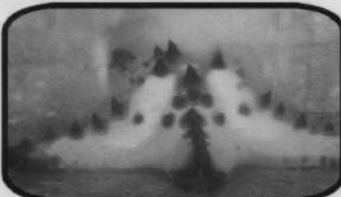
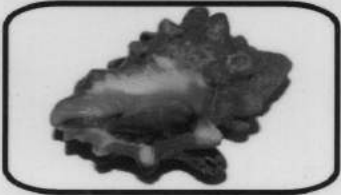
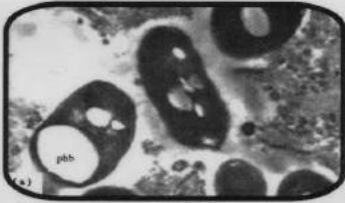
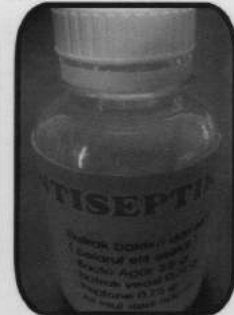


BIOTA C.2.3

BIOPROSPEK BAHAN HAYATI LAUT



**Delianis Pringgenies
Ocky Karna Radjasa
Agus Sabdono**



Badan Penerbit
Universitas Diponegoro



BIOPROSPEK BAHAN HAYATI LAUT

Oleh: Delianis Pringgenies, Ocky Karna Radjasa, Agus Sabdono: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro Semarang
Halaman: xii+ 100 hal

ISBN : 978 – 602 – 097 – 226 - 8

Judul:

Bioprospek Bahan Hayati Laut

Cetakan Pertama, Desember 2011

Design Cover :

Dafit Ariyanto

Penerbit:

BP. UNDIP, Semarang

Copyright@2011 pada penulis. Hak cipta dilindungi Undang undang. Dilarang mengutip, memperbanyak, dan mengedarkan sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL -----	i
PRAKATA -----	ii
DAFTAR ISI -----	iii
DAFTAR GAMBAR -----	v
DAFTAR TABEL -----	ix
I. PENDAHULUAN -----	1
1.1. Bahan Hayati Laut -----	1
1.2. Manfaat Moluska dan Echinodermata -----	3
1.3. Antifouling -----	10
II. KARAKTERISTIK BIOLOGIS MOLUSKA -----	20
2.1. Morfologi dan Anatomi -----	20
2.2. Biologi Reproduksi -----	31
III. KARAKTERISTIK BIOLOGIS ECHINODERMATA -----	38
3.1. Morfologi dan Anatomi -----	38
3.2. Biologi Reproduksi -----	41
IV. BIOPROSPEK BAHAN HAYATI LAUT MOLUSKA -----	43
4.1. Prospek Bahan Alam hayati Moluska -----	43
4.2. Penelusuran anti bakteri yang berasosiasi dengan moluska-----	44
4.2.1. Bivalvia -----	44
4.2.2. Cephalopoda -----	49
4.2.3. Gastropoda -----	68
V. BIOPROSPEK BAHAN HAYATI LAUT ECHINODERMATA -----	85
5.1. Holothuria -----	85
5.1.1. Kandungan Teripang -----	85
5.1.2. Potensi Teripang Sebagai Antibakteri -----	87
5.1.3. Potensi Teripang menurunkan Kadar Kolesterol -----	89

5.2. Diadema -----	93
5.3. Bintang Laut -----	99
Daftar Pustaka -----	100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Lima tahap perkembangan biofilm (Keterangan: 1, penempelan awal; 2, penempelan irreversible attachment; 3, maturasi I; 4, maturasi II; stage 5, dispersi).	15
Gambar 2. 1. Cumi-cumi <i>Loligo duvauceli</i> tampak dari dorsal (a) dan ventral (b)	27
Gambar 2.2. Kantung tinta dan sepasang organ cahaya	30
Gambar 2.3. Gastropoda (<i>Babylonia</i>) jenis betina dan jantan Sedang melakukan proses pemijahan	32
Gambar 2.4. Telur dilindungi oleh gelatin dan diletakkan di atas substrat bebatuan	33
Gambar 2.5. Perkembangan <i>intracapsular</i> setelah 3 - 6 hari (Perbesaran 100x).	34
Gambar 2.6. Model reproduksi cumi pada posisi tangan Menyentuh mantel. Ilustrasi yang divisualisasikan dari Roper <i>dkk</i> (1984)	35
Gambar 2.7. Model reproduksi cumi dalam posisi 'Aristoteles'. Cumi jantan tampak dengan <i>hectocotylus</i> memindahkan spermanya melalui corong ke dalam rongga dalam cumi betina (tanda panah) Ilustrasi divisualisasikan dari Roper <i>dkk</i> (1984).	35
Gambar 2.8. Telur cumi-cumi terbungkus dalam selaput gelatin menyerupai kantong panjang, yang disekresi oleh kelenjar-kelenjar nidamental (nidamental glands) induk cumi-cumi betina. Setiap kantong panjang dapat mengandung butiran telur dari jumlah sedikit sampai beberapa ratusan telur	37
Gambar 3.1. Struktur organ dalam <i>D. setosum</i> (Kasijan, 2001)	40
Gambar 3.2. Silkus hidup hewan Echinodermata kelas Asteroidea (foto: Triyani dan Herlina Andriani)	42
Gambar 4.1. Koleksi sampel-sampel bakteri yang berasosiasi dengan Jenis Moluska kelas Bivalvia <i>Anadara</i> sp. (a),	

<i>Crassostrea</i> sp (b), <i>Tridacna maxima</i> (c).-----	45
Gambar 4.2. Fraksi ekstrak <i>A Ferruginea</i> memiliki aktifitas Antibakteri yang bersifat menghambat pertumbuhan (Foto: Risman Efendi)-----	47
Gambar 4.3. Koleksi sampel bakteri yang berasosiasi dengan kelas Cephalopoda jenis <i>Loligo duvauceli</i> (a). Bakteri simbiosis, bersimbiosis pada organ cahaya yang menempel sepasang di kantong tinta cumi-cumi (b).-----	49
Gambar 4.4. Mikrografi mikroskop elektron payar/scanning (SEM) organ cahaya cumi-cumi dewasa (50x). Lekukan lebih banyak pada bagian tepi luar bola bagian bawah dibandingkan pada bagian tengah bola. Ada lumen besar terdapat pada tepi luar bola bagian atas dekat kantong tinta. Lumen tersebut seperti saluran panjang-----	51
Gambar 4.5. Mikrografi mikroskop elektron payar (SEM) pada lumen dari kantong (500), tonjolan tampak membatasi permukaan lumen (b) 500x -----	52
Gambar 4.6. Ilustrasi organ luminisensi jika di iris secara horizontal antara lensa dan kantong bakteri -----	53
Gambar 4.7. Kantong organ cahaya terletak antara lensa dan reflektor, kotak merah letak dari gambar b (a). Dalam kantong hadir koloni bakteri dalam lumen yang terjadi di antara pembatas lumen (b = bakteri; l = lumen; pl = pembatas lumen) -----	54
Gambar 4.8. Mikrografi mikroskop cahaya memperlihatkan koloni bakteri dalam lumen kantong (a), mikrografi mikroskop elektron transmisi memperlihatkan bakteri berbentuk panjang atau silinder (4.000x) -----	55
Gambar 4.9. Bakteri tidak memiliki rambut getar atau flagela, permukaan sel bakteri ada yang berwarna putih terang seperti sedang memancarkan cahaya dan ada yang berwarna gelap -----	56

Gambar 4.10.	Bakteri berkoloni di dekat sel dan ekstra seluler berwarna gelap -----	57
Gambar 4.11.	Kultur bakteri dari organ cahaya cumi-cumi <i>Loligo duvauceli</i> pada medium Nutrien Agar dalam cawan petri (a). Bakteri memancarkan cahaya ke-biruan dalam ruangan gelap (b)-----	58
Gambar 4.12.	Analisis protein hasil elektroforesis SDS-PAGE (a) standar, (b) bakteri memancarkan cahaya, (c) bakteri tidak memancarkan cahaya, (d) kantung organ cahaya -----	60
Gambar 4.13.	Koleksi sampel-sampel bakteri yang berasosiasi dengan jenis Moluska kelas Gastropoda: <i>Littorina littorina</i> (a), <i>Melo</i> sp. (b), <i>Littorina</i> sp (c), <i>Cypraea depressa</i> (d), <i>Cypraea arabica</i> (e), <i>Cypraea tigris</i> (f)-----	68
Gambar 4.14.	Koleksi sampel-sampel bakteri yang berasosiasi dengan Jenis Moluska kelas Gastropoda <i>Pleuroploca trapezium</i> (g), <i>Cymatium</i> sp (h) <i>Conus murriculatus</i> (i), <i>Vasum ceramicum</i> (j)-----	69
Gambar 4.15.	Koleksi sampel-sampel bakteri yang berasosiasi dengan Jenis Moluska kelas Gastropoda <i>Stramonita armigera</i> (k), <i>Turbo chrysostomus</i> (l) <i>Angaria</i> sp (m) -----	70
Gambar 4.16.	Koleksi sampel-sampel bakteri yang berasosiasi dengan jenis Moluska kelas Gastropoda <i>Trochus stellatus</i> (n), <i>Oliva Vidua</i> (o), <i>Drupa morum morum</i> (p) -----	71
Gambar 4.17.	Hasil elektroforesis dari amplifikasi gen 16S rRNA (M: DNA marker) -----	74
Gambar 4.18.	Sekuen lengkap gen 16S rRNA bakteri moluska isolat TOV12.16, TCM6.1 dan TSA8.7-----	75
Gambar 4.19.	Hasil analisis homologi sekuen isolat TOV12.16 dengan menggunakan <i>BLAST database</i> . Simbol : (menunjukkan nukleotida yang identik)-----	76
Gambar 4.20.	Hasil analisis homologi sekuen isolat TCM6.1 dengan menggunakan <i>BLAST database</i> . Simbol : (menunjukkan nukleotida yang identik) -----	77

Gambar 4.21. Hasil analisis homologi sekuen isolat TSA8.7 dengan menggunakan <i>BLAST database</i> . Simbol : (menunjukkan nukleotida yang identik) -----	78
Gambar 4.22. Pohon filogenetik bakteri moluska anti-MDR dan strain referensi yang didapat dari database 16S rDNA dengan <i>outgroup</i> organisme <i>Rothia mucilaginosa</i> X87758 -----	79
Gambar 4.23. Produksi ekstrak bakteri <i>Pseudoalteromonas</i> sp dari bakteri simbiosis gastropoda <i>Conus miles</i> sebagai anti septik -----	84
Gambar 5.1. Struktur Kimia Senyawa Spirostane -----	85
Gambar 5.2. Contoh suplemen kapsul teripang <i>Gametri</i> yang menggunakan sebagai bahan obat untuk menekan kandungan trigliserida dalam darah (Pringgencies <i>dkk</i> , 2009).-----	91
Gambar 5.3. Gonad bulu babi yang dijual di pasar loka Jepang untuk dikonsumsi sebagai makanan shushi (Foto: Endang SS)-----	93
Gambar 5.3. Grafik Persentase Kadar Asam Amino esensial (a), Semi Esensial (b) dan Nonesensial (c) dalam Sampel Tepung Gonad <i>D. setosum</i> (Anna Aizzaturroifah, 2011) -----	94
Gambar 5.4. Contoh suplemen kapsul gonad bulu babi vitali yang bermanfaat untuk kesehatan -----	97
Gambar 5.5. Sampel bintang laut jenis <i>Protoreaster</i> sp (a), <i>Linckia</i> sp (b) dan <i>Echinaster</i> sp (c) yang ditemukan bersifat sitotoksik (Foto; Herlina Andriani)-----	100

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Potensi organisme laut (Moluska dan Echinodermata) sebagai Sumber Senyawa Bioaktif (Soediro dan Padmawinata, 1993). -----	18
Tabel 4.1. Hasil isolasi bakteri yang berasosiasi dengan moluska ----	45
Tabel 4.2. Hasil uji kualitatif aktivitas antibakteri bakteri uji terhadap ekstrak <i>A. ferruginea</i> -----	46
Tabel 4.3. Karakteristik spesies bakteri dari organ cahaya cumi-cumi <i>Loligo duvauceli</i> -----	57
Tabel 4.4. Enumerasi kerapatan bakteri <i>Photobacterium phosphoreum</i> memancarkan cahaya dan tidak memancarkan cahaya ----	59
Tabel 4.5. Karakteristik spesies bakteri lumisen dengan -----	61
Tabel 4.6. Skrining bakteri penghasil senyawa anti-MDR -----	73
Tabel 4.7. Hasil uji kualitatif bakteri moluska terhadap beberapa spesies bakteri MDR -----	73
Tabel 5.1. Aktifitas biologi ekstrak berdasarkan kisaran nilai LC ₅₀ -24 jam-----	99

I. PENDAHULUAN

1.1. Bahan hayati laut

Laut luas di alam Indonesia yang terletak di daerah khatulistiwa merupakan ekosistem yang sangat spesifik. Indonesia dikenal dengan wilayah kepulauan yang kaya dan lebih dari 70 % wilayah daratannya dikelilingi oleh lautan. Disisi lain Indonesia terletak di diantara dua benua yakni benua Asia dan benua Australia serta dua samudera yakni samudra Pasifik dan samudra Hindia sehingga menjadikan wilayah daratan dan lautnya dikaruniai oleh kekayaan alam dengan keanekaragaman hayatinya. Kekayaan hidup adalah hasil dari sejarah ratusan juta tahun berevolusi. Keanekaragaman hayati adalah seluruh keanekaan bentuk kehidupan di bumi beserta interaksi diantara makhluk nya dan antara makhluknya dengan lingkungannya. Keanekaragaman hayati atau keragaman hayati merupakan keberagaman bentuk-bentuk kehidupan: flora yang berbeda-beda, fauna yang berbeda dan mikroorganisme dengan gen-gen yang terkandung di dalamnya serta ekosistem yang mereka bentuk sehingga dapat dijadikan sebagai sumber bahan hayati laut.

Bahan hayati laut merupakan berbagai sumber bahan laut untuk keperluan manusia., seperti makanan dan sumber hayati laut di Indonesia melimpah karena letak geografisnya sehingga memiliki prospek baik sebagai pangan ataupun untuk kesehatan. Walau demikian, eksplorasi flora dan fauna laut untuk kesehatan belum optimal dalam penjelasan peran bahan alam di lingkungan laut walau sejak jaman dahulu kala, nenek moyang bangsa Indonesia sudah memanfaatkan flora dan fauna laut untuk memenuhi kebutuhan hidupnya sejak dahulu kala, yakni sebagai bahan makanan dan obat. Namun hingga kini bahan alam darat lebih banyak mendapat perhatian dibandingkan bahan alam laut, hal ini disebabkan kerena berbagai alasan, misalnya karena bahan alam darat lebih mudah di dapatkan.

Berbagai masalah yang menghambat perlu diatasi dalam usaha pengembangan bahan alam hayati laut terutama untuk pemanfaatannya di bidang farmasi (Soediro, I. S dan Padmawinata, 1993). , yang terutama yaitu:

- (a). Kurangnya pendekatan multidisiplin dalam segi biologi, kimia, farmakologi, oseanologi dan bidang ilmu lain terkait
- (b). Sulitnya mendapatkan bahan percobaan dari laut
- (c) Masalah budidaya organisme di laboratorium untuk kebutuhan penelitian
- (d) Masalah lain yang biasa dialami pada penelitian terhadap organisme daratan.

Didasarkan kepada peran utama organisme yang merupakan hasil keseluruhan dari kehidupan dan kegiatan-kegiatannya, dalam rantai pangan diketahui tiga kategori, yaitu organisme produsen, konsumen dan reducen. Faktor-faktor lingkungan tersebut berpengaruh terhadap kehidupan, kegiatan, proses metabolisme dan metabolit yang dihasilkan oleh setiap organisme bahari yang bersangkutan, misalnya jenis-jenis hewan golongan invertebrata. Seperti yang dinyatakan Acosta (1992) dalam Iwang *dkk* (2000) bahwa jenis-jenis hewan golongan invertebrata, terutama jenis-jenis yang menetap, dapat mengeluarkan senyawa-senyawa untuk pertahanan diri. Karena invertebrata tidak memproduksi antibodi, maka mekanisme pertahanan dirinya terutama didasarkan atas fagositosis oleh leukosit dan dibantu oleh eksudasi alam zat-zat non protein berbobot molekul rendah. Sejak tahun 1970 lebih dari 15.000 bahan hayati laut yang beragam dengan berbagai aktivitas biologis telah ditemukan dari mikroba laut, algae dan invertebrata (Salomon et al, 2004). Menurut Sammarco dan Coll (1990) bahwa metabolit sekunder pada organisme laut berperan penting dalam ekologi invertebrata laut tersebut, terutama untuk perlindungan terhadap predator, kompetisi ruang hidup, reproduksi dan antifouling. Jenis-jenis hewan golongan Invertebrata yang telah diketahui memiliki aktifitas biologi meliputi Moluska seperti kerang-kerangan (bivalvia), keong (gastropoda) dan cumi-cumi (cephalopoda) dan

Echinodermata seperti bintang laut (star fish), teripang (Holothuria) dan landak laut (Sea Uchin) yang akan diuraikan pada bab berikutnya.

2.2. Manfaat Moluska dan Echinodermata

Moluska dan Echinodermata adalah hewan yang memiliki karakteristik anatomi dan morfologi yang berbeda, kesamaanya adalah masuk dalam kelompok hewan invertebrata alat lokomotifnya hampir serupa yakni bergerak lambat.

Moluska seperti kerang-kerangan merupakan jenis makanan yang banyak digemari dan begitu juga cumi-cumi. Bahkan oktopus merupakan makanan eksklusif dengan harga yang menjanjikan. Kerang-kerangan yang hidup di perairan yang terpolusi toksin maka secara langsung akan terakumulasi dengan toksin tersebut karena sifatnya yang filter feeder.

Pemanfaatan bahan hayati laut sebagai sumber obat yang berkelanjutan dibatasi oleh beberapa faktor yang signifikan. Bahan hayati laut sering kali diperoleh dalam jumlah kecil dan mungkin sulit untuk disintesis secara ekonomis, bahkan organisme sumber seperti invertebrata sulit untuk dikultur, serta koleksi dari alam dapat mengancam kelestarian sumberdaya laut.

Ada jenis moluska yang memiliki nilai ekonomis tinggi dan sangat diminati di pasar dunia karena keindahannya sebagai perhiasan yakni mutiara. Mutiara yaitu permata indah yang dihasilkan oleh sejenis kerang bercangkang dua atau bivalvia. Mutiara merupakan komoditas ekspor non migas yang cukup penting bagi Negara kita. Oleh sebab itu, moluska memiliki nilai penting dan menarik bagi manusia. Berbagai moluska, seperti kerang-kerangan, cumi-cumi serta oktopus dapat dijadikan hidangan eksklusif dan merupakan makanan laut yang banyak digemari oleh masyarakat karena disamping rasanya yang gurih dan lezat juga mengandung gizi protein yang

tinggi. Disisi lain, cangkang moluska telah digunakan sebagai perhiasan yang bernilai tinggi karena memiliki pesona yang unik dan menarik.

Namun belum banyak informasi tentang moluska ternyata potensi bila digunakan sebagai bahan untuk kesehatan karena mengandung senyawa antibakteri pada bakteri simbiotiknya sebagai upaya mendapatkan bahan alam untuk anti bakteri karena senyawa aktif yang terkandung pada mikroorganisme similar dengan senyawa kandung yang dimiliki oleh inangnya.

Penanganan bakteri patogen di dalam bidang kesehatan serta pemanfaatan senyawa antibiotik yang ramah lingkungan yang dihasilkan oleh bakteri yang berasosiasi dengan Moluska telah menjadi pekerjaan rumah yang harus segera ditangani secara multidisiplin.

Secara global sejak tahun 1995 terdapat tanda-tanda turunnya perhatian terhadap pencarian senyawa metabolit baru dari sumber-sumber tradisional seperti makro alga, moluska, tunikata, dan oktokoral, dan jumlah dari laporan-laporan tahunan tentang sponge laut relatif stabil. Sebaliknya, metabolit dari mikroorganisme menjadi bidang yang sangat berkembang, yang disebabkan oleh adanya dugaan bahwa sejumlah besar metabolit yang dihasilkan oleh alga dan hewan invertebrata dihasilkan oleh mikroorganisme yang berasosiasi dengannya (Kelecom, 2002).

Diperkirakan bahwa kurang dari 2% dari flora mikroba telah berhasil diisolasi dari lingkungan laut sebagai kultur murni. Diperkirakan masih sebagian besar mikroorganisme yang belum terekplorasi dan belum terkultur yang berasosiasi dengan invertebrata yang berada di ekosistem terumbu karang. Informasi semacam ini sangat diharapkan karena beberapa bakteri simbion tersebut dapat berperan dalam berbagai tujuan yang menguntungkan sebagai sumber metabolit sekunder termasuk bahan hayati laut (Radjasa and Sabdono, 2003; Radjasa et al, 2007a, 2007b).

Mengingat beberapa bahan hayati laut dari invertebrata laut memiliki kemiripan dengan metabolit yang dihasilkan oleh bakteri simbiotiknya

(Proksch et al, 2002; Thiel and Imhoff, 2003), maka sangatlah penting untuk mengangkat topik tentang kemungkinan peranan dari bakteri simbiosis invertebrata terumbu karang sebagai alternatif sumber senyawa-senyawa yang memiliki aktivitas biologis.

Dalam hal ini, sangatlah strategis untuk memperkirakan pemanfaatan pendekatan yang berkelanjutan dalam skrining populasi bakteri simbiosis invertebrata dengan pertimbangan spesifik terutama kepada kelompok penghasil metabolit sekunder, yang selama ini relatif diabaikan dibandingkan dengan kelompok inang invertebratnya (Radjasa and Sabdono, 2003; Radjasa et al, 2007a). Bakteri simbiosis merupakan komunitas bakteri yang hidup berasosiasi dengan biota lain (inang) dan melakukan berbagai macam pola hubungan sesuai dengan karakteristik dasar interaksinya. Bakteri simbiosis bisa ditemukan pada semua jenis Moluska, tapi jenis Moluska yang memiliki radula dan insang diketahui bahwa bakteri simbiosisnya terdapat pada radula dan insang. Hal ini erat hubungannya dengan cara Moluska dalam mendapatkan nutrisi dari lingkungannya yakni, dengan cara *grazers*, memangsa atau sebagai *deposit feeders*.

Banyak jenis Moluska yang mengembangkan sistem mekanisme pertahanan diri dengan memproduksi toksin atau senyawa bioaktif (metabolit sekunder) yang secara fungsional belum diketahui. Metabolit sekunder diturunkan secara biosintetik dari metabolit primer dan umumnya berfungsi untuk mempertahankan diri terhadap keadaan lingkungan yang tidak menyenangkan, terhadap kerusakan, serangan dari luar dan sebagainya. Metabolit sekunder pada mulanya diasumsikan sebagai hasil samping atau limbah dari organisme sebagai akibat dari produksi metabolit primer yang berlebihan. Namun seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, terbukti bahwa metabolit sekunder diproduksi oleh organisme sebagai respon terhadap lingkungannya. Moluska yang termasuk pada kelompok hewan *unmobile* atau pergerakan fisik terbatas, pada umumnya mampu mengembangkan sistem pertahanan diri dengan memproduksi senyawa kimia (

chemical defense). Senyawa kimia yang dihasilkannya berguna untuk mempertahankan diri dari predator, media kompetisi, mencegah infeksi bakteri hingga mencegah sengatan sinar ultraviolet (Harper *et al.*, 2001) .

Pembentukan senyawa bioaktif pada bakteri simbion sangat ditentukan oleh prekursor berupa enzim, nutrien serta hasil simbiosis dengan biota lain yang mengandung senyawa bioaktif seperti Gastropoda, Bivalve, Cephalopoda dan beberapa jenis biota lain yang memacu pembentukan senyawa bioaktif pada bakteri. Fungsi bakteri simbion yang lain yaitu memproduksi bahan-bahan kimia yang sangat potensial sebagai antibiotik, bahan antijamur dan bahan-bahan yang dapat mencegah predator dan sebagai *antifouling*, *toxins* dan *antitoxins*, antitumor serta agen antimikrobia. Susunan molekuler dari senyawa yang dihasilkan bergantung pada lingkungan laut yang subur, pertahanan sel terhadap gangguan dari luar lingkungan alaminya. Hal ini dibuktikan dengan penelitian yang dilakukan pada jenis Moluska dari perairan Jawa Tengah dan perairan Maluku. Bakteri simbion Moluska yang dikoleksi dari perairan Maluku ternyata memiliki aktifitas antibakteri lebih tinggi dibandingkan dengan bakteri simbion yang berasal dari Moluska yang dikoleksi dari perairan pantai utara Jawa Tengah. Moluska sekaligus mempunyai peranan penting dalam ekologiannya sehingga telah menjadi target bagi sumber senyawa bioaktif yang bermanfaat dalam dunia farmasi bahari. Keberadaan bakteri yang berasosiasi dengan moluska laut telah memungkinkan penggunaan organisme tersebut sebagai sumber utama bakteri yang baru dan sumber senyawa bioaktif termasuk senyawa antimikroba khususnya dalam menangani strain yang resisten terutama *multi drug resisten* (MDR).

Hasil-hasil kajian ini akan lebih jauh mempengaruhi pendekatan-pendekatan isolasi and dapat menunjukkan alternatif pilihan dalam rangka memperoleh metabolit aktif dari terumbu karang tanpa harus membahayakan ekosistem yang penting ini.

Pendekatan analisis penelitian dengan berbasis non-kultur menjadi sangat penting dalam mengeksplorasi potensi komunitas mikroba di lingkungan laut yang belum dapat dikultur karena hampir 99% komunitas mikroba laut tidak dapat dikultivasi di laboratorium, sehingga belum dapat diketahui fungsi-fungsi ekologisnya, serta manfaatnya secara bioteknologis (Bintrim et al, 1997) terutama dalam pengembangan vahan hayati laut. Oleh karena itu, pendekatan berbasis non-kultur menjadi sangat penting dalam mengeksplorasi potensi komunitas mikroba di lingkungan laut yang belum dapat dikultur.

Revolusi di bidang biologi molekuler memberikan dampak positif dalam bidang keanekaragaman hayati molekuler mikroba laut terutama yang belum berhasil diisolasi dengan teknik dan media yang ada selama ini. Salah satu teknik molekuler yang memberikan sumbangan besar adalah yang berkaitan dengan 16S rDNA. Akhir-akhir ini, amplifikasi *Polymerase Chain Reaction* (PCR) juga mulai dimanfaatkan terutama dengan memanfaatkan primer yang ditargetkan sekuen-sekuen dari gen-gen esensial di dalam biosintesis metabolit sekunder tertentu yang dapat digunakan untuk memperkirakan kemampuan genetik dari bakteri dalam memproduksi berbagai jenis senyawa-senyawa yang termasuk pada peptida, poliketida, dan halogen (Radjasa and Sabdono, 2003).

Pada bab berikutnya akan diuraikan tentang bakteri simbiosis yang memiliki aktifitas biologi terhadap bakteri patogen serta aktifitas senyawa aktif dari biota laut terhadap bakteri patogen multi drug resistant (MDR).

Walau di wilayah pesisir perairan Indonesia banyak ditemukan teripang yakni salah satu kelas dari echinodermata, namun masyarakat Indonesia tidak banyak yang mengenal makanan teripang, hal ini disebabkan karena sebagian besar produksi teripang yang ditangkap dari alam dijual ke negara manca negara dengan harga tinggi sehingga teripang tidak mudah ditemukan di pasar tradisional.

Teripang merupakan jenis makanan yang banyak digemari oleh masyarakat di manca negara. Kandungan senyawa kimia yang dominan terdapat pada biota Echinodermata seperti teripang adalah saponin. Saponin menyusun bagian terbesar kelompok glikosida yang tersebar merata pada hewan maupun tumbuh-tumbuhan. Saponin larut dalam air dengan bentuk buih yang terpecah. Hidrolisis saponin menghasilkan gula dan aglicones (sapogenin). Aglicones mempunyai rumus kimia dengan 27 atom karbon yang terdiri dari 6 cincin yang disebut spirostane (Ramawat dan Merillon, 1999). Senyawa saponin yang terdapat pada teripang dikenal dengan nama holothurin (Yamanouchi, *dalam* Hashimoto (1979) dan dapat bersifat antibakteri (Simoes *et al.*, 1999) sehingga berfungsi sebagai antibiotik alam yang membantu tubuh melawan infeksi dan invasi mikrobial (Balandrin, 2008). Hashimoto (1976) menambahkan bahwa kandungan saponin pada teripang mempunyai fungsi sebagai antitumor, antimikroba, meningkatkan aktivitas phagositic dari sel leukosit, memberikan efek pergerakan amoeboid dari sel leukosit, penghambat perkembangan kesuburan telur pada bulu babi serta sebagai penghambat sintesis protein, DNA dan RNA pada Teripang.

Kandungan senyawa kimia lain yang terdapat pada teripang adalah kolagen(80,0%), mineral, mukopolisakarida, glucosaninoglycans (GAGs), antiseptik alamiah, chondroitin, omega-3, omega-6, dan omega-9, asam amino, dan kandungan mineral yang terdiri dari kalium, fosfor, kromium, magnesium, kalsium, zat besi, natrium (Lambeth, 2000) serta enzim SOD (*super oxide dismutase*) bersifat antioksidan. Teripang juga diketahui mengandung zat *cell growth factor* (CGF), yakni sel yang bertanggung jawab untuk menstimulus proses regenerasi atau peremajaan sel dan berperan dalam mempercepat penyembuhan luka (Sendih, 2006).

Bulu babi atau *sea urchin* merupakan salah satu komoditas hasil perairan yang telah dimanfaatkan sebagai salah satu bahan pangan, namun belum populer karena belum banyak dikenal masyarakat luas. Berbagai

negara di dunia seperti Amerika, Meksiko, Australia, Jepang, telah memanfaatkan gonad atau telurnya bulu babi sebagai komponen utama dalam jenis makanan, selain di olah sebagai makanan khusus, gonad bulu babi dimakan mentah dengan campuran cuka. Namun di beberapa bagian wilayah Indonesia seperti di kepulauan seribu, Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur ternyata gonad bulu babi jenis *Diasema setosum* dikonsumsi sebagai campuran sayur (Aznan, 1992).

Beberapa masyarakat di wilayah pesisir Indonesia yang telah mengkonsumsi gonad bulu babi sebagai makanan, meyakini bahwa makanan tersebut dapat bermanfaat untuk menjaga stamina serta vitalitas. Lee, (1982) menyatakan, bahwa gonad *D. setosum* merupakan makanan tambahan yang kaya akan nilai gizi yakni mengandung 28 macam asam amino yang penting untuk pertumbuhan dan kesehatan. Selanjutnya ditambahkan Kato, (1985), bahwa gonad bulu babi kaya dengan kandungan vitamin B kompleks, vitamin A, dan mineral yang dibutuhkan oleh tubuh manusia.

Jelas telur sebetulnya bukan hal yang asing lagi karena masyarakat Indonesia mulai dari balita sampai orang tua suka mengkonsumsi telur. Telur adalah bakal benih yang akan tumbuh sehingga sudah pasti pada bakal benih tersebut memiliki kandungan protein untuk tubuh manusia. Namun keistimewaan telur atau gonad bulu babi adalah selain memiliki sumber kalori dan protein hewani yang cukup baik karena mudah diserap usus dalam jumlah banyak, gonad bulu babi memiliki kandungan kolesterol rendah.

Bintang laut hingga kini banyak dikenal hanya sebagai hiasan atau asesor, karena sebagian besar tubuh bintang laut terdiri dari zat kapur maka bintang laut belum dikenal sebagai bahan makanan. Namun bintang laut banyak mengandung saponin sehingga diduga senyawa aktif pada bintang laut bermanfaat untuk tubuh manusia. Saponin menyusun bagian terbesar

kelompok glikosida yang tersebar merata pada hewan maupun tumbuhan-tumbuhan.

2.3. ANTI-FOULING

Biofouling sebagai hasil dari proses penempelan organisme fouling pada berbagai struktur di lingkungan laut telah menjadi "*big concern*" bagi pelaku industri maritim. Aplikasi cat pelindung *antifoulant* dengan komponen utama logam berat mempunyai dampak yang buruk bagi lingkungan laut. Biofouling sebagai hasil dari proses penempelan organisme fouling pada berbagai struktur di lingkungan laut telah menjadi "*big concern*" bagi pelaku industri maritim. Penempelan oleh organisme fouling telah menyebabkan kerugian yang besar serta memperpendek masa pakai dari berbagai struktur di laut. Hal ini menjadi makin serius ketika proses penempelan oleh organisme fouling tersebut, juga mengakselerasi proses biokorosi serta kerusakan struktur kayu karena aktifitas "*wood-borers*".

Biofouling merupakan salah satu masalah penting yang dihadapi oleh industri kelautan karena menimbulkan banyak kerugian, sebagai akibat dari penempelan organisme penempel (*fouling*) pada berbagai struktur yang digunakan di laut, seperti kapal, dermaga, pancang maupun struktur penyangga pengeboran lepas pantai. Di lingkungan laut, mikroorganisme terutama bakteri yang mengkolonisasi berbagai permukaan struktur, memperburuk keadaan dengan membentuk biofilm primer, yang diketahui merupakan prasyarat bagi penempelan dan metamorphosis dari organisme penempel, seperti teritip/barnacle (Young dan Mitchell, 1972)

Permukaan film dari bakteri fouling mempunyai peranan penting dalam proses penempelan (*settlement*) dan metamorfosis dari beberapa larva avertebrata. Terdapat hubungan yang kompleks antara film bakteri dan penempelan larva, dimana bakteri memiliki faktor yang menstimulus penempelan larva (Maki dan Mitchell, 1988). Berbagai cara telah ditempuh untuk memperkecil kerugian yang terjadi sebagai akibat dari proses

biofouling di lingkungan laut. Saat ini upaya yang diterapkan dalam rangka melindungi struktur dari penempelan organisme fouling adalah melalui penggunaan cat pelindung (*coating paint*), dimana unsur utamanya adalah komponen logam berat dan organotin. Hasil menunjukkan bahwa komponen tersebut memberikan proteksi cukup baik terhadap berbagai struktur di lingkungan laut (Zahuranec, 1988).

Seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat tentang lingkungan laut, maka penerapan logam berat sebagai cat pelindung dipandang dapat menyebabkan suatu pencemaran logam berat di lingkungan laut. Hal ini terjadi karena logam berat sebagai komponen utama senyawa antifoulant akan terlarut ke dalam perairan laut seiring dengan waktu penggunaan dari cat pelindung tersebut.

Fouling

Fouling adalah segala sesuatu yang berhubungan dengan akumulasi dari material yang keberadaannya tidak diinginkan pada permukaan benda padat, dimana sebagian besar sering terjadi pada lingkungan perairan. Material fouling terdiri dari organisme hidup (biofouling) maupun benda mati (organik dan anorganik). Beberapa istilah lain yang sering digunakan didalam literatur untuk menggambarkan istilah fouling meliputi: formasi deposit, pengkaratan, kerak, pembentukan kerak, kekasaran dan deposisi. Ke 4 istilah terakhir kurang begitu tepat jika dibandingkan dengan fouling, sehingga istilah tersebut harus digunakan dengan faktor penyebabnya. Fenomena fouling merupakan kejadian yang sangat umum dan cakupannya sangat luas, meliputi fouling pada kapal, permukaan alami pada lingkungan laut (marine fouling), fouling pada komponen heat-transferring melalui kandungan senyawa pada proses pendinginan pada air dan gas, perkembangan plaque pada gigi, deposit panel sinar surya pada planet Mars dan lain-lainnya. Komponen-komponen yang menjadi objek sasaran fouling diberikan pada beberapa contoh dibawah ini:

- a. Permukaan heat exchanger-menurunkan efisiensi thermal, meningkatkan temperatur, mengakibatkan karat
- b. perpipaan, saluran - memperlambat aliran, menambah tekanan,
- c. lambung kapal – menambah konsumsi bahan bakar, mengurangi laju kecepatan
- d. turbin – mengurangi efisiensi, menambah kemungkinan kegagalan
- e. solar panels – menurunkan tenaga listrik yang dihasilkan
- f. membran osmose revertrase- menurunkan efisiensi purifikasi air,
- g. elemen panas listrik –
- h. reaktor nuklir
- i. injeksi/spray nozzle
- j. tabung pitot pesawat

Biofouling

Biofouling atau biological fouling merupakan akumulasi yang tidak dikehendaki keberadaannya dari mikroorganisme, tanaman, alga dan hewan-hewan pada struktur padat yang terendam, terutama pada lambung kapal. Biofouling juga terjadi pada bagian permukaan organisme laut yang masih hidup yang disebut dengan epibiosis. Biofouling juga ditemukan pada sistem membran, seperti bioreaktor membran. Kejadian ini juga ditemukan pada siklus air pendingin dari peralatan industri raksasa dan stasiun tenaga listrik.

Biofouling dibagi menjadi 2 bagian, yaitu mikrofouling dan makrofouling. Mikrofouling merupakan pembentukan biofilm dan adhesi bakteri, sedangkan makrofouling merupakan penempelan organisme yang lebih besar, terutama culprit dari barnakel, mussel, cacing polychaeta, bryozoa dan rumput laut. Organisme-organisme tersebut bersama-sama membentuk komunitas fouling.

Mikrofouling dibedakan berdasarkan :

- a. *Scaling* atau *precipitation fouling*, misal kristalisasi garam padat, oksida dan hidroksida dari air larutan, kalsium karbonat..
- b. *Particulate fouling*, misalnya karena akumulasi partikel
- c. *Corrosion fouling*
- d. *Chemical reaction fouling*, misalnya karena dekomposisi atau polimerisasi bahan organik
- e. *Solidification fouling*
- f. *Biofouling*,
- g. *Composite fouling*, fouling yang melibatkan lebih dari satu mekanisme foulant.

Makrofouling disebabkan oleh bahan kasar yang berasal dari bahan anorganik maupun biologi. yang merupakan limbah industri. Bahan-bahan tersebut masuk kedalam sirkuit air pendingin melalui pompa air yang diletakkan pada laut, sungai maupun danau. Akibatnya aliran bisa tersumbat dan permukaan alat mengalami deteriorasi. Contoh, sampah domestik, alga, mussel, daun, atau batang.

Biofouler yang secara individu ukurannya kecil, berakumulasi dan menjadi satuan massa yang besar yang dapat mengurangi kemampuan laju manuver kapal dan kapasitas muatan. Fouling menyebabkan kerugian material dan ekonomi yang besar didalam pemeliharaan dan perawatan usaha marikultur, industri perkapalan, perahu dan pipa bawah air. Pemerintah dan pelaku industri membelanjakan anggaran sebesar US\$ 5.7 billion setiap tahunnya untuk mencegah dan mengendalikan biofouling laut.

Usaha untuk meminimalisasi dampak fouler pada beberapa struktur bawah air dilakukan dengan melapisi cat pelindung antifouling. Namun beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa pengecatan antifouling tersebut bersifat racun terhadap organisme laut. Misalnya, penggunaan bahan dasar cat anti-fouling tributyltin (TBT) hanya dalam konsentrasi yang sangat rendah dapat menyebabkan gangguan pertumbuhan dan

perkembangan kerang *Crassostrea gigas* (pada konsentrasi of 20 ng/l). Sehingga bahan cat pelindung yang menggunakan senyawa dasar organotin seperti TBT dan triphenyltin (TPT), dan senyawa toksik biocide lainnya dilarang pemakaiannya pada industri perkapalan. Tentu saja larangan tersebut menimbulkan masalah tersendiri disamping merupakan tantangan untuk mencari cari anti fouling dengan bahan dasar yang ramah lingkungan sebagai alternatif teknologi untuk mencegah fouling pada lambung kapal. Perburuan pencarian metode yang man menjadi prioritas penelitian. Copper (Cu) dan senyawa turunannya menunjukkan keberhasilannya didalam penggunaan sebagai bahan cat ataupun pelapis logam meskipun samapai saat ini masih diperdebatkan keamanannya, Biofouling dapat juga terjadi di dalam sumur air tanah maupun di dalam interior dan eksterior pipa yang dipancang di laut. Dalam pipa tersebut menunjukkan adanya penghambatan aliran air laut melalui pipa dan harus dibersihkan dengan proses pembersihan tabung.

Biofilm

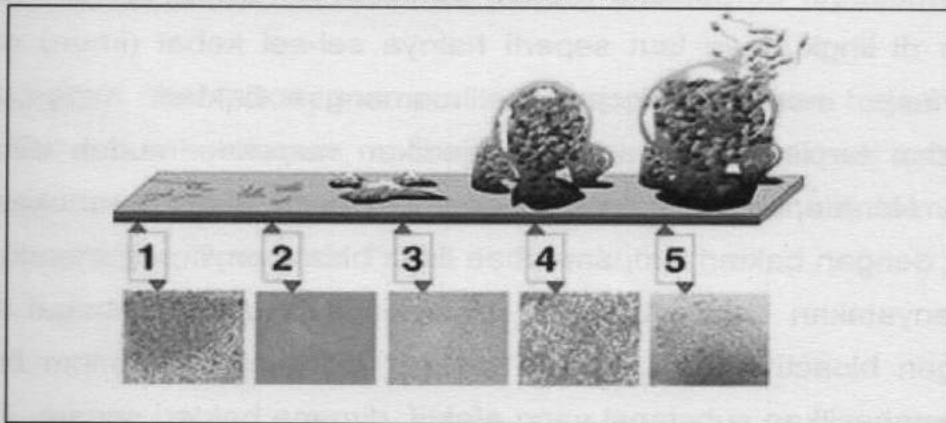
Biofilm merupakan struktur komunitas dari mikroorganismes yang terbungkus didalam matrik polimer dan melekat pada permukaan atau didalam suatu benda. Biofilm juga sering dikarakterisasi adanya penempelan permukaan, struktur yang heterogen, keragaman genetik, interaksi komunitas kompleks dan ekstraselular matrik dari senyawa polimer.

Organisma bersel tunggal biasanya memperlihatkan dua gaya perilaku yang berbeda. Yang pertama adalah sel yang mengapung bebas, atau planktonik, membentuk sel-sel tunggal yang mengapung atau berenang dengan bebas didalam beberapa medium cair. Kedua adalah penempelan dimana sel-sel secara kuat dan padat menempel satu sama lainnya serta biasanya membentuk suatu permukaan padat (solid). Perubahan didalam perilaku dipicu oleh banyak faktor-faktor yang meliputi quorum sensing atau mekanisme lain yang bervariasi di antara spesies. Ketika satu gaya itu

berubah, sel mengalami suatu perubahan fenotip di dalam perilaku dimana deretan besar gen diatur *up and down*.

Pembentukan biofilm dimulai dengan penempelan mikro-organisme yang terapung bebas pada suatu permukaan. Koloni yang pertama kali melekat ke permukaan ini pada awalnya lemah melalui gaya van der Waals yang reversibel. Jika koloni tidak segera terpisah dari permukaan, mereka bisa melekat kuat secara permanen dengan menggunakan struktur adhesi sel seperti pili.

Koloni tersebut memberikan fasilitas kedatangan kepada sel-sel lain dengan cara menyediakan lokasi adhesi dan mulai membangun matriks yang memegang biofilm bersama-sama. Beberapa spesies tidak mampu untuk menempel pada suatu permukaan di atas mereka sendiri tetapi mampu untuk menempel pada matriks atau secara langsung pada koloni terdahulu. Selama terjadi proses kolonisasi sel-sel tersebut mampu berkomunikasi melalui quorum sensing.. Ketika kolonisasi telah dimulai, biofilm tumbuh melalui satu kombinasi pembelahan sel dan perekrutan. Tahap akhir dari pembentukan biofilm adalah pengembangan, dan pada tahap ini biofilm terbentuk serta dapat hanya mengalami perubahan dalam bentuk dan ukuran. Pengembangan biofilm ini memungkinkan sel-sel untuk menjadi lebih resistan terhadap antibiotik (Gambar 1.1).



Gambar 1.1. Lima tahap perkembangan biofilm (Keterangan: 1, penempelan awal; 2, penempelan irreversible attachment; 3, maturasi I; 4, maturasi II; stage 5, dispersi).

Biofilms biasanya ditemukan pada substrat padat (solid) yang terendam atau terdedah pada beberapa larutan cair, walaupun mereka dapat terbentuk sebagai lapisan mengapung di permukaan perairan dan juga di atas permukaan daun-daun, terutama sekali pada iklim kelembaban tinggi. Dengan kondisi yang cukup untuk pertumbuhan, biofilm secara cepat akan tumbuh menjadi makroskopik. Biofilms bisa mengandung berbagai jenis mikro-organisme yang berbeda, seperti bakteri, archaea, protozoa, jamur dan alga, yang masing-masing kelompok menunjukkan fungsi metabolisme yang khusus. Namun, beberapa organisme akan membentuk biofilm monospecies di dalam kondisi tertentu.

Peneliti dari Helmholtz Center for Infection Research telah menemukan strategi yang digunakan oleh biofilms. Mereka menemukan bahwa bakteri biofilm menerapkan senjata kimia di dalam upaya untuk mempertahankan diri mereka melawan obat pembasmi hama dan antibiotik, phagocytes dan sistem kekebalan.

Ketua peneliti, Dr. Carsten Matz, memulai satu investigasi yang serius di dalam upaya menemukan mengapa phagocytes tidak bisa membasmi bakteri biofilm. Dia menganalisis bakteri laut yang mempertahankan dirinya melawan amoebae, berperilaku meniru perilaku dari phagocytes. Amoebae berperilaku di lingkungan laut seperti halnya sel-sel kebal (imun) didalam tubuh manusia: mereka mencari dan memangsa bakteri. Ketika bakteri sendirian dan terpisah dalam air, menjadikan mereka mudah ditangkap penyerang. Namun, ketika mereka menempel pada suatu permukaan dan bergabung dengan bakteri lain, amoebae tidak bisa menyerang mereka. Para peneliti menyatakan bahwa biofilms mungkin saja dilihat sebagai sebuah sumber agen bioactive baru. Ketika bakteri diorganisir di dalam biofilms, mereka menghasilkan substansi yang efektif, dimana bakteri secara individu tidak mampu untuk menghasilkan bila sendirian.

Antibiotik telah memberikan kontribusi sebagai kontrol terhadap infeksi bakteri yang menyerang manusia maupun organisme lainnya. Namun sejalan dengan perkembangan dan penggunaannya terdapat banyak bakteri-bakteri patogen yang menjadi resisten terhadap antibiotik yang ada. Penggunaan antibiotik akan memunculkan mikroorganisme resisten tidak hanya mikroorganisme yang menjadi target antibiotik tersebut, tetapi juga mikroorganisme lain yang memiliki habitat yang sama dengan mikroorganisme target. Hal ini dimungkinkan karena adanya transfer materi genetik plasmid atau transposon diantara genus bakteri yang berbeda yang masih memiliki hubungan yang dekat, misalnya genus *Escherichia*, dan *Salmonella* (Lisdar, 1997).

Berdasarkan hasil studi tentang mekanisme epidemiologi menunjukkan bahwa bakteri memiliki kemampuan untuk beradaptasi dengan lingkungan yang mengandung antibiotik. Mekanisme resistensi bakteri meliputi mutasi, penghambatan aktivitas antibiotik secara enzimatik, perubahan protein yang merupakan target antibiotik, perubahan jalur metabolik, dan perubahan permeabilitas membran. Beberapa mikroorganisme yang resisten misalnya pada bakteri *P. aeruginosa*, *B. cereus*, *S. aureus* dan bakteri patogen lainnya melalui mekanisme penghambatan aktivitas antibiotik secara enzimatik (Lisdar, 1997).

Informasi yang ditampilkan memperlihatkan potensi bahan hayati laut yang bermanfaat untuk kehidupan, namun masih banyak informasi bahan hayati laut lainnya yang merupakan pekerjaan rumah para peneliti farmasi bahari seperti yang ditampilkan pada Tabel. 1. 1 berikut.

Tabel.1.1. Potensi organisme laut (Moluska dan Echinodermata) sebagai Sumber Senyawa Bioaktif (Soediro dan Padmawinata, 1993).

No	Sumber bahan alam laut	Penggunaan	Produk alam laut
Moluska			
01.	Remis, gastropoda, abalon	Antibakteri Antivirus	Paolin 1 Paolin 2
02.	Oktopus Cumi-cumi	Anti tumor, Anti virus	Mersenen Paolin 2
03.	<i>Eledone aldrovandi</i>	Hipotensif	Eledoisin
04.	Octopus macropus, O. <i>Vulgaris, Sepia officinalis</i>	Toksik, paralitik	Sefalotoksin
05.	<i>Buccinum undatum</i> (gastropoda)	Hipotensif	Akrilkolin
06.	<i>Haliotis rufescens</i> (tiram, kerang laut)	Anti tumor Pemacu jantung (cardio accelerator)	Paolin 1 Paolin 2
07.	<i>Codakia orbicularis</i> (kerang)	Anti bakteri	Paolin
08.	<i>Crassostrea rhizophorae</i>	Anti bakteri	Paolin
09.	<i>Crassostrea virginica</i>	Anti bakteri Anti virus Anti tumor	Paolin 1 Paolin 2 Mersenen
10.	<i>Mercenaria campechinensis</i>	Anti tumor	Mersenen
11.	<i>Mercenaria mercenaria</i>	Anti bakteri Anti virus Anti tumor Neurotropik	Mersenen Paolin 1 Paolin 2
12.	<i>Saxidomus giganteus</i>	Paralitik	Saksitoksin
13.	<i>Spisula solidissima</i>	Antikoagulan Anti virus	Maktin A Paolin

14.	<i>Aplysia dactylomela</i> (kelinci laut)	Depresan susunan syaraf	Daktilin
Echinodermata			
01.	<i>Asterias</i> spp	Imobilisasi sperma	Saponin
02.	<i>Actinopyga agassizi</i> dan jenis teripang lainnya	Haemotilik, anti kanker	Holoturin
03.	<i>Acanthastes planci</i>	Sitotoksik, emetik	Belum diketahui
04.	<i>Asterias amurensis</i> , <i>Asterias petinifera</i>	Toksik, hemolitik, Emetik	Asterosaponin
05.	<i>Pisaster ochraceus</i>	hipoglisemik	Zat seperti insulin
06.	<i>Aphelastrias japonica</i> (bintang laut)	sitotoksik	Saponin steroid polihidroksi Afelasterosida A dan B 2 polihidroksi sterol baru
07.	<i>Fromia monilis</i> (bintang laut)	sitotoksik	9 glikosida steroid

II. KARAKTERISTIK BIOLOGIS MOLUSKA

2.1. Morfologi dan Anatomi

Moluska merupakan filum terbesar setelah filum Arthropoda, sehingga sebarannya juga sangat luas karena hidup di laut, air tawar, payau, dan darat bahkan juga hidup di palung benua di laut sampai pegunungan yang tinggi. Kelas Moluska yang lebih banyak dikenal adalah: bivalvia (kerang), gastropoda (siput) dan cephalopoda (cumi). Moluska memiliki ciri khas yakni tubuhnya lunak yang dilindungi oleh lapisan yang disebut *mantel*. Tubuhnya terdiri dari tiga bagian utama, yaitu kaki, badan, dan mantel. Sebagian besar mantel menyatu dengan cangkang dan cangkang berzat tanduk yang berfungsi sebagai pelindung tubuhnya. Cangkang yang berada di luar tubuh dapat dijumpai pada hampir seluruh kelas Moluska seperti: gastropoda dan bivalvia (pelecypoda), kemudian cangkang yang berada di dalam tubuh dijumpai pada kelas cephalopoda kecuali gurita dari kelas cephalopoda dan nudibranch atau kelinci laut dari kelas gastropoda tidak memiliki cangkang sama sekali.

Ukuran dan bentuk moluska sangat bervariasi, mulai dari ukuran terkecil milimeter misalnya siput hingga ukuran terbesar mencapai panjang lebih dari 18 meter, misalnya cum-cumi raksasa. Semua kelas moluska kecuali bivalvia memiliki radula yakni gigi seperti pita chitinous yang digunakan untuk menghancurkan makanan dan mangsanya.

Gastropoda adalah hewan yang menggunakan perut sebagai kakinya atau alat gerak sehingga pergerakannya sangat lambat. Gastropod bernafas dengan insang, namun gastropoda yang hidup di darat bernafas dengan mantelnya. Gastropoda yang hidup di darat terdiri dari dua tentakel panjang dengan bagian ujungnya terdapat mata yang berfungsi untuk mengetahui gelap dan terang dan tentakel yang berfungsi sebagai alat peraba dan pembau.

Bivalvia artinya hewan yang memiliki dua buah cangkang pipih yang setangkup. Ciri khas dari bivalvia adalah kakinya berbentuk pipih seperti kapak yang dapat dijulurkan dan digunakan untuk melekat atau menggali habitatnya seperti habitat pasir dan lumpur. Bivalvia hidup menetap dan membenamkan diri di dasar perairan bahkan mampu melekat pada bebatuan ataupun cangkang hewan lain, atau perahu karena mensekresikan zat perekat.

Ciri khas lain dari bivalvia adalah tidak memiliki rahang atau radula sehingga makanannya berupa hewan kecil seperti protozoa, diatom, dan sejenis lainnya.

Hewan yang sangat spesifik dari Filum moluska adalah kelas Cephalopoda karena disamping dapat berenang seperti hewan vertebrata, Cephalopoda (gurita, sotong dan cumi-cumi) memiliki kantong tinta yang berfungsi untuk pertahanan diri.

Cephalopoda merupakan salah satu kelas dari filum Mollusca yang berbeda dengan kelas hewan Mollusca lainnya. Hewan Mollusca pada umumnya memiliki cangkang keras yang terdiri dari zat kapur, sedang Cephalopoda tidak memiliki cangkang luar atau cangkangnya tereduksi. Cephalopoda memiliki bentuk tubuh simetris bilateral, kepala tampak jelas dengan mata berfungsi dengan baik. Otot kakinya mengalami modifikasi menjadi tangan dan tentakel yang terdapat di sekitar mulut pada bagian kepala. Sistem saraf terdiri atas ganglion di kepala. Alat kelamin terpisah (*dioecious*) (Bullough, 1958).

Bullough (1958) membedakan Cephalopoda atas dua order yakni, Tetrabranchia dan Dibranchia. Perkembangan order Tetrabranchia lebih sederhana dibandingkan dengan Dibranchia. Tetrabranchia mempunyai jumlah spesies yang sangat banyak, diantaranya telah menjadi fosil. Tetrabranchia memiliki cangkang luar yang membelit dan memiliki beberapa lengan. Mempunyai dua pasang insang, 2 pasang nefridia, tidak ada kantong

tinta dan kromatofora. Nautilus adalah salah satu contoh Tetrabranchia dan sekarang Nautilus sudah termasuk salah satu hewan laut langka. Order Dibranchia berkembang sempurna dan memiliki ciri, delapan tangan atau sepuluh tangan/tentakel, ada kromatofora, cangkangnya tereduksi atau tidak ada, ada kantong tinta, sepasang ctenidia (insang) dan nefridia (ginjal). Order Dibranchia terdiri atas dua suborder yaitu Octopoda dan Decapoda. Masing-masing suborder ini memiliki perbedaan nyata pada tangan dan tentakelnya. Octopoda memiliki ciri delapan tangan/tentakel (contoh *octopus*) dan Decapoda memiliki sepuluh tangan/tentakel (contoh *Loligo* dan *Sepia*).

Loligonidae (cumi-cumi) merupakan salah satu famili dari suborder Decapoda, dengan ciri, mempunyai pen (penyangga mantel dorsal) seperti bulu burung, mantel merupakan otot kuat, bentuk tubuh variasi dari pendek sampai panjang dan langsing, sirip selalu terdapat di ujung posterior mantel, mata dibungkus lapisan transparan (**corneal membran**), ada delapan tangan dan dua tentakel yang dilengkapi dengan alat pengisap. Cumi-cumi genus *Loligo* ada yang mempunyai organ cahaya menempel pada kantong tinta (Aleksrev, 1989).

Kedudukan cumi-cumi genus *Loligo* dalam susunan klasifikasi adalah sebagai berikut (Bullough, 1958)

Filum	: Moluska
Kelas	: Cephalopoda
Order	: Dibranchia
Suborder	: Decapoda
Famili	: Loligonidae
Genus	: <i>Loligo</i>
Spesies	: <i>Loligo</i> sp

Tubuh cumi-cumi (*Loligo*) dapat dibedakan atas kepala, leher dan badan (mantel). Kepalanya besar, mata berkembang dengan baik karena telah dapat berfungsi untuk melihat, mulut terdapat di tengah ujung anterior kepala dan dikelilingi oleh 10 tangan (8 tangan pendek dan 2 tangan panjang atau tentakel) (Bullough, 1958). Pada setiap tentakel terdapat alat pengisap dan tentakel berfungsi untuk mencari dan menangkap mangsa, berenang dan reproduksi (Thurman dan Webber, 1984).

Seluruh tubuh cumi-cumi terbungkus oleh mantel. Pada dinding sebelah dorsal mantel, terdapat pen yang berperan sebagai penyangga tubuh. Bagian dorsal mantel melekat pada badan, sedangkan di daerah perut tidak melekat sehingga berbentuk rongga disebut rongga mantel. Di sisi kiri dan kanan posterior tubuh cumi-cumi terdapat sirip (*fin*), sirip bersama tentakel berfungsi sebagai alat kemudi bila bergerak kedepan (Bullough, 1958).

Cumi-cumi bergerak dengan menggunakan tentakel dan dengan menyemburkan air dari rongga mantel. Proses pemasukan air terjadi ketika otot sirkular mantel berada dalam keadaan relaksasi, air masuk melalui tepi mantel (inhalan) sehingga memenuhi rongga mantel. Rongga mantel berisi penuh dengan air sehingga terjadi kontraksi otot mantel, lalu air disemprotkan melalui corong (sifon). Semprotan air menimbulkan dorongan yang amat kuat terhadap tubuh cumi-cumi sehingga timbul gerakan ke arah belakang (Buchsbaum, 1948).

Sirip (*fin*) yang terdapat pada ujung posterior tepi mantel, ikut berperan dalam pengeluaran air melalui tekanan ke arah luar melalui rongga mantel (Ruppert dan Barnes, 1991). Selain itu, sirip juga berfungsi untuk memacu dalam pergerakan atau berenang ke arah depan dan ke arah belakang serta untuk alat keseimbangan (Buchsbaum, 1948). Pergerakan berenang cepat ke arah depan (maju) atau ke arah belakang (mundur) dicapai, ketika kontraksi otot mantel maksimal dan karena mantel menerima air langsung

dari bagian corong. Sirkulasi air yang terjadi dalam rongga mantel tidak hanya berfungsi untuk pergerakan cumi-cumi, namun juga berfungsi untuk mengambil oksigen oleh insang (ctenidia) yang terletak di rongga mantel (Ruppert dan Barnes, 1991).

Ketika cumi-cumi mencari dan menangkap mangsanya maka tangan dirundukkan dan kedua tentakelnya dikaitkan. Mangsa ditangkap dengan menggunakan tentakelnya dan dipegang dengan alat pengisap yang terletak di sepanjang sisi tangan-tangannya dan selanjutnya mangsa dimasukkan ke dalam mulut cumi-cumi (Buchsbaum, 1948).

Mulut cumi-cumi dilengkapi dengan lidah parut (radula), gigi kitin yang tajam. Sistem pencernaan cumi-cumi terdiri atas mulut yang dikelilingi tentakel, rongga mulut, faring, oesofagus, lambung, sekum usus dan anus. Pada alat pencernaan terdapat kantong tinta yang terletak pada rektum dan bermuara dekat anus. Pada beberapa spesies cumi-cumi terdapat organ cahaya yang menempel pada kantong tinta. Kelenjar pencernaan cumi-cumi terdiri atas kelenjar ludah, hati, pankreas yang terletak dekat anus dan anus. Pencernaan makanan cumi-cumi telah sempurna, pencernaan enzimatik terjadi di lambung, sedangkan hasil pencernaan diabsorpsi di sekum dan oleh darah dibawa ke hati (Ruppert dan Barnes, 1991). Sisa makanan dibuang melalui anus dan dikeluarkan bersamaan dengan penyemprotan air ke luar rongga mantel melalui corong (Russel, 1968). Corong atau *sifon* berfungsi sebagai saluran keluar sisa makanan, cairan tinta dari kantong tinta serta cairan dari alat reproduksi (Ruppert dan Barnes, 1991).

Alat ekskresi cumi-cumi berupa sepasang ginjal (nefridia) yang berbentuk segitiga dan berwarna putih, letaknya meluas ke anterior hingga jantung, sedangkan saluran ke luar bermuara di rongga mantel sebelah kiri dan kanan usus. Sistem peredaran darah dengan saluran tertutup, terdiri atas

jantung dengan tiga ruang, yakni satu ventrikulus dan dua atrium serta pembuluh darah (Ruppert dan Barnes, 1991).

Cumi-cumi (*Loligo*) mempunyai kemampuan untuk mengubah warna tubuh karena kulitnya mengandung kromatofora, yaitu sel pigmen dengan bermacam-macam warna, seperti ungu, biru, merah, dan kuning (Ruppert dan Barnes, 1991). Apabila pigmen dalam kromatofora dipusatkan maka hewan tampak pucat, sebaliknya apabila pigmen menyebar maka akan terwarna terang. Selain itu, tinggi atau rendahnya konsentrasi pigmen mengakibatkan perbedaan warna pada kulit (Hurkat, 1976).

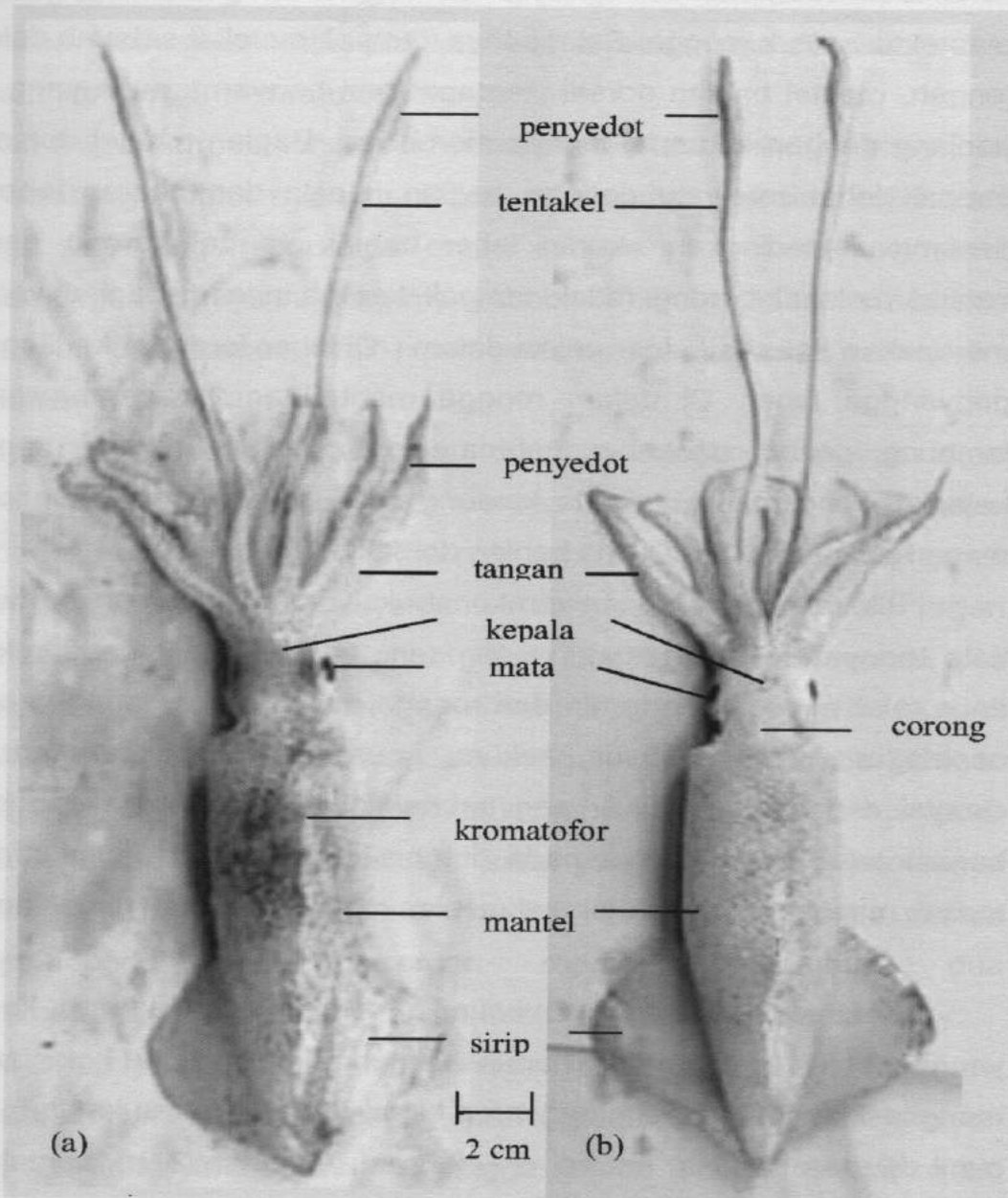
Kekhasan lain dari cumi-cumi (*Loligo*) yakni adanya kantong tinta yang terletak di rektum dekat anus. Kantong tinta memiliki kelenjar tinta yang menghasilkan cairan yang berwarna hitam (tinta). Cairan tinta disemprotkan ke luar melalui anus lalu melalui corong, bila kondisi di sekitarnya tidak nyaman. Pada sekelompok spesies cumi-cumi genus *Loligo* ada yang mempunyai organ cahaya yang menempel pada kantong tinta. Organ cahaya ini yang menyebabkan cumi-cumi memancarkan cahaya (Ruppert dan Barnes, 1991) dan peristiwa pemancaran cahaya ini disebut bioluminisensi.

Pada tubuh cumi banyak terdapat kromatofor, bagian permukaan dorsal mantel, kepala dan tangan terdapat kumpulan kromatofor, sehingga bagian-bagian tersebut tampak berwarna lebih gelap (Gambar.1a). Bagian ventral, mantel berwarna lebih terang karena penyebaran kromatofor tidak mengelompok, pada permukaan ventral sirip tidak terdapat kromatofor, sehingga sirip bagian ventral berwarna putih (Gambar.1b).

Cumi-cumi (*Loligo*) mempunyai kemampuan untuk mengubah warna tubuh karena kulitnya mengandung kromatofora, yaitu sel pigmen dengan bermacam-macam warna, seperti ungu, biru, merah, dan kuning (Ruppert dan Barnes, 1991). Apabila pigmen dalam kromatofora dipusatkan maka

hewan tampak pucat, sebaliknya apabila pigmen menyebar maka akan terwarna terang. Selain itu, tinggi atau rendahnya konsentrasi pigmen mengakibatkan perbedaan warna pada kulit (Hurkat, 1976).

Pada bagian kepala terdapat sepasang mata, mulut dan 2 tentakel dan 8 tangan. Mata cumi kecil, dibungkus oleh selaput bening (kornea) dan berkembang dengan baik karena telah dapat berfungsi untuk melihat. Mulutnya terdapat ditengah-tengah, dikelilingi 10 tentakel. Bagian dalam mulut, dikelilingi gigi kitin yang tajam yang ukurannya bervariasi dan lidah parut (radula) di bagian tengah mulut. Di bagian tepi tentakel dan tangan terdapat alat penyedot/*sucker* berbentuk bulat dan ukuran diameternya makin mengecil ke arah ujung tepi tentakel/tangan. Mantel bagian dorsal dibuka secara longitudinal dari anterior ke posterior, di anterior tampak leher bagian dorsal melekat dengan bagian kepala dan mantel sehingga tampak menyatu antara kepala leher dan mantel.



Gambar. 2.1 . Cumi-cumi *Loligo duvauceli* tampak dari dorsal (a) dan ventral (b)

Leher bagian ventral terdapat sifon yang melekat pada bagian kepala dan leher akan tetapi tidak melekat pada bagian mantel sehingga pada bagian mantel terbentuk rongga. Selanjutnya, tampak melekat sebelah dalam bagian tengah, mantel bagian dorsal terdapat pen berwarna putih yang berbentuk panjang dengan kedua ujungnya meruncing. Bagian mantel dorsal dibuang, tampak leher menyatu dengan bagian kepala dan ukuran lehernya lebih panjang dibandingkan ukuran leher bagian ventral karena pada bagian ventral melekat corong (tidak tampak karena ada di bagian ventral) yang merupakan saluran keluar organ dalam. Di leher terdapat kartilago sebagai penyangga leher. Di dalam rongga mantel tampak organ-organ insang, lambung, gonad, pankreas, nefrida (ginjal), sekum, rektum, kantong tinta, kelenjar pencernaan. Pada kantong tinta terdapat sepasang organ bulat menempel pada lateral pada bagian dorsal kantong tinta.

Bila alat pencernaan direkonstruksi memperlihatkan bahwa kantong tinta menyatu dengan alat pencernaan, yaitu terletak pada rektum dekat anus. Alat pencernaan terdiri dari rongga mulut, mulut, faring yang panjang, oesofagus, lambung, usus, sekum, anus. Sistem pencernaan cumi-cumi dimulai dari bagian mulut yang terletak di bagian kepala dan berakhir ke bagian anus yang terletak pada corong bagian ventral cumi-cumi. Saluran masuk makanan dan saluran keluar sisa makan terdapat di bagian anterior.

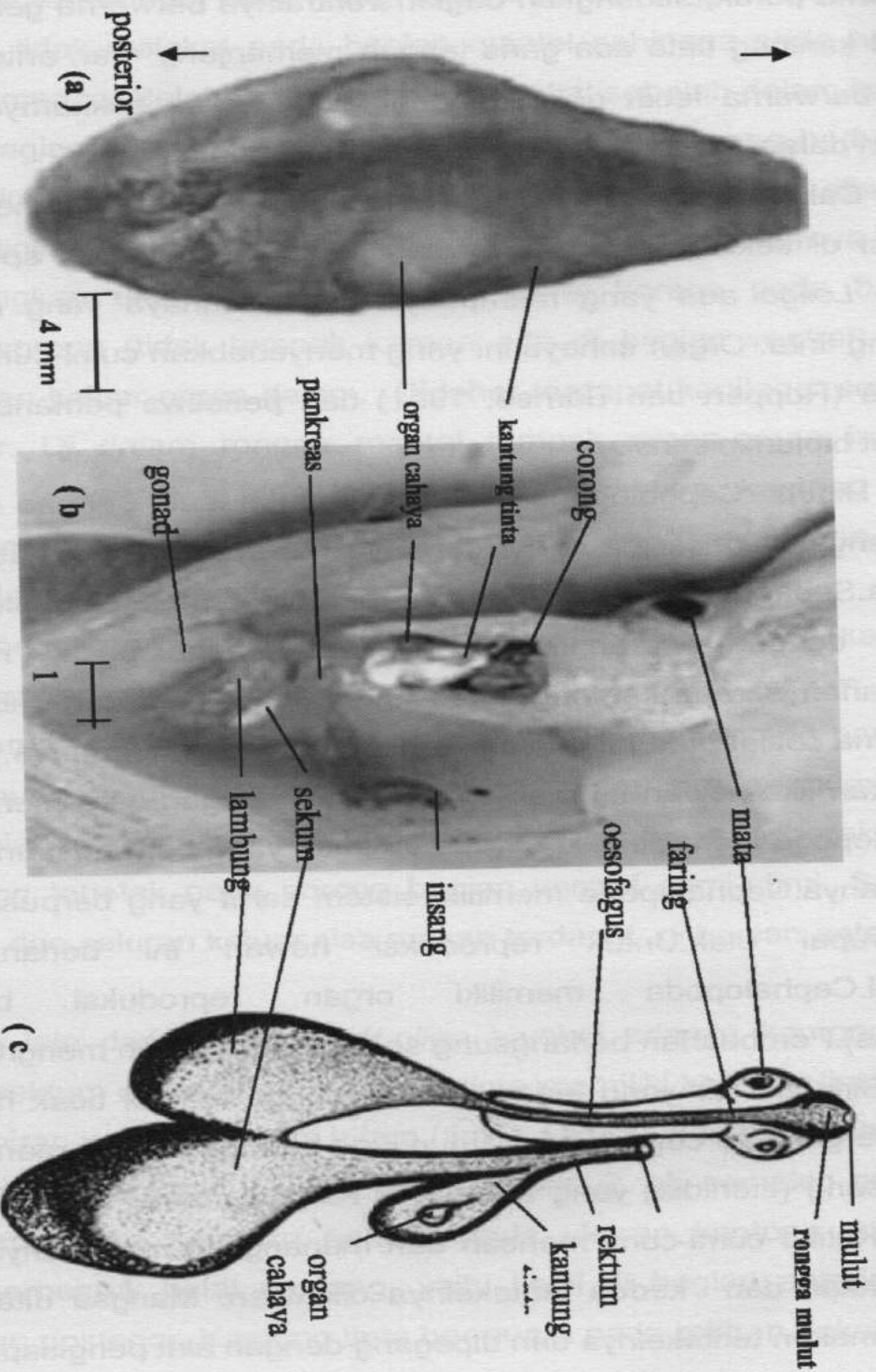
Kekhasan lain dari cumi-cumi (*Loligo*) yakni adanya kantong tinta yang terletak di rektum dekat anus. Kantong tinta memiliki kelenjar tinta yang menghasilkan cairan yang berwarna hitam (tinta). Ukuran kantong tinta cumi-cumi dewasa berkisar antara 2 – 2,5 cm (Gambar. 2. a), semakin panjang ukuran cumi-cumi maka semakin panjang pula ukuran kantong tintanya. Kantong tinta berbentuk bulat panjang, yaitu kecil di bagian anterior dan melebar di bagian posterior. Kantong tinta bermuara pada rektum dekat anus, jadi cairan tinta dari kantong tinta ke luar melalui anus dan terus keluar melalui corong (Gambar. 2. b). Bagian permukaan dorsal kantong tinta

berwarna perak, sedangkan bagian ventralnya berwarna gelap. Pada bagian dorsal kantong tinta ada garis tengah memanjang dari anterior ke posterior yang berwarna lebih gelap dibandingkan warna sekitarnya (Gambar. 2c). Bagian dalam kantong tinta terdapat kelenjar tinta.

Cairan tinta disemprotkan ke luar melalui anus lalu melalui corong, bila kondisi di sekitarnya tidak nyaman. Pada sekelompok spesies cumi-cumi genus *Loligo* ada yang mempunyai organ cahaya yang menempel pada kantong tinta. Organ cahaya ini yang menyebabkan cumi-cumi memancarkan cahaya (Ruppert dan Barnes, 1991) dan peristiwa pemancaran cahaya ini disebut bioluminisensi.

Hidup Cephalopoda seluruhnya di laut dengan merayap atau berenang di dasar laut. Makanannya berupa keping atau invertebrata lainnya. Sebagai hewan pemangsa, hampir semua Cephalopoda bergerak cepat dengan berenang. Kebanyakan Cephalopoda memiliki organ pertahanan berupa kantong tinta. Kantong tinta berisikan cairan seperti tinta berwarna coklat atau hitam yang terletak di ventral tubuhnya. Tinta ini akan dikeluarkan jika hewan ini merasa terancam dengan cara menyemburkannya. Cephalopoda memiliki kaki berupa tentakel yang berfungsi untuk menangkap mangsanya. Cephalopoda memiliki sistem saraf yang berpusat di kepalanya menyerupai otak. Untuk reproduksi hewan ini berlangsung secara seksual. Cephalopoda memiliki organ reproduksi berumah dua (dioseus). Pembuahan berlangsung secara internal dan menghasilkan telur.

Sirkulasi air yang terjadi dalam rongga mantel tidak hanya berfungsi untuk pergerakan cumi-cumi, namun juga berfungsi untuk mengambil oksigen oleh insang (ctenidia) yang terletak di rongga mantel (Ruppert dan Barnes, 1991). Ketika cumi-cumi mencari dan menangkap mangsanya maka tangan dirundukkan dan kedua tentakelnya dikaitkan. Mangsa ditangkap dengan menggunakan tentakelnya dan dipegang dengan alat pengisap yang terletak



Gambar 2. 2. Kantung tinta dan sepasang organ cahaya

- a) Organ dalamam cumi setelah bagian mentel dibuka
- b) Sepasang organ cahaya menempel pada bagiandorso-lateral kantung tinta
- c) Rekonstruksi alat pencernaan cumi, tampak kantung tinta bermuara pada alat

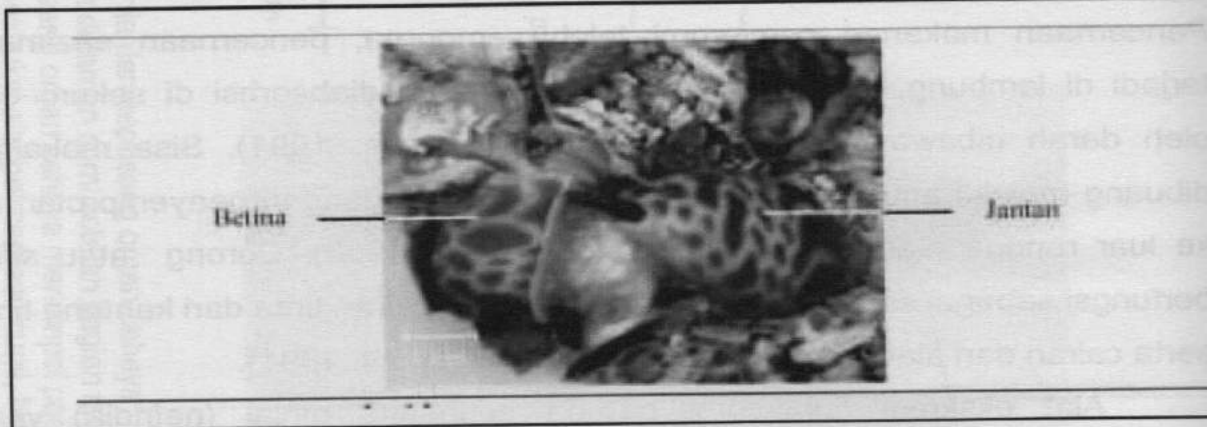
Mulut cumi-cumi dilengkapi dengan lidah parut (*radula*), gigi kitin yang tajam. Sistem pencernaan cumi-cumi terdiri atas mulut yang dikelilingi tentakel, rongga mulut, faring, oesofagus, lambung, sekum usus dan anus. Pada alat pencernaan terdapat kantong tinta yang terletak pada rektum dan bermuara dekat anus. Pada beberapa spesies cumi-cumi terdapat organ cahaya yang menempel pada kantong tinta. Kelenjar pencernaan cumi-cumi terdiri atas kelenjar ludah, hati, pankreas yang terletak dekat anus dan anus. Pencernaan makanan cumi-cumi telah sempurna, pencernaan enzimatik terjadi di lambung, sedangkan hasil pencernaan diabsorpsi di sekum dan oleh darah dibawa ke hati (Ruppert dan Barnes, 1991). Sisa makanan dibuang melalui anus dan dikeluarkan bersamaan dengan penyemprotan air ke luar rongga mantel melalui corong (Russel, 1968). Corong atau *sifon* berfungsi sebagai saluran keluar sisa makanan, cairan tinta dari kantong tinta serta cairan dari alat reproduksi (Ruppert dan Barnes, 1991).

Alat ekskresi cumi-cumi berupa sepasang ginjal (*nefridia*) yang berbentuk segitiga dan berwarna putih, letaknya meluas ke anterior hingga jantung, sedangkan saluran ke luar bermuara di rongga mantel sebelah kiri dan kanan usus. Sistem peredaran darah dengan saluran tertutup, terdiri atas jantung dengan tiga ruang, yakni satu ventrikel dan dua atrium serta pembuluh darah (Ruppert dan Barnes, 1991).

2.2. Biologi Reproduksi

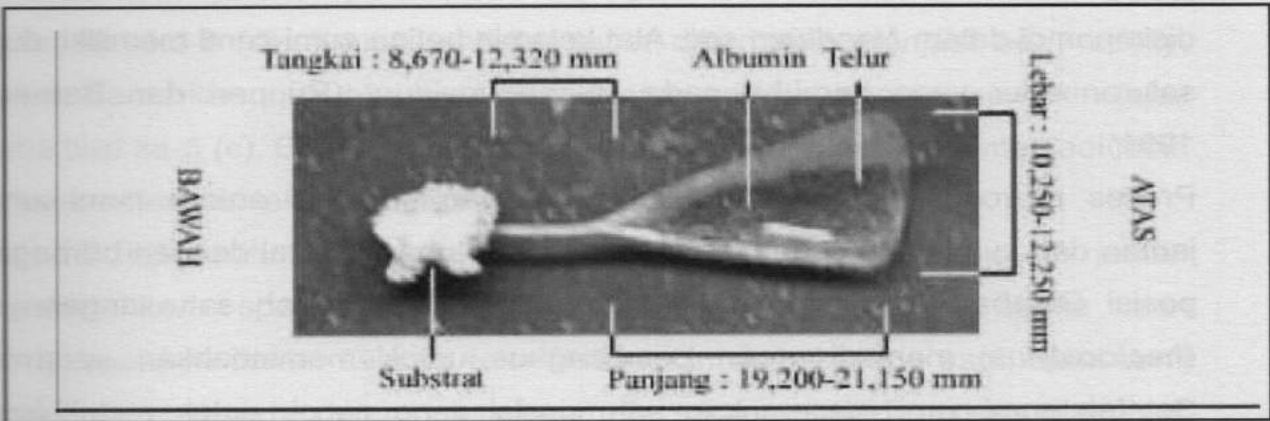
Gastropoda dan bivalvia memiliki alat kelamin umumnya terpisah (*dioseus*), tetapi ada pula yang hermafrodit pembuahannya eksternal seperti *Crassostera* spp. atau memiliki gonad yang berfungsi sebagai ovarium dan testis pada saat yang bersamaan (*Tridacna* sp.). Pemijahan dilakukan dimana telur dan sperma dikeluarkan langsung ke dalam air. Alat reproduksinya disebut ovotestis, yaitu suatu badan penghasil ovum dan

sperma. Alat reproduksi Gastropoda jantan terdiri dari saluran sperma, kantung sperma dan alat kelamin. Pada saat reproduksi, maka sperma yang dihasilkan diteruskan ke saluran sperma sampai tertampung dalam kantung sperma, kemudian sperma dikeluarkan melalui alat kawin. Alat reproduksi Gastropoda betina terdiri saluran telur, reseptakel seminal, lubang kelamin. Pada saat reproduksi, sel telur yang dihasilkan akan diteruskan ke saluran telur, reseptakel seminal, dan akhirnya keluar melalui lubang kelamin.



Gambar 2. 3. Gastropoda (Babylonia) jenis betina dan jantan sedang melakukan proses pemijahan (Fotografi: Fathoni)

Gastropoda dan bivalvia merupakan organisme hemaprodit, bila terjadi reproduksi maka tetap diperlukan dua individu. Reproduksi dimulai ketika dua Gastropoda saling mendekat dan saling memasukkan penis ke lubang kelamin betina agar sperma dapat dipindahkan (Gambar. 3). Setelah terjadi proses pemijahan maka keduanya saling menjauh dan yang betina meletakkan telur yang telah dibuahi dan dilindungi oleh zat gelatin pada tempat yang gelap (Gambar 2.4).



Gambar 2. 4. Telur dilindungi oleh gelatin dan diletakkan di atas substrat bebatuan (Fotografi: Fathoni)

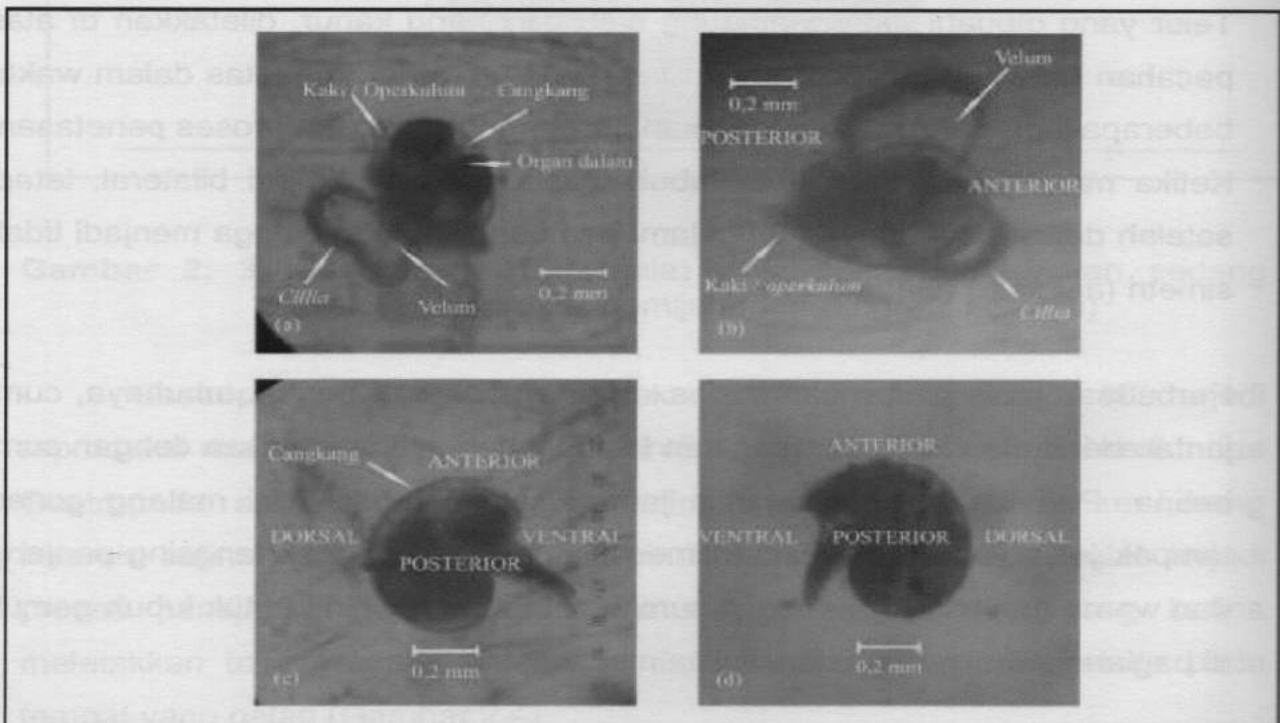
Telur yang dibuahi akan terlindung oleh cangkang kapur, diletakkan di atas pecahan batu kerikil atau substrat lainnya. Telur akan menetas dalam waktu beberapa jam, perubahan suhu akan berpengaruh dengan proses penetasan. Ketika masih berbentuk larva, tubuh Gastropoda bersimetri bilateral, tetapi setelah dewasa tubuhnya mengalami pembengkokan sehingga menjadi tidak simetri (asimetri) (Gambar. 5)

Perbedaan jenis jantan dan betina cumi tampak dari bentuk tubuhnya, cumi jantan berukuran lebih panjang dan lebih langsing dibandingkan dengan cumi betina. Perbedaan jenis kelamin jantan betina untuk cumi matang gonad tampak jelas yakni: cumi jantan memiliki ciri bentuk tubuh langsing panjang dan warna mantel lebih, sedang cumi betina memiliki ciri bentuk tubuh gemuk di bagian ventral gemuk dan warna mantel lebih gelap.

Cumi-cumi memiliki alat kelamin terpisah (*dioecious*), gonad tunggal berada di bagian posterior tubuh cumi-cumi dan fertilisasi terjadi secara internal. Alat kelamin jantan memiliki saluran, vas deferens, yang menyalurkan sperma dari testis ke vesikula seminalis yang dindingnya berlekuk dan bercilia. Dalam

vesikula seminalis sperma disatukan membentuk spermatofora, kemudian disimpan di dalam *Needham sac*. Alat kelamin betina cumi-cumi memiliki dua saluran telur yang berakhir pada kelenjar oviduct (Ruppert dan Barnes, 1991).

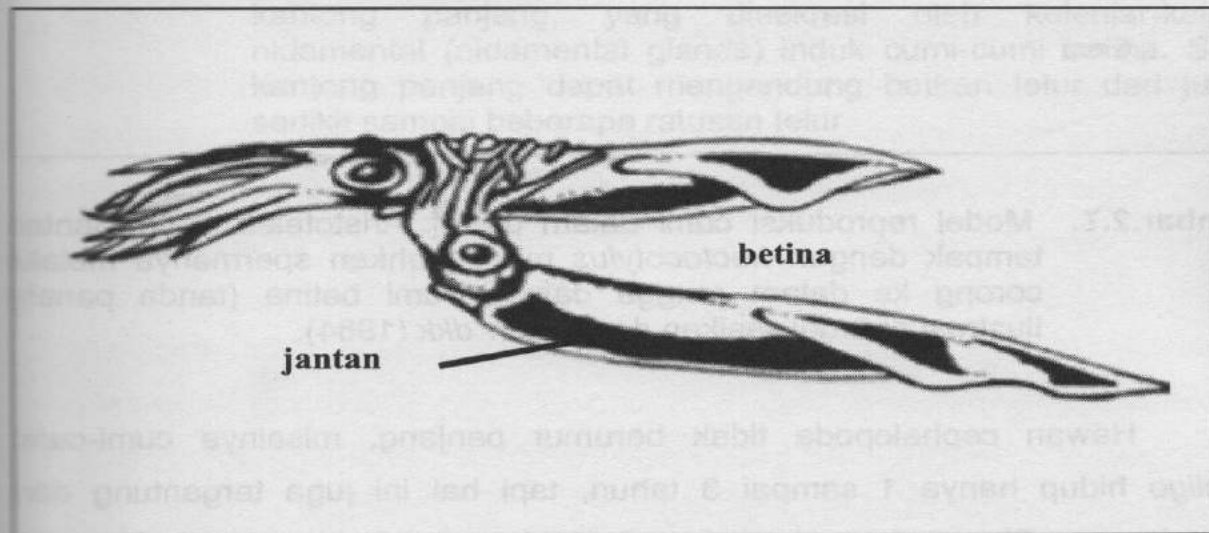
Proses reproduksi cumi-cumi dimulai dengan kopulasi antara cumi-cumi jantan dan cumi-cumi betina, yaitu melalui sentuhan mantel dengan berbagai posisi Gambar. 6). Cumi-cumi jantan memodifikasi salah satu tangannya (*hectocotylus*) menjadi organ pembungkus untuk memindahkan sperma. Setelah cumi-cumi menemukan satu posisi yang cocok untuk melakukan proses reproduksi, dengan menggunakan *hectocotylus* (sebelah kiri bawah tangan) cumi-cumi mengambil spermatofor melalui corong.



Gambar. 2. 5. Perkembangan *intracapsular* setelah 3 - 6 hari (Perbesaran 100x). (Fotografi: Fathoni)

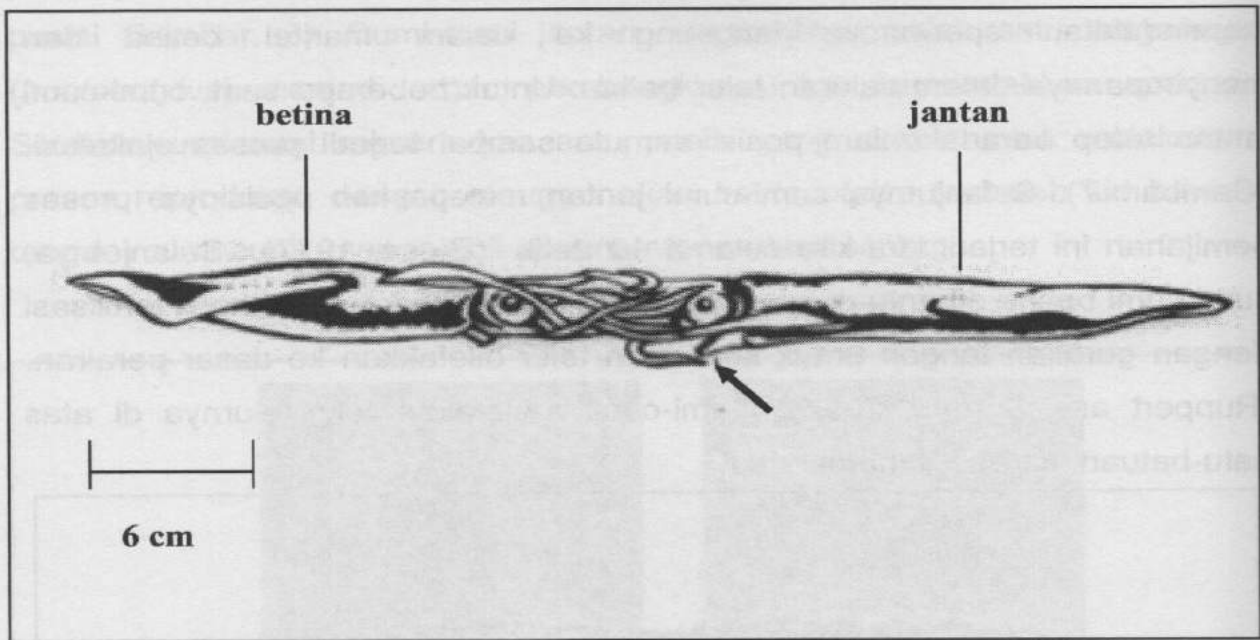
Embrio membentuk lapisan transparan dan semakin aktif bergerak pada hari ke-3 (a), Bentuk embrio dapat dibedakan menjadi *body cavity*, *velum* dan *cillia* pada hari ke-4 (b), Bentuk embrio menjadi semakin jelas pada hari ke-5 (c), Embrio memiliki cangkang muda, ukurannya menjadi lebih besar dan kapsul telur menetas pada hari ke-6 (d).

Dalam satu kali gerakan yang sangat cepat, cumi-cumi jantan memindahkan spermanya langsung ke dalam mantel betina dan menyimpannya dalam saluran telur betina. Untuk beberapa saat, cumi-cumi jantan tetap berada dalam posisi semula sampai terjadi proses ejakulasi. (Gambar. 7). Selanjutnya cumi-cumi jantan melepaskan posisinya, proses pemijahan ini terjadi kira-kira selama 10 detik (Giese, 1977). Selanjutnya, cumi-cumi betina dibantu cumi-cumi jantan mengeluarkan telur hasil fertilisasi dengan gerakan tangan untuk kemudian telur diletakkan ke dasar perairan. (Ruppert and Barnes, 1991). Cumi-cumi meletakkan telur-telurnya di atas batu-batuan, karang, tanaman laut.



Gambar.2.6. Model reproduksi cumi pada posisi tangan menyentuh mantel. Ilustrasi yang divisualisasikan dari Roper *dkk* (1984)

Telur cumi-cumi terbungkus dalam selaput gelatin menyerupai kantong panjang, yang disekresi oleh kelenjar-kelenjar nidamental (nidamental glands) induk cumi-cumi betina (Gambar. 2.7). Setiap kantong panjang dapat mengandung butiran telur dari jumlah sedikit sampai beberapa ratusan telur (Roper et al., 1984).



Gambar.2.7. Model reproduksi cumi dalam posisi 'Aristoteles'. Cumi jantan tampak dengan *hectocotylus* memindahkan spermanya melalui corong ke dalam rongga dakam cumi betina (tanda panah) Ilustrasi divisualisasikan dari Roper *dkk* (1984).

Hewan cephalopoda tidak berumur panjang, misalnya cumi-cumi *Loligo* hidup hanya 1 sampai 3 tahun, tapi hal ini juga tergantung dari spesiesnya. Biasanya cumi-cumi mati setelah proses reproduksi (Ruppert dan Barnes, 1991).



Gambar. 2.8. Telur cumi-cumi terbungkus dalam selaput gelatin menyerupai kantong panjang, yang disekresi oleh kelenjar-kelenjar nidamental (nidamental glands) induk cumi-cumi betina. Setiap kantong panjang dapat mengandung butiran telur dari jumlah sedikit sampai beberapa ratusan telur

III. KARAKTERISTIK BIOLOGIS ECHINODERMATA

3.1. Morfologi

Echinodermata berasal dari kata Echinus yang berarti duri dan dermal yang berarti kulit, jadi Echinodermata adalah hewan berkulit duri. Namun bentuk tubuhnya ada yang memiliki 5 lengan (bintang laut), bulat (Bulu babi), pipih (bintang ular), bulat memanjang (teripang) , dan seperti tumbuhan (lili laut). Hewan ini memiliki kemampuan untuk membentuk kembali organ tubuhnya yang terputus atau disebut kemampuan autotomi. Echinodermata memiliki insang dan sistem sarafnya berupa cincin saraf yang mengelilingi mulut, lalu bercabang kebagian masing-masing lengan yang dimiliki. Sistem pencernaan terdiri dari mulut, esofagus, lambung, usus, dan anus. Echinodermata tidak memiliki sistem ekskresi dan otak. Mekanisme gerakannya melalui sistem kaki ambulakral (sistem saluran air dalam rongga tubuhnya) yaitu dengan cara sebagai berikut: air masuk melalui madreporit kemudian turun ke saluran cincin lalu masuk ke dalam saluran radial, setelah itu air masuk ke kaki-kaki tabung, air disemprotkan sehingga dalam kaki tabung muncul tekanan hidrolis dari air dan akhirnya kaki tabung menjulur ke luar, akibatnya ampula melekat pada benda lain sehingga bisa berpindah tempat.

Echinodermata dikelompokkan menjadi lima kelas, yaitu Asterozoa (bintang laut), Ophiurozoa (bintang ular), Echinozoa (bulu babi), Holothurozoa (teripang), dan Crinozoa (lili laut). Pada bab ini membahas bioprospek Echinodermata pada kelas Asterozoa (bintang laut), Echinozoa (bulu babi), Holothurozoa (teripang).

Bintang laut merupakan makhluk hidup yang bebas, namun dikarenakan ketiadaan organ gerak yang memadai, mereka hanya bergerak mengikuti arus air laut. Bintang laut memiliki tubuh yang terdiri dari komponen karbonat lebih dikenal dengan ossicle. Endoskeleton merupakan

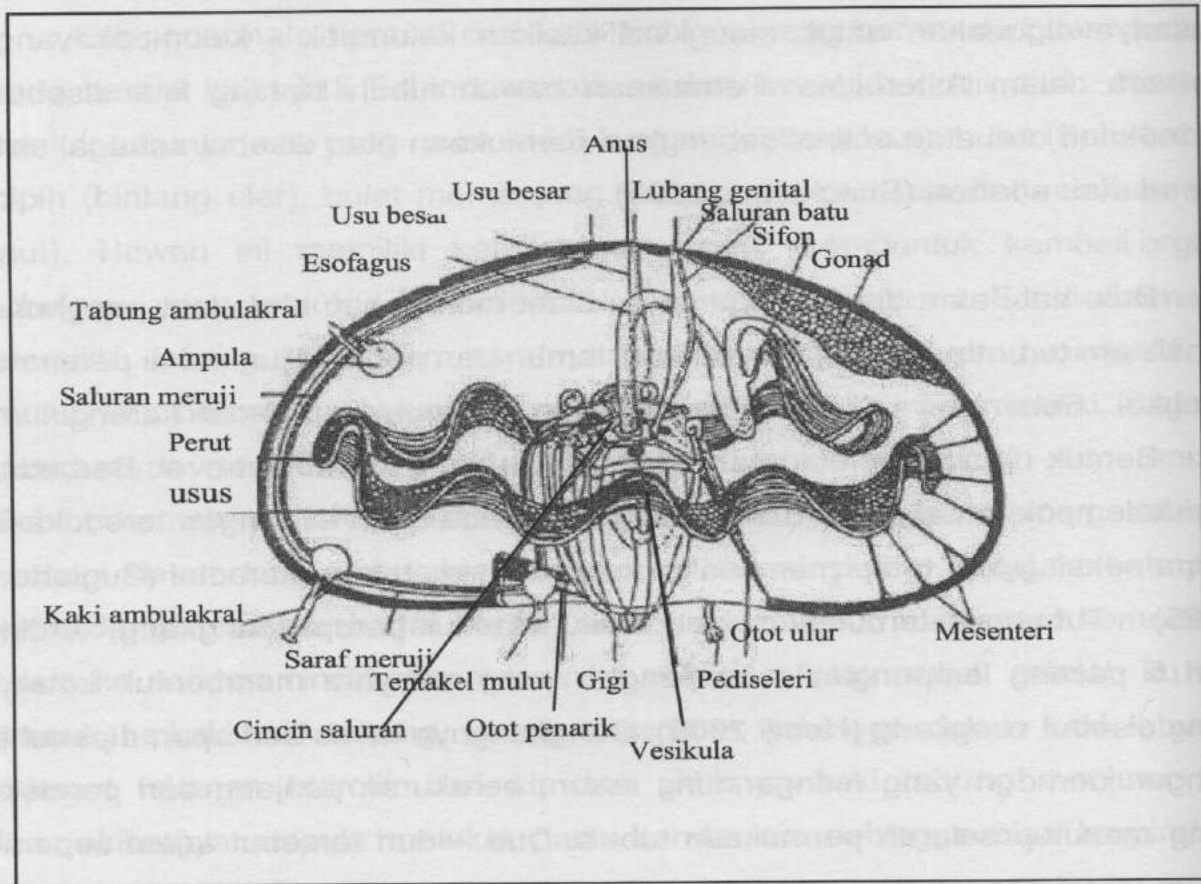
bagian struktur eksternal dari bintang laut yang berupa duri dan butiran. Bentuk ini biasa terdapat pada setiap individu dimana sering terlihat dalam pola - pola tertentu di setiap lingkungan hidupnya. Pola – pola tersebut biasanya digunakan untuk mengklasifikasikan kelompok - kelompok yang berbeda dalam Asteroidea. Permukaan bawah tubuh bintang laut disebut permukaan oral atau actinal sedangkan permukaan atas disebut sebagai sisi aboral atau abatical (Shackleton, 2005).

Bulu babi atau disebut juga landak laut merupakan biota laut penghuni ekosistem terumbu karang dan padang lamun dan sering dijumpai di perairan dangkal. Sebarannya di alam diikuti dengan penyebaran terumbu karang.

Bentuk umum dari bulu babi seperti bola yang membulat-oval. Berbeda dari kelompok bintang laut dan bintang ular, pada biota ini tangan tereduksi sama sekali tetapi tetap memperlihatkan pola simetris pentaradial (Sugiarto, 1995). Tubuhnya terbungkus oleh suatu struktur berupa cangkang, terdiri dari 5 pasang lempengan – lempengan yang menyatu membentuk kotak, yang disebut cangkang (Nontji 2005). Cangkangnya keras berkapur, dipenuhi dengan duri-duri yang mengandung racun, berukuran panjang dan pendek yang menutup seluruh permukaan tubuh. Duri – duri tersebut tajam seperti jarum tetapi sangat rapuh, terletak berderet dalam garis-garis membujur dan dapat bergerak, panjangnya dapat mencapai ukuran lebih dari 10 cm. Permukaan tubuh sangat peka,

Bentuk bulu babi semetri bilateral dengan satu ujungnya berupa anus dan pada ujung lainnya berupa mulut, sedangkan pergerakannya dapat kesegala arah. Mulutnya terletak dibawah dan ditengah – tengah, yang dilekatkan dengan bahan kapur yang disebut lentera ariestoteles atau himpunan gigi. Saluran pencernaan hewan ini terdiri dari sifon yang bercabang keluar dari usus, melintasi perut, sifon berfungsi mengalirkan air

melalui usus tanpa mengganggu proses pencernaan makanan dalam perut seperti tertera pada Gambar. 3.1. (Romimohtarto, 2001).



Gambar. 3.1. Struktur organ dalam *D. setosum* (Kasijan, 2001)

Bentuk umum dari teripang adalah bulat panjang seperti mentimun, maka teripang disebut juga timun laut, memiliki warna yang beraneka macam: putih, merah kuning, coklat dan hitam. Teripang merupakan salah satu sumberdaya hayati laut yang penting dan yang banyak manfaatnya. Di pasar komersial, teripang dikenal sebagai *beche-de-mer*, sea cucumber, *iriko* (Jepang), *Hai-som* (China). Hewan yang pergerakannya lambat ini ditemukan di dasar substrat pasir, lumpur berpasir atau di lingkungan

terumbu karang. Bangian tubuhnya terdiri dari kulit luar (epidermis), kulit dalam (dermis) dan organ dalam seperti usus, gonad dan pohon respirasi. Sistem respirasinya terdiri dari kaki tabung dinding tubuh dan pohon respirasi yang dijadikan tempat pengambilan oksigen. Pohon respirasi berupa dua saluran yang bercabang-cabang seperti pohon berwarna merah dan berpangkal pada kloaka, memanjang ke dalam rongga tubuh dan berfungsi sebagai alat respirasi dan ekskresi (Lawrence, 1987).

3.2. Biologi reproduksi

Sistem reproduksi filum Echinodermata bersifat dioseus bersaluran reproduksi sederhana. Fertilisasi hewan echinodermata berlangsung secara eksternal yakni dengan dengan peleburan sperma dan telur menjadi satu berbentuk zigot, kemudian zigot berkembang menjadi larva yang simetris bilateral bersilia. Hewan ini juga dapat beregenerasi artinya reproduksi secara asukseual.

Proses perkembang biakannya terjadi bila induk melepaskan telur dan sperma keluar bersama melalui pori-pori sisi aboral pada permukaan antara dua lengan yang berdekatan. Pembuahan terjadi dalam telur yang selanjutnya akan terjadi pembelahan sel yang mana telur berkembang melalui fase blastula yang berbulu getar, fase gastrula sampai fase larva. Kemudian setelah hari ke- 14 sampai dengan hari ke 60 larva akan bermetaformosis menjadi dewasa seperti tertera pada Gambar. 3.3. Telur yang dilepaskan dapat mencapai 15.200.000 butir. Telur yang belum dibuahi tampak berwarna kuning keemasan karena kuning telur mencakup hampir seluruh kapsul telur.

Di alam, telur dan sperma terlepas dengan bebas, penglepasan sperma oleh hewan jantan seringkali memicu penglepasan sel telur oleh hewan betina, hal ini merupakan adaptasi binatang yang tidak bisa menjamin pembuahan dengan perkarwinan (Pringgenies *dkk*, 1998).

IV. BIOPROSPEK BAHAN HAYATI LAUT MOLUSKA

4.1. Prospek Bahan Alam hayati Moluska

Moluska atau kekerangan dikenal sebagai sumber bahan makanan bagi manusia, namun berpotensi juga mengandung senyawa bioaktif. Senyawa aktif yang dimiliki filum moluska seperti yakni Paolin I, Paolin II dan mersenen berpotensi sebagai anti bakteri, anti virus dan anti tumor (Soediro dan Padmawinata, 1993).

Anti bakteri adalah senyawa yang diperoleh dari hasil metabolisme sel hidup yang dapat membunuh atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri. Antibakteri yang bersifat menghambat pertumbuhan dinamakan bakteristatik, sedangkan antibakteri yang bekerja mematikan bakteri dinamakan bakterisid. Pada dosis rendah antimikrobia dapat berubah menjadi bakteristatik atau tidak sama sekali dan sebaliknya, antimikrobia bakteristatik dapat bersifat bakterisid pada dosis tinggi (Wattimena, 1985).

Menurut Jawets *et al.*, (1996), mekanisme kerja antimikroba dibagi menjadi 4 (empat) cara, yaitu :

1. Penghambatan sintesa dinding sel

Bakteri memiliki lapisan luar yang kaku yang disebut dinding sel yang mampu mempertahankan bentuk mikroorganisme dan "menahan" sel bakteri, yang memiliki tekanan osmotik tinggi didalam selnya. Setiap zat merusak dinding sel atau mencegah sintesanya, akan menyebabkan terbentuknya sel-sel yang peka terhadap tekanan osmotik. Bahan antimikroba mengganggu proses sintesa mukopeptida, menghambat pembentukan ikatan glukosida pada dinding sel sehingga pembentukan sel baru akan terganggu.

2. Penghambatan fungsi selaput sel

Sitoplasma sel bakteri dibatasi oleh selaput sitoplasma yang bekerja sebagai penghalang dengan permeabilitas selektif, melakukan fungsi pengangkutan

aktif dan mengendalikan susunan dalam diri sel. Bila integritas fungsi selaput sitoplasma terganggu dengan adanya bahan antimikroba maka makromolekul dan ion akan lolos dari sel dan terjadilah kerusakan atau kematian sel.

3. Penghambatan sintesa protein

Bakteri memiliki ribosom 70S, subunit ribosom pada bakteri adalah 50S dan 30S. bahan antimikroba melekat pada protein penerima khusus pada subunit 30S dari ribosom pada bakteri kemudian menghambat aktivitas normal dari "kompleks permulaan" pembentukan peptide. Penghambatan aktivitas ini menyebabkan kesalahan pembacaan pesan mRNA pada "daerah pengenalan" ribosom yang mengakibatkan asamamino yang salah dimasukkan kedalam peptide sehingga menghasilkan pritein yang tidak berfungsi.

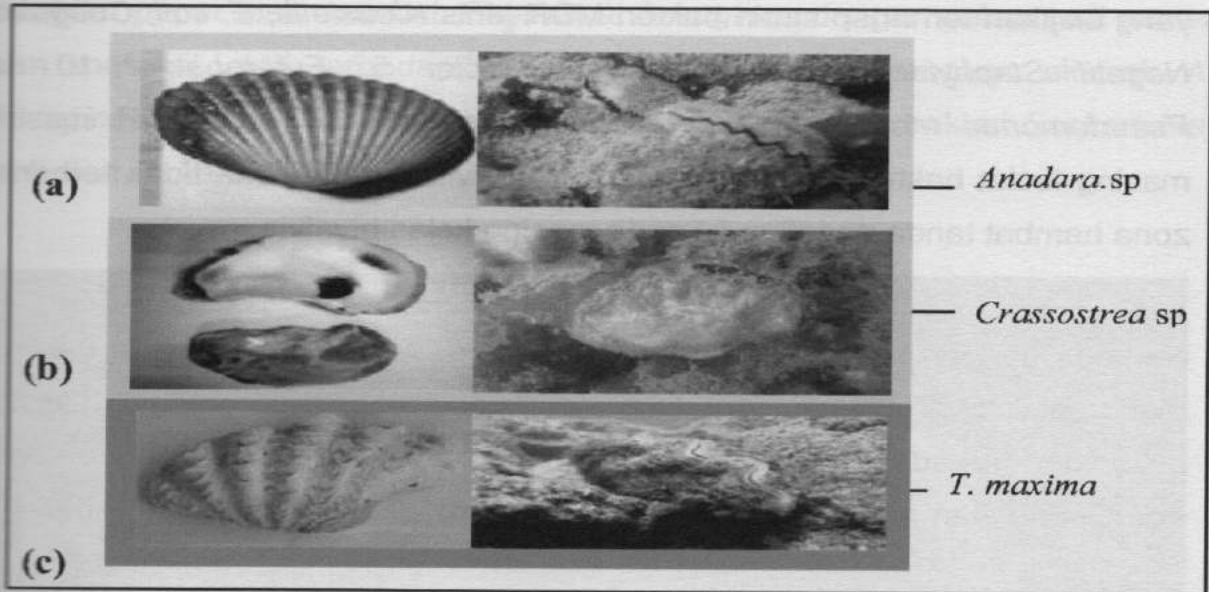
4. Penghambatan sintesa asam nukleat

Bahan antimikroba menghambat efektif terhadap sintesa DNA. Semua kuinolon dan flourokuinolon menghambat sintesa DNA pada bakteri dengan menghambat girase DNA. Rifampin menghambat pertumbuhan bakteri melalui ikatan kuat pada polimerase RNA yang bergantung DNA bakteri.

4.2. Penelusuran anti bakteri yang berasosiasi dengan moluska

4.2.1. Bivalvia

Ada beberapa jenis moluska yang bakteri simbiotiknya berpotensi sebagai anti bakteri. Namum untuk mengetahui potensi dari masing-masing jenis moluska maka penelusuran antibakteri yang berasosiasi dengan moluska dapat diketahui. Moluska yang dikoleksi meliputi kelas bivalvia, gastropoda dan cephalopoda. Kelas bivalvia meliputi jenis: *Anadara* sp. (Gambar.1a), *Crassostrea* sp (Gambar. 4.1b), *Tridacna maxima* (Gambar. 4.1c seperti yang tertera pada Gambar dibawah.



Gambar. 4. 1. Koleksi sampel-sampel bakteri yang berasosiasi dengan jenis Moluska kelas Bivalvia *Anadara* sp. (a), *Crassostrea* sp (b), *Tridacna maxima* (c).

Hasil isolasi bakteri yang berasosiasi dengan moluska jenis bivalvia memperlihatkan bahwa jumlah isolat bakteri yang berhasil diisolasi dari jaringan jenis bivalvia sejumlah 115 isolat.

Table 4. 1. Hasil isolasi bakteri yang berasosiasi dengan moluska kelas bivalvia

No.	Spesies Bivalvia	Jumlah isolat	Isolat aktif	% isolat aktif
1.	<i>Anadara</i> sp	52	-	-
2.	<i>Crassostrea</i> sp	42	-	-
3.	<i>Tridacna maxima</i>	21	-	-
Total		115		

Hasil uji bakteri yang berasosiasi dengan moluska kelas bivalvia terhadap bakteri patogen multi drug resisten (MDR) dapat tertera pada Tabel 4.1. yakni *skrining* yang dilakukan dengan metode *overlay* dimana bakteri simbiosis moluska ditanam sebanyak 10-12 isolat bakteri dalam 1 cawan petri

yang diujikan terhadap strain bakteri MDR jenis *Klebsiella*, *E. coli*, *Coagulase Negatif Staphylococcus* (CNS), *Enterobacter* 5, *Enterobacter* 10 dan *Pseudomonas* memperlihatkan hasil potensi aktivitas anti MDR masing-masing isolat bakteri simbion dari jenis bivalvia tertera pada tidak terbentuk zona hambat tanda negative (-) pada masing kelas bivalvia.

Berbeda dengan bivalve jenis *Anadara* sp. *Crassostrea* sp *Tridacna maxima*, maka ekstraksi bivalve *Anadara ferruginea* memiliki potensi aktivitas antibakteri terhadap bakteri uji yaitu : *Bacillus cereus*, *Er coli*, *Pseudomonas. aeruginosa*, dan *Staphylococcus aureus* seperti yang terlihat pada Tabel. 4.2.

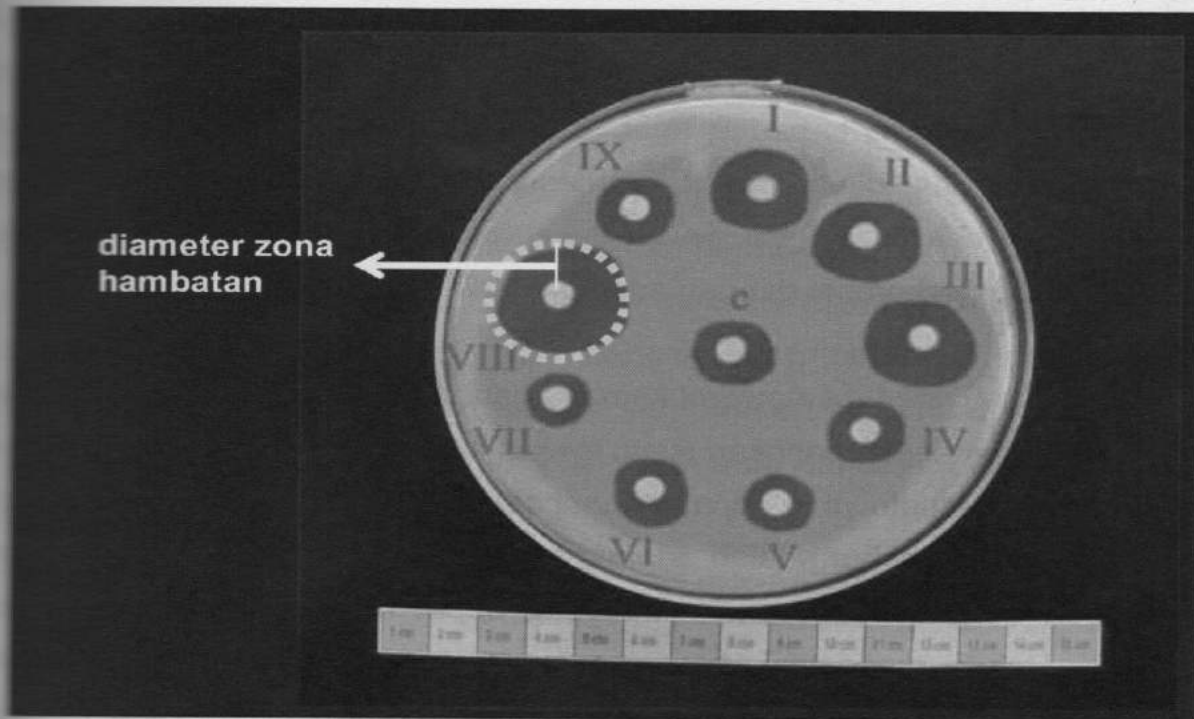
Tabel. 4.2 Hasil uji kualitatif aktivitas antibakteri bakteri uji terhadap ekstrak *A. ferruginea*

Bakteri Uji	Diameter zona hambatan (mm)		
	N-hexane	Etil Asetat	Metanol
<i>B. cereus</i>	+	+	+
<i>E. coli</i>	-	+	+
<i>P. aeruginosa</i>	-	+	+
<i>S. aureus</i>	+	+	+

Keterangan : + = terbentuk zona hambatan
 - = tidak terbentuk zona hambatan

Dugaan tentang Potensi ekstrak *A. ferruginea* sebagai senyawa antibakteri dibuktikan oleh adanya aktivitas antibakteri terhadap keempat bakteri uji. Pada uji kualitatif aktivitas antibakteri hasilnya menunjukkan bahwa ekstrak kasar *A. ferruginea* mempunyai aktivitas antibakteri terhadap semua bakteri uji yaitu : *B. cereus*, *E. coli*, *P. aeruginosa*, dan *S. aureus*. Ekstrak kasar yang ditetaskan pada paper disk ternyata mampu membentuk zona hambatan

disekitar paper disk tersebut. Ekstrak *A. ferruginea* dengan pelarut etil asetat dan metanol aktif terhadap keempat bakteri uji, sedangkan ekstrak *A. ferruginea* dengan pelarut n-hexane hanya aktif terhadap bakteri *Escherichia coli*, dan *P. aeruginosa*.



Gambar. 4. 2. Fraksi ekstrak *A. Ferruginea* memiliki aktifitas Antibakteri yang bersifat menghambat pertumbuhan (Foto: Risman Efendi)

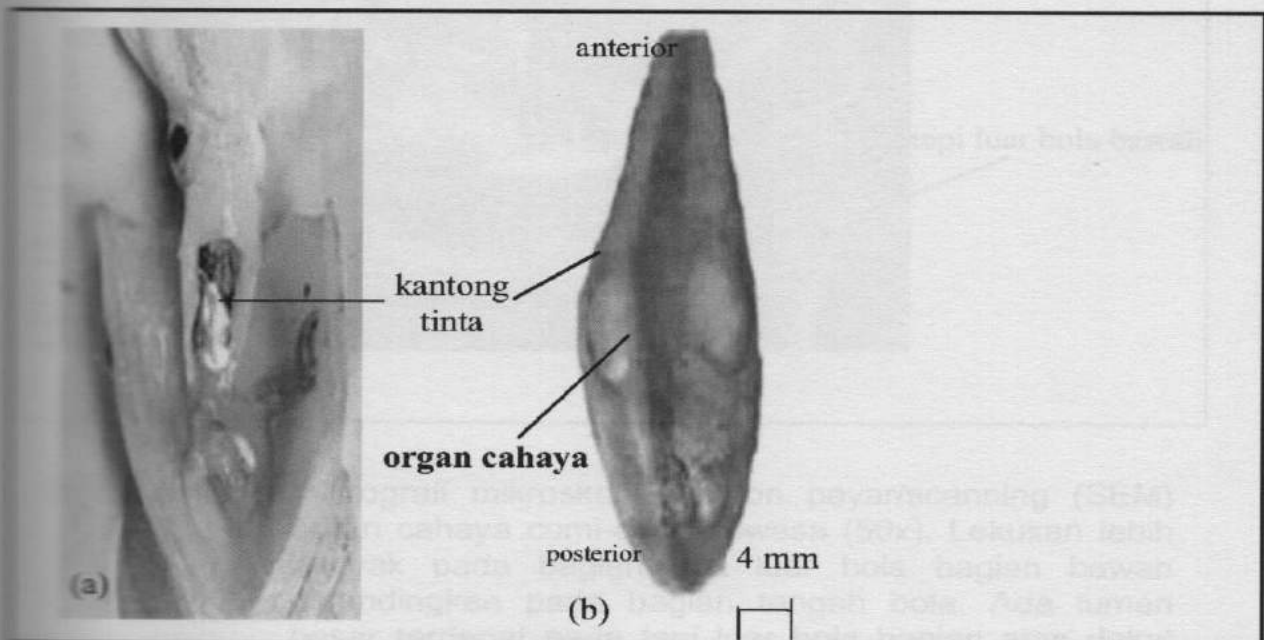
Hal ini menunjukkan bahwa senyawa non polar yang terdapat dalam ekstrak *A. ferruginea* tidak memiliki aktivitas antibakteri terhadap bakteri *E. coli*, dan *P. aeruginosa* akan tetapi memiliki aktivitas antibakteri terhadap bakteri *B. cereus*, dan *S. aureus*. Adanya aktivitas antibakteri dan antivirus pada *A. ferruginea* juga dikemukakan oleh Soediro (1993) yang menyatakan bahwa ; *A. ferruginea* dan berbagai jenis kerang lainnya mengandung senyawa Paolin I dan Paolin II yang bisa digunakan sebagai antibakteri maupun antivirus.

Adanya perbedaan kemampuan aktivitas antibakteri yang terdapat pada masing-masing fraksi mengindikasikan bahwa terdapat variasi kandungan senyawa pada fraksi yang terdapat pada ekstraksi *A. ferruginea* tersebut. Brocks dan Madigan (1991), menyatakan bahwa luas zona hambatan yang terbentuk disekitar *paper disk* dipengaruhi oleh sifat kimia dari senyawa antibakteri yang dihasilkan oleh suatu mikroorganisme. Laju difusi molekul senyawa antibakteri didalam media agar, dipengaruhi oleh molekul dan aksinya terhadap agar. Zat dengan berat molekul yang lebih besar memiliki laju difusi yang lebih besar dibandingkan dengan zat yang berat molekulnya lebih kecil, selain itu ada beberapa antibakteri yang laju difusinya akan terhambat dengan adanya media agar.

Setiap bakteri mempunyai kemampuan pertahanan diri yang berbeda-beda. Bakteri mengembangkan suatu mekanisme mempertahankan diri untuk menghadapi sesuatu yang dapat mengancam kelangsungan hidupnya. Salah satu ancaman tersebut adalah adanya perubahan kondisi lingkungan akibat kehadiran zat atau senyawa asing yang dapat mengganggu aktivitas sel bakteri. Untuk mengatasi hal tersebut bakteri akan berusaha untuk menetralkan senyawa asing tersebut. Ada beberapa bakteri yang mampu bertahan hidup dengan kemampuannya untuk menetralkan senyawa yang masuk, akan tetapi juga ada bakteri yang tidak sanggup bertahan hidup dan akhirnya mati karena tidak mampu menetralkan senyawa asing tersebut (Conception, 1994). Beberapa faktor lainnya yang mempengaruhi penghambatan mikroorganisme adalah konsentrasi bahan antimikrobia, suhu, lamanya bahan antimikrobia diaplikasikan pada mikroorganisme, kepekaan mikroorganisme terhadap bahan antimikrobia, serta kepadatan populasi mikroorganisme tersebut. Hasil penelitian penelusuran aktivitas antibakteri ekstrak kerang *Anadara ferruginea* disimpulkan bahwa fraksi yang memiliki aktivitas antibakteri terhadap keempat bakteri uji *B. cereus*, *E. coli*, dan *S. Aureus*.

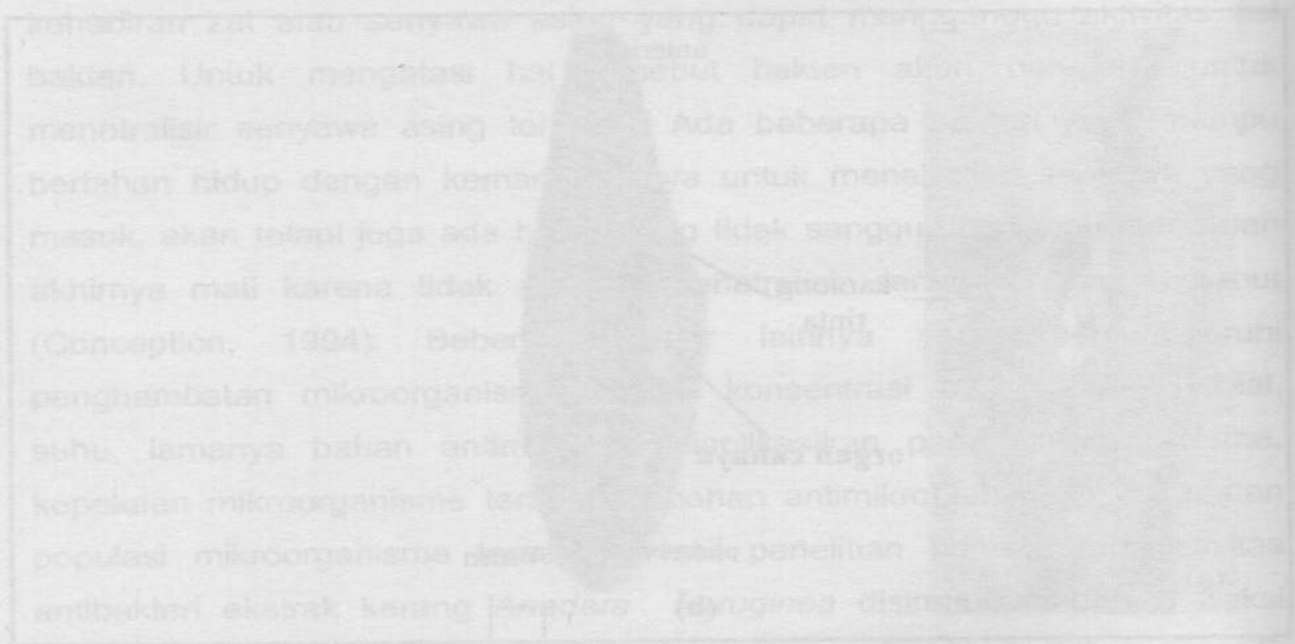
4.2.2. Cephalopoda

Bakteri simbion cumi jenis *Loligo duvauceli* ada di dalam organ cahaya yang posisinya menempel pada bagian ventral kantong tinta (4.2a). Posisi organ cahaya di bagian dorsal kantong tinta mudah diketahui karena berwarna kontras, yaitu putih dengan panjang berkisar antara 2 – 5 mm. Bagian organ cahaya yang terdapat pada permukaan kantong tinta berbentuk bulat panjang, cembung, menonjol keluar, kenyal, berwarna putih bening dengan permukaan halus serta licin (Gambar 4. 2b). Bila kantong tinta dibelah, tampak terbenam pada dinding kantong tinta suatu badan berbentuk seperti bola kecil, berwarna perak, tidak keras dan permukaannya mulus dan bagian organ cahaya yang terdapat pada permukaan kantong tinta mempunyai ukuran lebih besar dibandingkan dengan yang terbenam pada dinding kantong tinta. Di dalam organ cahaya yang terbenam pada dinding kantong tinta terdapat cairan putih keruh, oleh karena itu bagian ini disebut kantong organ cahaya.



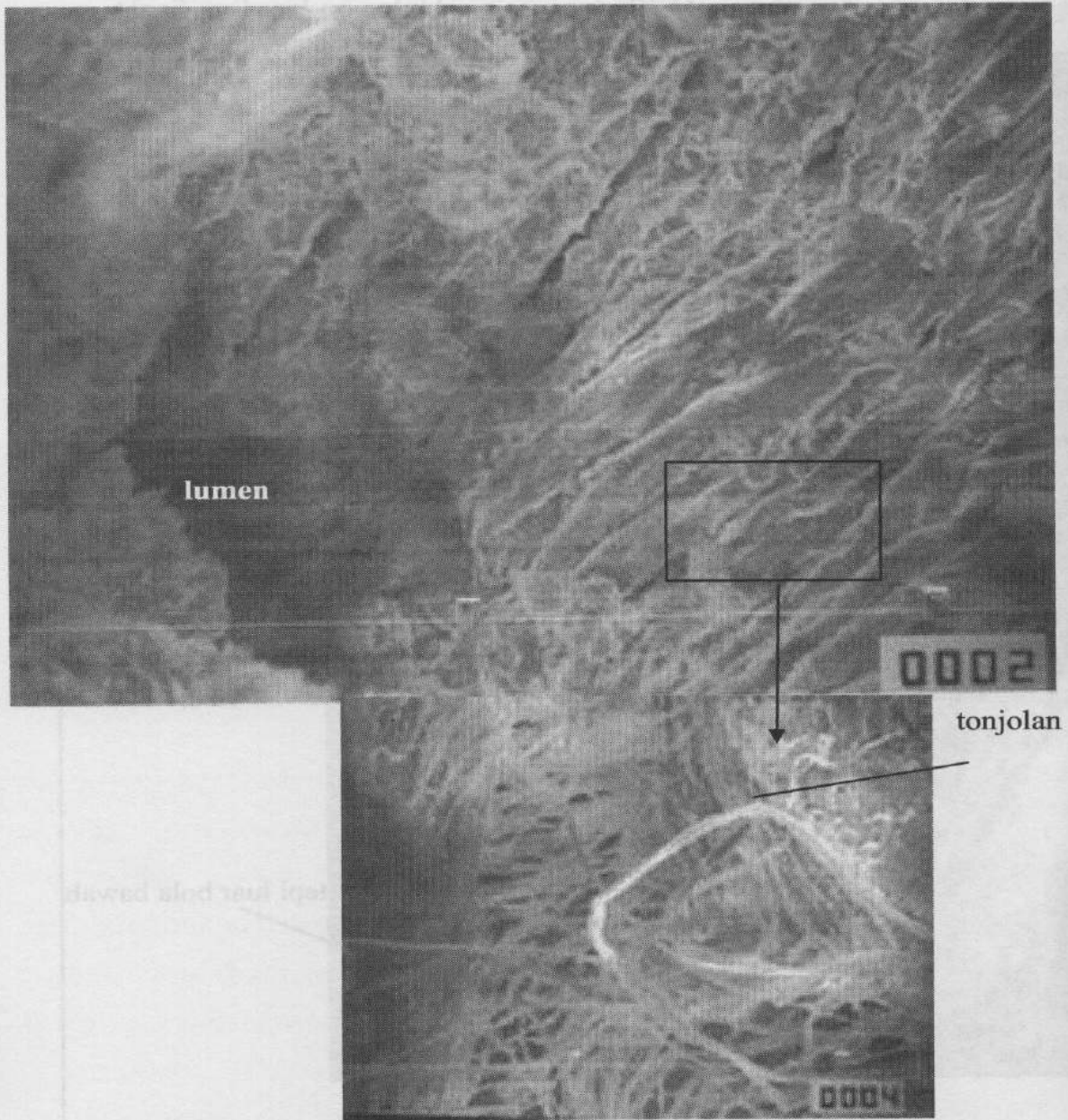
Gambar 4. 3. Koleksi sampel bakteri yang berasosiasi dengan kelas Cephalopoda jenis *Loligo duvauceli* (a). Bakteri simbion, bersimbiosis pada organ cahaya yang menempel sepasang di kantong tinta cumi-cumi (b).

Hasil mikroskop elektron payar (SEM) pada organ cahaya yang berbentuk bola kecil di bagian dalam kantong tinta cumi-cumi dewasa memperlihatkan bahwa kantong memiliki banyak lekukan dan diantara lekukan ada lumen substrat bakteri. Lekukannya lebih banyak terjadi pada bagian tepi bawah bola sedangkan lekukan di bagian tengah bola lebih sedikit. Ada rongga/lumen lebih besar terjadi di bagian tepi atas bola, dekat dengan organ cahaya di bagian luar kantong tinta. Lumen ini seperti saluran yang berhubungan dengan bagian luar bola (Gambar. 4.4.). Lumen yang terdapat di antara lekukan berukuran dalam (Gambar. 4.5a). Di permukaan lumen terdapat banyak tonjolan (Gambar. 4.5b) dan bentuk tonjolan ini lebih jelas tampak dari hasil mikroskop elektron transmisi (TEM) pada halaman berikutnya.





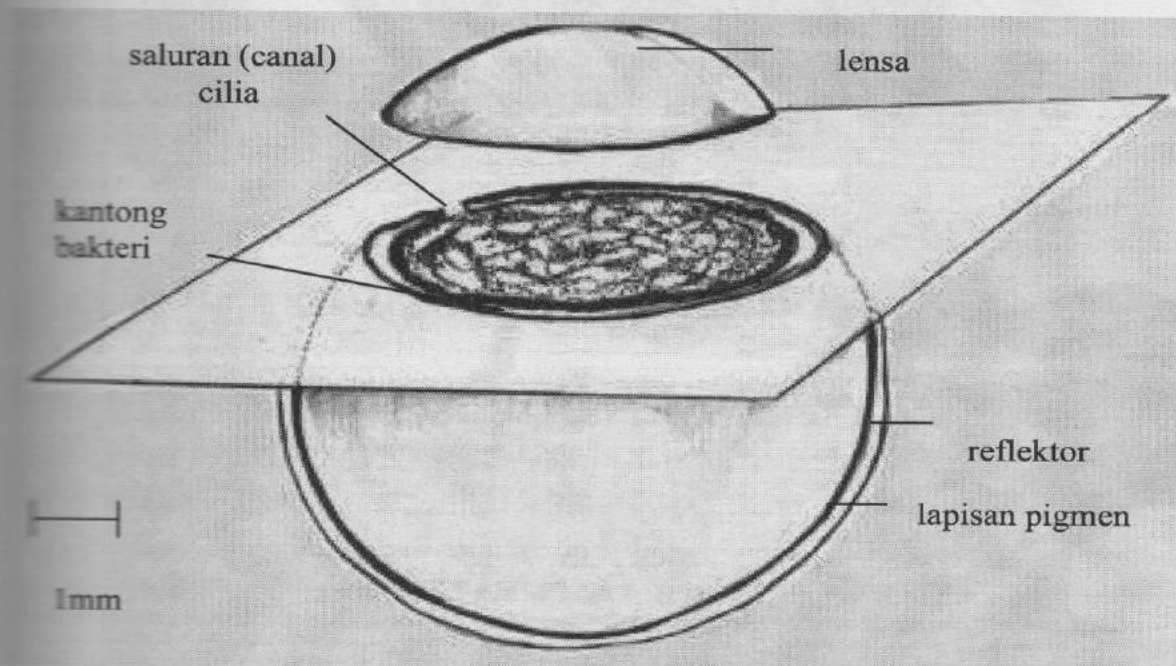
Gambar 4.4. Mikrografi mikroskop elektron payar/scanning (SEM) organ cahaya cumi-cumi dewasa (50x). Lekukan lebih banyak pada bagian tepi luar bola bagian bawah dibandingkan pada bagian tengah bola. Ada lumen besar terdapat pada tepi luar bola bagian atas dekat kantong tinta. Lumen tersebut seperti saluran panjang.



Gambar. 4. 5. Mikrografi mikroskop elektron payar (SEM) pada lumen dari kantong (500), tonjolan tampak membatasi permukaan lumen (b) 500x

Bila organ cahaya direkonstruksi kembali dalam ilustrasi pada Gambar 4.5 memperlihatkan lebih jelas bentuk dan bagian dari organ cahaya. Dalam ilustrasi diatas, diumpamakan bahwa organ cahaya seperti mangkok

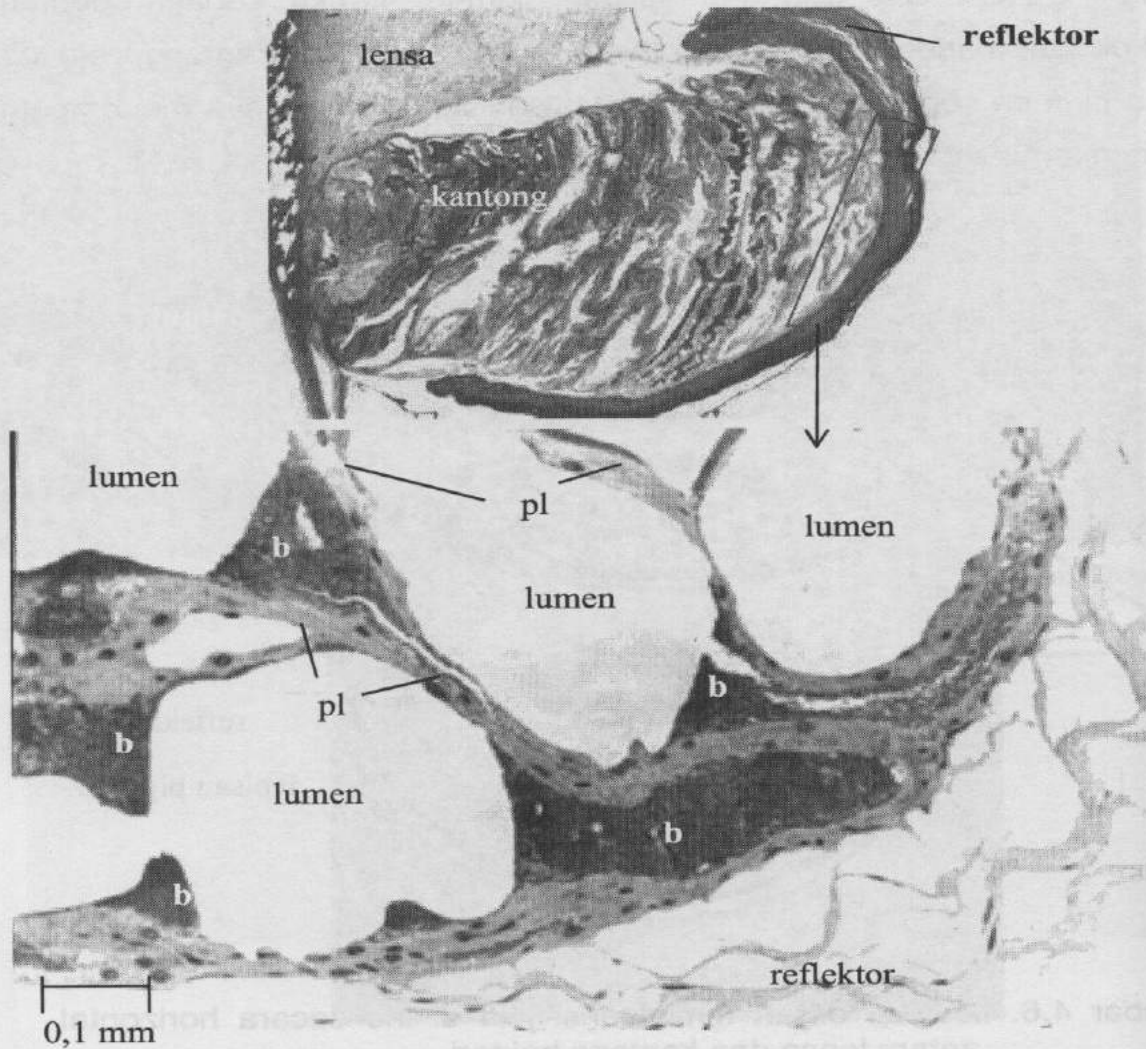
dan tutupnya, dimana pada mangkok dibungkus atau dilapisi oleh dua lapisan, yaitu lapisan tebal dan lapisan tipis. Penutup mangkok diumpamakan sebagai lensa, mangkoknya sebagai kantong dan bakteri simbion, lapisan tebal yang membungkus permukaan luar mangkok sebagai reflektor, lapisan tipis sebagai lapisan pigmen. Lensa sebagai penutup mangkok tadi menempel di bagian luar kantong tinta dan kantong, reflektor, lapisan pigmen sebagai mangkok dan lapisan pembungkusnya menempel di bagian dalam kantong tinta.



Gambar 4.6. Ilustrasi organ luminisensi jika di iris secara horizontal antara lensa dan kantong bakteri

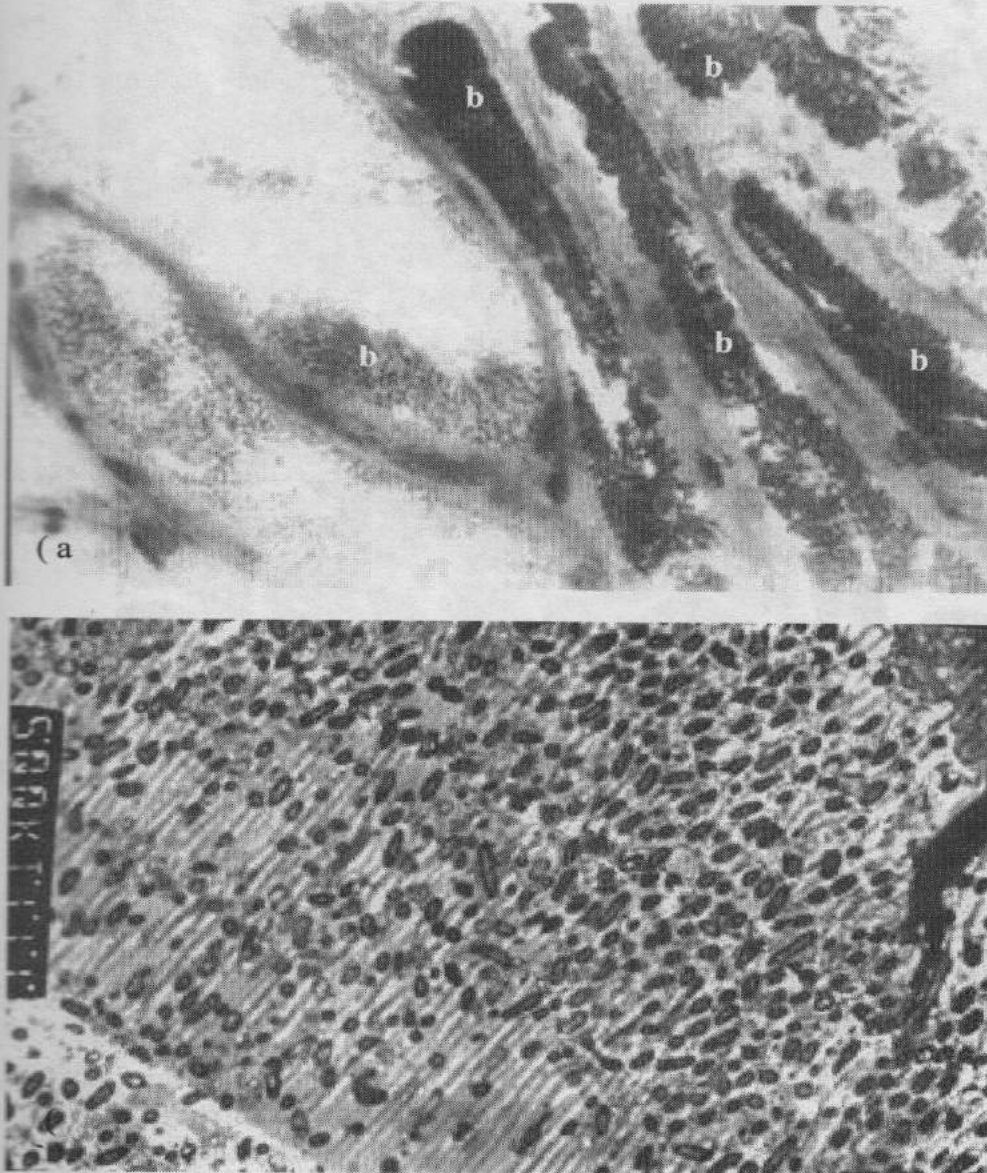
Mikrografi mikroskop cahaya pada bagian kantong memperlihatkan bahwa dalam lumen yang dibatasi lekukan pada kantong hadir koloni bakteri (Gambar 4.6). Koloni bakteri tampak hadir dalam setiap lumen dengan kepadatan tinggi pada satu lokasi akan tetapi kurang pada lokasi

lainnya (Gambar 4.7). Mikrografi mikroskop elektron transmisi memperlihatkan koloni bakteri dalam lumen kantong berbentuk batang atau silinder (Gambar 4.8). Bakteri tidak memiliki rambut getar atau flagela dan bakteri tampak hidup dalam cairan.



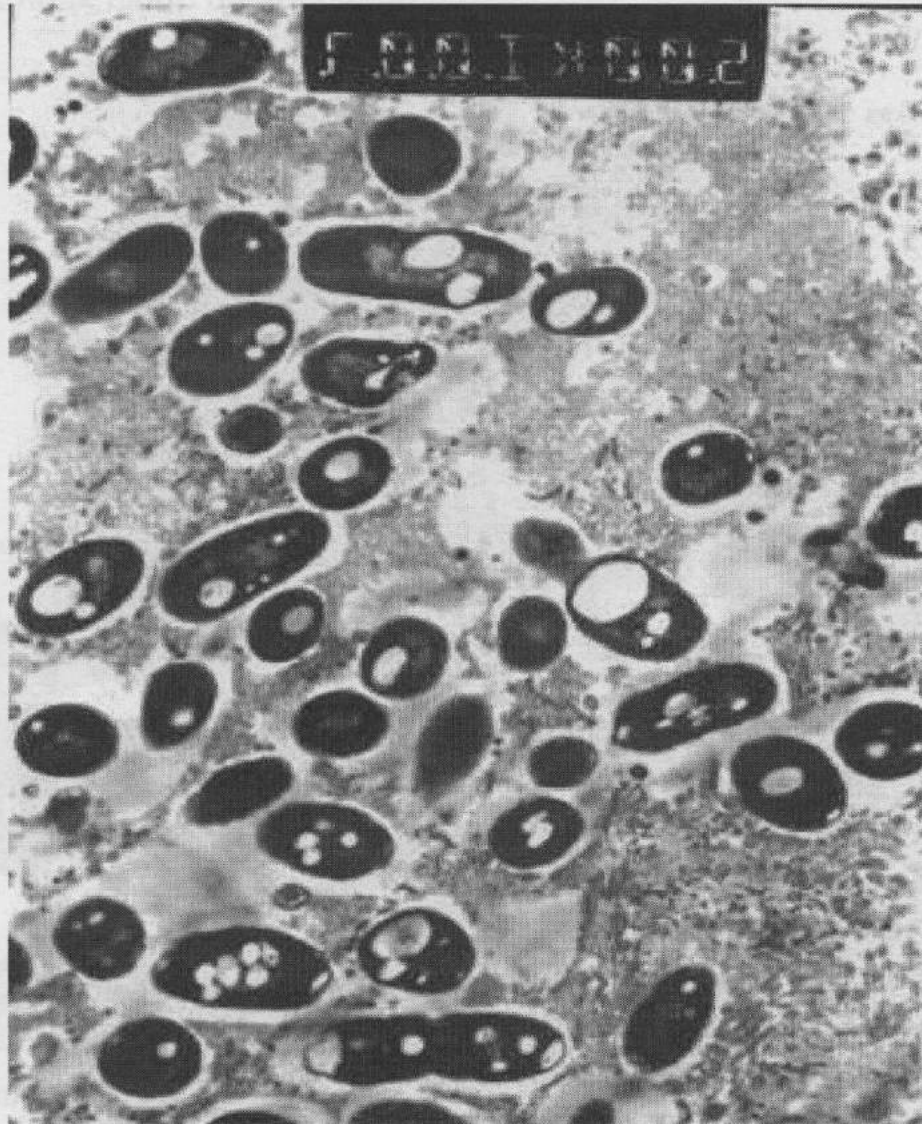
Gambar 4.7. Kantong organ cahaya terletak antara lensa dan reflektor, kotak merah letak dari gambar b (a). Dalam kantong hadir koloni bakteri dalam lumen yang terjadi di antara pembatas lumen (b = bakteri; l = lumen; pl = pembatas lumen)

Ukuran terkecil bakteri berkisar antara $0,30 \times 0,50 \mu\text{m}$ dan terbesar berkisar antara $0,92 \times 3,2 \mu\text{m}$. Permukaan sel bakteri ada yang berwarna putih terang seperti sedang memancarkan cahaya dan ada yang berwarna gelap (Gambar 4.9).

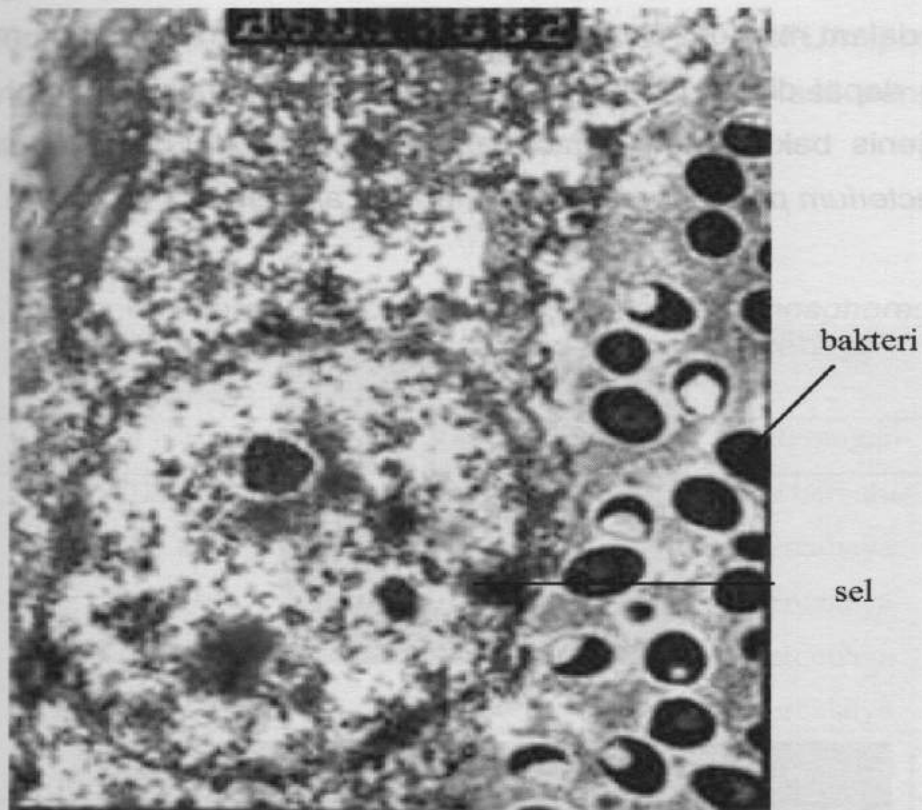


Gambar 4.8. Mikrografi mikroskop cahaya memperlihatkan koloni baktri dalam lumen kantong (a), mikrografi mikroskop elektron transmisi memperlihatkan bakteri berbentuk panjang atau silinder (4.000x)

Bakteri berkoloni di dekat sel dan bakteri tersebut hidup bersimbiosis dalam lumen organ cahaya atau dengan kata lain ekstra-seluler. (Gambar 4.10).



Gambar 4.9. Bakteri tidak memiliki rambut getar atau flagela, permukaan sel bakteri ada yang berwarna putih terang seperti sedang memancarkan cahaya dan ada yang berwarna gelap



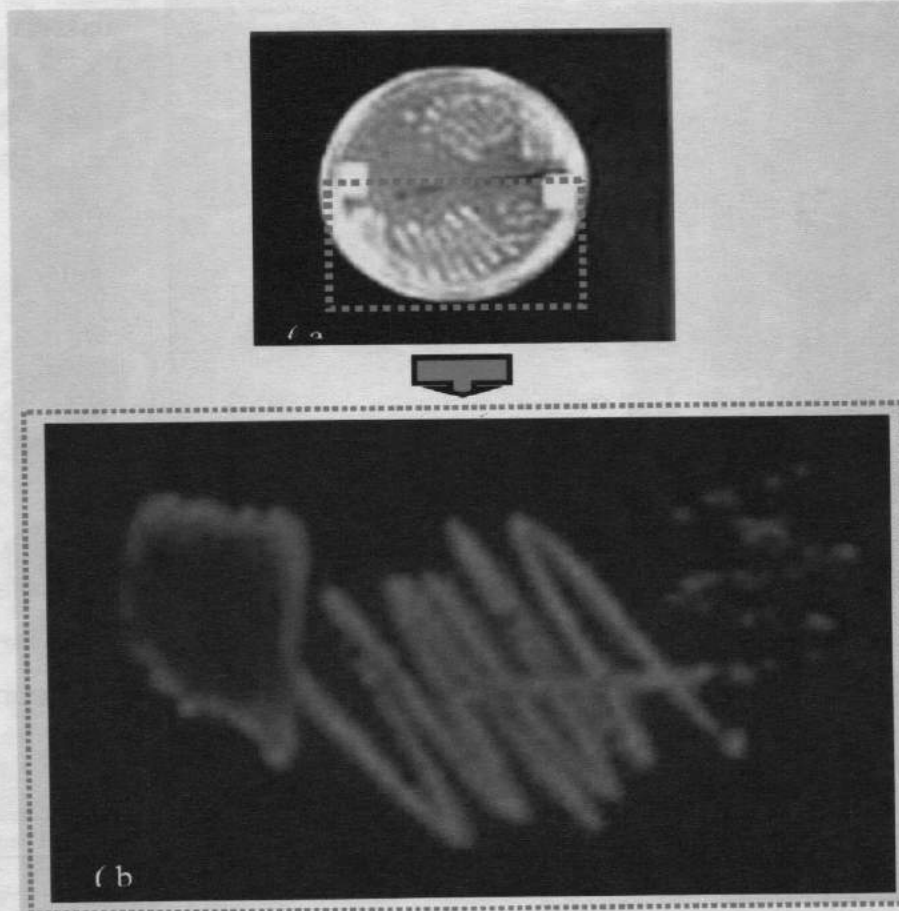
Gambar 4. 10. Bakteri berkoloni di dekat sel dan ekstra seluler

Tabel 4. 3. Karakteristik spesies bakteri dari organ cahaya cumi-cumi *Loligo duvauceli*

Pengamatan morfologi dan uji biokimia	Hasil
Pewarnaan gram	-
Pewarnaan flagela	-
Uji oksidasi	d
Uji indole	-
Uji luminesensi	+
Uji fermentasi sukrosa	-
Uji fermentasi laktosa	-
Uji VP-MR	+

Keterangan: Determinan (d) = artinya bisa positif atau negatif
 Negatif (-) = tidak ada reaksi
 Positif (+) = ada reaksi

Bakteri hasil isolasi dari organ cahaya cumi-cumi *Loligo duvauceli* dapat tumbuh dalam medium Nutrien Agar setelah 24 jam. Hasil uji morfologi dan biokimia dapat dilihat pada Tabel 4. 2. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa jenis bakteri dari organ cahaya cumi-cumi *Loligo duvauceli* adalah *Photobacterium phosphoreum* (Baumann *et al*, 1984).



Gambar 4.11. Kultur bakteri dari organ cahaya cumi-cumi *Loligo duvauceli* pada medium Nutrien Agar dalam cawan petri (a). Bakteri memancarkan cahaya ke-biruan dalam ruangan gelap (b)

Hasil penghitungan jumlah total bakteri (CFU/ml) memperlihatkan bahwa bakteri memancarkan cahaya pada jumlah $4,5 \cdot 10^9$ (CFU/ml) dan tidak memancarkan cahaya pada jumlah $2,0 \cdot 10^4$ (CFU/ml). Hasil penghitungan jumlah total bakteri ditampilkan pada Tabel 4. 3

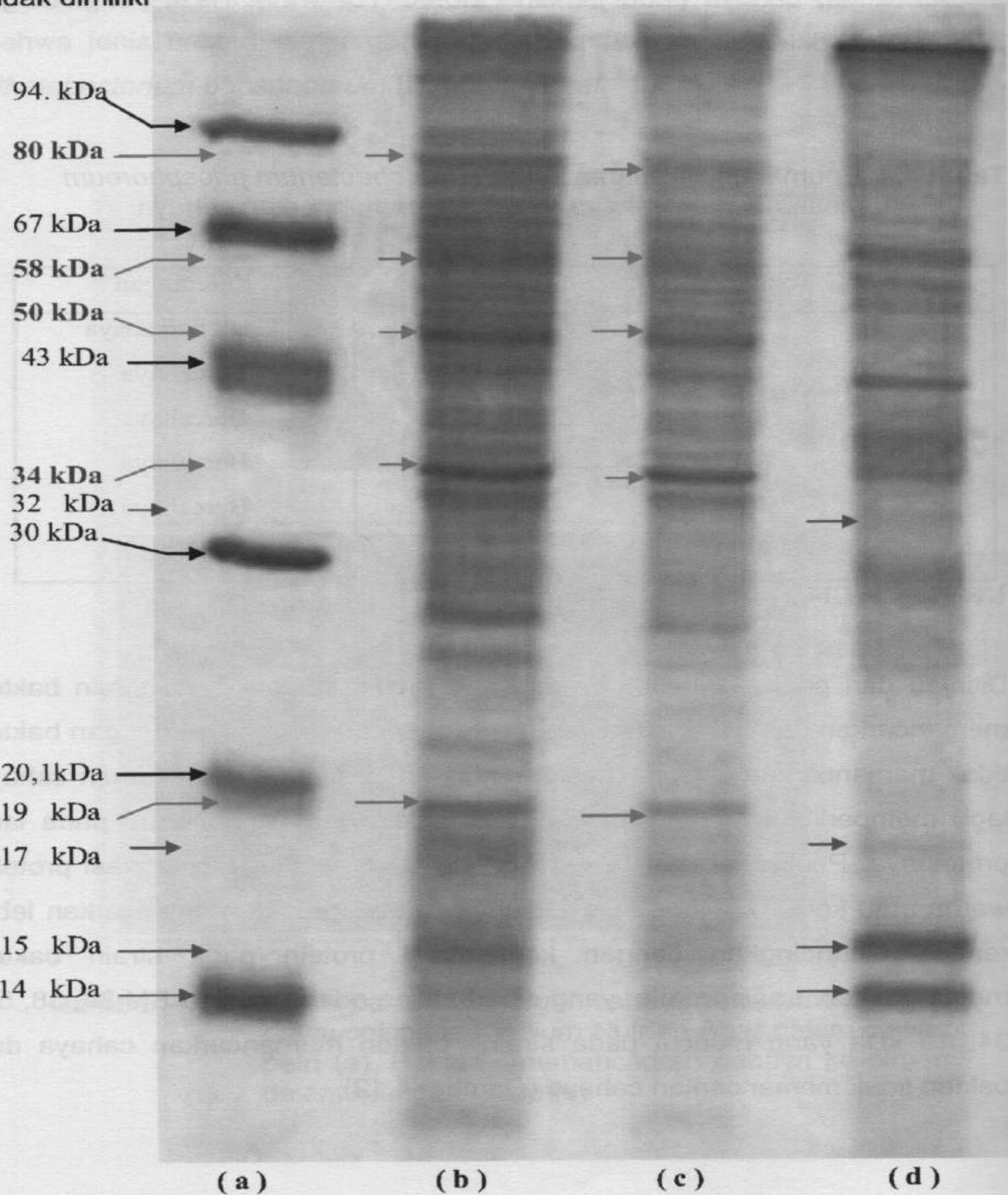
Tabel 4.4. Enumerasi kerapatan bakteri *Photobacterium phosphoreum* memancarkan cahaya dan tidak memancarkan cahaya

Total bakteri (CFU/ml)	Keterangan
$2,0 \cdot 10^4$	Tidak bercahaya
$4,6 \cdot 10^9$	Bercahaya
$8,0 \cdot 10^9$	Bercahaya
$8,4 \cdot 10^9$	Bercahaya
$1,34 \cdot 10^{10}$	Bercahaya
$2,2 \cdot 10^{12}$	Bercahaya

Keterangan: CFU = Colony Unit Form

Diinjau dari posisi larik-larik protein hasil elektroforesis pada strain bakteri memancarkan cahaya (bakteri sedang memancarkan cahaya) dengan bakteri tidak memancarkan cahaya (bakteri yang sudah tidak memancarkan cahaya lagi) memperlihatkan bahwa, tidak ada perbedaan yang berarti pada larik proteinnya. Perbedaan hanya terdapat pada kepekatan konsentrasi protein, warna atau konsentrasi protein pada strain bakteri tidak memancarkan lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi protein pada strain bakteri memancarkan. Larik protein yang diperhatikan adalah sekitar BM 80, 58, 50, 34, 19 kDa yang muncul pada strain bakteri memancarkan cahaya dan bakteri tidak memancarkan cahaya (Gambar 4.12).

Bila ditinjau dari posisi larik protein memperlihatkan bahwa larik protein khas strain bakteri memancarkan cahaya dan bakteri tidak memancarkan cahaya, tidak dimiliki



Gambar 4.12 . Analisis protein hasil elektroforesis SDS-PAGE
 (a) standar, (b) bakteri memancarkan cahaya, (c) bakteri tidak memancarkan cahaya, (d) kantung organ cahaya

oleh protein strain kantong. Artinya, protein pada kantong tidak sama dengan protein bakteri. Adanya larik kelompok protein sekitar BM 14, 15, 17, 21, 32 kDa hanya dimiliki strain kantong.

Menurut Baumann *et al*, (1984) bahwa, ada 2 genus bakteri yang diketahui hidup di laut yakni, genus bakteri *Photobacterium* dan *Vibrio*. Karakteristik signifikan yang dimiliki bakteri genus *Photobacterium* tampak memancarkan cahaya dalam medium agar. Selain genus *Photobacterium*, ada genus *Lucibacterium* tampak memancarkan cahaya dalam medium agar sedang genus *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Enterobacterium* tidak tampak. Untuk membedakan jenis bakteri *Photobacterium phosphoreum* dengan jenis bakteri *P. pierantoni*, *Vibrio albenis*, *V. Fischery*, *Phosphoreum splendidum* dan *P. mandapamensis* adalah dari hasil uji flagela, uji indole, uji fermentasi sukrosa, uji laktosa, uji VP-MR dengan acuan Baumann *et al*, (1984) seperti ditampilkan pada tabel V. 1. berikut ini.

Tabel 4. 5. Karakteristik spesies bakteri luminesen dengan (Baumann *et al*, 1984).

Jenis bakteri	Flagela	Indole	Sukrosa	Laktosa	MR-VP
<i>Vibrio albenis</i>	+	+	+	-	+
<i>Phosphoreum splendidum</i>	+	+	-	-	-
<i>Ph. Mandapamensis</i>	+	-	-	-	+
<i>Vibrio fischery</i>	+	-	-	-	-
<i>Ph. Pierantoni</i>	-	-	+	+	-
<i>Photobacterim phosphoreum</i>	-	-	-	-	+

Keterangan: Positif (+) = bereaksi, Negatif (-) = negatif

Dari hasil pengamatan elektron mikroskop bakteri pada organ cahaya cumi-cumi *Loligo duvauceli* dewasa memperlihatkan bahwa bakteri tidak mempunyai flagella. Bakteri *P. phosphoreum* yang ditumbuhkan secara independent dalam medium cair dilaporkan memiliki 1-3 flagella tipe 'polar unsheated' (Baumann *et al*, 1984). Diperkirakan, flagella mengalami reduksi setelah berasosiasi dengan cumi dalam organ cahaya seperti yang dilaporkan terjadi pada *V. fischeri*. Lewat dari 12-24 jam setelah proses kolonisasi, flagella dari *V. fischeri* tidak teramati lagi dalam organ cahaya cumi *E. scolopes* (Ruby & Asato, 1993). Pada awal proses kolonisasi, diperkirakan terjadi upaya aktif bakteri berenang ke dalam bakal organ kantung cahaya seperti yang dilaporkan terjadi pada bakteri simbiosis *V. fischeri* pada organ cahaya *E. scolopes* (Graf *et al.*, 1994). Disamping itu, pengamatan ultrastruktur dengan mikroskop elektron menunjukkan adanya silia pada permukaan saluran penghubung antara bagian luar dan dalam lumen. Ada kemungkinan juga silia membantu dalam proses penangkapan sel-sel bakteri yang terbawa bersama gerakan air ke dalam tubuh cumi.

Di sekitar dinding sel bakteri tampak struktur matriks yang menyerupai kapsula. Keberadaan kapsula pada bakteri *P. phosphoreum* belum pernah dilaporkan selama ini, namun demikian bisa saja ini merupakan karakteristik khas yang dimiliki oleh strain tropis yang mungkin berbeda dari jenis *P. phosphoreum* yang pernah dilaporkan. Struktur kapsula pada umumnya merupakan mekanisme koadaptasi pertahanan dari bakteri-bakteri yang berasosiasi dengan inang seperti patogen *Streptococcus pneumoniae*, dan bakteri bintil akar *Rhizobium trifolii* (Madigan *et al.*, 1997). Keberadaan kapsula yang berupa senyawa polisakarida (juga dikenal dengan nama glycocalyx) ini memungkinkan patogen *S. pneumoniae* terhindar dari proses fagositosis dari hewan inang atau terhindar dari enzim hidrolitik tanaman yang dapat melisiskan dinding sel bakteri dalam kasus bakteri *R. trifolii*.

Gambar 4.12 Analisis protein hasil elektroforesis SDS-PAGE
(a) standar, (b) bakteri memancarkan cahaya, (c)
bakteri tidak memancarkan cahaya, (d) kantung organ
cahaya

Disamping itu, dari uji reaksi Gram, bakteri *P. phosphoreum* adalah termasuk Gram-negatif. Dinding sel bakteri gram-negatif mempunyai susunan kimia yang lebih rumit dari pada bakteri Gram positif, disamping mengandung peptidoglikan juga terdapat protein, fosfolipida, dan liposakarida (LPS) di luar lapisan peptidoglikan. Komponen liposakarida dinding sel bakteri Gram-negatif terutama yang patogen memiliki peranan toksisitas penting pada inang (Davis *et al.*, 1980). Kerabat dekat genus *Phosphoreum* adalah *Vibrio* yang beberapa spesiesnya terkenal juga sebagai bakteri patogen pada manusia dan udang disamping dapat memancarkan cahaya. Meskipun *P. phosphoreum* termasuk bakteri Gram negatif, sejauh ini belum ada laporan yang mengindikasikan bahwa bakteri ini termasuk patogen. Dalam hal ini, kemungkinan respon inang selama proses koevolusinya telah mengantisipasi keberadaan LPS bakteri dengan mensekresikan senyawa penetralisir melalui mikrovili-mikrovili dalam lumen.

Kultur murni bakteri hasil isolasi yang ditumbuhkan dalam media agar dapat memancarkan cahaya di dalam ruangan gelap. Fenomena ini membuktikan bahwa cahaya yang dipancarkan cumi-cumi memang berasal dari bakteri yang hidup dalam kantung organ cahaya. Hasil pengamatan mikroskop elektron transmisi yang tampak pada Gambar IV. 16 memperlihatkan bahwa struktur ultra pada sel bakteri sel mengandung butiran polihidroksibutirat. Butiran polihidroksibutirat ini merupakan salah satu karakteristik khas dari bakteri luminesen genus *Photobacterium* yang membedakannya dari 2 genus bakteri luminesen lain *Vibrio* dan *Xenorhabdus* (Holt *et al.*, 1993). Polihidroksibutirat ini adalah merupakan sumber energi bagi sel bakteri (Brock, 1991).

Hasil identifikasi dengan menggunakan uji biokimia mengarahkan, bakteri yang hidup pada organ cahaya cumi-cumi *L. duvauceli* adalah jenis bakteri *Photobacterium phosphoreum*. Ini berdasarkan pengelompokan

spesies dalam genus *Photobacterium* oleh Nesis (1982). Sedangkan Ruby (1996) menyatakan bahwa, ada sekitar 12 jenis bakteri luminesen sudah ditemukan di laut, umumnya bakteri luminesen tersebut dari genus *Vibrio*. Jenis bakteri pada organ cahaya cumi-cumi *Euprymna morsei*, *E. scolopes* and *E. tasmania* adalah jenis bakteri *Vibrio fischery*. Sedang Herring *et al.* (1981) mendapatkan jenis bakteri pada organ cahaya cumi-cumi *Sepia* sp, *Sepiolo atlantica* dan *Sepiolo robusta* adalah *Photobacterium fischery*. Genus *Photobacterium* dan genus *Vibrio* berasal dari famili yang sama, yaitu Vibrionaceae (Barrow dan Feltham, 1993) sementara *Xenorhabdus* sekarang dimasukkan dalam famili Enterobacteriaceae (Anonymous, 2002). Dari beberapa informasi di atas menggambarkan bahwa keterangan tentang bakteri luminesen yang hidup bersimbiosis pada organ cahaya hingga kini belum berkembang pesat.

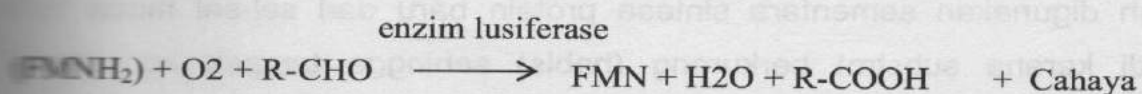
Bakteri juga ditemukan dalam kantung organ cahaya cumi-cumi juvenil (2 hari). Walaupun tidak dilakukan identifikasi melalui pengujian biokimia terhadap sel-sel bakteri dalam kantung organ cahaya cumi-cumi juvenil (2 hari), kemungkinan besar bakteri tersebut adalah jenis *P. phosphoreum*. Kalaupun terdapat lebih dari satu jenis bakteri pada hewan juvenil, paling tidak salah satunya pasti jenis bakteri yang berkembang pada hewan dewasa, karena buktinya dalam kantung organ cahaya cumi-cumi dewasa ditemukan hanya ada satu jenis bakteri, yakni *P. phosphoreum*. Diasumsikan cumi-cumi *L. duvauceli* memilih bakteri *P. phosphoreum* sebagai simbiosis yang tepat untuk kelangsungan hidup hewan tersebut, artinya jenis bakteri lain tidak dapat bersimbiosis. Seperti percobaan yang dibuktikan oleh Ruby (1986) bahwa ketika di air ada bermacam-macam bakteri dan terbukti hanya bakteri *Vibrio fischery* yang bersimbiosis terhadap cumi-cumi *Euprymna scolopes*. Walaupun beberapa spesies konsentrasi bakteri lain $10^5 - 10^6$ sel, sedang *V. fischery* hanya 10^2 sel.

Hasil penelitian memperlihatkan bakteri *P. phosphoreum* memancarkan cahaya bila kerapatan bakteri mencapai $4,6 \cdot 10^9$ (CFU/ml). Sebaliknya, bakteri tidak memancarkan cahaya bila kerapatan selnya tidak mencapai jumlah tersebut. Di lautan yang sangat luas, bakteri tidak dapat berkolonisasi dalam kerapatan sangat tinggi sehingga seperti itu sehingga bakteri tidak dapat memancarkan cahaya. Losick dan Kaiser (1997) menginformasikan bahwa, setelah kolonisasi terjadi suatu kondisi yang disebut *quorum sensing*, yakni kondisi dimana ada sistem *auto-inducer* yang bekerja dalam kerapatan sel bakteri yang sangat tinggi. Ruby (1996) menyatakan bahwa *auto-inducer* yang terdapat pada bakteri *Vibrio fischeri* disebut homoserin lakton. Pencapaian terjadi apabila konsentrasi bakteri cukup tinggi sehingga *auto-inducer* yang dihasilkan dapat menginduksi pencapaian ribuan kali lebih banyak.

Pengamatan langsung koloni bakteri dalam media agar memperlihatkan, bahwa bakteri memancarkan cahaya terus menerus selama 3 hari. Bila koloni bakteri dalam medium agar dimurnikan kembali, bakteri memancarkan cahaya kembali terus menerus selama 3 hari. Terdapat fenomena menarik mengapa bakteri memancarkan cahaya hanya dalam waktu tertentu?

Ada beberapa faktor yang menyebabkan bakteri luminesen melakukan reaksi untuk memancarkan cahaya yaitu: enzim lusiferase, lusiferin tereduksi atau flavin mononukleotida (FMN) tereduksi atau FMNH₂, oksigen dan senyawa kompleks aldehida (Colome, 1986).

Bentuk reaksi pada bakteri luminesen memancarkan cahaya adalah sebagai berikut:



Lusiferase bertindak sebagai enzim yang mengontrol kecepatan reaksi sehingga terbentuk lusiferase tereksitasi. Ketika terjadi reaksi elektron menyerap energi, elektron tersebut akan dieksitasikan dari tingkat energi terendah (*ground electron state*) ke tingkat energi di atasnya. Pada tingkat energi yang lebih tinggi, elektron akan tidak stabil dan akan kembali lagi ke keadaan dasarnya yang disebut relaksasi (*resting state*) sambil melepaskan paket energi yang disebut foton dalam bentuk cahaya (Werbiewe *et al*, 1970). Dalam kasus bakteri *P. phosphoreum* maka dalam bentuk lusiferase terkesitasi, bakteri memancarkan cahaya, jadi dalam reaksi ini yang berperan adalah enzim lusiferase (Carey, *et al*, 1984).

Walaupun enzim lusiferase terdapat pada bakteri, akan tetapi untuk mengaktifkan enzim lusiferase, dibutuhkan lusiferin tereduksi sehingga reaksi pencahayaan terjadi. Kasus bakteri tidak memancarkan cahaya setelah 3 hari di dalam media Agar diduga karena enzim lusiferase sudah mencapai kondisi tidak aktif (*resting state*) karena tidak ada lusiferin tereduksi, dalam hal ini substrat yang berasal dari media Agar sudah habis. Dalam kantung organ cahaya lusiferin tereduksi dapat tersedia terus dari mekanisme simbiosis yang kemungkinan besar substrat awal disediakan oleh hewan sehingga bakteri dapat memancarkan cahaya terus menerus. Disamping itu, juga terjadi proses peremajaan sel melalui mekanisme pembuangan sel-sel yang sudah tua dan digantikan oleh sel-sel yang baru sehingga enzim lusiferase yang dihasilkan selalu dalam keadaan aktif. Hasil penelitian ini tampak pula pada analisis elektroforesis SDS-PAGE. Pada profil protein bakteri tidak memancarkan cahaya (bakteri sudah tidak memancarkan cahaya lagi) tampak bahwa, konsentrasi protein berkurang bila dibandingkan dengan profil bakteri memancarkan cahaya (bakteri memancarkan cahaya). Artinya, pada bakteri tidak memancarkan cahaya protein yang berperan sudah digunakan sementara sintesa protein baru dari sel-sel muda tidak terjadi karena substrat berkurang (habis) sehingga tampak konsentrasi

protein berkurang dibandingkan dengan konsentrasi bakteri yang memancarkan cahaya (bakteri sedang memancarkan cahaya).

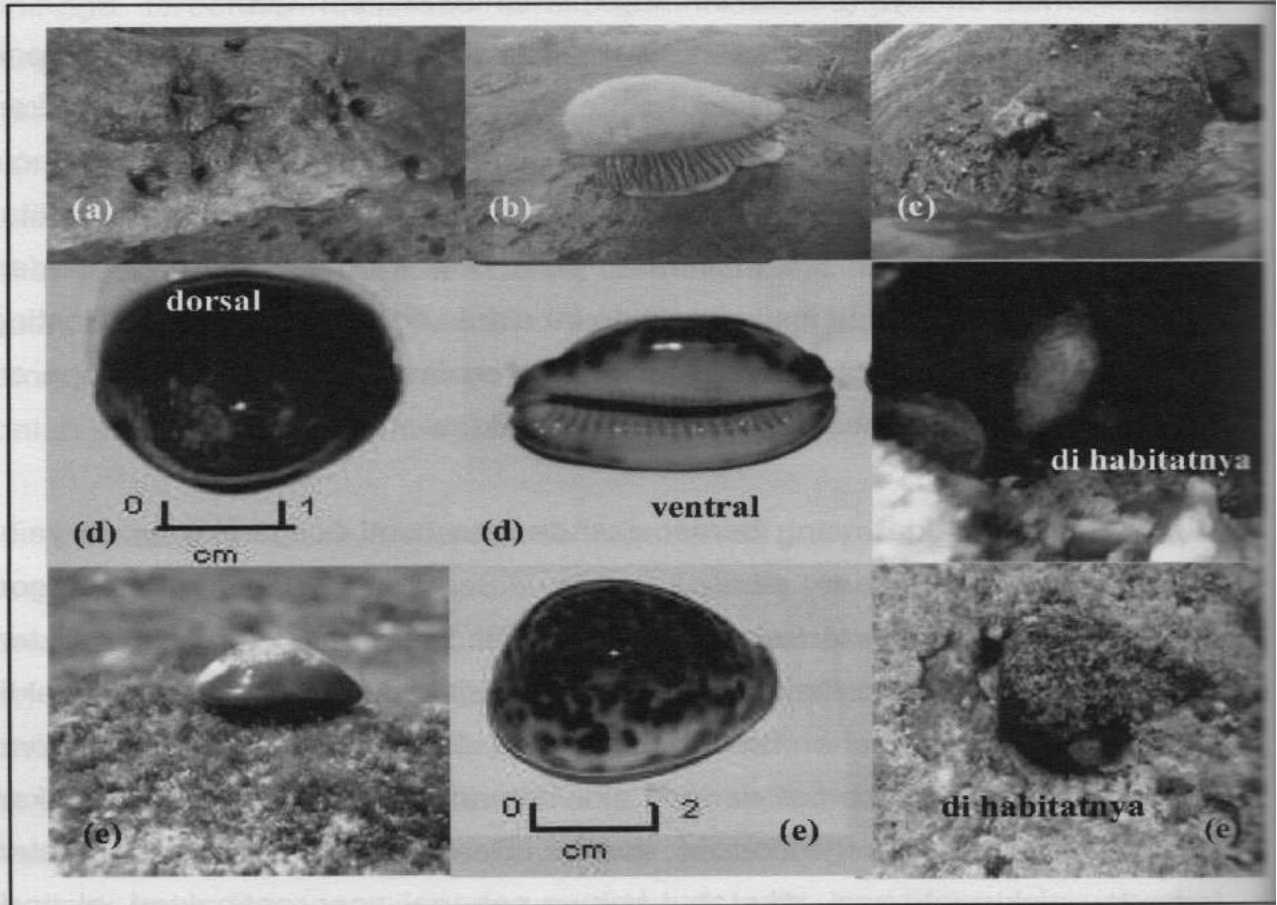
Selanjutnya pada hasil analisis elektroforesis protein tampak kelompok protein sekitar BM 80 kDa muncul pada strain bakteri (bakteri memancarkan cahaya dan bakteri tidak memancarkan cahaya), akan tetapi tidak muncul pada hasil elektroforesis kantung bakteri. Diduga kelompok protein sekitar BM 80 kDa adalah enzim lusiferase yang berperan dalam reaksi bakteri memancarkan cahaya. Hasil penelitian ini didukung oleh pernyataan Hasting dan Morin (1989) yang menyatakan bahwa enzim lusiferase yang berperan dalam proses bioluminesensi memiliki BM 80 kDa.

Hasil uji bakteri yang berasosiasi dengan cumi *Loligo duvauceli*, yaitu bakteri *Photobacterium phosphoreum* terhadap bakteri patogen memperlihatkan bahwa fraksi gabungan dari ekstrak kloroform bakteri *Photobacterium phosphoreum* diketahui merupakan fraksi yang paling aktif menghambat pertumbuhan bakteri *Bacillus sp*, *Staphylococcus aureus*, *Vibrio parveyi* dan *Escherichia coli* dengan aktivitas antibakteri terbesar ditunjukkan terhadap bakteri *Staphylococcus aureus*. Berdasarkan pada pengamatan terhadap waktu inkubasi, diketahui bahwa sebagai agen antibakteri, ekstrak kloroform bakteri *Photobacterium phosphoreum* bersifat bakteriostatik.

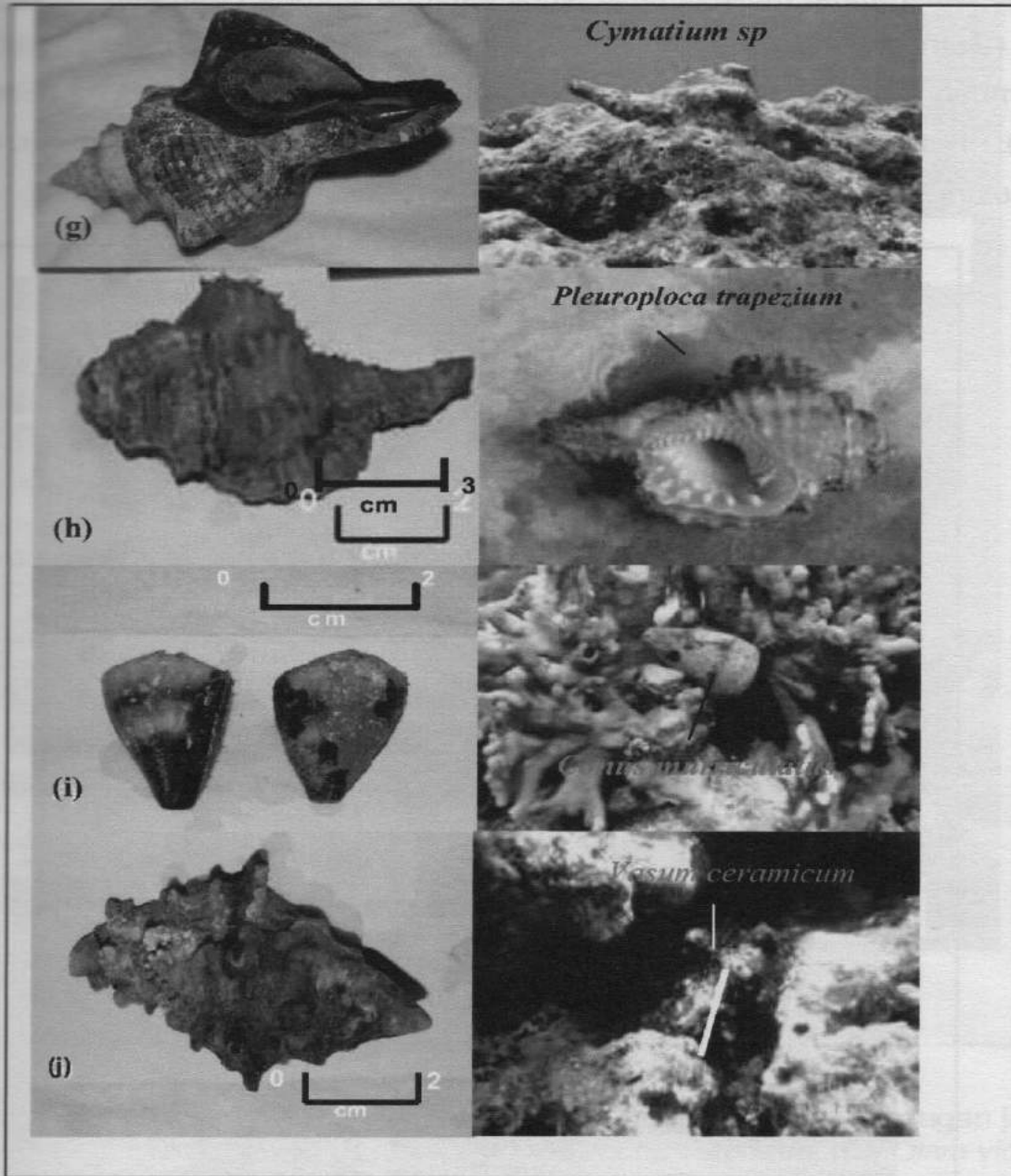


Gambar 4.14. Koleksi sampel-sampel bakteri yang berasosiasi dengan jenis Moluska kelas Gastropoda *Placopoda trapezium* (a), *Cymatium* (b), *Conus muricatus* (c) dan *Yasum cyanicum* (d)

4.2.3. Gastropoda

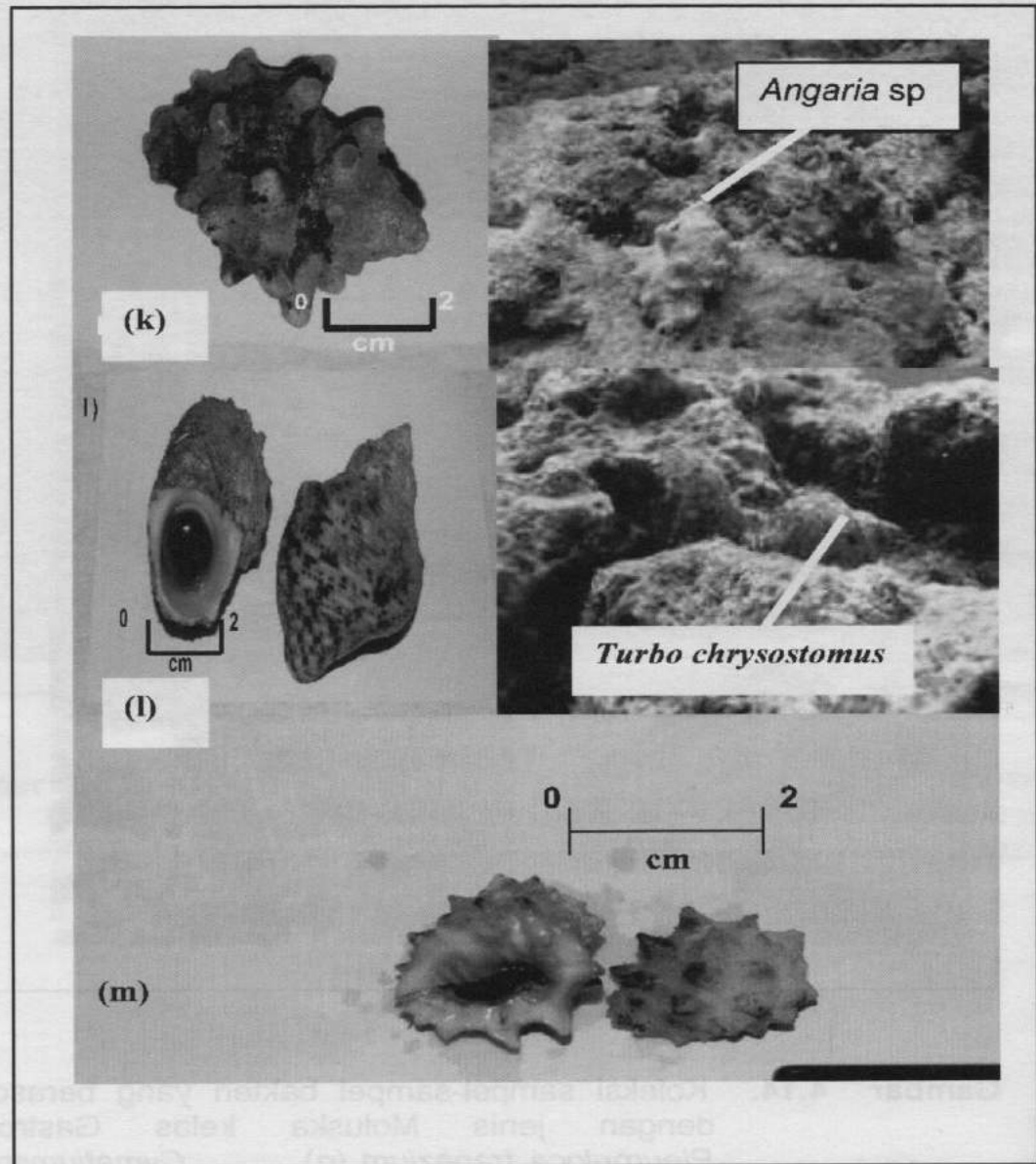


Gambar 4. 13. Koleksi sampel-sampel bakteri yang berasosiasi dengan jenis Moluska kelas Gastropoda: *Littorina littorina* (a), *Melo* sp. (b), *Littorina* sp (c), *Cypraea depressa* (d), *Cypraea arabica* (e), *Cypraea tigris* (f).

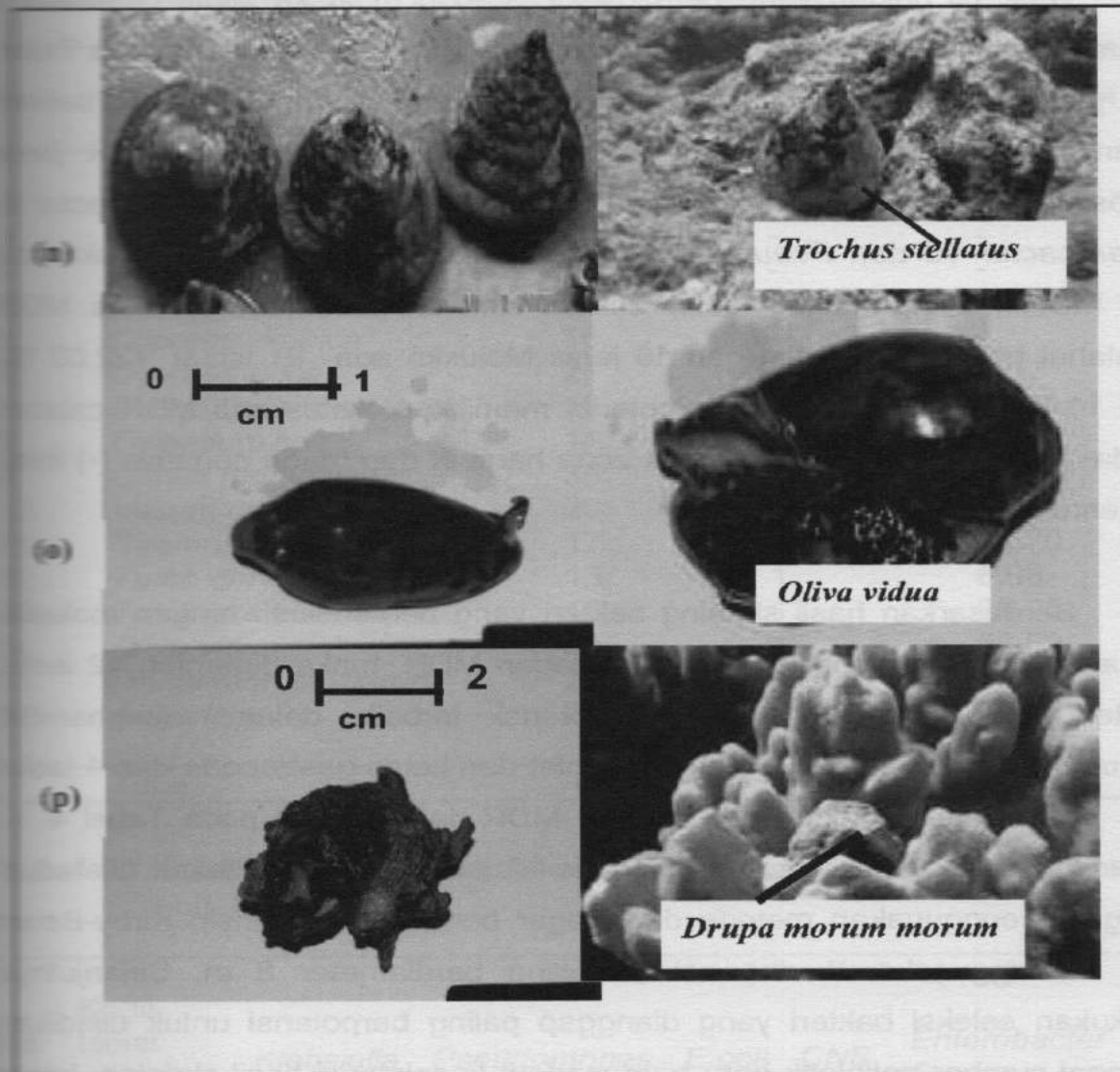


Gambar 4.14. Koleksi sampel-sampel bakteri yang berasosiasi dengan jenis Moluska kelas Gastropoda *Pleuroploca trapezium* (g), *Cymatium* sp (h) *Conus murriculatus* (i) *Vasum ceramicum* (j)

Kelas Gastropoda meliputi jenis-jenis: *Littorina littorina* (Gambar. 4.2a), *Melo* sp. (Gambar. 4.2b), *Littorina* sp (Gambar. 4.2c), *Cypraea depressa* (Gambar. 4.2d), *Cypraea arabica* (Gambar. 4.2e), *Cypraea tigris* (Gambar. 4.2f), *Pleuroploca trapezium* (Gambar. 4.3g), *Cymatium* sp (Gambar. 4.3h), *Conus murriculatus* (Gambar. 4.3i), *Vasum ceramicum* (Gambar. 4.3j),



Gambar 4.15. Koleksi sampel-sampel bakteri yang berasosiasi dengan jenis Moluska kelas Gastropoda *Stramonita armigera* (k), *Turbo chrysostomus* (l) *Angaria* sp (m)



Gamba 4.16. Koleksi sampel-sampel bakteri yang berasosiasi dengan jenis Moluska kelas Gastropoda *Trochus stellatus* (n), *Oliva vidua* (o), *Drupa morum morum* (p)

Sedang hasil isolasi bakteri yang berasosiasi dengan moluska jenis gastropoda memperlihatkan bahwa jumlah isolat bakteri yang berhasil diisolasi dari jaringan jenis bivalvia sejumlah 413 isolat.

Hasil uji bakteri yang berasosiasi dengan moluska kelas gastropoda terhadap bakteri patogen multi drug resisten (MDR) dapat tertera pada Tabel 4.2. yakni *skrining* yang dilakukan dengan metode *overlay* dan isolat bakteri dalam 1 cawan petri yang diujikan terhadap strain bakteri MDR jenis *Klebsiella*, *E. coli*, *Coagulase Negatif Staphylococcus* (CNS), *Enterobacter* 5, *Enterobacter* 10 dan *Pseudomonas* memperlihatkan hasil potensi aktivitas anti MDR masing-masing isolat bakteri simbion dari hasil aktivitas MDR diketahui bahwa 413 isolat dari 16 jenis Moluska ada 91 isolat (22,03 %) dari 11 jenis Gastropoda yang potensi memiliki aktivitas anti MDR catatan tanda positif (+) artinya terbentuk zona hambat dan tanda negative (-) tidak terbentuk zona hambat .

Berdasarkan hasil skrining bakteri yang berasosiasi dengan moluska terhadap beberapa spesies bakteri patogen MDR, maka diperoleh 12 isolat bakteri moluska yang memiliki potensi terbaik dalam menghambat pertumbuhan bakteri MDR, yakni 11 isolat dari kelas gastropoda dan 1 isolat dari Hasil seleksi bakteri potensi anti MDR dapat dilihat pada Tabel 4. 4. Selanjutnya Uji sensitivitas terhadap ke-12 isolat bakteri tersebut dilakukan dengan menggunakan metode difusi agar berdasarkan prinsip Kirby-Bauer dan menggunakan kertas cakram yang berdiameter 8 m. Selanjutnya dilakukan seleksi bakteri yang dianggap paling berpotensi untuk dijadikan sebagai sumber antibiotik baru berdasarkan konsistensi hasil skrining, besar kecilnya zona hambat yang dihasilkan dan sifat penghambatannya terhadap beberapa jenis bakteri uji. Isolat bakteri TCM6.1, TCA8.7 dan TOV12.16 digunakan untuk studi selanjutnya.

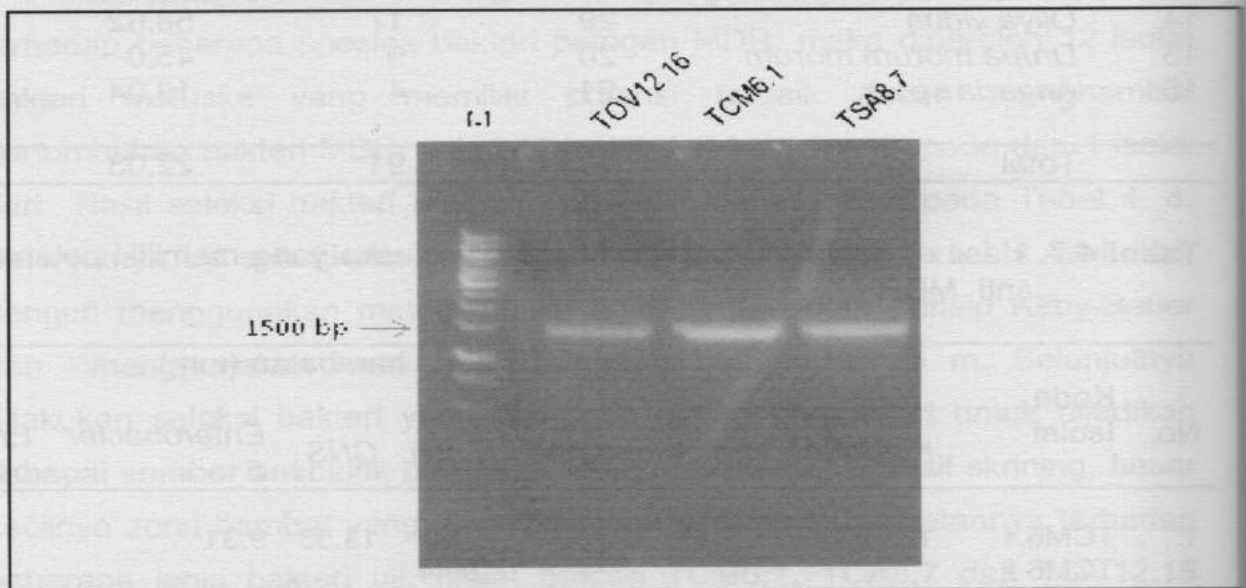
Tabel 4. 6. Skrining bakteri penghasil senyawa anti-MDR

No.	Spesies	Jumlah	Isolat aktif	% isolat aktif
1.	<i>Littorina littorina</i>	51	-	-
2.	<i>Melo</i> sp.	22	-	-
3.	<i>Littorina</i> sp	36	-	-
4.	<i>Cypraea depressa</i>	22	10	45.45
5.	<i>Cypraea arabica</i>	16	-	-
6.	<i>Cypraea tigris</i>	21	2	9.52
7.	<i>Pleuroploca trapezium</i>	19	5	26.31
8.	<i>Cymatium</i> sp	14	-	-
9.	<i>Conus murriculatus</i>	35	18	51.43
10.	<i>Vasum ceramicum</i>	20	1	5.0
11.	<i>Stramonita armigera</i>	17	11	64.70
12.	<i>Turbo chrysostomus</i>	15	1	6.66
13.	<i>Trochus stellatus</i>	42	13	30.95
14.	<i>Oliva vidua</i>	29	17	58.62
15.	<i>Drupa morum morum</i>	20	9	45.0
16.	<i>Angaria</i> sp.	21	4	19.04
Total		413	91	22,03

Tabel 4.7. Hasil uji sensitivitas seleksi bakteri moluska yang memiliki potensi anti MDR

No.	Kode Isolat	Diameter zona hambatan (mm)					
		<i>Klebsiella</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>E.coli</i>	CNS	<i>Enterobacter</i> 5 <i>Enterobacter</i> 10	
1.	TCM6.1	12.70		12.92	13.53	9.31	
2.	TCM6.2			10.44			
3.	TCM6.6			11.19	13.18	9.57	
4.	TSA8.2		9.63			9.95	8.56
5.	TSA8.4		8.90			9.53	8.62
6.	TSA8.5		10.29			9.59	8.78
7.	TSA8.7		11.59	9.01		9.71	
8.	TSA8.15		10.95	8.82			
9.	TOV12.5		10.03	9.23	9.55		
10.	TOV12.6		9.45	11.64	10.56		
11.	TOV12.16		9.73	9.41	11.49	8.80	
12.	TOV12.20			9.18	9.74	10.14	

Amplifikasi DNA dari ke 3 isolat bakteri moluska yang memiliki potensi terbaik sebagai anti MDR (isolat aktif TCM6.1, TCA8.7 dan TOV12.16) dilakukan dengan menggunakan primer ribosomal (F: posisi 8 sampai 27; dan 1500 R: posisi 1510 sampai 1492 dari penomoran 16S rRNA *E.coli*). Hasil amplifikasi DNA dapat dilihat pada Gambar. 4. 7. Semua isolat menghasilkan *single band* (pita tunggal) dengan ukuran sekitar 1500 bp sesuai dengan perbandingan menggunakan marker DNA. Besarnya ukuran ini sesuai dengan ukuran yang diharapkan dari gen-gen 16S rRNA bakteri yaitu sekitar 1500-1600 bp. Amplifikasi DNA dari isolat bakteri moluska anti MDR yang telah memperoleh pita tunggal menunjukkan bahwa primer yang digunakan merupakan primer yang spesifik untuk mengamplifikasi gen 16S rRNA pada bakteri. Demikian pula dengan kondisi yang digunakan dalam reaksi amplifikasi sudah merupakan kondisi yang tepat.



Gambar 4.17. Hasil elektroforesis dari amplifikasi gen 16S rRNA (M: DNA marker)

Hasil sekuen gen 16S rRNA dari isolat aktif TOV12.16, TCM6.1, dan TSA8.7 dapat dilihat pada Gambar. 4. 8. Analisis homologi menggunakan *BLAST searching* dapat dilihat pada Gambar. 4. 9, Gambar. 4. 10 dan Gambar. 4. 11

dan Tabel. 4. 5. Homologi dari *BLAST searching* menunjukkan bahwa isolate TOV12.16 memiliki prosentase kesamaan tertinggi dengan genus *Vibrio alginolyticus* strain VM341 (96%). isolate TOV12.16 adalah isolat dari bakteri simbion gastropoda *Olivia vidua*. Sedangkan isolat TCM6.1 memiliki prosentase kesamaan tertinggi dengan genus *Pseudoalteromonas* sp. (99%), isolat TCM6.1 adalah isolat bakteri simbion gastropoda jenis *Conus miles*. Kemudian isolate TSA8.7 memiliki tertinggi dengan *Vibrio* sp. AC1 (99 %), isolate TSA8.7 adalah isolat bakteri simbion dari gastropoda *Stramonita armigera*.

```

Isolat TOV12.16
GGAGGGTAGTTTCTGT CAGGGGGCCGCCTTCGCCACCGGTATTCCTTCAGAT
CTCTACGCATTTACCGCTACACCTGAAATTCTACCCCCCTCTACAGTACTCT
AGTCTGCCAGTTTCAAATGCTATTCCGAGGTTGAGCCCCGGGCTTTCACATCT
GACTTAACAAACCACCTGCATGCGCTTTACGCCCAGAAATTCCAATTAACGCT
CGCACCTCCCAATTACCGCGACTGCTGGCACGGAAAAAACAGGT

Isolat TCM6.1
GAACGTGTGTTGACCAGGTGGCTGCCTTCGCCATCGGTATCCTTCAGATCTC
TACGCATTTACCGCTACACCTGAAATTCTACCACCCTCTATCACACTCTAGTT
TGCCAGTTTCGAAATGCAGTTCCCAGGTTAAGCCCCGGGGCTTTCACATCTCGC
TTAACAAACCGCCTGCGTACGCTTTACGCCCAGTAATTCCGATTAACGCTCGC
ACCCTCCGTATTACCGCGGCTGCTGGCACGGAGTTAGCCGGTGCTTCTTCTG
TCAGTAACGTACAGCTAGCAGGTATTAACACTACTAACCTTTCCTCCTGACTGA
AAGTGCTTTACAACCCGAAGGCCCTTCTTACACACGCGGCATGGCTGCATCA
GGCTTGCGCCCATTGTGCAATATTCCCCACTGCTGCCTCCCGTAGGAGTCTG
GACCGTGTCTCAGTTCCAGTGTGGCTGATCATCCTCTCAAACCAGCTAGGGA
TCGTTGCC

Isolat TSA8.7
AGGGGTTCGTATCTGGTCCAGGGGGCCGCCTTCGCCACCGGTATTCCTTCAG
ATCTCTACGCATTTACCGCTACACCTGAAATTCTACCCCCCTCTACAGTACT
CTAGTCTGCCAGTTTCAAATGCTATTCCGAGGTTGAGCCCCGGGCTTTCACAT
CTGACTTAACAAACCACCTGCATGCGCTTTACGCCCAGTAATTCCGATTAACG
CTCGCACCTCCGTATTACCGCGGCTGCTGGCACGGAGTTAGCCGGTGCTTC
TTCTGTGCTAACGTCAAATAAAG

```

Gambar 4.18. Sekuen lengkap gen 16S rRNA bakteri moluska isolat TOV12.16, TCM6.1 dan TSA8.7

```

a> gb|AF537960.1| Vibrio alginolyticus strain VM341 16S ribosomal RNA
gene, partial sequence Length=753
Score = 409 bits (221), Expect = 4e-111 Identities = 238/246 (96%), Gaps =
1/246 (0%) Strand=Plus/Minus

Query 2 GAGGGTAGTTTCTGT-CAGGGGGCCGCTTCGCCACCGGTATTCCTTCAGATCTCTACGC 60
      ||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| |||||
Sbjct 731 GAGTGTAGTATCTGTCCAGGGGGCCGCTTCGCCACCGGTATTCCTTCAGATCTCTACGC 672

Query 61 ATTTACCCGCTACACCTGAAATTCTACCCCCCTCTACAGTACTCTAGTCTGCCAGTTTCA 120
      ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| |||||
Sbjct 671 ATTTACCCGCTACACCTGAAATTCTACCCCCCTCTACAGTACTCTAGTCTGCCAGTTTCA 612

Query 121 AATGCTATTCCGAGGTTGAGCCCCGGGCTTTCACATCTGACTTAACAAACCACCTGCATG 180
      ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| |||||
Sbjct 611 AATGCTATTCCGAGGTTGAGCCCCGGGCTTTCACATCTGACTTAACAAACCACCTGCATG 552

Query 181 CGCTTTACGCCCAGAAATTCCAATTAACGCTCGCACCCCTCCCAATTACCGCGACTGCTGG 240
      ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| |||||
Sbjct 551 CGCTTTACGCCCAGTAATTCCGATTAACGCTCGCACCCCTCCGTATTACCGCGGCTGCTGG 492

Query 241 CACGGA 246
      |||||
Sbjct 491 CACGGA 486

```

Gambar 4. 19. Hasil analisis homologi sekuen isolat TOV12.16 dengan menggunakan *BLAST database*. Simbol : | (menunjukkan nukleotida yang identik) (sumber: Fajar Hanindyo Guntoro)


```

> emb|AM747235.1| Vibrio sp. AC1 partial 16S rRNA gene, isolate AC1
Length=1453

Score = 507 bits (274), Expect = 1e-140
Identities = 279/281 (99%), Gaps = 2/281 (0%)
Strand=Plus/Minus

Query 5 GTC-GTATCTGGTCCAGGGGGCCGCCTTCGCCACCGGTATTCCTTCAGATCTCTACGCAT 63
      ||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| |||||
Sbjct 736 GTCAGTATCT-GTCCAGGGGGCCGCCTTCGCCACCGGTATTCCTTCAGATCTCTACGCAT 678

Query 64 TTCACCGCTACACCTGAAATTCTACCCCCCTCTACAGTACTCTAGTCTGCCAGTTTCAA 123
      ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| |||||
Sbjct 677 TTCACCGCTACACCTGAAATTCTACCCCCCTCTACAGTACTCTAGTCTGCCAGTTTCAA 618

Query 124 TGCTATTCCGAGGTTGAGCCCCGGGCTTTCACATCTGACTTAACAAACCACCTGCATGCG 183
      ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| |||||
Sbjct 617 TGCTATTCCGAGGTTGAGCCCCGGGCTTTCACATCTGACTTAACAAACCACCTGCATGCG 558

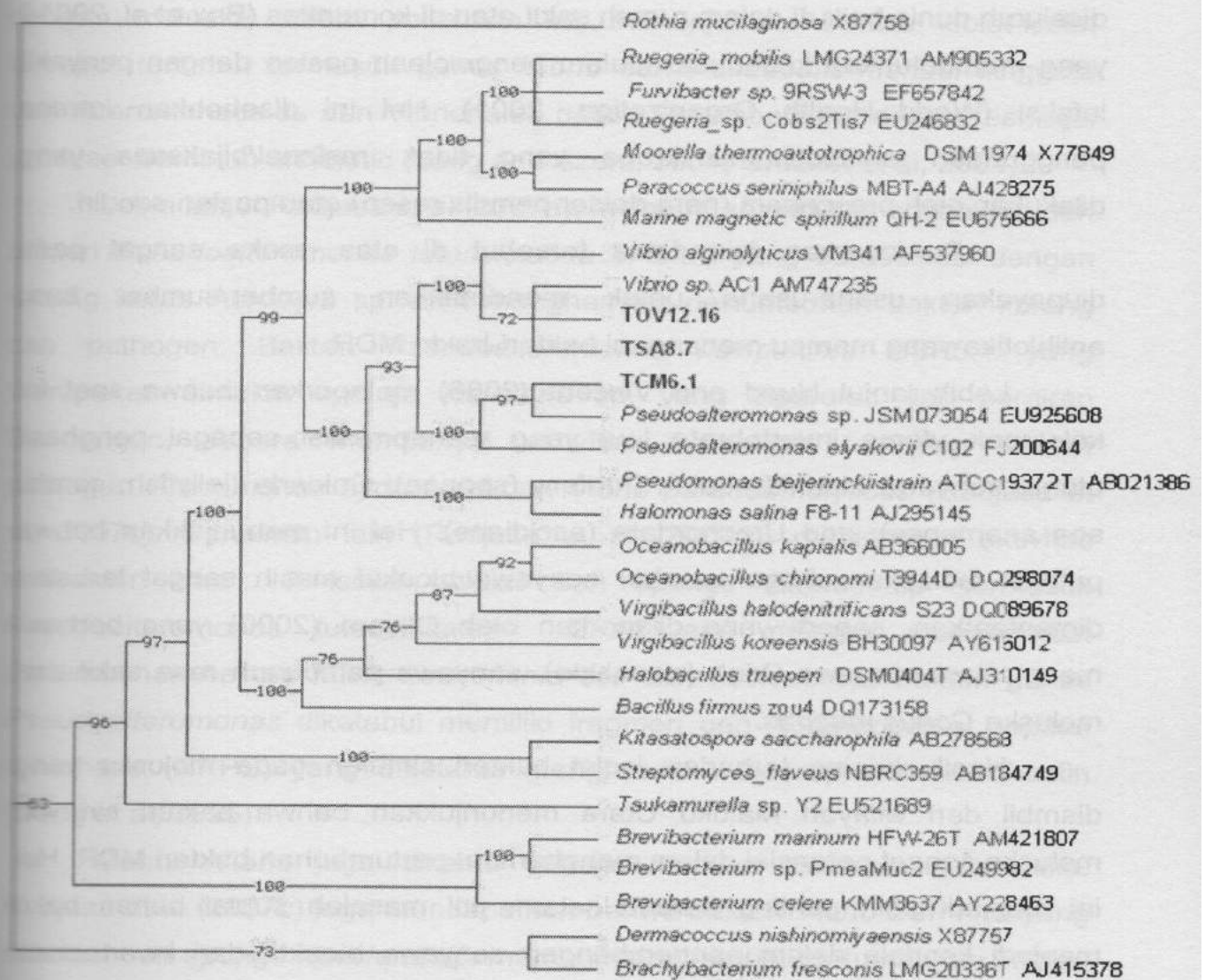
Query 184 CTTTACGCCCAGTAATTCCGATTAACGCTCGCACCCCTCCGTATTACCGCGGCTGCTGGCA 243
      ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| |||||
Sbjct 557 CTTTACGCCCAGTAATTCCGATTAACGCTCGCACCCCTCCGTATTACCGCGGCTGCTGGCA 498

Query 244 CGGAGTTAGCCGGTGCTTCTTCTGTGCGCTAACGTCAAATAA 284
      ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| |||||
Sbjct 497 CGGAGTTAGCCGGTGCTTCTTCTGTGCGCTAACGTCAAATAA 457

```

Gambar 4.21. Hasil analisis homologi sekuen isolat TSA8.7 dengan menggunakan *BLAST database*. Simbol : | (menunjukkan nukleotida yang identik) (sumber: Mijil Cipta)

Hasil analisis sekuen genotip dengan menggunakan *Clustal X. Neighbour-joining method* untuk mendapatkan konstruksi pohon filogenetik dapat dilihat pada Gambar. 4.12. Gambar tersebut menunjukkan bahwa sekuen DNA dari bakteri moluska dengan species yang memiliki kekerabatan yang dekat dari referensi strain pada data base dan species diluar kelompok (*outgroup organism*) *Rothia_mucilaginosa X87758* sebagai *outgroup organism*, maka dapat diketahui bahwa isolat TOV12.16 memiliki kekerabatan yang dekat isolat TSA8.7 yang sama-sama berada dalam genus *Vibrio*. Sedangkan 1 isolat TCM6.1 memiliki kekerabatan terdekat dengan *Pseudoalteromonas*.



Gambar 4. 22 Pohon filogenetik bakteri moluska anti-MDR dan strain referensi yang didapat dari database 16S rDNA dengan outgroup organisme *Rothia mucilaginosa* X87758

Penyakit infeksi yang disebabkan oleh bakteri patogen menjadi salah satu masalah kesehatan di Indonesia. Penanganan penyakit tersebut dengan penggunaan antibiotik yang tidak bijaksana telah menimbulkan masalah baru dengan berkembangnya strain yang resisten terhadap antibiotik.

Resistensi kuman terhadap antibiotik sudah merupakan problem diseluruh dunia baik di dalam rumah sakit atau di komunitas (Bax et al, 2001) yang membutuhkan keseriusan dalam pengelolaan pasien dengan penyakit infeksi (World Health Organization. 2001). Hal ini disebabkan karena penggunaan antibiotik/antimikroba yang tidak rasional/bijaksana yang dilakukan oleh prescribers (para dokter penulis resep) atau pasien sendiri.

Berdasarkan fakta-fakta tersebut di atas, maka sangat perlu diupayakan usaha-usaha untuk mendapatkan sumber-sumber baru antibiotika yang mampu menangani bakteri-baktri MDR.

Lebih lanjut Hund and Vincent (2006) melaporkan bahwa saat ini kelompok utama invertebrata laut yang mendominasi sebagai penghasil utama senyawa bioaktif adalah Porifera (sponge); Cnidaria (jellyfish, corals, sea anemones); and Urochordata (ascidians). Hal ini menunjukkan bahwa potensi moluska sebagai sumber senyawa bioaktif masih sangat terbatas dimanfaatkan, seperti yang dilaporkan oleh Olivera (2000) yang berhasil mengisolasi senyawa Prialt (ziconitide), senyawa pembunuh rasa sakit dari moluska *Conus magnus*.

Hasil skrining terhadap isolat bakteri simbion pada moluska yang diambil dari wilayah Maluku Utara menunjukkan bahwa bakteri simbion moluska sangat potensial dalam menghambat pertumbuhan bakteri MDR. Hal ini menjadi poin penting karena selama ini masalah suplai bahan baku menjadi kendala dalam pengembangan senyawa bioaktif dari invertebrate laut (Proksch et al), karena senyawa yang dihasilkan sangat terbatas sehingga dapat mengancam keberadaan invertebrate laut itu sendiri. Jadi dalam konteks pemanfaatan sumber daya laut yang berkelanjutan hasil penelitian ini sangat menjanjikan untuk ditindak lanjuti lebih lanjut. Sukarmi and Radjasa (2007) menjelaskan bahwa ada kekuatiran berkenaan dengan aspek bioetika berkaitan dengan koleksi sampel invertebrate lau untuk penemuan dan pengembangan farmasi dapat dipandang dalam konteks keberlanjutan dan ancaman terhadap konservasi.

Dari 3 isolat yang paling aktif dan menjanjikan yang berasosiasi dengan moluska dalam penelitian ini, menunjukkan bahwa isolat-isolat tersebut termasuk genus *Vibrio* dan *Pseudoaltermonas*. Anggota dari Alteromonadales dan Vibrionales dalam Proteobacteria dikenal sebagai produser dominan antibiotik (Long and Azam, 2001; Grossat et al, 2004).

Lebih lanjut Radjasa et al (2007a), melaporkan aktivitas antibakteri dari bakteri *Pseudoalteromonas luteoviolacea* TAB4.2 yang berasosiasi dengan karang keras *Acropora* sp. aktif menghambat pertumbuhan bakteri karang dan patogen. Bakteri *Pseudoalteromonas flavipulchra* BSP5.1 yang merupakan simbiosis sponge *Haliclona* sp. yang diperoleh dari perairan Bandengan, Jepara mempunyai aktivitas antibakteri terhadap bakteri patogen *Alteromonas hydrophila* dan *Vibrio parahaemolyticus* (Radjasa et al, 2007c). Penelitian lain (Radjasa et al, 2007d), melaporkan aktivitas antibakteri dari 3 isolat bakteri dari sponge *Aaptos* sp. termasuk *Pseudoalteromonas luteoviolacea* SPA21 yang mampu menghambat pertumbuhan bakteri MDR *Escherichia coli* dan *Proteus* sp. Bakteri genus *Pseudoalteromonas* diketahui memiliki fragmen gen Non-ribosomal peptide synthase (NRPS) yang diketahui menghasilkan siderophore Alterobactin (Deng et al, 1995).

Genus *Vibrio* juga dikenal sebagai sumber potensial antibiotika. Radjasa et al (2007c) juga mendapatkan bahwa bakteri *Vibrio* BSP1.12 yang diisolasi dari sponge *Haliclona* sp. mampu menghambat pertumbuhan bakteri patogen *Alteromonas hydrophila* yang merupakan causative agent pada penyakit Motile Aeromonas Septicemia (MAS) yang menyerang ikan mas. Bakteri *Vibrio* MJ.11 yang diisolasi dari karang lunak *Porites lutea* juga diketahui mampu menghambat bakteri patogen *Bacillus subtilis* dan *Staphylococcus* sp. (Radjasa, tidak dipublikasikan).

Isolat bakteri aktif yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan hasil yang sangat menjanjikan karena ketiga isolat mampu menghambat

bakteri MDR lebih dari satu jenis yang meliputi *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus*, *E.coli* dan *Enterobacter*.

Informasi yang ditemukan dari penelitian sebelumnya yaitu isolasi bakteri simbion dari moluska (bivalvia, gastropoda) yang dikoleksi dari perairan Ternate (Maluku Utara) memperlihatkan bahwa jenis bakteri simbion dari Gastropoda jenis *Conus miles* adalah bakteri jenis *Pseudoalteromonas* sp sedang Gastropoda jenis *Stramonita armigera* dan *Oliva vidua* adalah *Vibrio* sp. Masing-masing isolate bakteri simbion gastropoda berpotensi memiliki aktivitas anti bakteri Multi Drug Resistant (MDR). Hasil analisis dengan metode fitokimia memperlihatkan bahwa senyawa yang dominan pada bakteri simbion adalah senyawa *triterpenoid*. Hasil analisis GC-MS menunjukkan bahwa terdapat beberapa senyawa yang terdeteksi dari fraksi isolat TCM, yakni: Nitrogen oxide (N₂O) (CAS) Nitrous oxide; Acetic acid (CAS) Ethylic acid; Propanoic acid,2-methyl-(CAS) Isobutyric acid dan fraksi isolat TOV : Propanoic acid,2-methyl-(CAS)Isobutyric acid; Butanoic acid, 2-methyl-(CAS) 2-Methylbutanoid acid sedang fraksi isolat TSA: 1,2-Propadiene (CAS) Allene. Informasi dari senyawa *triterpenoid* lebih banyak ditemukan pada tumbuhan. Senyawa *terpenoid* merupakan unis isoprena (C₅H₈). Terpenoid merupakan senyawa yang kerangka karbonnya berasal dari enam satuan isoprena dan secara biosintesis diturunkan dari hidrokarbon C₃₀ siklik yaitu skualena. Salah satu manfaat dari senyawa triterpenoid adalah sebagai fitoaleksin. Fitoaleksin yang diproduksi oleh bakteri tersebut diduga berfungsi sebagai racun bagi organisme yang menyerang dengan cara menghancurkan dinding sel.

Potensi bakteri simbion dibuktikan dengan cara melakukan ekstraksi dari bakteri simbionnya yang diujikan kepada bakteri pathogen. Dari bakteri simbion yang dikoleksi dari beberapa jenis Moluska memperlihatkan hasil bahwa bakteri simbion Moluska terindikasi mampu menghambat

pertumbuhan dari bakteri *pathogen* yakni jenis bakteri *Klebsiella* sp, *Pseudomonas* sp, *Enterobakter* sp, *Eschericia coli* dan *Staphylococcus aureus* yakni bakteri simbion *Pseudoalteromonas* sp. dan *Vibrio* sp (Pringgienes, 2009). Ternyata ekstrak Moluska bakteri simbion Gastropoda jenis *Conus miles* dan *Oliva vidua* yang dijadikan sebagai gel antiseptik, mampu menghambat pertumbuhan bakteri yang ada pada tangan. Hal ini diketahui dengan sedikitnya jumlah koloni bakteri yang ada pada media agar.

Mencuci tangan saja dalam hal ini berarti tidak cukup untuk membunuh bakteri, karena diketahui hanya dengan mencuci tangan saja ternyata bakteri yang ada pada tangan masih sangat banyak walaupun jumlah tersebut tidak menyebabkan bahaya. Suharto (1994) menyatakan bahwa yang ada pada kulit manusia berjumlah ribuan koloni bakteri. Namun dengan adanya kombinasi antara mencuci tangan dengan penggunaan antiseptik akan lebih efektif mengangkat kotoran dan kuman-kuman yang berada di permukaan kulit (*transient microorganism*). Efektifitas penggunaan sediaan gel dari ekstrak bakteri simbion Moluska dibuktikan dengan menurunnya jumlah koloni bakteri seiring dengan penambahan konsentrasi / kadar ekstrak yang ada pada gel tersebut.

Selain itu, secara umum tingkat hambatan hidup bagi mikroorganisme seperti diuraikan Lay (1994) juga tergantung dari komposisi media, pH zat uji, konsentrasi antibakteri, kepadatan inokulum, kepekaan inokulum terhadap bahan antibakteri, suhu dan juga waktu. Mool (1985) dalam Wibowo (2005) menjelaskan bahwa semakin lama waktu kontak antara mikroorganisme dengan senyawa antibakteri, maka semakin besar jumlah mikroorganisme yang mati. Hal ini berarti adanya sisa koloni bakteri yang masih hidup meski sudah menggunakan sediaan gel hal ini selain dikarenakan senyawa aktif yang ada pada ekstrak bakteri *Pseudoalteromonas* sp. dan *Vibrio* sp. hanya mampu membunuh bakteri untuk jenis tertentu saja, juga dimungkinkan waktu kontak sediaan gel antiseptik terhadap tangan juga berpengaruh.

Pada intinya bakteri simbion moluska dapat dijadikan sebagai antibakteri berupa sediaan gel antiseptik yang bermanfaat untuk kesehatan.



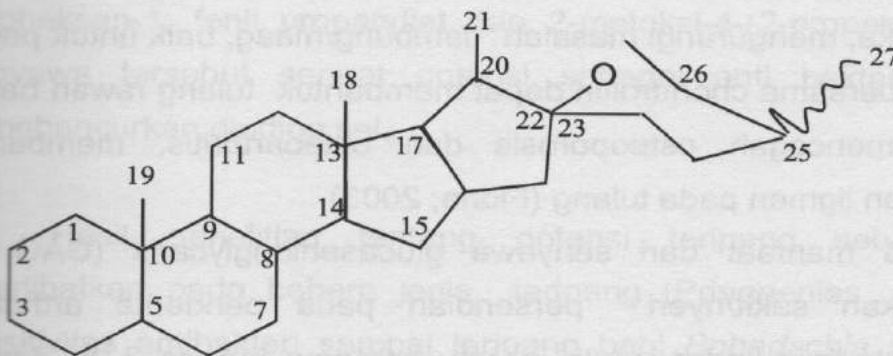
Gambar 4. 23. Produksi ekstrak bakteri *Pseudoalteromonas* sp dari bakteri simbion gastropoda *Conus miles* sebagai anti septik

V. BIOPROSPEK BAHAN HAYATI Echinodermata

5.1. Holothuria

5.1. 1. Kandungan Teripang

Teripang merupakan salah satu dari golongan invertebrata yang hidup menetap di laut. Kandungan senyawa kimia yang dominan terdapat pada biota Echinodermata seperti teripang adalah saponin dan holotoksin yang berperan sebagai anti kanker dan anti bakteri (Soediro dan Padmawinata, 1993). Saponin menyusun bagian terbesar kelompok glikosida yang tersebar merata pada hewan maupun tumbuh-tumbuhan. Saponin larut dalam air dengan bentuk buih yang terpecah. Hidrolisis saponin menghasilkan gula dan aglicones (sapogenin). Aglicones mempunyai rumus kimia dengan 27 atom karbon yang terdiri dari 6 cincin yang disebut spirostane (Ramawat dan Merillon, 1999). Struktur kimia spirostane ditunjukkan pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1. Struktur Kimia Senyawa Spirostane

Senyawa saponin yang terdapat pada teripang dikenal dengan nama holothurin (Yamanouchi, dalam Hashimoto (1979) dan dapat bersifat antibakteri (Simoes *et al.*, 1999) sehingga berfungsi sebagai antibiotik alam yang membantu tubuh melawan infeksi dan invasi mikrobial (Balandrin, 2008). Hashimoto (1976) menambahkan bahwa kandungan saponin pada teripang mempunyai fungsi sebagai antitumor, antimikroba, meningkatkan aktivitas phagositic dari sel leukosit, memberikan efek pergerakan amoeboid dari sel leukosit, penghambat perkembangan kesuburan telur pada bulu babi serta sebagai penghambat sintesis protein, DNA dan RNA pada Teripang.

Saponin

Kandungan senyawa kimia lain yang terdapat pada teripang adalah kolagen(80,0%), mineral, mukopolisakarida, glucosaninoglycans (GAGs), antiseptik alamiah, chondroitin, omega-3, omega-6, dan omega-9, asam amino, dan kandungan mineral yang terdiri dari kalium, fosfor, kromium, magnesium, kalsium, zat besi, natrium (Lambeth, 2000) serta enzim SOD (*super oxide dismutase*) bersifat antioksidan. Teripang juga diketahui mengandung zat *cell growth factor* (CGF), yakni sel yang bertanggung jawab untuk menstimulus proses regenerasi atau peremajaan sel dan berperan dalam mempercepat penyembuhan luka (Sendih, 2006).

Kolagen bermanfaat untuk kecantikan kulit, membantu menyembuhkan luka, mengurangi masalah lambung/maag, baik untuk paru-paru dan kolagen bersama chondroitin dapat membentuk tulang rawan baru, membantu dan mencegah osteoporosis dan osteoarthritis, membantu memelihara jaringan ligmen pada tulang (Floria, 2003)

Selanjutnya manfaat dari senyawa glucosaninoglycans (GAG s) adalah meringankan sakit/nyeri persendian pada penderita arthritis, membantu meningkatkan kadar insulin darah, bersama omega 3, 6, dan 9 mencegah penyumbatan dalam sirkulasi darah. Sedang manfaat mukopolisakarida yakni membantu/melancarkan sirkulasi darah, memelihara sistem jantung, menghilangkan rasa sakit (zat penahan sakit alamiah),

membantu menurunkan inflamasi dan mempercepat proses penyembuhan luka, membantu masalah wasir, menurunkan dan menstabilkan hipertensi/darah tinggi. Manfaat omega 3 dan omega 6 membantu meningkatkan pembakaran energi dan metabolisme sel, menjaga system penghantaran impuls syaraf dan memelihara tekanan darah, menurunkan kekentalan darah, sehingga mengurangi resiko serangan jantung, menurunkan kolesterol LDL dan trigliserida, menurunkan HDL. Manfaat mineral kalium, fosfor, kromium, magnesium, kalsium, zat besi, natrium mengaktifkan keseimbangan enzim, bersama protein membentuk keseimbangan hormon & sistem kelenjar, menghasilkan sel darah merah, mencegah anemia darah, membantu toleransi gula darah, bersama GAGs membantu mengatasi toleransi gula darah. (Floria, 2003)

5.1.2. Potensi Teripang Sebagai Antibakteri

Teripang ternyata potensi sebagai anti bakteri, kandungan senyawa kimia yang terdapat pada teripang meliputi: sikloheksena sebagai senyawa dengan kelimpahan terbesar, asam butanoat, asam pentanoat, dan etanol, Asam Metil Butirat, 2-Butoksi Etil Acetat, Asam Benzenasetat, Asam Benzenapropionat, 1-Pentadecena, 2-butoksi etanol; 3,5,5 trimetil 2-sikloheksan-1; fenil propandiat dan 2-metoksi-4-(2-propenil) atau eugenol. Senyawa tersebut sangat potensi sebagai anti baktarei dengan cara menghancurkan dinding sel.

Hasil penelitian tentang potensi teripang sebagai anti-bakteri diperlihatkan pada bebera jenis teripang (Pringgenies., dkk, 2008). Uji sensitivitas antibakteri sampel teripang babi *Bohadschia mamorata* terlihat bahwa perlakuan ekstrak kasar teripang babi (*B. mamorata*) menunjukkan adanya aktivitas anti bakteri. Hasil penelitian uji sensitivitas sampel tissue teripang getah *Bohadschia mamorata* dan teripang babi (*Bohadschia argus*)

terhadap beberapa jenis bakteri uji yakni: *Staphylococcus aureus*, *Escherisia coli*, *Vibrio anguila*, *V. voinivica*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas* sp. memperlihatkan kemampuan untuk menghambat pertumbuhan bakteri uji. Sampel teripang gamat *Stichopus variegatus* memiliki kemampuan menghambat pertumbuhan bakteri uji *Escherisia coli*, *Pseudomonas* sp., *V. vinivica*. Sedang teripang nanas (*Stichopus cholronatus*) dan teripang gamat emas *Stichopus hermani* memiliki kemampuan menghambat pertumbuhan bakteri uji *Escherisia coli*, *Pseudomonas* sp., *V. Voinivica* dan *Staphylococcus aureus*. Selanjutnya hasil penelitian terhadap teripang keling *Holothuria atra* diperoleh memiliki akitivitas antibakteri terhadap empat bakteri uji jenis: *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Staphylococcus aureus*. Sedang hasil terhadap teripang jenis keling merah *Holothuria leucospilota* menunjukkan bahwa ekstrak memiliki 7 fraksi yang aktif terhadap bakteri MDR *Klebsiella* sp. dan *Enterobacter* 10.

Teripang juga memiliki potensi sebagai senyawa anti bakteri terhadap bakteri *Multi drug resistant (MDR)* yang dikoleksi dari Rumah Sakit Kariadi Semarang. Hasil terhadap teripang gamet rengget *Stichopus vastus* terlihat bahwa ada dua bakteri MDR yang memiliki sensitivitas terbaik terhadap ekstrak teripang, yaitu akteri *Enterobacter* 5 dan *Klebsiella* sp. Nilai rata-rata zona hambatan tertinggi pada fraksi gamet rengget *Stichopus vastus* terdapat pada konsentrasi 80 µg/disk, yang secara berurutan untuk kedua bakteri diatas adalah $14,73 \pm 0,48$ mm dan $11,22 \pm 0,85$ mm.

Untuk mengetahui daya senyawa aktif dari ekstrak kasar teripang babi, maka perlu dilakukan uji pembanding dengan menggunakan senyawa antibiotik. Antibiotik adalah jenis obat yang fungsinya membunuh bakteri atau memperlambat pertumbuhan bakteri. Antibiotik merupakan salah satu kelas dari jenis obat dari grup yang lebih besar yang disebut antimikroba, jenis obat lain yang termasuk grup ini adalah seperti *anti-viral*, *anti-fungal*, dan *anti-parasitic*.

Dalam penelitian antibiotik Amoxycilin digunakan sebagai kontrol pembanding. Amoksisilin yang memiliki struktur kimiawi $C_{16}H_{19}N_3O_5S$ atau *(2S, 5R, 6R)-6-[(R)-2-amino-2-(4-hydroxyphenyl) acetamido]-3, 3-dimethyl-7-oxo-4-thia-1-azabicyclo [3.2.0] heptane-2-carboxylic acid* (Styrer, 1988). Hasil uji pembanding ekstrak kasar dengan antibiotik pada pertumbuhan bakteri uji disajikan pada Gambar 2. dan terlihat bahwa daya aktivitas ekstrak kasar teripang getah lebih tinggi dibandingkan dengan antibiotik Amoksisilin pada semua penggunaan bakteri uji. Dari hasil tersebut diduga bahwa senyawa aktif ekstrak kasar teripang getah memiliki daya senyawa aktif yang lebih tinggi dibandingkan dengan senyawa antibiotik Amoksilin.

5.1.3. Potensi Teripang menurunkan Kadar Kolesterol

Walau tidak banyak masyarakat yang mengenal hewan laut teripang, namun ternyata populasinya di laut selalu menurun karena eksploitasi meningkat seiring dengan meningkatnya permintaan di pasar internasional. Artinya, pemanfaatan teripang lebih banyak dinikmati oleh masyarakat luar negeri dari pada bangsa kita sendiri. Teripang merupakan hewan laut yang bentuknya seperti ketimun sehingga nama lainnya adalah ketimun laut.

Sejak jaman dahulu kala, masyarakat pesisir Indonesia sudah mengenal teripang sebagai makanan. Makanan tersebut sangat berbeda dibandingkan dengan makanan laut lainnya seperti udang, cumi-cumi, kerang atau kepiting karena teripang dikenal sebagai bahan makanan sehat dengan kandungan rendah kolesterol dan rasa tidak kalah lezat dengan makanan laut lainnya. Maka teripang digolongkan pada makanan yang eksklusif dengan harga olahan keringnya di Kepulauan Karimunjawa mencapai Rp. 1.000.000,-/kg.

Kini teripang tidak hanya dikenal sebagai bahan makanan, tetapi diyakini sebagai bahan penyembuh bermacam penyakit seperti sakit sendi, lupus, diabetes, obat luka ringan, anti kholesterol. Bahkan kini di Malaysia sudah dapat ditemukan sari teripang alami dari berbagai merk untuk menjaga

kebugaran dan perawatan bagi yang memiliki masalah kesehatan. Keyakinan penyembuhan berbagai penyakit karena teripang mengandung berbagai senyawa aktif dari metabolit sekunder. Kandungan senyawa kimia lain yang terdapat pada teripang adalah kolagen(80,0%), mineral, mukopolisakarida, glucosaninoglycans (GAGs), antiseptik alamiah, chondroitin, omega-3, omega-6, dan omega-9, asam amino, dan kandungan mineral yang terdiri dari kalium, fosfor, kromium, magnesium, kalsium, zat besi, natrium serta enzim SOD (*super oxide dismutase*) bersifat antioksidan. Teripang juga diketahui mengandung zat *cell growth factor* (CGF), yakni sel yang bertanggung jawab untuk menstimulus proses regenerasi atau peremajaan sel dan berperan dalam mempercepat penyembuhan luka.

Kolagen bermanfaat untuk kecantikan kulit, membantu menyembuhkan luka, mengurangi masalah lambung/maag, baik untuk paru-paru dan kolagen bersama chondroitin dapat membentuk tulang rawan baru, membantu dan mencegah osteoporosis dan osteoarthritis, membantu memelihara jaringan ligmen pada tulang. Selanjutnya manfaat dari senyawa glucosaninoglycans (GAG s) adalah meringankan sakit/nyeri persendian pada penderita arthritis, membantu meningkatkan kadar insulin darah, bersama omega 3, 6, dan 9 mencegah penyumbatan dalam sirkulasi darah. Sedang manfaat mukopolisakarida yakni membantu/melancarkan sirkulasi darah, memelihara sistem jantung, menghilangkan rasa sakit (zat penahan sakit alamiah), membantu menurunkan inflamasi dan mempercepat proses penyembuhan luka, membantu masalah wasir, menurunkan dan menstabilkan hipertensi/darah tinggi. Manfaat omega 3 dan omega 6 membantu meningkatkan pembakaran energi dan metabolisme sel, menjaga system penghantaran impuls syaraf dan memelihara tekanan darah, menurunkan kekentalan darah, sehingga mengurangi resiko serangan jantung, menurunkan kolesterol LDL dan trigliserida, menurunkan HDL. Manfaat mineral kalium, fosfor, kromium, magnesium, kalsium, zat besi,

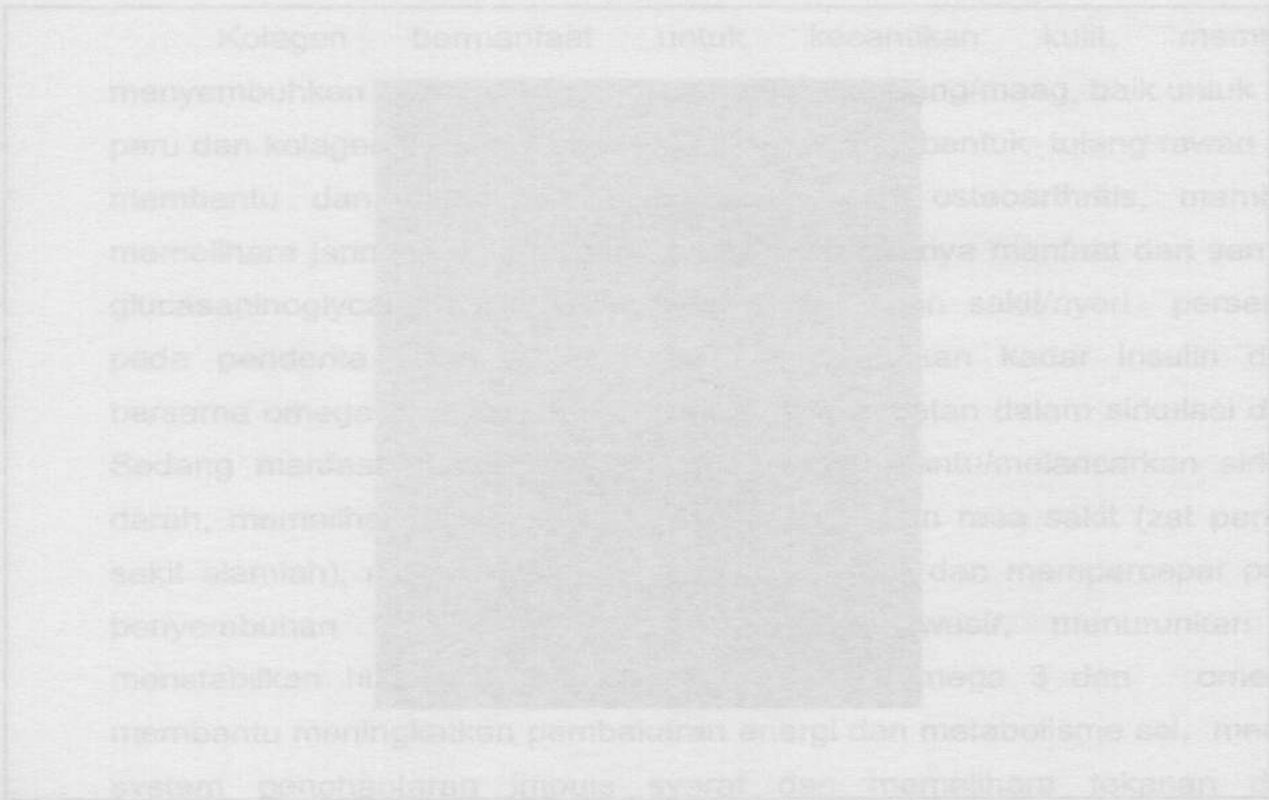
natrium mengaktifkan keseimbangan enzim, bersama protein membentuk keseimbangan hormon & sistem kelenjar, menghasilkan sel darah merah, mencegah anemia darah, membantu toleransi gula darah, bersama GAGs membantu mengatasi toleransi gula darah.

Manfaat teripang terlihat dari penelitian tentang pemberian pakan ekstrak kasar teripang terhadap mencit memperlihatkan hasil yang sangat menarik pada kandungan trigliserida. Semakin sering diberi pakan teripang, maka semakin menurunkan kandungan trigliserida (Ariyanto, 2009). Tentu saja hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan obat untuk kesehatan yang dapat bermanfaat untuk kesehatan.



Gambar.5.2. Contoh suplemen kapsul teripang *Gametri* yang penggunaan sebagai bahan obat untuk menekan kandungan trigliserida dalam darah.

Jelas bahwa kandungan yang terdapat pada teripang dapat menekan kandungan trigliserida dan meningkatkan kadar HDL yang dibutuhkan tubuh untuk menekan kandungan kolesterol. Hal ini disebabkan karena teripang mengandung omega 3 dan omega 6 membantu meningkatkan pembakaran energi dan metabolisme sel, menurunkan kolesterol, LDL dan trigliserida, menurunkan HDL. Dengan demikian teripang dapat sangat bermanfaat untuk kesehatan karena dapat menekan konsentrasi kolesterol dalam darah seperti yang terlihat dalam contoh suplemen teripang pada Gambar. 5.2.

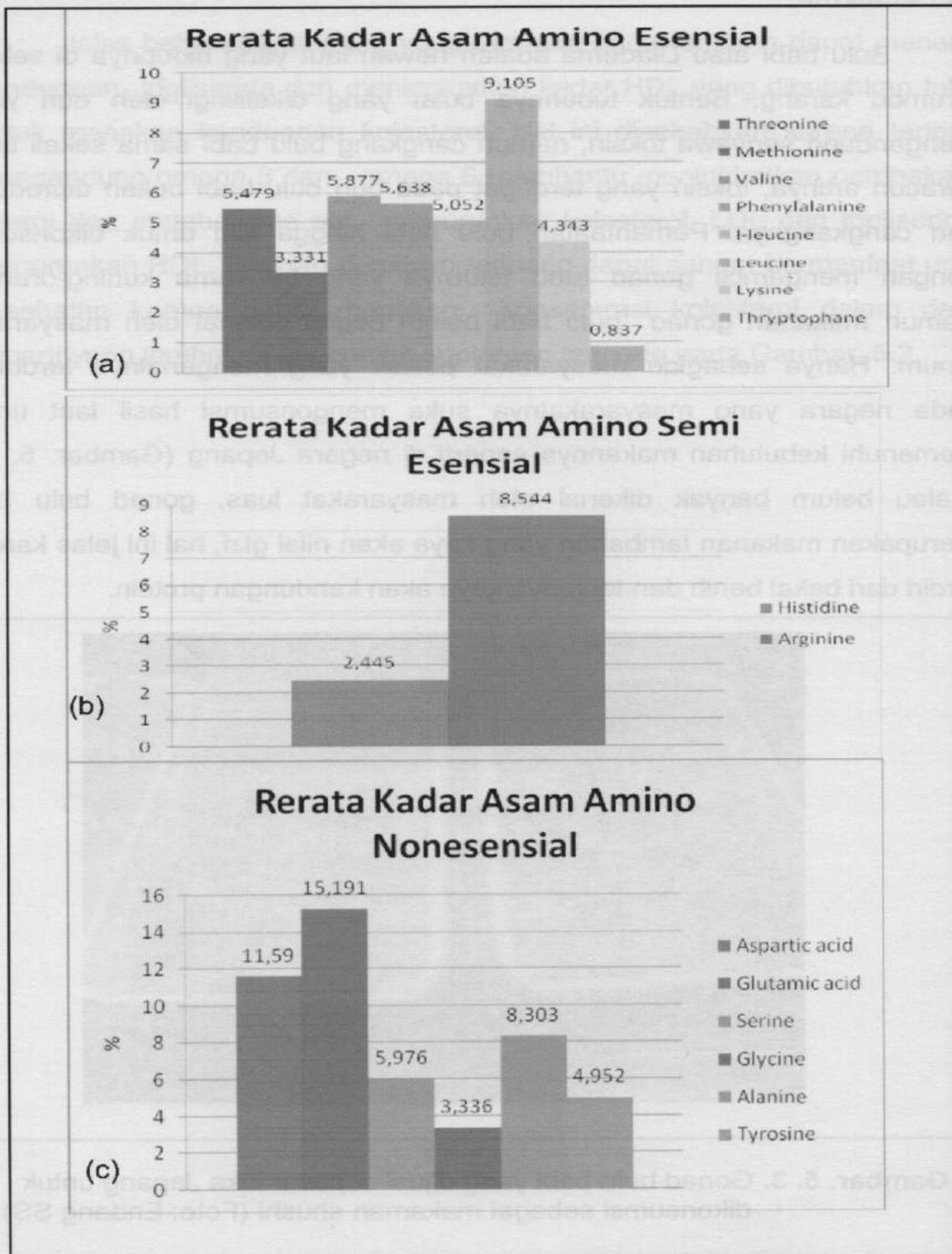


5.2. Diadema

Bulu babi atau Diadema adalah hewan laut yang hidupnya di sekitar terumbu karang. Bentuk tubuhnya bulat yang dikelilingi oleh duri yang mengandung senyawa toksin, namun cangkang bulu babi sama sekali tidak beracun artinya, toksin yang terdapat pada duri bulu babi bukan diproduksi dari cangkangnya. Pemanfaatan bulu babi hingga kini untuk dikonsumsi dengan mengambil gonad atau telurnya yang berwarna kuning-oranye. Namun makanan gonad bulu babi belum begitu dikenal oleh masyarakat umum. Hanya sebagian masyarakat pesisir yang mengenalnya terutama pada negara yang masyarakatnya suka mengonsumsi hasil laut untuk memenuhi kebutuhan makannya seperti di negara Jepang (Gambar. 5. 3.). Walau belum banyak dikenal oleh masyarakat luas, gonad bulu babi merupakan makanan tambahan yang kaya akan nilai gizi, hal ini jelas karena terdiri dari bakal benih dan tentunya kaya akan kandungan protein.



Gambar. 5. 3. Gonad bulu babi yang dijual di pasar loka Jepang untuk dikonsumsi sebagai makanan shushi (Foto: Endang SS)



Gambar 5.4. Grafik Persentase Kadar Asam Amino esensial (a), Semi Esensial (b) dan Nonesensial (c) dalam Sampel Tepung Gonad *D. setosum* (Anna Aizzaturroifah, 2011)

Kandungan protein yang terdapat pada gonad bulu babi jenis *Diadema setosum* tertinggi (80) dari kandungan kandungan lemak dan karbohidrat yang hampir tidak terdeteksi. Sedang kandungan mineral zat Besi mencapai 8,2 mg/ 100 gram, Seng 4,9 mg/ 100 gram dan Selenium 6,3 mg/100 gram.

Hasil analisis persentase kadar asam lemak gonad *D. setosum* dengan teknik gas chromatography (GC) memperlihatkan bahwa kadar asam palmitat (27,603%) tertinggi dibandingkan kadar asam lemak yang lain. Jenis asam lemak yang dihasilkan gonadnya terdiri dari asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh. Asam lemak jenuh adalah asam lemak yang tidak memiliki ikatan rangkap pada rantai karbon. Sedang asam lemak jenuh yang dihasilkan adalah asam laurat (0,079%), asam miristat (15,549%), asam palmitat (27,603%), asam stearat (6,045%) dan asam arakhidat (1,133%).

Beberapa asam lemak tak jenuh yang dihasilkan pada gonad *D. setosum* antara lain, asam palmitoleat (8,196%), asam oleat (4,315%), asam linoleat (3,947%), asam linolenat (0,592%), asam behenat (17,113%), asam erukat (1,903%), EPA (12,322%) dan DHA (1,202%). Dari berbagai macam asam lemak tak jenuh tersebut, hanya asam oleat yang asam lemak tak jenuh tunggal sedang yang termasuk asam lemak tak jenuh jamak adalah asam linoleat, linolenat dan omega-3.

Selain itu, juga dijelaskan oleh Mayes (2003) mengatakan asam lemak esensial adalah asam lemak yang dibutuhkan oleh tubuh untuk pertumbuhan dan fungsi normal semua jaringan dan tidak dapat disintesis oleh tubuh. Termasuk dalam jenis asam lemak ini diantaranya yaitu; DHA dan EPA yang merupakan turunan dari asam lemak linolenat. Asam lemak esensial berperan sebagai prekursor sekelompok senyawa eikosanoid yang mirip hormon, yaitu prostaglandin, prostasiklin, tromboksan dan leukotrien. Senyawa-senyawa tersebut mengatur tekanan darah, denyut jantung, fungsi kekebalan, rangsangan sistem saraf, kontraksi otot serta penyembuhan luka. Selanjutnya dikatakan oleh Voogt (1972) bahwa bulu babi mengandung

senyawa karotenoid yang disebut ekinenon hormon tersebut dibentuk dari estron yang selanjutnya menjadi hormon Estradiol- 17β .

Manfaat lain dari gonad Bulu Babi untuk kesehatan adalah untuk menghangatkan tubuh, juga bisa meningkatkan stamina dan vitalitas pria, bahkan bisa membantu kesuburan kaum pria (Pringgienis, *dkk.* 2011). Untuk menguji khasiat bulu babi, digunakan hewan percobaan mencit yang dibagi menjadi tiga kelompok. Kelompok pertama adalah mencit yang diberi pakan gonad bulu babi. Kelompok kedua tanpa pakan gonad bulu babi. Sedangkan kelompok ketiga tanpa pakan gonad bulu babi, tapi diberi hormone testoteron. Kelompok dengan pemberian pakan gonad bulu babi dibagi lagi menjadi tiga sub kelompok : pemerian pakan sehari sekali, sehari dua kali dan sehari tiga kali. Ternyata gonad bulu babi berpotensi meningkatkan vitalitas dan mempengaruhi perilaku seksual. Hal tersebut tampak pada perilaku seksual yang ditunjukkan mencit jantan terhadap lawan jenisnya. Frekuensi aktivitas seksual paling tinggi tampak pada mencit yang diberi pakan gonad bulu babi. Mencit yang diberi makan gonad bulu babi dua kali sehari melakukan aktivitas seksual 14 kali sehari. Sedangkan yang diberi makan gonad bulu babi sekali sehari melakukan aktivitas seks delapan kali sehari.

Sementara itu, pemberian hormon testoteron tidak berpengaruh secara signifikan terhadap aktivitas seks. Tikus jantan yang diberi hormon testoteron hanya beraktivitas seksual tujuh kali sehari. " Dari hasil penelitian ini diduga, bahwa pemberian pakan dua kali sehari dapat menaikkan libido tikus jantan. Hasil telisik pada kadar hormon testoteron mencit yang diberi pakan bulu babi memperlihatkan bahwa mencit yang mendapat gonad bulu babi sekali sehari, yaitu sebanyak 45 nanogram perliter (ng/ml), meningkat tajam. Sebaliknya, yang mendapat pakan dua kali sehari hanya 1,98 ng/ml dan tiga kali hanya 1,92 ng/ml.

Selanjutnya mencit jantan pengonsumsi bulu babi sekali sehari mengalami peningkatan jumlah spermatozoa menjadi 140 juta per milliliter air. Ini lebih banyak daripada pengonsumsi tiga kali sehari (125 juta/ml) dan dua kali sehari 10 juta /ml). Sementara itu , pada mencit control, tanpa pemberia pakan gonad,sebanyak 50 juta permililier. Dengan pemberian hormon saja, hanya sebanyak 40 juta/ml.

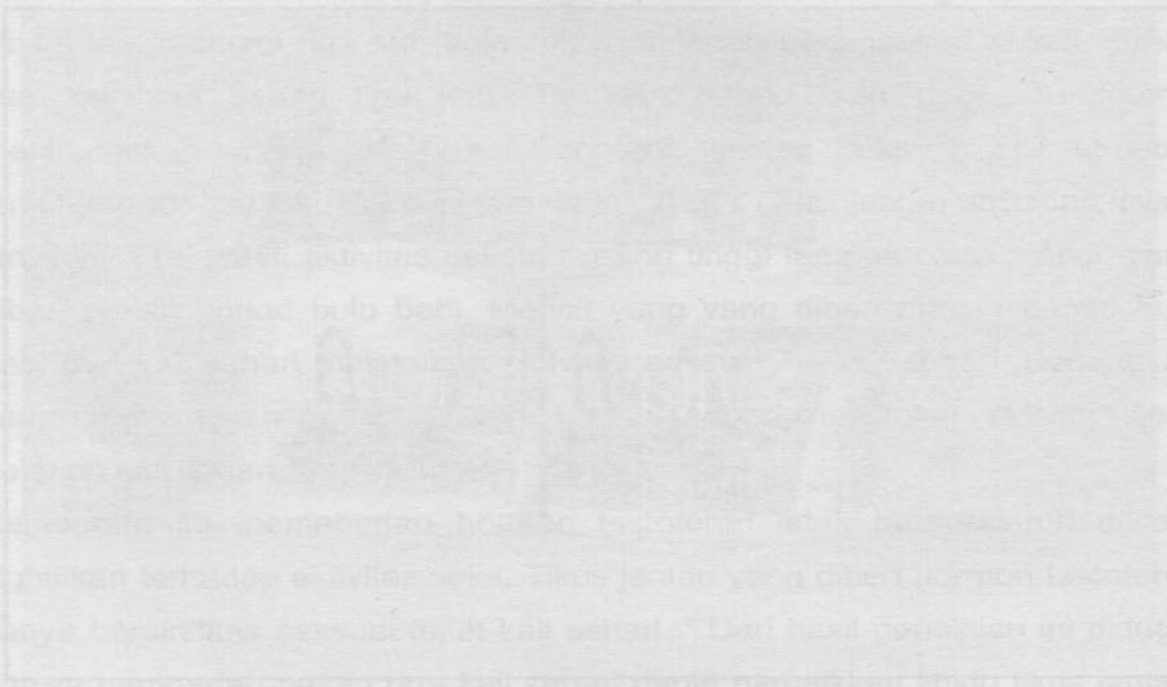
Dilihat dari kandungan gonad bulu babi yang mengandung protein tinggi serta dari hasil percobaan memperlihatkan bahwa makanan gonad bulu babi sangat potensi untuk dijadikan suplemen makanan seperti tertera pada Gambar. 5.4.



Gambar.5.4. Contoh suplemen kapsul gonad bulu babi *Vitali* yang yang bermanfaat untuk stamina kesehatan.

Situs www.sciencedaily.com mengungkapkan, bulu babi mempunyai system imun yang kuat dan berumur panjang. Beberapa dapat hidup sampai

100 tahun. Sebagai perbandingan, manusia terlahir dengan imunitas alami dan dilengkapi dengan imunitas tambahan sepanjang waktu, yang diproduksi oleh antibody oleh tubuh dalam merespons berbagai macam infeksi. Sedangkan bulu babi hanya memiliki imunitas alami, dengan 10 sampai 20 kali gen lebih banyak dari manusia.



5.3. Bintang Laut

Bintang laut atau star fish atau Asteroidea berbeda dengan hewan teripang dan bulu babi, karena tidak ada dari anggota tubuhnya bias dikonsumsi karena zat kapur lebih dominan pada anggota tubuhnya. Namun diduga bintang laut berpotensi untuk dijadikan salah satu sumber bahan obat dari laut karena penggunaannya bisa sebagai sitotoksik.

Hasil uji ekstrak bintang laut membuktikan bintang laut sebagai sitotoksik. Nilai LC_{50} yang telah diperoleh dan dianalisa dalam software EPA *Probit Analysis Program* dan diketahui memiliki sifat toksik. Sifat toksik dikatakan tinggi apabila konsentrasi uji semakin tinggi, maka nilai mortalitas pada nauplius *Artemia* sp semakin kecil (Sugiarto, 1992). Sehingga bila dilihat dari angka keaktifan seluruh ekstrak maka terdapat kemungkinan adanya aktivitas antitumor, antimikroba ataupun pestisida walaupun dalam jumlah yang kecil. Kisaran nilai LC_{50} -24 jam dari ekstrak sesuai aktifitas biologinya dapat dilihat pada Tabel. 5. 1 berikut ini :

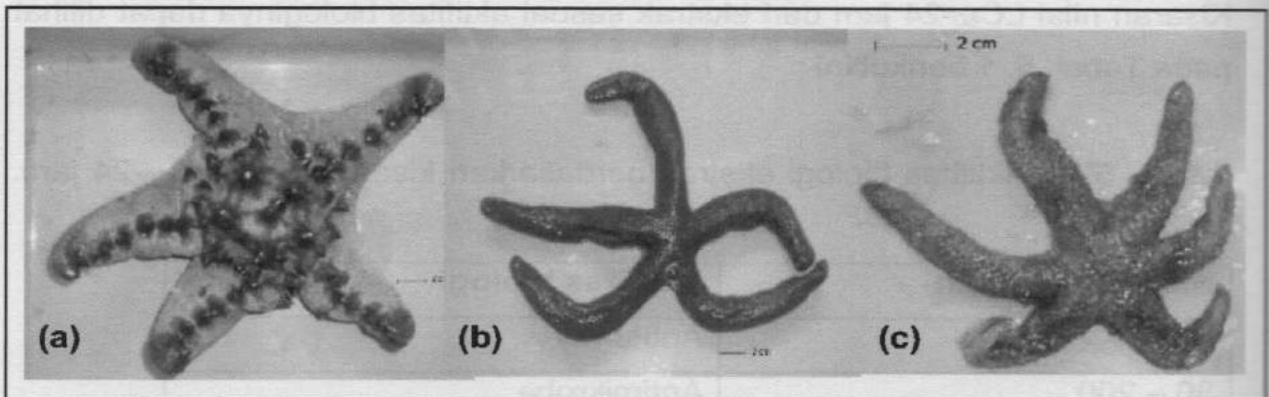
Tabel. 5.1. Aktifitas biologi ekstrak berdasarkan kisaran nilai LC_{50} -24 jam.

Nilai LC_{50} -24 jam	Aktifitas biologi
<30	Antitumor
30 – 200	Antimikroba
>200	Pestisida

(Meyer, *et al*, 1982)

Data kisaran nilai aktifitas biologi diatas yang dikemukakan oleh Meyer *et al.*, 1982 menunjukkan bahwa nilai LC_{50} -24 jam dari ekstrak ke 2 spesies dapat dikatakan berpotensi sebagai pestisida apabila memiliki nilai (> 200). Sedangkan untuk bintang laut *Protoreaster* sp karena nilai $LC_{50} \geq 1000$ maka tidak berpotensi sebagai pestisida, antitumor ataupun antimikroba. Sama

artinya dengan yang dikemukakan oleh Meyer *et al.*, 1982 dalam Fahmi (2010) bahwa tingkat toksisitas dari ekstrak dapat ditentukan dengan melihat harga LC50-nya. Suatu ekstrak dianggap sangat toksik bila memiliki nilai LC50 di bawah 30 ppm, dianggap toksik bila memiliki nilai LC50 30-1000 ppm dan dianggap tidak toksik bila nilai LC50 di atas 1000 ppm. Tingkat toksisitas tersebut akan memberi makna terhadap potensi aktivitasnya sebagai antitumor. Semakin kecil harga LC50 semakin toksik suatu senyawa. Lebih jauh, Meyer (1982) dan Anderson (1991) dalam Fahmi (2010) menjelaskan bahwa aktifitas ketoksikan suatu ekstrak dalam BSLT jika ekstrak dapat menyebabkan kematian 50% larva uji pada konsentrasi kurang dari 1000 ppm. Dengan demikian, berdasarkan nilai LC50 yang diperoleh dari ketiga ekstrak yang diujikan yakni bintang laut jenis *Protoreaster* sp, *Linckia* sp dan *Echinaster* sp maka dinyatakan bersifat sangat toksik.



Gambar. 5.5. Sampel bintang laut jenis *Protoreaster* sp (a), *Linckia* sp (b) dan *Echinaster* sp (c) yang ditemukan bersifat sitotoksik (Foto; Herlina Andriani)

DAFTAR PUSTAKA

- Acosta, A.L., A.D. Rodrigner, 11-oxoaerothiomin: 1992. A Cytotoxic Antitumor Bromotyrosine-Derived Alkaloid From The Caribbean Marine Sponge, *Aplysine lacunosa*, J. Nat. Prod. 55 (77), 1007 -1012.
- Agung. M.U.K 2005. Isolasi Fraksi Gabungan Aktif Agen Antibakteri dari Ekstrak Kloroform Bakteri *Photobacterium phosphoreum* yang Bersimbiosis pada Organ Cahaya Cumi-Cumi *Loligo duvauceli* PS Ilmu Kelautan. Tidak Dipublikasikan. p. 61
- Aizzaturroifah Anna, 2011. Potensi Gonad Bulu babi (*Diadema setosum*) Terhadap Otak Tikus *Rattus norvegicus*. PS. Ilmu Kelautan. Tidak Dipublikasikan. p. 59
- Alamsyah. E. S. 2009. Pengaruh Gonad Bulu Babi (*Diadema setosum*) Terhadap Kuantitas Spermatozoa Mencit *Mus musculus*). PS Ilmu Kelautan. Tidak Dipublikasikan. p. 56
- Arbie M. F. 2009. Skrining Bakteri Simbion Gastropoda *Conus miles* dari Perairan Temate Sebagai Sumber Antibakteri MDR (*Multi Drug Resistant*). PS Ilmu Kelautan. Tidak Dipublikasikan. p. 66
- Ariyanto. Dafit. 2009. Pengaruh teripang emas *Stichopus hermani* Terhadap profil lipid mencit *Mus musculus*. PS Ilmu Kelautan. Tidak Dipublikasikan. p. 56
- Aznan, T. 2002. Uji Toksisitas Subkronis antiinflamsi Baru Pentagamavunon-1 (PGV -1).Pharmacon:urnal Farmasi Indonesia.Vol,3No1.Jakarta
- Aleksrev, D.O., (1989), Advantage and restrictions of using the gladius in diagnostic of species and genera of the family Loligonidae (Cephalopoda), *Zool, ZH*, vol. 68, No. 6, p. 36-42.
- Bullough, (1958) Bullough, W.S., (1958), *Practical invertebrate anatomy*, London, Macmillan & Co Ltd, p. 398-411.
- Buchsbaum, (1948). Buchsbaum, R., (1948), *Animals without backbones*, The University of Chicago Press, p. 198-206.
- Bintrim, S. B., Donohue, T. J., Handelsman, J., Roberts, G. P. and Goodman, R. M. 1997. Molecular phylogeny of archaea from soil. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 94: 277-282.
- Brock, T.D., and M.T. Mandigan., (1991), *Biology of microorganism* (sixth ed), Prentice Hall International, Inc, p. 72-75
- Baumann, P., A.L. Furnis., and J.V. Lee., (1984), Facultatively an aerobic gram negative rods, in *Bergey's manual of systematic bacteriology*, N. R. Krieg (Ed), , Williams & Wilkns, Baltimore, USA, vol. 1, p. 518-538.Brock, 1991).
- Bax R., R. Bywater., G. Cornaglia., H. Goossens., P Hunter., and V Isham. 2001. Survaillance of antimicrobial resistance-what, how and whiter?. *Clin. Microbiol. Infect.* 7: 316-325.

- Barrow, G. J., and R.K.A, Feltham., (1991), "Cowan and Steel's" *Manual for the Identification of Medical Bacteria*. Cambridge Univrsity Press. p.331
- Concepcion, G.P., Caraan, G.B. and Lazaro, J.E., 1994. Biological Assays for Screening of Marine Samples. Workbook Strategies in The Quest for Natural Bioactive Compound from The Sea. Marine Science Institute, University of The Philippines. 52 pp.
- Colome, J. S., A. M, Kubinski, R. J, Cano, and D. V. Grady., (1986), *Laboratory exercise in Microbiolgy*, West Pub, Co., San Fransisco, p. 20-194.
- Carey, L.M, A. Rodrriguez, and E. Meighen., (1984), Generation of fatty acids by an acyl esterase in the bioluminescent system of *Photobacterium phosphoreum*, *J, Bio, Chem.* By Am, Soc, Bio chem, Inc, vol. 259, No. 16, p. 10216-10221.
- Dananjoyo.M.C. 2009. Skrining Bakteri Simbion Gastropoda *Stramonita sp* dari Perairan Ternate Sebagai Sumber Antibakteri MDR (*Multi Drug Resistant*). PS Ilmu Kelautan. Tidak Dipublikasikan. p. 66
- Deng J.G, Y. Hamada, and T. Shioiri, 1995. Total synthesis of alterobactin-A, a super siderophore from an open-ocean bacterium. *J Am Chem Soc* 117 (29):7824-7825
- Efendi.Risman. 2006. Penelusuran Aktivitas Antibakteri Ekstrak Senyawa Bioaktif Kerang *Anadara ferruginea* Terhadap Bakteri *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Staphylococcus aureus* PS Ilmu Kelautan. Tidak Dipublikasikan. p. 62
- Graf *et al.*, 1994. ffect of transposon-induced motility mutations on colonization of the host light organ by *Vibrio fischeri*. *J. Bacteriol.* November 1994 vol. 176 no. 22 6986-699
- Giese, 1977) Giese, A.C., (1977), Reproduction of marine invertebrates. *Mollusc:Gastropods and Cephalopod*, Academic Press New York, A Subsidiary of harcourt brace jovnovich. Publisher. vol. IV, p. 243-284.
- Hanindyo. F. 2009. Skrining Bakteri Simbion Gastropoda *Oliva vidua* dari Perairan Ternate Sebagai Sumber Antibakteri MDR (*Multi Drug Resistant*). PS Ilmu Kelautan. Tidak Dipublikasikan. p. 66
- Hurkat, 1976). Hurkat, P.C., (1976), *A Textbook of Animal Physiology*. P. N. Marthur, 1 st Editor, New delhi, p. 624.
- Herring, P.j., M.R. Clarke, S.V. Boletzky, and K.P. Ryan., (1981), The light organs of *Sepiolo atlanta* and *Spirula spirula* (Mollusca cephalopoda): Bacterial and intrinsic systems in the order sepiodea. *J. Marine Biology Association, UK*, vol. 61, p. 901-916.

- Hasting, J.W., and J.G. Morin., 1989. Bioluminescence, in *Neural and Integrative Animal Physiology*, C. Ladd. Prosser, Editor, Wiley-Liss, New York, p. 131-168
- Hunt, B., and A.C.J. Vincent. 2006. Scale and sustainability of marine bioprospecting for pharmaceuticals. *Ambio*. 35(2):57-64.
- Indriatmoko. 2011. Identifikasi Pigmen Phenazine pada Bakteri Symbion Gastropoda dalam Medium Pertumbuhan Bakteri Berbeda. PS Ilmu Kelautan. Tidak Dipublikasikan. p. 67
- Jawetz, E., Melnick, J.L. and Adelberg, E.A. 1984. Review of Medical Microbiology. Lange Medical Publication. California. 34 : 56-67
- Kelecom, 2002. bakteri Kelecom A, 2002. Secondary metabolites from marine microorganisms. *An. Acad. Bras. Cienc.* 74:151-170
- Lambeth, L. 2000. The Subsistence use of *Stichopus variegatus* (News hermanii) In the Pasific Island.SPC Beche – de – mer Information Bulletin, 15 : 18 – 21.
- Lay, B.W. 1994. Analisis Mikroba di Laboratorium. PT Rajagrafindo Persada. Jakarta. 168 hlm.
- Losick, R., and Kaiser, D., 1997, Why and how bacteria communication, *Scientific American*, vol. 276, p. 68-73.
- Long R, and F. Azam, 2001. Antagonistic interactions among marine pelagic bacteria. *Appl Environ Microb* 67:4975-4983
- Losick, R., and Kaiser, D., (1997), Why and how bacteria communication, *Scientific American*, vol. 276, p. 68-73.
- Nesis, K. N., (1982), Cephalopods of the world squids, *Squids, Cuttlefishes, Octopuses and Allies*, Moscow, p. 29-35.
- Olivera.,B.M .2000. Conotoxin MVIIA: From marine snail venom to analgesic drug. In: Fusetani N (ed) *Drugs from the sea*. Karger, pp 74–85
- Proksch et al, 2002; Proksch P, R.A. Edrada, R. Ebel, 2002. Drugs from the seas-current status and microbiological implications. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 59:125-134
- Pringgenies dkk, 1998. Pringgenies dkk, 2008. Bioprospeksi moluska dan bakteri simbiotiknya dalam rangka penanganan strain MDR (Multi Drug Resistant). Laporan akhir. PROGRAM INSENTIF RISET DASAR/RISTEK. 2007/2008. Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro. November 2008
- Pringgenies, 2009. Bioprospeksi Bakteri Symbion Dari Gastropoda *Conus miles* Terhadap Strain Bakteri IMDR (Multi Drug Resistant) . *Majalah Kelautan*. Maret. Vol. 14(1) : 42- 49
- Pringgenies, Fitriah Hasanah N dan Harmawan. A 2010. Potensi Bahan Senyawa Aktif pada Bakteri Symbion Gastropoda *Bacillus sphaericus* Sebagai Antibakteri MDR (*Multi Drug Resistan*). Simposium Nasional Kimia Bahan Alam XVIII oleh Himpunan Kimia Bahan Alam Indonesia dan ITB. Poster Presentasi. 9-10 N0v 2010.

- Pringgienies, R. Azizah dan E. Windarto. Potensi Bakteri Symbion/Gastropoda *Pseudoalteromonas* sp. dan *Vibrio* sp. Sebagai Bahan Antiseptik. *Majalah Ilmu Kelautan*. Volume. 16 / No. 4 / Desember / 2011
- Radjasa and Sabdono, 2003; Radjasa, OK. 2003. Marine invertebrate-associated bacteria in coral reef ecosystems as a new source of bioactive compounds. *J. Coast. Dev.* 7: 65-70.
- Radjasa *et al*, 2007a, Radjasa, O.K., T. Martens., H-P. Grossart., T. Brinkoff., A. Sabdono., and M. Simon. 2007a Antagonistic activity of a marine bacterium *Pseudoalteromonas luteoviolacea* TAB4.2 associated with coral *Acropora* sp. *J. Biol. Sci.* 7(2):239-246
- Radjasa, O.K., S.I.O. Salasia., A. Sabdono., J. Weise, J.F. Imhoff., C. Lämmler and M.J. Risk. 2007b Antibacterial activity of marine bacterium *Pseudomonas* sp. associated with soft coral *Sinularia polydactyla* against *Streptococcus equi* subsp. *zooepidemicus*. *Int. J. Pharmacol.* 3(2):170-174. sponge *Haliclona* sp. *Int. J. Pharmacol.* 3(3):275-279.
- Radjasa, O.K., A. Sabdono, Junaidi and E. Zocchi. 2007c Richness of secondary metabolite-producing marine bacteria associated with sponge *Haliclona* sp. *Int. J. Pharmacol.* 3(3):275-279.
- Radjasa, OK., D.S. Kencana., A. Sabdono., Radjasa, O.K., SIO. Salasia., A. Sabdono., J. Weise, J.F. Imhoff., C. Lämmler and M.J. Risk. 2007d. Antibacterial activity of marine bacterium *Pseudomonas* sp. associated with soft coral *Sinularia polydactyla* against *Streptococcus equi* subsp. *zooepidemicus*. *Int. J. Pharmacol.* 3(2):170-174
- Ruby, E. G dan L. M. Asato, 1993. Growth and flagellation of *Vibrio fisheri* during initiation of the Sepiolid squid light organ symbiosis. *Arch. Environ. Microbiol.* 159: 160 – 167.
- Ruby, E.D., (1996), Lessons from a cooperative, bacterial - animal association: The *Vibrio fischery- Euprymna scolopes* light organ symbiosis, *J. Annu. Rev. Microbiol.* vol. 50, p. 591-624.
- Russel, 1968). moluska Russel-Hunter, W.D., (1968), *A Biology of lower invertebrates*, The Macmillan Company New York, Collier-Macmillan Limited London, p. 153-164.
- Roper, C.F.E., M.J. Sweeney, and C.E. Nauen., (1984), *FAO species catalogue vol. 3. Cephalopods of the world. An annotated and illustrated catalogue of species of interest to fisheries, FAO Fish, Synop*, vol 125, No. 3, p. 1-277.
- Ruppert, E.E., and R.D. Barnes., (1991), *Invertebrate Zoology*, Saunders College Publishing, Toronto, p. 463-498
- Romimohtarto, K. and Sri Juwana. 2001. *Biologi Laut: Ilmu Pengetahuan tentang Biota Laut*. Djambatan: Jakarta

- Soediro IS dan K. Padmawinata. 1993. Pemanfaatan dan Prospek Obat Bahan Alam Hayati Bahari. Seminar Sehari. Pemanfaatan Obat bahan Alam. Kerjasama Farmasi FMIPA-ITB dengan Yayasan pengembangan Obat Bahan Alam Phyto Medica.
- Sudiro, I. 1998. Produk Alam Hayati Laut dan Prospek Pemanfaatannya di Bidang Kesehatan dan Kosmetika *dalam* Soemadihardjo *et al.*, (Ed.). Prosiding Seminar Bioteknologi Kelautan Indonesia I. LIPI. Jakarta
- Styrer, 1988). Biochemistry by Lubert Stryer (1988, Book, Illustrated. USA
- Dr. C. M. O. Simões, M. Amoros dan L. Girre. 1999. Mechanism of antiviral activity of triterpenoid saponins. *Phytotherapy Research*. Vol. 13, Issue4, p 323 -328.
- Salomon, C.E., N. Magarvey., and D.H. Sherman. 2004. Merging the potential of microbial genetics with biological and chemical diversity: an even brighter future for marine natural product drug discovery. *Nat. Prod. Rep.* 21: 105-121.
- Suharto. 1994. Flora Normal serta Hubungan Kuman dengan Hospes dan Lingkungan, dalam : Mikrobiologi Kedokteran. Edisi Revisi, UI press: Jakarta. 32 hlm.
- Sammarco P.W., and J.C. Coll, 1992. Chemical adaptation in the Octocorallia: Evolutionary considerations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 88:93-104
- MacDougall-Shackleton, S.A., G.F. Ball, E. Edmonds, R. Sul & T.P. Hahn. (2005). Age and sex related variation in song-control regions in Cassin's finches, *Carpodacus cassinii*. *Brain, Behavior and Evolution*, 65: 262-267.
- Sukarmi and **O.K. Radjasa**. 2007. Bioethical consideration in the search for bioactive compounds from reef's invertebrates. *J. Appl. Sci.* 7(8): 1235-1238.
- Sugiarto, 1995 Sugiarto, H. and supardi. 1995 .Beberapa Catatan Tentang Bulu Babi Marga *Diadema*. Balai penelitian Biologi Laut dan pengembangan Oseanografi LIPI Oseana, Volume XX, Nomor 4, pp. 35 – 41.
- Thurman, H.V., and H.H, Webber., (1984), *Marine Biology*, Bell and Howell, Co, Ohio, Colombos, p. 222-224.
- Thiel V., and JF Imhoff. 2003. Phylogenetic identification of bacteria with antimicrobial activities isolated from Mediterranean sponges. *Biomol. Eng.* 20: 421-423.
- Voogt, P. A. (1972). Synthesis of squalene and sterol from acetate by using sea urchin *Paracentretus lividus*. *Comp. Biochem. Physiol.* 43B, 457-463

- Wibowo, K.A. 2005. Studi Antagonistik Bakteri pada Komunitas Mikroflora yang Berasosiasi dengan Karang Lunak *Sinularia* sp. Praktek Kerja Lapangan Universitas Diponegoro, Semarang (tidak dipublikasikan), 48 hlm.
- Wattimena, J.R., Nelly, C., Sugiarmo, Widiyanto, M.A., Sukandar, E.Y., Soemardji, A.A. dan Setiadi, A.R. 1991. Farmakodinamika dan Terapi Antibiotik. Gajah Mada University Press. Yogyakarta. 168 hlm.
- Werbiewe., F. L., G.E. Holt., B.W. Scaron., (1970), *Physics*, A Basic Science, Fifth edition, Am, Book, Comp, p. 357.
- Yoram. Winanto. 2010. Pengaruh Potensi Gonad Bulu Babi (*Diadema setosum*) Terhadap Perilaku Seksual dan Kadar Testosteron Darah Tikus Putih (*Rattus norvegicus*) Strain Wistar Tidak Dipublikasikan. p. 61



Delianis Pringgenies, dilahirkan di Medan, Sumatra Utara pada tanggal 7 Oktober 1958. Setelah menamatkan pendidikan SD dan SMP di Pekanbaru Riau, penulis melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Atas No. 2 di Jakarta. Tahun 1985, penulis memperoleh gelar Sarjana di bidang Perikanan di Universitas Diponegoro Semarang dan langsung menjadi tenaga peneliti di Laboratorium

Pengembangan Wilayah Pantai (LPWP) Profesor Gatot Rahardjo Joenoes Universitas Diponegoro di Jepara. Pendidikan S2 dalam bidang Ilmu Kelautan diselesaikan pada tahun 1992 di Universitas Aarhus Denmark. Program PascaSarjana Doktor ditempuh dalam bidang *Science* di Institut Teknologi Bandung. Kini penulis lebih memfokuskan penelitiannya dalam bidang Bahan Hayati laut, yakni mengeksplorasi sumber daya hayati laut sebagai bahan dasar suplemen makanan dan obat. Beberapa hasil penelitian diaplikasikan dalam produk alami seperti Chitosan sebagai anti bau pakaian dan pengganti bahan pengawet makan, produk dari bahan teripang (Gametri), dari bahan gonad landak laut (Vitali), dari bahan rumput laut (Liatri), produk kosmetik dari bahan laut (kosmetik *Serinda*) dan minuman kunir asam chitosan untuk kesehatan. Penulis menjadi staf pengajar Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan ilmu Kelautan Universitas Diponegoro dari tahun 1987 sampai sekarang.



Ocky Karna Radjasa, dibesarkan dan dilahirkan di Purwokerto pada tanggal 29 Oktober 1965 hingga mencapai pendidikan BSc pada tahun 1989. Tahun 1994, ia meraih gelar MSc di universitas McMaster, Hamilton, Ontario, Canada dan gelar Ph.D. diraih pada tahun 2001 di University of Tokyo, Tokyo, Japan.

Saat ini ia menjadi staf pengajar pada jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang yang mengajar dalam mata kuliah Mikrobiologi. Karya-karya penelitiannya telah dipublikasikan di jurnal ilmiah dalam negeri maupun jurnal internasional. Pada tahun 2006 ia meraih *Award* Cipta Lestari KEHATI Award dari Indonesian Biodiversity Foundation (KEHATI), Indonesia. 2006 dan tahun 2007 *Award* Equipment Award dari German Ministry of Economic and International Cooperation. Germany. 2007



Agus Sabdono, lahir di Magelang pada tanggal 15 Juni 1958. Ia menempuh pendidikan di Fakultas Pertanian, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga mulai tahun 1977 dan lulus pada tahun 1983. Setelah itu melanjutkan pendidikan Strata-2 pada tahun 1986 dan lulus sebagai *Master of Science* (M.Sc) pada tahun 1989 dalam bidang Forest Genetics di University of Kentucky, Lexington, USA.

Gelar Strata-3 (Doktor) diraih dalam bidang Ilmu-ilmu MIPA, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta yang ditempuh pada tahun 1995-2001 serta gelar Guru besar diraih pada tahun 2010 di Universitas Diponegoro Semarang.

Saat ini ia menjadi staf pengajar pada jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang yang mengajar dalam mata kuliah Bioteknologi. Selain mengajar, ia juga aktif melakukan penelitian dan memperoleh dana dari berbagai sumber antara lain Riset Unggulan Terpadu, Hibah Bersaing dan Collaborative Research Grant. Karya-karya penelitiannya telah dipublikasikan di jurnal ilmiah dalam negeri (*The Indonesian Journal of Biotechnology*, *Coastal development* dan *Jurnal Ilmu Kelautan*) maupun jurnal internasional antara lain *Biotechnology*, *International J. of Oceanography and Marine Ecological System*, *Research J. of Environmental Science*.

Eksplorasi sumber hayati laut di Indonesia hingga kini masih tergantung pada tujuan untuk memperoleh bahan pangan. Bioprospek bahan hayati laut Indonesia memiliki potensi besar dan mempunyai prospek sangat baik sebagai sumber bahan penunjang pada pembuatan suplemen ataupun pembuatan obat, disamping itu sebagai dapat dijadikan sebagai sumber bahan biaktif karena letak geografis wilayahnya sehingga masih banyak sekali informasi yang harus digali dari bahan hayati laut Indonesia untuk digunakan sebagai bahan obat yang merupakan nilai tambah dari hasil pengolahan sumber alam.

Wilayah Indonesia di bagian timur merupakan daerah yang sangat potensi sebagai sumber bahan farmasi laut, hal ini diduga karena wilayah tersebut merupakan wilayah garis *walace* antar dua benua.

Senyawa aktif dari laut untuk obat yang handal berkualitas tinggi dan dikenal luas masih dicari, terutama yang bermanfaat dijadikan obat untuk anti HIV/anti AID dan anti berbagai jenis kanker karena bahan alam laut tidak berdampak sampingan namun justru dapat bekerjasama dengan jaringan tubuh untuk meningkatkan kesehatan, sementara yang telah ditemukan masih terus dikaji efektifitas.

Berdasarkan hal tersebut diatas, berbagai masalah yang meliputi sarana, budget dan pengolahan pada eksplorasi dan eksploitasi bahan alam laut perlu diatasi. Perlu ditingkatkan usaha budidaya laut bila dibutuhkan untuk menunjang bahan pengadaan bahan alam. Dalam hal ini diperlukan pendekatan antardisiplin ilmu yang terkait untuk mencapai produksi bahanalam laut indonesia yang dikenal luas di negara Indonesia ataupun dunia internasional sehingga mendapatkan solusi terbaik dalam pengembangan bioprospek bahan hayati laut Indonesia.