuk berkoloni disebut polyp (polip). Kelompok karang berkoloni secara garis besarnya dapat dibagi kedalam empat bentuk yakni bentuk massive, bentuk bercabang (*branching*), foliaceous dan bentuk encrusting. Sebagian besar karang hidup dalam bentuk berkoloni (Capasso *et al.*, 2022)
- b. Hidup dalam bentuk soliter
Karang dalam bentuk soliter merupakan kelompok kerang yang hanya terdiri dari satu polip atau berpolip tunggal



Gambar 9. 2Tiga bentuk koloni karang. A, *Montastrea valenciennesi*, B, *Platygyra sinensis*, C, *Seriatopora hystrix*, dan D, *Fungia (Verrillofungia) concinna*. A dan B (bentuk massive), C (bentuk bercabang), D, tipe soliter, E) bentuk tabulate, dan F) bentuk digitate. A, B, C, E dan F jenis karang tipe berkoloni.

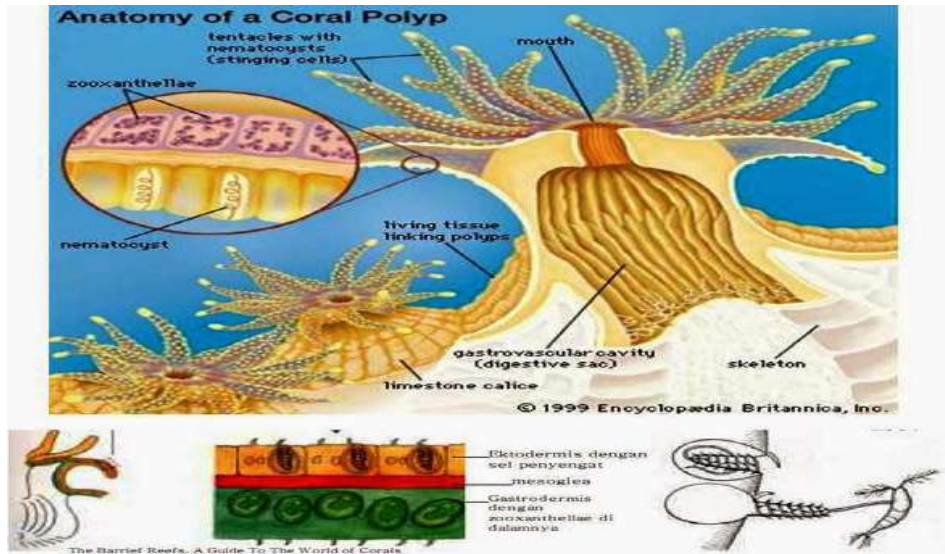
9.3 Komposisi Spesies

Komposisi spesies dengan proporsi tertinggi adalah spesies karang *Montipora samarensis*, *Montipora stellata* dan *Favites abdita*, dengan persentase yaitu 48%, 13%, dan 10% (Gambar 3). (Luthfi, 2018) mengatakan bahwa Genus *Montipora* memiliki sistem reproduksi secara seksual dengan mode spawner atau melepaskan telur dan sperma secara bersamaan, sehingga akan terjadi pembuahan dalam waktu kurang dari 24 jam. Setiap polip akan menghasilkan 11 telur dalam 3 hari dan dalam waktu 3-7 hari akan terbentuk planula yang nantinya akan

menempel pada substrat yang tepat. Hal tersebut menyebabkan melimpahnya Genus *Montipora* karena proses reproduksi yang tidak memakan waktu lama dan menghasilkan banyak calon coral dalam sekali pembuahan. Hal serupa dilaporkan (Luthfi, 2003) bahwa karang massive seperti *Favia abdita*, *Favia speciosa*, dan *Porites lobata* juga paling banyak ditemukan di daerah intertidal (reef flat) Pulau Panjang.

9.4 Anatomi Dan Morfologi

Karang keras (Hard coral, bangsa *Scleractinia*) merupakan invertebrate laut sesil yang memiliki kekerabatan yang sangat dekat dengan anemone (bangsa *Actinaria*). Secara taksonomi, karang keras tergolong dalam anak kelas Hexacorallia dari kelas Anthozoa, filum Cnidaria, kingdom Animalia. Karang keras umumnya hidup berkelompok dan membentuk suatu koloni karang, terkecuali pada beberapa marga karang keras dari suku fungiidae yang hidup soliter (Loupatty *et al.*, 2023). Individu karang keras disebut polip karang yang merupakan individu dipoblastik sederhana dan tampak seperti anemone kecil dengan susunan tentakel membentuk cincin bersimetri 6 melingkari bagian mulut polip (Yuniartika, 2022). Seluruh individu karang keras dalam koloni terhubung satu sama lain oleh jaringan hidup coenenchyme dan kanal-kanal gastrovaskular, sehingga mereka dapat saling melakukan pertukaran nutrisi antar polip. Ilustrasi anatomi dan morfologi karang keras seperti Gambar 3.



Gambar 9. 3. Anatomi dan morfologi polip karang keras (Pamacca, 2014)

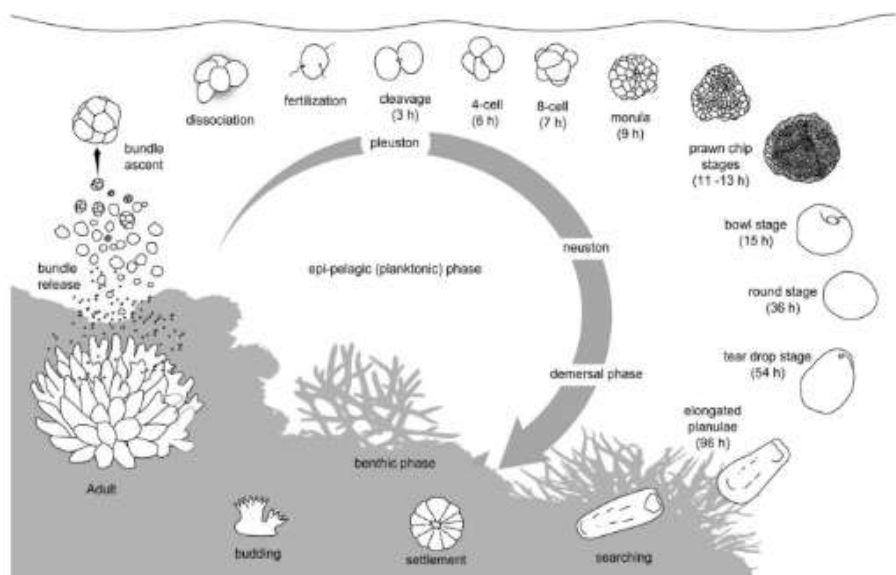
Mayoritas karang ordo *Scleractinia* mampu menyekreasikan rangka eksternal berbahan kalsium karbonat dan disebut sebagai karang hermatypic, sedangkan karang ordo *Scleractinia* yang tidak mampu mensekresikan rangka eksternal berbahan kalsium karbonat dinamakan ahermatypic. Rangka karang berfungsi sebagai alat perlindungan diri, dimana polip karang akan bersembunyi dalam rangka karang apabila terancam.

9.5 Reproduksi

Karang memiliki tipe reproduksi seksual dan aseksual. Reproduksi seksual dan aseksual memberikan kelebihan dan kekurangan tersendiri bagi karang. Reproduksi aseksual umumnya terjadi ketika koloni telah mampu beradaptasi secara lokal dengan lingkungan. Reproduksi aseksual dilakukan dengan cara fragmentasi (pembelahan). sedangkan reproduksi seksual secara alami ditujukan untuk menghasilkan koloni dengan genetic yang bervariasi sehingga

mudah beradaptasi, untuk reproduksi seksual dilakukan dengan pembentukan gamet melalui peristiwa gametogenesis. Dalam proses reproduksi dapat dipengaruhi oleh faktor dari dalam dan dari luar. Faktor dari dalam biasanya berupa pengumpulan nutrisi dan adanya kontrol hormone. Factor dari luar biasanya berhubungan dengan adanya perubahan lingkungan seperti adanya perubahan temperature, salinitas, pencahayaan, letak geografis dan pengaruh peredaran bulan. Waktu dan pola reproduksi dapat terjadi secara ritmis atau sporadic. Reproduksi secara ritmis dapat terjadi sepanjang tahun atau dalam waktu tertentu (Suharsono, 1984)

Kemungkinan besar scleractinia dari leluhur Paleozoikum dengan tubuh lunak. Kalsium karbonat terdapat pada semua kerangka scleractinia modern yang berupa bentuk Kristal aragonite. Namun karang keras biasanya meletakkan kalsium karbonat tergantung pada spesiesnya, tetapi beberapa spesies yang bercabang dapat bertambah tinggi atau panjang sekitar setahun akan bertambah kira-kira 10 cm.



Gambar 9. 4. Siklus reproduksi karang keras (Ihsan *et al.*, 2019)

9.6 Family Pada Scleractinia

9.6.1 Family Acroporidae

Acropora adalah genus karang *Scleractinian* yang termasuk dalam filum Coelenterata. Beberapa spesies dikenal sebagai karang meja, karang cabang dan karang elkhorn. Saat ini 149 spesies telah dideskripsikan. *Acropora* adalah salah satu komponen utama terumbu karang dan bertanggung jawab untuk membangun substruktur kalsium karbonat besar yang menopang cangkang tipis karang yang hidup. Salah satu jenis *acropora* adalah *Acropora acuminata*.

Habitat *Acropora acuminata* ditemukan di daerah atas atau bawah lereng karang yang jernih ataupun keruh. Wilayah yang terdapat *Acropora acuminata* antara lain Australia, Laut merah, Indo-Pasifik tengah, Jepang, Samudra hindia Utara, Laut Cina timur, Asia Tenggara dan Samudra Pasifik barat.

Klasifikasi ilmiah:

Kingdom	: Animalia
Filum	: Coelenterata/Cnidaria
Kelas	: Anthozoa
Sub Kelas	: Zhantaria
Ordo	: Scleractinia
Famili	: Acroporidae
Genus	: <i>Acropora</i>
Spesies	: <i>Acropora acuminata</i>

Contoh terumbu karang dari Genus *Acropora* antara lain: *Acropora palifera* (Gambar 9.5)



Gambar 9. 5. *Acropora palifera*

9.6.2 Famili Fungidae

Beberapa famili dari fungidae sebagai berikut:

Fungia sp

Karang dalam genus ini berbentuk soliter, tegak dan pipih, dengan tangkai pendek dan tebal serta kelopak elips panjang dan agak melengkung. Fosil Flabellum ditemukan di strata laut dari kapur hingga kuartar. Fosil diketahui dari berbagai tempat di eropa, amerika utara dan australia seperti pada gambar 9.6.



Gambar 9. 6. Fosil *Fungia* sp

Klasifikasi pada *Fungia* sp

Kingdom	: Animalia
Filum	: Cnidaria
Kelas	: Anthozoa
Ordo	: Scleractinia
Famili	: Fungidae
Genus	: <i>Fungia</i>
Spesies	: <i>Fungia</i> sp

- Family Caryophyllidae

caryophylliidae adalah keluarga karang berbatu yang ditemukan dari daerah tropis hingga laut beriklim sedang dan dari perairan dangkal hingga sangat dalam.



Gambar 9. 7. Caryophyllidae

- Family Faviidae

Family faviidae merupakan karang yang tergolong dalam karang keras koloni berbentuk massif dengan septa, pali, kolumela dan dinding koralit mempunyai struktur yang seragam untuk masing-masing genera. Karang faviidae pada umumnya ditemukan di daerah intertidal atau reef flat, karena mempunyai mekanisme ketahanan diri pada kondisi lingkungan yang ekstrim seperti terpapar sinar matahari dalam waktu yang cukup lama (Wewengkang, Pratasik and Lalamentik, 2022)



Gambar 9. 8. Faviidae

Klasifikasi *Goniastrea minuta*

Kingdom	: Animalia
Filum	: Cnidaria
Class	: Anthozoa
Ordo	: Scleractinia
Family	: Faviidae
Genus	: <i>Goniastrea</i>
Spesies	: <i>Goniastrea minuta</i> (Rismona, Afifah and Saputri, 2020)

▪ Family Meandrinidae

Meandrinidae adalah genus karang berbatu colonial dalam keluarga meandrinidae. Karang dalam bentuk genus ini kepala hemispherical besar atau memiliki piring datar besar dan dapat tumbuh sampai satu meter diseluruh. Seperti dilihatkan pada gambar 9.9.



Gambar 9. 9. Meandrinidae

9.7 Kandungan Bioaktif

Terumbu karang digunakan untuk mencegah pecahnya ombak yang mengakibatkan tergerusnya pantai (abrasi). Kandungan metabolit sekunder yang ada pada karang keras alkaloid, steroid dan flavonoid. Untuk bioaktif dari beberapa terumbu karang yang sudah diketahui antara lain senyawa cembranoid sarcohytoxic acid, sarcophytolide dan sarcophytol.

Karang *Fungia scutaria* merupakan jenis karang keras dari genus fangiidae mempunyai struktur keras menonjol, tidak bergerak, permukaannya kasar seperti pasir, koralit regular, jika ada yang memiliki tentakel pada polip. Pada penelitian ekstraksi biasanya dilakukan pada terumbu karang lunak. Terdapat 3 senyawa bioaktif pada terumbu karang *Fungia scutaria* yakni 3-hydroxyphenyl, 3-hydroxyisopropyl dan senyawa ethanaminium (Ningsih and Sawiya, 2023).

Pada karang scleractinian berbatu, tubastraea (dendrophylliidae) merupakan sumber turunan alkaloid yang aktif secara biologis. Pada tubastraea micrantha ditemukan mengandung turunan antrakuinoid (Meyer *et al.*, 2009).

9.8 Aktivitas Bioaktif Hard coral

Aktivitas bioaktif yang terkandung pada karang memiliki sifat sitotoksik (antitumor), antivirus dan anti inflamasi karena pada terumbu karang keras biasanya menempel pada jenis spon (hewan laut) dimana simbiosis biota laut tersebut berpotensi besar untuk dikembangkan dalam bidang pengobatan yaitu sebagai antibakteri

9.9 Sediaan

Sediaan yang ada dipasaran seperti Coral Care yang merupakan sediaan yang berisi calcium coral dengan vitamin D3 seperti pada gambar 9.15.



Gambar 9. 10. Sediaan yang dibuat dari Coral

DAFTAR PUSTAKA

- Capasso, L. *et al.* (2022) 'Investigating calcification-related candidates in a non-symbiotic scleractinian coral, *Tubastraea* spp.', *Scientific Reports*, 12(1), pp. 1–15. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17022-4>.
- Ihsan, M. *et al.* (2019) 'Klasifikasi Genus Karang Keras (Scleractinia) dengan Metode Gray Level Co-Occurrence Matrix', *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 3(6), pp. 5397–5405.
- Loupatty *et al.* (2023) 'Distribusi dan Kondisi Jenis-jenis Karang Keras (Scleractinian) di Perairan Dusun Airlouw dan Dusun Seri', *Jurnal Agribisnis Perikanan*, 16(1), pp. 103–108.
- Meyer, M. *et al.* (2009) 'An antiplasmodial new (bis)indole alkaloid from the hard coral *Tubastraea* sp', *Natural Product Research*, 23(2), pp. 178–182. Available at: <https://doi.org/10.1080/14786410801925134>.
- Ningsih, I.J. and Sawiya (2023) 'Identifikasi Senyawa Bioaktif Pada Terumbu Karang Fungia Scutaria Di Perairan Mamburit Kabupaten Sumenep Identification of Bioactive Compounds in Coral Reefs Fungia Scutaria in Mamburit Waters, Sumenep Regency', 1(1), pp. 72–80. *pamacca* (2014) *No Title*.
- Polapa, F.S. *et al.* (2021) 'Physiological responses of scleractinian corals in marginal habitat', *Biodiversitas*, 22(9), pp. 4011–4018. Available at: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220949>.
- Pratiwi, U. *et al.* (2022) 'Community Structure of Hard Coral (Scleractinia) in the Walenekoko Reef Flat, Pasir Panjang, Bitung City', *Jurnal Ilmiah PLATAX*, 10(1), p. 19. Available at: <https://doi.org/10.35800/jip.v10i1.37277>.
- Suharsono (1984) 'Reproduksi Karang Batu', *Jurnal Oseanografi. lipi*, Volume IX(4), pp. 116–123. Available at: [http://oseanografi.lipi.go.id/dokumen/oseana_ix\(4\)116-123.pdf](http://oseanografi.lipi.go.id/dokumen/oseana_ix(4)116-123.pdf).

- Suryatini, K.Y. and Rai, G.A. (2020) 'Potential for Recovery of Coral Reef Ecosystem : Positive Impact of The Covid-19 Pandemic on The Environment', *Jurnal Emasains: Jurnal Edukasi Matematika dan Sains*, IX(2), pp. 206–215.
- Wewengkang, F.T., Pratasik, S.B. and Lalamentik, L.T.X. (2022) 'Komposisi Jenis Dan Distribusi Karang Faviidae di Rataan Terumbu Bahowo, Tongkaina, Kota Manado', *Jurnal Ilmiah Platax*, 10(6), pp. 48–54.
- Yuniartika, M.D. (2022) *No Title* הכי קשה לראות את מה שבאמת לנגד העינים, הארץ.

BAB 10

MIKROBA SIMBION BIOTA LAUT

Oleh Lia Kusmita

10.1 Pendahuluan

Indonesia merupakan negara maritim dengan berbagai ekosistem yang ada didalamnya. Perairan Indonesia sebagai episentrum keanekaragaman biota laut karena posisinya strategis yang disebut dengan daerah *the coral triangle*. Keanekaragaman biota laut tersebut menjanjikan untuk dieksplorasi dan dimanfaatkan sebagai sumber obat-obatan baru dimasa yang mendatang. Biodiversitas organisme yang ada di laut diantaranya rumput laut, ikan, teripang, terumbu karang, spons dan lain sebagainya (gambar 1).



Gambar 10. 1. Biodiversitas Organisme di Perairan Indonesia

Sumber: <https://www.kompasiana.com/>

Banyak penelitian menyebutkan bahwa organisme laut memiliki berbagai aktivitas biologis. Rumput laut memiliki aktivitas antioksidan (Shebis dkk, 2013), aktivitas antikanker (Kim and Pangestuti, 2011), antiobesitas (Firdaus dkk., 2015). Spons memiliki aktivitas sitotoksik (Shaala dkk., 2021), antiplasmodial (Hikmawan dkk., 2020), antioksidan (Handayani dkk., 2021), antimikroba (Goel dkk., 2021) dan lain sebagainya.

Eksplorasi senyawa metabolit dari organisme laut saat ini cenderung meningkat. Hambatan utama dalam pengembangan produk hayati laut, khususnya karang lunak adalah masalah pasokan bahan baku yang jumlahnya terbatas dan sangat sedikit (Proksch dkk., 2002). Upaya untuk budidaya organisme laut tersebut belum dilakukan secara maksimal. Selain itu pertumbuhan organisme laut seperti karang sangat lambat. Sehingga apabila dieksplorasi secara berlebihan populasinya menjadi berkurang atau bahkan menjadi langka. Untuk mencegah kerusakan akibat eksplorasi berlebih dan menjaga keberlangsungan populasi organisme laut maka perlu dilakukan alternative baru. Salah satu langkah yang bisa dilakukan adalah mengisolasi senyawa metabolit dari mikroba baik bakteri ataupun jamur yang berasosiasi dengan organisme laut.

Mikroba simbion adalah organisme yang menempel dan berinteraksi pada inang tetapi tidak berdampak negatif pada salah satu pihak. Istilah mikroba simbion diperkenalkan oleh Frank, Van Beneden, dan De Bary pada tahun 1870 (Prigot-Maurice dkk., 2022). Hubungan antara inang dan mikroba adalah simbiosis yang berhubungan dengan sistem kekebalan sehingga menimbulkan interaksi yang saling menguntungkan. Interaksi yang terjadi tidak terlihat secara nyata namun berdampak besar pada inangnya. Hubungan simbiotik yang terjadi adalah simbiosis mutualisme antara mikroba simbion dengan organisme laut. Inang yang merupakan organisme laut memberikan dukungan dan perlindungan terhadap mikroba simbion dan sebaliknya mikroba simbion ini memainkan peran potensial dalam siklus nutrisi dan sebagai sumber metabolit sekunder (Hillman & Goodrich-Blair,

2016). Mikroba simbion juga membantu mempertahankan inang atau keturunannya dari predator dan patogen, termasuk dengan memproduksi senyawa kimia atau racun yang dapat membunuh organisme penyerang atau pesaing. Keuntungan dalam memanfaatkan mikroba simbion sebagai sumber senyawa bioaktif adalah:

1. Mikroba simbion dapat menghasilkan senyawa yang sama atau hampir sama dengan inangnya (Burgess 2003)
2. Pertumbuhannya sangat cepat sehingga akan cepat dalam memproduksi senyawa
3. Mudah untuk dikultur tidak membutuhkan tempat yang besar atau luas
4. Tidak merusak ekosistem yang ada dilaut karena sampel yang dibutuhkan sangat sedikit

Kelebihan tersebut menjadikan mikroba simbion laut dapat menjadi alternatif baru dalam pengembangan senyawa potenseial dari laut yang ramah lingkungan.

10.2 Mikroba Simbion

10.2.1 Mikroba Simbion Karang Lunak

Karang merupakan salah satu organisme laut yang kaya akan metabolit sekunder. Namun, permasalahan yang muncul adalah pertumbuhannya sangat lambat. Pertumbuhan 1 cm membutuhkan waktu hampir setahun. Pemanfaatan mikroba simbion dari karang merupakan alternatif yang dapat dikembangkan.

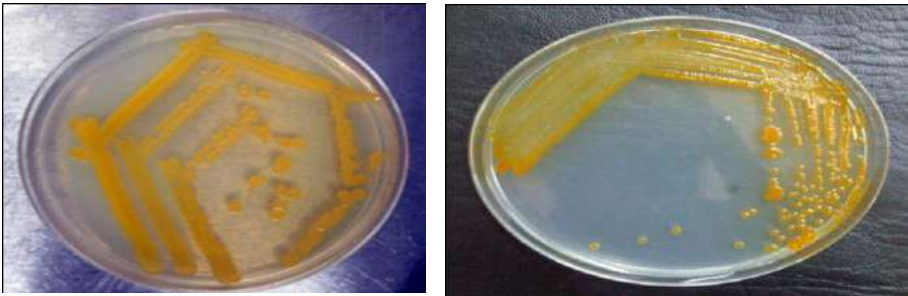
Berbagai penelitian dalam memanfaatkan bakteri simbion dari karang telah dilakukan. Rozirwan et al., 2015 meneliti bahwa bakteri yang bersimbiosis *Sinularia flexibilis* dan *Sinularia polydactyla* menghasilkan senyawa golongan diterpen dan memiliki aktivitas sebagai antibakteri terhadap bakteri *B.subtilis* dan *E.coli*.

Mikroba simbion dengan karang juga banyak yang memproduksi pigmen. Berikut beberapa contoh mikroba simbion penghasil pigmen dan aktivitasnya.

Tabel 1. 1. Mikroba simbion penghasil pigmen dan aktivitasnya

No	Inang	Jenis Pigmen	Aktivitas	Referensi
1.	Sarcophyton sp dari laut utara Jawa Tengah	Karotenoid	Antioksidan dan SPF	Kusmita dkk, 2017
2.	Lobophytum sp. Dari pulau Panjang	Karotenoid	Antioksidan	Masduqi, dkk,2020
3.	Sinularia sp. dari Pulau Panjang	Karotenoid	Antioksidan, tabir surya, dan antibakteri	Kusmita dkk, 2023
4.	Sarcophyton sp. dari Karimun Jawa	Karotenoid	Antibakteri	Wiguna, dkk, 2016
5.	Mantipora	Karotenoid	Pewarna alami	Puspita dan Uktolseja, 2020

Pigmen dari mikroba simbion memiliki warna yang sangat menarik gambar 10.2.



(a)

(b)

Gambar 10. 2. Bakteri simbion penghasil pigmen karotenoid dari a) *Sarcophyton* dan b) *Sinularia*

Sumber: Kusmita dkk., 2017

Pigmen dari bakteri simbion karang lunak terbukti memiliki aktivitas antioksidan, antibakteri dan tabir surya. Kusmita dkk., 2022 telah membuat formulasi krim *anti-agent* dari pigmen bakteri *Virgibacillus salarius* strain 19.PP.Sc1.6. *V.salarius* strain 19.PP.Sc1.6 berasal dari simbion *Sinularia* sp. Ada tiga formulasi dengan jenis krim berbeda (Gambar 10.3). Formulasi pertama adalah krim vs, sejenis krim minyak dalam air dengan pengemulsi anionik, yang kedua adalah krim ow, sejenis krim minyak dalam air dengan pengemulsi nonionik (Hamzah dkk., 2014), dan yang ketiga adalah krim wo, air dalam krim minyak.



Gambar 10. 3. Krim vs (a), ow (b), dan wo (c)

Sumber: Kusmita, 2023

10.2.2. Mikroba Symbion Spons

Spons merupakan organisme laut yang memiliki kandungan metabolit sekunder terbesar dibanding organisme lainnya (Paul et al., 2021). Beberapa penelitian menunjukkan aktivitas biologis dari spons diantaranya antioksidan (Handayani et al., 2021), antimikroba (Goel et al., 2021), sitotoksik (Shaala et al., 2021), antiplasmodial (Hikmawan et al., 2020), dan lain sebagainya.

Eksplorasi organisme spons terus meningkat yang menyebabkan populasi spons menjadi berkurang. Apabila hal tersebut terus dilakukan maka populasi spons akan habis. Oleh sebab itu pemanfaatan mikroba pada spons perlu dilakukan mengingat spons juga dikenal sebagai tempat hidup sebagian besar mikroba.

Aktivitas antibiofilm terhadap bakteri *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 dan *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 ditemukan pada mikroba simbiosis dari spons diantaranya bakteri dari genus *Colwellia*, *Pseudoalteromonas*, *Shewanella* and *Winogradskyella* (Rizzo et al., 2021). Jamur yang berasosiasi dengan spons memiliki aktivitas antimikroba terhadap *Klebsiella pneumoniae* (NCIM 2706), *Proteus vulgaris* (NCIM 2027), *Salmonella typhimurium* (NCIM 2501), *Pseudomonas aeruginosa* (MTCC 741) dan terhadap jamur *Candida albicans* (MTCC 4747) (Rajasabapathy et al., 2020).

10.2. 3 Mikroba Simbiosis dari Lamun

Lamun (*Seagrass*) adalah tumbuhan berbunga yang mampu hidup di dalam air laut, berpembuluh, berdaun, berimpang, berakar, serta berkembang biak dengan biji dan tunas (Romimohtarto, 2001). Organisme tersebut dalam ekosistem laut merupakan organisme yang paling produktif. Tingginya produktivitas pada tumbuhan lamun memungkinkan ditemukannya senyawa bioaktif yang bermanfaat.

Namun Peningkatan eksplorasi senyawa bioaktif yang berlebihan akan mengakibatkan terganggunya dan menurunnya kualitas padang lamun yang sangat merugikan bagi keseimbangan ekosistem laut. Beberapa peneliti telah memanfaatkan mikroba simbiosis dari lamun untuk penarikan senyawa bioaktifnya.

Purniasih dkk., (2022) melaporkan bahwa bakteri simbion dari lamun *Enhalus acoroides* memiliki aktivitas antibakteri terhadap bakteri *E.coli*, *S. typhi*, *S. aureus*, dan *S. mutans*. Ekstrak bakteri simbion lamun *Enhalus* sp. Juga dapat digunakan sebagai bioinsektisida pada kecoa *blatella Germanica* (Fauzi, dkk., 2014).

10.3 Identifikasi Mikroba Simbion

Identifikasi mikroba simbion dapat dilakukan dengan menggunakan metode PCR (*Polymerase Chain Reaction*). PCR merupakan metode enzimatik untuk mengamplifikasi atau memperbanyak fragmen DNA secara eksponensial dengan cara *in vitro* (Yuwono, 2006). Hubungan kekerabatan organisme satu dengan yang lain dapat diacu dari makromolekul sel. Urutan monomer pada molekul informasi tertentu dapat ditelusuri untuk mengetahui hubungan kekerabatan. Perbedaan jarak kekerabatan antara 2 organisme dapat diukur dengan melihat perbedaan nukleotida dan urutan asam amino pada makromolekul yang homogen. Pengukuran tersebut dapat dilakukan karena jumlah perbedaan sekuen pada sebuah molekul adalah proporsional terhadap jumlah perubahan mutasi pada pengkodean DNA dua organisme tersebut. Molekul yang sesuai untuk dijadikan acuan adalah ribosomal RNA. Molekul ribosomal RNA adalah molekul yang sempurna karena tersebar secara universal, fungsinya yang konstan pada tiap organisme, dan urutan sekuennya terkonservasi dengan baik diantara filogenetik yang luas (Madigan *et al.*, 2000).

Ribosom memiliki jumlah sekitar 20.000 ribosom per sel yang merupakan komponen sel yang utama. Kandungan dari ribosom terdiri dari 80% dari keseluruhan massa sel dan 10% dari seluruh total protein. Sel bakteri memiliki ribosom 70S yang terdiri dari unit ribosomal besar yang mengandung 36 protein, satu molekul 5S rRNA yang panjangnya 120 basa dan unit ribosomal kecil 30S mengandung 21 protein dan satu molekul 16S RNA yang panjangnya 1541 basa. Sekuen ribosom yang

digunakan sebagai acuan adalah 16S RNA karena panjangnya paling sesuai dan mudah ditangani, tidak terlalu panjang bila dibandingkan 23S, dan tidak terlalu pendek jika dibandingkan dengan 5S.

Untuk melihat keanekaragaman hayati suatu kelompok organism dapat dilakukan dengan suatu teknik analisis sekuen. Teknik ini berkembang setelah orang menciptakan mesin DNA *sequencer*. Pada prinsipnya polimorfisme dilihat dari urutan atau sekuen DNA dari fragmen tertentu dari suatu genom organisme. Salah satu cara untuk melihat keanekaragaman jenis dapat dilakukan dengan analisis sekuen gen 16S rRNA bagi organisme prokaryota atau 18S rRNA bagi organisme eukaryota. Primer yang digunakan untuk PCR 16S rDNA adalah primer universal 27F (5'-AGAGTTTGATCMTGGCTCAG-3') dan primer spesifik eubacteria 1492R (5'TACGGYTACCTTGTACGACTT-3').

Perbandingan sekuen rRNA merupakan alat yang baik untuk mendeduksi hubungan filogeni dan evolusi diantara organisme bacteria, archaeobacteria dan eukaryote (Junaidi, 2006). Gen gen penghasil enzim tertentu misalnya dapat juga dibandingkan berdasarkan sekuen mereka.

DAFTAR PUSTAKA

- Burgess, J.G., Armstrong, E., Jiang, Z., Berggren, M. 2003. The Development of a Marine Natural Product-based Antifouling Paint. *Biofouling*, 19: 197-205. doi: 10.1080/0892701031000061778
- Fauzi, F.M., Sulistiyani, and Hestningsih, R. 2014. Uji Efektivitas Ekstrak Bakteri Symbion Lamun *Enhalus* sp. sebagai Bioinsektisida pada Kecoa *Blatella Germanica* di Laboratorium. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 2(2): 86-90. <https://doi.org/10.14710/jkm.v2i2.6381>
- Firdaus, M., Agustin, F.P., Kholifatul, A.J., Wiratama, N., dan Sudjatmiko, Y.A. 2015. Antiobesity of Fucoxanthin from *Sargassum echinocarpum* by Increasing β -oxidation in Adipocyte. *KnE Life Sciences*, 2: 97.
- Goel, N., Fatima, S. W., Kumar, S., Sinha, R., & Khare, S. K. 2021. Antimicrobial resistance in biofilms: Exploring marine actinobacteria as a potential source of antibiotics and biofilm inhibitors. In *Biotechnology Reports* (Vol. 30). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2021.e00613>
- Handayani, T., Rachim, A., Priyoatmojo, D., -, A., Huang, X., Lin, S., & Cai, P. 2021. The correlation between total protein content and antioxidant activity of collagen isolated from a marine sponge *Stylissa flabelliformis* collected from North Lombok Indonesia coast. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 913, 1-8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/913/1/012103>
- Hikmawan, B. D., Wahyuono, S., & Setyowati, E. P. 2020. Marine sponge compounds with antiplasmodial properties: Focus on in vitro study against *Plasmodium falciparum*. *Journal of*

- Applied Pharmaceutical Science, 10 (5), 142–157.
<https://doi.org/10.7324/JAPS.2020.10519>
- Hillman, K., & Goodrich-Blair, H. 2016. Are you my symbiont? Microbial polymorphic toxins and antimicrobial compounds as honest signals of beneficial symbiotic defensive traits. *Current Opinion in Microbiology*, 31, 184–190.
<https://doi.org/10.1016/j.MIB.2016.04.010>
- Junaidi, 2006. Keanekaragaman Bakteri yang Berasosiasi dengan Sponge yang Mempunyai Aktivitas Antibakteri Berdasarkan Analisis PCR 16s rDNA. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Undip: Semarang.
- Kim, S.K., Pangestuti R. 2011. Biological activities and potential health benefits of fucoxanthin derived from marine brown algae. *Adv Food Nutr Res.* 64:111-28. doi: 10.1016/B978-0-12-387669-0.00009-0. PMID: 22054942.
- Kusmita, L., Mutmainah, Sabdono, A., Trianto, A., Radjasa, O.K., Pangestuti, R. 2021. Characteristic Evaluation of Various Formulations of Anti-Aging Cream from Carotenoid Extract of Bacterial Symbiont *Virgibacillus salarius* Strain 19.PP.Sc1.6. *Cosmetics*, 8, 120.
<https://doi.org/10.3390/cosmetics8040120>
- Kusmita, L., Edi, A.N.P., Franyoto, Y.D., Mutmainah, Haryanti, S., Nurcahyanti, A.D.R., 2023. Sun protection and antibacterial activities of carotenoids from the soft coral *Sinularia* sp. symbiotic bacteria from Panjang Island, North Java Sea. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 31(8).
<https://doi.org/10.1016/j.jsps.2023.06.013>.
- Madigan, M.T., J.M. Martinko and J. Parker. 2000. *Brock Biology of Microorganisms*. Prentice Hall, New Jersey.

- Masduqi, A. F., Franyoto, Y. D., Kusmita, L., Muchlisin, S. 2020. Activity antioxidant on pigments of bacterial symbionts of soft coral from Jepara Sea. *Indonesian Journal of Natural Pigments*, 2(2): 43-47.
- Paul, S. I., Rahman, M. M., Salam, M. A., Khan, M. A. R., & Islam, M. T. 2021. Identification of marine sponge-associated bacteria of the Saint Martin's island of the Bay of Bengal emphasizing on the prevention of motile *Aeromonas septicemia* in *Labeo rohita*. *Aquaculture*, 545, 737156. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2021.737156>
- Prigot-Maurice, C., Beltran-Bech, S., & Braquart-Varnier, C. 2022. Why and how do protective symbionts impact immune priming with pathogens in invertebrates. *Developmental & Comparative Immunology*. 126, 104245. <https://doi.org/10.1016/J.DCI.2021.104245>
- Proksch, P., Edrada, R.A., Ebel R. 2002. Drugs from the seas - current status and microbiological implications. *Appl Microbiol Biotechnol*. 59(2-3):125-34. doi: 10.1007/s00253-002-1006-8. Epub 2002 Jun 12. PMID: 12111137.
- Purniasih, N. K. P., Ginting, E. L., Wullur, S., Mangindaan, R. E. P., Rumampuk, N. D. C., & Pratasik, S. B. 2022. Antibacterial Activity of Endophytic Bacteria of Seagrass Symbiont *Enhalus acoroides* from Tiwoho Waters, North Minahasa. *Jurnal Ilmiah Platax*, 10(2):402–414. <https://doi.org/10.35800/jip.v10i2.42485>
- Rajasabapathy, R., Ghadi, S. C., Manikandan, B., Mohandass, C., Surendran, A., Dastager, S. G., Meena, R. M., & James, R. A. 2020. Antimicrobial profiling of coral reef and sponge associated bacteria from southeast coast of India. *Microbial*

- Rizzo, C., Zammuto, V., Giudice, A. lo, Rizzo, M. G. 2021. Antibiofilm Activity of Antarctic Sponge-Associated Bacteria against *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus*. Journal of Marine Science and Engineering. <https://www.mdpi.com/1011162>
- Romimohtarto, K. dan S. Juwana. 1999. Biologi Laut. Ilmu Pengetahuan Tentang Biota Laut. Puslitbang Oseanologi – LIPI ; Jakarta.
- Rozirwan, Bengen, D.G., Chaidir , Zamani, N.P., , dan Effendi, H. 2015. Senyawa Bioaktif Bakteri Simbion pada Karang Lunak *Sinularia flexibilis* dan *S. polydactyla*. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, 7(2): 465-478.
- Shaala, L. A., Youssef, T. A., Kijjoa, A., Rateb, M., & Abdelmohsen, U. R. 2021. Hemimycalins C–E; Cytotoxic and Antimicrobial Alkaloids with Hydantoin and 2-Iminoimidazolidin-4-one Backbones from the Red Sea Marine Sponge Hemimycale sp. *Marine Drugs* 2021, Vol. 19, Page 691, 19(12), 691. <https://doi.org/10.3390/MD19120691>
- Shebis, Y., Iluz, D., Kinel-Tahan, Y., Dubinsky, Z., Yehoshua, Y. 2013. Natural Antioxidants: Function and Sources. *Food Nutr Sci*, 04(06):643–649. doi: 10.4236/fns.2013.46083
- Wiguna, AS., Kusmita, L., Radjasa, OK. 2016. Uji Aktivitas Antibakteri Pigmen Karotenoid Dari Bakteri Simbion Karang Lunak Sarcophyton sp. Terhadap Pertumbuhan Bakteri Patogen *Staphylococcus aureus* ATCC 25923. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*. 3(3): 92-98.
- Yuwono, T. 2006. Teori dan Aplikasi Polymerase Chain Reaction. Penerbit Andi, Jakarta.

BIODATA PENULIS



Dr. Aninditia Sabdaningsih, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

Penulis lahir di Purwodadi tanggal 9 Agustus 1990. Penulis adalah dosen tetap Aparatur Sipil Negara (ASN) di program S3 Manajemen Sumberdaya Perairan, Universitas Diponegoro. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro dan melanjutkan S2-S3 melalui program beasiswa PMDSU Batch II dari Kemenristekdikti di Prodi Manajemen Sumberdaya Pantai/Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro pada tahun 2015-2019. Dalam menyelesaikan studi S3-nya, penulis berkesempatan untuk melaksanakan penelitiannya di Jerman selama 6 bulan, melalui program Peningkatan Kualitas Publikasi Internasional (PKPI)/Sandwich-like dari Kemenristekdikti (2018-2019). Penelitian mengenai isolasi senyawa bioaktif dilakukan di Institut Insektoteknologi, Justus-Liebig University of Giessen, Jerman di bawah supervisi dari Prof. Dr. Till F. Schäberle. Penulis telah menerbitkan tiga buku, dan puluhan artikel pada jurnal ilmiah nasional maupun internasional bereputasi.

BIODATA PENULIS



Ika Maharani, S.TP.

Mahasiswa Program Studi Magister Farmasi
Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Yayasan Pharmasi Semarang

Penulis lahir di Semarang tanggal 4 Mei 1981 Penulis adalah mahasiswa pada Program Studi Magister Farmasi, Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Yayasan Pharmasi Semarang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada bidang Teknologi Hasil Pertanian.

BIODATA PENULIS



Novy Dwi Susilowati, S. Farm

Mahasiswa Program Studi Magister Farmasi
STIFAR Yayasan Pharmasi Semarang

Penulis lahir di Pati tanggal 18 November 1978. Penulis adalah mahasiswa pada Program Studi Magister Farmasi STIFAR Yayasan Pharmasi Semarang.

BIODATA PENULIS



Yosua Bayu Kristianto

Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Yayasan Pharmasi Semarang

Penulis lahir di Semarang tanggal 3 Januari 1995. Penulis adalah Mahasiswa program studi Magister Ilmu Farmasi, Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Yayasan Pharmasi Semarang. Menyelesaikan program studi Strata-1 Farmasi dan sedang melanjutkan Magister Ilmu Farmasi.

BIODATA PENULIS



apt. Retno Sari Utomo, S.Farm.

Mahasiswa Program Studi Magister Farmasi
Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Yayasan Pharmasi Semarang

Penulis lahir di Demak tanggal 21 September 1983. Penulis adalah mahasiswa pada Program Studi Magister Farmasi, Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Yayasan Pharmasi Semarang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada bidang farmasi di Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Yayasan Pharmasi Semarang dan melanjutkan profesi apoteker di Universitas Padjadjaran Bandung.

BIODATA PENULIS



apt. Ida Saridewi, S. Farm

Mahasiswa Program Studi Magister Farmasi
Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Yayasan Pharmasi Semarang

Penulis lahir di Banyumas tanggal 25 November 1978. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Program Studi Farmasi Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Telogorejo dan meraih gelar Sarjana Farmasi (S. Farm) pada tahun 2021. Selanjutnya pada tahun 2022 melanjutkan pendidikan apoteker pada Program Studi Pendidikan Profesi Apoteker di Universitas Islam Sultan Agung Semarang dan meraih gelar Apoteker (apt). Saat ini penulis aktif sebagai mentor Ujian Kompetensi Apoteker Indonesia (UKAI) di Semarang.

BIODATA PENULIS



apt. Hilya Umami Najwa, S.Farm.

Mahasiswa Program Studi Magister Farmasi
Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Yayasan Pharmasi Semarang

Penulis lahir di Rembang tanggal 15 Februari 2000. Penulis adalah mahasiswa pada Program Studi Magister Farmasi, Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Yayasan Pharmasi Semarang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada bidang farmasi dan profesi apoteker.

BIODATA PENULIS



Apt. Yanuar Pandu Pertiwi, S.Farm

Mahasiswa Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi “Yayasan Pharmasi”
Semarang

Program Studi Magister Farmasi

Apt. Yanuar Pandu Pertiwi lahir di Kendal tanggal 16 Januari 1996. Menyelesaikan studi sarjana farmasi di Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi “Yayasan Pharmasi” Semarang pada tahun 2019 dan melanjutkan gelar magister farmasi di Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi “Yayasan Pharmasi” Semarang mulai tahun 2023 dan sampai sekarang masih aktif menjadi mahasiswa. Buku ini ditulis untuk memenuhi persyaratan nilai mata kuliah bahan alam laut.

BIODATA PENULIS



Ida Suskawati,S.Farm.

Mahasiswa Magister Farmasi Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Yayasan Pharmasi Semarang. Penulis lahir di Kendal, 12 Februari 1988. Penulis adalah mahasiswa Magister Farmasi Yayasan Pharmasi Semarang.

BIODATA PENULIS



Dr. Lia Kusmita, M.Si.

Dosen Program Studi S1 Farmasi
Stifar Yayasan Pharmasi Semarang

Penulis lahir di Padang tanggal 17 Juni 2024. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi S1 Farmasi Stifar Yayasan Pharmasi Semarang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia di FSM UKSW, melanjutkan S2 pada Jurusan Biologi Magister Biologi UKSW dan melanjutkan S3 pada Jurusan FPIK Undip . Penulis menekuni bidang Menulis pada bidang:

1. Pigmen alami
2. Bahan Alam Laut