

# PENGELOLAAN PESISIR DAN LAUT BERBASIS EKOSISTEM

Oleh:

Sri Puryono  
Sutrisno Anggoro  
Suryanti  
Irwan S. Anwar



BADAN PENERBIT  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG

# Pengelolaan Pesisir dan Laut Berbasis Ekosistem

## TIM PENULIS

Sri Puryono, Sutrisno Anggoro,  
Suryanti, Irwan S. Anwar

## DESAIN SAMPUL

Christian Wahyu S

## TATA LETAK

Christian Wahyu S

Pertama kali diterbitkan dalam bahasa Indonesia  
pada 2019 oleh Badan Penerbit Universitas Diponegoro  
Semarang

ISBN: 978-979-097-595-8

Hak cipta dilindungi undang-undang  
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian  
atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis oleh Penerbit.

xiv + 270 hlm : 15 x 23,5 cm

# KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa atas selesainya buku berjudul *Pengelolaan Pesisir dan Laut Berbasis Ekosistem* ini, yang kami susun secara bersama-sama.

Buku ini merupakan ungkapan penuangan kerinduan, sekaligus wujud rasa tanggung jawab kami melihat realitas masih terbatasnya referensi dan bacaan tentang pesisir dan laut, sementara dinamika dan perkembangan program pembangunan kelautan terlihat begitu masif dan signifikan.

Tak dapat dipungkiri, negeri kita tercinta Indonesia, dengan keanekaragaman hayati laut yang terbentang di perairan seluas 3.257.483 km<sup>2</sup>, memiliki potensi kekayaan laut yang luar biasa. Bukankah potensi itu merupakan sumber daya yang pasti mampu mendukung pewujudan masyarakat yang lebih sejahtera, mengingat potensi yang terkandung di dalamnya bukan hanya ikan, namun juga energi dan mineral?

Laut juga menjadi ruang untuk kebutuhan transportasi yang sangat penting dan strategis, sehingga tak berlebihan jika dikatakan bahwa kekayaan laut menjadi berkah bagi Indonesia sebagai bangsa bahari.

Adanya 17.508 pulau dan panjang garis pantai kurang lebih 81.000 km juga harus dilihat sebagai potensi besar kawasan pesisir, yang tentu menjadi andalan sumber pendapatan masyarakat Indonesia.

Kawasan pesisir sama pentingnya dengan laut, sehingga kita tidak bisa memisah-misahkannya begitu saja dalam melakukan kajian. Secara umum, wilayah pesisir dapat didefinisikan sebagai wilayah pertemuan antara ekosistem darat, ekosistem laut, dan ekosistem udara yang saling bertemu dalam suatu keseimbangan yang rentan (Beatly *et al*, 2002).

Meningkatnya jumlah penduduk di kawasan pesisir, dan kegiatan pembangunan untuk berbagai peruntukan, menyebabkan kemunculan tekanan ekologis terhadap ekosistem dan sumberdaya pesisir dan laut kita. Keadaan tersebut tentunya dapat mengancam keberadaan dan kelangsungan ekosistem dan sumberdaya pesisir, laut, dan pulau-pulau kecil yang ada.

Dengan antara lain latar belakang pemikiran itulah, kami merasa terpanggil untuk secara bersama-sama melakukan kajian yang komprehensif atas laut dan pesisir dengan basis pemahaman ekosistem.

Pada kesempatan ini, tim penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah membantu penerbitan buku ini, khususnya kepada pengelola Undip Press. Semoga budi baik dan ketulusan hati Bapak, Ibu, dan semua pihak mendapat rida dan balasan pahala yang berlipat ganda dari Tuhan Yang Maha Esa.

Akhirul kalam, kami sangat mengharapkan saran, kritik, dan masukan untuk penyempurnaan buku ini. Semoga buku ini bermanfaat bagi siapa pun yang memerlukannya. Amin ya Rabbal Alamin.

Semarang, Februari 2019

Tim Penulis

**Sri Puryono, Sutrisno Anggoro,  
Suryanti, Irwan S. Anwar**

# DAFTAR ISI

Kata Pengantar .....	iii
Daftar Isi .....	v
Daftar Tabel .....	viii
Daftar Gambar .....	ix
Indeks .....	xii

## 1. PENDAHULUAN

Pembagian Mintakat (Zona) Pesisir dan Laut .....	4
Profil Mintakat Ekosistem Wilayah Pesisir dan Laut .....	7
Mintakat Bagian Atas: Lingkungan Pelagik .....	8
Mintakat Laut Bagian Bawah : Ekosistem Benthik .....	12
Komunitas Biota Renik Penghuni Ekosistem Laut .....	15
Nekton dan Neuston .....	19
Ekosistem Vital di Pesisir dan Laut .....	23
Karakter Habitat Vital Pesisir dan Laut .....	24

## 2. ADAPTASI BIOTA PESISIR DAN LAUT

Adaptasi terhadap Cahaya .....	54
Adaptasi Tubulik .....	56
Adaptasi Olfatorik terhadap Cahaya .....	59
Adaptasi Panoramik (Warna Tubuh) .....	60
Adaptasi Hidrostatik .....	62
Adaptasi Enzimatik .....	65
Adaptasi Thermik .....	66
Adaptasi Respiratorik .....	67
Adaptasi Trofo-phagik .....	69
Adaptasi Morfologis .....	74
Adaptasi Osmotik .....	75
Adaptasi Osmotik pada Ikan .....	82

### **3. FENOMENA BIOLUMISENSI SEBAGAI INDIKATOR STATUS KESEHATAN EKOSISTEM PESISIR DAN LAUT**

Definisi .....	95
Mekanisme Bioluminesens .....	96
Organ Bioluminesens .....	98
Organ Luminesens pada Vertebrata (Ikan).....	108
Peran Bioluminesens bagi Kehidupan Biota Laut.....	111
Implikasi Bioluminesens dalam Pengelolaan Pesisir dan Laut...	117

### **4. PENGEMBANGAN BUDIDAYA PERAIRAN BERBASIS EKOSISTEM DI WILAYAH PESISIR DAN LAUT**

Budidaya Perairan Berkelanjutan .....	121
Dimensi Keberlanjutan dalam Eko-akuakultur .....	133
Arah Kebijakan Pembangunan Perikanan Budidaya.....	137
Pengembangan Perikanan Budidaya Berbasis Ekonomi Biru ( <i>Blue Economy</i> ) .....	138
Daya Dukung dan Daya Tampung Lingkungan Perairan.....	140
Faktor -faktor yang Mempengaruhi Kelayakan Budidaya Perairan Eko-akuakultur Wanamina ( <i>Silvofisheries aquaculture</i> ) sebagai Model Budidaya Berkelanjutan.....	145
Penanganan Limbah Pertambakan Sistem Wanamina .....	147
Manfaat dan Keuntungan Tambak Wanamina .....	153
	154

### **5. PENGELOLAAN WILAYAH PESISIR DAN LAUT BERORIENTASI TATA RUANG DAN KEBERLANJUTAN PEMBANGUNAN**

Isu-isu Pokok dan Permasalahan Pemanfaatan dan Penataan Ruang Wilayah Pesisir dan Laut Provinsi Jawa Tengah .....	170
Arah Kebijakan Pembangunan dan Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Laut .....	178
Rangkuman Analisis.....	192

## 6. STRATEGI PENGELOLAAN WILAYAH PESISIR BERBASIS POTENSI DAN KERAWANAN EKOSISTEM

Potensi dan Kerawanan Ekosistem sebagai	
Basis Pengelolaan Pesisir dan Laut .....	197
Kerawanan Ekosistem Pesisir Akibat Rob.....	202
Mengapa Rob terjadi? .....	203
Analisis Solusi penanganan Rob .....	206
Strategi Pengamanan Sistem Pendukung Ketahanan	
Ekosistem Pantai .....	208
Kebijakan Penguatan Ekosistem dan Pengamanan Pesisir .....	213
Reklamasi sebagai Alternatif Penguat Ekosistem Pantai .....	217
Strategi Mitigasi Bencana di Wilayah Pesisir .....	221
Daftar Pustaka .....	223
Lampiran .....	249
Tentang Penulis .....	265

# DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Bentuk-bentuk Akar Udara pada Vegetasi Mangrove sesuai Responnya terhadap Oksigen Terlarut. ....	47
----------	--	----

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 .	Gumpalan Asap Hitam yang Mengandung Senyawa Logam Sulfida yang dilepaskan dari Dasar Laut di Sekitar Punggungan Tengah Samudera Hindia, Petunjuk Adanya Aktivitas Hidrotermal Laut Dalam .....	4
Gambar 2.	Zonasi Ekosistem Laut .....	6
Gambar 3.	Diagram Zonasi Lingkungan Pesisir dan Laut .	8
Gambar 4.	Beberapa Jenis Fitoplankton .....	16
Gambar 5.	Beberapa Jenis Zooplankton disusun berdasarkan Ukuran dan Kemampuan Pergerakan .....	17
Gambar 6.	Beberapa Jenis Bentos di dasar laut .....	19
Gambar 7.	Rantai Makanan pada Perairan Samudera ...	21
Gambar 8.	Rantai Makanan Grazing dan Detritus serta Peranannya dalam Ekosistem Laut .....	22
Gambar 9.	Kombinasi Faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Pertumbuhan Karang dan Zooxanthellae Serta Perkembangan Terumbu .....	27
Gambar 10.	Mekanisme Pembentukan Koloni Karang melalui Proses Coral <i>Building</i> .....	28
Gambar 11.	Tipe-tipe terumbu karang, yaitu terumbu karang tepi (kiri), terumbu karang penghalang (tengah), dan terumbu karang cincin (kanan) .....	30
Gambar 12.	Keterkaitan Simbiosis Mutualistik antara Hewan Karang dengan Zooxanthellae dalam Pembentukan Struktur Terumbu Karang .....	31
Gambar 13.	Lamun Jenis <i>Halophila</i> sp. Beradaptasi Penuh pada Dasar Laut Bersalinitas Tinggi (31-35 promil) .....	35

Gambar 14.	Morfologi Lamun .....	36
Gambar 15.	Pola Interaksi Sinergistik antara Ekosistem Padang Lamun dengan Ekosistem Terumbu Karang dan Ekosistem Mangrove dan Estuaria .....	37
Gambar 16.	Sistem Perakaran Ekosistem Mangrove .....	41
Gambar 17.	Pemintakatan Ekosistem Mangrove .....	42
Gambar 18.	Biota Perairan yang Hidup di Ekosistem Mangrove .....	43
Gambar 19.	Jaring Makanan di Ekosistem Mangrove .....	44
Gambar 20.	Bentuk Adaptasi Akar Mangrove .....	48
Gambar 21.	Bentuk Adaptasi Daun (Kiri) .....	49
Gambar 22.	Ilustrasi Dasar Bagaimana Cahaya dengan Warna-Warna yang Berbeda Menembus Air Laut. ....	54
Gambar 23.	Pembagian Zona Berdasarkan Cahaya .....	56
Gambar 24.	Cumi - Cumi Laut Dalam .....	58
Gambar 25 .	Adaptasi Osmotik Udang sesuai Daur Hidup di Pesisir dan Laut .....	79
Gambar 26.	Proses Molting pada Udang .....	81
Gambar 27.	Daur Hidup dan Adaptasi Osmotik Ikan Sidat .	83
Gambar 28.	Mekanisme Transport Aktif pada Nefron Ikan Eurihalin .....	85
Gambar 29.	Mekanisme Kerja Hormon dalam proses Osmoregulasi Ikan .....	86
Gambar 30.	Regulasi Osmotik pada Potadrom dan Oseanodrom .....	88
Gambar 31.	Modifikasi Osmoregulasi <i>Anguilla</i> dari Habitat Air tawar ke Habitat Air Asin ( Laut) .....	91
Gambar 32.	Perubahan Persentase Chloride Cell dalam Insang Sidat. ....	92
Gambar 33.	Pemetaan Strontium pada Otolith Sidat Jepang ( <i>Anguilla japonicus</i> ) .....	93
Gambar 34.	Bioluminescence organisme laut dari Family Myctophidae dan Dinoflagellata	96
Gambar 35.	Mekanisme Organ Bioluminesens .....	97
Gambar 36.	Ostracoda <i>Acrocalanus gracilis</i> .....	99
Gambar 37.	Copepoda .....	100

Gambar 38.	Copepoda - Subgroup Harpacticoida: <i>Canthocampus</i> .....	101
Gambar 39.	Beberapa Tipe Organ Photogeni (Photophor Organ) pada Biota Laut .....	102
Gambar 40.	<i>Noctiluca Scintillans</i> (Macartney) Kofoid et Swezy 1921.....	104
Gambar 42.	Cacing laut hadal ( <i>Macellicephalo</i> sp) .....	105
Gambar 43.	<i>Loligo vulgaris</i> : Organ Bioluminesens Berada di Bagian Tentakel.....	106
Gambar 44.	Bioluminesens pada Cephalopoda A - Gurita ( <i>Octopus</i> sp) .....	107
Gambar 45.	Organ Luminisens pada Ikan <i>Himantolophus</i> <i>paucifilosus</i> (Football Fish) pada Kedalaman 1000 - 4000 Meter.....	109
Gambar 46.	Organ Luminesens (Photophor Organ) pada Ikan-ikan Perairan Dalam (Penampang Melintang) .....	110
Gambar 47	<i>Cypridina mediterranea</i> .....	114
Gambar 48.	Pendar Cahaya pada Ikan <i>Chauloides luminesens</i> .....	116
Gambar 49.	Bioluminesens dari <i>Salmoura</i> .....	117
Gambar 50 .	Beberapa jenis Ikan yang Peka dan Merespon Pollutan dengan Bioluminesens.....	119
Gambar 51.	Wanamina Pola Empang Parit .....	149
Gambar 52.	Wanamina Pola Empang Parit Disempurnakan	150
Gambar 53.	Wanamina Pola Komplangan .....	151
Gambar 54.	Prototipe Unit Petak Fitoremediasi limbah (lindi pertambakan) di perairan pesisir.....	154
Gambar 55.	Tiga Pilar pendukung keberlanjutan .....	165
Gambar 56.	Kedudukan Bumi-Bulan-Matahari Saat Pasang Purnama (a) dan Pada Saat Pasang Perbani (b) .....	204

# INDEKS

## A

- abiotik 1, 36, 44, 176
- abrasi 33, 38, 50, 51, 155, 160, 175, 176, 183, 188, 196, 197, 199, 201, 205, 208, 209, 217, 219
- adaptasi 2, 46, 48, 49, 50, 53, 55, 57, 59, 60, 61, 63, 65, 66, 67, 68, 69, 72, 75, 85, 86, 87, 91, 155, 209, 221

## B

- biotik 1, 2, 36, 41, 44, 146, 178, 190, 233

## E

- ekologi 2, 36, 50, 66, 74, 122, 125, 133, 134, 135, 136, 141, 142, 144, 147, 152, 165, 183, 215, 216, 217, 220
- Ekosistem 1, 4, 6, 7, 12, 14, 15, 22, 23, 24, 25, 26, 34, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 50, 171, 185, 197, 202, 203, 208, 213, 216, 224, 228, 229, 230, 232, 233, 236, 237, 238, 253
- entitas 37
- erosi 33, 155, 158, 188, 196, 197, 199, 205, 208, 209, 219
- euryphagic 39, 69

## F

- fotosintesis 3, 5, 9, 10, 11, 29, 56, 68, 69, 146
- fragmentasi 31

## H

- habitat 1, 2, 4, 10, 11, 12, 20, 23, 24, 25, 26, 32, 33, 40, 41, 52, 61, 62, 66, 70, 71, 72, 93, 108, 112, 115, 172, 174, 175, 176, 177, 185, 187, 188, 190, 198, 210, 211, 212, 213, 217, 218, 219, 225

## L

- lahan 33, 50, 122, 123, 125, 127, 138, 141, 148, 150, 154, 158, 160, 167, 177, 181, 188, 190, 196, 198, 201, 208, 212, 213, 215, 217, 218, 219, 220, 221
- Intertidal 13

## **M**

Mangrove 23, 34, 36, 37, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 52, 122, 125, 143, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 154, 155, 157, 158, 160, 175, 177, 183, 190, 196, 197, 201, 205, 209, 211, 212, 218, 237

Mintakat 4, 5, 6, 8, 9, 10, 13, 14, 20, 40, 45

Muara 38, 44, 83, 90, 178, 205, 207, 208, 221

## **N**

Neritik 2, 5, 6, 12, 57

## **O**

Oligophagic 69

Organisme 1, 2, 3, 4, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 26, 28, 29, 53, 55, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 82, 85, 95, 96, 99, 106, 112, 116, 117, 144, 146, 190, 210

Oseanik 2, 5, 6, 10, 20, 57

## **P**

Pantai 2, 5, 7, 8, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 24, 25, 26, 28, 30, 32, 33, 36, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 50, 51, 52, 125, 141, 145, 147, 151, 155, 157, 158, 160, 161, 170, 171, 174, 175, 176, 177, 182, 183, 190, 191, 196, 197, 198, 199, 201, 202, 205, 207, 208, 209, 212, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 224, 225, 233, 236, 239

Payau 20, 42, 43, 44, 45, 46, 78, 90, 147, 151, 202, 209

Peruaya 20

Pesisir 5, 7, 8, 9, 12, 14, 23, 24, 25, 26, 35, 36, 38, 42, 43, 44, 45, 52, 53, 93, 118, 124, 126, 133, 140, 141, 142, 143, 145, 154, 155, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 224, 225, 227, 230, 232, 233, 236, 237, 238, 239

## **R**

Reklamasi 145, 160, 176, 198, 205, 208, 211, 217, 218, 219, 220, 221, 224, 233

Renik 15, 69

## **S**

- Sedimentasi 29, 32, 33, 34, 39, 178, 188, 196, 199, 219
- Siklus 1, 18, 20, 21, 22, 49, 82, 83, 124, 126, 140, 152, 181
- Soliter 37
- Spesies 15, 17, 18, 27, 28, 29, 36, 40, 43, 56, 59, 65, 68, 75, 78, 85, 89, 113, 128, 132
- Sublitoral 5, 13, 26

## **T**

- Temperatur 41
- Termoklin 10, 66
- Terumbu karang 12, 18, 21, 23, 26, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 36, 37, 52, 74, 122, 125, 143, 157, 158, 160, 171, 172, 174, 175, 177, 178, 188, 189, 197, 201, 211, 212, 218, 239

## **V**

- Vegetasi 36, 45, 46, 47

## **Z**

- Zona 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 26, 40, 41, 46, 56, 61, 68, 69, 70, 71, 75, 106, 174, 182, 183, 187, 197
- Zona Benthik 8
- Zona neritik 2, 6, 12
- Zona Neritik 2, 9
- Zona oseanik 2, 6, 10
- Zona Oseanik 2, 9
- Zona Pelagik 7

# 1

## PENDAHULUAN

Ekosistem adalah suatu unit fungsional dari berbagai ukuran yang tersusun dari bagian komponen dan sistem secara keseluruhan berfungsi berdasarkan suatu urutan kegiatan yang menyangkut materi dan energi serta pemindahan energi. Fungsi tersebut disusun oleh suatu keterkaitan antara komponen penyusun ekosistem, yaitu komponen biotik (organisme) dan komponen abiotik (fisika-kimia) yang bersama-sama membentuk suatu sistem dalam menjaga keseimbangan antara satu sama lain. Oleh karena itu, kedua komponen tersebut tidak dapat dipisahkan dan akan saling pengaruh mempengaruhi. Apabila terjadi perubahan komponen abiotik maka akan mempengaruhi karakter habitat dan kehidupan organisme akuatik Begitu juga sebaliknya, apabila jumlah organisme yang hidup dalam suatu ekosistem berkurang secara besar-besaran maka akan mempengaruhi siklus hidup organisme yang lain dan menyebabkan perubahan karakter habitat perairan.

Ekosistem lautan merupakan sistem akuatik yang terbesar di planet bumi, yaitu lebih dari 2/3 permukaan bumi, atau sekitar

70% dari luas permukaan bumi. Ukuran dan kerumitannya sulit untuk dapat dibahas secara utuh sebagai suatu kesatuan sehingga diperlukan zonasi. Zonasi ditentukan berdasarkan prinsip-prinsip ekologi yang selanjutnya menentukan kemampuan adaptasi organisme dari suatu komunitas yang hidup di dalamnya. Lautan secara sistematis terbagi menjadi dua bagian, yaitu zona neritik dan zona oseanik. Kedua zona mempunyai karakteristik yang berbeda-beda, termasuk jenis organisme yang dapat hidup pada setiap zona. Zona Neritik atau zona yang paling dekat dengan pantai mempunyai karakteristik yang dangkal dan berada di sepanjang pantai. Zona neritik mempunyai kedalaman 200 m, Sedangkan Zona Oseanik merupakan zona lautan terbuka yang dibagi menjadi zona basal, abisal, dan hadal. Zona basal mempunyai kedalaman 200-4000 m.

Banyak hal yang perlu dikaji pada ekosistem laut, terutama pada komponen biotik yang merupakan satu unit kehidupan yang alami, serta zonasi ekosistem laut yang menunjang kehidupan organisme laut. Dalam makalah ini akan dijelaskan mengenai ekosistem laut dangkal dan laut dalam beserta zonasinya dan komponen ekosistemnya. Lautan merupakan habitat terbesar di bumi. Dibalik selubung kebiruannya, masih tersimpan banyak rahasia yang belum terungkap. Hingga kini sebagian besar kehidupan di laut dalam belum benar-benar diketahui. Secara umum, wilayah perairan laut yang luas ini dikelompokkan dalam lima bagian. Samudra Pasifik, Samudra Atlantik, Samudra India, Laut Selatan, dan Laut Arktika. Karena itu tipologi kehidupan laut berdasarkan pembagian areanya dikelompokkan dalam lima bagian ini

Laut dalam (deep sea) adalah bagian dari laut yang sangat gelap. Hingga saat ini, laut dalam masih merupakan misteri bagi manusia. Penelitian di laut dalam sendiri hingga saat ini masih sangat terbatas. Kondisi lingkungan laut dalam sangat ekstrem, mulai dari tekanan tinggi (dapat mencapai 1.000 kali tekanan atmosfer), suhu yang sedikit di atas titik beku air, dasar laut yang berlumpur, sampai kegelapannya yang sepanjang masa.

Segala bentuk kehidupan yang ada di permukaan bumi sangat tergantung kepada aktivitas Matahari. Manusia dan hewan memanfaatkan energi matahari yang disimpan oleh tumbuhan,

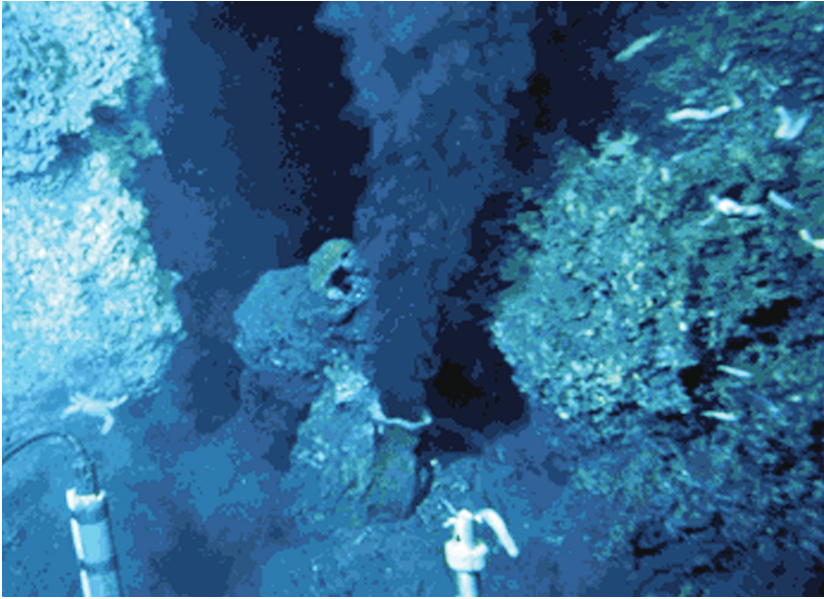
alias memanfaatkan energi secara tak langsung. Sementara tumbuhan langsung menyerap energi matahari untuk melancarkan proses fotosintesis yang menjadi bagian vital dalam kehidupannya. Tetapi jauh di tengah samudera dengan kedalaman ribuan meter dan sinar matahari tak sanggup menembus ke dasar samudera, terdapat sebuah ekosistem kehidupan yang sama sekali tidak membutuhkan sinar matahari.

Terkait dengan fenomena tersebut, acuannya ada di ayat kauliyah, sebagaimana difirmankan Allah dalam Al-Qur'an surat An-Nur ayat 40, yang artinya:

أَوْ كَظُلُمَاتٍ فِي بَحْرٍ لُّجِّيٍّ يَغْشَاهُ مَوْجٌ مِّنْ فَوْقِهِ  
 مَوْجٌ مِّنْ فَوْقِهِ سَحَابٌ ظُلُمَاتٌ بَعْضُهَا فَوْقَ بَعْضٍ إِذَا أَخْرَجَ يَدَهُ  
 لَمْ يَكَدْ يَرِنَهَا وَمَنْ لَّمْ يَجْعَلِ اللَّهُ لَهُ نُورًا فَمَا لَهُ مِنْ نُورٍ ﴿٤٠﴾

*Atau seperti gelap gulita di lautan dalam, yang diliputi oleh ombak, yang di atasnya ombak (pula), di atasnya (lagi) awan; gelap gulita yang tindih bertindih, apabila dia mengeluarkan tangannya, tiadalah dia dapat melihatnya, (dan) barang siapa yang tiada diberi cahaya (petunjuk) oleh Allah tiadalah dia mempunyai cahaya sedikitpun“.*

Luas perairan dangkal yang berbatasan dengan benua dan pulau hanya 10 persen dari luas semua samudera, sedangkan bagian atas samudra yang dapat diterangi sinar matahari merupakan bagian yang lebih kecil lagi dari seluruh volume samudra yang dapat dihuni berbagai organisme. Jadi dari 70 % permukaan bumi yang tertutup air, mungkin 85 % dari luasnya dan 90 % dari volumenya merupakan suatu wilayah yang gelap dan dingin yang dinamakan dengan laut dalam.



Gambar 1 . Gumpalan Asap Hitam yang Mengandung Senyawa Logam Sulfida yang dilepaskan dari Dasar Laut di Sekitar Punggungan Tengah Samudera Hindia, Petunjuk Adanya Aktivitas Hidrotermal Laut Dalam (sumber: *Woods Hole Oceanographic Institution, 1998*)

Walaupun habitat yang dinamakan laut dalam ini merupakan habitat terbesar di bumi, tetapi segi biologisnya paling sedikit diketahui dan diteliti. Hal ini terutama disebabkan oleh kesulitan yang dihadapi untuk menangkap dan mengumpulkan organisme dari habitat ini. Lagi pula pada masa lalu manusia boleh dikatakan tidak mungkin memasuki habitat ini. Namun, dewasa ini, tersedianya kapal yang selam mampu menyelam cukup dalam, memungkinkan setidaknya sebagian dari habitat ini dapat diamati oleh para ilmuwan.

### **Pembagian Mintakat (Zona) Pesisir dan Laut**

Ekosistem laut dangkal dan dalam dibagi menjadi beberapa mintakat (zona) terutama di dasarkan atas tingkat daya tembus

cahaya matahari. Secara sistematis perairan laut dibagi menjadi dua zona utama yaitu mintakat neritik dan mintakat oseanik.

### **Mintakat neritik**

Mintakat neritik atau zona laut dangkal (perairan pesisir), biasanya terletak di sepanjang pantai dan dangkal. Lebar mintakat neritik kira-kira 16-240 km. Mintakat neritik yang berbatasan dengan daratan pantai dikenal sebagai ekosistem litoral, yaitu merupakan zona di antara batas pasang tinggi dan surut rendah. Dasar perairan di bagian bawah mintakat neritik dikenal sebagai mintakat sublitoral, berada pada kedalaman antara nol sampai 200 meter, dihitung dari batas surut terendah.

### **Mintakat Oseanik**

Merupakan bagian laut terbuka. Mintakat oseanik dibagi menjadi zona batial, abisal, dan hadal. Zona batial terletak pada kedalaman 200-4000 meter. Abisal dan hadal merupakan bagian yang lebih dalam sampai dasar lautan. Berdasarkan penembusan cahaya terdapat dua zona yang berbeda, yaitu :

**Pertama, zona fotik atau zona eufotik.** Zona ini mulai dari permukaan laut sampai kedalaman kira-kira 150 meter. Pada zona ini cahaya matahari masih bisa menembus sehingga menunjukkan adanya aktivitas fotosintesis. **Kedua, zona afotik.** Merupakan bagian yang tidak mendapatkan cahaya matahari, meliputi zona batial, abisal dan hadal.

Menurut stratifikasi zona atau jalur kedalamannya, laut dapat dibedakan menjadi beberapa zona sebagai berikut ini.

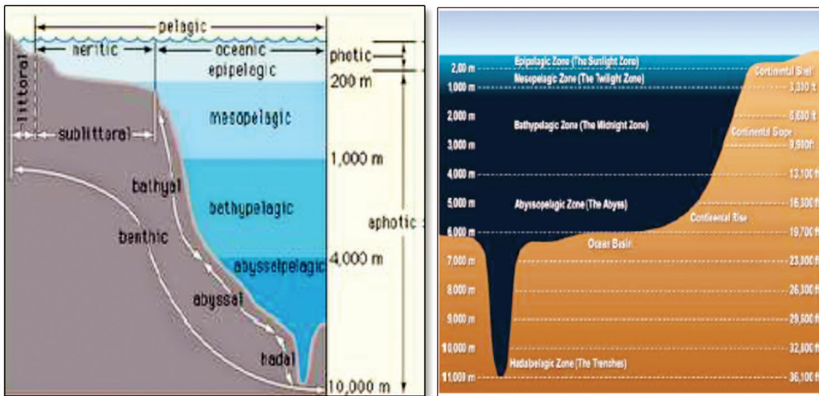
**Pertama,** Zona litoral atau jalur pasang, yaitu bagian cekungan lautan yang terletak di antara pasang naik dan pasang surut atau daerah yang berbatasan dengan darat.

**Kedua,** Zona epineritik, yaitu bagian cekungan lautan di antara garis-garis surut dan tempat paling dalam yang masih dapat dicapai oleh daya sinar matahari

**Ketiga**, Zona Neritik, yaitu bagian cekungan lautan /daerah yang masih dapat ditembus cahaya matahari sampai bagian dasar dalamnya  $\pm$  300 meter sehingga wilayah ini paling banyak terdapat berbagai jenis kehidupan baik hewan maupun tumbuhan-tumbuhan, contoh Laut Jawa Laut Natuna, Selat Malaka dan laut-laut disekitar kepulauan Riau.

**Keempat**, Zona Batial (wilayah laut dalam), yaitu bagian cekungan lautan yang dalamnya antara 200-2.000. Wilayah ini tidak dapat ditembus sinar matahari, oleh karena itu kehidupan organismenya tidak sebanyak yang terdapat di zona neritik.

**Kelima**, Zona Abisal (wilayah laut sangat dalam), yaitu bagian cekungan lautan yang dalamnya lebih dalam dari 2.000m. Di wilayah ini suhu sangat dingin, tidak ada tumbuhan, dan jenis hewan yang berada pada lingkungan ini sangat terbatas.



Gambar 2. Zonasi Ekosistem Laut (Sumber: Nybakken, 1992)

Menurut stratifikasi wilayah permukaan secara horizontal (zona oseanik), berturut-turut dari tepi laut semakin ke tengah, minatkat laut dibedakan sebagaimana uraian berikut ini (Gambar 2). Pertama, Epipelagik merupakan daerah antara permukaan dengan kedalaman air sekitar 200 m. Kedua, Mesopelagik merupakan daerah dibawah epipelagik dengan kedalaman 200 1000 m. Ketiga, Batipelagik merupakan daerah lereng benua dengan kedalaman 200-

2.500 m. Keempat, Abiso pelagik merupakan daerah dengan kedalaman mencapai 4.000m; tidak terdapat tumbuhan tetapi hewan masih ada. Sinar matahari tidak mampu menembus daerah ini.

Kelima, Hado pelagik merupakan bagian laut terdalam (dasar). Kedalaman lebih dari 6.000 m. Di bagian ini biasanya dihuni biota laut dalam yang dapat mengeluarkan pendar cahaya. Sebagai produsen di tempat ini adalah bakteri yang bersimbiosis dengan karang tertentu.

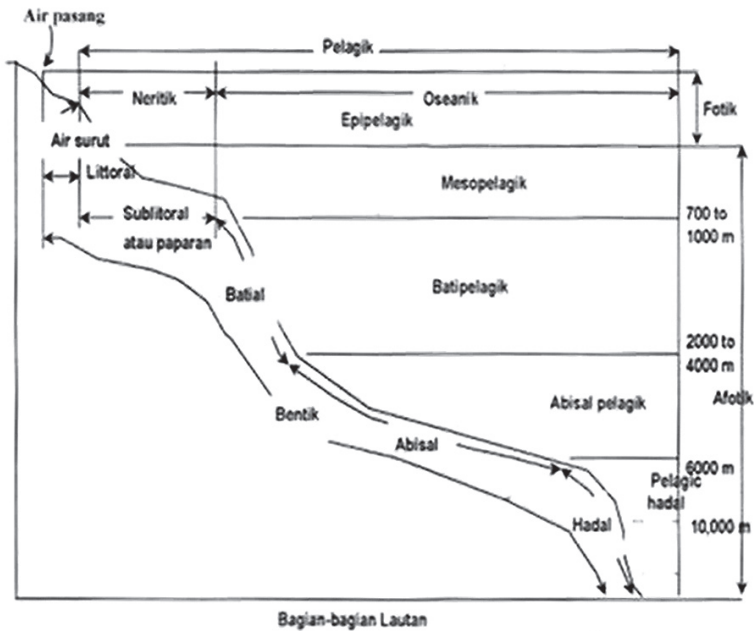
### Profil Mintakat Ekosistem Wilayah Pesisir dan Laut

**Wilayah Pesisir** adalah ruang wilayah ekoton (peralihan) antara daratan dan perairan laut. Dengan batas-batas ekologis, ke arah laut - merupakan wilayah perairan paparan benua (*continental shelf*), sampai batas terjauh pengaruh proses-proses alami di daratan ke laut (sedimen, aliran air tawar/lidah banjir) dihitung dari garis pantai pada saat surut terendah, serta daerah-daerah laut yang dipengaruhi oleh kegiatan-kegiatan manusia di daratan. Sedangkan ke arah darat, wilayah pesisir mencakup wilayah daratan yang masih terkena pengaruh hidroklimat laut (pasang-surut, intrusi air asin, angin laut).

Secara umum ada kesepakatan internasional, bahwa wilayah pesisir adalah suatu wilayah peralihan (ekoton=interface area) antara ekosistem darat dengan ekosistem laut. Apabila ditinjau dari garis pantai (*coastline*), maka suatu wilayah pesisir memiliki dua (2) kategori batas (*boundaries*), yaitu: batas yang sejajar garis pantai (*longshore*) dan batas yang tegak lurus terhadap garis pantai (*crossshore*).

Diketahui bahwa lingkungan pesisir dan laut terdiri dari: (a) bagian bawah berupa dasar perairan pesisir & laut, dan (b) bagian atas berupa kolom air di atas dasar perairan. Oleh karena itu, lingkungan ini dapat dibagi menjadi 2 bagian utama, yaitu: Pertama, Bagian Atas dikenal dengan **Zona Pelagik**: meliputi seluruh kolom air dimana biota akuatik (baik jasad nabati maupun hewani) berenang atau mengapung serta beruaya (bergerak secara vertikal dan atau horizontal). Kedua, Bagian Bawah dikenal

dengan **Zona Benthik**: meliputi seluruh lingkungan dasar perairan pesisir & laut dimana biota akuatik hidup melata, membenamkan diri di lumpur/substrat dasar, meliang, dan atau bergerak secara terbatas di atas dasar perairan. Zonasi (pemintakatan) lingkungan pesisir dan laut dapat ditinjau baik secara mendatar (horizontal) maupun secara vertikal (menegak) (Gambar 3).



Gambar 3. Diagram Zonasi Lingkungan Pesisir dan Laut (Davis, 1986)

### Mintakat Bagian Atas: Lingkungan Pelagik

Lingkungan ini mencakup kolom air mulai dari permukaan dasar laut sampai paras (permukaan) laut. Lingkungan pelagik mempunyai batas wilayah atau mintakat (zona) yang meluas mulai dari garis pantai sampai wilayah laut terjeluk (terdalam). Dalam pemintakatan lingkungan pelagik, dasar yang dipakai untuk membagi-bagi lagi zona (mintakat) yang lebih kecil adalah kejelukan (berdasar kedalaman). Tetapi ada juga pembagian zonasi yang didasarkan pada kondisi fisiografi, terdiri dari: (a)

mintakat Neritik, yaitu wilayah lingkungan perairan yang letaknya di atas landas benua (kontinen), serta (b) mintakat Oseanik yang posisinya di atas dasar laut yang terletak di luar landas benua. Semua biota pesisir dan laut yang hidup di lingkungan perairan (lapisan atas) dan tidak menghuni dasar perairan dinamakan Biota Pelagik. Lingkungan hidup di mana biota ini hidup disebut lingkungan pelagik. Secara horizontal zona pelagik dapat dibagi menjadi dua, yaitu Zona Neritik dan Zona Oseanik. Sedangkan secara vertikal, zona pelagik dapat dibagi berdasarkan daya tembus cahaya matahari ke dalam kolom perairan pesisir dan laut, yaitu:

- **Zona Fotik atau Eufotik:** merupakan lingkungan perairan pelagik yang kaya cahaya matahari. Batas zona ini sangat bergantung kepada batas kedalaman daya tembus cahaya (sangat bervariasi dan bergantung pada tingkat kecerahan air). Umumnya batas bawah zona ini berada pada kedalaman 100 - 150 meter. Karena kaya cahaya matahari maka zona ini merupakan lingkungan perairan pesisir yang didominasi oleh berlangsungnya fotosintesis atau produksi primer (*primary productivity*).
- **Zona Afotik:** merupakan lingkungan perairan yang sulit atau tidak dapat ditembus cahaya (miskin cahaya matahari), selalu dalam kondisi remang-remang atau gelap, posisinya berada di bawah zona Fotik.

### **Mintakat Neritik**

Mintakat ini berada di daerah paparan benua (*continental shelf*) dan dihuni oleh komunitas biota yang didominasi produsen primer serta konsumen primer dan sekunder, di samping kaya akan redusen (dekomposer atau perombak). Mintakat ini memiliki produktivitas (atau sebaliknya: pencemaran) yang tinggi, dikarenakan sifat-sifatnya sebagai berikut: (a) Kaya cahaya matahari dan kandungan zat hara, (b) Proses fotosintesis lebih menonjol dari proses dekomposisi atau reduksi, (c) Produsen primer (terutama Fitoplankton) melimpah, (d) Distribusi nutrien (hara) dan unsur pencemar lebih mudah karena adanya proses pencampuran dan pem-

balikan massa air akibat pengaruh Pasang surut, gelombang, arus, serta pengadukan di perairan dangkal, di dsampngi adanya masukan hara dari estuaria (sungai) atau daratan.

### **Mintakat Oseanik**

Lingkungan perairan di mintakat Oseanik dapat dibagi menjadi 4 lapisan perairan. Masing-masing lapisan dapat dianggap sebagai satu lingkungan perairan dan luas wilayahnya sebagai satu mintakat. Keempat mintakat atau lingkungan perairan tersebut adalah:

**Pertama, Zona Epipelagik** atau zona oseanik atas yang meluas dari permukaan laut sampai kejelukan (kedalaman air) 200 meter. Zona epipelagik ini berimpitan dengan zona eufotik, yang ketebalannya mencapai batas daya tembus cahaya matahari efektif untuk mendukung proses fotosintesis. Di tempat-tempat tertentu, umumnya zona epipelagik meluas ke perairan Neritik. Zona epipelagik dapat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu: (1) mintakat pada & dekat permukaan, yaitu tempat terjadinya penyinaran matahari pada siang hari di atas optimal atau bahkan dapat menyebabkan gangguan (kematian) bagi fitoplankton dan zooplankton (terutama tipe teduh (dark type plankton), (2) mintakat bawah permukaan, yang letaknya di bawah mintakat dekat permukaan, di sini terjadi proses pertumbuhan aktif dari plankton (terutama fitoplankton tipe teduh), serta (3) mintakat sub bawah permukaan (terbawah), merupakan habitat dimana zooplankton beruaya (bergerak) secara vertikal (diurnal movement) ke permukaan pada malam hari dan berada di lapisan bawah pada siang hari.

**Kedua, Zona Mesopelagik:** letaknya berada di bawah zona epipelagik. Zona ini meluas sampai kedalaman 1000 meter, sehingga lingkungan ini berada antara kejelukan 200 m sampai 1000 m. Lingkungan perairan ini bertepatan dengan zona terjadinya gradien suhu dan atau salinitas yang tajam (gradien thermohalin) sehingga sering terjadi termoklin (lapisan massa air yang timbul karena adanya gradien suhu dan/atau

salinitas yang drastis). Karena letaknya berada di bawah zona fotik, maka pada zona ini tidak terjadi proses fotosintesis. Zona ini dihuni dan didominasi oleh kelompok biota tipe konsumen primer (primary consumer) yang memanfaatkan detritus (detritus feeder atau detritovora).

**Ketiga, Zona Batipelagik:** merupakan daerah/lingkungan yang terletak pada kedalaman 1000 sampai 4000 meter dengan suhu perairan berkisar antara 4 sampai 10<sup>o</sup> C. Kehidupan pada zona ini didominasi oleh biota laut tipe heterotrop atau detritovora. Pada zona ini sangat miskin cahaya dan miskin oksigen terlarut, namun kegiatan dekomposisi oleh mikroba reducen lebih menonjol.

**Keempat, Zona Abisopelagik,** merupakan daerah atau lingkungan perairan yang terletak antara 4000 sampai 6000 meter. Zona ini biasanya juga dikenal dengan palung laut dalam. Wilayah laut ini sangat gelap dan miskin oksigen terlarut. Biota laut yang hidup dan menghuni zona ini didominasi oleh ikan atau makhluk yang memiliki kemampuan **pendar cahaya (Biolumenesensi)**. Fenomena biolumenesensi ini dapat terjadi karena kemampuan biota laut dalam menghasilkan zat Lusiferin dan enzim Lusiferase yang akan menghasilkan pendar cahaya melalui reaksi langsung dan/ atau berantai. Kemampuan biolumenesensi ini diperlukan biota untuk keperluan: (1) mengindra habitat, (2) mengenali sesama jenis atau lawan kawin (sex sensory), (3) memberi tanda kalau ada bahaya, (4) menarik mangsa (pakan alami), (5) memberi tanda saat berahi untuk menarik pejan-tan atau betinanya, (6) menakut-nakuti musuh atau pemangsanya, (7) memberi aba-aba atau sinyal untuk melakukan migrasi (ruaya).

**Kelima, Zona Hadopelagis (Hadal Pelagis):** merupakan lingkungan perairan terbuka yang berada pada palung laut dalam dengan kedalaman 6000 sampai di atas 10.000 meter. Karakteristik biogeofisik pada lingkungan ini sama dengan zona abisopelagik.

## Mintakat Laut Bagian Bawah : Ekosistem Benthik

Mintakat benthik dapat dibagi menjadi lima zona. Pertama, **Zona Litoral** atau **zona intertidal** yang letaknya meluas mulai dari garis pasang tertinggi sampai ke pinggir paparan benua (continental shelf). Zona ini berada di antara kawasan pasang tertinggi sampai surut terendah. Zona ini merupakan daerah peralihan antara kondisi lautan ke kondisi daratan sehingga kawasan ini kaya akan biota (baik jenis maupun jumlahnya).

**Kedua, Zona Sublitoral**, yaitu lingkungan dasar perairan pesisir yang terletak di bawah zona neritik. Zona ini dihuni oleh berbagai jenis biota laut dan terdiri dari berbagai komunitas atau ekosistem khas dan vital, antara lain: terumbu karang (coral reefs), padang lamun (seagrass beds), rumput laut (seaweeds)

**Ketiga, Zona Batial**: adalah lingkungan dasar perairan mulai batas akhir lereng benua sampai kedalaman 4000 meter.

**Keempat, Zona Abisal**: adalah lingkungan dasar perairan palung laut yang terletak pada kedalaman 4000 sampai 6000 meter.

**Kelima, Zona Hadal**: adalah lingkungan dasar palung laut yang terletak pada kedalaman antara 6000 sampai 10.000 meter atau lebih.

Karena kekhasan lingkungan benthik, berikut ini disajikan uraian tentang habitat yang spesifik yaitu zona benthio-litoral dan zona benthio-abisal.

### Zona Benthio-Litoral

Zona benthio-litoral (intertidal) atau zona pasang-surut (Pasut) adalah bentang lingkungan pantai yang terletak antara paras air tertinggi dari pasut purnama (*Highest High Water Spring tides, HHWS*) ke arah daratan dan paras air terendah dari pasut purnama (*Lowest Low Water Spring tides, LLWS*) ke arah laut.

Menurut tingkat perendaman air dan pengeringan oleh pasang surut air laut (pasut), zona litoral dapat dibagi sebagai berikut :

- (a) *Mean High Water Springs (MHWS)* atau air pasang rata-rata pada Pasut purnama, yang berarti tinggi rata-rata dari air pasang pada Pasut purnama untuk jangka waktu lama. Zona ini akan terendam sepanjang waktu pada saat Pasut Purnama.
- (b) *Mean High Water Neaps (MHWN)* atau air pasang rata-rata pada Pasut bulan-tengah, yaitu tinggi rata-rata air pasang pada saat Pasut bulang-setengah untuk jangka waktu lama. Zona ini akan terendam air sepanjang waktu pada saat terjadinya pasut bulan tengah.
- (c) *Mean Tide Level (MTL)* atau paras Pasut rata-rata, yaitu rata-rata dari air pasang rata-rata dan air surut rata-rata untuk jangka waktu lama.
- (d) *Highest Low Water Neaps (HLWN)* atau air surut tertinggi pada saat Pasut bulang-tengah, yaitu paras air tertinggi dari air surut pada pasut bulan tengah dalam jangka waktu lama. Ini merupakan garis air terendah dari zona litoral yang akan mengalami pengeringan pada setiap air surut saat Pasut sepanjang tahun.
- (e) *Mean Low Water Neaps (MLWN)* atau air surut rata-rata pada Pasut bulan-tengah, yaitu paras rata-rata dari air surut pada saat pasut bulan-setengah untuk jangka waktu lama.
- (f) *Mean Low Water Springs (MLWS)* atau air surut rata-rata dari Pasut purnama, yaitu paras rata-rata pada saat air surut sewaktu terjadi pasut purnama untuk jangka waktu lama.

Berdasarkan pengaruh Pasut, menurut bagian yang terkena perendaman air dan pengeringan, zona litoral dapat dibagi lagi menjadi 3 mintakat utama yang menghubungkan daratan dengan lautan, yaitu: (1) zona intertidal, (2) zona atas-intertidal (supratidal), serta (3) zona bawah intertidal (subtidal). Zona supra-tidal merupakan bentangan pantai di atas zona Intertidal. Mintakat ini dapat terendam air laut hanya pada saat pasang tinggi. Sedangkan zona sublitoral merupakan bentangan pantai di bawah zona intertidal dan selalu terendam air laut, baik pada saat pasang maupun surut. Luas zona Intertidal sangat bergantung

pada kelandaian daratan yang bersambung ke laut. Jika daratan melandai secara berangsur-angsur (gradien rendah) ke laut maka zona intertidal menjadi sangat luas.

Berdasarkan frekuensi siraman (rendaman) air karena pengaruh pasut tersebut, dapat dikelompokkan zona pesisir sebagai berikut:

Pertama, Mintakat I, yaitu zona tertinggi dan terkering, kadang-kadang disebut mintakat siraman atau mintakat litoral atas. Mintakat ini mengalami kekeringan di sebagian besar waktu. Zona ini hanya terendam air pada saat pasang purnama. Lingkungan ini banyak dihuni oleh keong *Littorina*, yaitu jenis keong yang menempel pada batuan cadas dan tahan kekeringan. Keong ini akan kesulitan bernafas jika terendam air terlalu lama. Di mintakat I ini juga dihuni oleh teritip (*Balanus* spp dan *Cthamalus* spp.).

Kedua, Mintakat II, yaitu daerah pantai yang biasanya mengalami kekeringan 2 kali sehari selama air surut. Mintakat ini membentang antara garis air surut rata-rata teratas dan garis air pasang rata-rata teratas. Lamanya setiap periode pengeringan antara 4 sampai 6 jam. Pada mintakat ini banyak dihuni oleh organisme sessil, antara lain: teritip baran (*acorn barnacle*) dan limpet.

Ketiga, Mintakat III, yaitu daerah pantai (pesisir) di sebagian besar waktu. Mintakat ini membentang antara garis surut rata-rata teratas dan garis surut rata-rata terbawah. Waktu pengeringan di mintakat ini sangat pendek, biasanya antara satu sampai tiga jam. Pada mintakat ini banyak dihuni teritip bertangkai serta bintang laut.

Keempat, Mintakat IV, yaitu mintakat yang terletak di bawah air surut rata-rata dan mengalami kekeringan hanya pada saat air terendah saat pasut purnama. Lama waktu pengeringan sangat pendek, yaitu antara satu sampai dua jam.

### **Mintakat EKosistem Pesisir yang Tidak Tergenangi Air**

Ekosistem pesisir yang tidak tergenangi air (uninundated coast) terdiri dari 2 formasi, yaitu: (1) Formasi Pescaprae, dan (2) Formasi Baringtonia. Formasi Pescaprae: merupakan ekosistem pesisir yang posisinya berada di belakang pantai berpasir atau sand-dune. Formasi ini (gosong pantai berpasir) didominasi oleh

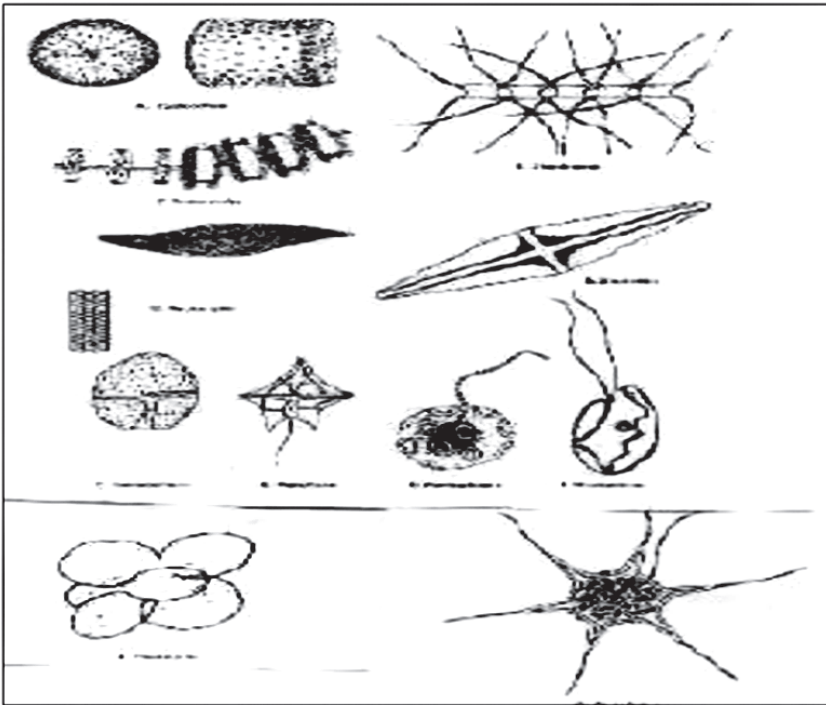
tumbuhan pionir, terutama kangkung laut (*Ipomoea pescaprae*). Formasi Baringtonia: merupakan ekosistem yang membentang pada pantai berbatu tanpa deposit pasir dimana formasi pescaprae tidak dapat tumbuh. Habitat berbatu ini ditumbuhi oleh komunitas rerumputan dan semak belukar yang dikenal sebagai formasi Baringtonia. Komposisi komunitas di dalam ekosistem ini sangat seragam di daerah tropis. Di daerah tropis, komunitas biota yang menonjol pada ekosistem ini terdiri dari berbagai macam spesies rerumputan dan semak belukar, terutama berbagai jenis tumbuhan atau pepohonan seperti Cemara Laut (*Casuarina equisetifol*) dan Perdu laut (*Callophyllum* sp) serta pandan laut (*Pandanus* sp).

## **Komunitas Biota Renik Penghuni Ekosistem Laut**

### **Plankton**

Secara sederhana plankton diartikan sebagai hewan dan tumbuhan renik yang terhanyut di laut. Nama plankton berasal dari akar kata Yunani “planet” yang berarti pengembara. Istilah plankton pertama kali diterapkan untuk organisme di laut oleh Victor Hensen direktur Ekspedisi Jerman pada tahun 1889, yang dikenal dengan “Plankton Expedition” yang khusus dibiayai untuk menentukan dan membuat sistematika organisme laut (Charton dan Tietjin, 1989). Plankton terdiri dari dua kelompok besar organisme akuatik yang berbeda yaitu organisme fotosintetik atau fitoplankton dan organisme non fotosintetik atau zooplankton.

Fitoplankton adalah tumbuhan mikroskopik (bersel tunggal, berbentuk filamen atau berbentuk rantai) yang menempati bagian atas perairan (*zonafotik*) laut terbuka dan lingkungan pantai. Nama fitoplankton diambil dari istilah Yunani, *phyton* atau “tanaman” dan “planktos” berarti “pengembara” atau “penghanyut”. Walaupun bentuk uniseluler/bersel tunggal meliputi hampir sebagian besar fitoplankton, beberapa alga hijau dan alga biru-hijau ada yang berbentuk filamen (yaitu sel-sel yang berkembang seperti benang).

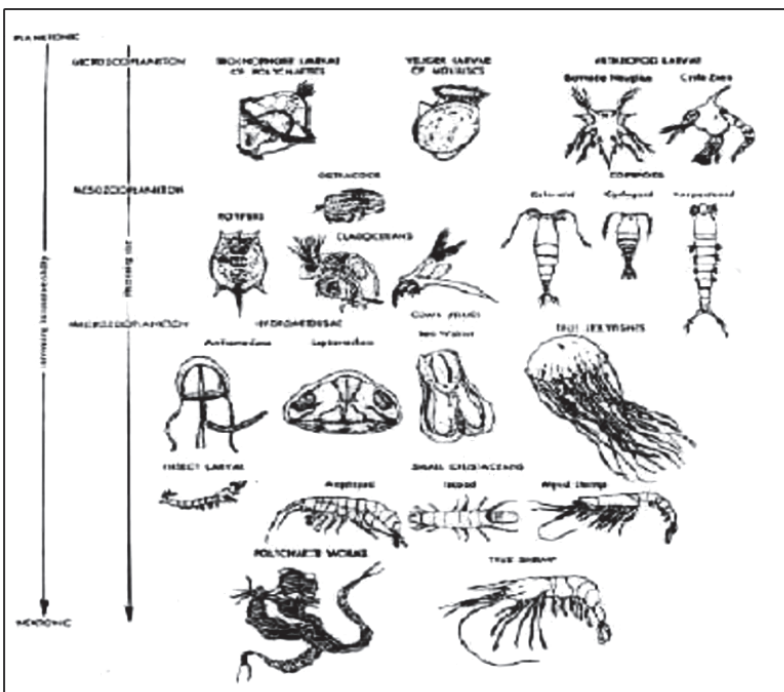


Gambar 4. Beberapa Jenis Fitoplankton  
(Sumber: Koesoebiono, 1992)

Koloni diatom dan dan alga biru-hijau juga memproduksi rangkaian sel yang saling berhubungan. Tidak seluruh organisme fotosintetik pelagis bersifat mikroskopik, sebagai contohnya adalah alga multiseluler makroskopik *Sargassum* spp, yang merupakan hasil biomasa utama di Laut Sargasso di Atlantik Utara. Selain digolongkan berdasarkan taksonominya, fitoplankton bisa digolongkan berdasarkan ukurannya. Berdasarkan ukurannya ada beberapa golongan fitoplankton. Lebih dari separuh fitoplankton termasuk dalam ultraplankton dan nanoplankton. Untuk keperluan praktis para ahli sering membedakan alga-alga mikroskopik ke dalam net plankton dan nanoplankton ditentukan oleh ukuran mata jaring *plankton net* yang digunakan dilapangan. Pada perairan pantai sampel net plankton yang dapat tertahan pada plankton net dengan ukuran mata 64  $\mu\text{m}$  lebih didominasi oleh jenis diatom

dan *Dinoflagellata*. Nanoplankton yang lolos dari plankton net meliputi sejumlah besar coccolithophore dan spesies kecil dari diatom. Secara taksonomi ada beberapa kelas dari fitoplankton. Empat kelas diantara 13 kelas yang ada tersebut merupakan kelompok penting dalam ekosistem laut yaitu *Bacillariophyceae*, *Dinophyceae*, *Haptophyceae* dan *Chlorophyceae* (Gambar 4).

Zooplankton merupakan plankton hewani yang terhanyut secara pasif karena terbatasnya kemampuan bergerak. Beberapa contoh jenis zooplankton dapat dilihat pada Gambar 5. Berbeda dengan fitoplankton, zooplankton hampir meliputi seluruh filum hewan mulai dari protozoa (hewan bersel tunggal) sampai filum Chordata (hewan bertulang belakang). Para ahli kelautan juga mengklasifikasikan zooplankton sesuai ukuran dan lamanya hidup sebagai plankton.

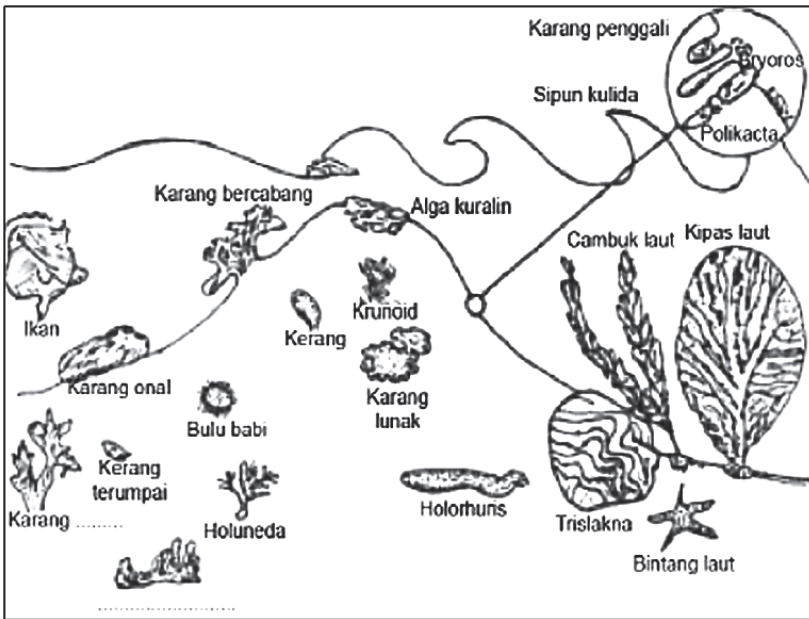


Gambar 5. Beberapa Jenis Zooplankton disusun berdasarkan Ukuran dan Kemampuan Pergerakan (Sumber: Koe-soebiono, 1992)

Ada tiga kategori ukuran zooplankton yang dikenal dengan mikrozooplankton, mesozooplankton, dan makrozooplankton. Mikrozooplankton meliputi zooplankton yang dapat melewati plankton net dengan mata 202  $\mu\text{m}$  dan mesozooplankton adalah yang tersangkut sedangkan makrozooplankton dapat ditangkap dengan *plankton net* dengan lebar mata 505  $\mu\text{m}$ . Berdasarkan siklus hidupnya zooplankton ada yang selamanya sebagai plankton (holoplankton) dan ada yang sebagian hidupnya (pada awal hidupnya) saja sebagai plankton (meroplankton). Organisme meroplankton terutama terdiri dari larva planktonik dan bentik invertebrata, bentik chordata dan nekton (ichthyoplankton). Kelompok holoplankton yang dominan antara lain copepoda, cladocera dan rotifera. Beberapa genera dari copepoda menempati perairan pantai seperti *Acartia*, *Eurytemora*, *Pseudodiaptomus* dan *Tortanus*. Spesies copepoda umumnya mendominasi fauna holoplanktonik. Copepoda calanoid melebihi jumlah cyclopoid dan harpacticoid pada ekosistem estuaria. Cyclopoid umumnya litoral dan bentik tetapi beberapa merupakan spesies planktonik.

### **Bentos**

Bentos adalah organisme yang hidup di dasar laut, tidak aktif, memiliki jumlah sesile yang sangat banyak. Bentos dibagi menjadi dua berdasarkan cara hidupnya, yaitu epifauna dan infauna. Epifauna adalah organisme yang hidup di permukaan, baik melekat ataupun bergerak bebas di permukaan. Sedangkan infauna adalah organisme yang menggali dan membentuk terowongan atau liang pada dasar laut. Beberapa contoh bentos antara lain kerang, bulu babi, bintang laut, cambuk laut, terumbu karang dan lain-lain (Gambar 6). Tubuh bentos banyak mengandung mineral kapur.



Gambar 6. Beberapa Jenis Bentos di dasar laut  
(Sumber: Koesoebiono, 1992)

### Nekton dan Neuston

Organisme nektonik (nekton) adalah organisme yang memiliki pergerakan yang kuat dan mampu mempertahankan posisinya dari pengaruh arus. Kemampuan pergerakan ini merupakan ciri khas organisme jenis ini sehingga organisme ini dapat memperoleh makanannya dengan memangsa, menghindari pemangsa, serta menghindari kondisi lingkungan yang tidak cocok bagi kehidupannya. Organisme nektonik, menurut Undang-undang nomor 45 tahun 2009 tentang Perikanan adalah semua makhluk hidup yang habitatnya di dalam air, baik untuk sementara waktu ataupun sepanjang daur hidupnya. Sesuai terminologi ini maka nekton mencakup: semua jenis, mamalia air, ampibia, reptilia, krustasea, kekerangan dan moluska. Menurut pergerakannya, nekton dibagi menjadi nekton menetap (sedentary) dan nekton peruyaya (migratory). Nekton yang sifatnya menetap atau menetap sementara, antara lain ikan lidah atau ikan mata sebelah serta kekerangan. Nekton peruyaya dapat

dibedakan menjadi peruaya katadromik dan anadromik. Peruaya katadromik adalah nekton yang habitat hidupnya berpindah, dari lingkungan air tawar atau payau pada fase kecil atau larva bergerak menuju lingkungan laut untuk keperluan kawin dan berpijah pada fase dewasa. Contoh dari peruaya katadromik adalah: ikan bandeng (*Chanos chanos Forskal*), ikan sidat (*Anguilla sp*) dan udang laut (*Penaeus monodon Fabricius*). Peruaya anadromik adalah nekton yang habitat hidupnya berubah, dari lingkungan laut pada fase kecil sampai dewasa, kemudian pada fase induk bergerak menuju pantai dan hulu sungai untuk keperluan kawin dan berpijah. Contohnya, ikan salmon (*Oncorhynchus sp*).

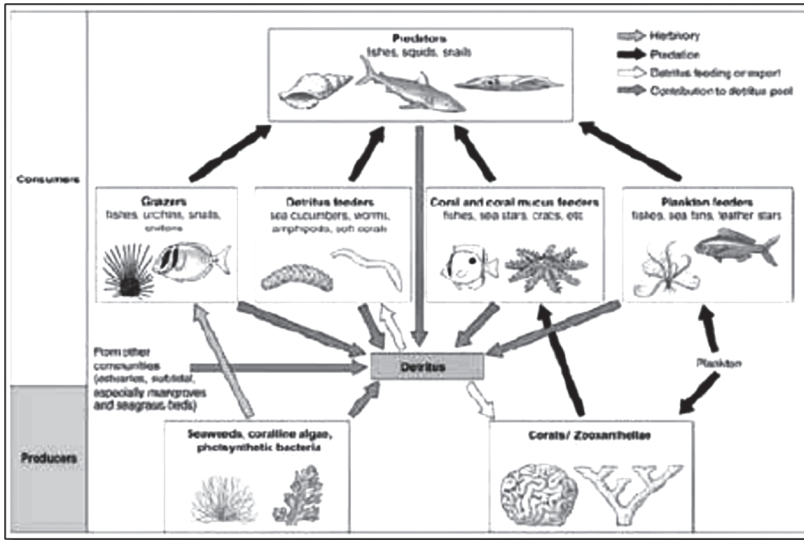
Organisme nekton bentik umumnya dari jenis organisme yang hidup menancap, membuat lubang (burrowing) atau merayap di dasar perairan. Beberapa contoh organisme menancap misalnya lamun, karang, teritip, tiram dan remis. Contoh organisme pembuat lubang antara lain cacing, kima, kerang, dan keong. Beberapa jenis Krustasea seperti udang dan kepiting merupakan organisme yang hidup merayap. Neuston adalah hewan yang berada di permukaan air laut. Hewan tersebut hidup atau hanya sekedar mencari makan saja. Misalnya, bakteri dan alga uniseluler, serangga atau burung pemakan ikan.

### **Rantai Makanan Pada Mintakat Oseanik**

Proses saling memangsa antar satu dengan yang lainnya disebut rantai makanan (*food chain*) sedangkan rangkaian rantai makanan disebut jaring makanan (*food web*). Pada rantai makanan maupun pada jaring makanan fitoplankton menempati tempat yang terendah sebagai produser primer. Rantai makanan grazing di laut dimulai dari fitoplankton sebagai produser dan zooplankton sebagai konsumen (*grazer*). Apabila terjadi kematian baik fitoplankton maupun zooplankton maka akan menjadi mata rantai pertama dalam rantai makan detritus (*detritus food chain*). Kedua rantai makanan tersebut menjadi siklus dasar dalam produksi di laut .

Secara garis besar tingkat trofik dalam jejaring makanan dibagi menjadi dua kelompok, yaitu kelompok produser yang bersifat autotrof karena dapat memanfaatkan energi matahari

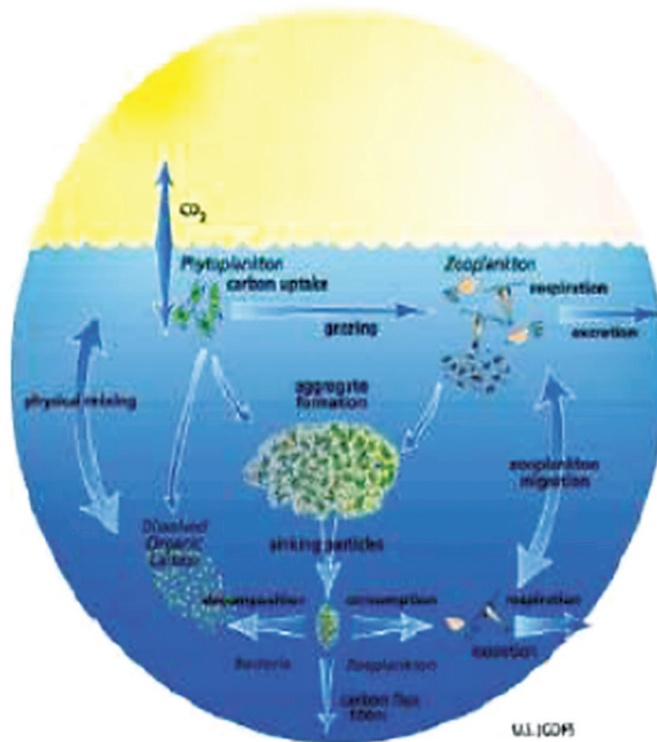
untuk mengubah bahan-bahan anorganik menjadi karbohidrat dan oksigen yang diperlukan seluruh makhluk hidup, dan kelompok konsumen yang tidak dapat mengasimilasi bahan makanan dan oksigen secara mandiri (heterotrof).



Gambar 7. Rantai Makanan pada Perairan Samudera (Nybakken, 1992)

Nybakken (1982) mengelompokkan produsen yang terdapat pada jaring makanan karang adalah alga koralin, alga hijau alga coklat dan *zooxanthella*. Dari gambar diatas dapat diamati bahwa produser dikonsumsi oleh sejumlah organisme avertebrata seperti bintang laut raksasa (*Acanthaster planci*) dan invertebrata seperti ikan kepe-kepe (*Chaetodontidae*). Terdapat juga organisme yang memakan alga yang banyak terdapat di ekosistem karang seperti ikan famili Acanthuridae. Tipe pemangsaan yang ada adalah 50-70 % karnivora. Goldman dan Talbot dalam Nybakken (1982) menyatakan bahwa banyak dari ikan karnivora di ekosistem terumbu karang bersifat oportunistik. Mengambil atau memangsa organisme apa saja yang tersedia dan berguna bagi kebutuhannya. Mereka juga memakan mangsa yang berbeda pada tingkatan trofik yang berbeda dalam siklus kehidupannya.

Ada dua kelompok rantai makanan yang ada di ekosistem laut yaitu rantai makanan grazing (*grazing food chain*) dan rantai makanan detrital (*detritus food chain*). Kedua jenis rantai makanan tersebut saling melengkapi dan membentuk sebuah siklus yang kontinu. Rantai makanan grazing dimulai dari proses transfer makanan pertama kali oleh organisme herbivora melalui proses grazing. Makanan pertama itu berupa fitoplankton dan herbivor yang memanfaatkan fitoplankton adalah zooplankton. Mata rantai pertama pada rantai makanan ini adalah fitoplankton yang merupakan sumber pertama bagi seluruh kehidupan di laut. Ujung dari rantai makanan ini adalah konsumen tingkat tinggi (seperti ikan dan konsumen lainnya) yang apabila mengalami kematian akan menjadi detritus pada ekosistem laut.



Gambar 8. Rantai Makanan Grazing dan Detritus serta Peranannya dalam Ekosistem Laut (Sumber: Davis, 1980)

## Ekosistem Vital di Pesisir dan Laut

Pesisir dan laut merupakan kawasan yang memiliki peran penting dan sangat strategis bagi Indonesia. Hal itu dikarenakan Indonesia merupakan Negara kepulauan yang sebagian besar (2/3) wilayahnya berupa perairan laut. Perairan laut Indonesia, selain dimanfaatkan sebagai sarana perhubungan laut lokal dan internasional, juga memiliki sumberdaya pesisir dan laut yang sangat besar dan bervariasi jenisnya, antara lain sumberdaya perikanan, terumbu karang, padang lamun, mangrove, bahan tambang, yang sebagian besar berada di kawasan pesisir. Disamping itu, kawasan pesisir dan laut juga memiliki panorama indah yang dapat dimanfaatkan sebagai asset wisata bahari. Perairan pesisir dan laut juga berperan penting sebagai sumber dan pendukung kesinambungan plasma nutfah dari keanekaragaman hayati laut. Hal ini dikarenakan adanya habitat atau ekosistem vital, seperti: terumbu karang, padang lamun dan mangrove, yang berperan penting sebagai habitat vital yang menjaga kesinambungan daur hidup biota (tempat kawin, mijah, membesarkan anak-anaknya, tempat berlindung dan mencari makan). Mengingat arti pentingnya pesisir dan laut bagi kehidupan manusia dan biota, maka sudah sepantasnya bahwa keberadaan serta perannya perlu dilindungi dan dilestarikan. Hal ini berarti, bahwa pemanfaatannya harus dilakukan secara bijaksana dengan memperhitungkan kepentingan generasi sekarang dan generasi mendatang. Agar lingkungan pesisir dan laut dapat memberikan manfaat secara berkelanjutan dengan tingkat mutu yang diinginkan (tetap baik dan stabil), maka kegiatan pengendalian pencemaran dan/atau perusakan pesisir dan laut serta upaya pengawasannya sangat penting untuk dilaksanakan. Oleh sebab itu, supaya pengelolaan pesisir dan laut dapat dilakukan secara optimal, diperlukan pengenalan mengenai zonasi dan profil lingkungan pesisir & laut.

## **Karakter Habitat Vital Pesisir dan Laut**

Ditinjau dari karakteristik ekosistem vital, wilayah pesisir dan laut merupakan lokasi berbagai ekosistem unik dan khas serta saling berkaitan, sangat produktif dan dinamis. Beberapa ekosistem utama yang berperan sebagai habitat vital di wilayah pesisir dan laut yang diuraikan secara singkat di sini dibatasi pada ekosistem : (1) Gumuk Pasir (Sand-dune), (2) Pantai Pasir Berbatu, (3) Terumbu Karang, (4) Padang Lamun, (5) Estuaria, (6) Mangrove., (7) Pulau-pulau kecil.

### **Ekosistem Gumuk Pasir (Sand-Dune)**

Gumuk pasir (sand-dune) merupakan akumulasi pasir lepas berbentuk gundukan teratur atau perbukitan pasir, yang terbentuk oleh sinergi kerja arus, gelombang samudera dan angin yang bertiup searah dan terus menerus pada suatu daerah pesisir. Di Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta, gumuk pasir terdapat di pantai selatan Purworejo (Jatimalang dan Grabag), Kebumen dan Parangtritis (DIY). Bentuk ekosistem gumuk pasir dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain: (a) jumlah dan kesinambungan material pasir yang diendapkan ke pantai, (b) arus dan ombak yang memindahkan pasir dari laut ke darat, (c) intensitas sinar matahari yang mengeringkan pasir di pantai, (d) besarnya kekuatan angin dan kesinambungannya dalam memindahkan material butiran pasir, (e) keberadaan tebing atau komunitas vegetasi penghambat gerak angin dan sebaran pasir.

Menurut tipe atau bentuknya, gumuk pasir dapat dibagi menjadi: (1) Barchan, bentuknya mirip bulan sabit, (2) longitudinal, (3) parabolik, dan (3) Sisir. Di pantai Parangtritis-DIY, terdapat sekitar 190 bentukan sand-dune, yang terdiri dari barchan 70 buah, longitudinal 80 buah, parabolik 30 buah, dan sisir 10 buah. Masing-masing bentukan sand-dune memiliki cara dan faktor pengontrol pembentukan yang berbeda. Bentuk parabolik dan sisir dipengaruhi oleh vegetasi yang memotong arah angin yang bertiup, sehingga kecepatan angin di belakang vegetasi berkurang. Sedangkan bentuk barchan dan longitudinal disebabkan oleh aktivitas angin

yang bertiup keras.

Ekosistem gumuk pasir merupakan habitat vital yang memiliki peran penting secara ekologis, diantaranya adalah:

- Sebagai penyangga dan perisai daratan pantai dari ancaman gelombang samudera
- Sebagai habitat flora dan fauna tertentu yang sanggup beradaptasi pada lingkungan berpasir (biota psammophyll) yang kering dan berfluktuasi suhunya
- Sebagai habitat pemijahan (*spawning ground*) biota tertentu, misalnya penyu, biawak, serta ketam pasir.
- Sebagai penahan laju intrusi air asin dari laut/samudera
- Sebagai pemecah atau peredam kekuatan angin dari samudera yang sangat kuat (*wind breaker*), sehingga kekuatan angin dapat diredam dan memungkinkan pengembangan pertanian dan atau pemukiman di belakang sand-dune.

### **Ekosistem Pantai Berpasir dan Berbatu**

Ekosistem pantai pasir berbatu merupakan satu dari lingkungan pesisir dan laut yang vital bagi kehidupan biota dan ketahanan/stabilitas daratan pantai. Kombinasi substrat yang keras untuk penempelan, seringkali terjadi hantaman gelombang, dan perairan yang relatif jernih memberikan suatu lingkungan atau habitat yang menguntungkan bagi biota akuatik di pesisir dan laut. Pantai berbatu dan berpasir menjadi habitat bagi biota tipe *Psammophill* (menyukai lingkungan berpasir) dan *Lithophill* (menukai lingkungan berbatu), terutama untuk keperluan memijah (*spawning ground*) dan membesarkan anak-anaknya (*nursery ground*). Diantara berbagai biota yang menyukai lingkungan pantai berpasir dan berbatu adalah: moluska (kerang), bintang laut, kepiting, anemone, ikan psammophill dan lithophill (Ikan Gelam atau kakap mata kucing: *Psammoperca waigiensis*), serta ganggang/rumput laut.

Pola umum zonasi pantai berbatu adalah sebagai berikut:

- *Zona litho-supralitoral*: terletak pada hamparan pantai berbatu di atas air pasang yang masih menerima percikan

air laut saat pasang tinggi. Zona ini dihuni oleh siput (keong) laut *Littorina* yang bersifat *psammolithophyll* (menyenangi habitat berpasir dan berbatu), serta epipelagic algae seperti Cyanobakteri *Calothrix*, serta alga merah *Porphyra* atau alga coklat *Fucus*.

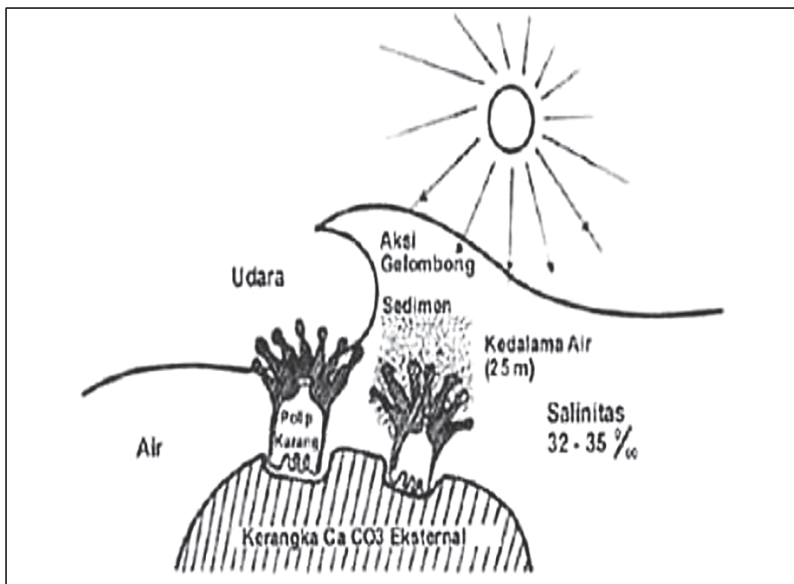
- Zona *litho-eulitoral*: berada pada hamparan pantai berbatu antara air pasang dan surut. Zona ini dihuni oleh biota tipe lithophyll (menyenangi habitat pantai berbatu) seperti Teritip (barnacle) *Balanus*, kerang *Mytilus*, siput gastropoda limpet (*gastropod snail*), kepiting/ketam *Carcinus* dan Bulu Babi (*sea-urchin*).
- Zona *litho-sublitoral*: berada pada hamparan pantai berbatu di bawah muka air surut. Pada zona ini dihuni beragam organisme tipe psammolithophyll, antara lain: alga koralin, tunicata, dan ikan tipe lithophil dan psammophil.

### Ekosistem Terumbu Karang

Terumbu karang (*coral reefs*) merupakan suatu ekosistem khas dan mempunyai peran penting di wilayah pesisir dan laut. Pada dasarnya terumbu dibentuk dari endapan-endapan masif kalsium karbonat, yang dihasilkan oleh hewan karang pembentuk terumbu (karang hermatipik) dari filum Cnidaria-ordo Scleractinia yang hidup bersimbiosis dengan zooxanthellae (Gambar 9), dan mendapat sedikit tambahan dari algae berkapur serta organisme lain yang menyekresi kalsium karbonat.

Terumbu karang (*Coral reef*) merupakan masyarakat organisme yang hidup di dasar perairan dan berupa bentukan batuan kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) yang cukup kuat menahan gaya gelombang laut. Sedangkan organisme-organisme yang dominan hidup disini adalah binatang-binatang karang yang mempunyai kerangka kapur, dan algae yang banyak diantaranya juga mengandung kapur. Berkaitan dengan terumbu karang diatas dibedakan antara binatang karang atau karang (*reef coral*) sebagai individu organism atau komponen dari masyarakat dan terumbu karang (*coral reef*) sebagai suatu ekosistem. Terumbu karang (*coral reef*) sebagai ekosistem dasar laut dengan penghuni utama karang batu mempunyai arsitektur

yang mengagumkan dan dibentuk oleh ribuan hewan kecil yang disebut polip. Dalam bentuk sederhananya, karang terdiri dari satu polip saja yang mempunyai bentuk tubuh seperti tabung dengan mulut yang terletak di bagian atas dan dikelilingi oleh tentakel. Namun pada kebanyakan spesies, satu individu polip karang akan berkembang menjadi banyak individu yang disebut koloni. Berdasarkan kepada kemampuan memproduksi kapur maka karang dibedakan menjadi dua kelompok yaitu karang hermatipik dan karang ahermatipik. Karang hermatifik adalah karang yang dapat membentuk bangunan karang yang dikenal menghasilkan terumbu dan penyebarannya hanya ditemukan didaerah tropis. Karang ahermatipik tidak menghasilkan terumbu dan ini merupakan kelompok yang tersebar luas diseluruh dunia.

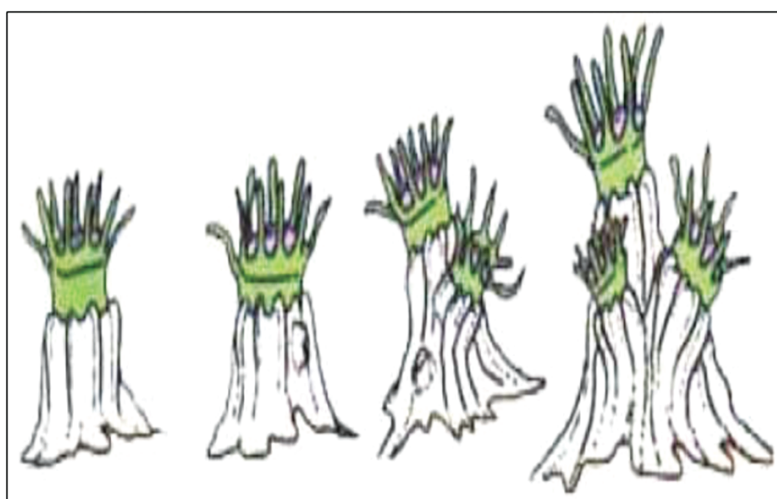


Gambar 9. Kombinasi Faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Pertumbuhan Karang dan Zooxanthellae Serta Perkembangan Terumbu (Sya'rani, 1980)

Perbedaan utama karang Hermatipik dan karang ahermatipik adalah adanya simbiosis mutualisme antara karang hermatipik dengan zooxanthellae, yaitu sejenis algae unisular (*Dinoflagellata*

*unisular*), seperti *Gymnodinium microadriatum*, yang terdapat di jaringan-jaringan polip binatang karang dan melaksanakan fotosintesis. Hasil samping dari aktivitas ini adalah endapan kalsium karbonat yang struktur dan bentuk bangunannya khas. Ciri ini akhirnya digunakan untuk menentukan jenis atau spesies binatang karang. Karang hermatipik mempunyai sifat yang unik yaitu perpaduan antara sifat hewan dan tumbuhan sehingga arah pertumbuhannya selalu bersifat fototeopik positif. Umumnya jenis karang ini hidup di perairan pantai /laut yang cukup dangkal dimana penetrasi cahaya matahari masih sampai ke dasar perairan tersebut Disamping itu untuk hidup binatang karang membutuhkan suhu air yang hangat berkisar antara 25-32oC (Nybakken, 1992).

Menurut Sya'rani (1980) terumbu karang merupakan endapan massif (deposit) padat kalsium ( $\text{CaCO}_3$ ) yang dihasilkan oleh karang dengan sedikit tambahan dari alga berkapur (Calcareous algae) dan organisme-organisme lain yang mensekresikan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Dalam proses pembentukan terumbu karang (Gambar 10) maka karang batu (Scleractina) merupakan penyusun yang paling penting atau hewan karang pembangun terumbu (*reef - building corals*).



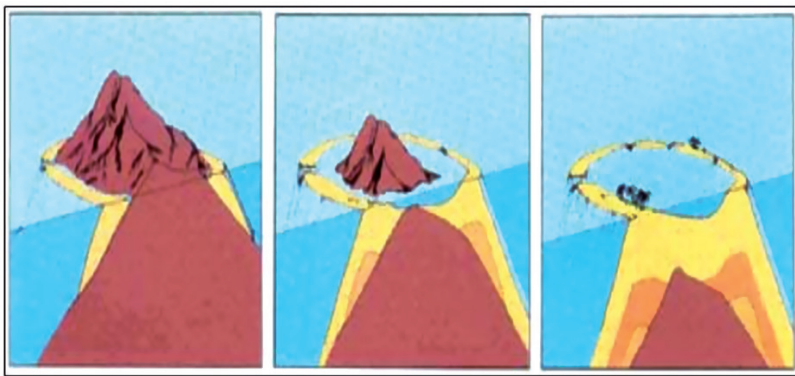
Gambar 10. Mekanisme Pembentukan Koloni Karang melalui Proses Coral Building (Nybakken, 1982)

Karang batu termasuk ke dalam Kelas Anthozoa yaitu anggota Filum Coelenterata yang hanya mempunyai stadium polip. Kelas Anthozoa tersebut terdiri dari dua Subkelas yaitu Hexacorallia (atau Zoantharia) dan Octocorallia, yang keduanya dibedakan secara asal-usul, morfologi dan fisiologi. Hewan karang sebagai pembangun utama terumbu adalah organisme laut yang efisien karena mampu tumbuh subur dalam lingkungan sedikit nutrisi (oligotrofik). Sebagian besar spesies karang melakukan simbiosis dengan alga simbiosis yaitu zooxanthellae yang hidup di dalam jaringannya. Dalam simbiosis, zooxanthellae menghasilkan oksigen dan senyawa organik melalui fotosintesis yang akan dimanfaatkan oleh karang, sedangkan karang menghasilkan komponen anorganik berupa nitrat, fosfat dan karbon dioksida untuk keperluan hidup zooxanthellae. Selanjutnya adanya proses fotosintesis oleh alga menyebabkan bertambahnya produksi kalsium karbonat dengan menghilangkan karbon dioksida dan merangsang reaksi kimia sebagai berikut:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3) \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3 \longrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$  Fotosintesis oleh algae yang bersimbiose membuat karang pembentuk terumbu menghasilkan deposit cangkang yang terbuat dari kalsium karbonat, kira-kira 10 kali lebih cepat daripada karang yang tidak membentuk terumbu (ahematipik) dan tidak bersimbiose dengan zooxanthellae. Bengen (2002), mengemukakan bahwa ekosistem terumbu karang adalah unik karena umumnya hanya terdapat di perairan tropis, sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan hidupnya terutama suhu, salinitas, sedimentasi, eutrofikasi dan memerlukan kualitas perairan alami (*pristine*). Demikian halnya dengan perubahan suhu lingkungan akibat pemanasan global yang melanda perairan tropis di tahun 1998 telah menyebabkan pemutihan karang (*coral bleaching*) yang diikuti dengan kematian massal mencapai 90-95%. Selanjutnya Nybakken (1992) mengelompokkan terumbu karang menjadi tiga tipe umum yaitu : Terumbu karang tepi (*Fringing reef/shore reef*), Terumbu karang penghalang (*Barrier reef*) dan Terumbu karang cincin (atoll).

Diantara tiga struktur tersebut, terumbu karang yang paling banyak dijumpai di perairan Indonesia adalah terumbu karang tepi. Penjelasan ketiga tipe terumbu karang sebagai berikut

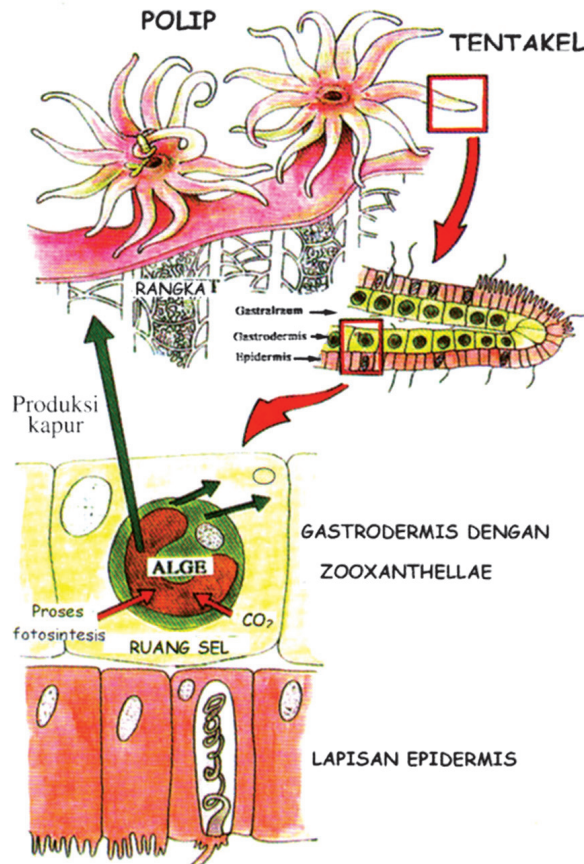
(Gambar 11) :

- 1) Terumbu karang tepi (*fringing reef*) ini berkembang di sepanjang pantai dan mencapai kedalaman tidak lebih dari 40m. Terumbu karang ini tumbuh ke atas atau ke arah laut. Pertumbuhan terbaik biasanya terdapat dibagian yang cukup arus. Sedangkan diantara pantai dan tepi luar terumbu, karang batu cenderung mempunyai pertumbuhan yang kurang baik bahkan banyak mati karena sering mengalami kekeringan dan banyak endapan yang datang dari darat.
- 2) Terumbu karang tipe penghalang (*Barrief reef*) terletak di berbagai jarak kejauhan dari pantai dan dipisahkan dari pantai tersebut oleh dasar laut yang terlalu dalam untuk pertumbuhan karang batu (40-70 m). Umumnya memanjang menyusuri pantai dan biasanya berputar-putar seakan - akan merupakan penghalang bagi pendatang yang datang dari luar. Contohnya adalah *The Great Barrier reef* yang berderet disebelah timur laut Australia dengan panjang 1.350 mil.
- 3) Terumbu karang cincin (atol) yang melingkari suatu goba (*laggon*). Kedalaman goba didalam atol sekitar 45m jarang sampai 100m seperti terumbu karang penghalang. Contohnya adalah atol di Pulau Taka Bone Rate di Sulawesi Selatan.



Gambar 11. Tipe-Tipe Terumbu Karang, Yaitu Terumbu Karang Tepi (Kiri), Terumbu Karang Penghalang (Tengah), dan Terumbu Karang Cincin (kanan) (Sumber; Nybakken, 1992).

Karang berbiak dengan cara seksual dan atau aseksual. Pemiakan secara seksual terjadi melalui penyatuan gamet jantan dan betina untuk membentuk larva bersilia yang disebut planula. Kemudian planula akan menyebar dan menempel pada substrat yang keras, seterusnya tumbuh menjadi polip. Selanjutnya, polip tersebut akan melakukan pembiakan aseksual. Dalam hal ini, pembiakan dilakukan dengan cara fragmentasi, sehingga terbentuk polip-polip baru yang saling menempel sampai terbentuk koloni yang besar dan kuat, dengan bentuk yang bervariasi sesuai jenisnya (Gambar 12).



Gambar 12. Keterkaitan Simbiosis Mutualistik Antara Hewan Karang dengan Zooxanthellae Dalam Pembentukan Struktur Terumbu Karang (Sya'rani, 1980)

Pada garis besarnya struktur terumbu karang terdiri dari 3 tipe, yaitu: (a) Terumbu karang tepi (*fringing reefs*), (b) Terumbu karang penghalang (*barrier reefs*), (c) Terumbu karang cincin atau atol. Terumbu karang tepi dan penghalang berkembang di sepanjang pantai. Perbedaannya, terumbu karang penghalang berkembang lebih jauh dari daratan dan berada di perairan yang lebih dalam. Sedangkan terumbu karang tepi biasanya berada di perairan dangkal dan menyatu dengan daratan pantai. Adapun terumbu karang cincin atau atol merupakan terumbu karang yang timbul dari perairan dalam dan jauh dari pulau atau daratan. Beberapa faktor lingkungan yang berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan terumbu karang, antara lain (Gambar 9):

- Temperatur air  $>18^{\circ}\text{C}$ , tetapi untuk keperluan pertumbuhan yang optimum diperlukan suhu air dengan rentang  $23 - 25^{\circ}\text{C}$ , dengan suhu maksimum yang masih dapat ditolerir  $36 - 40^{\circ}\text{C}$
- Kedalaman perairan  $<50$  m, dengan kedalaman optimal untuk pertumbuhan sekitar 25 m.
- Salinitas air konstan, berkisar antara 32 - 35 ppt
- Kecerahan (transparansi) tinggi (jernih) dan tidak mengganggu sedimentasi
- Bebas dari pencemaran limbah padat (sampah) dan limbah cair.

Terumbu karang merupakan habitat vital yang berperan penting sebagai berikut:

Pertama, sebagai penyangga atau pelindung pantai dari hempasan ombak dan arus kuat yang berasal dari laut

Kedua, sebagai tempat untuk keperluan: berlindung, tumbuh dan memijah, asuhan, serta daerah mencari makan biota laut (baik jenis yang dikonsumsi maupun ornamental/ikan hias)

Ketiga, sebagai sumber plasma nutfah dan penyangga keanekaragaman hayati biota laut

Keempat, sebagai sumber bahan pangan dan obat-obatan serta kosmetika asal laut.

Keempat, sebagai bahan bangunan (bila dikendalikan pemanfaatannya).

Kelima, sebagai obyek wisata karena jasa ekosistem dan keindahan

panorama dan kekhasan strukturnya.

Dewasa ini ekosistem terumbu karang banyak terkena gangguan atau tekanan baik karena faktor alam ataupun kegiatan manusia. Faktor-faktor alam yang menjadi penyebab kerusakan terumbu karang antara lain: (a) perubahan iklim dan dampak pemanasan global yang memicu terjadinya pemutihan terumbu karang (*coral bleaching*). Kegiatan manusia yang dapat menimbulkan kerusakan ekosistem terumbu karang dapat disebutkan dalam uraian berikut ini. Pertama, Penambangan terumbu karang, menyebabkan kerusakan habitat dan mengancam pantai karena dapat meningkatkan daya gempur gelombang, menurunkan daya penyangga perisai pantai dan menimbulkan abrasi, Kedua, Pembuangan limbah padat (sampah) dan limbah cair dari industri, domestik (permukiman), agro (pertanian-perikanan-perkebunan), resort wisata dan hotel, rumah makan dan rumah sakit. Ketiga, Pembuangan limbah air panas atau buangan air balas (*ballast water*) dapat mengancam kehidupan hewan karang dan biota laut di terumbu karang. Keempat, Penggundulan hutan di lahan atas yang dapat meningkatkan erosi dan sedimentasi, sehingga mengakibatkan meningkatnya turbiditas dan menghambat respirasi polip/hewan karang. Kelima, Aktifitas wisatawan: dapat menimbulkan kerusakan terumbu pada saat mereka berjalan di paparan terumbu. Keenam, Pembuangan jangkar kapal dapat merusak terumbu. Keenam, Penangkapan ikan dengan alat tangkap yang destruktif, seperti: bahan kimia beracun (potas/sianida), aliran listrik, serta bahan peledak (bom): dapat menghancurkan terumbu (habitat vital biota) dan punahnya telur serta larva biota laut.

### **Rangkuman Analisis Ekosistem Terumbu Karang**

Telah diketahui, bahwa ekosistem terumbu karang berperan penting baik bagi kehidupan biota laut maupun bagi perlindungan pulau dikarenakan fungsinya, antara lain sebagai: (a) habitat vital bagi pemijahan (*spawning ground*), daerah asuhan anak-anak ikan (*nursery ground*), tempat berlindung dan mencari makan biota laut (*feeding area*), (b) peredam arus, gelombang dan penyangga (pelindung) daratan pantai (pulau), (c) sumber bahan pangan dan

obat-obatan/kosmetika asal laut, (d) sumber plasma nutfah dan penyangga kelestarian keanekaragaman hayati laut, serta. (e) aset wisata bahari dikarenakan keindahan dan keunikan ekosistemnya. Agar peran yang amat vital dari terumbu karang tersebut dapat dilestarikan maka diperlukan upaya untuk menjaga kemantapan ekosistemnya, seraya mencegah kerusakan akibat pencemaran dan/atau tekanan eksploitasi yang destruktif.

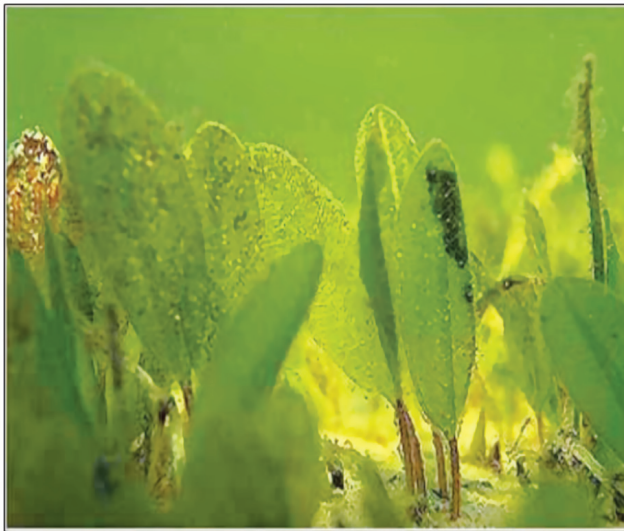
Sejalan dengan meningkatnya kebutuhan manusia dan pembangunan, ekosistem terumbu karang terus mendapatkan tekanan akibat berbagai aktivitas manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung. Beberapa aktivitas manusia yang berakibat langsung dapat menyebabkan kerusakan terumbu karang, di antaranya adalah: penangkapan ikan dengan menggunakan bahan peledak (bom) dan racun sianida (potas) serta aliran listrik (setrum), pembuangan jangkar, perjalanan wisatawan di atas terumbu karang, penambangan batu karang (untuk cendera mata, ornamen akuarium dan bahan bangunan), penggunaan alat penangkap ikan yang tidak ramah lingkungan (muro ami, jaring dasar, bubu dengan kamuflase koral, serta pencemaran (limbah cair, buangan MCK, buangan aktivitas Agro/Sawah/Tambak, sampah, dan sedimentasi). Kerusakan pada ekosistem terumbu karang juga dapat disebabkan oleh karena faktor alam, antara lain: gempa bumi, angin topan, badai, tsunami, pemanasan global, pemangsa oleh hewan Bulu Seribu (*Acanthaster planci*) atau CoTs (*crown-of-thorns starfish*). Ilustrasi berikut ini menunjukkan berbagai aktivitas manusia yang berpotensi merusak ekosistem terumbu karang.

### **Ekosistem Padang Lamun**

Lamun (*sea grass*) adalah tumbuhan berbunga (*Angiospermae*) yang telah menyesuaikan diri untuk hidup dan berkembang di bawah permukaan air laut. Tumbuhan ini hidup di perairan dangkal bersubstrat lumpur campur pasir. Meskipun demikian, hampir semua substrat dapat ditumbuhi lamu, mulai suibstrat lumpur-pasir di sekitar ekosistem estuaria atau, mangrove sampai substrat keras berbatu di sekitar ekosistem terumbu karang. .

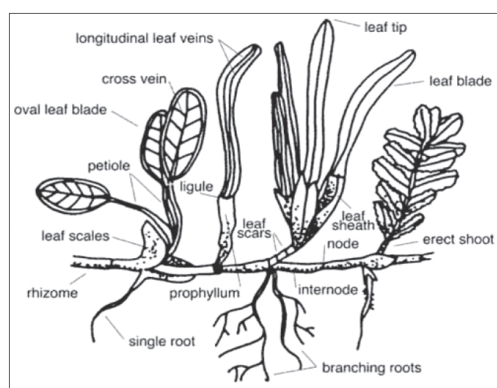
Sama halnya dengan rerumputan di darat, lamun juga membentuk padang yang luas dan lebat di dasar laut yang masih mendapatkan cahaya matahari. Hamparan yang terbentuk ini dikenal dengan padang lamun atau sea grass beds.

Perairan pesisir merupakan lingkungan yang memperoleh sinar matahari cukup yang dapat menembus sampai ke dasar perairan. Di perairan ini juga kaya akan nutrisi karena mendapat pasokan dari dua tempat yaitu darat dan lautan sehingga merupakan ekosistem yang tinggi produktivitas organiknya. Karena lingkungan yang sangat mendukung di perairan pesisir maka tumbuhan lamun dapat hidup dan berkembang secara optimal. Lamun dianggap sebagai satu-satunya tumbuhan berbunga (Angiospermae) yang mampu beradaptasi secara penuh di perairan yang salinitasnya cukup tinggi atau hidup terbenam di dalam air dan memiliki rhizoma, daun, dan akar sejati (Gambar 13).. Beberapa ahli juga menyatakan lamun (Seagrass) sebagai tumbuhan air berbunga, hidup di dalam air laut, berpembuluh, berdaun, berimpang, berakar, serta berbiak dengan biji dan tunas.



Gambar 13. Lamun Jenis *Halophila* sp Berdaptasi Penuh pada Dasar Laut Bersalinitas Tinggi (31-35 Promil) (Sumber: Rejauw dkk., 2015)

Karena pola hidup lamun sering membentuk hamparan maka dikenal juga istilah padang lamun (*Seagrass bed*) yaitu hamparan vegetasi lamun yang menutup suatu area pesisir/laut dangkal, terbentuk dari satu jenis atau lebih dengan kerapatan padat atau jarang. Sedangkan sistem (organisasi) ekologi padang lamun yang terdiri dari komponen biotik dan abiotik disebut Ekosistem Lamun (*Seagrass ecosystem*). Habitat tempat hidup lamun adalah perairan dangkal agak berpasir dan sering juga dijumpai di terumbu karang. Ekosistem padang lamun memiliki kondisi ekologis yang sangat khusus dan berbeda dengan ekosistem mangrove dan terumbu karang. Ciri-ciri ekologis padang lamun antara lain adalah: terdapat di perairan pantai yang landai, di dataran lumpur/pasir, Pada batas terendah daerah pasang surut dekat hutan bakau atau di dataran terumbu karang,serta mampu hidup sampai kedalaman 30 meter, dengan syarat perairan tenang dan terlindung, Kehidupan lamun sangat bergantung pada cahaya matahari yang masuk ke dalam kolom perairan, Vegetasi ini juga mampu melakukan proses metabolisme secara optimal jika keseluruhan tubuhnya terbenam di dalam air termasuk daur generatif, Mampu hidup di media air asin. Pada kondisi lingkungan optimal maka sistem perakarannya berkembang baik (Gambar 14).

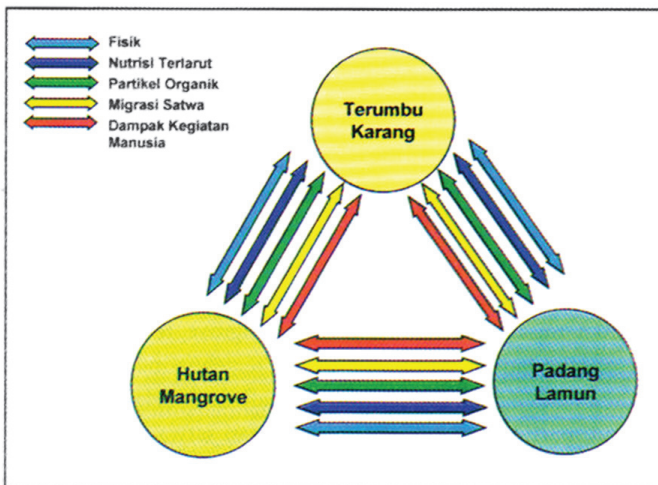


Gambar 14. Morfologi Lamun (Sumber: Koesoebiono, 1992)

Di wilayah perairan Indonesia, paling tidak terdapat 2 famili dan 12 spesies lamun, antara lain: marga *Hydrocharitaceae* dengan

spesiesnya *Enhalus acoroides*, serta Potamogetonaceae. Penyebaran ekosistem padang lamun di Indonesia mencakup perairan Jawa, Sumatera, Bali, Kalimantan, Sulawesi, Maluku, Nusa Tenggara dan Irian Jaya. Jenis yang membentuk komunitas padang lamun tunggal, antara lain: *Thalassia hemprichii*, *Enhalus acoroides*, *Halophyla ovalis*, *Cymodocea serrulata*, serta *Thalassodendron ciliatum*.

Padang lamun merupakan ekosistem yang sangat tinggi produktivitas organiknya, dengan produktivitas primer berkisar antara 900-4650 gC/m<sup>2</sup>/tahun. Ekosistem padang lamun dihuni oleh berbagai jenis biota, antara lain: ikan, krustasea, moluska (*Pinna sp*, *Lambis sp*, *Strombus sp*), Echinodermata (*Holothuria sp.*, *Synapta sp.*, *Diadema sp.*, *Archaster sp.*, *Linckia sp.*) dan cacing laut (*polychaeta*). Ekosistem padang lamun, pada dasarnya bukan merupakan entitas yang soliter (terisolasi atau menyendiri), tetapi berhubungan atau berinteraksi dengan ekosistem lain di sekitarnya, Pola interaksi sinergistik yang amat penting (vital) bagi kelangsungan hidup biota dan mutu lingkungan laut, adalah interaksi antara ekosistem: padang lamun dengan ekosistem terumbu karang dan ekosistem mangrove dan estuaria (Gambar 15).



Gambar 15. Pola Interaksi Sinergistik antara Ekosistem Padang Lamun dengan Ekosistem Terumbu Karang dan Ekosistem Mangrove dan Estuaria (Sumber: Bengen, 2002)

Fungsi padang lamun di lingkungan pesisir sangat beragam, diantaranya dijelaskan pada uraian sebagai berikut. Pertama, menstabilkan dan memperkokoh dasar perairan pantai/laut sebagai akibat adanya sistem perakaran lamun yang kuat dan rapat serta saling menyilang. Kedua, sebagai penangkap sedimen dan nutrisi (*sediment and nutrient trap*) sehingga perairan menjadi subur (tetapi juga rawa pencemaran, akibat fungsinya juga sebagai *pollutant trap*). Ketiga, daunnya merupakan pakan alami bagi ikan duyung (dugong), penyu laut, bulu babi dan berbagai ikan herbivor di laut. Keempat, sebagai daerah perlindungan dan mencari makan (*feeding ground*) biota laut. Kelima, Sebagai tempat pemijahan (*spawning ground*) dan daerah asuhan anak-anak ikan (*nursery area*) bagi biota laut tertentu, terutama yang bertipe *Phytophill* dan *Psammophyll*. Keenam, sebagai peredam arus dan gelombang yang menuju dan menekan pantai sehingga dapat melindungi daratan dari ancaman abrasi. Ketujuh, Sebagai bahan pangan dan pupuk, misalnya dibuat samo-samo, yaitu makanan tradisional yang dibuat dari lamun jenis *Enhalus acoroides* oleh masyarakat Kepulauan Seribu. Kedelapan, sebagai naungan pelindung (*shading*) bagi biota penghuni padang lamun dari sengatan cahaya matahari.

### **Ekosistem Estuaria**

Estuaria adalah suatu perairan semi tertutup yang berada di bagian hilir (muara) sungai dan masih berhubungan dengan laut, sehingga memungkinkan terjadinya proses pencampuran antara air tawar dengan air asin (air laut). Berdasarkan aliran air dan proses pencampurannya, estuaria dapat dibagi menjadi tiga tipe. Pertama, estuaria berstratifikasi sempurna atau estuaria baji garam: dicirikan oleh adanya batas yang jelas antara air tawar dan air asin. Estuaria tipe ini dijumpai di daerah-daerah yang dipengaruhi fenomena pasut, dimana aliran air tawar dari sungai besar lebih dominan daripada intrusi air asin yang berasal dari laut. Kedua, estuaria berstratifikasi sebagian (parsial): merupakan tipe yang paling umum ditemui. Pada estuaria tipe ini, aliran air tawar dari sungai seimbang dengan air asin (dari laut) yang masuk melalui arus Pasut. Pencampuran air dapat terjadi karena adanya turbulensi

yang berlangsung secara berkala oleh aksi pasang-surut. Ketiga, Estuaria campuran sempurna atau estuaria homogen vertikal: dijumpai di lokasi-lokasi dimana arus Pasut sangat dominan dan kuat, sehingga massa air di estuaria tercampur sempurna dan tidak terjadi stratifikasi atau pelapisan massa air.

Pengaruh air hidrodinamika air laut dan air tawar pada estuari akan menghasilkan suatu komunitas yang khas, dengan kondisi lingkungan yang bervariasi, sehingga mempunyai karakteristik sebagai berikut :

1. Tempat bertemunya arus sungai dengan arus pasang surut, yang berlawanan menyebabkan suatu pengaruh yang kuat pada sedimentasi, pencampuran air, dan ciri-ciri fisika lainnya, serta membawa pengaruh besar pada biotanya.
2. Pencampuran kedua macam air tersebut menghasilkan suatu sifat fisika lingkungan khusus yang tidak sama dengan sifat air sungai maupun sifat air laut.
3. Perubahan yang terjadi akibat adanya pasang surut mengharuskan komunitas mengadakan penyesuaian secara fisiologis dengan lingkungan sekelilingnya.
4. Tingkat salinitas di daerah estuari tergantung pada pasang surut air laut, banyaknya aliran air tawar dan arus-arus lain, serta topografi daerah estuari tersebut.

Karakteristik hidrodinamik air tawar dan air laut di ekosistem estuari akan mencari pada fenomena biogeofisik sebagai berikut: (a) Pola sirkulasi arus sangat khas, bolak-balik antara massa air pasang dari laut dan massa air tawar dari sungai (darat), yang terpola oleh gerakan pasang-surut, (b) Gradien atau perubahan salinitas sangat menonjol, (c) Mengandung sedimen dengan daya adsorpsi kuat (*montmorillonite dan kaolinite*), baik terhadap nutrisi maupun polutan, sehingga estuaria berperan sebagai penjebak hara maupun polutan (*nutrien & pollutant trap*), (d) Biota yang hidup tahan terhadap perubahan : pola arus (*euryrheotik*), salinitas (*euryalin*), osmolaritas (*osmoregulator*), temperatur (*eurithermik*), oksigen (*respiroregulator*), serta ketersediaan pakan alami (*euriphagic*), (e) Struktur rantai makanan (*food*

*chain* dan *food web*) didominasi biota yang memiliki kemampuan bioakumulasi dan biomagnifikasi (baik terhadap nutrisi pakan maupun polutan), (f) Pergerakan (ruaya) biota sangat khas, kebanyakan bertipe diadromous-migratory dan atau occasionally visitors (katadromous dan/atau anadromous).

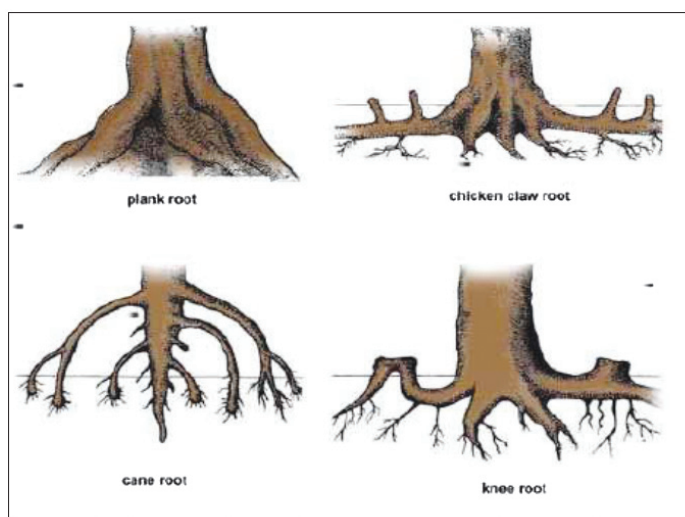
Berdasar fenomena spesifik tersebut dapat dinyatakan bahwa ekosistem estuaria memegang peran penting sebagai : (a) habitat biota akuatik tipe ekoton (peralihan), baik yang bersifat eurihalin, euriphagic, eurithermal maupun eurihotik, (b) sumber penyedia nutrisi (hara) bagi sejumlah biota akuatik yang disebarkan lewat pencampuran dan sirkulasi arus Pasut, (c) tempat berlindung, memijah, membesarkan anak, serta mencari makan berbagai spesies ikan/udang.

### **Ekosistem Hutan Mangrove**

Ekosistem mangrove dapat menghuni mintakat litoral atau supralitoral. Spesies mangrove yang terdapat di suatu lokasi dapat berbentuk monospesies (tunggal) atau spesies campuran yang paralel terhadap garis pantai. Faktor utama yang menjadi acuan pemintakatan mangrove masih menjadi perdebatan, namun Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan telah memberikan rambu-rambu pemintakatan hutan mangrove didasarkan pada berbagai aspek. Pertama, suksesi tumbuhan, Pola pemintakatan spasial didasarkan pada sekuens suksesi mangrove berdasarkan waktu sampai mencapai klimaks. Kedua, perubahan geomorfologi, asumsi yang digunakan adalah perkembangan pola pemintakatan berdasarkan waktu dan lokasi yang dinamis sebagai akibat dari perubahan fisik dan lingkungan (misalnya, salinitas) pada zona midlittoral seperti perubahan ukuran, konfigurasi tata aliran air, topografi dan geologi (substrat dasar dan kualitas air). Ketiga, ekofisiologi, Dasar pertimbangannya, setiap spesies memiliki kebutuhan kondisi lingkungan yang optimum dan terbatas pada segmen tertentu untuk perubahan lingkungan yang terjadi, misalnya: jenis *Avicenia* memerlukan substrat berpasir dan bersalinitas tinggi (*polihalin*), sedangkan jenis *Rhizophora* membutuhkan substrat yang mengandung lumpur dan tanah

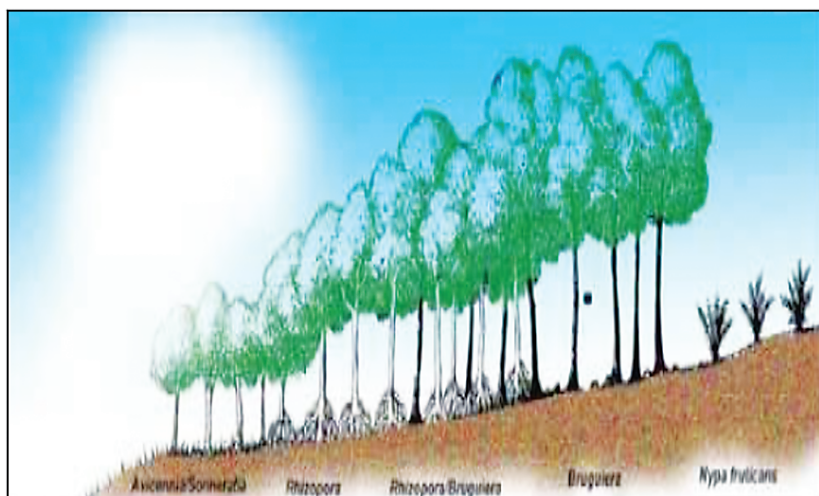
liat serta salinitas tidak terlalu tinggi (oligo-miksohalin) sesuai karakter sistem perairannya (Gambar 16). Keempat, dinamika populasi, dalam pengertian bahwa pemintakatan merupakan pola respons komunitas vegetasi mangrove terhadap perubahan faktor biotik seperti kompetisi interspesifik, reproduksi tumbuhan, strategi kolonisasi, serta invasi alelopati dari hadirnya tanaman lain (misalnya, cemara laut, kedondong laut, waru, nyamplung, kelapa dan akasia). Kelima, faktor hidroklimat seperti: salinitas, temperatur air dan udara serta banyaknya curah hujan, frekuensi pasang surut, intensitas dan lama waktu penggenangan air, serta karakter gelombang dan arus yang menekan akan menentukan jenis jenis mangrove yang hidup dan tumbuh di suatu kawasan pantai.

Pengetahuan tentang pemintakatan (zonasi) bermanfaat secara ekologis dan manajemen silvikultur, dimana kebutuhan tentang posisi ekosistem hutan mangrove untuk memilih habitat yang sesuai untuk jenis-jenis pohon mangrove tertentu dapat diketahui. Contohnya adalah *Rhizophora apiculata* ditanam menuju ke zona darat untuk pengembangannya secara marginal.

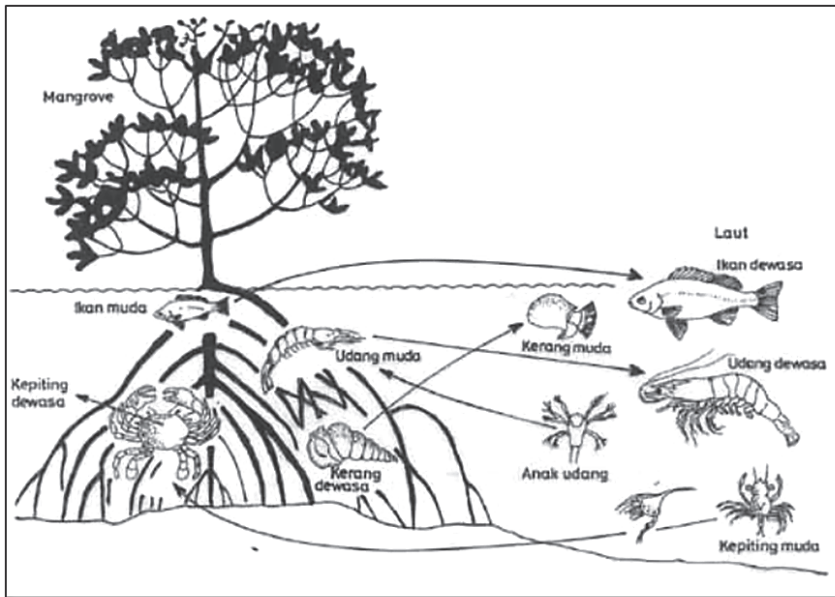


Gambar 16. Sistem Perakaran Ekosistem Mangrove (Sumber: Bengen, 2002)

Dalam praktek yang berkembang secara umum di lapangan, pemintakatan yang diacu (Gambar 17) dibagi menjadi dua bagian utama. Pertama, pemintakatan dari ekosistem payau ke arah laut dengan salinitas pada pasang tinggi antara 10-30 promil dan menggenangi, sekali atau dua kali sehari dalam waktu 20 hari per bulan, 10-19 kali per bulan, 9 kali atau lebih sedikit per bulan, hanya beberapa hari per bulan. Kedua, pemintakatan dari sistem air asin (laut) ke arah ekosistem terestrial (air payau atau tawar), dengan memperhitungkan jangkauan air laut saat pasang tertinggi dan garis pantai saat surut terendah. Sesuai amanat Undang-undang Nomor 23 tahun 2014, pengelolaan wilayah perairan pesisir dan laut bervegetasi mangrove mulai dari garis pantai ke arah laut menjadi kewenangan Provinsi. Sedangkan hutan mangrove yang berada pada ekosistem terestrial mulai garis pantai saat pasang tinggi ke arah darat, kewenangan pengelolaannya berada pada Kabupaten dan Kota.

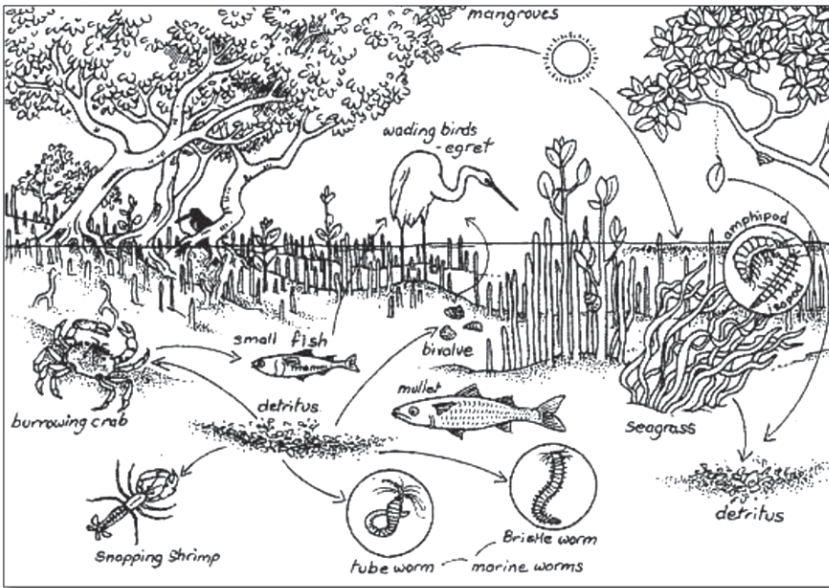


Gambar 17. Pemintakatan Ekosistem Mangrove  
(Sumber: Bengen, 2002)



Gambar 18. Biota Perairan yang Hidup di Ekosistem Mangrove (Sumber: Bengen,2002)

Menurut Nybakken (1992), hutan mangrove adalah sebutan umum yang digunakan untuk menggambarkan suatu varietas komunitas pantai tropik yang didominasi oleh beberapa spesies pohon-pohon yang khas atau semak-semak yang mempunyai kemampuan untuk tumbuh dalam perairan asin. Ekosistem mangrove adalah suatu sistem di alam tempat berlangsungnya kehidupan yang mencerminkan hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya dan diantara makhluk hidup itu sendiri, terdapat pada wilayah pesisir, terpengaruh pasang surut air laut, dan didominasi oleh spesies pohon atau semak yang khas dan mampu tumbuh dalam perairan asin/payau (Santoso, 2000).



Gambar 19. Jaringan Makanan di Ekosistem Mangrove  
(Sumber: Koesoebiono, 1992)

Mangrove adalah suatu komunitas tumbuhan atau suatu individu jenis tumbuhan yang membentuk komunitas di daerah pesisir yang terkena pengaruh pasang-surut air laut.

Dengan demikian ekosistem mangrove merupakan suatu sistem yang terdiri atas lingkungan biotik atau biota (hewan dan tumbuhan) dan lingkungan abiotik yang saling berinteraksi secara sinergistik di dalam suatu bentang alam pesisir (Gambar 18 dan Gambar 19).

Ekosistem Hutan Mangrove merupakan ekosistem yang khas terdapat di sepanjang pantai atau muara sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Dalam terminologi yang lebih luas, mangrove sering disebut juga sebagai hutan pantai, hutan pasang surut, hutan payau dan hutan bakau. Istilah hutan bakau secara umum dikhususkan hanya untuk jenis vegetasi *Rhizophora*. Hutan mangrove juga diistilahkan dengan 'mangal' dan untuk mempertegas istilah "mangal" digunakan apabila berkaitan dengan komunitas hutan dan asosiasi tumbuhan mangrove yang mendapat

pengaruh air pasang dan surut. Mangrove tumbuh pada pantai-pantai yang terlindung atau datar. Sebaliknya mangrove sulit tumbuh di pantai yang terjal dan berombak besar dengan pasang-surut yang kuat karena tidak memungkinkan terjadinya pengendapan lumpur dan pasir sebagai substrat yang diperlukan untuk pertumbuhan-kembangannya. Di wilayah pesisir litoral, mangrove hidup di rentang level pasang naik tertinggi (*maximum spring tide*) sampai level di sekitar atau di atas permukaan laut rata-rata (*mean sea level*).

Ekosistem hutan mangrove umumnya didominasi *Rhizophora*, *Avicennia*, *Bruguiera* dan *Sonneratia*, disamping ditemukan *Ceriops*, *Lumnitzera*, *Exoecaria*, *Nypa*, *Xylocarpus*, *Aegiceras* dan *Scyphophora* (Nybakken 1992; Bengen, 2002). Vegetasi mangrove terdiri atas pohon dan semak yang tergolong ke dalam 8 famili dan terdiri dari 12 genera vegetasi berbunga, yaitu : *Avicennia*, *Sonneratia*, *Rhizophora*, *Bruguiera*, *Xylocarpus*, *Lumnitzera*, *Ceriops*, *Laguncularia*, *Aegiceras*, *Aegiatis*, *Snaeda* dan *Conocarpus* (Nybakken, 1992). Hutan mangrove Indonesia memiliki keragaman vegetasi tinggi mencapai 89 jenis vegetasi mangrove, terdiri dari 35 jenis pohon, 5 *terna*, 9 perdu, 9 *liana*, 29 epifit dan 2 jenis parasit (Nontji, 1987). Bengen (2002) menyatakan dari 89 jenis tersebut, hanya sekitar 47 jenis vegetasi yang spesifik hutan mangrove. Pada hutan mangrove sedikitnya ada satu vegetasi mangrove sejati yang dominan yang termasuk ke dalam 4 famili yakni: *Rhizophoraceae* (*Rhizophora*, *Bruguiera* dan *Ceriops*), *Sonneratiaceae* (*Sonneratia*), *Aviceniaceae* (*Avicennia*), dan *Meliaceae* (*Xylocarpus*). Berdasarkan tingkatan dan rentang salinitas medium habitatnya, mintakat ekosistem mangrove dapat dikategorikan sebagai berikut:

Pertama, kawasan air payau hingga laut bersalinitas 10 - 30 promil sewaktu terendam air pasang, mencakup: (a) Kawasan yang terendam sekali atau dua kali sehari selama 20 hari dalam sebulan, hanya *Rhizophora mucronata* yang masih dapat tumbuh, (b) kawasan yang terendam 10-19 kali per bulan; ditemukan *Avicennia* (*A. alba*, *A. lauta*), *Sonneratia griffithii* dan didominasi *Rhizophora* sp, (c) kawasan yang terendam kurang dari sembilan kali setiap

bulan, di dalamnya ditemukan *Rhizophora* sp.; *Bruguiera* sp. ; dan (d) kawasan yang terendam hanya beberapa hari dalam setahun dimana *Bruguiera gymnorhiza* dominan, dan *Rhizophora apiculata* masih dapat hidup.

Kedua, kawasan air tawar hingga air payau, dimana salinitas antara 0 - 9 promil, meliputi: (a) kawasan litoral (intertidal) atas yang masih dipengaruhi pasang-surut ditumbuhi *Nypa*, *Typha*, (b) kawasan litoral atas yang dipengaruhi pasang tinggi secara musiman didominasi *Hibiscus* dan *Pandanus*.

Proses kolonisasi vegetasi mangrove diawali oleh vegetasi pionir yaitu *Avicennia* sp. (Av) dan *Rhizophora* sp.(Rz) dan disusul vegetasi mangrove yang lebih sensitif seperti *Bruguiera* sp.(Bg), *Sonneratia* sp. (Sn) dan rumput *Typha* (Gs).

Penyebaran vegetasi mangrove ditentukan oleh berbagai faktor lingkungan, antara lain kadar garam (salinitas) dan struktur substrat tanah dasar. Salah satu tipe zonasi hutan mangrove di Indonesia dapat dikemukakan sebagai berikut:

Daerah yang paling dekat dengan laut lebih banyak ditumbuhi *Avicennia* (Api-api) dan *Sonneratia*. *Sonneratia* biasa tumbuh pada kawasan pantai pasir-berlumpur yang kaya bahan organik.

Lebih kearah darat, hutan mangrove biasanya didominasi oleh *Rhizophora* spp. (Bakau). Di zona ini seringkali juga dijumpai *Bruguiera* (Tancang) dan *Xylocarpus*.

Zona berikutnya mengarah ke darat didominasi oleh *Bruguiera* spp. Selanjutnya terdapat zona transisi antara hutan mangrove dan hutan dataran rendah yang biasanya ditumbuhi oleh nipah (*Nypa fruticans*) serta pandan laut (*Pandanus* spp.)

Vegetasi mangrove mempunyai daya adaptasi yang khas terhadap lingkungan. dalam bentuk :

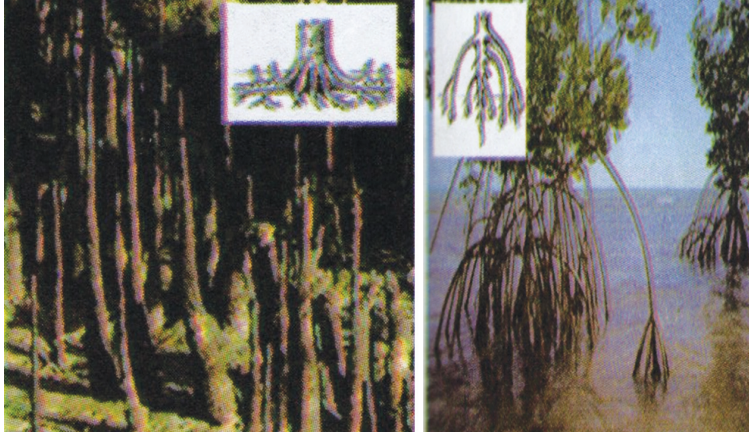
1. Adaptasi terhadap kadar oksigen rendah (*respiroconformer*), menyebabkan mangrove memiliki bentuk perakaran yang khas sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Bentuk-Bentuk Akar Udara pada Vegetasi Mangrove Sesuai Responnya terhadap Oksigen Terlarut.

No	Jenis-jenis akar nafas	Keterangan	Contoh
1	Akar tunjang	Akar kusut, terbuka menghadap udara, muncul dari batang pohon/ cabang yang rendah serta memanjang keluar masuk tanah.	Pada semua jenis <i>Rhizophora</i>
2	Akar lutut	Akar horizontal seperti lekukan lutut di atas tanah, memutar naik turun dengan struktur yang menonjol pada bagian puncaknya.	<i>Bruguiera spp</i> terkadang ditemukan <i>Ceriops tagal</i>
3	Akar pasak	Bentuk akar seperti pasak/tiang atau kerucut yang menghadap ke atas, tegak lurus subtrat, merupakan perpanjangan akar horizontal.	<i>Avicennia spp</i> , <i>Sonneratia alba</i> , <i>S. Caseolaris</i>
4	Akar papan	Akar udara yang berbentuk seperti papan yang melebar secara radial dari dasar pohon	<i>Xylocarpus granatum</i> , dan <i>Ceriopas tagal</i>

Sumber: Kusmana, et al, (2003).

Bentuk beberapa jenis akar vegetasi mangrove sebagai upaya adaptasi terhadap lingkungannya secara visual disajikan pada Gambar 20.



- A. Akar cakar ayam (*Avecennia* spp. *Sonneratia* spp) Akar tongkat/penyangga (*Rhizophora* sp.)

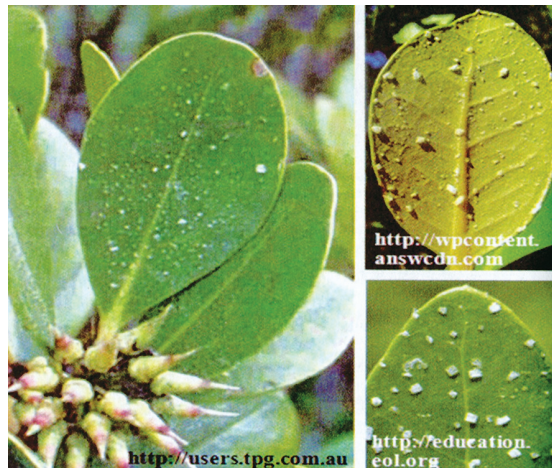


- B. Akar lutut (*Bruguiera* sp.) Akar lutut (*Ceriops* spp., *Xylocarpus* spp.)

Gambar 20. Bentuk Adaptasi Akar Mangrove  
(Sumber : Tuwo, 2011)

2. Adaptasi terhadap salinitas yang tinggi (Euryhaline-osmoregulator) dikarenakan:
  - a. Adanya sel-sel khusus (Chloride cell) dalam daun yang berfungsi untuk menyimpan garam (elektrolit) dan pengatur transpor elektrolit.
  - b. Berdaun kuat dan tebal yang banyak mengandung air sebagai pengatur keseimbangan garam (elektrolit).
  - c. Daunnya memiliki struktur *stomata* khusus untuk mengurangi penguapan (evapotranspirasi).

Bentuk adaptasi perakaran yang menonjol disebut akar nafas (*pneumatofor*). Sistem perakaran ini merupakan cara adaptasi terhadap keadaan tanah yang miskin oksigen atau bahkan *anaerob*. Bentuk adaptasi daun (Gambar 21) memungkinkan vegetasi mangrove mengeluarkan kelebihan kandungan garam melalui daun. Adaptasi siklus reproduksi pada mangrove, memungkinkan vegetasi mangrove untuk berkembang biak dengan baik. Benih sudah berkecambah ketika masih di pohon sebelum lepas dari tangkainya sehingga pada saat jatuh dan menancap ke tanah dapat langsung tumbuh.



Gambar 21. Bentuk Adaptasi Daun (Kiri)  
(Sumber : Tuwo, 2011)

3. Adaptasi terhadap tanah yang kurang stabil bergantung kondisi struktur substrat dasar dan karakter pasang surut, dengan cara mengembangkan struktur akar yang sangat ekstensif dan membentuk jaringan horisontal yang lebar. Struktur akar tersebut untuk memperkokoh pohon dan juga berfungsi untuk mengambil unsur hara dan menahan sedimen. Pada umumnya sistem perakaran mangrove juga berfungsi sebagai sistem pernafasan. Bentuk adaptasi perakaran mangrove berbeda-beda antara berbagai jenis vegetasi mangrove.

Ekosistem mangrove merupakan sumberdaya alam daerah tropika yang mempunyai manfaat ganda baik ditinjau dari aspek ekologi maupun sosial ekonomi. Ekosistem mangrove memiliki fungsi antara lain sebagai : (1) pelindung pantai dari gempuran ombak, arus dan angin, (2) tempat berlindung, berpijah atau berkembang biak dan daerah asuhan berbagai jenis biota (akuatik dan terstris), (3) penghasil bahan organik yang sangat produktif (detritus), (4) sumber bahan baku industri bahan bakar, (5) pemasok larva ikan, udang dan biota laut lainnya, (6) pendukung iklim mikro dan jasa amenitas (kenyamanan), (7) pengurang karbondioksida dan penghasil oksigen pada saat ada cahaya matahari, (8) penjebak hara dan polutan, serta (6) jasa lingkungan ekowisata.

Ekosistem mangrove secara fisik dapat berfungsi sebagai hutan lindung yang mempengaruhi pengaliran massa air di dalam tanah. Sistem perakaran yang khas pada tumbuhan mangrove dapat menghambat arus air dan ombak, sehingga menjaga garis pantai tetap stabil dan terhindar dari pengikisan (abrasi). Kemampuan mangrove untuk mengembangkan wilayahnya ke arah laut merupakan salah satu peran penting mangrove dalam pembentukan lahan baru. Akar mangrove mampu mengikat dan menstabilkan substrat lumpur, pohonnya mengurangi energi gelombang dan memperlambat arus, sementara vegetasi secara keseluruhan dapat memerangkap sedimen. Kawasan pantai dengan kerapatan perakaran mangrove yang relatif tinggi biasanya lebih efektif dalam menangkap sedimen serta meredam arus dan gelombang.

Hutan mangrove juga memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Kawasan mangrove, potensial untuk dimanfaatkan untuk pertambakan tumpangsari (Silvofishery Brackishwater ponds), ekowisata, serta produk pangan dan obat-obatan dari buah dan daunnya. Nilai sumberdaya mangrove dalam konsep dasar penilaian ekonomi (*economic valuation*) sumberdaya alam, ditentukan oleh fungsi dari sumberdaya itu sendiri. Nilai ekonomi atau total nilai ekonomi hutan mangrove secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu nilai penggunaan (*use value*) dan nilai intrinsik (*non-use value*). Nilai penggunaan atau nilai manfaat dapat dibagi lagi menjadi nilai penggunaan langsung (*direct use*), nilai penggunaan tidak langsung (*indirect use*) dan nilai pilihan (*option value*). Nilai manfaat langsung,  $ML = ML_1 + ML_2 + ML_3 + \dots + ML_n$  (dimasukkan ke dalam nilai rupiah), dimana :  $ML$  = Manfaat Langsung;  $ML_1$  = Manfaat Langsung Tambak, Bandeng;  $ML_2$  = Manfaat Langsung Tambak Garam;  $ML_3$  = Manfaat Langsung Bibit Mangrove. Manfaat tidak langsung adalah manfaat yang tidak dapat dirasakan secara langsung, seperti penahan abrasi pantai, pencegah intrusi atau penyedia bahan organik bagi mahluk hidup didalamnya,  $MTL = MTL_1 + MTL_2 + \dots + MTL_n$ , dimana:  $MTL_1$  = Manfaat Tidak Langsung sebagai peredam gelombang (*breakwater*);  $MTL_2$  = Biota yang hidup di dalam hutan mangrove. Keberadaan mangrove akan menjadi kawasan pemijahan (*spawning ground*), asuhan (*nursery ground*) dan penyedia makananan (*feeding ground*) bagi ikan dan hewan laut lainnya (Soraya *et al.*, 2013). Manfaat pilihan adalah suatu nilai yang menunjukkan kesediaan seseorang untuk membayar guna melestarikan ekosistem mangrove bagi pemanfaatan di masa depan. Nilai ini didekati dengan mengacu pada nilai keanekaragaman hayati (*biodiversity*) hutan mangrove di Indonesia, yaitu US\$ 1.500/km<sup>2</sup>/tahun atau US\$15/ha/tahun.  $MP = MP_b = US\$ 15 \text{ per ha} \times \text{luas hutan mangrove}$  (dimasukkan kedalam nilai rupiah). Manfaat eksistensi adalah manfaat yang dirasakan oleh masyarakat dari keberadaan ekosistem yang diteliti setelah manfaat lainnya (manfaat langsung, tidak langsung dan manfaat pilihan).

Berbagai kegiatan pembangunan dapat menimbulkan dampak atau perubahan mendasar pada ekosistem mangrove, antara lain (1) kegiatan penebangan atau konversi hutan mangrove menjadi kawasan pertambakan, pemukiman, pelabuhan dan industri, (2) kegiatan pembuangan limbah (padat/sampah dan cair) dari aktifitas: industri, wisata, pemukiman, pertanian, perikanan (budidaya tambak/laut dan pengolahan ikan), pelabuhan dan pertambangan

Dampak atau perubahan mendasar terhadap ekosistem mangrove dapat terjadi melalui berbagai tahap sebagai berikut:

Pertama, usaha atau kegiatan menimbulkan dampak terhadap habitat, sehingga akan menyebabkan degradasi (kerusakan) habitat vital mangrove. Karena habitat vital rusak maka efek lanjutnya akan menyebabkan: (a) sistem penyangga pantai menjadi rapuh, daratan mudah terabrasi arus dan gelombang, akibatnya pemukiman penduduk menjadi terancam, (b) biota terestris dan biota akuatik yang hidup/bernaung di habitat tersebut menjadi terganggu kehidupannya (misalnya, akibat kerusakan pada habitat kawin, bertelur, membesarkan anaknya, atau tempat makan dan berlindung) sehingga populasinya dapat menurun. Akibatnya, penghasilan nelayan atau masyarakat yang memanfaatkan biota di habitat tersebut menjadi menurun. Kerusakan habitat mangrove dan terumbu karang juga akan berpengaruh terhadap kelestarian plasma nutfah dan keanekaragaman hayati biota pesisir dan laut.

Kedua, usaha atau kegiatan menimbulkan dampak terhadap biota dan rantai makanan alaminya, akibatnya terjadi deplesi sumberdaya biotis dan efek lanjutnya penghasilan dan tingkat kesejahteraan masyarakat yang bergantung kepada sumberdaya itu menjadi berkurang.

# 2

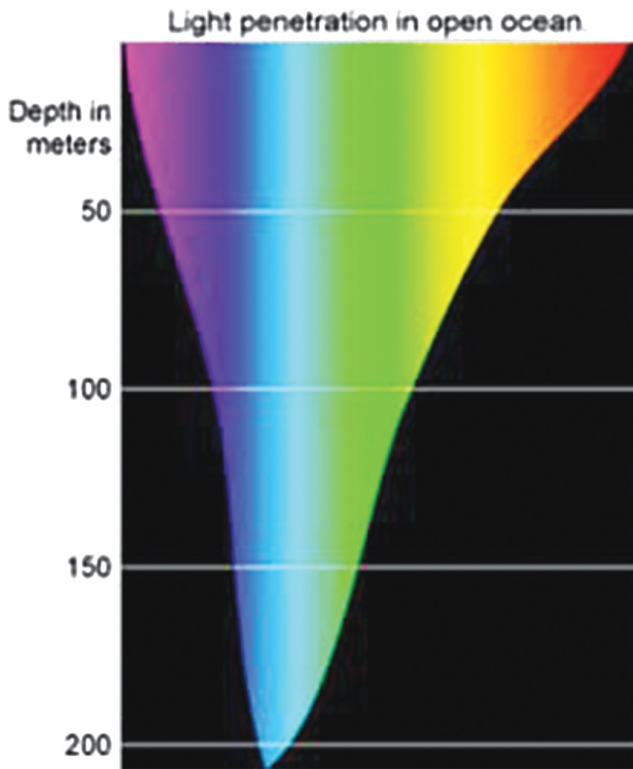
## ADAPTASI BIOTA PESISIR DAN LAUT

Perairan pesisir dan laut merupakan lingkungan yang unik, bahkan pada saat tertentu dapat berubah menjadi ekstrem, di mana biota harus beradaptasi dengan banyak cara untuk bertahan hidup. Efek dari tekanan tinggi pada aspek seluler, seperti fluiditas dari membran lipid, fungsi enzim dan transportasi tingkat seluler dan pertukaran  $O_2$  memicu adaptasi, biasanya dalam struktur komponen selular, yang memungkinkan untuk mempertahankan proses kehidupan di bawah tekanan perubahan lingkungan yang tinggi. Efek tekanan lingkungan hidup tampaknya memiliki efek terbesar pada fungsi fisiologis organisme perairan pesisir dan laut dalam. Uraian di bawah ini membahas berbagai tipe atau pola adaptasi biota perairan pesisir dan laut sebagai bentuk respon terhadap perubahan pada lingkungan hidupnya.

## Adaptasi terhadap Cahaya

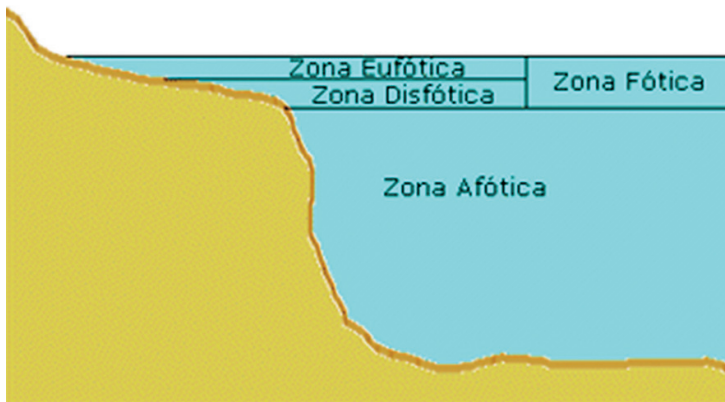
Gelap gulitanya laut dalam (deep sea) telah diakui secara ilmiah oleh para ilmuwan. Menurut para ilmuwan, air tidak hanya merubah warna sinar matahari, tapi ia juga secara dramatis merubah intensitasnya (kekuatannya). Di laut terbuka yang jernih, cahaya tampak (spektrum cahaya yang bisa dilihat oleh mata manusia), berkurang 10 kali setiap penambahan kedalaman 75 meter. Artinya, pada kedalaman 75 meter terangnya cahaya hanya tinggal 10% dibanding di permukaan, dan pada kedalaman 150 meter hanya tinggal 1% saja.

Kondisi cahaya (Gambar 22 dan 23) akan mempengaruhi fungsi penglihatan manusia dan biota laut. Mata manusia, sebagai contoh, berfungsi dengan baik pada saat terang seperti siang hari hingga pada saat hanya terdapat bintang di langit, dengan kisaran kira-kira sebesar 12 orde magnitudo dimana setiap orde menyatakan 10 kali perbedaan. Jadi, secara teori, jika intensitas cahaya di laut berkurang 10 kali setiap penambahan 75 meter, maka mata manusia hanya akan mampu melihat hingga kedalaman 900 meter saja.



Gambar 22. Ilustrasi Dasar Bagaimana Cahaya dengan Warna-Warna yang Berbeda Menembus Air Laut. Air Akan Menyerap Warna-Warna Hangat Seperti Merah dan Jingga (Cahaya dengan Panjang Gelombang yang Panjang) dan Menghamburkan Warna yang Lebih Dingin (Cahaya dengan Panjang Gelombang yang Pendek). (Sumber: Ocean Explorer)

Sementara itu, mata ikan laut dalam diperkirakan dapat berfungsi hingga kedalaman 1000 meter. Namun demikian, mata ikan memiliki kemampuan adaptasi yang sangat baik dan barangkali 10 hingga 100 kali lebih sensitif daripada mata manusia. Di kedalaman lebih dari 1000 meter, ada beberapa biota laut yang memiliki fungsi penglihatan yang mampu mendeteksi bioluminesens (emisi atau pendar cahaya oleh organisme perairan).



Gambar 23. Pembagian Zona Berdasarkan Cahaya  
(Sumber: Koesoebiono, 1992)

Laut dalam gelap gulita, kecuali di bagian atas zona mesopelagik di mana pada waktu atau kondisi tertentu masih ada sedikit cahaya matahari. Karena wilayah perairan ini gelap sepanjang masa atau intensitas cahaya sangat rendah, fotosintesis tidak mungkin berlangsung. Bila di sini tampak adanya cahaya, maka cahaya ini dihasilkan oleh biota laut yang memiliki kemampuan bioluminensi.. Tiadanya cahaya mengakibatkan hewan laut dalam harus memiliki indra khusus untuk mendeteksi makanan dan lawan jenis bagi keperluan reproduksi, serta untuk mempertahankan bermacam asosiasi intra maupun inter spesies.

### Adaptasi Tubulik

Adaptasi lain pada ikan laut dalam adalah mata berbentuk pipa (tubular). Beberapa famili ikan memiliki mata berbentuk pipa sehingga bentuk ikan ini sangat aneh. Mata ikan ini berbentuk silinder pendek berwarna hitam dengan sebuah lensa tembus cahaya berbentuk setengah lingkaran di puncak silinder. Tiap mata mempunyai dua retina, yang satu di pangkal silinder dan yang satu lagi di dinding silinder. Rupanya retina di pangkal silinder berfungsi untuk melihat objek yang dekat, sedangkan yang

terdapat di dinding silinder untuk melihat objek yang jauh. Tidak diketahui sebabnya, mengapa mata seperti itu, yang jelas hanya terdapat pada ikan tertentu penghuni laut dalam.

Di antara berbagai jenis invertebrata laut, terdapat cumi-cumi dari famili *Histioteuthidae* yang memiliki suatu adaptasi yang aneh, yaitu sebuah matanya lebih besar daripada mata lainnya. Cumi-cumi dari famili ini juga memiliki banyak organ penghasil cahaya yang dinamakan organ photophor. Biasanya, di lingkungan perairan neritik dan oseanik, posisi cumi-cumi di dalam air adalah lengan-lengannya mengarah ke bawah, sedangkan mata yang besar mengarah vertikal ke atas dan mata yang kecil mengarah vertikal ke bawah (Gambar 24). Hipotesis yang berkembang hingga saat ini menyatakan bahwa adaptasi tubulik seperti itu berkaitan dengan respon terhadap cahaya, pakan alami dan predator pemangsanya. Dianggap bahwa mata yang besar “mengumpulkan” cahaya remang-remang dari arah permukaan laut, sedangkan mata yang lebih kecil mengadakan respon terhadap cahaya yang dihasilkan photophor. Jenis cumi lain yaitu *abraliopsis*, memperlihatkan respon terhadap cahaya yang datangnya dari arah permukaan laut berupa dihasilkannya cahaya oleh organ photophor cumi. Intensitas cahaya yang dihasilkan organ photophor cukup untuk mengimbangi intensitas cahaya yang datang dari arah permukaan laut. Dengan demikian, cumi ini tidak akan terlihat bila dilihat dari bawah karena intensitas cahaya yang dihasilkan organ photophor mencegah terbentuknya bayang-bayang hitam.



Gambar 24. Cumi - Cumi Laut Dalam  
(Sumber: Deep Sea and Ocean Explorer)

## Adaptasi Olfatorik terhadap Cahaya

Cahaya di laut dalam berasal dari dua sumber yaitu cahaya matahari dan organisme itu sendiri (bioluminisens). Iluminasi cahaya matahari (dan pantulan sinar bulan) hanya menembus beberapa kilometer dalam laut.

Bioluminisens merupakan bentuk adaptasi organisme untuk menghasilkan cahaya. Bioluminisens adalah emisi cahaya yang dihasilkan oleh makhluk hidup karena adanya reaksi kimia tertentu (Wikipedia). Terdapat beberapa fungsi bioluminisens bagi hewan antara lain:

### 1. Sebagai bentuk pertahanan diri

Setiap makhluk hidup yang mampu menghasilkan luminesensi untuk tujuan atau fungsi yang berbeda-beda. Sebagian makhluk hidup memanfaatkannya untuk pertahanan diri, seperti yang dilakukan kelompok dinoflagelata, ubur-ubur, dan beberapa jenis cumi-cumi yang berpendar untuk mengejutkan predator yang mendekatinya sehingga memberikan kesempatan kepadanya untuk melarikan diri dari predator. Beberapa jenis dekapoda, sefalopoda, dan ikan menggunakan pendaran untuk melakukan kamuflase dalam menghindari predator. Mekanisme pertahanan seperti ini disebut dengan penyamaran dengan sinar (kontrailuminasi) yang membuat suatu makhluk hidup tidak terlihat atau tersamarkan di antara sinar lain di lingkungan perairan. Pada spesies bintang ular laut, cacing laut, dan organisme bioluminisens di daratan, mereka memiliki mekanisme pertahanan yang disebut aposematisme, yaitu menghasilkan pendaran untuk menandakan bahwa makhluk tersebut memiliki toksik (beracun) atau tidak enak dimakan sehingga predator akan menghindarinya.

### 2. Predasi

Selain sebagai mekanisme pertahanan, bioluminisens pada makhluk hidup juga banyak dimanfaatkan untuk memburu mangsa (predasi), di antaranya adalah ikan angel dan hiu *Isistius brasiliensis* yang menggunakan luminesensi untuk menarik mangsa mendekat. Hiu *I. brasiliensis* memiliki bagian

bawah rahang yang berpendar dan tampak seperti siluet yang dihasilkan dari penyamaran dengan sinar, akibatnya cumi dan ikan akan mendekat karena mengira siluet tersebut merupakan penyamaran dari mangsa mereka. Setelah cumi atau ikan mendekati rahangnya, akan lebih mudah untuk hiu ini dalam menangkap makanannya. Hal serupa juga dilakukan oleh paus sperma (*Physeter macrocephalus*) yang secara intensif menghasilkan pendaran saat berburu mangsa di perairan laut dalam yang gelap. Mangsa yang berupa cumi-cumi akan datang mendekati bagian mulut paus sperma yang berpendar dan saat itulah paus ini menangkap mangsanya.

### 3. Sinyal kawin

Sejenis cacing di lautan Bermuda yang disebut *Odon-tosyllis enopla* juga menggunakan bioluminisens untuk menarik pasangannya. Cacing betina akan mengeluarkan lendir berpendar untuk menarik pejantan. Ketika cacing jantan datang, cacing betina akan mengeluarkan telur dan jantannya akan mengeluarkan sperma untuk melakukan fertilisasi.

## Adaptasi Panoramik (Warna Tubuh)

Kondisi lingkungan hidup laut dalam memaksa organisme penghuninya untuk mengadakan adaptasi. Karena penelitian terhadap hewan metazoa laut dalam yang masih hidup dan dalam kondisi alami sangat sulit dilakukan. Dewasa ini hanya sedikit bukti langsung yang diperoleh tentang fungsi berbagai adaptasi oleh hewan laut. Yang baru dapat dilakukan adalah menjabarkan fungsi berbagai adaptasi ini dari kondisi laut dalam yang telah diketahui. Dewasa ini juga baru sedikit yang diketahui tentang adaptasi fisiologi dan biokimiawi. Hanya dengan menyempurnakan kemampuan kita untuk menggunakan berbagai hewan laut dalam pada percobaan, pengetahuan tentang fungsi berbagai adaptasi akan bertambah.

Salah satu adaptasi yang dapat diamati pada biota mesopelagik adalah warna tubuh. Ikan mesopelagik khususnya cenderung berwarna abu-abu keperakan atau hitam kelam. Tidak terdapat

kontras warna seperti pada ikan epipelagik. Sebaliknya, invertebrata mesopelagik berwarna ungu atau merah cerah. Ubur-ubur mesopelagik misalnya, sering kali berwarna ungu kelam, sedang krustasea seperti kopepoda dan bermacam udang berwarna merah cerah. Karena organisme-organisme ini hidup dalam suasana gelap, organisme yang berwarna hitam tidak akan kelihatan. Adanya hewan yang berwarna merah cerah adalah karena warna merah adalah warna yang pertama diabsorpsi oleh air laut. Jadi, organisme yang berwarna merah juga akan tampak hitam di laut dalam.

Organisme yang hidup di zona abisal dan batial sering tidak berwarna atau berwarna putih kotor, dan tampaknya tidak berpigmen, khususnya hewan benthik. Bahkan, larva ikan sidat (*Leptocephalus*) yang berada di tengah laut berwarna bening sebagai bentuk adaptasi panormik agar tidak diketahui oleh predator pemangsanya. Adaptasi lain yang terutama tampak pada ikan penghuni zona mesopelagik dan batipelagik bagian atas adalah adanya sepasang mata yang besar. Jika dibandingkan dengan besarnya tubuh, ukuran mata ikan ini jauh lebih besar daripada ikan epipelagik. Secara umum ada korelasi antara ukuran mata yang besar dengan adanya organ penghasil cahaya (*photophor organ*). Ikan yang memiliki organ *photophor* berenang di bagian atas laut dalam di mana masih ada sedikit cahaya. Cukup banyak dari ikan ini yang mengadakan migrasi ke zona epipelagik pada malam hari. Mata yang besar memberikan kemampuan maksimum untuk mendeteksi cahaya di dalam perairan yang intensitas cahayanya rendah, dan mungkin diperlukan pula untuk dapat mendeteksi cahaya berintensitas rendah yang dihasilkan oleh organ penghasil cahaya. Pada ikan laut dalam, memperluas permukaan mata hanya merupakan salah satu bentuk adaptasi olfaktorik sesuai kebutuhan untuk dapat mengindera habitat gelap. Ikan ini juga memiliki penglihatan senja yang peka karena adanya pigmen rodopsin dan tingginya kepadatan batang retina.

Kecenderungan lain ditunjukkan oleh ikan penghuni bagian laut dalam yang terdalam (abisal pelagik dan hadal pelagik). Banyak ikan abisal pelagik dan hadal pelagik memiliki mata yang sangat

kecil atau bahkan tidak bermata, karena untuk hidup di lingkungan yang gelap gulita, mata tidak diperlukan. Pada umumnya ikan yang hidup di kedalaman kurang dari 2000 m mempunyai mata, kadang berukuran besar. Ikan yang menghuni kedalaman lebih dari 2000 m, matanya kecil atau bahkan tidak bermata. Untuk keperluan mengindera habitat dilakukan dengan mekanisme biolumenesensi. Uraian mengenai bagian ini akan disampaikan pada Bab berikutnya.

### **Adaptasi Hidrostatik**

Dari semua faktor lingkungan hidup laut dalam, yang menunjukkan kisaran terbesar adalah tekanan hidrostatik. Bertambahnya kedalaman tiap 10 meter akan mengakibatkan meningkatnya tekanan hidrostatik sebesar 1 atmosfer. Karena kedalaman laut dalam berkisar antara beberapa ratus meter sampai lebih dari 10000 meter (di palung tertentu), tekanan hidrostatik berkisar antara 20 sampai lebih dari 1000 atm. Sebagian besar laut dalam bertekanan hidrostatik antara 200 - 600 atm. Tidak ada habitat bahari lain selain laut dalam dimana kisaran tekanan hidrostatik demikian besarnya atau memegang peranan yang secara potensial sangat penting dalam distribusi (penyebaran) organisme.

Sangat disayangkan bahwa informasi tentang akibat langsung tekanan hidrostatik terhadap ekofisiologis biota laut dalam sangat terbatas. Hal ini terutama disebabkan oleh kenyataan bahwa biota laut dalam yang berhasil ditangkap, mati atau hampir mati sesampainya di kapal. Namun, kini telah dapat dibuat perangkap atau percobaan skala laboratorium, dimana tekanan hidrostatik dalam ruangnya dapat diatur, sehingga tekanan dalam ruang ini dapat dikendalikan pada suatu tekanan hidrostatik laut dalam tertentu. Dengan menggunakan perangkap atau percobaan laboratorium semacam ini, berbagai hewan metazoa telah dapat ditangkap dalam keadaan hidup. Beberapa hewan bahkan dapat dipertahankan hidup serta tumbuh, dan dengan demikian telah diperoleh informasi lebih banyak tentang dampak ekofisiologis dari tekanan hidrostatik.

Adanya pengaruh tekanan hidrostatik terhadap biota laut

dalam dapat disimpulkan dari beberapa percobaan terhadap suatu kelompok organisme bakteri laut dalam. Bakteri laut dalam berhenti tumbuh dan berkembang biak pada tekanan hidrostatik yang rendah dan aktif tumbuh dan berkembang biak pada tekanan hidrostatik yang tinggi, sama dengan tekanan hidrostatik dalam habitatnya. Keadaan ini menunjukkan bahwa pada organisme ini terdapat adaptasi khusus terhadap tekanan hidrostatik yang dapat mempengaruhi organisme. Karena secara anatomik dan fisiologik hewan metazoa jauh lebih kompleks dari bakteri, dapat diharapkan bahwa sistem fisiologik hewan multiselular laut dalam akan lebih bergantung pada tekanan hidrostatik bila dibandingkan dengan sistem fisiologik bakteri laut dalam.

Penelitian yang dilakukan oleh Laboratorium Prothogating Physiology Kagoshima University tentang sistem enzim dua jenis ikan katadromik yang secara taksonomik sangat berdekatan tetapi hidup di kedalaman yang berbeda, menunjukkan bahwa perbedaan tekanan hidrostatik sebesar 100 atm atau bahkan lebih kecil, dapat mengubah sifat fungsional enzim yaitu dapat mengubah kemampuan enzim untuk mengikat substrat yang tepat dan merubah kecepatan reaksi pengikatan ini. Perubahan seperti ini dapat dikatakan sama dengan perubahan aktivitas enzim akibat perubahan suhu. Hasil penelitian ini jelas menunjukkan bahwa tekanan hidrostatik memegang peran yang sangat penting dalam proses adaptasi terhadap lingkungan hidup laut dalam.

Berbagai penelitian terhadap bermacam sel, mulai dari sel protoplasma sampai mamalia, telah membuktikan bahwa tekanan sangat mempengaruhi morfologi sel, termasuk kemampuan membentuk kumparan mitotik dan melangsungkan mitosis. Koesoebiono (1992) menyebutkan bahwa amoeba cenderung kehilangan pseudopoda dan merubah bentuk menjadi suatu bola. Sedangkan Tetrahymena kehilangan kemampuannya untuk bergerak dengan menggunakan silia. Tekanan hidrostatik juga sangat berpengaruh terhadap proses fisiologik dan biokimia misalnya proses fisiologik otot tertentu. Pengaruh tekanan yang paling mencolok adalah terhadap berbagai molekul makro seperti protein. Dalam laboratorium, sintesis dan fungsi protein sangat dipengaruhi oleh

tekanan hidrostatik, dan biasanya pengaruhnya buruk. Karena protein dalam bentuk enzim dan bahan pembentuk utama sangat vital bagi organisme hidup, rupanya hewan laut dianugerahi kemampuan untuk mengadaptasikan struktur dan fungsi proteinnya secara khusus sehingga hewan ini dapat bertahan hidup.

Hasil penelitian tentang pengaruh tekanan hidrostatik terhadap hewan laut dangkal yang telah dilaksanakan pada kondisi laboratorium, serta hasil pengamatan akibat tekanan terhadap sel dan molekul makro (protein), dan bukti yang diperoleh melalui berbagai percobaan dengan menggunakan bermacam hewan laut dalam, merupakan indikasi kuat bahwa sistem fisiologi dan distribusi hewan laut dalam sangat dipengaruhi oleh tekanan hidrostatik perairan.

Mirip dengan efek temperatur yang lebih rendah terhadap fluiditas membran, tekanan hidrostatik yang lebih tinggi juga memiliki efek pada kerja enzim Na-K-ATPase pada membran sel, yaitu membuatnya lebih kental, atau kurang cairan, dibandingkan dengan membran di bawah tekanan hidrostatik yang lebih rendah. Mekanisme ini dapat memiliki efek yang sangat mengganggu bagi fungsi membran lipid sel, mempengaruhi proses enzimatik, seperti sinyal trans-membran, dan aktivitas membran lainnya yang berasosiasi dengan protein (Siebenaller dan Garrett, 2002). Fluiditas membran umumnya dikendalikan oleh jumlah relatif dari asam lemak jenuh dan tak jenuh yang membentuk lapisan ganda lipid. Sejumlah besar asam lemak jenuh akan menurunkan fluiditas, dengan memungkinkan untuk berasosiasi dengan rantai lemak yang terdekat, sementara peningkatan asam lemak tak jenuh akan menyebabkan jumlah fluiditas yang lebih tinggi, karena adanya ikatan ganda sepanjang rantai asam lemak.

Untuk melawan efek tekanan hidrostatik pada membran, maka jumlah asam lemak tak jenuh dipacu konsentrasinya agar lebih besar pada membran sel organisme laut dalam. Djoko Soedarmo dan Anggoro (1991) menyatakan, bahwa pada biota luminesens yang menghuni laut dalam persentase asam tak jenuh tunggal ditemukan lebih besar dibanding biota yang menghuni laut dangkal, namun persentase asam lemak tak jenuh ganda

menunjukkan tidak ada perbedaan antara biota laut dangkal dan biota laut dalam.

### **Adaptasi Enzimatik**

Tekanan tinggi telah terbukti mengubah afinitas enzim dan laju reaksi enzimatik. Namun, efek pada laju reaksi adalah ganda: tergantung pada reaksi enzimatik, tekanan dapat menghambat atau meningkatkan reaksi, berdasarkan karakteristik reaksi. Secara khusus, jika ada perubahan volume positif antara substrat dan produk akhir, atau jika reaksi terganggu karena lingkungan sekitar, tekanan tinggi akan memiliki efek penghambatan pada reaksi.

Proses enzimatik yang biasanya terganggu oleh tekanan, terutama ligan (substrat, kofaktor, dan modulator). Seperti dalam kasus lipoprotein enzim Na-K-ATPase, respon dari enzim terlarut seperti laktat dehidrogenase (LDH) dan malat dehidrogenase (MDH) terhadap tekanan berbeda secara adaptif antara spesies yang ditemukan pada kedalaman yang berbeda. Substrat enzim dan interaksi kofaktor enzim, yang digambarkan dengan konstanta Michaelis-Menten ( $K_m$ ) menunjukkan bahwa sebagian besar tidak sensitif terhadap tekanan antara 1 atm dan 476 atm untuk LDHs dan MDHs dalam tubuh ikan laut dalam dan invertebrata. Sebaliknya, homolog LDHs dan MDHs pada organisme di perairan dangkal sangat peka terhadap tekanan hidrostatik. Sebaliknya, ketika perubahan volume negatif yang dialami, tekanan hidrostatik tinggi akan memiliki efek rangsangan pada reaksi biokimiawi. Berkenaan dengan afinitas enzim untuk substrat, tekanan hidrostatik tinggi telah terbukti memisahkan multimers protein yang berikatan dengan ikatan noncovalent, akibatnya, tekanan hidrostatik tinggi akan menyebabkan denaturasi protein multimerik dan enzim, serta menghambat afinitasnya untuk substrat.

Untuk melawan efek dari tekanan hidrostatik pada enzim, organisme laut dalam dapat menunjukkan adaptasi terhadap kinetika reaksi enzimatik, atau untuk struktur enzim itu sendiri. Pada dasarnya, setiap adaptasi merupakan adaptasi pada struktur

enzim, dimana struktur menentukan fungsi. Misalnya, adaptasi terhadap kinetika melibatkan perubahan pada afinitas enzim pada substratnya sehingga tekanan hidrostatik tinggi tidak akan mempengaruhi keseluruhan reaksi biokimiawi sistem penglihatan.

Salah satu adaptasi enzimatik, misalnya luciferase, pada organisme laut dalam adalah penggunaan monomer enzim, bukan multimerik hormonal, yaitu, enzim terdiri dari unit polipeptida tunggal. Adaptasi lain ialah perubahan dalam ikatan noncovalent antar bagian dari polipeptida. Substitusi untuk berbagai asam amino dengan yang lainnya dapat mengubah kekuatan ikatan noncovalent, dengan ikatan kuat yang cocok pada lingkungan bertekanan hidrostatik tinggi sehingga dapat menghasilkan pendar cahaya (Soedarmo dan Anggoro, 1991)

### **Adaptasi Thermik**

Daerah dimana suhu cepat berubah dengan berubahnya kedalaman laut adalah suatu lapisan peralihan yang terletak antara massa air permukaan dengan massa air laut dalam. Daerah peralihan dengan gradien temperatur cukup tinggi ini dinamakan lapisan Termoklin (*Mid Scattering Layer*). Tebal termoklin berkisar antara beberapa ratus meter sampai hampir satu kilometer.

Di bawah daerah termoklin massa air lebih dingin dan jauh lebih homogen dibandingkan dengan massa air termoklin dan massa air di atas daerah termoklin. Semakin dalam, suhu semakin turun, tetapi laju perubahannya jauh lebih lambat daripada laju perubahan suhu pada daerah termoklin. Kedalaman melebihi 3000-4000 m, massa air dapat dikatakan isothermal.

Dilihat dari sudut ekologi yang penting adalah suhu tidak berubah dalam jangka waktu yang panjang. Tidak didapatkan perubahan suhu musiman maupun tahunan. Mungkin tidak ada habitat lain di bumi seperti di laut dalam dimana suhu demikian konstan.

Terkait dengan kemampuan adaptasi biota laut terhadap suhu media hidup, dapat dikelompokkan menjadi dua tipe. Pertama, biota laut yang memiliki kemampuan yang tinggi

melakukan adaptasi termik (temperatur) disebut Eurithermik atau eurythermal. Kedua, biota laut yang kemampuan adaptasinya terbatas terhadap perubahan temperatur perairan, dikenal sebagai biota Stenothermik atau stenothermal. Biota stenothermik dapat dibedakan menjadi dua golongan, yaitu: (a) biota polithermik, yang menyenangi hidup pada perairan dengan temperatur tinggi (misalnya, biota yang hidup di perairan yang mendapat limbah bahang PLTU, atau yang berada di dalam kawah gunung berapi bawah laut), (b) biota Oligothermik, yaitu biota yang menyenangi hidup di dalam perairan dengan temperatur rendah (misalnya, biota laut yang hidup di kutub Utara atau Kutub Selatan).

### **Adaptasi Respiratorik**

Terkait dengan kemampuan biota laut dalam merespon ketersediaan oksigen terlarut di alam, dikenal dua tipe. Pertama, biota laut Respiroregulator yang mempunyai kemampuan mengatur respirasi dan tingkat konsumsi oksigen sesuai ketersediaan oksigen di dalam perairan. Kedua, biota laut Respirokonformer yang kemampuannya terbatas dalam mengatur respirasi dan tingkat konsumsi oksigen. Biota tipe respirokonformer memiliki kemampuan distribusi lebih luas dari pada Respirokonformer, baik menyebar secara horizontal maupun secara vertikal (berbagai kedalaman perairan).

Oksigen yang terdapat dalam massa air laut dalam masuk ketika massa air ini masih merupakan suatu massa air permukaan. Hampir seluruh massa air laut dalam berasal dari permukaan laut Arktika dan Antartika. Di sini massa air permukaan yang dingin tetapi kaya akan oksigen tenggelam dan kemudian mengalir ke arah utara dan selatan untuk menjadi bagian dari massa air laut dalam. Respirasi organisme laut dalam dan tidak adanya penambahan oksigen setelah massa air permukaan tenggelam, tidak menyebabkan kadar oksigen sangat menurun. Hal ini disebabkan kepadatan organisme laut dalam sangat rendah dan dengan demikian kebutuhan akan oksigen juga sangat rendah sehingga kadar oksigen laut dalam tidak sangat menurun. Terbukti bahwa

kadar oksigen menurun sekitar 20 m di atas dasar laut dalam dan di dekat dasar kepadatan organisme laut dalam paling tinggi.

Hal yang aneh pada kadar oksigen di laut dalam adalah adanya suatu zona oksigen minimum yang terletak antara kedalaman 500 - 1000 m. Di bawah maupun di atas zona ini, kadar oksigen lebih tinggi. Dalam zona oksigen minimum, kadar oksigen mungkin kurang dari 0,5 ml/liter. Adanya zona ini terutama disebabkan oleh respirasi organisme yang sejalan dengan tiadanya pertukaran massa air zona oksigen minimum ini dengan massa air yang kaya akan oksigen. Terjadinya zona oksigen minimum di kedalaman antara 500 dan 1000 m dan bukan di kedalaman yang lebih dalam adalah karena di kedalaman melebihi 1000 m kepadatan organisme demikian rendahnya sehingga kadar oksigen disini tidak nyata menurun. Sebaliknya di kedalaman antara 500 - 1000 m, kepadatan organisme tinggi. Di kedalaman kurang dari 500 m, kadar oksigen cukup tinggi sekalipun biomassa organisme tinggi, karena adanya cadangan oksigen dari atmosfer serta dari hasil fotosintesis tumbuhan dan distribusi vertikal lewat konveksi termohalin.

Berkurangnya sediaan oksigen terlarut di lingkungan laut dalam, mengharuskan organisme yang hidup di sana untuk mengembangkan pola adaptasi respiratorik agar lebih efektif menyerap  $O_2$  dan menggunakannya. Lewat regulasi respiratorik, organisme laut dalam akan mengurangi aliran darah ke organ pernafasan dan menurunkan denyut jantung, sebagai bagian dari refleksi mereka guna mengurangi kebutuhan metabolik dan bisa menghemat oksigen. Beberapa organisme laut dalam yang telah ditemukan menunjukkan respons yang sama, yaitu menunjukkan tingkat konsumsi oksigen yang sangat rendah, khususnya mid-water krustasea, scavenging amphipods raksasa, ikan bentopelagis dan mikroba (Shirayama, 1992.). Penjelasannya, biota laut dalam tersebut melakukan adaptasi respirokonformik untuk merespon sediaan oksigen yang rendah di habitatnya. Di sisi lain, beberapa spesies bentik laut dalam dan perairan dangkal menunjukkan tidak ada perbedaan dalam tingkat metabolisme (ditemukan pada beberapa binatang berkulit lunak dan megafauna *hidrotermal*

vent). Simpulan yang dapat ditarik, pola adaptasi respirasi dalam lingkungan bertekanan hidrostatik tinggi terkait erat dengan adaptasi enzimatik yang meningkatkan efisiensi transportasi dan tingkat konsumsi oksigen.

### **Adaptasi Trofo-phagik**

Trofophagik adalah tingkatan atau potensi pakan alami yang tersedia bagi biota laut. Terkait dengan kemampuan biota laut dalam merespon ketersediaan pakan alami di dalam perairan, dikenal dua tipe. Pertama, biota laut Euryphagic yang mempunyai kemampuan memanfaatkan pakan alami berbagai jenis dan berbagai ukuran sesuai ketersediaan pakan alami di dalam perairan. Kedua, biota laut tipe Stenophagic yang kemampuannya terbatas dalam memanfaatkan pakan alami yang tersedia di alam. Biota stenophagic terdiri dari dua tipe, yaitu: (a) poliphagic, yaitu biota yang tabiat makannya menyenangi pakan alami yang berukuran besar, (b) oligophagic, yaitu biota laut yang tabiat makannya menyenangi pakan alami yang berukuran kecil atau renik (plankton). Biota tipe euryphagic memiliki kemampuan distribusi lebih luas dari pada stenophagic, baik menyebar secara horizontal maupun secara vertikal (berbagai kedalaman perairan).

Laut dalam jauh dari zona fotosintetik dan di dalamnya tidak berlangsung produksi primer, kecuali daerah tertentu yang terdapat bakteri kemosintetik. Dengan demikian semua organisme penghuni laut dalam pada akhirnya bergantung pada pakan yang diproduksi di tempat lain di mana dapat berlangsung fotosintesis. Pakan ini kemudian diangkut atau terangkut ke laut dalam. Dengan demikian, laut dalam merupakan ekosistem bumi yang unik karena laut dalam tidak memiliki lokasi dimana produksi primer dapat berlangsung.

Bahan yang secara potensial dapat digunakan sebagai pakan sampai di laut dalam karena tenggelam dari massa air permukaan. Karena populasi organisme di lapisan atas laut dalam sangat padat, sangat kecil kemungkinan bahwa masih ada pakan yang tenggelam hingga mencapai dasar laut dalam. Langkanya pakan alami di

laut dalam barngkali merupakan penyebab rendahnya kepadatan organisme penghuni laut dalam. Tanpa adanya materi dan energi dalam jumlah besar yang berasal dari pakan alami yang tenggelam atau didistribusikan dari lapisan atas, tidak mungkin sejumlah besar biota dapat bertahan hidup di dasar laut dalam.

Peluang suatu zarah pakan akan mengalami pembusukan atau dimakan oleh suatu organisme selama tenggelam semakin besar dengan semakin jauhnya jarak tenggelam zarah tersebut. Dengan demikian semakin dalam suatu organisme hidup, semakin sedikit pakan yang tersedia.

Mungkin sebagian besar zarah yang tenggelam dari zona eufotik ke laut dalam bukanlah berupa bahan yang langsung dapat digunakan sebagai pakan alami, tetapi, misalnya berupa pelet tinja atau kulit krustasea yang lepas pada waktu ganti kulit. Kebanyakan organisme tidak dapat mencerna kitin yang merupakan bagian dari kulit krustasea, tetapi bahan ini sesampainya di dasar laut dalam akan diserap oleh bakteri dan kemudian diubah menjadi pakan dalam bentuk protoplasma bakteri. Karena zarah ini lebih lama tinggal di dasar laut dalam daripada dalam kolom air, maka bakteri pada sedimen dasar laut dalam melimpah dan merupakan pakan bagi bermacam organisme yang lebih besar. Bahkan, kelimpahan organisme pemakan bakteri ini mungkin lebih besar daripada kepadatan organisme pelagik di kedalaman yang sama. Melimpahnya organisme pemakan bakteri menyebabkan berkurangnya kadar oksigen di daerah dasar laut dalam.

Banyaknya pakan yang tersedia di laut dalam bergantung pada besarnya produksi primer di zona eufotik di perairan permukaan atau jarak dari suatu sumber sekunder seperti serasah organik yang berasal dari habitat terestrial. Pakan yang tersedia di laut dalam yang terletak di bawah massa air permukaan yang produktif atau di dekat daratan, jauh lebih banyak daripada yang tersedia di laut dalam di bawah massa air permukaan yang tidak produktif atau jauh dari daratan.

Di laut dalam terdapat berbagai jenis sumber pakan. Materi yang langsung dapat dimanfaatkan sebagai pakan adalah bermacam organisme laut dalam yang menghabiskan masa awal

hidupnya atau stadium larvanya di zona fotik untuk kemudian bermigrasi ke laut dalam dimana ia akan menjadi mangsa para predator. Jenis sumber pakan lain yang juga langsung dapat dimanfaatkan adalah fragmen mamalia bahari dan ikan mati yang tenggelam ke laut dalam dan sampai disana sebelum dimakan seluruhnya oleh organisme penghuni zona perairan di atas laut dalam. Jenis pakan ini sulit diprediksi tersedianya di laut dalam, tetapi Isaacs dan Hessler dari Scripps Institution of Oceanography membuktikan bahwa bila jenis pakan ini tersedia, organisme laut dalam dapat mendeteksinya dengan cepat dan para konsumen jenis pakan ini bahkan datang dari jarak yang jauh. Bukti - bukti diperoleh dengan percobaan berupa penempatan umpan di dasar laut dalam dan dikaji respon biota terhadap umpan tersebut.

Sumber pakan yang tidak dapat dimanfaatkan secara langsung, tetapi baru dapat dimanfaatkan setelah diuraikan oleh bakteri antara lain sisa tubuh hewan dan tumbuhan yang tidak dapat dicernakan. Misalnya kitin, kayu dan selulosa. Sumber pakan lain yang potensial adalah bahan organik yang larut atau berbentuk koloid dan bahan yang berasal dari plankton dan berbentuk gelatin. Dengan demikian, stok pakan alami sangat langka di laut dalam bila dibandingkan dengan habitat lain. Di kedalaman yang sangat dalam, pakan semakin langka. Kelangkaan pakan ini merupakan penyebab rendahnya kepadatan organisme di dasar laut dalam. Dilihat dari cara makannya, fauna laut dalam dikelompokkan dalam empat kategori :

1. Predator yang memakan hewan lainnya seperti ikan, udang, kepiting, gurita, dan cumi-cumi.
2. *Deposit-feeder* dan *scavenger* yang memakan endapan (partikel sedimen) dan bangkai. Misalnya Echinodermata (teripang, bintang laut), siput, cacing laut. Hewan tersebut merupakan “pembersih” laut karena mempercepat proses penguraian bangkai hewan laut maupun sampah di laut.
3. Hewan penyaring air (*filter-feeder*). Partikel atau makanan larut air akan tertahan pada sistem penyaring, kemudian diteruskan ke pencernaan. Contohnya adalah kerang (*Bivalvia*) dan Pogonophora (hewan dalam tabung).

4. Parasit. Namun, belum banyak diketahui parasit hewan laut-dalam ini. Salah satu contoh adalah siput dari famili Eulimidae yang hidup menumpang pada Echinodermata (teripang).

Langkanya sediaan pakan alami (phagik) di perairan laut dalam mengakibatkan terdapatnya beberapa pola adaptasi morfologik. Kebanyakan ikan laut dalam mempunyai mulut yang besar, relatif lebih besar daripada ukuran tubuhnya, dibandingkan dengan ikan penghuni habitat bahari lainnya. Dalam mulutnya terdapat gigi yang panjang dan melengkung ke arah tenggorokan sehingga menjamin bahwa apa yang tertangkap tidak akan keluar lagi. Lebih aneh lagi mulut ini dihubungkan dengan tengkorak oleh suatu engsel yang memungkinkan ikan membuka mulut sangat lebar, bahkan jauh lebih lebar dari tubuhnya, sehingga memungkinkan menelan mangsa yang lebih besar dari tubuhnya. Kemampuan untuk mencengkeram dan menelan pakan yang berukuran lebih besar dari tubuhnya merupakan suatu adaptasi dari ikan laut dalam terhadap langkanya pakan.

Respon lain terhadap langkanya pakan ditunjukkan antara lain oleh ikan pemancing (Ceratoidea) yang menjadikan dirinya suatu perangkap dengan menggunakan suatu bagian dari sirip dorsal yang telah mengalami modifikasi sebagai umpan. Pada ikan pemancing, umpan berbentuk suatu organ penghasil cahaya. Umpan-umpan seperti ini terdapat pada banyak ikan laut dalam. Misalnya pada ikan stomiatoid terdapat benang-benang peraba yang berpangkal pada dagu

Langkanya pakan yang mengakibatkan sangat rendahnya kepadatan organisme menimbulkan masalah sulitnya memperoleh pasangan dari jenis kelamin yang berbeda bagi keperluan reproduksi dalam habitat yang sangat luas dan gelap gulita ini. Salah satu adaptasi phagik tampak pada ikan pemancing, Ceratias. Pada ikan ini yang betina berukuran jauh lebih besar daripada yang jantan. Ceratias jantan sangat kecil dan hidup menempel pada betina sebagai parasit, sehingga yang jantan selalu ada untuk menyediakan sperma dan yang betina tidak perlu mencarinya. Sudah tentu Ceratias jantan harus dapat menemukan yang betina, dan kemudian menempel di tubuhnya. Dianggap bahwa Ceratias

jantan dapat menemukan betinanya melalui indra olfaktorik.

Ukuran tubuh organisme laut dalam merupakan suatu paradoks. Karena pakan sangat langka, dapat diharapkan bahwa organisme dan ikan laut dalam berukuran kecil. Kebanyakan ikan laut dalam yang berhasil ditangkap memang berukuran kecil, juga bila dibandingkan dengan kerabat mereka dari perairan bahari yang dangkal, sekalipun beberapa ikan besar berhasil diambil fotonya dengan menggunakan kamera bawah permukaan air yang diberi umpan.

Sebaliknya kelompok invertebrata tertentu, khususnya amfipoda, isopoda, ostrakoda, misid dan copepoda berukuran jauh lebih besar daripada kerabat mereka yang hidup pada perairan laut dangkal. Keadaan dimana ukuran membesar dengan meningkatnya kedalaman dikenal dengan istilah gigantisme abisal. Ukuran yang dapat dicapai “raksasa abisal” ini benar-benar mengagumkan. *Bathynomus giganteus*, suatu isopoda panjangnya 42 cm, sedangkan *Alicella gigantea*, suatu amfipoda dapat mencapai panjang 15 cm. Penampang tubuh ostrakoda raksasa dari genus *Gigantocypris* yang menghuni perairan mesopelagik berdiameter beberapa sentimeter. *Gaudia princeps*, suatu Copepoda, panjangnya 10 mm, atau hampir sepuluh kali *Copepoda kalanoid*.

Terdapat dua teori utama tentang gigantisme abisal ini, sekalipun belum ada kesepakatan di antara para ilmuwan tentang faktor penyebabnya. Teori pertama, mengatakan bahwa tekanan hidrostatik yang tinggi mengakibatkan kelainan pada metabolisme biota akuatik. Teori kedua beranggapan bahwa ada tekanan yang menghambat sekaligus memacu pertumbuhan secara lambat pada biota tersebut di atas. Laju pertumbuhan yang lambat ini tidak hanya akan memperpanjang waktu pencapaian tingkat dewasa seksual, tetapi juga memperpanjang jangka waktu dimana hewan mencapai tingkat dewasa seksual, sehingga tercapai suatu ukuran yang besar. Perwujudan ekstrem dari kombinasi ini adalah seekor hewan abisal berukuran raksasa.

Ukuran besar yang dapat dicapai biota tertentu kemungkinan juga merupakan hasil seleksi alamiah. Besarnya ukuran, panjangnya jangka waktu hidup dan tertundanya tingkat dewasa seksual

merupakan hal yang menguntungkan bagi organisme laut dalam. Keuntungannya, antara lain, telur yang dihasilkan besar serta daya tetas dan sintasan hidup larvanya lebih terjamin. Demikian pula anak-anak yang ditetaskan berukuran besar, sehingga dapat memanfaatkan pakan alami dari berbagai jenis dan ukuran. Biota berukuran besar juga lebih kuat serta mampu menjelajahi wilayah yang luas, yang memberi kemudahan dalam mencari pasangan bagi keperluan reproduksi dan memperoleh pakan alami. Jangka hidup yang panjang berarti bahwa periode dewasa seksual juga panjang, sehingga cukup waktu untuk mencari pasangan hidup untuk keperluan reproduksi.

Kebanyakan infauna bentik laut dalam (cacing polikaeta, krustasea dan molusca) berukuran jauh lebih kecil dari kerabatnya yang hidup sebagai infauna dasar laut yang dangkal. Ukuran invertebrata bentik yang sangat kecil inilah merupakan ciri utama yang sebenarnya dari fauna laut dalam, bukan gigantisme. Mengingat luasnya laut dalam, maka diharapkan adanya hewan berukuran raksasa. Ini pun didapat di laut yang dangkal, misalnya kerang raksasa (kima, *Tridacna* sp) yang hidup di terumbu karang.

Pada umumnya dasar laut dalam terdiri dari sedimen yang sangat halus. Organisme yang hidup di dasar laut dalam cenderung bertubuh lembut dan rapuh, memiliki kaki panjang atau pada hewan sesil memiliki anggota tubuh tertentu yang penjang dan memungkinkan hewan ini dapat mengangkat tubuhnya di atas permukaan sedimen lunak. Terdapat pula ikan laut dalam yang memiliki sirip panjang dan sempit, yang juga berfungsi untuk mengangkat tubuhnya bergerak di atas permukaan sedimen lunak.

### **Adaptasi Morfologis**

Beberapa jenis ikan penghuni laut dalam umumnya berwarna monokrom atau bahkan albino, karena pigmen mereka tidak tersentuh sinar matahari. Sinar matahari tidak mampu menembus lapisan laut sampai kedalaman 650 m atau lebih. Dengan absennya sinar matahari, maka daur ekologi tidak lagi berlaku dengan absennya produsen. Makhluk di laut dalam hanya mengandalkan

“remah-remah” dari lapisan di atasnya.

Karena minim cahaya dan stok makanan, maka makhluk di “alam” ini mengembangkan evolusi mereka sebagai predator pasif. Mereka hanya menunggu dengan diam lama. Jumlah populasi juga tidak banyak karena akan makin memperketat kompetisi memperoleh makanan. Kondisi itu juga menyebabkan mereka mengembangkan kemampuan hermafrodit untuk berkembang biak. Bentuk adaptasi fisiologis lain adalah organisme laut dalam mempunyai kapasitas untuk mengolah energi yang jauh lebih efektif dari makhluk hidup di darat dan zona laut atas. Mereka bisa mendaur energinya sendiri dan menentukan seberapa banyak energi yang akan terpakai dengan stok makanan yang didapat.

Evolusi morfologis biasanya terbagi menjadi dua. Satu pihak mengembangkan kemampuan predasinya. Mereka biasanya akan memangsa apa saja tanpa diet tertentu. Secara morfologis, senjata pembunuh seperti rahang, tengkorak dan dimensi mulut mengalami perubahan. Ciri umum adalah mulut yang melebar, rahang yang kuat dan gigi-gigi tajam. Mereka harus seoptimal mungkin mencari mangsa yang jarang di laut dalam. Praktek kanibalisme juga sering terjadi di beberapa spesies. Sementara evolusi morfologis lain justru kebalikannya. Untuk spesies non ikan seperti moluska dan sebangsanya akan adaptif untuk memakan mikroorganisme yang ada. Kelompok ini sulit bersaing dengan ikan yang ganas. Sebagai senjata untuk mempertahankan diri terhadap serangan hewan pemangsa, biota ini dibekali kemampuan berkamuflase menyesuaikan diri dengan kondisi setempat.

### **Adaptasi Osmotik**

Ditinjau dari aspek ekofisiologi, organisme air dapat dibagi menjadi dua kategori sehubungan dengan mekanisme *faalinya* dalam menghadapi adaptasi osmotik media (Anggoro dan Nakamura, 1996) :

Tipe pertama, Osmokonformer, adalah organisme yang secara osmotik labil, karena tidak mempunyai kemampuan mengatur kandungan garam serta osmolaritas di dalam cairan internalnya.

Oleh sebab itu, osmolaritas cairan tubuhnya selalau berubah dan menyesuaikan kondisi osmolaritas media hidupnya;

Tipe kedua, Osmoregulator, adalah organisme yang mempunyai mekanisme *faali* untuk menjaga kemantapan *millieu interieur*-nya dengan cara mengatur osmolaritas (kandungan garam dan air) pada cairan internalnya.

Sesuai dengan respons osmotiknya, udang laut termasuk tipe osmoregulator. Kemampuan osmoregulasinya sangat bergantung kepada stadia hidup (tingkat perkembangan organ) serta tingkat salinitas medianya (Anggoro dan Nakamura, 1996).

Osmoregulasi adalah suatu sistem homeostasis pada udang untuk menjaga kemantapan *millieu interieur*-nya dengan mengatur keseimbangan konsentrasi osmotik antara cairan intrasel dengan cairan ekstraselnya. Mekanisme osmoregulasi tersebut dapat terjadi lewat dua aktivitas (Potts dan Parry, 1963). Pertama, dengan mempertahankan kemantapan osmolaritas cairan ekstrasel tanpa harus isosmotik terhadap salinitas media. Kedua, menjaga kemantapan cairan intrasel agar tetap isosmotik dengan cairan ekstraselnya. Kedua aktivitas tersebut dilakukan dengan cara mengatur volume air di dalam cairan ekstrasel serta mengatur pertukaran ion antara cairan intrasel dengan cairan ekstrasel. Komponen yang terlibat dalam osmoregulasi adalah : (1) kendali hormonal (organ X/kelenjar sinus dan organ pericardial), (2) protein pada membran sel, yang berperan sebagai sistem pompa ion, pengemban (*carrier*) dan biokatalisator (enzim, Na-K ATPase), serta energi (ATP) untuk pengangkutan aktif. Adapun organ-organ tubuh yang ikut berperan sebagai tempat berlangsungnya osmoregulasi adalah : insang, saluran pencernaan, integumen (kulit) dan organ ekskresi pada kelenjar antena. Khusus stadia telur dan awal larva, dengan organ sekresi belum berkembang atau belum berfungsi sempurna, peran endokrin (hormon) digantikan oleh ektoderm dan seperangkat enzim, baik oleh enzim yang terikat pada membran atau organel maupun enzim yang terdapat pada sitoplasma (Anggoro dan Nakamura, 1996).

Daur hidup udang windu di alam (Gambar 25) menunjukkan bahwa stadia dewasa (induk), telur dan larva awal merupakan

penghuni laut dengan media bersalinitas relatif tinggi (*polihalin*). Pada stadia itu, udang berada di dalam lingkungan media dengan osmolaritas mantap yang mendekati isosmotik dengan cairan internalnya. Sebaliknya pada fase estuaria, yaitu stadia *pasca larva* serta pra-dewasa, media hidup udang berada pada kondisi yang berubah osmolaritasnya sebagai akibat tidak stabilnya salinitas di estuaria. Agar dapat hidup dan tumbuh dengan layak pada kedua tipe lingkungan tersebut, cairan tubuh udang perlu dijaga dan dipertahankan baik konsentrasi ion maupun osmolaritasnya. Udang yang dipelihara di media buatan mempunyai masalah, karena osmolaritas media hidupnya belum tentu sesuai dengan osmolaritas cairan tubuhnya. Untuk mengatasi permasalahan osmotik tersebut, udang dituntut untuk menjaga keseimbangan osmotik, dengan cara mempertahankan kemantapan osmolaritas cairan internal melalui mekanisme osmoregulasi..

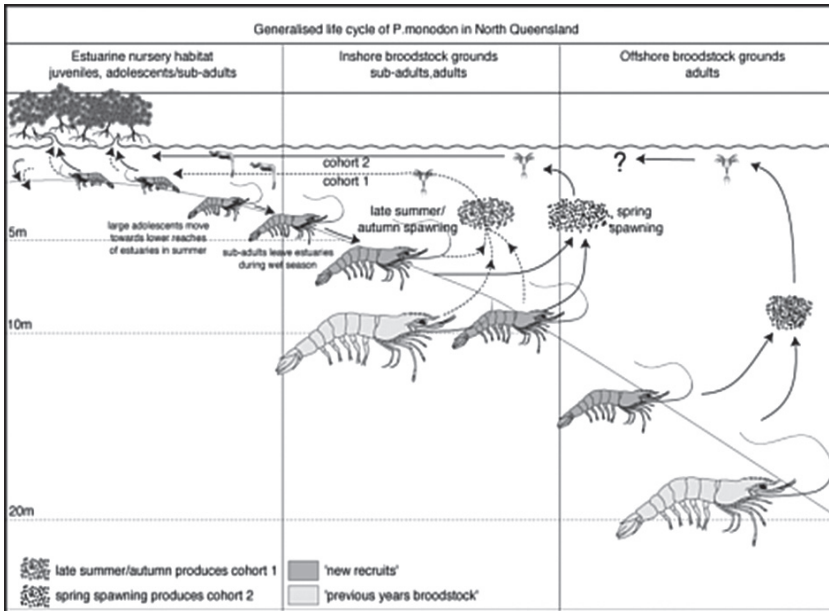
Pada kondisi lingkungan yang hipertonik, cairan tubuh udang bersifat hipoosmotik terhadap media hidupnya. Oleh karena itu, air dari cairan tubuh cenderung untuk bergerak ke luar secara osmosis melalui saluran pencernaan, insang dan kulit (*Mantel dan Farmer, 1983*). Dalam kondisi seperti itu, udang akan berusaha mempertahankan osmolaritas cairan tubuh dengan cara agar cairan internal tidak keluar dari selnya serta mencegah agar cairan urin tidak lebih pekat dari hemolinfe-nya. Untuk keperluan itu, udang mengekstrak  $N_2O$  dari mediana, dengan cara minum air atau memasukkan air lewat insang dan kulit (pada saat ganti kulit). Di dalam saluran pencernaan, air dan ion terlarut itu diabsorpsi. Kelebihan ion, terutama  $Na^+$  dan  $Cl^-$ , yang diambil oleh hemolinfe akan dikeluarkan oleh insang melalui sel-sel epitel (*salt secreting epithelium*), sehingga diperoleh air bebas ion untuk pembentukan urin dan keseimbangan osmotik cairan tubuh udang. Pengaturan keseimbangan ion tersebut dilakukan dengan cara pengangkutan aktif. Untuk keperluan itu diperlukan sejumlah energi yang berasal dari simpanan ATP (*Adenosin Tri-fosfat*). Pada kondisi lingkungan yang hipotonik, cairan tubuh udang bersifat hiperosmotik terhadap media eksternalnya. Dalam kondisi seperti itu, air dari media eksternal cenderung untuk menembus masuk ke dalam bagian

tubuh yang berlapis tipis, antara lain insang, usus dan kulit (pada saat ganti kulit). Ion-ion cenderung berdifusi ke luar tubuh dan cairan internal akan terancam kekurangan ion melalui ekskresi. Untuk mengatasi hal itu, udang akan berusaha mempertahankan kemantapan osmolaritas cairan tubuh dengan mekanisme regulasi hiperosmotik, yaitu dengan cara :

- (1) Meningkatkan absorpsi ion (garam) dari media eksternal melalui insang dan usus,
- (2) Menghasilkan urin yang hipoosmotik melalui organ ekskresi (kelenjar antena) (Gilles dan Pequeux, 1983; Anggoro dkk, 2018).

Dalam hal ini alat ekskresi berfungsi sebagai “pompa air”, sehingga kelebihan volume air di dalam cairan ekstrasel dapat dikeluarkan melalui urin yang hiposmotik.

Salinitas berperan pada peningkatan atau penurunan oksigen terlarut dan gas-gas lainnya dalam air. Pada salinitas yang lebih tinggi, daya larut oksigen dalam air semakin rendah, satuan volume air menjadi lebih berat, gravitasi spesifik lebih tinggi dan sifat mengapung yang lebih besar. Kira-kira 5,3 ml O<sub>2</sub> dapat terlarut dalam satu liter air tawar pada temperatur 30°C, tetapi pada salinitas 30-32 promil dengan volume yang sama hanya 4,4 ml O<sub>2</sub> yang terlarut (Anggoro, 1992). Salinitas mempengaruhi laju konsumsi oksigen pada udang. Pada *Penaeus monodon*, laju konsumsi oksigen minimum jika salinitas berada pada kondisi isosmotik. Perubahan salinitas akan menimbulkan bervariasinya tingkat kerja osmotis antara cairan tubuh dengan lingkungannya, serta menyebabkan perubahan laju konsumsi oksigen. Pada udang air tawar (*Macrobrachium rosenbergii*) dan beberapa spesies air payau menunjukkan pengaturan hiperosmotis, yaitu mempertahankan konsentrasi garam-garam hemolim yang lebih tinggi dari medium lingkungannya, sedangkan pengaturan hiposmotis terdapat pada udang yang hidup di air laut dan danau bergaram (Waterman, 1960).



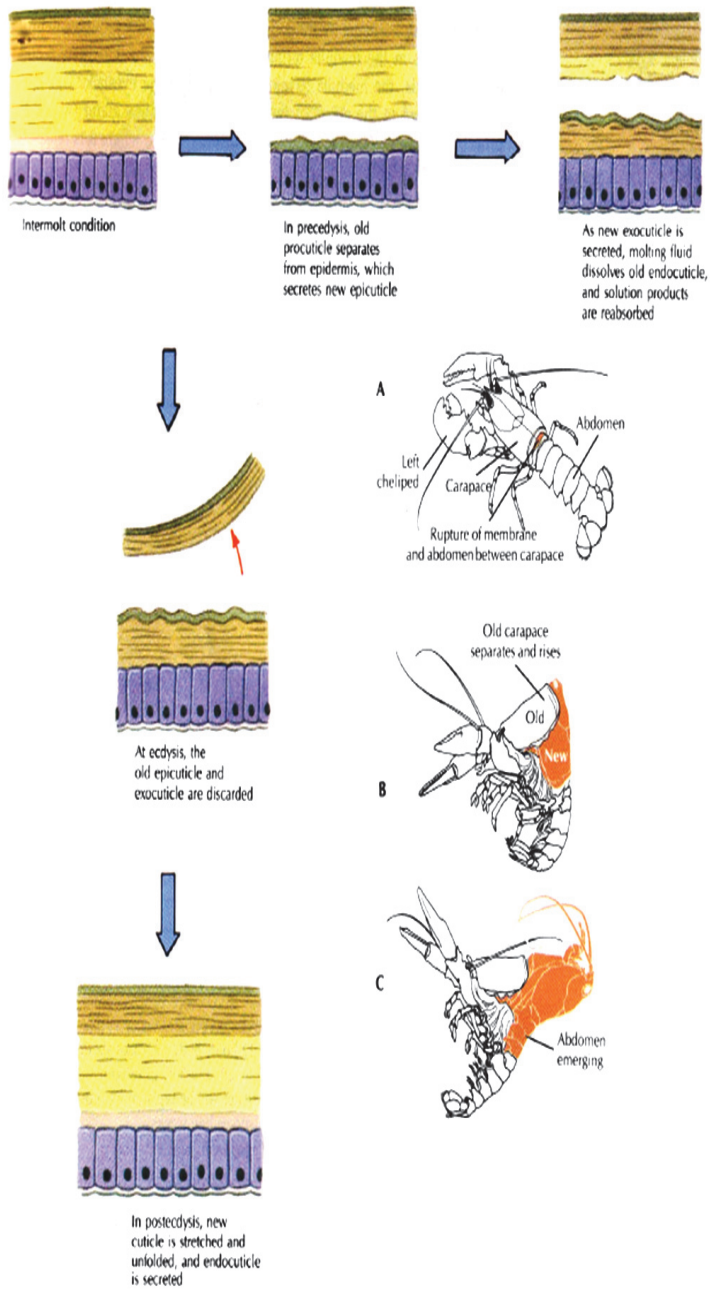
Gambar 25 . Adaptasi Osmotik Udang sesuai Daur Hidup di Pesisir dan Laut (Sumber: Aims, 2000)

### Mekanisme Osmoregulasi Udang Saat Molting

Molting adalah proses pergantian cangkang pada hewan Crustacea : udang, kepiting, lobster, dll. dan terjadi ketika ukuran daging udang bertambah besar sementara eksoskeleton tidak bertambah besar karena eksoskeleton bersifat kaku, sehingga untuk menyesuaikan hewan ini akan melepaskan eksoskeleton lama dan membentuk kembali dengan bantuan kalsium. Pertumbuhan larva dan pascalarva udang merupakan perpaduan antara proses perubahan struktur melalui metamorfosis dan ganti kulit (molting), serta peningkatan biomassa sebagai proses transformasi materi dari energi pakan menjadi massa tubuh udang. Pertumbuhan dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu faktor internal meliputi sifat genetik dan kondisi fisiologis dan faktor eksternal yakni berkaitan dengan lingkungan yang menjadi media pemeliharaan. Faktor-faktor eksternal tersebut diantaranya yaitu, komposisi kimia air, substrat dasar, temperatur air, salinitas dan osmolaritas serta ketersediaan pakan (Anggoro, dkk. 2018).

Penjelasan secara sederhana mengenai proses ganti kulit atau molting pada udang mengikuti alur proses sebagai berikut (Waterman, 1961; Anggoro dan Nakamura, 1996):

1. Mobilisasi dan akumulasi cadangan material metabolik, seperti Ca, P dan bahan organik ke dalam hepatopankreas selama akhir periode antar ganti kulit (intermolt akhir).
2. Pembentukan kulit baru diiringi dengan resorpsi material organik dan anorganik dari kulit lama selama periode persiapan (awal) ganti kulit (premolt). Ciri-ciri pada fase ini sebagai berikut: (a) meningkatnya mobilisasi dan akumulasi material metabolik dalam hepatopankreas., (b) penyiapan epidermis atau eksoskeleton baru, (c) akibatnya tekanan osmotik pada cairan ekstra seluler meningkat tajam dan bersifat hiperosmotik terhadap lingkungan, (d) melakukan regulasi hiperosmotik.
3. Pelepasan kulit lama pada saat ganti kulit dan diikuti dengan absorpsi air dari media eksternal dalam jumlah besar (molt). Ciri-ciri yang dapat dilihat pada fase molting adalah sebagai berikut
  - a. Pengelepasan kulit, ada absorpsi air dari lingkungan (milieu exterieur)
  - b. Kerja organ X terhenti, hormon osmoregulasi dan MIH tidak disekresikan
  - c. Organ Y bekerja mensekresikan MAH (yang memacu ganti kulit)
  - d. Terjadi perubahan pola (Osmoregulator menjadi Osmokonformer)
4. Kondisi lemah (tidak makan dan tidak beraktifitas), jika media dalam keadaan jauh dari isosmotik, dapat terjadi Molt Death Syndrome (MDS);



Gambar 26. Proses Molting pada Udang (Sumber: Waterman, 1961)

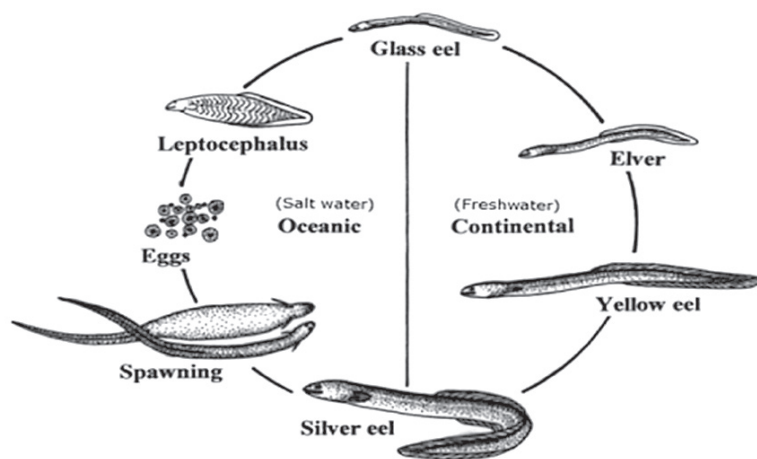
5. Pembentukan dan pengerasan kulit baru dari cadangan material organik dan anorganik yang berasal dari hemolimfe (darah) dan hepatopankreas (sebagian kecil berasal dari media eksternal), yang terjadi pada periode setelah ganti kulit (postmolt). Ciri-ciri pada fase ini sebagai berikut : (a) kerja organ Y terhenti digantikan organ X, (b) hormon Osmoregulasi dan MIH disekresikan kembali, (c) sekresi MAH terhenti, (d) mekanisme osmoregulasi kembali berfungsi.
6. Pertumbuhan jaringan somatik selama periode setelah ganti kulit dan awal antar ganti kulit, fase dimana udang akan mengalami homeostasis kalsium yakni proses yang bertujuan untuk menyeimbangkan kandungan ion kalsium tubuh dengan ion kalsium diperairan (intermolt awal). Ciri-ciri pada fase ini sebagai berikut (a) pengerasan kulit (hardening), (b) cairan intra seluler isosmotik dengan Cairan ekstra seluler, (c) pertumbuhan sel otot meningkat tajam (dukungan sintesis protein/asam amino).

Ada dua faktor yang mempengaruhi molting pada krustasea yaitu faktor eksternal dan faktor internal. Faktor eksternal diantaranya; adanya stressor, nutrisi, photoperiod dan temperatur sedangkan faktor internal terkait dengan produksi hormon ekdisteroid dan *Molt Inhibiting Hormon* (MIH). Pelepasan hormone ekdisteroid oleh organ-Y yang bervariasi berdasarkan stadium yang dilaluinya dalam siklus ganti kulit dan juga tergantung pada kadar hormon ekdisteroid yang terdapat dalam hemolim.

### **Adaptasi Osmotik pada Ikan**

Osmoregulasi merupakan suatu upaya pengaturan tekanan osmotik dan regulasi ion pada hewan air agar terjadi keseimbangan elektrolit (ion) antara cairan tubuh interna (millieu interieur) dan lingkungan perairan (millieu exterieur). Pengaturan tekanan osmotik dan keseimbangan ini dilakukan melalui mekanisme pertukaran air ( $H_2O$ ) dan ion-ion. Umumnya, sebagian besar organisme yang hidup di dalam perairan melakukan osmoregulasi,

termasuk sidat (*Anguilla* sp). Tetapi mengingat sidat merupakan jenis katadromous yakni ikan yang sebagian hidupnya adalah di air tawar tetapi bermigrasi ke laut untuk memijah (*spawning migration*), maka sidat memiliki mekanisme osmoregulasi yang berubah disesuaikan dengan perubahan kondisi lingkungannya. Sidat bersifat osmoregulator-*euryhaline*, yakni memiliki toleransi yang luas terhadap perubahan salinitas media. Diduga, karena daya toleransi yang tinggi inilah yang menyebabkan metabolisme dan daya tahan tubuh ikan ini menjadi tinggi sehingga kandungan nutrisinya pun tinggi. Ikan sidat dewasa akan bereproduksi di laut, selanjutnya anakan ikan ini akan bermigrasi mencari muara dan menuju air tawar dan tinggal di hulu sungai selama bertahun-tahun sampai fasenya dewasa (Gambar 27). Setelah dewasa sidat akan kembali bermigrasi dari hulu sungai dan bergerak ke arah tengah laut untuk bereproduksi ((kawin dan memijah), begitu terus siklus hidupnya.



Gambar 27. Daur Hidup dan Adaptasi Osmotik Ikan Sidat (Sumber: Aoyama, 2009)

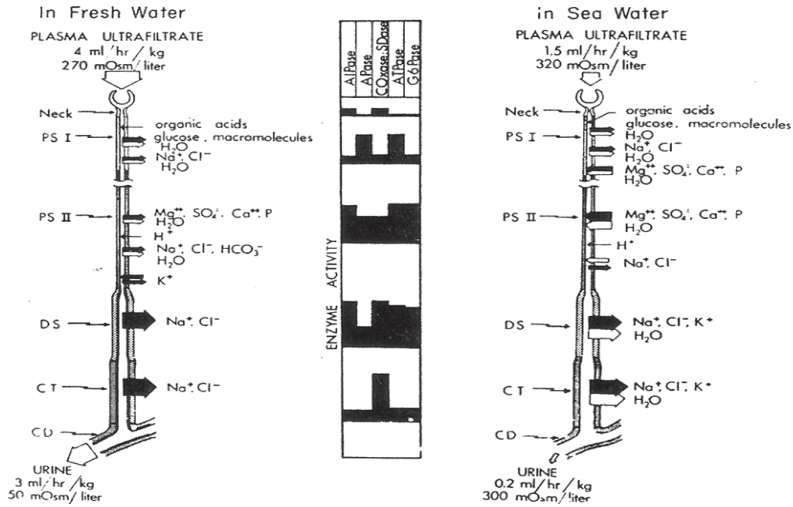
### Organ osmoregulasi sidat

Beberapa organ yang berperan dalam osmoregulasi antara lain insang, ginjal dan usus. Pada insang, sel-sel yang berperan dalam osmoregulasi adalah chloride cell yang terletak

pada lembaran insang. Insang berfungsi memompa ion chloride ( $\text{Cl}^-$ ), sodium ( $\text{Na}^+$ ) dan potassium ( $\text{K}^+$ ). Ion  $\text{Na}^+$  dibutuhkan dalam pemompaan  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{H}^+$  dari dalam tubuh ikan ke lingkungannya, sementara ion  $\text{Cl}^-$  berperan dalam pemompaan  $\text{HCO}_3^-$ . Kondisi inilah yang menyebabkan level ammonia dalam darah sangat rendah. Perubahan ion pada chloride cell oseanodrom berbeda dengan patadrom. Pada ikan sidat, membran dan mitokondria mengalami perubahan struktur yang besar sehingga mekanisme transport ion berubah, yakni saat di laut berfungsi seperti oseandrom dan begitu pula ketika di air tawar berfungsi seperti potandrom. Saat menjadi potandrom, keluar masuknya  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  terjadi karena perubahan difusi sementara saat menjadi oseandrom semua ion yakni  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{HCO}_3^-$  bergerak keluar menuju media.

Ginjal berfungsi mengekskresikan sebagian besar produk metabolisme tubuh dan mengatur konsentrasi cairan tubuh. Pada saat berada di air tawar, ginjal sangat berperan dalam osmoregulasi. Karena konsentrasi cairan tubuh lebih tinggi dari lingkungan, air berdifusi ke dalam tubuh sehingga darah menjadi lebih encer. Agar konsentrasi cairan tubuh tetap stabil maka ginjal meningkatkan kerja penyaringan sehingga urine lebih banyak mengandung air. Kerja ginjal banyak ini dilakukan melalui transport aktif. Mekanisme pompa ion atau transport aktif tersebut diilustrasikan pada gambar 28.

EURYHALINE TELEOST



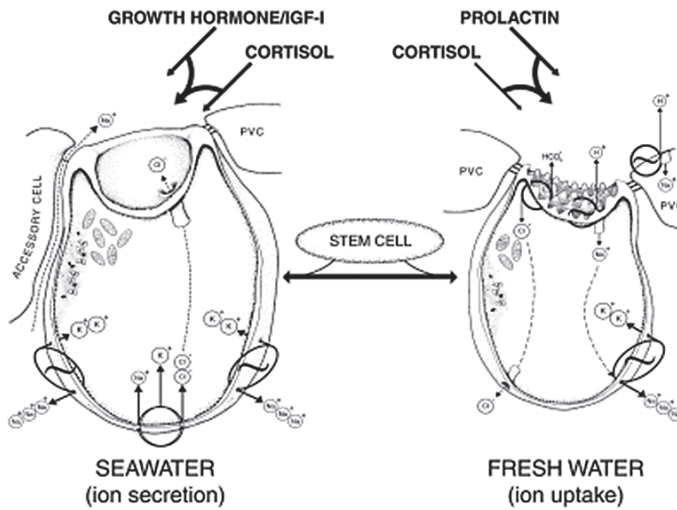
Gambar 28. Mekanisme Transport Aktif pada Nefron Ikan Eurihalin (Sumber : Hickmand, 1969)

Organ lain yang juga berperan adalah usus, di mana saat air laut masuk ke dalam usus, dinding usus aktif mengambil ion-ion monovalen ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ ) dan air, serta membiarkan lebih banyak ion-ion divalent ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) tetap di dalam usus sebagai cairan rectal agar osmolaritas usus sama dengan darah. Oide (1968) menyatakan bahwa ginjal dan usus sidat (*Anguilla japonica*) beradaptasi sesuai dengan medianya. Umumnya spesies Eurihalin memiliki ginjal yang memiliki kinerja yang baik di salinitas rendah dan tinggi. Secara umum, ginjal mereka mirip dengan ikan air tawar. Namun fungsi dan struktur dipengaruhi oleh salinitas lingkungan.

**Hormon Osmoregulasi pada Ikan**

Keterlibatan beberapa organ osmoregulasi pada ikan diatur oleh hormon. McCormick (2001) menyatakan bahwa sebagai penghubung utama antara perubahan lingkungan dan respon fisiologi organisme, sistem neuroendokrin merupakan bagian penting dalam adaptasi osmoregulasi. Diduga bahwa

hormon pertumbuhan (*Growth Hormone*) mengaturosmoregulasi pada ikan air laut, hormone prolactin lebih berperan di medium air tawar, adapun hormon cortisol berinteraksi dengan kedua hormon tersebut untuk menjalankan fungsi osmoregulasi. Pada Gambar 29, diilustrasikan kerja hormon-hormon tersebut.



Gambar 29. Mekanisme Kerja Hormon dalam Proses Osmoregulasi Ikan (Sumber : McCormick (2001))

Potts dan Parry (1963) menyatakan bahwa ada dua hormon yang sangat penting bagi perubahan osmoregulasi dari air tawar ke air laut yaitu kortisol dan prolaktin. Kortisol, suatu hormon kortikosteroid yang dirilis dari korteks adrenal. Ikan tidak memiliki kelenjar adrenal, jaringan corticoid mereka tersebar di daerah ginjal yang dikenal sebagai kepala interrenal yang mensekresikan kortisol. Interrenalectomy (pemindahan organ interrenal) menghambat smoltification. Kortisol adalah hormon penting untuk memungkinkan adaptasi terhadap kehidupan laut. Kortisol juga berperan dalam memfasilitasi adaptasi terhadap air laut dengan meningkatkan penyerapan air di usus bersamaan dengan selektifitas ion dan merangsang reabsorpsi air dari kandung kemih. Injeksi kortisol ke sidat kuning menginduksi peningkatan aktivitas  $\text{Na}^+ \text{K}^+$

ATPase dalam chloride cell. Kortisol memfasilitasi adaptasi terhadap air laut dengan meningkatkan penyerapan air di usus bersamaan dengan pengecualian selektif ion dan dengan merangsang reabsorpsi air dari kandung kemih.

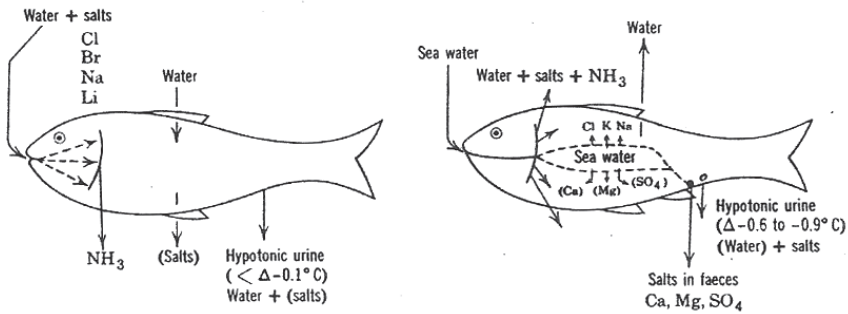
Hormon prolaktin lebih banyak berperan bagi sidat untuk hidup di air tawar. Prolaktin menginduksi sekresi lendir yang mencakup filamen insang dan permukaan tubuh, menghambat keluar dan masuknya garam. Ini adalah dua persyaratan penting untuk sidat saat berada di air tawar karena mereka tinggal di lingkungan hyposmotic. Prolaktin juga mengatur air dan gerakan ion melalui saluran usus dan kencing. Prolaktin, karena itu, sangat penting dalam menjaga keseimbangan ion di air tawar.

Penelitian yang dilakukan oleh *Ocean Research Institute, University of Tokyo* (2008) pada *Anguilla japonica* menyebutkan bahwa ada jenis hormone lain yang berperan dalam regulasi homeostasis sidat saat berada di air laut. Hormon tersebut adalah *Atrial Natriuretic Peptide* (ANP). ANP merupakan hormone yang segera dikeluarkan sebagai respons terhadap peningkatan salinitas lingkungan, dan mengatur aktivitas berbagai organ osmoregulatory, memperbaiki kelebihan dalam plasma, meningkatkan konsentrasi  $\text{Na}^+$  dan mendorong adaptasi terhadap air laut.

### **Mekanisme osmoregulasi pada ikan**

Semakin jauh perbedaan tekanan osmotik antara tubuh (*milieu interieur*) dan lingkungan (*milieu eksterieur*), maka energy metabolisme yang dibutuhkan untuk melakukan osmoregulasi semakin banyak. Terkait dengan konsentrasi ion yang berbeda pada tiap perairan, secara umum regulasi ion dan air pada ikan dibedakan menjadi tiga, yaitu regulasi hipertonik dan hiperosmotik. Regulasi hipertonik dan hiperosmotik merupakan pengaturan konsentrasi cairan tubuh yang lebih tinggi dari konsentrasi media secara aktif, terjadi pada ikan air tawar (*potadrom*). Regulasi hipotonik dan hipoosmotik adalah pengaturan secara aktif konsentrasi cairan tubuh yang

lebih rendah dari konsentrasi media, misalnya pada ikan laut (*oseandrom*). Adapun regulasi serta isotonic dan isoosmotik terjadi jika konsentrasi cairan tubuh sama dengan konsentrasi media, seperti yang terjadi pada ikan yang hidup di daerah estuaria. Pada prinsipnya, regulasi osmotik pada potadrom dan oseanodrom seperti tampak pada gambar 30.



Gambar 30. Regulasi Osmotik pada Potadrom dan Oseanodrom (Sumber : Maetz dan Garcia Romeu (1964) dalam Lagler et al., 1977)

Sidat (*Anguilla* sp) yang melakukan ruaya pemijahan dari air tawar ke air laut tentunya mengalami ketiga regulasi tersebut, di saat berada di media air tawar, mekanisme osmoregulasi yang bekerja adalah seperti potadrom, sedangkan saat berada di medium air laut, maka mekanisme osmoregulasinya berlangsung seperti pola oseanodrom. Secara spesifik, mekanisme tersebut dapat dijelaskan dalam uraian berikut.

### Regulasi Hipertonik atau Hiperosmotik

Ikan air tawar menggunakan strategi hiperosmotik dengan memproduksi urin encer dalam volume besar yang relatif bebas dari ion monovalen. Efek diuretik dari

volume tersebut cenderung menarik beberapa ion. Gradien osmotik pada insang dan permukaan tubuh cenderung menarik ion monovalen dan divalen. Ini biasanya diganti dengan penyerapan pada insang atau dengan penyerapan dari makanan yang tertelan. Ginjal pada ikan air tawar terdiri dari penyaringan (filtrasi), pengeluaran (ekskresi) dan penyerapan unsur-unsur (absorpsi). Glomerulus bertanggung jawab untuk penyaringan air, ion dan metabolit dari plasma. Melekat pada setiap glomerulus, terdapat sistem tubulus yang mampu mengeluarkan ion divalent ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ ) dan penyerapan ion monovalen ( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$ ).

#### **Regulasi Hipotonik atau Hipoosmotik**

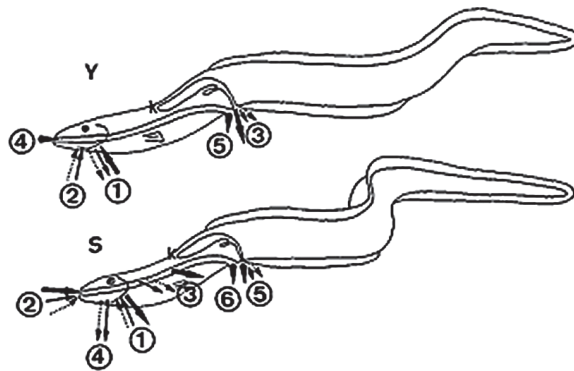
Saat di laut, sidat harus terus minum air laut untuk mengganti cairan tubuh yang hilang. Hewan-hewan ini dihadapkan dengan masalah menghilangkan ion yang diserap bersama dengan air. Saat berada di laut, sidat memproduksi sejumlah kecil urin yang sangat pekat, mengandung limbah dan kation divalen, demikian pula pada faecesnya. Ukuran dan fungsi glomerulus dikurangi untuk menghemat energi yang dibutuhkan untuk menyaring dan menyerap kembali ion monovalen dan penting zat organik plasma. Ini juga bertujuan untuk menghemat air. Hampir semua spesies laut kehilangan segmen tubulus distal, daerah tersebut bertanggung jawab dalam menyerap kembali ion monovalen ( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$ ). Segmen yang tersisa dalam bentuk serupa dengan ikan air tawar adalah tubulus proksimal. Segmen ini bertanggung jawab untuk sekresi ion divalen ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ ). Sebagian besar ion monovalen dan sebagian kecil dari ion divalen diserap.

#### **Regulasi Isotonik dan Isoosmotik**

Pada saat berada dalam kondisi isotonic atau isoosmotik seperti saat berada di estuary, osmoregulasi dengan transport aktif tidak dilakukan. Pada kondisi ini, konsentrasi cairan dan ion tubuh sama dengan konsentrasinya di lingkungan. Oleh karena itu, bagi diadromous, estuary

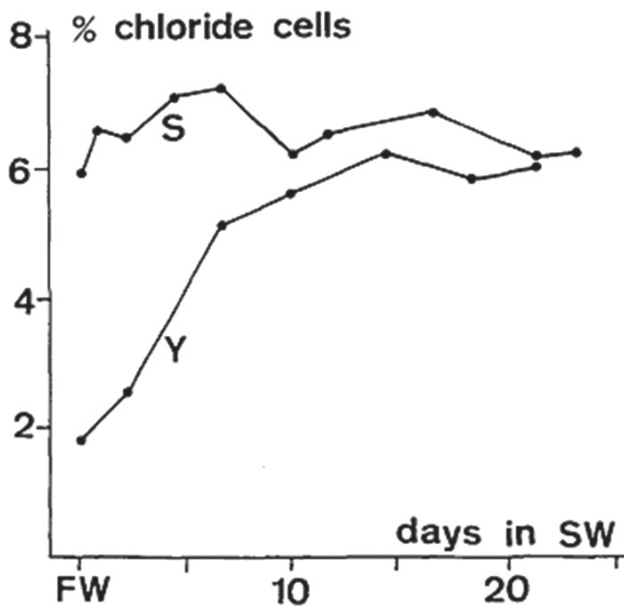
memiliki peran yang sangat penting bagi penyesuaiannya dari dan ke suatu lingkungan dengan salinitas tinggi, atau sebaliknya. Seperti ikan teleost lain, osmolalitas cairan tubuh sidat dipertahankan pada 300-400 mOsm. Osmolalitas air laut adalah 1000 mOsm pada salinitas 35 promil. Dengan demikian, osmolaritas cairan tubuh sidat berada sekitar sepertiganya, yang dekat dengan osmolaritas medium air payau. Hasil penelitian Ayuningtyas dkk (2015) menunjukkan bahwa titik isosmotik elver sidat berada pada media 250 sampai 440 mOsmol/l H<sub>2</sub>O atau setara dengan salinitas 4-5 promil. Ini berarti bahwa biaya energetik osmoregulasi sidat akan lebih rendah di air payau dibandingkan pada lingkungan ekstrim seperti air tawar atau air laut yang bersalinitas tinggi. Banyak energi yang diperlukan untuk mengatur tekanan osmotik mereka untuk homeostasis (Aoyama, 2009). Osmoregulasi mengkonsumsi energi sehingga sidat harus mengkonsumsi makanan lebih banyak untuk mencegah penurunan pertumbuhan. Dari sudut pandang osmoregulasi dan ketersediaan pangan, tinggal di daerah estuari selama fase pertumbuhan lebih menguntungkan, dan mungkin menjadi alasan mengapa persentase sidat yang tinggal di muara selama fase pertumbuhan lebih tinggi dan mengapa pertumbuhan sidat lebih cepat di air payau daripada di air tawar.

Hourdry (1995) menyebutkan bahwa sidat mengalami modifikasi terkait dengan adaptasinya dari air tawar ke laut seperti ilustrasinya pada Gambar 31. Modifikasi tersebut terjadi dalam aliran ion dan cairan tubuh selama transformasinya dari *yellow eels* (Y) ke *silver eels* (S).



Gambar 31. Modifikasi Osmoregulasi *Anguilla* dari Habitat Air Tawar ke Habitat Air Asin (Laut), (Sumber : Hourdry, 1995)

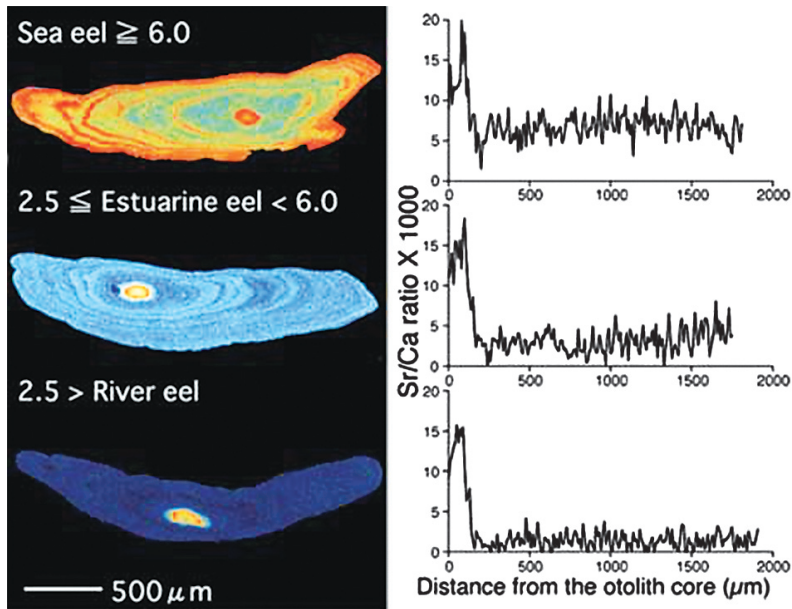
Pada saat berada di medium air tawar (sungai), ion  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  berdifusi keluar menuju milieu exterieur melalui insang sementara air masuk ke dalam milieu internal secara osmosis. Penjelasananya: (1) Efek ini dibatasi oleh penyerapan ion melalui sel chlorida insang, (2) melalui ekskresi, urin diencerkan (3). oleh karena itu, tidak ada transit air melalui usus. Pada *Silver eels* (S) di lingkungan laut, ion  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  menembus cairan tubuh melalui insang (1) dan setelah konsumsi air yang tinggi (2) di mukosa usus (3). Invasi ini dihindari melalui ekskresi ion yang dilakukan oleh chloride cell insang (4). Usus menyerap air (3) dan menghindari dehidrasi osmosis melalui insang (1). Oleh karena itu, kehilangan air melalui ginjal (5) dan usus (6) tetap rendah. Thomson dan Sargent (1977) dalam Hourdry (1995) menyebutkan bahwa saat modifikasi tersebut, persentase chloride cell dalam insang juga berubah dalam rangka adaptasi sidat terhadap air laut. Persentase dalam *Yellow eels* (Y) meningkat, tapi tetap stabil dalam *silver eels* (S). Chloride cell telah ada pada *silver eels* (S) dari air tawar dan aktif selama adaptasi dengan air laut. Ilustrasi mengenai perubahan persentase chloride cell tersebut ditampilkan pada gambar 32.



Gambar 32. Perubahan Persentase Chloride Cell dalam Insang Sidat. Sumber : Hourdry (1995)

Selain perubahan pada mekanisme osmoregulasi, sidat dewasa yang bermigrasi ke laut juga mengembangkan penebalan dari lapisan kulit yang membantu mereka beradaptasi dengan lingkungan yang sangat hipertonik begitu mereka masuk laut. Ada juga yang hanya meningkatkan jumlah sel-sel jaringan insang yang mengeluarkan sel chlorida. Sel-sel ini memungkinkan sidat untuk melawan invasi garam yang mengancam mereka di lingkungan laut. Perubahan juga terjadi pada smoltification dengan peningkatan jumlah chloride cell karena mereka membutuhkan ekstrusi garam terhadap gradien konsentrasi, maka aktivitas Na-K-ATPase menjadi penting. Seperti keadaan aktif chloride cell, peningkatan pesat dalam sintesis protein juga terjadi dengan didukung oleh proliferasi ribosom. Dengan demikian, sel-sel ini mampu memompa keluar garam melalui mekanisme transpor aktif ke medium sekitarnya.

Warna keperakan yang muncul pada kulit sidat sebelum mereka migrasi ke hilir sungai disebabkan oleh pengendapan kristal purin, guanin dan hipoxantine pada lapisan kulit. Informasi ini memberikan penjelasan tentang mekanisme transpor aktif untuk memblokir masuknya garam atau elektrolit melalui kulit dalam lingkungan baru yang hypersaline. Melalui analisis pada perekaman otolith sidat, ternyata perbedaan media hidup, yang tentunya terkait dengan fisiologinya memberi penampakan yang jelas pada otolith seperti pada Gambar 33.



Gambar 33. Pemetaan Strontium pada Otolith Sidat Jepang (*Anguilla japonicus*) Sumber : Aoyama (2009)

Gambar 33 di atas menunjukkan kecenderungan tipe habitat sidat. Warna biru gelap menunjukkan fase hidup di air tawar, biru terang menunjukkan fase hidup di media bersalinitas rendah yakni estuary adapun warna kuning dan oranye menunjukkan fase habitat bersalinitas tinggi yaitu laut (Aoyama,

2009). Demikian beberapa informasi tentang osmoregulasi sidat terkait dengan ruaya pemijahannya, jelas memperlihatkan bahwa sidat (*Anguilla* sp.) memiliki toleransi yang sangat luas terhadap salinitas, sehingga dapat dinyatakan bahwa sidat bersifat osmoregulator-eurihalin. Artinya, perubahan media akan direspon secara fisiologis melalui mekanisme osmoregulasi dan regulasi ionik agar dapat bertahan hidup dan meneruskan regenerasi sesuai tuntutan daur hidupnya. Fenomena tersebut perlu diantisipasi dalam pengelolaan wilayah pesisir terpadu, misalnya dalam membangun bendungan perlu diusahakan agar tidak menghalangi alur ruaya ikan sidat, baik larva ikan yang bergerak menuju hulu sungai ataupun induk-induk ikan sidat yang bermigrasi dari hulu sungai menuju tengah laut untuk keperluan kawin dan memijah.

# 3

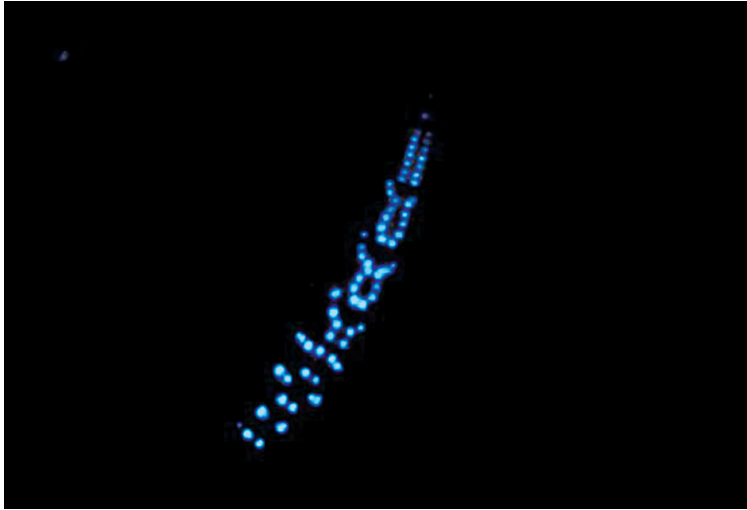
## FENOMENA BIOLUMINISENS SEBAGAI INDIKATOR STATUS KESEHATAN EKOSISTEM PESISIR DAN LAUT

### Definisi

Bioluminisens atau “bioluminescence” (Bahasa Inggris) adalah suatu bentuk emisi (pancaran) energi biologi, yang terjadi karena adanya konversi energi kimia menjadi energi cahaya pada berbagai makhluk hidup tertentu (Lehninger, 1965). Lebih lanjut, Harvey (1976) menyatakan bahwa bioluminesens sebenarnya berasal dari bahasa Yunani (bios = hidup; latris luminescere = menghasilkan cahaya), yang dapat diartikan sebagai pembentukan cahaya biologis oleh organisme tertentu.

Bioluminisens dapat terjadi baik di laut dalam maupun laut dangkal, bahkan dapat terjadi pada perairan tambak yang terjangkit wabah Baculovirus. Peristiwa bioluminesens di laut dapat dilihat dalam bentuk “fosforesens laut” yang terjadi oleh cahaya yang dihasilkan berjuta-juta dinoflagelata dan mikro-organisme dari famili Myctophidae (Gambar 34). Bioluminesens umum terjadi pada malam hari di laut dangkal, sedangkan di laut

dalam bioluminesens mencapai perkembangan tertinggi dan paling kompleks di lapisan dalam yang nircahaya atau kondisinya gelap.

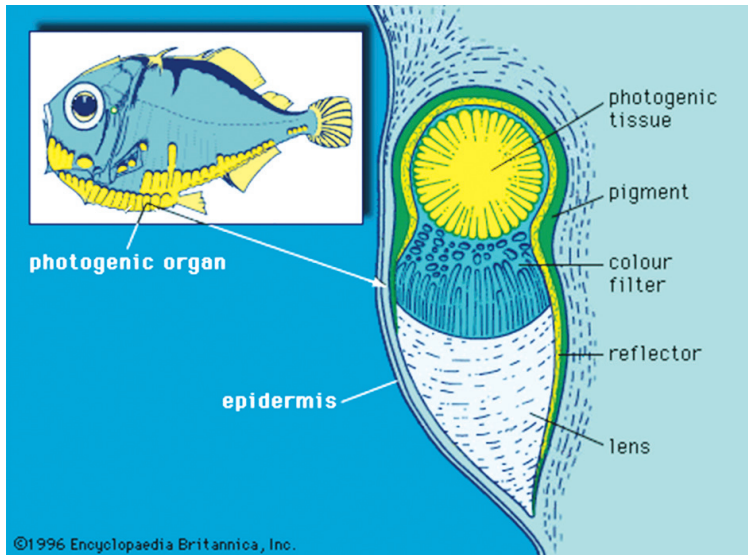


Gambar 34. Bioluminescence Organisme Laut dari Family Myctophidae dan Dinoflagellata  
(Sumber: Encyclopedia Britannica, 1996)

### Mekanisme Bioluminesens

Bioluminesens adalah produksi cahaya oleh organisme hidup. Mekanisme produksi cahaya telah diketahui dari penelitian terhadap hewan teresterial seperti kunang-kunang, dan mekanisme yang sama digunakan oleh organisme akuatik. Spektrum warna yang dihasilkan berbeda menurut species, tetapi secara menyeluruh meliputi warna - warna yang dapat dilihat oleh mata dari ungu sampai merah.

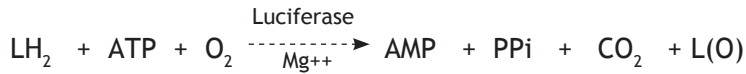
Bioluminesens sebenarnya merupakan gejala kimia hayati, yaitu proses reduksi-oksidasi melalui serangkaian reaksi. Reaksi ini dapat terjadi bila tersedia sejumlah sustansi (bahan) dan energi di dalam organ luminesens (Photophor organ). Substansi tersebut dikenal dengan substansi photogeni (Gambar 35) yang terdiri dari (Soedarmo dan Anggoro, 1991): (1) luciferin sebagai substrat, dan (2) enzim luciferase sebagai katalisator.



Gambar 35. Mekanisme Organ Bioluminesens  
(Sumber: Encyclopedia Britannica, 1996)

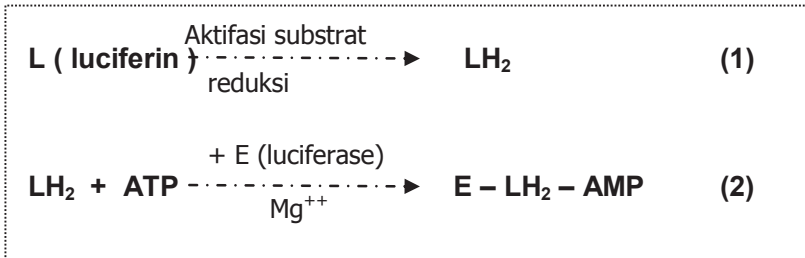
Luciferin merupakan substansi organik yang akan dioksidasi dengan katalis Luciferase, sehingga akan menghasilkan cahaya. Untuk keperluan oksidasi tersebut diperlukan sejumlah oksigen yang diambil dari trachea (insang) atau langsung dari molekul oksigen terlarut dalam air. Adapun sejumlah energi yang diperlukan dalam reaksi kimia diperoleh dari ATP pada sel luminesens (di photophor organ). ATP ini merupakan sumber energi utama yang terdapat pada sel organ luminesens (sel-sel photogeni). Molekul ATP yang kaya energi ini tidak dapat bergerak bebas dari satu sel ke sel yang lain, tetapi dibuat di tempat molekul itu akan digunakan (yaitu dalam sel-sel photogeni di organ photophor). Dalam proses bioluminesens ATP akan dihidrolisis menjadi adenosin monofosfat (AMP) dan pirofosfat (PPi), sehingga sejumlah energi dilepaskan. Energi yang dilepaskan dalam proses tersebut sebagian besar berbentuk energi cahaya yang dikenal dengan bioluminesens.

Secara sederhana reaksi umum bioluminesens pada biota laut dapat dituliskan sebagai berikut (Anderson, 1973; Harvey, 1976) :

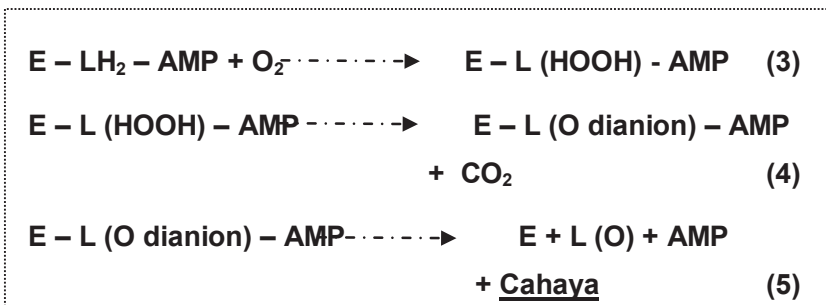


$\text{LH}_2$  ialah luciferin direduksi.  $\text{L(O)}$  : luciferin dioksidasi (oxyluciferin), dan  $\text{PPi}$  adalah pirofosfat. Reaksi tersebut memerlukan energi  $\text{ATP}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  (enzim AT-Pase) dan oksigen.

Sebenarnya reaksi tersebut di atas merupakan penyederhanaan dari tahapan reaksi sebagai berikut (Anderson, 1973)



Reaksi (2) diteruskan dengan reaksi oksidasi sebagai berikut :



## Organ Bioluminesens

Fenomena bioluminesens ini dapat dijumpai baik di udara (kunang-kunang) maupun di laut. Bahkan para awak kapal selam Jerman semasa perang dunia pertama pernah menyaksikan sinyal cahaya dari biota laut pada perairan yang sangat dalam, jauh di bawah daerah “deep scattering layer”, yaitu pada kedalaman 500 sampai 2000 meter (Anderson, 1973). Hasil penemuan terbaru bahkan menyatakan bahwa bioluminesens pada biota laut justru

banyak terjadi di dalam perairan yang sangat dalam, yaitu di daerah abisal (2000 - 4000 meter) dan daerah hadal (> 4000 - 7000 meter) (Harvey, 1976).

Organ luminesens pada biota laut bentuknya bervariasi, demikian pula sistem kerjanya. Untuk lebih jelasnya pada uraian berikut ini dikemukakan berbagai tipe organ luminesens pada biota laut, baik hewan tingkat rendah (invertebrata) maupun tingkat tinggi (vertebrata).

#### A. Kelompok Krustasea

Pada beberapa ikan dan krustasea, photophor tertutup oleh oleh suatu kelopak yang mampu menghidupkan dan mematikan pancaran cahaya. Terdapat pula organisme laut dalam yang dapat menggerakkan photophor melalui aktivitas otot.

Dari delapan sub kelas Krustasea tiga diantaranya mempunyai kemampuan bioluminisens. Tiga subkelas itu adalah Ostracoda, Copepoda dan Malacostraca.

##### 1. Ostracoda

Pada Ostracoda (Gambar 36) fenomena bioluminesens dilakukan oleh organ luminesens yang dinamakan organ photogeni atau "photophor organ". Organ ini berupa sel-sel yang bentuknya silindris memanjang dan terdapat pada bagian bibir atas. Sel-sel ini merupakan kelenjar luminesens yang menghasilkan substansi photogeni berupa luciferin dan enzim luciferase.



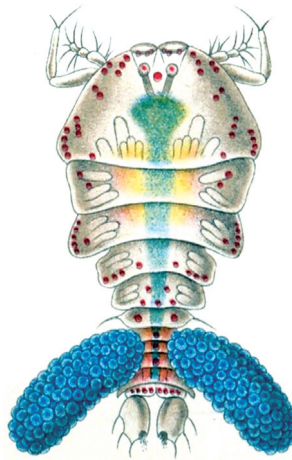
Gambar 36. Ostracoda *Acrocalanus Gracilis*  
(Sumber: <http://www.oceana.org>)

Sebagai ilustrasi pada *Cypridina* Sp. terdapat 2 kelenjar sel luminesens. Kelenjar pertama berukuran agak besar (diameter 10 mikron), berwarna kuning dan merupakan penghasil luciferin.

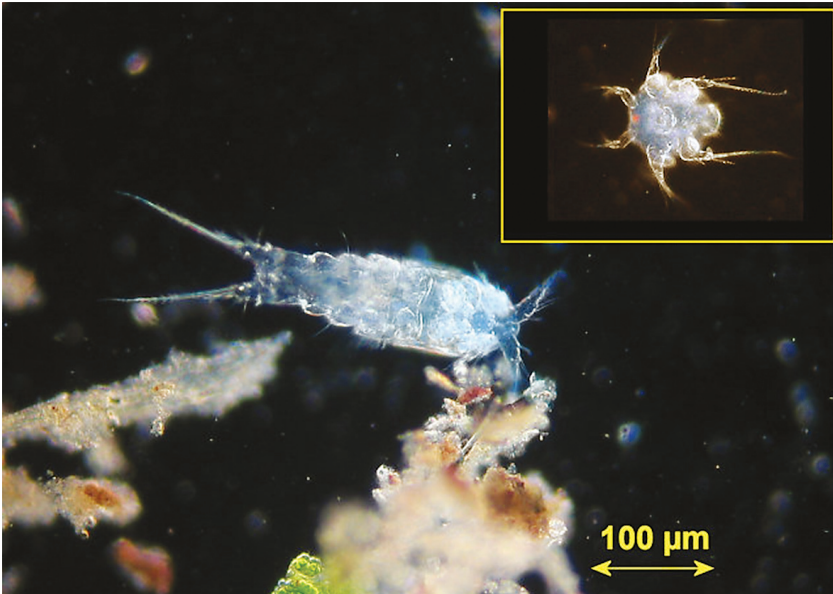
Sedangkan kelenjar kedua berukuran lebih kecil (diameter 2 - 3 mikron), tidak berwarna, dan merupakan penghasil enzim luciferase. Kedua kelenjar tersebut akan bekerja dengan aktif bila keadaan lingkungan gelap atau remang-remang, cukup tersedia oksigen, pH dan salinitas air cukup tinggi (alkalis dan polihalin).

## 2. *Copepoda*

Organ luminesens pada *Copepoda* (Gambar 37) mirip yang dimiliki *Ostracoda* (*Cypridina* sp). Perbedaannya terletak pada posisi organ terhadap anggota badan yang lain. Pada *Copepoda* (Gambar 38), kelenjar luminesens terletak pada segmen antenula, berwarna kuning, kadang-kadang menyebar di sepanjang antena dan di atas kepala. Berbeda dengan *Ostracoda*, pada *Copepoda* ini kelenjar luminesens ukurannya sama dan dapat menghasilkan substansi photogeni baik luciferin maupun luciferase.

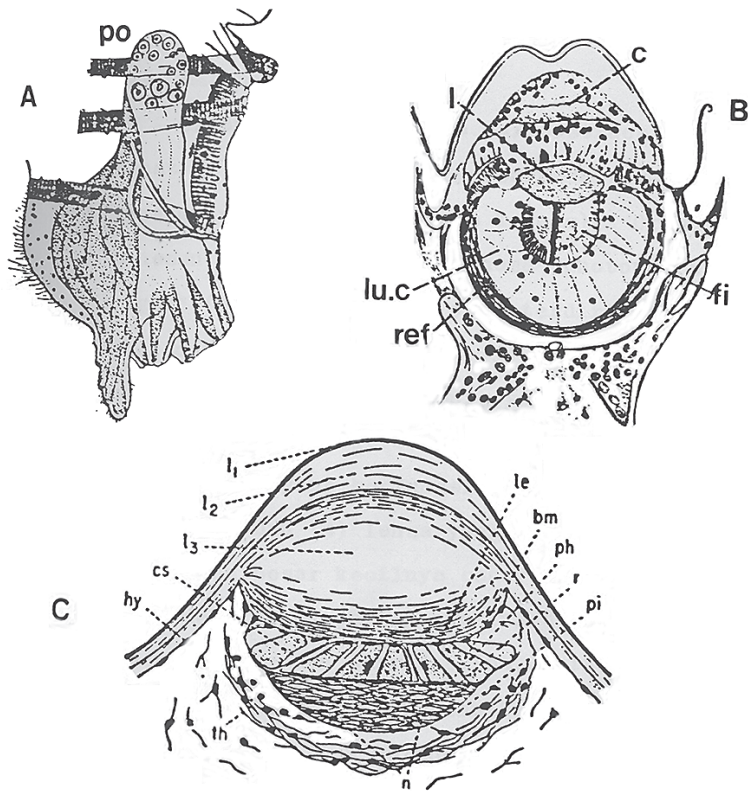


Gambar 37. *Copepoda* (<http://upload.wikimedia.org>)



Gambar 38. Copepoda - Subgroup Harpacticoida: *Canthocampus* (<http://upload.wikimedia.org>)

Substansi photogeni (Gambar39) akan diproduksi secara aktif pada kondisi perairan gelap, cukup oksigen, pH tinggi (alkalis), dan salinitas polihalin (di atas 30 ppt). Aktivitas bioluminisens ini akan memuncak pada musim pemijahan (spawning season) atau pada saat grazing (menarik mangsa).



Gambar 39. Beberapa Tipe Organ Photogeni (Photophor Organ) pada Biota Laut  
(Sumber: Djoko Soedarmo dan Anggoro, 1991)

Keterangan:

- A : Kelenjar luminesens pada Ostracoda dan Copepoda
- B : Penampang melintang photophor organ pada Malacostraca (Euphausiacea). lu, c-sel luminesens, ref-reflektor, fi-rod mass, l-lensa, c-sinus gland
- C : Penampang melintang photophor organ pada Decapoda (Sergestes sp). bm-membran dasar, es-jaringan penghubung, 11, 2, 3 permukaan lensa, le-epithel lensa, n-serabut syaraf, ph-sel-sel photogeni, r-reflektor, pi-pigmen, th-capsula.  
(Sumber: Harvey, 1976)

### 3. *Malacostraca*

Organ luminesens pada *Malacostraca* terdapat di bagian maksila, yaitu pada segmen antara mulut dan antena (pada kepala). Organ luminesens ini dikenal dengan nama “photophores organ” (organ photophor) yang terdiri atas bagian-bagian : (1) sel-sel luminesens atau sel-sel photogeni, yang menghasilkan luciferin dan luciferase, (2) reflektor, (3) rod mass yang berfungsi sebagai pengatur reflektor, dan (4) lensa yang berperan dalam pengaturan besar kecilnya cahaya (luminesensi). Kerja dari organ photophore ini dikontrol oleh sistem hormon dan syaraf pusat, yaitu organ-X (yang mengeluarkan Gonad Inhibiting Hormone dan Molt Inhibiting Hormone) dan Organ-Y (yang menghasilkan Gonad Stimulating Hormone dan Molt Accelerating Hormone). Aktifitas luminesens akan meningkat pada kondisi medium hiperosmotik atau pada saat musim pemijahan. Tipe ini terdapat pada ordo Euphausiacea dan Mysidacea.

Ordo dari *Malacostraca* yang lain, yaitu Decapoda, mempunyai organ photophor yang letaknya agak berbeda tergantung jenisnya, yaitu:

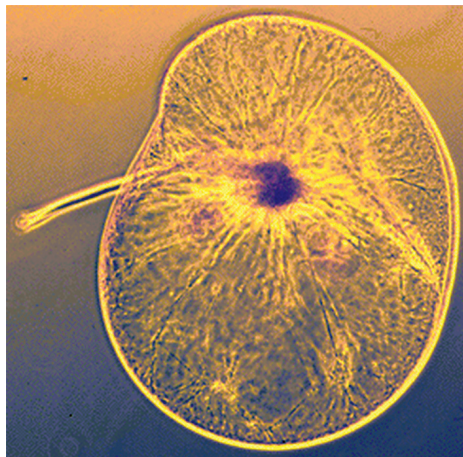
1. “Super facial photophor” yang dimiliki oleh udang *Sergestes regalis*, terdapat pada bagian kepala (dekat pangkal antena) di dekat mata;
2. “Antenulla photophor”, yang dimiliki oleh udang *Parapandalus sp.*, terdapat pada bagian ujung dan sekat-sekat antena;
3. “Linear photophor” yang dimiliki udang *Oplophorus sp.* terdapat pada segmen/bagian atas cephalothorax di dekat trachea (insang).

Organ luminesens pada Decapoda ini pada garis besarnya terdiri atas bagian-bagian sebagai berikut : (1) membran dasar, (2) jaringan penghubung, (3) epidermis, (4) tiga lapis lensa, (5) epitel lensa, (6) syaraf pengendali luminesensi, (7) sel-sel photogeni yang menghasilkan luciferin dan luciferase, (8) pigmen, (9) reflektor, dan (10) Capsula. Sel-sel photogeni selain merupakan penghasil luciferin dan luciferase, juga merupakan penyedia ATP dan penerima suplai oksigen dari trachea (insang). Cahaya yang terbentuk berwarna kuning kehijauan. Pemancarannya diatur

dengan cara pemberian oksigen dari trachea ke sel-sel photogeni. Aktivitas bioluminisens pada Decapoda akan meningkat sejalan dengan meningkatnya aktivitas seksual (spawning activity) dan aktivitas pemangsaan (grazing activity).

## B. Kelompok Ubur-ubur dan Cacing Laut

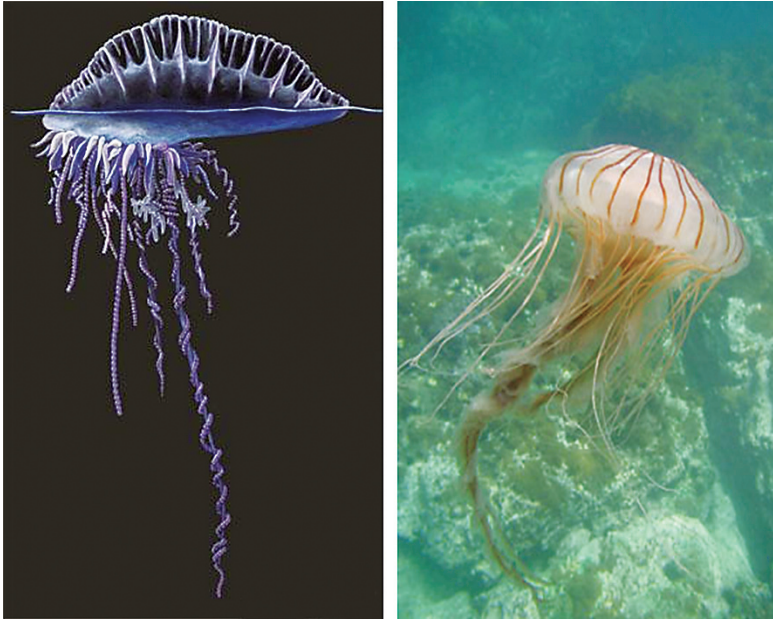
Organ luminesens pada ubur-ubur (Gambar 41) terletak pada bagian permukaan payung (umbrella layer), yang terdiri atas granula luminesens. Granula luminesens ini dapat berpijar secara otomatis, terutama pada saat cuaca gelap atau saat musim pemijahan. Organ luminesens ini mirip yang dimiliki oleh *Noctiluca* (sejenis fitoplankton laut). Pada *Noctiluca* (Gambar 40), granula luminesens itu tetap berada di dalam selnya. Granula luminesens tersebut merupakan penghasil substansi photogeni, yaitu luciferin dan luciferase, yang berperan dalam reaksi bioluminisens.



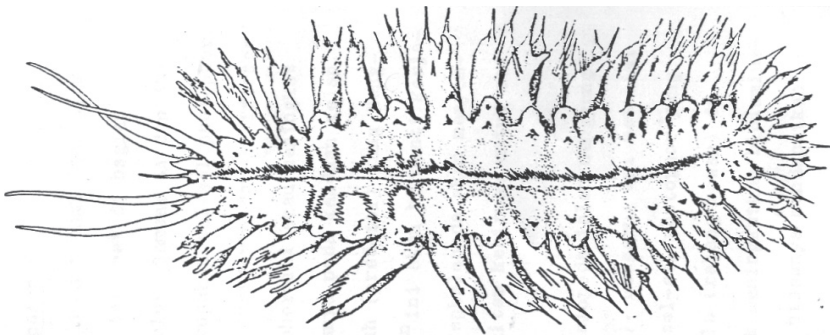
Gambar 40. *Noctiluca Scintillans* (Macartney)  
Kofoid et Swezy 1921 <http://www.marecol.gu.se>

Pada cacing laut perairan dalam (Gambar 42), yaitu *Macellicephalo hadalis*, yang hidup di daerah hadal (kedalaman 7000 - 7500 meter), mempunyai organ luminesens berupa kelenjar photogeni di bagian atas punggungnya (sepanjang segmen tubuh).

Kelenjar photogeni tersebut dapat mengeluarkan luciferin dan luciferase, terutama bila cukup tersedia oksigen dan ada dorongan untuk menarik mangsanya.



Gambar 41. Ubur-Ubur Pelagial (*Physalia sp*) dan Ubur-Ubur Abisopelagial (*Dactylometra sp*) *Dactylometra pacifica* (Sumber: Amakusa Marine Biological Laboratory.)



Gambar 42. Cacing Laut Hadal (*Macellicephalo sp*) (Sumber: Soedarmo dan Anggoro, 1991)

### C. Kelompok Cumi-cumi (Cephalopoda)

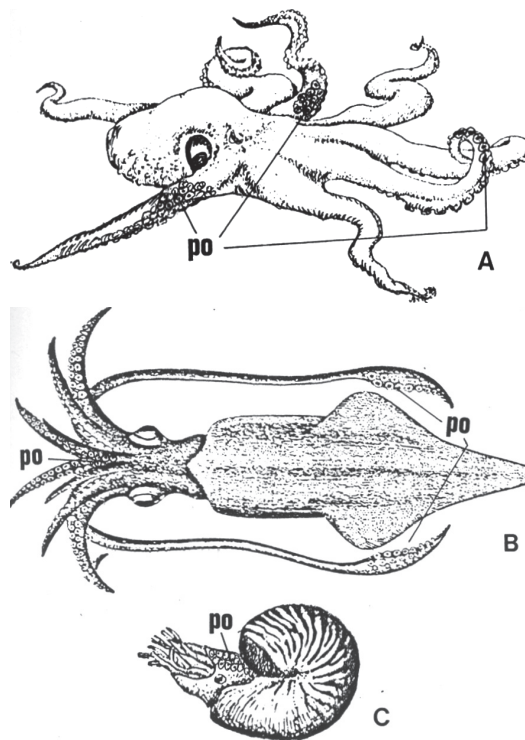
Photophor kebanyakan organisme, khususnya ikan dan cumi-cumi (Gambar 43), terletak di bagian ventral tubuh organisme. Hewan-hewan yang hidup di bagian atas zona mesopelagik dimana beberapa cahaya yang berasal dari permukaan laut masih dapat menembus, akan tampak sebagai bayang-bayang hitam bagi seekor predator yang melihat hewan ini dari bawah. Bila photophor berfungsi, intensitas cahaya yang dihasilkan sama besar dengan intensitas cahaya yang datang dari arah permukaan laut. Akibatnya, bayang-bayang hitam hilang dan hewan penghasil cahaya ini tidak mudah dimangsa.

Organ luminesens pada Cumi-cumi (termasuk juga Sotong dan Gurita) terdapat di bagian tentakel dan di dekat mulut. Organ luminesens ini merupakan sel-sel photophor yang dapat menghasilkan luciferin dan luciferase. Aktivitas sel-sel photophor ini akan meningkat pada saat memburu mangsanya pada keadaan gelap. Namun pada saat ada musuh (predator) yang mengganggu, organ luminesens ini akan berhenti kerjanya. Sebagai gantinya Cephalopoda akan menyemburkan cairan berwarna hitam kebiruan untuk mengelabui musuhnya.



Gambar 43. *Loligo vulgaris*: Organ Biolumisens Berada di Bagian Tentakel (Soedarmo dan Anggoro, 1991)

Jenis lain dari Cephalopoda ialah Genggeng (*Nautilus sp*). Genggeng (Gambar 44) ini memiliki organ luminesens berupa sel-sel photophor yang terletak di daerah maksila (rahang bawah) di depan cangkangnya. Untuk meningkatkan bioluminisens, sel-sel photophor biasanya mendapatkan bantuan suplai oksigen dari ruangan cangkang yang bersekat-sekat dan penuh berisi udara. Udara pada sekat-sekat cangkang ini, selain berperan sebagai cadangan oksigen juga berfungsi untuk mengatur berat jenis dan pergerakan vertikal (diurnal movement).



Gambar 44. Bioluminisens pada Cephalopoda A - Gurita (*Octopus sp*)

Keterangan:

B - Cumi-cumi (*Loligo sp*), C - Genggeng (*Nautilus sp*)

PO : Organ luminesens (sel-sel photophor)

(Sumber: Soedarmo dan Anggoro, 1991)

*Histioteuthis dispar* suatu cumi-cumi laut dalam, mengalihkan perhatian suatu predator dengan menghasilkan segumpal “awan” bercahaya. Hal ini berbeda dengan cumi-cumi yang hidup di laut dangkal, yang menghasilkan awan “tinta” hitam.

## **Organ Luminesens pada Vertebrata (Ikan)**

Berdasarkan bentuk dan fungsinya dikenal dua tipe organ luminesens pada ikan-ikan laut, yaitu: pertama, organ luminesens yang mandiri (bekerja tanpa bantuan mikroba/bakteri), kedua: organ luminesens tidak mandiri (hanya berfungsi setelah mendapatkan simbiosis bakteri luminesen).

### **A. Organ Luminesens Mandiri**

Tipe organ luminesens ini dimiliki oleh ikan-ikan laut yang hidup di perairan dalam, yaitu di daerah abisal (kedalaman 2000 - 4000 meter) dan daerah hadal (kedalaman lebih dari 4000 meter). Ikan-ikan yang hidup di laut yang sangat dalam ini memiliki habitat dengan ciri-ciri : (a) cahaya sangat redup sampai gelap gulita (b) tekanan hidrostatik tinggi (c) pH dan salinitas tinggi (polihalin) (d) suplai oksigen tergantung sirkulasi massa air.

Organ luminesens yang dimiliki oleh ikan-ikan yang hidup di daerah tersebut di atas bentuknya sangat khas, yaitu seperti tongkat berkait (seperti mata pancing) yang menonjol di bagian atas kepalanya (Gambar 45).



Gambar 45. Organ Luminesens pada Ikan *Himantolophus paucifilosus* (Football fish) pada kedalaman 1000 - 4000 meter (Sumber: <http://upload.wikimedia.org>)

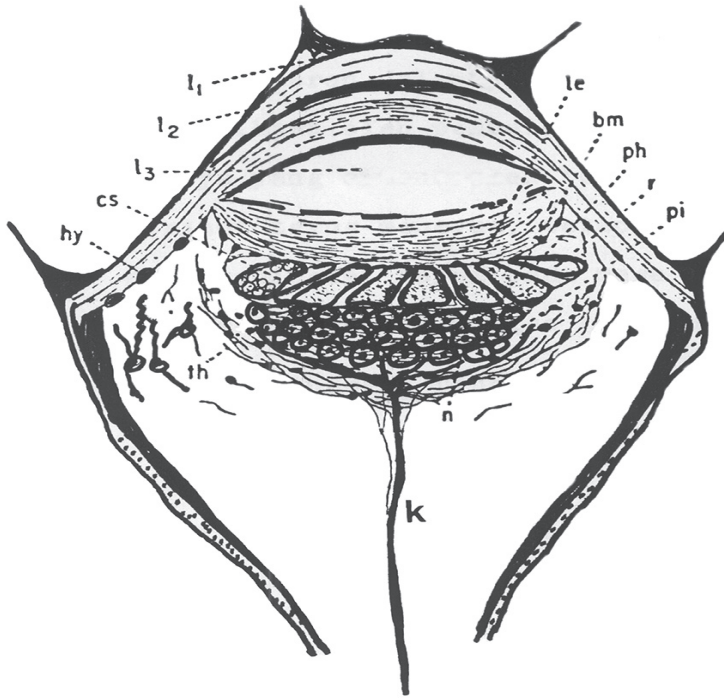
Organ luminesens itu terdiri atas sel-sel photogeni dan dikenal dengan nama photophor organ. Photophor organ ini berperan secara mandiri, karena sepanjang waktu memancarkan cahayanya. Kekuatan cahaya yang dipancarkannya sangat ditentukan oleh persediaan energi dari ATP yang terdapat pada sel-sel photogeni dan kadar (ketersediaan) oksigen pada oksihemoglobin di pembuluh tapis insangnya.

Sebagai ilustrasi, organ luminesens yang terkenal adalah yang dimiliki oleh ikan-ikan :

- (1) Ikan Lentera Siri (*Melanocetus cirrifer*), yang hidup pada kedalaman 4000 - 5000 m
- (2) Ikan Lentera Bisul (*Lynophrene corimbifera*) yang hidup pada kedalaman (2000 - 4000 m)
- (3) Ikan Lentera Palung (*Bassogigas sp*), yang hidup pada kedalaman 5600 - 7200 m

Organ luminesens pada ikan-ikan tersebut secara umum terdiri atas bagian-bagian sebagai berikut: (1) tiga lapis lensa, (2) jaringan penghubung, (3) sel-sel epidermis, (4) sel-sel photogeni,

(5) epithel lensa, (6) serabut syaraf, (7) pigmen, (8) reflektor, dan (9) capsula (Gambar 46).



Gambar 46. Organ Luminesens (Photophor Organ) pada Ikan-  
Ikan Perairan Dalam (Penampang Melintang)

l1, l2, l3 : lensa (3 lapis) le: epithel lensa; bm: membran dasar; ph: sel-sel photogeni; r: reflektor ; pi: pigmen; n: serabut syaraf; th: capsula; k: pembuluh darah yang berhubungan dengan pembuluh tapis insang (Sumber: Harvey, 1976)

Sel-sel photogeni selain menghasilkan substansi luciferin dan luciferase serta ATP, juga berperan dalam penerimaan suplai oksigen yang dibawa oleh pembuluh darah dari insang. Cahaya yang dipancarkan lewat organ luminesens terjadi terus menerus, tetapi intensitasnya akan meningkat tajam pada masa pemijahan dan pada saat mencari mangsa (makanan).

## **B. Organ Luminesens Tidak Mandiri**

Tipe organ ini terdapat pada ikan Leweri Batu (*Photoblepharon palpebratus*) dan ikan Leweri Air (*Anomalops kataptron*) Keistimewaan ikan Leweri terletak pada “lentera” (organ luminesens) yang terdapat di bawah matanya (di bagian pipi). Organ ini berbentuk lonjong dengan panjang kira-kira 10 mm, berwarna putih kekuningan dan mengeluarkan cahaya terus menerus berwarna biru kehijauan. Tetapi yang tampak, lentera yang dibawa oleh Leweri Air selalu berkelap-kelip, 10 detik menyala diseling 5 detik padam, sedangkan pada Leweri Batu dalam keadaan normal lentera itu dipancarkan terus menerus.

Meskipun struktur jaringan organ luminesens pada kedua jenis ikan tersebut sama, namun terdapat perbedaan dalam mekanisme untuk memadamkan pendar cahayanya. Pada Leweri Batu, di sebelah bawah organ luminesens terdapat lipatan kulit berwarna hitam, yang dapat ditarik ke atas sehingga menutupi cahaya yang akan dipancarkan ke luar. Jadi fungsinya mirip kelopak mata pada manusia. Pada Leweri Air, organ luminesens yang bentuknya lonjong itu dapat berputar pada sumbu memanjangnya. Jika organ ini ditundukkan ke bawah dengan cara memutarinya ke dalam (ke arah badan), yang akan tampak hanya bagian permukaan berpigmen hitam pekat sehingga cahaya tampak padam.

Cahaya yang dipancarkan oleh organ luminesens pada ikan Leweri sebenarnya bukan merupakan hasil kegiatan faali secara mandiri, melainkan dipengaruhi (diaktivasi) oleh bakteri luminesens yang hidup menumpang sebagai simbion di dalam sel-sel organ luminesens itu. Bakteri luminesens ini berbentuk batang dengan panjang 2 - 3 m. Bakteri ini berperan dalam memproduksi luciferin dan luciferase, sedangkan sel-sel organ luminesens berperan dalam penyediaan energi (ATP) dan oksigen. Oksigen diperoleh melalui suplai dari pembuluh darah yang menuju pembuluh tapis insang.

## **Peran Bioluminesens bagi Kehidupan Biota Laut**

Meskipun publikasi-publikasi dan penelitian mengenai bioluminesens telah ada cukup lama dan semakin berkembang,

namun informasi tentang peran apa yang sesungguhnya ingin dicapai oleh proses bioluminisens itu dalam beberapa hal masih meragukan.

Dari berbagai pendapat yang dikemukakan oleh Anderson (1973), Shimomura *et.al.* (1973), dan Harvey (1976), dapat diformulasikan bahwa bioluminisens pada biota laut mempunyai peran sebagai berikut: (a) penginderaan habitat (untuk menerangi tempat hidup), (b) komunikasi visual biota sejenis:, (c) untuk mengenali sesama jenisnya, (d) untuk memberi tanda peringatan bahaya, (e) untuk memperlihatkan tanda-tanda berahi/ kematangan seksual (sex recognition), (f) untuk memberikan daya tarik (atraktan) seksual pada lawan jenisnya, (g) untuk memberi aba-aba pergerakan atau ruaya., (h) atraktan pemangsa (grazing), dan (i) kamuflase untuk mengelabui musuh (predator).

Penginderaan habitat dengan cara bioluminisens ini dilakukan oleh biota laut tertentu yang hidup di perairan yang sangat dalam, yaitu di daerah : (1) abiso/bati pelagial (150 - 2000 m), (2) abisal (2000 - 4000 m), dan (3) hadal (>4000 m). Karena habitatnya sangat gelap, biota yang hidup di kedalaman ini meneranginya dengan bioluminesens. Adanya cahaya biologis ini selain dapat menerangi habitat, juga memudahkan orientasi gerak, terutama dalam mengenali medan serta keadaan di sekelilingnya. Beberapa jenis ikan laut yang menggunakan organ luminesens untuk orientasi dan penerangan habitat ialah ikan Lentera dan ikan Leweri. Dalam hal ini kekuatan pendar cahaya sangat tergantung pada: (a) energi yang dikandung organ luminesensi, (b) ketersediaan oksigen, dan (c) parameter kualitas air (seperti pH, Alkalinitas, Salinitas dan Kecerahan).

Dalam habitat yang gelap gulita sepanjang masa seperti laut dalam, pola penyebaran photophor di permukaan tubuh suatu organisme akan tampak dengan jelas. Khususnya pada ikan, pola ini sangat rumit, dan berbeda menurut species. Dengan demikian, adanya pola penyebaran photophor ini akan memungkinkan organisme untuk mengenal kerabat speciesnya. Hal ini mungkin penting untuk menjaga agar individu - individu dari satu species tetap berada dalam kelompoknya dan juga untuk menemukan

pasangan bagi keperluan reproduksi.

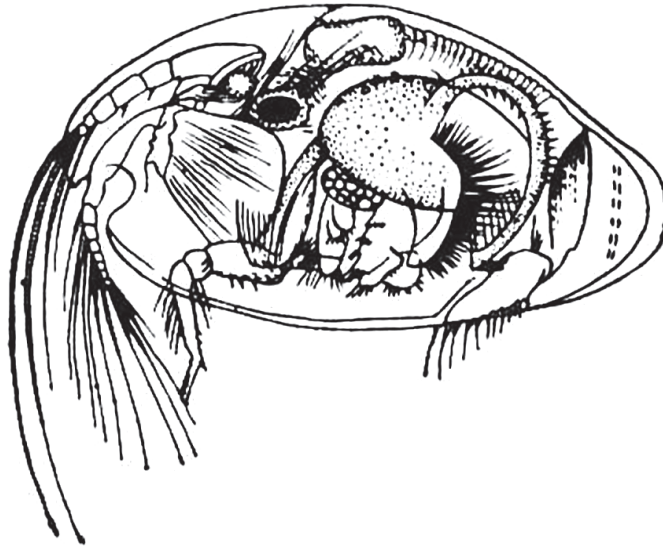
Bahkan pada beberapa species ikan tertentu, pola penyebaran photophor pada ikan jantan berbeda dengan ikan betina. Hal ini lebih menjamin pemilihan pasangan untuk keperluan reproduksi. Menarik untuk dicatat bahwa William Beebe, salah seorang dari beberapa ilmuwan yang untuk pertama kalinya berhasil mengadakan pengamatan in situ pada ikan mesopelagik, dapat mengenali bermacam species ikan lentera yang berada di tempat gelap melalui pelacakani pola sebaran photophor.

### **Komunikasi Visual**

Informasi sinyal visual oleh organ luminesens kekuatannya tergantung pada potensi energetika biota dan keadaan lingkungan di sekelilingnya yang menunjang. Beberapa biota laut ternyata mampu berkomunikasi dengan sesama jenisnya dengan cara memancarkan sinyal cahaya yang khas. Informasi yang diubah dalam bentuk sinyal luminesens dapat ditanggapi oleh spesies itu karena perbedaan ukuran, bentuk, intensitas, warna, gerakan, dan lama waktu pancar (Anderson, 1973; Harvey, 1976).

Kebanyakan transmisi sinyal bioluminesens dapat terhalang oleh : (a) pengadukan massa air (up-welling atau down-welling), (b) penetrasi cahaya matahari dan cahaya bulan. Oleh sebab itu biasanya transmisi berlangsung efektif pada malam hari atau pada keadaan gelap (di perairan yang sangat dalam). Sinyal cahaya biologis dapat diarahkan ke tempat penerima yang dituju sehingga sinyal tersebut dapat dilihatnya.

Sebagai contoh sejenis Krustasea, yaitu *Cypridina sp* (Gambar 47), pada saat musim pemijahan (kawin) betinanya memberi sinyal (sex recognition) dengan cara meningkatkan intensitas cahaya yang dipancarkannya dan dikedipkedipkan. Pejantannya akan segera tanggap dan memberi jawaban dengan kedipan cahaya serupa, kemudian keduanya bersama-sama bergerak ke daerah pemijahan (spawning ground) untuk melakukan perkawinan.



Gambar 47. *Cypridina mediterranea*  
Sumber: (<http://en.wikipedia.org>)

Penerimaan bioluminensi sebagai sinyal visual tergantung pada ketajaman mata biota penerima sinyal dan kecerahan perairan. Biota laut luminesens, terutama jenis Krustasea dan Ikan Lentera, memiliki modifikasi mata sehingga dapat menambah kepekaannya agar lebih mudah berkomunikasi secara visual. Sinyal yang sudah diterima dapat merangsang beberapa tanggapan.

Karena kebanyakan sinyal berlangsung antar pasangan yang berahi, penerimaan sinyal menyebabkan saling tertariknya pasangan itu. Biasanya betina diam di tempatnya sambil memancarkan sinyal cahaya (sex attraction dan sex recognition), kemudian pejantan akan menanggapi dan datang mendekat. Kemungkinan lain adalah perubahan sinyal yang dikeluarkan sebagai akibat tanggapan sinyal yang diterima, misalnya seekor betina yang sedang berahi berusaha menarik lawan jenisnya dengan mengubah sinyalnya, sehingga memudahkan pejantan untuk mendekatinya. Pada akhirnya, karena sinyal ini adalah sinyal untuk kawin (memijah) maka efeknya dapat menjadi laten pada faal reproduksi biota laut luminesens.

Sebagai ilustrasi dari fenomena di atas terjadi pada ikan Lentera, yang mempunyai bentuk komunikasi seksual yang menarik. Karena sulit mencari jodoh di lingkungan yang sangat gelap, maka seringkali ditemukan hubungan yang amat aneh antara betina dan yang jantan. Betina biasanya berukuran lebih besar dari pejantannya., Untuk mendapat kepastian pertemuan jodoh, maka sang jantan yang tidak pernah menjadi besar akan memberikan sinyal luminesens terlebih dulu. Pada saat itu bila ada betina yang matang kelamin, akan segera menanggapi dengan memberi sinyal luminesens balasan, yaitu dengan menggerakkan dan memutar organ photogeninya.

Begitu terlihat ada betina yang memberikan tanggapan terhadap sinyalnya, ikan jantan akan segera memburunya, dan sekaligus menempelkan dirinya pada tubuh ikan betina, sedemikian rupa sehingga merupakan parasit terhadap betinanya. Setelah menempel, ikan jantan tidak pernah lagi berusaha mengaktifkan organ luminesensinya. Sehingga aktivitas bioluminisens akhirnya diambil alih oleh ikan betina. Ikan jantan hanya berperan dalam menghasilkan sperma untuk membuahi telur yang dikeluarkan betinanya. Mulai saat itu sinyal luminesens hanya ditujukan untuk penerangan habitat, komunikasi (pengenalan) sesama jenis dan untuk menarik hewan lain sebagai mangsanya.

Pada beberapa jenis Krustasea dan Cumi-cumi, sinyal cahaya juga dimanfaatkan untuk orientasi gerak dan ruaya. Dengan sinyal tertentu mereka akan bersama-sama (seperti diberi komando) melakukan gerak nocturnal di malam hari atau ruaya polihalalin pada saat salinitas perairan rendah.

### **Atraktan Mangsa**

Bioluminisens sering dipakai oleh biota laut tertentu, seperti beberapa jenis Krustasea, Cumi-cumi dan Gurita serta ikan Lentera, untuk menarik hewan lain untuk dijadikan santapannya.

Pada ikan Lentera misalnya, bila melihat mangsanya akan segera menggerakkan organ luminesensinya mendekati bagian atas mulutnya. Dengan cara ini hewan mangsa (prey) akan mendekat dan dengan mudah akan dimangsanya. Pada umumnya hewan lain

yang di jadikan mangsa adalah yang mempunyai sifat fototaksis positif.



Gambar 48. Pendar Cahaya pada Ikan *Chauloides luminesens*  
(Sumber: <http://upload.wikimedia.org>)

Pada ikan pemancing (Ceratoidea), organ penghasil cahaya (esca) di sirip dorsal (illicium) berfungsi sebagai umpan agar organisme yang dimangsa mendekat sampai jarak jangkauan terkaman. Photophor juga berguna untuk menerangi daerah sekelilingnya sehingga suatu predator dapat melihat mangsanya.

### **Mengelabui Musuh (Predator)**

Cahaya biologis seringkali digunakan oleh biota laut tertentu, seperti Krustasea, Cumi-cumi dan Zooplankton tertentu, untuk melindungi diri dari serangan predator (pemangsanya). Caranya adalah dengan memancarkan cahaya yang mirip dengan cahaya biologis yang dikeluarkan oleh organisme lain.

Pada Krustasea tertentu, seperti Mysidacea, Euphausiacea dan Decapoda, bila dikejar musuh sering mengeluarkan sinyal cahaya yang menyerupai cahaya biologis yang dikeluarkan oleh Noctiluca (fitoplankton) atau Ubur-ubur. Akibatnya predator akan kebingungan dalam menetapkan sasaran yang akan dimangsanya. Sedangkan Cumi-cumi, akan mengelabui musuh atau predatornya

justru dengan cara memadamkan organ luminesensinya dan sebagai gantinya di semburkan suatu cairan berwarna gelap kehitaman.

Photophor dapat pula digunakan untuk menghasilkan suatu “cahaya kilat” yang menyilaukan dan dengan demikian dapat melumpuhkan sejenak predator, sehingga organisme penghasil cahaya, seperti *Salmoura sp*, dapat menghindarkan diri dari pemangsaan (Gambar 49).



Gambar 49. Bioluminesens dari *Salmoura*  
(Sumber: <http://www.oceana.org>)

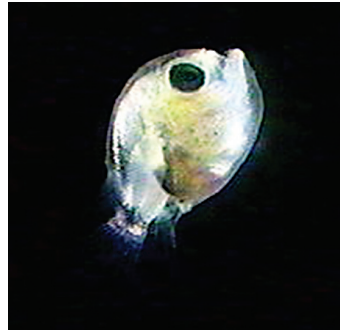
### Implikasi Bioluminesens dalam Pengelolaan Pesisir dan Laut

Diketahui fenomena bioluminesens hanya akan muncul bila beberapa syarat berikut ini terpenuhi (Soedarmo dan Anggoro, 1991). Pertama, adanya organ luminesensi pada biota akuatik seperti: organ fotofor, luciferis dan enzim luciferase. Kedua, tersedianya substrat yang mendukung proses pendar cahaya berlangsung optimal, antara lain: salinitas (harus diatas

30 permil), pH (harus di atas 6.5), cahaya (harus remang-remang sampai gelap), kandungan elektrolit seperti Cl, Na dan Mg (harus berada dalam kondisi mendekati isosmotik atau io-ionik). Agar persyaratan tersebut terpenuhi maka dalam pengelolaan pesisir terpadu harus mampu menjamin agar hidrodinamika dan kualitas air berada pada kondisi layak bagi kehidupan biota yang kebutuhan hidupnya memerlukan mekanisme pendar cahaya. Oleh sebab itu, segala bentuk aktivitas pembuangan limbah (padat dan cair) baik di hulu maupun hilir serta aktivitas penambangan di laut perlu dikendalikan agar tidak mencemari lingkungan atau menyebabkan penyuburan berlebih (eutrofikasi). Berikut ini diperlihatkan beberapa jenis biota laut yang memiliki kemampuan pendar cahaya dan sangat peka terhadap pencemaran perairan (Gambar 50).



*Canthigaster sp*



*Ceratoidei sp.*



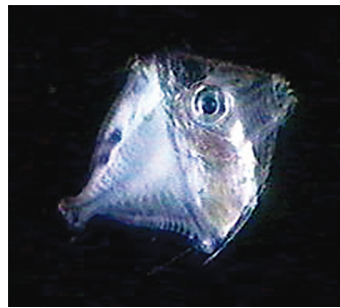
*Sterroptyx sp.*



*Linophrynidae sp.*



*Ceratoidei sp*



*Acanthuridae sp*

Gambar 50 . Beberapa Jenis Ikan yang Peka dan Merespon Pollutan dengan Bioluminesens (Sumber: <http://www.oceana.org>)



# 4

## PENGEMBANGAN BUDIDAYA PERAIRAN BERBASIS EKOSISTEM DI WILAYAH PESISIR DAN LAUT

### Budidaya Perairan Berkelanjutan

Produksi perikanan budidaya dunia mengalami tren peningkatan yang signifikan yaitu lebih dari 1000% dalam kurun waktu tahun 2006 sampai dengan tahun 2017, di mana FAO memprediksi ke depan perikanan budidaya akan menjadi andalan bagi pemenuhan kebutuhan pangan masyarakat global (FAO, 2017).

Namun disisi lain, perikanan budidaya juga dihadapkan pada suatu tantangan besar yaitu bagaimana memenuhi kebutuhan pangan yang kian meningkat ditengah permasalahan penurunan kualitas sumberdaya alam, daya dukung ekosistem dan perubahan lingkungan global. Kondisi ini sudah barang tentu akan berpengaruh besar terhadap perwujudan ketahanan pangan masyarakat global (*global food security*) yang justru ke depan akan semakin bergantung pada sumber gizi ikani.

Tantangan lainnya, sebagaimana disebutkan dalam buku

“*Challenging the Aquaculture Industry on Sustainability*”, edisi Maret 2008 yang diterbitkan Greenpeace International, justru menyampaikan fakta bahwa industri perikanan budidaya turut memberikan kontribusi potensi dampak negatif terhadap fenomena perubahan lingkungan global saat ini. Dampak negatif tersebut antara lain berkaitan dengan alih fungsi lahan (*land conversion*) mangrove dan terumbu karang, peningkatan emisi karbondioksida, penurunan biodiversitas, pencemaran akibat polutan (nutrien, dan bahan kimia), dan isu lain yang berkaitan dengan konflik pemanfaatan sumberdaya air.

Berdasarkan konsep pembangunan berkelanjutan tersebut, FAO (1989), mendefinisikan “Pembangunan Perikanan Berkelanjutan” adalah Pengelolaan dan konservasi berbasis ekosistem dan sumberdaya alam, serta orientasi perubahan teknologi dan kelembagaan guna menjamin tercapainya dan terpenuhinya kebutuhan manusia generasi saat ini maupun mendatang. Pembangunan perikanan berkelanjutan mengkonservasi perairan, sumberdaya genetik tanaman maupun hewan secara rasional, tidak merusak lingkungan, tepat guna secara teknis, layak secara ekonomis, dan diterima secara sosial.

Sub sektor perikanan budidaya sebagai bagian dari sumberdaya alam harus dipandang bukan hanya sebagai sebuah sumber ekonomi semata, namun harus dimaknai sebagai sumberdaya yang perlu dikelola secara bertanggungjawab, karena faktanya aktivitas budidaya juga tidak terlepas dalam memberikan kontribusi terhadap perubahan lingkungan, sama halnya dengan sektor lain sejenis seperti pertanian terutama pada aktivitas budidaya sebagai sebuah industri.

Sebagaimana dituangkan dalam FAO-Code of Conduct for Fisheries Responsibility (1995), bahwa prinsip budidaya berkelanjutan seharusnya dilihat dalam perspektif pembangunan berkelanjutan yang menitikberatkan pada 5 (lima) dimensi yaitu ekologi, ekonomi, sosial, teknologi dan infrastruktur, serta kebijakan dan kelembagaan. Ke-lima dimensi tersebut seharusnya

menjadi bahan acuan bagi pola pengelolaan budidaya perairan yang berkelanjutan. Pembangunan berkelanjutan adalah upaya pengelolaan dan konservasi sumber daya alam yang didasarkan pada orientasi teknologi dan institusi guna memenuhi kebutuhan hidup generasi sekarang dan menjamin ketersediaan sumberdaya baik kuantitas maupun kulaitas untuk generasi yang akan datang. Prinsip pembangunan berkelanjutan (di sekor pertanian, kehutanan, perikanan) harus diupayakan untuk tetap melestarikan tanah/lahan, sumberdaya air, tumbuhan, sumberdaya hewan, menjamin tidak terjadinya degradasi lingkungan, serta mempertimbangkan kelayakan teknis, kelayakan ekonomis, dan kelayakan sosial (*Code of Conduct for Responsible Fisheries* - CCRF, FAO, 1995).

Merujuk pada apa yang dihasilkan dalam konferensi PBB tentang lingkungan dan pembangunan di Rio de Jenairo pada tahun 1992, terkait prinsip utama pembangunan berkelanjutan, maka dapat dimaknai bahwa pengelolaan perikanan budidaya harus mampu menindaklanjuti beberapa prinsip yaitu : (1) Prinsip keadilan intra dan antar generasi, prinsip ini menjamin bahwa sebuah pengelolaan budidaya perairan harus dilakukan secara bijaksana dan tidak boleh mengorbankan masa depan generasi yang akan datang yaitu dengan memberikan jaminan ketersediaan sumberdaya baik kualitas maupun kuantitas. (2) Prinsip kehati-hatian, bahwa setiap perencanaan pengelolaan maupun aktivitas usaha budidaya perairan harus terukur dan mengedepankan analisis manfaat dan resiko sebagai bentuk pencegahan dini terhadap potensi dampak yang ditimbulkan dari aktivitas usaha budidaya perairan, sehingga tidak berdampak negatif jangka panjang terhadap keberlanjutan fungsi ekosistem dan sumberdaya itu sendiri. (3) Pengelolaan budidaya perairan harus menjamin keanekaragaman hayati tetap terjaga, disamping itu peran budidaya perairan juga sangat strategis dalam mengembalikan keanekaragaman hayati yang mulai berkurang yaitu dengan mendorong penerapan bioteknologi perikanan budidaya yang ramah lingkungann. (4) Pengelolaan industri budidaya seyogyanya juga memasukan biaya lingkungan

ke dalam biaya produksi, dimana selama ini biaya lingkungan hanyalah faktor eksternal (*external cost*). Kedepan, sudah saatnya dilakukan internalisasi biaya lingkungan ke dalam proses produksi, ini penting sebagai bentuk tanggungjawab lingkungan (kompensasi jasa lingkungan).

Pengelolaan usaha budidaya perairan tidak dapat dikatakan berkelanjutan tanpa mempertimbangkan aspek lingkungan dan pelestarian fungsi ekosistem di dalamnya. Dengan kata lain, lingkungan dimaksud bukan hanya lingkungan yang terfokus pada *on farm*, tapi lingkungan dalam arti luas yang berkaitan dengan jaminan keseimbangan siklus alamiah yang membangun suatu ekosistem yang mantap secara keseluruhan.

FAO -*Code of Conduct for Responsible Aquaculture* (1995) telah memberikan *acuan* kepada negara-negara di dunia bagaimana melakukan pengelolaan budidaya perairan secara bertanggungjawab dengan menjamin kelestarian sumberdaya alam dan lingkungan. Merujuk pada apa yang telah diamanatkan dalam FAO-*code of conduct* di atas, dapat dipetakan interaksi antara budidaya perairan dengan dimensi lingkungan sebagai salah satu indikator keberhasilan pengelolaan usaha budidaya perairan berbasis ekosistem.

Dalam konteks pengelolaan pesisir dan laut berkelanjutan, maka perlu ada perubahan paradigma pola pengelolaan budidaya perairan ke arah yang berbasis pada eko-akuakultur (merujuk pada istilah agroekologi). Prinsip eko-akuakultur adalah pendekatan yang berbasis pada upaya konservasi, dimana di dalamnya dimaknai sebagai upaya pelestarian sumberdaya dan lingkungan (*save*); pembelajaran/riset (*study*), dan rasionalisasi pemanfaatan untuk kesejahteraan (*use for Prosperity*). Adapun indikator eko-akuakultur dalam kerangka prinsip *sustainability* harus mencakup beberapa butir isu utama, yaitu :

**Pertama**, kesesuaian dengan tata ruang, baik matra darat maupun matra laut. Hal ini berarti bahwa lokasi akuakultur harus sesuai alokasi atau pola ruang yang telah ditetapkan dalam Peraturan

Daerah tentang Tata Ruang, baik Rencana Tata Ruang Wilayah atau RTRW (matra darat) maupun Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil atau RZWP3K (matra laut). Lokasi pengembangan akuakultur harus berada pada Kawasan Pemanfaatan Umum yang dialokasikan untuk Budidaya Perairan sesuai ketentuan Perda RZWP3K, juga harus sejalan dengan ketentuan Perda RTRW tentang alokasi ruang Kawasan Budidaya. Ketentuan ini perlu dipatuhi agar terjadi sinergi dan harmoni antar matra, antar kegiatan, antar sektor, antar daerah, antar ekosistem (Daerah Aliran Sungai dan Bentang Alam Pesisir dan laut);

**Kedua**, konversi lahan (*land conversion*). Pengembangan kawasan akuakultur tidak boleh mengorbankan kawasan penyangga, kawasan konservasi mangrove atau terumbu karang, dan kawasan-kawasan lain yang bersifat vital (misalnya, sempadan pantai, Gumuk Pasir) sebagai penopang ekosistem secara keseluruhan. Dalam penetapan kawasan budidaya tambak, misalnya, maka pelaku usaha wajib menyediakan *spare* (pencadangan areal lahan) minimal 20% dari total lahan potensial untuk kawasan penyangga (*buffer zone*), begitupun dengan jenis budidaya perairan lainnya.

Maraknya alih fungsi lahan hutan mangrove pada beberapa dekade yang lalu menjadi lahan pertambakan intensif secara tidak terkendali, pada kenyataannya telah mendegradasi struktur, komposisi dan fungsi ekosistem alamiah yang ada. Kondisi ini pada akhirnya juga menjadi bumerang bagi aktivitas akuakultur dan menyisakan masalah berkepanjangan hingga saat ini. Merebaknya hama dan penyakit pada ikan dan udang merupakan bagian mata rantai sebagai akibat terabaikannya aspek ekologis yang membangun klemantapan ekosistem tersebut. Berbagai kasus alih fungsi lahan juga dikhawatirkan para pakar. Menurut Byron and Costa-Pierce (2010), pertumbuhan-kembangan yang cepat dari kegiatan akuakultur dapat menyebabkan terjadinya dampak ekologi dan sosial sehingga dapat menimbulkan konflik ekoregion seperti kegiatan akuakultur akan bersaing dalam pemanfaatan ruang dan sumber daya terhadap tanah, air, dan hidroklimat pantai.

**Ketiga**, daya dukung dan daya tampung lingkungan. Daya dukung lingkungan secara umum diartikan sebagai “kemampuan lingkungan dalam menopang/mendukung perikehidupan makhluk hidup”. Dalam konteks budidaya perairan, maka daya dukung lingkungan merupakan kemampuan lingkungan dalam menopang kehidupan ikan (kultivan) secara optimal. Sedangkan daya tampung lingkungan sebagaimana diamanatkan Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup merupakan “kemampuan lingkungan untuk menyerap zat, energi, dan/atau komponen lain yang masuk atau dimasukkan ke dalamnya”.

Daya dukung lingkungan yang baik adalah pada kondisi dimana siklus kehidupan dalam suatu ekosistem berjalan dengan normal dan stabil, sehingga mampu menopang perikehidupan kultivan yang dibudidayakan. Sangat disayangkan, manakala pelaku usaha budidaya perairan karena termotivasi meraup hasil produksi atau keuntungan yang tinggi kemudian melakukan usaha budidaya tanpa memperhatikan daya dukung lingkungan yang ada.

Di perairan pesisir dan laut berbagai masalah lingkungan kemudian muncul dan mengakibatkan dampak negatif pada usaha budidaya dan ekosistem perairan dan terestrial. Contoh konkrit di lingkungan terestrial adalah kasus degradasi lingkungan, eutrofikasi dan kematian ikan secara massal pada perairan waduk Gajahmungkur di Kabupaten Wonogiri. Tidak dapat dipungkiri bahwa masalah waduk Gajahmungkur yang mencapai titik klimaks adalah sebagai akibat terabaikannya aturan hukum yang dibuat, sayangnya Pemerintah sebagai regulator dalam hal ini justru kurang tegas dalam penegakan aturan, terutama dari aspek perencanaan, pengawasan, evaluasi dan sosialisasi penegakan regulasi di lapangan. Rusaknya ekosistem DAS dan tidak terkendalinya aktivitas Karamba Jaring Apung adalah bukti lemahnya implementasi aturan, Secara hukum hal ini merupakan bentuk pelanggaran terhadap peraturan perundang-undangan yang ada, termasuk di dalamnya terkait aturan perijinan dan

zonasi/tata ruang. Jika regulasi/aturan yang ada dijalankan dengan baik, maka masalah eutrofikasi dan kematian massal ikan di waduk Gajahmungkur dan perairan umum di Indonesia dapat ditnggulabgi dengan baik. Suatu regulasi/aturan dibuat seyogyanya disosialisasikan dan dilaksanakan, sebagai bentuk antisipasi dini (ke hati-hatian) yang merupakan bagian dari prinsip pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*).

Sejalan dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk dan pembangunan, modernisasi teknologi akuakultur yang berbasis industri kian cepat, disatu sisi merupakan bentuk keberhasilan dalam upaya meningkatkan produksi akuakultur, namun disisi lain tanpa disadari justru berpotensi melemahkan daya dukung ekosistem. Modernisasi teknologi budidaya perairan yang tidak terkendali memicu penggunaan input produksi dan energi yang besar, dimana pada akhirnya akan menghasilkan beban limbah buangan budidaya yang tinggi, baik limbah padat maupun cair Penerapan padat tebar tinggi (*high density*) misalnya, akan memicu peningkatan penggunaan input pakan dan energi, sehingga menimbulkan dilema, disatu sisi belum adanya jaminan pengelolaan limbah yang efektif, atau lebih krusial lagi belum dilandasi kajian daya dukung lingkungan terlebih dahulu. Kondisi ini dapat dipastikan akan menimbulkan masalah lingkungan di kemudian hari.

Upaya beberapa negara-negara di dunia khususnya di Uni Eropa yang mulai menggeser paradigma pengelolaan akuakultur dari berbasis modernisasi teknologi kepada akuakultur yang berbasis ekosistem, patut menjadi bahan pertimbangan. Penerapan IMTA (*integrated Multi Trophic Aquaculture*) dan pengelolaan yang berbasis daya dukung ekosistem, sudah seharusnya diimplementasikan mulai saat ini. Pemetaan daya dukung lahan pada sentral produksi dan kawasan potensial menjadi sesuatu yang mutlak untuk segera dilakukan, sehingga akan menjadi acuan rekomendasi bagi perijinan dan pengendalian pengelolaan akuakultur sesuai tingkatan teknologi yang aman untuk diterapkan.

**Ke-empat**, proses domestikasi (*domestication*). Domestikasi adalah upaya penjinakan atau penumbuhkembangan biota liar menjadi kultivan budidaya melalui tahap : aklimasi, aklimatisasi dan kultivasi. Dalam dunia akuakultur, proses domestikasi suatu spesies merupakan hal biasa dan bahkan diperlukan. Seiring perkembangan rekayasa teknologi akuakultur yang sudah sedemikian maju, domestikasi telah memberikan dampak positif terhadap peningkatan produksi akuakultur saat ini. Sebagaimana dinyatakan IUCN (*International Union for Conservation of Nature and Natural Resources*) bahwa dalam konteks dimensi lingkungan, maka perlu ada semacam acuan terkait kegiatan domestikasi dimaksud, yaitu : (a) *Selective breeding* harus didorong sebagai upaya dalam menghasilkan spesies yang unggul, namun demikian harus dirancang dalam meminimalisir potensi dampak terhadap biodiversitas; (b) sistem budidaya perairan harus dirancang sebagai upaya mengurangi pelepasan spesies hasil rekayasa genetik ke alam liar (*escape management*); (c) pembuatan bank gen dari spesies ikan liar harus didorong sebagai tempat sumber genetik atau sumber plasma nutfah.

**Kelima**, pakan (*feed*). Permasalahan pakan merupakan isu krusial yang seolah tidak ada habisnya, bayangkan lebih dari 60% dari total biaya produksi dikeluarkan untuk pengadaan pakan kultivan. Isu pakan juga menjadi isu strategis sebagai permasalahan utama dalam bisnis akuakultur global. Bukan hanya karena merupakan bagian terbesar penyusun biaya produksi, namun disisi lain dalam dimensi lingkungan, ternyata pakan berpotensi cukup besar dalam memberikan kontribusi terhadap permasalahan pencemaran dan degradasi lingkungan yang terjadi saat ini.

Bahan baku pakan khususnya yang memiliki kandungan protein tinggi (*high protein*) masih mengandalkan pada tepung ikan yang didapatkan dari hasil tangkapan ikan laut nir-ekonomis. Kondisi ini tentunya sangat bertentangan dengan upaya mewujudkan kaidah keamanan pangan (*food security*), terlebih jika bahan baku pakan dihasilkan dengan cara-cara yang tidak

ramah lingkungan, yang justru mengancam kelestarian ekosistem. Terkait isu bahan baku pakan, maka beberapa rekomendasi yang perlu mendapatkan perhatian, yaitu : (a) sumber bahan baku pakan harus terjamin aspek keberlanjutannya, di mana sumber bahan baku pakan tersebut didapatkan dengan tanpa mengganggu daya dukung ekosistem yang ada. Pada negara-negara eksportir tepung ikan seperti Chili, sertifikasi keberlanjutan (*sustainability*) sumber bahan baku tepung ikan menjadi salah satu persyaratan ekspor. Salah satu sertifikasi terkait tepung ikan misalnya yang dikeluarkan oleh IFFO (*International Fishmeal and Fish Oil*). Sertifikasi IFFO merupakan sebuah bentuk legalitas terkait tanggungjawab terhadap kelestarian lingkungan; (b) mendorong penggunaan pakan melalui manajemen pengelolaan pakan secara efisien; (c) mendorong adanya kajian terkait alternatif penggunaan bahan baku tepung ikan dan minyak ikan (*fish oil*) selain yang berasal dari hasil tangkapan ikan. Salah satu upaya yang layak dijadikan rujukan adalah memproduksi tepung ikan dari sisa (*by product*) industri pengolahan ikan sebagaimana yang telah dilakukan uji coba pada beberapa negara di Eropa; (d) dalam upaya mengurangi kebergantungan pada pakan berkandungan protein tinggi, maka sudah pada saatnya didorong budidaya ikan berbasis pada komoditas *low-trophic level* (IUCN, 2007); dan (e) mendorong akuakultur berbasis ekosistem (*ecosystem-base aquaculture*) dengan bertumpu pada ketersediaan dan kesesuaian pakan alami serta daya dukung lingkungan.

**Ke-enam**, potensi limbah (pollutan). Industri akuakultur di satu sisi berpotensi dalam menghasilkan limbah pollutan. Pollutan tersebut berpotensi menimbulkan dampak negatif besar sebagai akibat dari pembusukan sisa pakan dan akumulasi bahan organik. Penggunaan pakan dan bahan organik lain yang tidak terkontrol (tidak efisien) disinyalir akan mengakibatkan akumulasi bahan organik yang jika tidak ada penanganan yang efektif, akan mengakibatkan dampak negatif terhadap lingkungan. Peningkatan kadan amoniak, karbondioksida dan BOD (*biological oxygen demand*) secara

signifikan merupakan indikator terjadinya pencemaran lingkungan akibat sisa-sisa pakan yang membusuk..

Limbah partikel organik yang berasal dari Karamba Jaring Apung (KJA) secara nyata berpengaruh terhadap lingkungan planktonik dan bentik. Ruiz et al. (2001) melaporkan bahwa beban sisa-sisa pakan yang berasal dari budidaya ikan (30 KJA pada luasan 7 ha dan kedalaman 20 m) akan berdampak pada gangguan serius bagi kehidupan padang lamun (*Posidonia oceanica*) seluas 11,29 ha. Dampak lain limbah budidaya ini adalah terjadinya penurunan keanekaragaman infauna dalam sedimen dan degradasi dasar perairan, jika limbah menghasilkan deposit C organik melebihi 0,7 kgC/m<sup>2</sup>/tahun (Gillibrand et al., 2002). Menurut Beveridge (2004) sekitar 15-30% nitrogen (N) dan fosfor (P) dalam pakan akan diretensikan di dalam daging ikan, sedangkan sisanya terbuang ke lingkungan. Dalam hal ini, Folke et al. (1994) menyetarakan beban limbah budidaya perairan yang dihasilkan sama dengan beban limbah pemukiman yang didiami sebanyak 850 - 3.200 orang untuk memproduksi 100 ton ikan.

Efektivitas pengelolaan budidaya perairan yang menerapkan *Best management Practices* dalam pengelolaan dan pengendalian limbah buangan harus menjadi fokus utama. Perangkat IPAL (instalasi pengelolaan limbah) yang efektif menjadi syarat mutlak yang harus ada dalam aktivitas industri akuakultur berbasis ekosistem (eko-akuakultur). Potensi polutan juga dapat berasal dari bahan kimia dan biologis yang digunakan dalam proses produksi akuakultur, oleh karena itu maka pengawasan dan kontrol secara intensif terhadap rangkaian proses budidaya perairan mutlak dilakukan. Industri akuakultur ke depan harus didorong agar melakukan inovasi yang mengedepankan teknologi/produksi bersih yang *nir*-limbah atau dengan kata lain menerapkan prinsip eko-efisiensi.

**Ketujuh**, Emisi (*emission*). Fenomena *global warming* sebagai akibat efek gas rumah kaca, pada kenyataannya tidak hanya disebabkan oleh aktivitas industri, namun demikian kontribusi sektor lain dalam hal ini agrikultur dan akuakultur juga memberikan

andil terhadap perubahan iklim global. Penggunaan pakan buatan (pabrik) dan energi fosil merupakan unsur yang memberikan kontribusi besar pada emisi karbon. Bila mengacu dimensi lingkungan berkelanjutan, suatu pengelolaan usaha akuakultur yang masih mengandalkan energi fosil belum dapat dikatakan berkelanjutan.

Ada hal menarik, hasil *carbon tracing* terhadap aktivitas budidaya tambak intensif menyebutkan bahwa emisi karbon cukup banyak disumbangkan oleh penggunaan energi fosil dan pakan (terutama pakan pabrik). Dalam produksi per ton udang vaname dengan teknologi bioflok (intensif) menghasilkan dampak terhadap lingkungan dalam hal ini global warming potential (GWP) sebesar  $7336,77 \pm 1,46$  kg CO<sub>2</sub>eq, dimana nilai tersebut berasal dari kontribusi penggunaan energi listrik sebesar 43%, pakan udang 38% dan sarana produksi 18% (Ma'in *et al.*, 2013). Berkaitan dengan hal tersebut, maka strategi yang dapat dilakukan dalam meminimalisir dampak emisi yaitu ; (a) perlu dilakukan perbaikan manajemen pemberian pakan berbasis daya dukung kualitas air,serta peningkatan efisiensi pakan; (b) pengurangan konsumsi energi listrik; dan (c) pengadaan dan pengoperasian instalasi pengelolaan limbah yang efektif .

**Kedelapan**, keanekaragaman hayati (*Biodiversity*). Dalam pembahasan IBSAP (*Indonesia Biodiversity Strategy and Action Plan*) yang digagas Bappenas tahun 2014 yang lalu, diberikan arahan rekomendasi kepada institusi lintas sektoral, termasuk sektor Kelautan dan Perikanan, untuk turut serta dalam menjaga keberadaan serta kemantapan keanekaragaman hayati. Sub sektor perikanan budidaya mempunyai peran penting dalam menjamin kelestarian *biodiversity*, salah satunya melalui peran domestikasi dan pengembangan teknologi eko-akuakultur.

Saat ini, sub sektor perikanan budidaya sudah semestinya didorong bukan hanya pada komoditas ekonomis penting yang berbasis pada pasar (*market oriented*), namun sudah harus fokus dalam mempertahankan dan mengembangkan komoditas

yang berbasis jenis ikan spesifik lokal dan spesies yang terancam kelestariannya. Di sisi lain, teknologi eko-akuakultur yang berkaitan dengan rekayasa genetik harus diantisipasi agar tidak berdampak negatif terhadap spesies yang ada di alam (*wild species*) dengan memproteksi agar tidak terkendali dan lepas ke alam bebas. Sub sektor akuakultur juga harus berperan dalam memproteksi perkembangan spesies-spesies ikan yang bersifat invasif serta melakukan kajian dampak terhadap *biodiversity*. Introduksi komoditas *alien invasif species* pada perairan umum melalui upaya peremajaan atau pengkayaan stok (*restocking* atau *stock enhancement*) harus dihindari, sebagai upaya menjaga kelestarian ikan endemik lokal. Para pakar akuakultur menyebutkan bahwa produksi jenis ikan *alien invasif species* menunjukkan tendensi peningkatan yang cukup signifikan, sedangkan ikan endemik lokal dan *non alien spesies* justru mengalami penurunan. Oleh sebab itu pengelolaan akuakultur yang bertanggungjawab harus mengedepankan prinsip kehati-hatian, yaitu setiap perencanaan pengelolaan harus terukur dan mengedepankan analisis resiko dan manfaat, sebagai bentuk pencegahan dini terhadap potensi dampak yang ditimbulkan dari aktivitas usaha akuakultur.

**Kesembilan**, penilaian lingkungan (*Enviromental assesment*). Isu lingkungan telah memasuki ranah lalu lintas perdagangan global saat ini, khususnya yang berbasis sumberdaya alam. Beragam standar dan persyaratan ekspor yang berkaitan dengan sertifikasi produk telah banyak dikeluarkan baik bersifat privat standar maupun publik standar. Ketentuan ini, meskipun dirasa memberatkan tetapi harus diakui bahwa secara bertahap telah dimulai adanya komitmen dan kesadaran masyarakat global terkait pentingnya menerapkan prinsip *sustainable development* dalam budidaya perairan.-

Keberlanjutan dapat dicapai ketika kondisi lingkungan yang stabil dapat dipertahankan, dimana pengelolaan sumberdaya alam harus dilakukan dengan ramah lingkungan. Oleh karena itu setiap kegiatan termasuk pengelolaan usaha budidaya perairan sudah seharusnya memahami langkah-langkah rasional pengelolaan

sumberdaya pesisir berkelanjutan, dimana didalamnya harus mempertimbangkan aspek ekologis, aspek sosial, budaya, dan ekonomi. (Frankic and Hershner, 2001).

Sejalan dengan uraian di atas, Rogers *et al.* (2007) menyatakan bahwa terdapat tiga pilar utama dalam pembangunan berkelanjutan yaitu dimensi ekologi, dimensi sosial dan dimensi ekonomi. Dimensi ekologi artinya optimalisasi manfaat ekologis tidak harus mengabaikan aspek ekonomi dan sosial. Dimensi sosial maksudnya tidak harus mengabaikan aspek ekonomi dan ekologis. Sedangkan dimensi ekonomi artinya tidak mengabaikan dimensi ekologi dan sosial. Dengan demikian ketiga pilar tersebut harus digerakkan secara simultan dalam perencanaan dan implimentasi pembangunan dan pengelolaan wilayah pesisir dan laut berbasis ekosistem.

Pembangunan berkelanjutan termasuk pengelolaan budidaya perairan berkelanjutan bertumpu pada tiga pilar yaitu: ekonomi, sosial dan lingkungan. Lebih lanjut dijelaskan bahwa suatu kegiatan pembangunan termasuk budidaya perairan dikatakan berkelanjutan jika memenuhi kriteria diantaranya yaitu : (1) Suatu kondisi dikatakan berkelanjutan (*sustainable*) jika *utilitas* yang diperoleh masyarakat tidak berkurang sepanjang waktu dan konsumsi tidak menurun sepanjang waktu (*non-declining consumption*), (2) keberlanjutan adalah kondisi dimana sumber daya alam dikelola sedemikian rupa untuk memelihara kesempatan produksi dimasa mendatang, (3) keberlanjutan adalah kondisi dimana sumber daya alam (*natural capital stock*) tidak berkurang sepanjang waktu (*non-declining*), (4) keberlanjutan adalah kondisi dimana sumber daya alam dikelola untuk mempertahankan produksi jasa sumber daya alam, dan (5) keberlanjutan adalah adanya kondisi keseimbangan dan daya tahan (*resilience*) ekosistem terpenuhi (Fauzi, 2004).

### **Dimensi Keberlanjutan dalam Eko-akuakultur**

Dalam konteks eko-akuakultur, prinsip keberlanjutan harus dimaknai sebagai upaya pengelolaan sumberdaya akuakultur secara bertanggungjawab dengan tetap menjamin kualitas lingkungan

dan upaya konservasi sumberdaya alam serta pelestarian fungsi ekosistem. Pengelolaan perikanan berkelanjutan dapat ditafsirkan sebagai perubahan positif pada alam melalui rekayasa pengelolaan sumberdaya ekonomi dibidang perikanan dengan tidak mengorbankan sistem ekologi dan sistem sosial.

Menurut Fauzi dan Anna (2005), idealnya pembangunan perikanan berkelanjutan mengandung aspek-aspek :

- 1) *Ecological sustainability* (keberlanjutan ekologi). Dalam pandangan ini memelihara keberlanjutan stok atau biomassa sehingga tidak melewati daya dukungnya, serta meningkatkan kapasitas dan kualitas dari ekosistem menjadi perhatian utama.
- 2) *Socioeconomic sustainability* (keberlanjutan sosio-ekonomi). Konsep ini mengandung makna bahwa pembangunan perikanan harus memperhatikan keberlanjutan dari kesejahteraan pelaku perikanan pada tingkat individu. Dengan kata lain, mempertahankan atau mencapai tingkat kesejahteraan masyarakat yang lebih tinggi merupakan perhatian kerangka keberlanjutan ini.
- 3) *Community sustainability*, mengandung makna bahwa keberlanjutan kesejahteraan dari sisi komunitas atau masyarakat haruslah menjadi perhatian pembangunan perikanan yang berkelanjutan.
- 4) *Institutional sustainability* (keberlanjutan kelembagaan). Dalam kerangka ini, keberlanjutan kelembagaan yang menyangkut pemeliharaan aspek financial dan administrasi yang sehat merupakan prasyarat ketiga pembangunan berkelanjutan di atas.

Keberlanjutan pengelolaan perikanan dalam lima dimensi, yaitu dimensi ekologi, dimensi ekonomi, dimensi sosial, dimensi kelembagaan dan dimensi etika. Pada setiap dimensi dapat dipilih beberapa variabel atau atribut yang mewakili dimensi bersangkutan untuk digunakan sebagai indikator tingkat keberlanjutan dari dimensi tersebut.

Pertama, dimensi Ekologi. Dimensi ini merupakan elemen kunci karena arahan pembangunan berkelanjutan mensyaratkan kesinambungan pemanfaatan sumberdaya alam dan jasa lingkungan

bagi generasi mendatang. Keberlanjutan ekologi terkait dengan mempertahankan integritas ekosistem, menjaga daya dukung lingkungan perairan, serta meningkatkan kapasitas dan kualitas dari ekosistem perairan menjadi perhatian utama. Dimensi ekologi dipilih untuk mencerminkan bagaimana pemanfaatan sumberdaya perairan untuk budidaya laut berdampak secara ekologis terhadap keberlanjutan sumberdaya dan lingkungan serta ekosistem tersebut sehingga kegiatan pemanfaatannya dapat berlangsung secara berkelanjutan. Atribut ekologis dipilih untuk mencerminkan bagaimana pemanfaatan sumberdaya perairan untuk budidaya laut berdampak secara ekologis terhadap keberlanjutan sumberdaya dan lingkungan serta ekosistem perairan tersebut, sehingga budidaya laut dapat berlangsung secara berkelanjutan. Pemanfaatan perairan untuk budidaya laut yang melebihi daya dukung perairan akan berpengaruh terhadap ketidak berlanjutan kegiatan tersebut.

Kedua, dimensi ekonomi. Berkelanjutan secara ekonomi mensyaratkan arti bahwa suatu kegiatan pembangunan harus dapat menciptakan pertumbuhan ekonomi, pemeliharaan kapasitas, dan penggunaan sumberdaya serta investasi secara efisien. Dimensi ekonomi meliputi aspek permintaan (*demand*) dan penawaran (*supply*) komoditas yang dihasilkan, harga dan struktur pasar. Atribut ekonomi mencerminkan bagaimana budidaya laut berdampak secara ekonomis terhadap keberlanjutan kegiatan budidaya laut tersebut yang pada akhirnya akan berdampak pada keberlanjutan secara ekologis. Kegiatan budidaya laut yang menimbulkan kerugian secara ekonomis tentu tidak akan berlanjut dan mengandung potensi untuk merusak sumberdaya dan lingkungan sehingga juga mengancam keberlanjutan ekologis.

Ketiga, dimensi sosial. Pengertian berkelanjutan secara sosial mensyaratkan bahwa suatu pembangunan hendaknya dapat menciptakan pemerataan hasil-hasil pembangunan, mobilitas sosial, kohesi sosial, partisipasi masyarakat, pemberdayaan masyarakat, identitas sosial, kejadian-kejadian yang berpengaruh pada permintaan dan penawaran serta hubungan antara pelaku

ekonomi. Atribut sosial mencerminkan bagaimana kegiatan pemanfaatan sumberdaya perairan untuk budidaya laut berdampak terhadap keberlanjutan sosial komunitas setempat yang akhirnya juga akan berdampak terhadap keberlanjutan ekologis. Aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan (ekologi) merupakan aspek utama yang harus seimbang di dalam pembangunan berkelanjutan..

Keempat, dimensi kelembagaan. Dimensi kelembagaan sangat bergantung pada harmoninya tatanan kelembagaan, hak-hak dan kewajiban masyarakat, serta keefektifan aturan yang dibuat atau dirumuskan. Terkait dengan hal ini, ada tiga aspek penting yang patut diperhatikan dalam pengambilan keputusan, yaitu: (1) keterwakilan (*representation*) yang didefinisikan sebagai tingkat petambak atau pembudidaya dan pemegang kepentingan lainnya berpartisipasi dalam pengambilan keputusan; (2) kecocokan (*relevanse*) yaitu tingkat peraturan yang berlaku dinilai cocok atau tidak dengan masalah-masalah yang dihadapi; (3) penegakan hukum (*enforceability*) yaitu regulasi atau aturan dapat ditegakkan secara adil dan bermartabat. Atribut kelembagaan mencerminkan seberapa jauh tersedia perangkat kelembagaan beserta tingkat penegakan, kepatuhan yang dapat mendorong keberlanjutan pemanfaatan sumberdaya perairan untuk budidaya perairan.

Kelima, dimensi teknologi. Aspek teknologi yang digunakan dalam budidaya perairan sangat bergantung pada jenis teknologi yang diperbolehkan atau tidak diperbolehkan yang akan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan perairan. Kehadiran suatu teknologi membentuk pola interaksi antara pengguna. Jika suatu teknologi mensyaratkan adanya kerjasama antar pengguna, kerjasama itu akan terwujud karena kebutuhan. Sebaliknya, penggunaan teknologi tertentu dapat juga menjadi disinsentif bagi pengguna untuk bekerjasama yang seterusnya menentukan pola interaksi yang khas di antara mereka bukan saja pada saat pemanfaatan sumberdaya, tetapi juga pada saat perencanaan, perumusan cara-cara pemanfaatan, dan pengelolaan. Atribut

teknologi mencerminkan seberapa jauh penggunaan teknologi dapat meminimalkan resiko kegagalan keberlanjutan pemanfaatan sumberdaya perairan untuk budidaya perairan.

Selanjutnya tanggungjawab pengelolaan perikanan budidaya berkelanjutan dilakukan secara sinergi oleh semua elemen yaitu Pemerintah, pembudidaya ikan, produsen dan pemasok hasil budidaya, para prosesor dan pedagang hasil budidaya, lembaga-lembaga pembiayaan, para peneliti, asosiasi profesi, lembaga swadaya masyarakat dan stakeholders lainnya. Tugas utama adalah untuk menghasilkan komitmen untuk membangun dialog dan kerjasama yang efektif, antara mitra dalam pengembangan perikanan budidaya, pada tingkat lokal, nasional dan internasional khususnya ketika mempertimbangkan pemanfaatan sumberdaya di wilayah Pesisir dan Laut

### **Arah Kebijakan Pembangunan Perikanan Budidaya**

Dalam Rencana Strategis (RENSTRA) Tahun 2014-2024 yang telah disesuaikan. Kementerian Kelautan dan Perikanan menetapkan visi **“Pembangunan Kelautan dan Perikanan yang Berdaya Saing dan Berkelanjutan untuk Kesejahteraan Masyarakat”**. Sebagai upaya mengintegrasikan dengan pembangunan kelautan dan perikanan serta berlandaskan pemahaman dan penelaahan terhadap peluang dan potensi, serta permasalahan pengembangan perikanan budidaya di masa yang akan datang, maka Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya melakukan penyesuaian visi sebagaimana berikut : **“Pembangunan Perikanan Budidaya yang Berdaya Saing dan Berkelanjutan untuk Kesejahteraan Masyarakat”**. Dengan visi tersebut. diharapkan dapat terwujud pengelolaan sumberdaya perikanan budidaya yang dapat memberikan nilai tambah pada produk perikanan budidaya sehingga memiliki daya saing tinggi dengan tetap melakukan pengelolaan sumberdaya alam secara berkelanjutan, yang pada gilirannya dapat meningkatkan kesejahteraan pada masyarakat.

Melalui pembangunan perikanan budidaya yang berdaya saing, ingin diwujudkan usaha perikanan budidaya dalam bentuk sistem yang terpadu, dimana masing-masing sub sistem didalamnya secara konsisten mampu menghasilkan produk perikanan budidaya yang berkualitas, efisien, serta memiliki daya saing baik di pasar domestik maupun internasional. Sistem usaha perikanan budidaya yang efisien akan mampu menghasilkan produk yang berdaya saing mampu menembus pasar yang pada gilirannya akan mampu meningkatkan pendapatan, kesejahteraan masyarakat pembudidaya ikan dan sekaligus pengurangi kemiskinan (*pro-poor*), peningkatan penyerapan tenaga kerja (*pro-job*), peningkatan pertumbuhan ekonomi (*pro-growth*).

Dengan pembangunan perikanan budidaya yang berkelanjutan, ingin diwujudkan sistem usaha perikanan budidaya yang memiliki komitmen kuat untuk memperhatikan daya dukung lahan serta memperhatikan kelestarian sumberdaya dan lingkungan hidup (*pro-environment*), sehingga usaha perikanan budidaya yang dikembangkan dapat dilaksanakan secara berkesinambungan dan bertanggungjawab.

### **Pengembangan Perikanan Budidaya Berbasis Ekonomi Biru (*Blue Economy*)**

Kementerian Kelautan dan Perikanan telah mencanangkan industrialisasi kelautan dan perikanan berbasis “*blue economy*” sebagai salah satu strategi pembangunan kelautan dan perikanan yang dimulai pada tahun 2012. Industrialisasi kelautan dan perikanan adalah integrasi sistem produksi hulu dan hilir untuk meningkatkan skala dan kualitas produksi, produktivitas, daya saing, dan nilai tambah sumberdaya kelautan dan perikanan secara berkelanjutan. Tujuan industrialisasi kelautan dan perikanan terwujudnya percepatan pendapatan pelaku usaha kelautan dan perikanan. Sasaran yang ingin dicapai melalui industrialisasi kelautan dan perikanan adalah meningkatnya skala dan kualitas produksi, produktivitas, daya saing, dan nilai tambah sumberdaya kelautan dan perikanan.

Pada tahun 2010, Gunter Pauli memperkenalkan suatu pendekatan baru yakni *Blue Economy* melalui bukunya yang berjudul *The Blue Economy: 10 years, 100 innovations, and 100 million jobs*. Konsep *Blue Economy* dimaksudkan untuk menantang para entrepreneur bahwa *Blue Economy business model* memberikan peluang untuk mengembangkan investasi dan bisnis yang lebih menguntungkan secara ekonomi dan lingkungan, menggunakan sumberdaya alam lebih efisien dan tidak merusak lingkungan, sistem produksi lebih efisien dan bersih, menghasilkan produk dan nilai ekonomi lebih besar, meningkatkan penyerapan tenaga kerja, dan memberikan kesempatan untuk memberikan benefit kepada setiap kontributor secara lebih adil.

Konsep Ekonomi Biru dikembangkan untuk menjawab tantangan, bahwa sistem ekonomi dunia cenderung eksploitatif dan merusak lingkungan. Kerusakan lingkungan ini tidak hanya disebabkan oleh adanya limbah industri, akan tetapi kerusakan alam dan lingkungannya juga disebabkan oleh eksploitasi sumberdaya alam yang melebihi kapasitas atau daya dukung alam. Selama ini prinsip-prinsip *resource efficiency, low carbon, social inclusiveness* telah berkembang, namun masih belum mampu mengatasi keserakahan manusia untuk mengeksploitasi sumberdaya alam lebih banyak (Pauli, 2010).

Implementasi pembangunan berkelanjutan dengan konsep *green products and services*, yaitu produk-produk dan jasa ramah lingkungan tidak dengan sendirinya sesuai harapan. Hal ini disebabkan *green products and services* yang dihasilkan harus dibeli dengan harga yang lebih mahal dan makin tidak dapat dijangkau oleh masyarakat miskin karena diperlukan nilai investasi yang lebih besar. Investor harus mengeluarkan biaya lebih besar untuk menghasilkan produk yang aman serta jasa pelayanan pengolahan dan pemasaran, dan tambahan biaya ini pada akhirnya dibebankan kepada konsumen.

Merujuk apa yang telah diperkenalkan oleh Gunter Pauli terkait konsep *Blue Economy*, maka Kementerian Kelautan dan Perikanan mendorong implementasi konsep pengembangan industrialisasi perikanan budidaya berbasis *Blue Economy* yang dilandasi

dengan prinsip-prinsip : (i) terintegrasi, yakni integrasi ekonomi dan lingkungan, jenis investasi dan sistem produksi; (ii) berbasis kawasan, yakni berbasis pengembangan kawasan ekonomi potensial; (iii) sistem produksi bersih, yakni sistem produksi efisien, hemat bahan baku, bebas pencemaran dan tidak merusak lingkungan; (iv) investasi kreatif dan inovatif, yakni penanaman modal dan bisnis dengan model *blue economy*; (v) berkelanjutan, yaitu keseimbangan antara pemanfaatan sumber daya alam dan pelestarian lingkungan.

### **Daya Dukung dan Daya Tampung Lingkungan Perairan**

Daya dukung lingkungan perairan adalah suatu yang berhubungan erat dengan produktifitas lestari perairan, artinya bahwa daya dukung lingkungan merupakan suatu mutu lingkungan yang ditimbulkan oleh interaksi dari semua unsur atau komponen (fisika, kimia dan biologi) dalam suatu kesatuan sistem (Undang-undang No. 32 tahun 2009). Daya dukung lingkungan menjadi basis atau dasar dalam pembangunan berkelanjutan. Daya dukung berkelanjutan ditentukan oleh banyak faktor yang berupa faktor biofisik maupun sosial-budaya-ekonomi dan saling mempengaruhi. Perhatian terhadap daya dukung dan daya tampung lingkungan merupakan kunci bagi perwujudan lingkungan hidup yang berkelanjutan.

Keberlanjutan budidaya laut sangat ditentukan oleh tingkat pemanfaatan sumberdaya tersebut yang tidak melebihi daya dukungnya. Menurut Dahuri (2002) daya dukung disebut *ultimate constraint* yang diperhadapkan pada biota dengan adanya keterbatasan lingkungan seperti, ketersediaan makanan, ruang atau tempat berpijak, penyakit, siklus predator, oksigen, suhu, atau cahaya matahari..

Konsep daya dukung yang diterapkan pada industri akuakultur, berawal dari kekhawatiran terhadap pesatnya pertumbuhan perikanan budidaya baik itu perikanan darat maupun pesisir dan perairan terbuka di seluruh dunia, terutama di Asia dan Amerika Latin. FAO memperkirakan pertumbuhan peningkatan budidaya untuk 2030 minimal 50 juta metrik ton, meningkatkan kekhawatiran

lebih lanjut atas penggunaan sumber daya dalam akuakultur (FAO, 2014). Pertumbuhan yang cepat dari kegiatan akuakultur dapat menyebabkan terjadinya dampak ekologi dan sosial sehingga dapat menimbulkan konflik seperti kegiatan akuakultur akan bersaing dalam pemanfaatan ruang dan sumber daya, utamanya dalam pemanfaatan tanah, air, dan jasa lingkungan pantai..

Pada tahun 2008, FAO menyarankan sebuah konsep mengenai budidaya perikanan dengan pendekatan ekologi atau *Ecological Approach to Aquaculture* (EAA) dan didefinisikan sebagai sebuah strategi untuk mengintegrasikan akuakultur dalam sebuah ekosistem yang lebih luas dan mempertimbangkan keberlanjutan pembangunan, kesetaraan dan mempertahankan hubungan antara sosial - ekologi. Tujuan dari manajemen akuakultur adalah mempunyai sebuah alat bantu yang dapat memperkirakan dan mengukur kapasitas atau daya tampung dari sebuah wilayah dalam mendukung kehidupan kultivan yang dibudidayakan..

Menurut Beveridge (1984) *carrying capacity* atau daya dukung lingkungan suatu perairan digunakan untuk menjabarkan produksi dari budidaya yang dapat berkelanjutan dalam suatu lingkungan dan kapasitas penyangga dalam lingkungan yang mengalami kerusakan memerlukan waktu pemulihan yang relatif lama. Lebih lanjut dikatakan bahwa untuk menentukan *carrying capacity* dalam suatu lingkungan perairan budidaya dapat digunakan suatu pendekatan yaitu dengan menghitung beban limbah total fosfor dari suatu sistem budidaya yang terbuang ke lingkungan perairan terkait dengan *influx nutrient*, *budget nutrient* dan *outflux nutrient*.

Inglis *et al.* (2000) mendefinisikan empat tipe daya dukung yang lebih khusus dan berhubungan dengan budidaya di kawasan pesisir, yaitu :

Pertama, Daya dukung fisik (*physical carrying capacity*), yaitu luasan kegiatan budidaya yang dapat ditampung pada lahan yang tersedia dengan dibatasi oleh faktor-faktor tertentu, kondisi geografis dan ketersediaan infrastruktur;

Kedua, Daya dukung sosial (*social carrying capacity*), yaitu keberadaan kegiatan budidaya yang dapat menyebabkan dampak tidak diterima oleh lingkungan sosial;

Ketiga, Daya dukung produksi (*production carrying capacity*), yaitu kemampuan maksimal produksi budidaya;

Keempat, Daya dukung ekologi (*ecological carrying capacity*), yaitu keberadaan kegiatan budidaya yang berdampak pada kondisi ekologi di luar batas kemampuannya.

Rangkuman secara umum, daya dukung lingkungan suatu wilayah bergantung pada dua komponen utama, yaitu ketersediaan potensi sumberdaya alam (*supportive capacity*) dan daya tampung lingkungan (*assimilative capacity*). Daya tampung lingkungan berkaitan erat dengan kapasitas lingkungan dalam menampung aktivitas yang memanfaatkan sumberdaya alam pada suatu ekosistem tertentu. Sedangkan daya tampung dikonotasikan sebagai *kemampuan lingkungan untuk menyerap berbagai material atau limbah, termasuk limbah antropogenik pada konsentrasi tertentu tanpa menyebabkan lingkungan tersebut terdegradasi*. Kapasitas asimilasi atau daya tampung sesuai amanat Undang-undang No. 32 tahun 2009, sebagai konsep dalam manajemen pencemaran dimana limbah yang masuk ke dalam lingkungan diimbangi oleh proses alam di lingkungan (misalnya difusi, pengenceran, penyebaran, penguraian, reaksi) untuk memelihara dampak lingkungan dalam skala yang masih diterima.

Daya tampung lingkungan hidup berdasarkan Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009, adalah *kemampuan lingkungan hidup untuk menyerap zat, energi, dan/atau komponen lain yang masuk atau dimasukkan ke dalamnya*. Daya tampung beban pencemaran air merupakan batas kemampuan sumber daya air untuk menerima masukan beban pencemaran yang tidak melebihi batas syarat kualitas air untuk berbagai pemanfaatannya dan memenuhi baku mutu airnya. Daya tampung mencerminkan sejauh mana kemampuan lingkungan untuk menerima atau mengasimilasi limbah yang masuk di dalamnya, sehingga dampaknya masih dapat diterima. Kapasitas asimilasi atau daya tampung serta daya dukung suatu lingkungan perairan pesisir dan laut bisa berbeda antara satu lokasi dengan lokasi lainnya, serta dapat bervariasi antar waktu yang berbeda (berdasar daur lunar: saat pasang dan surut; atau daur solar: saat pagi, siang dan malam hari).

Daya tampung suatu perairan terkait dengan adanya cemaran yang masuk ke dalam lingkungan suatu perairan yang berasal dari kegiatan-kegiatan di sekitarnya. Menurut Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (PPLH) definisi *Pencemaran Lingkungan Hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan*. Sedangkan lebih spesifik sebagaimana Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2014 Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (Perubahan atas UU No 27 Tahun 2007) mendefinisikan *Pencemaran Pesisir adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan Pesisir akibat adanya kegiatan Setiap Orang sehingga kualitas Pesisir turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan Pesisir tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya*.

Untuk ekosistem tertentu yang berada di lingkungan perairan laut seperti ekosistem terumbu karang, mangrove dan ekosistem padang lamun ditentukan kriteria baku kerusakan terhadap ekosistem tersebut yang tercantum dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 04 Tahun 2001 tentang Kriteria Baku Mutu Kerusakan Terumbu Karang (Kepmen LH No 04 tahun 2001) dan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 200 Tahun 2004 tentang Kriteria Baku Mutu Kerusakan dan Pedoman Penentuan Status Padang Lamun (Kepmen LH No 200 tahun 2004).

Secara garis besar terdapat dua moda atau cara bahan pencemar masuk ke lingkungan, yaitu secara alami dan melalui kegiatan manusia (*anthropogenic*). Selanjutnya disebutkan lagi bahwa jika dilihat dari sisi lokasi sumbernya, pencemaran pesisir dan laut dapat bersumber dari : (1) ekosistem laut itu sendiri (*marine based pollution*), atau dapat pula bersumber dari (2) daratan (*land based pollution*).

Beban limbah yang berasal dari kegiatan budidaya umumnya berupa limbah organik yang berasal dari sisa pakan yang tidak dikonsumsi oleh ikan budidaya dan sisa metabolisme ikan berupa

feses dan urine. Terutama dalam kegiatan budidaya laut dengan metode keramba jaring apung sangat mudah sisa buangan pakan dan metabolisme terbuang langsung ke lingkungan perairan. Sebagian besar berupa padatan atau dalam bentuk material partikulat dan kemudian tenggelam di sedimen dasar perairan.. Akibat adanya buangan limbah tersebut, maka berdampak bagi lingkungan perairan dimana besarnya dampak ekologi tergantung pada : 1) ukuran unit tambak atau keramba yang beroperasi (jumlah keramba); 2) kepadatan ikan dalam tambak atau keramba; 3) durasi pengoperasian atau proses produksi tambak/keramba pada suatu tempat; 4) kondisi fisik dan hidro-oseanografi lingkungan perairan lokasi tambak atau keramba; 5) biota yang dikultivasi di tambak atau keramba; dan 6) kapasitas asimilasi dari ekosistem perairan.

Buangan senyawa kimia terbesar dari kegiatan budidaya adalah unsur karbon (C), nitrogen (N) dan phosphor (P), dimana merupakan sisa metabolisme yang dikeluarkan secara bersamaan melalui oksigen terlarut terserap oleh organisme akuatik lain (IUCN, 2007). Patokan yang berlaku umum untuk budidaya ikan di tambak, menyebutkan bahwa phosphor dalam pakan yang diberikan akan digunakan untuk pertumbuhan sebesar 30%, sisanya sebesar 70% dikeluarkan dalam bentuk terlarut 16% dan bentuk partikulat 54%. Sedangkan nitrogen dalam pakan akan dimanfaatkan untuk pertumbuhan sebesar 28% dan dibuang dalam bentuk terlarut 56% serta bentuk partikulat 16%. Hal ini menunjukkan bahwa limbah P sebagian besar berbentuk partikulat dan sebagian kecil bentuk terlarut. Sedangkan limbah buangan N sebagian besar berbentuk terlarut dan sedikit berbentuk partikulat. Unsur nitrogen (Total N) dan fosfat (Total P) yang dikandung dalam pakan ikan merupakan sumber pencemaran air yang dapat mendorong terjadinya eutrofikasi disamping keberadaan BOD, yang dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut. Hasil peruraian materi tersebut akan menghasilkan unsur yang toksik, seperti nitrit, amonia, dan sulfide, sehingga menjadikan pencemaran air. Jika jumlahnya berlebihan akan menyebabkan menurunnya daya dukung lingkungan perairan.

Lebih lanjut dijelaskan bahwa pendayagunaan potensi wilayah pesisir dan lautan sesuai dengan daya dukung lingkungan adalah setiap kegiatan pembangunan yang dilakukan harus mampu ditolerir oleh kemampuan dan daya dukung wilayah pesisir dan laut.. Oleh karena itu, kebijakan yang harus ditetapkan adalah:

- 1) Peningkatan produksi perikanan budidaya melalui ekstensifikasi harus memperhatikan kelestarian lingkungan khususnya sempadan pantai.
- 2) Kegiatan pemanfaatan sumberdaya yang tidak dapat pulih, tidak boleh merusak atau mematikan kegiatan pemanfaatan sumberdaya yang dapat pulih.
- 3) Seluruh akumulasi limbah yang dibuang ke perairan harus sesuai dengankapasitas asimilasi perairan.
- 4) Setiap kegiatan pembangunan yang akan dilakukan (industri, pertanian, pertambakan, dan lainnya) harus ditempatkan pada lokasi yang secara biofisik sesuai berdasarkan prasyarat yang dibutuhkan oleh kegiatan tersebut.
- 5) Setiap kegiatan yang akan mengubah kondisi fisik perairan (proses-proses ekologis atau oseanografis) seperti reklamasi, pembuatan dermaga (jetty), dan lain-lain, harus mengikuti karakteristik dan pola hidrodinamika perairan pesisir dan lautan

### **Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kelayakan Budidaya Perairan**

Dalam konteks pengembangan budidaya di pesisir dan laut, maka faktor kesesuaian lingkungan perairan menjadi hal mutlak yang harus dipertimbangkan guna menjamin keberlanjutan aktivitas usaha budidaya. Lingkungan perairan dikatakan sesuai apabila karakteristik perairan mampu menjamin kelangsungan kehidupan kultivan budidaya dan ekosistem secara umum.

Baku mutu air laut untuk biota laut di perairan Indonesia sudah dipersyaratkan dalam Surat Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut. Mutu air yang berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan

dan kelangsungan hidup ikan antara lain adalah : suhu, kecerahan, kekeruhan, padatan tersuspensi, pH, salinitas, oksigen terlarut, senyawa nitrogen, fosfat dan logam berat.

Ditinjau dari kesesuaian dan daya dukung lingkungan, Gerking (1978) menyatakan bahwa aspek fisika-kimia-biotik perairan dapat dikelompokkan dalam

berbagai kategori yaitu :

- a) *Controlling factors* yaitu faktor-faktor yang berperan sebagai pengontrol jalannya reaksi-reaksi biokimia di dalam ekosistem perairan, antara lain : suhu (temperatur);
- b) *Limiting factors* yaitu faktor-faktor yang sangat dibutuhkan dalam jumlah atau rentang tertentu, sehingga merupakan faktor pembatas bagi kehidupan dan pertumbuhan organisme air, misalnya : oksigen terlarut (untuk respirasi), CO<sub>2</sub> bebas (untuk fotosintesis) serta beberapa nutrisi biogenik untuk pembentuk protoplasma biota air (Nitrat, Fosfat dan Silikat);
- c) *Masking factors* yaitu faktor-faktor yang mampu melapis dan memodifikasi perubahan fisika-kimia air lainnya menjadi satu kesatuan pengaruh yang berdampak osmotik bagi kehidupan organisme air, misalnya : Salinitas dan Osmolaritas;
- d) *Directive factors* yaitu faktor-faktor yang berperan dalam mengarahkan reaksi-reaksi biokimiawi dalam ekosistem perairan, misalnya : pH (suasana asam atau basa), suhu (oligo atau polithermal), oksigen terlarut (suasana aerob atau an aerob).

## **Eko-akuakultur Wanamina (*Silvofisheries aquaculture*) sebagai Model Budidaya Berkelanjutan**

*Silvofishery* atau sering disebut sebagai wanamina adalah suatu bentuk kegiatan yang terintegrasi (terpadu) antara budidaya tambak air payau dengan pengembangan mangrove pada lokasi yang sama. Konsep wanamina ini dikembangkan sebagai salah satu bentuk budidaya perikanan berkelanjutan dengan input yang rendah. Pendekatan antara konservasi dan pemanfaatan kawasan mangrove ini memungkinkan untuk mempertahankan keberadaan mangrove yang secara ekologi memiliki produktivitas relatif tinggi namun memiliki ekosistem rawan,.

Eko-akuakultur pola wanamina bertujuan untuk konservasi dan memanfaatkan sumberdaya hutan mangrove serta perairannya. Dengan adanya wanamina tersebut diharapkan peran hutan mangrove dapat terjaga serta kerusakannya dapat dicegah. Model wanamina yang banyak diterapkan di Indonesia adalah model empang parit dan komplangan (Ditjen Perikanan Budidaya, 2014).

Wanamina merupakan pola pendekatan teknis yang cukup baik, yang terdiri atas rangkaian kegiatan terpadu antara kegiatan budidaya ikan dengan kegiatan penanaman, pemeliharaan, pengelolaan dan upaya pelestarian hutan mangrove. Sistem ini memiliki teknologi sederhana, dapat dilakukan tanpa merusak tanaman bakau yang ada dan dapat dilakukan sebagai kegiatan sela (antara), sambil berusaha menghidupkan kembali kawasan jalur hijau di daerah pantai yang kritis..

Menurut Budihastuti (2012) perairan di pantai utara Provinsi Jawa Tengah didominasi oleh hutan mangrove, dan cukup ideal untuk pengembangan perikanan budidaya, atau dengan lain perkataan kawasan hutan mangrove di pantai utara Provinsi Jawa Tengah sangat cocok dikelola untuk pertambakan dengan sistem wanamina / tumpangsari. Dalam pengembangan sistem wanamina di kawasan ekosistem hutan mangrove ada beberapa hal yang perlu diperhatikan. :Pertama, rencana pengembangan dan pengelolaan kawasan harus didasarkan atas azas kelestarian, manfaat dan keterpaduan, dengan tujuan : (a.) menjamin keberadaan kawasan

ekosistem hutan mangrove dengan luasan yang cukup dan sebaran proporsional; (b) mengoptimalkan aneka fungsi kawasan, termasuk fungsi konservasi, fungsi lindung dan fungsi produksi untuk mencapai manfaat lingkungan, sosial dan ekonomi yang seimbang dan berkelanjutan; (c) mendukung pengembangan kapasitas dan keberdayaan masyarakat secara partisipatif, berkeadilan dan berwawasan lingkungan sehingga menciptakan ketahanan sosial dan ekonomi. Kedua, revitalisasi fungsi kawasan hutan mangrove untuk peningkatan nilai tambah, baik secara ekologis maupun secara ekonomis. Ketiga, pengembangan kegiatan wanamina dengan proporsi 80% kawasan untuk hutan dan 20% untuk usaha perikanan budidaya.

Sesuai hasil penelitiannya, Budihastuti (2012) menyatakan bahwa pembudidayaan kultivan dengan sistem wanamina dapat dilakukan dengan kombinasi berbagai jenis kultivan yang sinergi dan harmoni sesuai relung ekologisnya, seperti kepiting bakau, ikan Bandeng, ikan nila merah dan udang. Dalam penerapannya, wanamina membutuhkan kebijakan dan penegakan hukum untuk dapat menjalankan fungsi ekologis dan ekonomis yang optimal, serta untuk mencegah terjadinya kerusakan lingkungan.

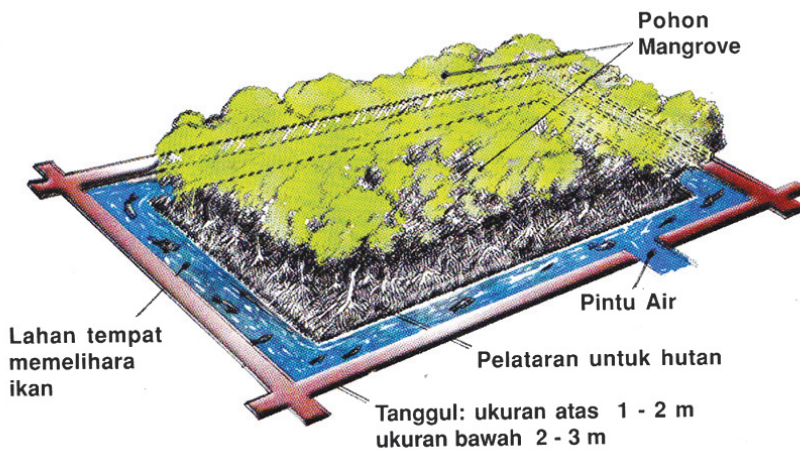
*Silvofishery* yang dikembangkan di Indonesia memiliki 2 pola, yaitu empang parit atau lebih dikenal dengan tambak tumpang sari, serta komplangan.

### **Pertama, Pola Empang Parit**

Pola empang parit merupakan model *silvofishery* yang umum dikembangkan dengan membuat *caren* air tempat membudidayakan/ memelihara ikan ataupun udang (Gambar 51). Saluran air ini mengelilingi lahan yang digunakan untuk *silvofishery*, sedangkan tumbuhan mangrove dapat ditanam di bagian tengah, sehingga terdapat perpaduan antara tumbuhan mangrove (*wana/silvo*) dan budidaya ikan (*mina/fishery*). Kondisi ini dapat diterapkan pada areal bekas tambak yang akan direhabilitasi dengan memanfaatkan pelataran tambak (bagian tengah) untuk ditanami mangrove, sedangkan bagian *caren* atau parit tetap dibiarkan seperti semula. Penggunaan pola dengan sistem empang parit ini, maka lahan

yang akan di-*reforestasi* dapat mencapai sekitar 80% dari luasan tambak. Penanaman mangrove dapat dilakukan dengan jarak tanam 1 x 1 meter antar individu mangrove pada sistem polikultur (Budi Hastuti, 2012).

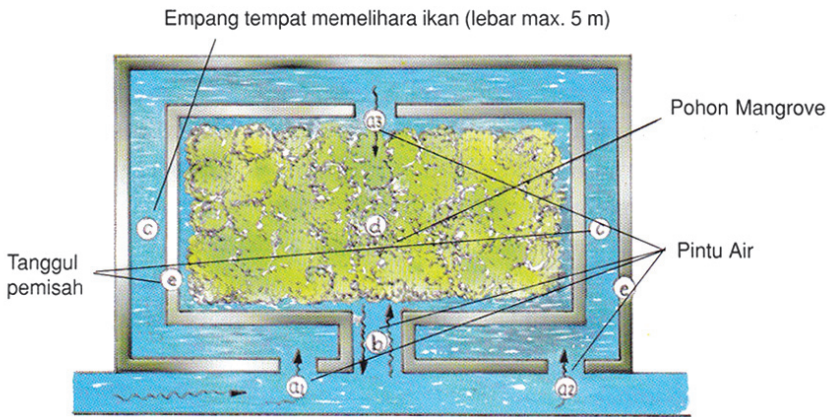
Kepadatan mangrove tersebut akan mempengaruhi kesesuaian sistem budidaya periran yang diterapkan, karena produktivitas tambak *silvofishery* sangat bergantung pada bahan-bahan organik yang berasal dari dekomposisi serasah tumbuhan mangrove. Kepadatan vegetasi yang rendah cocok diterapkan untuk tambak ikan bandeng dan/atau ikan nila, sedangkan kepadatan vegetasi yang lebih tinggi sesuai untuk diterapkan pada budidaya udang dan kepiting bakau. Jenis mangrove yang ditanam umumnya adalah bakau (*Rhizophora mucronata*) atau dapat juga menggunakan jenis api-api (*Avicennia marina*).



Gambar 51. Wanamina Pola Empang Parit  
(Sumber: Bengen, 2002)

## Kedua, Pola Empang Parit yang Disempurnakan

Wanamina dengan pola empang parit yang disempurnakan (Gambar 52). Lahan untuk hutan mangrove dan empang (petakan tambak) diatur oleh saluran air yang terpisah.



Gambar 52. Wanamina Pola Empang Parit Disempurnakan (Bengen, 2002)

Untuk memelihara ikan/udang kanal berukuran lebar 3-5 m dan kedalaman sekitar 40-80 cm dari muka pelataran digunakan modifikasi desain dasar tersebut, maka luasan perairan terbuka yang dapat digunakan untuk memelihara ikan/udang dapat disesuaikan hingga mencapai 50%. Berbagai jenis ikan, seperti bandeng, nila, kerapu lumpur, kakap putih serta kepiting dapat dipelihara secara intensif di kanal (caren) tambak sistem empang parit tersebut.

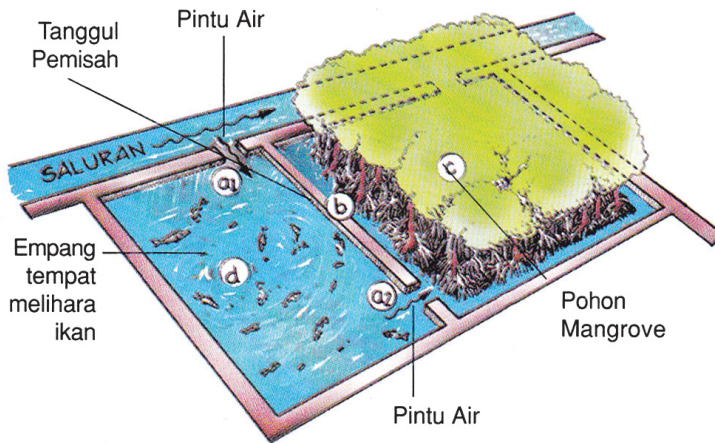
Keuntungan dari tambak pola empang parit yang disempurnakan, antara lain: (a) Cahaya matahari yang menyinari cukup baik, (b) Biaya penyempurnaan empang parit dapat dilaksanakan secara bertahap pada setiap pemeliharaannya. Adapun kelemahannya adalah lebar parit relatif kecil (sempit) sehingga Pemeliharaan ikan kurang terintegrasi (petak pemeliharaan terpisah dengan petak mangrove)

### Ketiga, Pola Komplangan (Sistem Selang-seling)

Pola komplangan (Gambar 53) merupakan suatu sistem *silvofishery* dengan desain tambak berselang-seling atau bersebelahan dengan lahan yang akan ditanami mangrove. Lahan untuk mangrove dan empang terpisah dalam dua hamparan yang diatur

oleh saluran air dengan dua pintu air yang terpisah. Luas areal yang akan digunakan untuk *silvofishery* dengan model ini disarankan antara 2-4 ha, sehingga nantinya akan dikembangkan ukuran tambak yang standar untuk memelihara ikan/udang minimal adalah 1 ha (50%). Model ini merupakan suatu metode budidaya air payau dengan input yang rendah dan menghasilkan dampak negatif yang minimal terhadap lingkungan (ekosistem).

Sistem komplangan yang diterapkan tegak lurus dengan garis pantai (sejajar aliran sungai) memungkinkan sejumlah aliran air tawar menuju ke mangrove di dalam areal *greenbelt*. Model ini juga dapat menjaga kelimpahan keanekaragaman sumberdaya alam hayati.



Gambar 53. Wanamina Pola Komplangan (Bengen, 2002)

Dari uraian tersebut, diketahui bahwa *silvofishery* dengan pola empang parit dan komplangan dapat diterapkan untuk menjaga kelestarian dan fungsi kawasan mangrove sinergi dengan kegiatan budidaya perairan. Keuntungan dari pola komplangan antara lain: (a) pencahayaan sinar matahari cukup baik, (b) dapat diterapkan budidaya semi intensif, serta (c) Perkembangan hutan dan ikan tidak saling menghambat. Adapun kekurangannya adalah membutuhkan biaya investasi lebih tinggi untuk pembuatan komplangan

Berdasarkan pengalaman penelitiannya, Budihastuti (2012) menekankan beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam mengembangkan polikultur *silvofishery*, yaitu: (a) rasio antara mangrove area dan area air kolam/tambak., (b) rasio antara area air dan panjang tanggul kolam (menunjukkan luas area produksi dengan nilai ongkos investasi), (c) rasio lebar pintu untuk memasukan benih alam dan flushing (pencucian) petak tambak (50 cm/ha), (d) tidal flushing rate dan tidal flushing range, (e) upaya mengalirkan air pada petak tambak ketika air stagnan, yaitu saat terjadi kadar oksigen rendah terutama pada air bagian bawah di pagi hari, (f) proporsi ideal ukuran panjang dan lebar kanal (saluran tambak), (g) posisi lokasi, keadaan tanah, padat tebar dan kelimpahan stok kultivan. (h) keserasian jenis kultivan dalam memanfaatkan relung ekologis, serta (i) sistem penanganan dan pengolahan limbah ( buangan padat dan cair) pertambakan

Untuk meningkatkan keberhasilan budidaya tambak sistem wanamina, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu :

Pertama, menjaga kedalaman, kuantitas dan kualitas air tambak agar stabil pada kisaran 1 meter, dengan menggali dasar tambak dan mengurangi kebocoran. Apabila kebocoran tambak menjadi permasalahan utama, sekitar 30% dari luas tambak harus digali hingga kedalaman 1,5 meter, termasuk saluran ke pintu pembuangan.

Kedua, mengurangi pergantian air ketika panen udang alam yaitu setiap 15 hari saat pasang purnama, atau menerapkan siklus panen menjadi 45-60 hari bersamaan dengan pertukaran air pasang untuk mengisi tambak dan merekrut benih alam.

Ketiga, meminimalkan efek yang merugikan dari pengerukan sedimen terhadap tambak dan lingkungan mangrove. Idealnya tanah hasil pengerukan tambak seharusnya ditempatkan pada area diatas batas pasang surut untuk penanaman pohon dataran atau jenis tanaman lain.

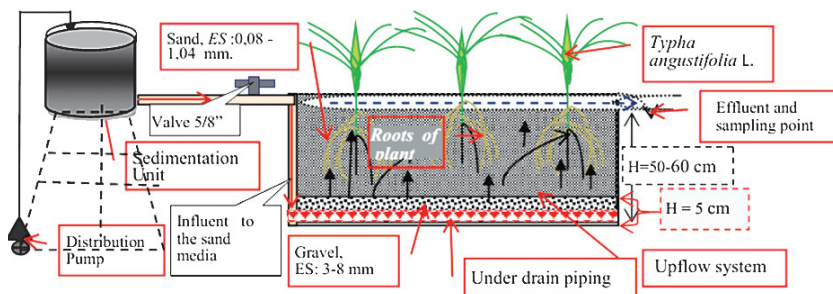
Dengan dilakukannya pengelolaan kawasan ekosistem mangrove melalui pola wanamina maka didapat beberapa manfaat secara ekologi dan ekonomi, yaitu:

Pertama, menjamin tetap eksisnya ekosistem hutan mangrove

dengan luasan yang cukup dan sebaran yang proporsional. Kedua, mengoptimalkan aneka fungsi serta jasa ekosistem di kawasan tersebut, termasuk fungsi konservasi, fungsi lindung dan fungsi produksi untuk mencapai manfaat lingkungan, sosial dan ekonomi yang seimbang secara berkelanjutan. Ketiga, meningkatkan daya dukung kawasan sehingga memberi nilai tambah dari sisi ekologis dan ekonomis;. Keempat, mendukung pengembangan kapasitas dan keberdayaan masyarakat secara partisipatif, berkeadilan dan berwawasan lingkungan sehingga menciptakan ketahanan sosial ekonomi tanpa mengorbankan ketahanan ekologis.

### **Penanganan Limbah Pertambakan Sistem Wanamina**

Karakter eko-akuakultur adalah : input padat tebar rendah dan penggunaan air serta pakan efisien, bersih dalam proses dan keluarannya berupa produksi biomassa sehat dan nirlimbah. Agar air buangan pada saat panen dapat dinyatakan aman bagi lingkungan maka proses produksi harus sehat dan efisien, dalam arti pakan dan kepadatan kultivan harus optimal, selanjutnya air limbah yang dikeluarkan harus diolah dulu sebelum dibuang ke saluran irigasi/sungai atau laut. Oleh sebab itu, di samping perlu petak tambak kultivasi, juga dibutuhkan petak tandon serta petak penampung dan pengolah air limbah. Berikut ini disajikan prototipe petak remediasi limbah (Gambar 54) sebagaimana pernah dicoba oleh Supito dan Anggoro (2011) serta Sugeng Nuraji dkk (2014) yang memanfaatkan makro-alga (*Nitella sp* dan *Typha sp*) sebagai biofilter dan bioakumulator pencemar. Model ini dapat dimodifikasi dan diimplementasikan sebagai alternatif menangani limbah pertambakan.



Gambar 54. Prototipe Unit Petak Fitoremediasi Limbah (Lindi Pertambakan) di Perairan Pesisir (Sumber: Nuraji dkk, 2015).

### Manfaat dan Keuntungan Tambak Wanamina

Tidak semua praktik *silvofishery* di Indonesia menerapkan konsep budidaya tambak ramah lingkungan. Hal ini dikarenakan pelaku usaha pertambakan masih menggunakan bahan baku produksi yang tidak ramah lingkungan seperti penggunaan pestisida dan atau antibiotik secara gegabah. Dikarenakan lokasi tambak-tambak di Indonesia umumnya berlokasi di lahan pasang surut (daerah mangrove) maka panduan ini membahas mengenai pengembangan konsep budidaya tambak ramah lingkungan di daerah mangrove. Perbaikan ini diharapkan dapat memberikan manfaat ganda baik dari segi ekonomi maupun lingkungan, dalam arti produksi dapat meningkat dan menguntungkan petambak serta keseimbangan lingkungan dapat tercipta/terjaga.

Beberapa manfaat atau kelebihan dari tambak wanamina berbasis ekosistem, diantaranya: (a) Biaya dan resiko produksi jauh lebih rendah dan dapat dioperasikan dalam skala kecil (rumah tangga), (b) dapat menghasilkan produksi sampingan dari hasil tangkapan alam seperti udang alam, kepiting, dan ikan-ikan liar; (c) pemulihan lingkungan (melalui penanaman/pemeliharaan mangrove) dapat meningkatkan daya dukung (*carrying capacity*) tambak, sehingga mampu menjaga kualitas air dan menopang

kehidupan kultivan yang dibudidayakan; (d) produk ikan atau udang yang dihasilkan memiliki kualitas yang lebih baik dan memiliki harga yang lebih tinggi di pasaran internasional karena bersifat organik atau tidak mengandung bahan kimia berbahaya; (e) kawasan tambak ramah lingkungan lebih tahan terhadap serangan penyakit, akibat kemampuan mangrove dalam menyerap limbah dan menghasilkan zat antibakteri.

Dari segi tekno-ekologis, beberapa keuntungan yang dapat diperoleh dengan menerapkan *pertambakan pola wanamina*, yaitu (1) kontruksi pematang tambak akan menjadi kuat karena akan terpegang akar-akar mangrove dari pohon mangrove yang ditanam di sepanjang pematang tambak dan pematang akan nyaman dipakai para pejalan kaki karena akan dirimbuni oleh tajuk tanaman mangrove, (2) petambak dapat menggunakan daun mangrove terutama jenis *Rhizophora sp*, sebagai pakan kambing sedangkan jenis *Avicennia sp*, *Bruguiera sp*, *Ceriops sp* kambing tidak menyukainya (ternak sebaiknya dikandangkan agar bibit mangrove yang masih muda tidak mati dimakan/ diinjak ternak), (3) peningkatan produksi dari hasil tangkapan dari alam dan ini akan meningkatkan pendapatan masyarakat petambak, (4) mencegah erosi atau abrasi pantai dan intrusi air laut ke darat sehingga pemukiman dan sumber air tawar dapat dipertahankan kuantitas dn kualitasnya, (5) terciptanya perisai sabuk hijau di pesisir (*coastal green belt*) serta ikut mendukung program mitigasi dan adaptasi perubahan iklim global karena mangrove akan mengikat karbondioksida dari atmosfer dan melindungi kawasan pemukiman dari kecenderungan naiknya muka air laut, (6) vegetasi mangrove akan mengurangi dampak bencana alam, seperti badai dan gelombang air pasang, sehingga kegiatan berusaha dan lokasi pemukiman di sekitarnya lebih terlindung dari bencana.



# 5

## PENGELOLAAN WILAYAH PESISIR DAN LAUT BERORIENTASI TATA RUANG DAN KEBERLANJUTAN PEMBANGUNAN

Wilayah pesisir merupakan daerah ekoton dan memiliki peran strategis, karena potensi sumberdaya alam dan jasa-jasa lingkungan yang terdapat di dalamnya, serta posisinya yang terletak pada pertemuan antara wilayah darat dan laut. Kekayaan sumberdaya alam wilayah pesisir Indonesia, antara lain, berupa bentangan garis pantai sepanjang  $\pm 95.181.000$  km,  $\pm 13.466$  pulau, luas laut sekitar 5,8 juta km<sup>2</sup>, dan ekosistem pesisir, seperti hutan mangrove, terumbu karang, padang lamun (sea grass beds) dan lain-lain, berikut sumberdaya hayati, nirhayati, dan plasma nutfah yang terkandung di dalamnya (Dahuri, 2013). Termasuk jasa-jasa lingkungan pesisir yang tersedia dapat berupa panorama alam pesisir untuk pariwisata, pelabuhan, dan pemukiman. Secara normatif, sumberdaya wilayah pesisir tersebut dikuasai oleh Negara untuk mewujudkan kesejahteraan masyarakat (Pasal 33 ayat 3 UUD 1945). Selain itu, kekayaan ini harus pula dikelola sedemikian rupa sehingga memberikan manfaat, baik bagi generasi sekarang maupun bagi generasi yang akan datang (Pasal 4 UU No. 23 Tahun 1997).

Namun pada kenyataannya, tingkat kesejahteraan masyarakat pesisir, khususnya nelayan dan petambak yang bermukim di wilayah pesisir, justru menempati strata yang paling rendah apabila dibandingkan dengan segmen masyarakat lainnya. Demikian pula, di beberapa wilayah pesisir, fenomena pengelolaan yang melampaui daya dukung lingkungan sudah mulai muncul. Paradoks pengelolaan wilayah pesisir tersebut, tentu saja harus diakhiri. Langkah itu dapat dimulai dengan mengembangkan sistem pengelolaan wilayah pesisir secara terpadu (Dahuri, R. 2001). Dengan sistem pengelolaan wilayah pesisir secara terpadu, diharapkan akan terwujud suatu sistem pengelolaan wilayah pesisir yang optimal, efisien, terkoordinasi, sinergis dan berkelanjutan, sebagaimana diisyaratkan oleh UUD 1945 Pasal 33 ayat (3).

Sistem pengelolaan wilayah pesisir terpadu tersebut, seyogyanya dilakukan secara sinergis, yang melibatkan kegiatan antar sektor, antar pemangku kepentingan, serta didukung kerjasama antar daerah. Akan tetapi, sejak Indonesia merdeka sampai sekarang, pemerintah belum sepenuhnya berhasil menerapkan kebijakan khusus pengelolaan wilayah pesisir yang berorientasi pada kesejahteraan masyarakat dan berwawasan daya dukung lingkungan. Selama ini, kegiatan ekonomi yang berlangsung di wilayah pesisir hanya dilakukan berdasarkan pendekatan sektoral berjangka pendek, sehingga hanya menguntungkan instansi, sektor dan dunia usaha tertentu dalam kurun waktu tertentu.

Dampak pemanfaatan yang bersifat sektoral berjangka pendek tersebut mulai muncul, khususnya terlihat pada laju kerusakan fisik lingkungan pesisir yang semakin meningkat. Jika dilihat ekosistem pesisir sebagai satu kesatuan dengan ekosistem Daerah Aliran Sungai (DAS), maka meningkatnya laju erosi tanah dari DAS hulu akibat pertanian lahan kering serta industri, membawa sedimen dan residu bahan kimia pertanian serta limbah industri ke sungai/estuari dan wilayah pesisir. Berdasarkan hasil penelitian 85% pencemaran laut berasal dari daratan (Div.Kelautan KLH, 2001). Demikian pula, pemanfaatan sumberdaya pesisir, seperti ikan, terumbu karang, padang lamun, mangrove, dan pasir pantai, telah berlangsung secara intensif di wilayah pesisir tertentu. Over

eksploitasi akan menimbulkan kerusakan (degradasi) lingkungan yang terus-menerus.

Semakin banyaknya pihak yang berkepentingan dalam memanfaatkan sumberdaya pesisir dari jenis yang sama dan/ atau di wilayah pesisir yang sama, khususnya di wilayah pesisir yang mengalami pembangunan yang pesat. Masing - masing pihak yang berkepentingan memegang dasar hukum dan kebijakan dari instansi pusat masing-masing yang berwenang. Kebijakan tersebut, memuat tujuan dan sasarannya masing-masing, dalam memanfaatkan sumberdaya pesisir. Oleh karena itu, biasanya untuk mencapai tujuannya, setiap instansi menyusun perencanaan sendiri, sesuai dengan tugas dan fungsi sektornya, tetapi kurang mengakomodasi kepentingan sektor lain, daerah, masyarakat setempat, dan lingkungannya. Perbedaan tujuan, sasaran, dan rencana masing-masing instansi dapat memicu kompetisi pemanfaatan dan tumpang tindih dalam pengelolaan wilayah pesisir. Tumpang tindih perencanaan dan kompetisi pemanfaatan wilayah pesisir dapat memicu konflik pemanfaatan dan konflik kewenangan.

Semakin meningkatnya kegiatan berbagai sektor pemerintah dan swasta di pesisir, memicu terjadinya benturan antar kepentingan atau kompetisi antar pihak yang berkepentingan dalam pemanfaatan sumberdaya pesisir. Kompetisi ini dapat menimbulkan konflik dan kerawanan sosial-ekologis yang dampaknya dapat mengancam kelestarian sumberdaya pesisir serta persatuan dan kesatuan bangsa. Konflik yang terjadi dapat bersifat monosektor (misal: antar kegiatan penangkapan ikan di bidang perikanan), atau multi sektor (misal: tumpang tindihnya kegiatan industri, pemukiman, perhubungan, perikanan tangkap dan perikanan budidaya di suatu kawasan tertentu). Terhadap konflik yang sifatnya multi sektor, penyelesaiannya lebih rumit dan memakan waktu relatif lama. Berbagai aktivitas di wilayah pesisir yang berpotensi memicu timbulnya konflik, antara lain: (a) perikanan (*overfishing*, penggunaan alat tangkap yang tidak ramah lingkungan, kompetisi ruang fishing ground, tumpang tindih daerah penangkapan ikan (*fishing ground*) dengan daerah pemijahan dan

asuhan ikan (*spawning/nursery ground*), konversi mangrove untuk pertambakan, budidaya dan pengolahan ikan yang mencemari lingkungan), (b) reklamasi lahan pantai untuk industri, pemukiman dan kawasan wisata, (c) penambangan pasir dan terumbu karang, (d) pencemaran akibat limbah industri, agro dan domestik, (d) konstruksi bangunan di pantai yang merubah pola arus alami sehingga menimbulkan abrasi dan akresi di kawasan pesisir.

Untuk menjaga agar konflik tidak meluas dan dampaknya tidak membesar diperlukan langkah-langkah penanganan konflik dengan metoda solusi yang tepat.

Persoalan pengelolaan wilayah pesisir semakin krusial menyusul diberlakukannya UU No. No. 32 tahun 2004 tentang Pemerintahan Daerah. Undang - undang ini memberikan otonomi kepada pemerintah daerah dalam pengelolaan sumberdaya pesisirnya; untuk wilayah daerah propinsi terdiri atas wilayah darat dan wilayah laut sejauh 12 mil laut, yang diukur dari garis pantai ke arah laut. Kewenangan pemerintah daerah meliputi kewenangan eksplorasi, eksploitasi, konservasi, pengelolaan sumberdaya alam, dan tanggung jawab untuk melestarikannya. Pemerintah daerah kabupaten atau kota memperoleh kewenangan sepertiga dari wilayah tersebut, atau sejauh 4 mil laut dari garis pantai (saat surut terendah). Kewenangan tersebut menjelaskan bahwa kewenangan daerah yang diberikan ini tidak terbatas hanya berupa upaya eksploitasi, namun juga upaya menjaga kelestarian (konservasi dan/atau preservasi) sumberdaya kelautan yang ada. Kondisi ini berkaitan dengan munculnya kekuatiran bahwa daerah hanya akan mementingkan upaya eksploitasi saja dan mengabaikan aspek perlindungan atau kelestarian.

Otonomi daerah di wilayah pesisir tersebut telah menimbulkan perbedaan penafsiran, dimana sebagian Pemerintah daerah menerjemahkan seolah-olah kewenangan tersebut sebagai kedaulatan. Sehingga timbul kesan adanya pengkapling-ka-plingan laut berdasarkan wilayah administrasi pemerintahan daerah. Pelaksanaan otonomi ini masih mengalami kendala dalam penerapan perundang-undangan beserta peraturan pelaksanaannya sehingga menimbulkan ketidakpastian hukum bagi dunia

usaha di wilayah pesisir. Dengan diberlakukannya Undang-undang No. 23 tahun 2014, kewenangan pengelolaan atas perairan laut hanya diberikan kepada Pemerintah Provinsi, yaitu dari posisi garis pantai saat pasang tinggi sampai perairan laut sejauh 12 mil. Pemerintah Kabupaten dan Kota tidak memiliki kewenangan pengelolaan perairan laut, namun masih memiliki kewenangan dalam pengelolaan daratan pesisir mulai garis pantai saat pasang tinggi sampai batas administratif Kecamatan pesisir. Nampaknya, belum semua pemangku kepentingan di Kabupaten dan Kota yang memahami dan memiliki persepsi yang sama tentang perubahan paradigma ini. Sehingga tidak mengherankan, di beberapa Kabupaten dan Kota seolah-olah melakukan pembiaran atau lepas tangan terhadap pengelolaan pesisir dan laut di wilayahnya.

Dalam rangka mengintegrasikan berbagai perencanaan sektoral; mengatasi tumpang tindih pengelolaan; konflik pemanfaatan dan kewenangan; serta mengoptimalkan pengembangannya, maka diperlukan suatu model perencanaan dan pemanfaatan sumber daya pesisir di kawasan pesisir, melalui Rencana Tata Ruang Laut, Pesisir dan Pulau-pulau Kecil.

Rencana Tata Ruang Laut, Pesisir dan Pulau-pulau Kecil merupakan salah satu dimensi perencanaan yang harus ada, hal tersebut sesuai dengan ketentuan yang tertuang dalam Undang-undang No : 26 / 2007, tentang Penataan Ruang dan UU No. 27/2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil. Namun pada saat ini, dari sebagian besar daerah yang sudah merumuskan rencana tata ruang wilayah; yang disiapkan atau di-Perdakan adalah arahan pemanfaatan ruang daratan (matra darat) dalam bentuk RTRW (kabupaten/Kota/Provinsi). Sedangkan arahan dan perencanaan pengelolaan serta pemanfaatan ruang perairan pesisir dan lautan belum mendapatkan porsi prioritas sebagaimana mestinya. Akibatnya, perencanaan kegiatan-kegiatan pembangunan yang berbasis pada sumber-sumber daya pesisir dan kelautan dilakukan secara sendiri-sendiri (sektoral), sehingga pelaksanaannya jauh dari prinsip-prinsip perencanaan pembangunan yang berkelanjutan, baik secara ekologis, sosial

maupun ekonomi. Pola penataan wilayah pesisir dan lautan secara regional menurut Kepmen Kelautan dan Perikanan No 34 Tahun 2004 serta amanat UU No.27/2007 Jo Undang-undang No. 1 tahun 2014, pada kenyataannya tidaklah sederhana, karena lautan adalah wilayah terbuka dan bersifat umum (*common properties* dan *open access*), artinya siapa saja boleh memanfaatkan dan juga wilayah lautan ini selalu berifat dinamis, yang berlainan dengan daratan/statis. Apalagi sumberdaya di dalamnya ada yang bersifat menetap (*sedentary*) dan bergerak (*migratory*). Oleh karena itu, perlu dilakukan penataan ruang dan pemanfaatan sumberdaya pesisir dan laut pada tingkat Kabupaten/Kota/Provinsi sebagai pedoman dalam pengaturan dan pengendalian pemanfaatan ruang laut, pesisir, dan pulau-pulau kecil.

Belum baiknya perencanaan kegiatan penataan, pemanfaatan dan pengembangan di wilayah laut juga menjadi sebab belum optimalnya sumbangan sumber daya kelautan sebagai salah satu sektor utama ekonomi nasional maupun daerah. Secara umum, sumbangan sumber daya kelautan masih sangat terbatas pada kontribusi sektor perikanan beserta pertambangan minyak dan gas bumi, sedangkan dari sektor-sektor kegiatan kelautan lainnya, seperti kegiatan pertambangan mineral, pemanfaatan energi gelombang, dan sebagainya belum memberikan sumbangan yang berarti. Padahal, secara nyata telah dibuktikan bahwa potensi pengembangan kelautan tidak hanya berupa pengembangan kegiatan perikanan, pertambangan minyak dan gas bumi saja, tetapi terdapat pula beberapa kegiatan penting lainnya yang dapat dan perlu dikembangkan dalam rangka meningkatkan pemanfaatan dan pengelolaan sumber daya kelautan seperti pertambangan mineral, kegiatan perhubungan dan pelayaran, serta kegiatan-kegiatan yang bersifat turisme dan/atau leisure.

Dalam UU. No 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang serta Undang-undang No. 27 tahun 2007(direvisi dalam UU No. 1 Tahun 2014) tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir & Pulau-pulau Kecil, dinyatakan bahwa pengaturan dan penetapan lokasi untuk investasi dilaksanakan di Kabupaten dan Kota berdasarkan Rencana Tata Ruang. Hirarki perencanaan tata ruang dikaitkan dengan sistem

pemerintahan terbagi atas tiga bagian, yaitu Rencana Tata Ruang Nasional, Rencana Tata Ruang Wilayah Propinsi dan Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten/Kota. Perencanaan yang ada selama ini masih didominasi pengaturan wilayah daratan saja (matra darat), belum sepenuhnya memprioritaskan pengaturan wilayah perairan/lautan (matra laut). Dalam pasal 6 juga disebutkan bahwa pengelolaan ruang laut akan diatur lebih lanjut dengan undang-undang tersendiri. Sedangkan dalam UU No. 23 tahun 2014 tentang Pemerintahan Daerah, dinyatakan bahwa otonomi secara nyata untuk pengelolaan perairan pesisir dan laut dilakukan di tingkat Provinsi. Hal ini, sering memberikan implikasi timbulnya benturan antar kepentingan dalam pemanfaatan sumberdaya wilayah pesisir (baik antar daerah maupun antar sektor), sehingga perlu solusi untuk menangani permasalahan pemanfaatan dan penataan wilayah pesisir sejalan dengan peraturan perundangan yang berlaku.

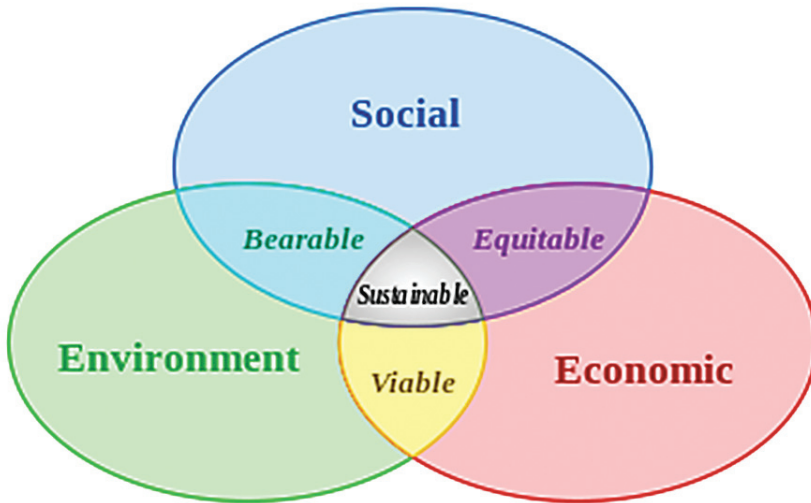
Mengacu pada Visi Pembangunan Jangka Panjang Nasional 2005-2025, “Indonesia yang mandiri, maju, adil dan makmur” beserta delapan misinya, maka Kementerian Kelautan dan Perikanan beserta jajarannya merupakan bagian utama yang mempunyai tanggungjawab besar dalam pencapaian misi ke-6 yaitu: “mewujudkan Indonesia yang asri dan lestari” serta misi ke-7 yaitu: “mewujudkan Indonesia sebagai Negara Kepulauan yang mandiri, maju, kuat dan berbasiskan kepentingan nasional. Beberapa butir penting dari misi ke-6 yang terkait dengan pengelolaan sumberdaya kelautan, antara lain: (1) mengembangkan potensi sumberdaya kelautan yang dilakukan melalui pendekatan multisektor, integratif, komprehensif, serta keterpaduan kebijakan dan pengelolaan antar sektor lautan dan daratan, (2) memperhatikan dan mengelola keragaman jenis sumberdaya alam yang ada di setiap wilayah, melalui peningkatan partisipasi masyarakat dalam pemberdayaan, mengedepankan aspek keberlanjutan dan pemantapan tata ruang wilayah sebagai pedoman pemanfaatan sumberdaya alam yang optimal dan lestari, (3) mengendalikan pencemaran dan kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh pengelolaan yang tidak terarah, guna meningkatkan kualitas lingkungan hidup yang baik dalam

menunjang pembangunan yang berkelanjutan. Adapun butir-butir penting dari misi ke-7 antara lain: (1) menumbuhkan wawasan bahari bagi masyarakat dan pemerintah agar pembangunan Indonesia berorientasi kelautan, (2) meningkatkan kapasitas sumberdaya manusia yang berwawasan kelautan, (3) mengelola wilayah laut nasional untuk mempertahankan kedaulatan dan kemakmuran, (4) membangun ekonomi kelautan (perhubungan laut, industri maritim, perikanan, wisata bahari, energi dan mineral, bangunan laut dan jasa kelautan) secara terpadu dengan mengoptimalkan pemanfaatan sumber kekayaan laut secara berkelanjutan. Untuk mencapai visi dan misi yang telah ditetapkan diperlukan arahan pembangunan dalam bentuk RPJM (Rencana Pembangunan Jangka Menengah 5 tahunan. Dalam RPJM tahun 2010-2014, arahan pembangunan ditujukan untuk lebih memantapkan penataan kembali Indonesia di segala bidang dengan menekankan upaya peningkatan kualitas SDM termasuk pengembangan kemampuan IPTEK serta penguatan daya saing perekonomian, dengan sasaran: (1) industri kelautan yang meliputi perhubungan laut, industri maritim, perikanan, wisata bahari, energi dan sumberdaya mineral dikembangkan secara sinergi, optimal dan berkelanjutan, (2) berkembangnya proses rehabilitasi dan konservasi SDA dan LH dan menguatnya partisipasi masyarakat. Apakah refleksi pembangunan berkelanjutan sudah mewujudkan sesuai arahan dan sasaran yang sudah dicanangkan, beberapa isu-isu pokok pembangunan yang terekam di Provinsi Jawa Tengah dapat dijelaskan pada uraian pada sub bab selanjutnya

### **Prinsip-Prinsip Pembangunan Berkelanjutan**

Menurut Bockish (2012), terdapat tiga pilar pendukung sifat berkelanjutan, yang saling berinteraksi satu sama lain, seperti ditunjukkan pada Gambar 55. Kebutuhan manusia disebut berkelanjutan jika kebutuhan baku dapat diperoleh dalam waktu yang panjang. Kebutuhan baku yang dimaksud meliputi udara, air, dan sumber daya alam lainnya di wilayah pesisir dan laut. Dengan demikian wilayah pesisir dan laut dapat menyediakan

atau memenuhi kebutuhan dasar manusia sebagai makhluk sosial (*bearable*). Kebutuhan dasar manusia terhadap ekonomi disebut berkelanjutan jika memiliki kesamaan kesempatan (*equitable*) untuk mendapat pemenuhan kebutuhan. Sedangkan kebutuhan kegiatan ekonomi yang berkelanjutan tidak lepas dari ketersediaan lingkungan pesisir dan laut, seperti udara, air, tanaman, hewan secara berkelanjutan dalam waktu yang lama (*viabel*).



Gambar 55. Tiga Pilar Pendukung Keberlanjutan (Bockish, 2012)

Selanjutnya dapat dijelaskan bahwa setiap dimensi saling berhubungan dalam sistem ekologis pesisir yang dipicu oleh kekuatan dan tujuan. Ketiga dimensi tersebut yaitu: (1) dimensi ekonomi untuk melihat pengembangan sumberdaya manusia, khususnya melalui peningkatan konsumsi barang dan jasa pelayanan; (2) dimensi lingkungan hayati dan nirhayati yang difokuskan pada integritas sistem ekologi ; dan (3) dimensi sosial bertujuan untuk meningkatkan hubungan antar manusia, pencapaian aspirasi individu dan kelompok dan penguatan nilai serta institusi kelembagaan.

Pembangunan wilayah pesisir dan laut berkelanjutan tidak saja berkonsentrasi pada isu-isu lingkungan. Lebih luas dari itu, pembangunan berkelanjutan mencakup tiga lingkup kebijakan: pembangunan ekonomi, pembangunan sosial dan perlindungan lingkungan (selanjutnya disebut 3 Pilar Pembangunan berkelanjutan). Konsep keberlanjutan dapat dirinci menjadi tiga aspek pemahaman, yaitu : (1) Keberlanjutan ekonomi yang diartikan sebagai pembangunan yang mampu menghasilkan barang dan jasa bahari secara kontinyu untuk memelihara keberlanjutan pemerintahan dan menghindari terjadinya ketidakseimbangan sektoral yang dapat merusak produksi dan industri agromarin; (2) Keberlanjutan lingkungan atau fungsi ekosistem diartikan bahwa sistem keberlanjutan secara lingkungan harus mampu memelihara sumber daya pesisir dan laut yang stabil, menghindari eksploitasi sumber daya alam dan fungsi penyerapan lingkungan yang berlebihan. Konsep ini juga menyangkut pemeliharaan keanekaragaman hayati, stabilitas ruang udara, dan fungsi ekosistem lainnya yang tidak termasuk kategori sumber-sumber ekonomi; dan (3) Keberlanjutan sosial yang diartikan sebagai sistem yang mampu mencapai kesetaraan status serta penyediaan layanan sosial termasuk kesehatan, pendidikan, gender, dan akuntabilitas sosial-budaya-politik serta partisipasi pengelolaan wilayah pesisir terpadu.

Prinsip dan karakteristik pembangunan berkelanjutan yang harus diperhatikan dan diterapkan dalam melakukan pembangunan menurut Budimanta (2005) adalah sebagai berikut: (1) Cara berpikir yang integratif, pembangunan harus melihat keterkaitan fungsional dari kompleksitas antara sistem alam, sistem sosial dan manusia di dalam merencanakan, maupun melaksanakan pembangunan; (2) Pembangunan berkelanjutan harus dilihat dalam perspektif jangka panjang. Hingga saat ini yang banyak mendominasi pemikiran para pengambil keputusan dalam pembangunan adalah kerangka pikir jangka pendek; (3) Mempertimbangkan keanekaragaman hayati, untuk memastikan bahwa sumberdaya alam selalu tersedia secara berkelanjutan untuk masa kini dan masa mendatang;

dan (4) Distribusi keadilan sosial ekonomi. Dalam konteks ini dapat dikatakan pembangunan berkelanjutan menjamin adanya pemerataan dan keadilan sosial yang ditandai dengan meratanya sumber daya lahan dan faktor produksi yang lain.

Konsep pembangunan berkelanjutan dijabarkan dalam prinsip-prinsip yang selanjutnya dijabarkan dalam hukum lingkungan. Prinsip-prinsip yang terkandung dalam konsep pembangunan berkelanjutan dikemukakan secara lebih rinci dalam deklarasi dan perjanjian internasional UNCED (*United Nations Conference on Environmental and Development*) di Rio de Janeiro pada tahun 1992. Secara formal prinsip-prinsip utama pembangunan berkelanjutan yaitu :

#### **Pertama, Prinsip Keadilan Antar Generasi.**

Prinsip ini mengandung makna bahwa setiap generasi umat manusia di dunia memiliki hak untuk menerima dan menempati bumi bukan dalam kondisi buruk akibat perbuatan generasi sebelumnya. Edit Brown Weiss menyebutkan bahwa tindakan generasi sekarang yang sangat merugikan generasi mendatang yaitu : *Pertama*, konsumsi yang berlebihan terhadap sumberdaya berkualitas, sehingga membuat generasi mendatang harus membayar lebih mahal untuk in-efisiensi dalam penggunaan sumberdaya alam yang dilakukan generasi sekarang; *Kedua*, ada pemanfaatan sumberdaya alam yang berlebihan, dimana sampai sekarang belum diketahui manfaat terbaiknya, tetapi sangat merugikan generasi mendatang; *Ketiga*, pemakaian sumberdaya alam secara eksploitatif membuat generasi mendatang tidak memiliki keragaman sumberdaya alam. Berdasarkan masalah yang terdapat dalam hubungan antar generasi ssekarang dengan generasi mendatang ini, maka Edith Brown Wiess mengajukan konsep Prinsip Keadilan Antar Generasi (*intergenerational equity*). Prinsip keadilan antar generasi selanjutnya dijabarkan dalam kewajiban-kewajiban yang pada garis besarnya adalah : (a) Kewajiban untuk mengurangi pencemaran sampai pada tingkat yang minimum; (b)

Kewajiban untuk mengembangkan teknologi yang tidak merusak lingkungan; (c) Kewajiban untuk mengambil langkah pencegahan dan kerusakan lingkungan.

### **Kedua, Prinsip Keadilan dalam Satu Generasi**

Prinsip keadilan dalam satu generasi (*intragenerational equity*) merupakan prinsip yang berbicara tentang keadilan di dalam sebuah generasi umat manusia, dimana beban dari permasalahan lingkungan harus dipikul bersama oleh masyarakat dalam satu generasi. Prinsip ini sangat berkaitan erat dengan isu lingkungan dan pembangunan berkelanjutan karena beberapa alasan (1) Beban dan permasalahan lingkungan dipikul oleh masyarakat lemah secara ekonomi dan sosial; (2) Kemiskinan mengakibatkan degradasi lingkungan, karena masyarakat yang masih pada taraf pemenuhan kebutuhan dasar pada umumnya terpaksa mengorbankan lingkungan hidup; (3) Upaya-upaya perlindungan lingkungan dapat memberikan dampak negatif pada sektor-sektor tertentu dalam masyarakat, namun disisi lain bisa menguntungkan sektor lain; (4) Tidak semua anggota masyarakat memiliki akses yang sama dalam proses pengambilan keputusan yang berdampak pada lingkungan.

### **Ketiga, Prinsip Kehati-hatian**

Prinsip pencegahan dini (*precautionary principle*) mengandung suatu pengertian bahwa apabila terdapat ancaman berarti, atau adanya ancaman kerusakan lingkungan yang tidak dapat dipulihkan, ketiadaan temuan atau pembuktian ilmiah yang konklusif dan pasti, tidak dapat dijadikan alasan untuk menunda upaya-upaya untuk mencegah terjadinya kerusakan lingkungan. Dalam menerapkan prinsip ini, pengambilan keputusan harus dilandasi oleh : *Pertama*, evaluasi yang sungguh-sungguh untuk mencegah seoptimal mungkin kerusakan lingkungan yang tidak dapat dipulihkan. *Kedua*, penilaian dengan melakukan analisis resiko dengan menggunakan beberapa opsi. Prinsip ini merupakan

respon terhadap kebijakan lingkungan konvensional, dimana upaya pencegahan dan penanggungan baru dapat dilakukan setelah resiko benar-benar terjadi dan terbukti secara meyakinkan.

#### **Keempat, Prinsip Perlindungan Keragaman Hayati**

Keragaman hayati dikonsepsikan sebagai jumlah jenis yang variasinya besar. Makin besar jumlah jenis, makin besar pula keragaman hayatinya. Melalui proses evolusi, dengan terus menerus terjadilah jenis baru. Sebaliknya dengan terus menerus pula terjadi kepunahan jenis. Perlindungan keragaman hayati merupakan prasyarat dari berhasil tidaknya pelaksanaan prinsip keadilan antar generasi. Perlindungan keragaman hayati juga merupakan prasyarat terwujudnya keadilan dalam satu generasi. Berkurangnya keragaman hayati di dunia memberikan dampak signifikan bagi ketersediaan bahan-bahan obat-obatan yang berguna bagi umat manusia. Bahkan manusia sesungguhnya belum tahu manfaat terbaik dari keragaman hayati yang dihabiskannya. Berlatang belakang inilah PBB dalam *Earth Summit 1992* (Konferensi PBB tentang Lingkungan dan Pembangunan) menerima konvensi keragaman hayati (*United Nations on Biological Diversity*). Konvensi tersebut telah diratifikasi oleh Indonesia dengan Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1994 tentang Pengesahan Konvensi Keragaman Hayati.

#### **Kelima, Prinsip Pencemar Harus Membayar**

Dalam jangka waktu yang lama, kerusakan lingkungan atau pencemaran lingkungan di wilayah pesisir dan laut merupakan resiko yang harus ditanggung masyarakat dari kegiatan produksi. Pencemaran dan atau kerusakan lingkungan tidak dianggap sebagai bagian dari proses produksi yang juga harus ditanggung oleh perusahaan atau pemrakarsa bagi yang lokasinya di bagian hulu atau hilir. Fenomena ini merefleksikan ketidakadilan yang diterima masyarakat pesisir selaku korban. Pelaku usaha (Perusahaan atau pemrakarsa) hanya melihat sisi keuntungan dari sebuah proses

produksi, tidak melihat pembuangan limbah (*waste*) sebagai bagian dari proses produksi yang juga harus dikelola oleh pengusaha. Oleh karena itu biaya kerusakan lingkungan harus diintegrasikan ke dalam proses pengambilan keputusan yang berkaitan dengan penggunaan sumber daya alam di wilayah pesisir dan laut tersebut. Masalah lingkungan pada hakekatnya timbul karena adanya kegiatan ekonomi dan pembangunan. Konsekwensi lebih lanjut upaya penanggulangan kerusakan lingkungan seharusnya dapat pula dilakukan melalui pendekatan ekonomi. Kerusakan lingkungan dapat dilihat sebagai *eksternal cost* dari suatu kegiatan ekonomi yang diderita oleh pihak yang tidak terlibat dalam kegiatan ekonomi tersebut. Secara langsung atau tidak langsung prinsip internalisasi biaya lingkungan menjadi pembenar adanya konsep tanggungjawab sosial perusahaan (*corporate social responsibility*).

Tingginya keragaman hayati ekosistem bahari akan menjamin berlanjutnya kehidupan di wilayah pesisir dan laut, oleh karena itu adalah hal mutlak bagi setiap daerah dan individu untuk mempertahankan, mengembangkan, dan melindungi keragaman hayati ekosistem. Berdasarkan hal tersebut, semakin jelas bahwa konsep pembangunan berkelanjutan merupakan konsep yang universal, sehingga menjadi agenda bersama dalam pengelolaan wilayah pesisir dan laut, meskipun *action* antar daerah berbeda.

### **Isu-isu Pokok dan Permasalahan Pemanfaatan dan Penataan Ruang Wilayah Pesisir dan Laut Provinsi Jawa Tengah**

Secara administratif, Provinsi Jawa Tengah memiliki 35 Kabupaten Kota, 17 diantaranya merupakan Kabupaten/Kota yang berada di pesisir dan mempunyai garis pantai dan wilayah laut dengan rincian: 13 kabupaten/kota berada di pantai utara (Pantura) dan 4 kabupaten berda di p[antai selatan (Pansel). Jumlah desa di wilayah pesisir adalah 426 desa yang terbagi: 331 desa di Pantura dan 95 desa di Pansel. Jumlah penduduk mencapai 32.382,657 jiwa, kurang lebih 53%-nya berada di wilayah pesisir.

Penduduk pesisir Pantura 12.851,646 jiwa (6.392,372 laki-laki dan 6.459,274 perempuan). Jumlah penduduk pesisir Pansel 4.426.364 jiwa (2.199.033 jiwa laki-laki dan 2.227,331 jiwa perempuan). Dengan kewenangan pengelolaan atas perairan laut sejauh 12 mil (dihitung dari garis pantai) maka luas wilayah perairan laut Provinsi Jawa Tengah adalah 3.25 juta ha, yang terdiri: (a) Pantura seluas 1.103,669 ha dan (b) Pansel seluas 627,844 ha. Panjang garis pantai Jawa Tengah adalah 791,73 km, dengan rincian: (a) Pantura: 502,69 km, dan (b) Pansel: 289.04 km. Ekosistem vital yang menonjol di Provinsi Jawa Tengah, antara lain: (1) Mangrove, dengan luas tutupan di Pantura 2.458,39 ha dengan 58 species dan 7.287,00 ha dengan 38 species di Pansel. Ekosistem terumbu karang dengan luas 2.290,69 ha yang mencakup: (1) Kepulauan Karimunjawa seluas 1.400 ha, (2) Jepara seluas 500,88 ha, (3) Rembang seluas 365,00 ha, (4) Tegal (Karangjeruk) seluas 19.53 ha, (5) Batang (Karang Kretek dan Karang Maeso) seluas 4.50 ha, serta (6) Kendal (karang Kelops dan karang Rome-rome) seluas 0.78 ha. Di Wilayah Pantai Selatan Jawa Tengah tidak dijumpai karang hidup. Ekosistem padang lamun hanya dijumpai di : (1) Rembang seluas 144.70 ha, (2) Jepara seluas 103,56 ha, serta (3) Kepulauan Karimunjawa seluas 248,26 ha, sehingga total mencapai 435,04 ha. Luas wilayah penangkapan ikan (demersal dan pelagis) seluas 25.220,39 km<sup>2</sup>, terdiri dari: (a) Pantura seluas 13.758,66 km<sup>2</sup>, serta (b) Pansel seluas 11.461,73 km<sup>2</sup>. (Sumber: Diskanlut Jateng, 2012).

Dengan jumlah penduduk yang bermukim di pesisir cukup besar serta dukungan sumberdaya kelautan yang cukup besar (tetapi relatif rawan gangguan) merupakan tantangan bagaimana meningkatkan kesejahteraan masyarakat dengan tetap menjaga kelestarian fungsi ekosistem dan daya dukung lingkungan. Dari penelusuran berbagai kajian pustaka dan hasil-hasil penelitian serta pemantauan selama kurun waktu 2005-2013 dapat dirangkup beberapa isu dan permasalahan sebagai refleksi pembangunan kelautan selama ini sebagaimana tertuang pada uraian berikut ini.

## 1. Konflik Kepentingan Dalam Pemanfaatan Ruang

Adanya paradigma yang menyatakan bahwa sumberdaya pesisir merupakan “*common property resources*” (sumberdaya milik bersama), sehingga wilayah pesisir memiliki fungsi publik (tersedia untuk kepentingan umum). Di samping itu sumberdaya dan wilayah pesisir juga merupakan “open access regime”, yang memungkinkan bagi siapapun yang mau dan mampu untuk memanfaatkan ruang serta sumberdaya pesisir. Implementasi dari kedua pandangan ini seringkali menjadi pemicu timbulnya konflik pemanfaatan ruang dan sumberdaya pesisir. Konflik dapat terjadi, baik antar sektor, antar daerah maupun antar pelaku usaha di laut (nelayan, petambak, petani ikan, serta pelaku usaha lainnya). Sebagai ilustrasi, Konflik pemanfaatan ruang pesisir dan laut Kabupaten Batang, telah membenturkan kepentingan konservasi terumbu karang dan habitat perikanan dengan kepentingan industri berteknologi tinggi PLTU, juga membenturkan kepentingan sektor perikanan, pertanian dan ESDM. Juga konflik pemanfaatan ruang di teluk Semarang yang menaungi Kabupaten Kendal, Kota Semarang dan Kabupaten Demak, telah menyebabkan timbulnya benturan kepentingan antara sektor industri (KEK Kendal dengan perikanan tambak Kota Semarang, Kawasan Industri Wijaya Kusuma dengan Kawasan Pertambakan Tugu Semarang, dan KI Terboyo Semarang dengan Perikanan Tambak Kabupaten Demak).

Timbulnya konflik dalam pemanfaatan sumberdaya pesisir dan lautan, dapat disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain:

- Menonjolnya ego-sektoral dan ego-kedaerahan, yang menganggap sektor atau daerahnya lebih berwenang atau lebih superior dari sektor atau daerah lain dalam pemanfaatan sumberdaya pesisir. Pengelolaan kegiatan pemanfaatan sumberdaya pesisir dan lautan selama ini lebih banyak dilakukan secara sektoral dan berorientasi pada keuntungan sesaat (jangka pendek) secara maksimal. Egoisme sektoral lebih dominan daripada kerjasama secara sinergis antar sektor untuk mencapai pemanfaatan sumberdaya pesisir secara optimal.
- Kurangnya pemahaman dan apresiasi dari sebagian pe-

rencana, pengambil keputusan, serta pelaku kegiatan pembangunan di kawasan pesisir akan pentingnya nilai strategis sumberdaya pesisir, baik yang sifatnya mudah atau sulit diperbarui, serta perlunya dijaga kebersihan/keindahan lingkungan pesisir bagi kelangsungan pembangunan;

- Lemahnya koordinasi dan kerjasama antara para pihak yang berkepentingan dalam menyusun rencana pengelolaan dan pemanfaatan kawasan pesisir di tingkat daerah (Provinsi, Kabupaten dan Kota).
- Belum dipakainya pertimbangan daya dukung lingkungan dan daya lenting sumberdaya pesisir sebagai rambu-rambu pembatas tingkat eksploitasi sumberdaya alam di kawasan pesisir;
- Belum ada batas pengelolaan yang tegas dan jelas mengenai kawasan pesisir dan laut yang menjadi kewenangan setiap Provinsi, Kabupaten dan Kota, termasuk kerjasama secara sinergis antar daerah yang berbatasan.
- Lemahnya koordinasi serta kemampuan aparaturnya dan kelembagaan dalam pengelolaan dan pemanfaatan sumberdaya pesisir dan lautan;

Secara sosio-anatomis, sesungguhnya konflik dalam penataan dan pemanfaatan ruang pesisir, dapat dikelompokkan ke dalam berbagai kategori berdasarkan faktor-faktor penyebabnya, yaitu (Satria, 2002):

- Konflik kelas, yaitu konflik yang terjadi antar kelas sosial nelayan dalam memperebutkan ruang atau wilayah penangkapan ikan (fishing ground), terutama pada jalur (Ia 0 - 3 mil) dan Ib (3 - 6 mil). Konflik itu dipicu akibat beroperasinya kapal/armada penangkap ikan, misalnya Trawl, di perairan pesisir (jalur 1) yang sebenarnya merupakan wilayah penangkapan ikan nelayan tradisional (skala kecil). Nelayan tradisional merasakan ketidakadilan dalam memanfaatkan sumberdaya ikan akibat perbedaan kelas atau tingkat penguasaan kapital.
- Konflik orientasi, yaitu konflik yang terjadi antar nelayan yang memiliki perbedaan orientasi dalam pemanfaatan

sumberdaya pesisir dan pulau-pulau kecil. Konflik tipe ini didasari oleh sifat altruistik yang dianut oleh masing-masing pelaku usaha perikanan. Nelayan atau pelaku usaha penangkapan ikan yang menganut pola altruistik negatif akan cenderung mengikuti orientasi jangka pendek. Pelaku usaha tipe ini seringkali melakukan kegiatan yang bersifat destruktif atau melakukan penangkapan ikan berlebihan (*over exploitasi*), misalnya dengan menggunakan alat tangkap yang bersifat merusak lingkungan (bahan peledak, bahan kimia beracun, aliran listrik, serta jaring yang tidak selektif atau bersifat merusak). Sebaliknya, pelaku usaha yang menganut pola altruistik positif, cenderung berorientasi jangka panjang. Mereka melakukan penangkapan ikan secara terkendali (*responsible fisheries*) pada musim dan lokasi yang tepat dengan menggunakan alat tangkap yang ramah lingkungan. Kelompok ini dalam pengoperasian alat tangkap akan selalu menghindari tempat pemijahan dan daerah asuhan ikan (*spawning and nursery ground*) serta musim pemijahan ikan (*spawning season*).

- Konflik agraris spasial, yaitu konflik yang terjadi akibat perebutan atau tumpang tindihnya pemanfaatan ruang perairan laut. Misalnya, tumpang tindih antara : *fishing ground* (daerah penangkapan ikan) dengan *spawning ground* (daerah pemijahan), *fishing ground* dengan kegiatan pemanfaatan lainnya (penambangan pasir/terumbu karang, *fish sanctuary*, terumbu karang buatan, alur pelayaran kapal niaga), antara *spawning ground* dengan penambangan pasir laut (contoh: kerusakan habitat vital/*spawning ground* ikan Gelam/*Phytophill*, *Psammopercha waigiensis*, akibat penambangan pasir di Riau Kepulauan dan perairan Batam), antara zona konservasi terumbu karang/ sempadan pantai dengan wisata bahari minaboga di Kepulauan Karimunjawa, antara kawasan industri dan pelabuhan Kendal/Kaliwungu dengan pertambakan Mangunharjo Semarang. Akibat tumpang tindihnya kegiatan yang tidak sinergis tersebut menyebabkan timbulnya dampak yang tidak diinginkan,

antara lain: (a) kerusakan habitat pemijahan dan penurunan stok udang jahe (*Metapenaeus elegans*) di Segara Anakan Cilacap, (b) kerusakan habitat terumbu karang dan terjadinya pencemaran air di Kabupaten Batang dan Jepara, (c) degradasi lingkungan (abrasi) dan hilang/hancurnya tambak seluas 180 ha di pesisir Mangunharjo dan 128 ha di Sayung-Morosari Kabupaten Demak..

- Konflik primordial, yaitu konflik pemanfaatan ruang/sumberdaya yang terjadi akibat menonjolnya egoisme/kepentingan sektor, daerah, etnik, individu, kelompok, atau lainnya. Konflik tipe ini terlihat menonjol terutama setelah diberlakukannya desentralisasi (otonomi daerah) sebagaimana diamanatkan UU No. 32 tahun 2004.

## **2. Degradasi Sumberdaya dan Lingkungan akibat Dampak Pembangunan**

Berbagai kegiatan pembangunan dapat menimbulkan dampak atau perubahan mendasar pada wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil, terutama habitat vital/ekosistem mangrove dan terumbu karang, antara lain:

- Kegiatan penebangan atau konversi hutan mangrove menjadi kawasan pertambakan, pemukiman, pelabuhan dan industri menyebabkan rusaknya bentang alam, timbulnya abrasi dan hilangnya hewan yang menghuni komunitas mangrove.
- Kegiatan penambangan dan konversi kawasan terumbu karang untuk keperluan industri agromarin, budidaya laut, resort wisata, pertambangan, pelabuhan dan galangan kapal; dapat menyebabkan rusaknya daerah pemijahan dan asuhan ikan dan berkurangnya populasi ikan di laut;
- Penambangan pasir laut dapat menyebabkan rusaknya tempat pemijahan ikan, meningkatkan kedalaman air dan kecepatan arus/gelombang serta dapat memicu abrasi pantai;
- Pendirian bangunan yang menjorok ke laut, dapat menghalangi transpor sedimen dan memblokir pola arus/

gelombang, sehingga dapat menyebabkan abrasi dan/ atau akresi pantai. Kasus ini telah terjadi di Provinsi Jawa Tengah, antara lain berupa: (1) abrasi yang menghancurkan tambak seluas lebih dari 120 ha serta kerusakan sempadan pantai sepanjang 3.75 km di Mangunharjo Semarang sebagai akibat reklamasi dan bangunan yang menjorok ke laut, (2) hancur dan hilangnya pematang tambak dan daratan litoral seluas lebih dari 150 ha di Sayung-Morosari Demak akibat abrasi dan rob yang dipicu oleh bangunan reklamasi yang menjorok ke laut dan perpanjangan bangunan pemecah gelombang yang menjorok di Teluk Semarang.

- Kegiatan pembuangan limbah (padat/sampah dan cair/ air balast) dari aktifitas: industri, wisata, pemukiman, pertanian, perikanan (budidaya tambak/laut dan pengolahan ikan), pelabuhan dan pertambangan. Disiplin yang rendah dari sebagian masyarakat dalam menjaga kebersihan dan kualitas lingkungan merupakan potret yang menonjol dijumpai di permukiman pesisir, terutama permukiman dan area aktivitas nelayan. Pembuangan sampah dan limbah ke sungai/laut merupakan pemandangan yang dapat disaksikan setiap hari. Akibatnya kualitas air sungai mengalami penurunan akibat tingginya beban cemaran. Indikasi penurunan kualitas air sungai/ laut, di samping dapat dilihat dari banyaknya parameter kunci abiotik (DO, pH, BOD, COD) yang tidak memenuhi baku mutu, juga dapat dilihat dari rendahnya tingkat kemantapan trofik (H') dan saprobitas perairan (IS).
- Kegiatan penangkapan ikan yang tidak bertanggung-jawab, misalnya menggunakan alat tangkap yang bersifat destruktif (menggunakan: bahan peledak, bahan kimia beracun, aliran listrik, atau alat tangkap yang merusak habitat). Hal itu masih ditambah dengan operasional armada tangkap yang kurang tepat ditinjau dari segi lokasi (fishing ground tumpang tindih dengan spawning/ nursery ground) serta waktu (penangkapan dilakukan pada saat ikan pada tahap rawan secara biologis/matang telur

mendekati pemijahan). Sebagai contoh, Karang Kretek yang merupakan Zona Inti di Kawasan Konservasi Laut Daerah (Taman Pesisir) di Kabupaten Batang ternyata sebagian rusak karena dijadikan daerah penangkapan jaring arad.

Dampak atau perubahan mendasar terhadap ekosistem mangrove dan terumbu karang di wilayah pesisir dapat terjadi melalui berbagai tahap sebagai berikut:

1. Usaha atau kegiatan menimbulkan dampak terhadap habitat, sehingga akan menyebabkan degradasi (kerusakan) habitat vital mangrove atau terumbu karang. Karena habitat vital rusak maka efek lanjutnya akan menyebabkan: (a) sistem penyangga pantai menjadi rapuh, daratan mudah terabrasi arus dan gelombang, akibatnya pemukiman penduduk menjadi terancam, (b) biota terestris dan biota akuatik yang hidup/bernaung di habitat tersebut menjadi terganggu kehidupannya (misalnya, akibat kerusakan pada habitat kawin, bertelur, membesarkan anaknya, atau tempat makan dan berlindung) sehingga populasinya dapat menurun. Akibatnya, penghasilan nelayan atau masyarakat yang memanfaatkan biota di habitat tersebut menjadi menurun. Kerusakan habitat mangrove dan terumbu karang juga akan berpengaruh terhadap kelestarian plasma nutfah dan keanekaragaman hayati biota pesisir dan laut.
2. Usaha atau kegiatan menimbulkan dampak terhadap biota dan rantai makanan alaminya, akibatnya terjadi deplesi sumberdaya biotis dan efek lanjutnya penghasilan masyarakat yang bergantung kepada sumberdaya itu menjadi berkurang.

### **3. Pencemaran Perairan Pesisir dan Laut**

Diketahui bersama, bahwa wilayah pesisir selain menerima tekanan lingkungan dari berbagai kegiatan pembangunan dari lingkungan internal di pesisir dan laut, juga menerima beban tekanan lingkungan eksternal dari kegiatan pembangunan atau aktivitas manusia dan alam yang berada di luar wilayah

pesisir; baik yang berasal dari daratan lahan atas (supralitoral. Upland areas) maupun yang berasal dari laut. Salah satu sumber pencemar perairan pesisir dan laut adalah masuknya air balas pada ekosistem perairan pesisir. Dari beberapa penelitian dan kajian menunjukkan bahwa beberapa lokasi pesisir Jawa Tengah telah mengalami penurunan mutu (kualitas) lingkungan bila ditinjau dari parameter fisika-kimia dan biotik perairan (keanekaragaman biota dan saprobitas). Hampir seluruh muara (estuari) di kota-kota besar (Semarang, Batang, Pekalongan, Tegal, Jepara, Pati dan Cilacap telah mengalami penurunan kemantapan ekologis ( $H'$  di bawah 0.75) kenaikan cemaran (BOD di atas 100 serta Indeks Saprobitik: IS di bawah 0.50). Kawasan perairan yang berdekatan dengan permukiman nelayan, TPI/PPI dan kawasan Industri memperlihatkan tingkat pencemaran air dan penurunan kualitas lingkungan lebih signifikan, yaitu BOD di atas 250,  $H'$  di bawah 0.50 dan IS di bawah 0.25 dengan indikasi ekosistem goyah tidak mantap dan saprobitas mengarah pencemaran sedang ke arah berat (Meso-polisaprobitik). Faktor penyebab utama tingginya pencemaran antara lain disebabkan rendahnya tanggungjawab serta kepekaan dan kepedulian masyarakat untuk menegakkan budaya malu guna hidup bersih & sehat bersahabat dengan lingkungan. Faktor sedimentasi juga menjadi penyebab hilangnya fungsi ekosistem terumbu karang. Sebagai contoh, 70% kawasan terumbu Karang Kretek dan 45% kawasan Terumbu Karang Maeso di KKLD Kabupaten Batang telah tertutup (terkubur) lumpur akibat tingginya sedimentasi dari daratan. Persentase tutupan kedua ekosistem terumbu karang tersebut juga menurun drastis dari 76% pada tahun 2005 menjadi 5-21% pada tahun 2012 (Kajian Ekologi Perairan Batang, 2013).

### **Arah Kebijakan Pembangunan dan Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Laut**

Permasalahan yang sangat mendasar dan penting bagi pembangunan nasional ke depan adalah, bagaimana meningkatkan karakter- integritas manusia (pelaku pembangunan) serta kesadaran

ber-Bangsa untuk mewujudkan Negara Indonesia sebagai Negara Maritim, yang memiliki keberdayaan di laut yang sesungguhnya. Hal tersebut harus menjadi patron pola pikir (*mindset*) pengelolaan Negara, yang mencari pada Kebijakan Pembangunan Nasional yang berorientasi kepada Pembangunan Kelautan Indonesia, yang ditetapkan melalui Keputusan Politik dengan visi dan misi kelautan, serta didukung dengan kebijakan operasional yang jelas -terarah serta memihak pada *pro-poor, pro-job, pro-growth dan pro-environment*. Kebijakan tersebut akan menjadi acuan bagi program-program sektoral dan kewilayahan. Hal tersebut hanya akan terwujud bila ada dukungan politik dan peranserta masyarakat yang saling memperkuat (*sinergis*). Dalam era reformasi dengan kehidupan demokrasi yang penuh keterbukaan, maka dukungan politik dan peranserta masyarakat sangat dimungkinkan memperkuat visi kelautan yang mengedepankan nilai pemikiran terbuka, akomodatif dan adaptif terhadap perubahan serta interaktif dengan dunia luar.

Dalam RPJM 2015-2019 dikemukakan arahan pembangunan yang ditujukan untuk lebih memantapkan pembangunan secara menyeluruh di berbagai bidang dengan menekankan pencapaian daya saing kompetitif perekonomian berlandaskan keunggulan SDA dan SDM berkualitas serta kemampuan IPTEK yang terus meningkat. Adapun sasarannya adalah: (1) berkembangnya industri kelautan yang meliputi perhubungan laut, industri maritim, perikanan, wisata bahari, energi dan sumberdaya mineral secara sinergis, optimal dan berkelanjutan, (2) berkembangnya proses rehabilitasi dan konservasi sumberdaya alam dan lingkungan hidup serta menguatnya partisipasi masyarakat. Muara dari arahan dan sasaran tersebut sudah sangat jelas yaitu: (1) semakin membaiknya tingkat kesejahteraan masyarakat, serta (2) semakin meningkatnya daya dukung lingkungan bagi kelestarian fungsi ekosistem pesisir dan laut. Sejalan dengan arahan pembangunan yang tertuang pada RPJM 2015-2019 tersebut, terutama untuk pembangunan ekonomi, adalah perlunya menjaga dan melestarikan sumberdaya alam dan lingkungan hidup di pesisir dan laut, terutama dari ancaman atau tekanan eksplorasi/eksploitasi yang dapat merusak ekosistem

laut. Pengembangan industri kelautan perlu berorientasi pada tuntutan *clean production*, *zero waste* dan *product (food) safety*. Dari pemantauan yang terjadi di Jawa Tengah, perusakan dan pencemaran lingkungan pesisir/laut lebih banyak disebabkan oleh faktor manusia. Dengan demikian kebijakan pembangunan kelautan harus bertumpu pada filosofi *pro-growth*, *pro-job*, *pro-poor* dan *pro-environment*. Dalam kurun waktu mendatang, kebijakan pembangunan kelautan perlu diarahkan pada terwujudnya usaha di sector kelautan yang berwawasan lingkungan, beretika dan bermoral, serta berbudaya industri. Perwujudan terhadap sasaran tersebut dapat dilakukan oleh masyarakat, terutama para pelaku usaha di sektor kelautan dengan dukungan para pemangku kepentingan di kawasan pesisir.

Selanjutnya, terkait dengan beberapa permasalahan atau isu-isu pokok yang telah dijelaskan pada uraian terdahulu, berikut ini disampaikan beberapa alternatif arahan pembangunan kelautan ke depan.

#### **1. Arahan Penanganan Masalah Tata Ruang Pesisir dan Laut**

Penataan ruang pesisir dan laut dimaksudkan untuk menyediakan suatu landasan perijinan yang mengatur ketentuan tentang asas dan tujuan, pemanfaatan dan perlindungan (konservasi) sumberdaya pesisir dan laut, kewenangan, pembagian peran (hak dan kewajiban) antara para pemangku kepentingan (stakeholders), integrasi serta harmonisasi dengan penataan ruang darat dan udara (sebagaimana diamanatkan UU No. 26 tahun 2007 tentang Penataan Ruang dan UU No. 27 tahun 2007 Jo UU No 1 tahun 2014 tentang PWP3K, serta PP No 46 tahun 2016 tentang Kajian Lingkungan Hidup Strategis), keterpaduan pola dan struktur ruang pesisir-laut-darat, sanksi atas kegiatan yang menyimpang atau bertentangan dengan tata ruang. Sesuai dengan Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan No. 034 tahun 2002, bentuk rencana tata ruang pesisir dan pulau-pulau kecil meliputi, antara lain:

- Rencana Tata Ruang Kelautan Nasional: merupakan bagian dari Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional dengan skala peta Rencana 1: 1.000.000
- Rencana Tata Ruang Pesisir Wilayah Propinsi, merupakan arahan pengembangan perlindungan dan pemanfaatan ruang pesisir wilayah propinsi, dengan skala peta Rencana 1:250.000

Dari hasil pantauan sampai bulan September 2018, ternyata belum semua Provinsi mempunyai Rencana Tata Ruang Pesisir dan Pulau-pulau Kecil dalam bentuk Rencana Zonasi WP3K yang di-Perdakan. Untuk wilayah Provinsi Jawa Tengah, saat ini Perda tentang Rencana Zonasi WP3K telah terbit dan diberlakukan lewat Peraturan Daerah (Perda) Momor 13 Tahun 2018 tentang Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil Provinsi Jawa Tengah Tahun 2018-2038.

Kenyataan ini menimbulkan implikasi bagi pengendalian pemanfaatan ruang pesisir dan laut, serta memberi peluang timbulnya benturan/konflik antar kepentingan dalam pemanfaatan sumberdaya pesisir dan pulau-pulau kecil. Sebagai arahan solusi terhadap permasalahan ini perlu dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

- Bagi Kabupaten/Kota yang telah memiliki Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) perlu dikuatkan dengan Peraturan Daerah, selanjutnya diintegrasikan dan diselaraskan dengan RZWP3K Provinsi.
- RZWP3K yang telah disusun Provinsi atau di-PERDA-kan perlu ditindaklanjuti dengan Rencana Pengelolaan Pesisir Terpadu (*Management dan Action Plan*) sesuai hierarki yang berlaku dalam siklus perencanaan penataan pesisir terpadu.
- Perencanaan RZWP3K seyogyanya berbasis pada pendekatan Ekoregion (terpadu antara ekosistem darat dan perairan) dan kepentingan masyarakat, antara lain dengan memperhatikan daya dukung lingkungan, daya lenting sumberdaya, serta adat istiadat dan status kepemilikan lahan.

- Dari segi penataan pemanfaatan sumberdaya, RZWP3K sebaiknya mempertimbangkan prinsip kehati-hatian dan keadilan secara proporsional, terutama dalam penetapan pemintakatan (zonasi) untuk fungsi lindung (konservasi) dan budidaya (pemanfaatan), termasuk dalam penetapan Kawasan Strategis sebagaimana diamanatkan UU No. 26 dan No. 27 tahun 2007 (diperbarui dalam UU No. 1 tahun 2014) serta PP no. 60 tahun 2007 tentang Konservasi Sumberdaya Ikan. Pemintakatan hendaknya benar-benar dapat menjamin keharmonisan dan keterpaduan antar zona atau kegiatan, sehingga kegiatan-kegiatan yang kompatibel dapat dipisahkan dari kegiatan yang non-kompatibel, atau zona lindung tidak tumpang tindih dengan zona budidaya/ pemanfaatan umum.
- Dalam proses penyusunan RZWP3K perlu melibatkan seluruh stakeholder, baik pemangku kepentingan internal maupun eksternal, sedapat mungkin juga dikonsultasikan dengan daerah (Kabupaten/Kota/Provinsi) yang berbatasan.
- Perencanaan RZWP3K pada gugus kepulauan (misalnya Kepulauan Karimunjawa) sedapat mungkin dipadukan dan diselaraskan dengan RTRW Kabupaten/Kota di daratan pulau besar (misalnya Kabupaten Jepara).
- Rencana Zonasi WP3K Provinsi perlu diserasikan, diselaraskan, dan diseimbangkan dengan RTRW yang telah ada. Sebagai catatan, langkah langkah tersebut perlu diiringi kehati-hatian dengan upaya verifikasi dan validasi, baik pada zoning teks maupun zoning map-nya. Kenyataan yang pernah terjadi pada masa lalu, yaitu RTRW Provinsi Jawa Tengah yang sudah di-Perda-kan dengan Perda No. 6 tahun 2010 tentang RTRW Prov. Jawa Tengah 2009-2029, ternyata masih terdapat inkonsistensi atau ketidaksesuaian antara zoning teks dengan zoning map; misalnya, pada zoning teks tertulis di wilayah pesisir-laut Ujung Negro Kabupaten Batang diplot sebagai Zona Konservasi Taman Laut, namun pada zoning-mapnya ternyata kosong, yang muncul adalah zona lindung sempadan pantai. Kekurang-akuratan yang

lain, misalnya pada penetapan posisi koordinat beberapa ekosistem penting yang dilindungi (misalnya Karang Kretek dan Karang Maeso di Kabupaten Batang), setelah dicek ulang dengan GPS dan penyelaman Under-water GPS pada bulan April 2012 dan Mei 2013 ternyata posisinya tidak sesuai dengan lokasi sebenarnya.

- Rencana Zonasi/Tata Ruang Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil perlu dirancang, dilegalkan, diimplementasikan, dipantau dan dievaluasi dampaknya dari sisi sosial-ekonomi dan ekologi. Dalam RTRWP3K, diusahakan agar minimal 30 persen dari total luas wilayah harus dialokasikan (dicadangkan) untuk kawasan lindung (konservasi). Hal ini diperlukan sebagai antisipasi menghadapi ancaman pemanasan global (*global warming*), terutama berkaitan dengan peningkatan paras (permukaan) laut (*sea level rise*) yang dapat memicu peningkatan gelombang pasang dan abrasi pantai. Pada sempadan pantai perlu dibangun atau dikembangkan sabuk hijau (*green belt*) mangrove atau vegetasi lainnya dengan lebar/ketebalan sesuai kondisi oseanografis dan geomorfologi setempat. Ketetapan tentang garis pantai yang dipakai sebagai acuan, harus sama antara RTRW dan RZWP3K (menggunakan garis pantai versi Badan Informasi Geospasial tahun 2013 atau 2017); artinya harus ada sinergi dan harmoni antara tata ruang matra darat dengan tata ruang matra laut.
- Pada tataran nasional, perlu kebijakan penanganan yang tepat dan cermat atas berbagai permasalahan pulau-pulau kecil terdepan dan batas laut wilayah Negara (Delimitasi Batas Maritim) yang sampai saat ini banyak yang belum mencapai kesepakatan dengan beberapa Negara yang memiliki perbatasan laut dengan Indonesia. Masalah perbatasan wilayah laut dengan Negara-negara tetangga, baik yang terkait dengan batas wilayah laut territorial, ZEE, landas kontinen, maupun zona tambahan perlu segera diselesaikan. Hal ini perlu, karena akan terkait dengan penegasan wilayah secara hukum yang memiliki implikasi,

baik pada dimensi politik, keamanan dan ekonomi. Pada dimensi politik dan keamanan, penegasan ini menjadi penting karena akan menjadi payung hukum implementasi kedaulatan dan hak berdaulat, terkait dengan ruang pengelolaan Negara dalam berbagai aspek, beserta upaya penegakan keamanannya. Pada dimensi ekonomi, langkah tersebut akan berguna sebagai penegasan ruang eksplorasi, eksploitasi dan konservasi sumberdaya alam laut Indonesia yang dikuasai Negara bagi sebesar-besarnya kesejahteraan dan kemakmuran rakyat.

## **2. Arahan Penanganan Konflik Pemanfaatan Sumberdaya Pesisir dan Laut**

Pengelolaan dan pemanfaatan sumberdaya pesisir dan lautan sedapat mungkin harus dapat menghindari atau meminimalisasi terjadinya konflik di antara berbagai kelompok masyarakat yang berkepentingan memanfaatkan sumberdaya pesisir yang tersedia. Seandainya konflik timbul maka harus ada upaya untuk mencari solusi yang tepat untuk mengatasinya.

Dalam hal penanganan konflik antar pengguna sumberdaya pesisir, terdapat 3 aspek yang perlu diperhatikan, yaitu:

- (1) permasalahan konflik yang berkaitan dengan sebab dan akibat terjadinya benturan antar kepentingan dari para pihak yang terlibat (stakeholder), yakni terkait dengan kebutuhan yang beragam dan daya dukung potensi sumberdaya pesisir yang terbatas;
- (2) permasalahan stakeholder yang terlibat dalam konflik, terkait dengan beragamnya pemahaman terhadap pemanfaatan sumberdaya pesisir dari aspek sosial, ekonomi, dan budaya masyarakat lokal;
- (3) permasalahan sifat atau karakter sumberdaya pesisir yang selama ini masih dianggap sebagai sumberdaya milik umum (*common properties*) dan terbuka bagi semua orang untuk memanfaatkannya (*open acces*);

- (4) permasalahan belum siap atau belum dipatuhinya Tata Ruang Pesisir dan Laut sesuai amanat UU No. 27/2007 Jo Undang-undang No. 1 tahun 2014 serta persepsi yang belum sama mengenai kewenangan daerah dalam mengelola sumberdaya pesisir dan laut sesuai UU No. 23 tahun 2014 tentang Pemerintah Daerah.

Berdasarkan hal tersebut di atas, arahan kebijakan dan strategi pelaksanaan solusi terhadap konflik pengelolaan dan pemanfaatan sumberdaya pesisir perlu dilakukan berdasar azas kebersamaan dan diimplementasikan secara terpadu dan partisipatif serta bersifat **bottom up**.

Sasaran kegiatan solusi konflik ini ditujukan kepada masyarakat pengguna sumberdaya alam (hayati dan nirhayati) dan habitat di perairan kawasan pesisir sebagai stakeholder utama serta pemegang otoritas perikanan dikawasan pesisir, untuk mengarahkan masyarakat pemanfaat sumberdaya alam pesisir agar bersikap arif dan bijaksana dalam melakukan kegiatan pembangunan di kawasan tersebut. Dalam perencanaan ini masyarakat (stakeholder) diberikan kebebasan dan kepercayaan penuh untuk berpartisipasi dalam melaksanakan perencanaan, implementasi dan monitoring pelaksanaan, serta evaluasinya.

Oleh karena itu, dalam kegiatan ini pendekatan yang perlu dilakukan adalah dengan menggunakan konsep “Berbasis Komunitas dan Ekosistem”, dengan konsekuensi paradikmatis pemilihan pendekatan metodologis dengan partisipasi aktif masyarakat, dengan memanfaatkan *Participatory Rural Appraisal* (PRA). Tujuan peningkatan partisipasi masyarakat adalah untuk memberdayakan masyarakat dalam memanfaatkan sumberdaya alam pesisir dan laut guna peningkatan taraf hidup mereka secara berkesinambungan. Pengelolaan berbasis komunitas secara esensial menuntut partisipasi aktif dan efektif dari masyarakat dalam kegiatan perencanaan dan pelaksanaan (implementasi), dan menghendaki adanya tanggung jawab dalam pengelolaan sumberdaya pesisir. Tanggung jawab yang dimaksud adalah bahwa dalam pemanfaatan sumberdaya pesisir harus didasarkan pada

prinsip-prinsip kelestarian, berwawasan daya dukung lingkungan, serta terhindarnya dari kemungkinan munculnya konflik antar pengguna sumberdaya, dan hambatan-hambatan lainnya.

Dalam praktek di lapangan, pengelolaan program berbasis komunitas yang terbaik adalah melalui pendekatan kelembagaan, dengan membentuk wadah/forum diiringi kampanye informasi edukasi (KIE). Melalui forum ini dapat dibentuk kelompok pekerja yang secara khusus menangani pengelolaan sumberdaya pesisir, sehingga pengaturan dan pengontrolan terhadap sumberdaya yang ada dapat dilakukan dan dipertanggungjawabkan secara bersama-sama.

Dalam perencanaan pengelolaan sumberdaya pesisir tersebut harus mampu menempatkan masyarakat atau pengguna sumberdaya dalam posisi pemegang kekuasaan yang memiliki tanggung jawab dalam pengelolaan dan pengaturan kegiatan produktif serta kegiatan iringannya. Agar hal tersebut dapat terwujud, maka perlu adanya pemahaman terhadap harapan yang hendak dicapai, antara lain :

- (a) Adanya kesadaran para stakeholder dan pemerintah bahwa partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sumberdaya hayati dan nirhayati di perairan pesisir akan mengarah pada kegiatan yang menguntungkan semua pihak yang berkepentingan.
- (b) Kerangka hukum dan kebijakan pengelolaan yang ada harus mendukung pola pengelolaan sumberdaya pesisir yang berbasis komunitas ekosistem;
- (c) Organisasi atau forum komunikasi masyarakat, terutama nelayan pengguna sumberdaya pesisir harus memiliki kemampuan untuk memikul tanggung jawab pengelolaan sumberdaya hayati (ikan) dan habitatnya.

Untuk mencapai kondisi tersebut, maka perlu adanya aliran komunikasi yang lancar antara masyarakat, pemerintah dan instansi terkait, yang masing-masing harus memiliki peran dan fungsinya dalam dua hal :

- (a) Menciptakan kesadaran di semua pihak untuk meningkatkan partisipasi. Sedangkan peran utama LSM, ter-

masuk pelatih dari relawan, adalah sebagai fasilitator, motivator dan dinamisator yang memiliki tanggung jawab atas pencapaian keluaran (out put) dan tujuan yang telah ditetapkan.

- (b) Mendorong terjadinya perubahan orientasi organisasi masyarakat dari ketergantungan terhadap pemerintah menjadi institusi yang swakelola dan mandiri.

### 3. Arahan Penanganan Masalah Pemanfaatan Sumberdaya Ikan

Untuk menangani permasalahan konflik pemanfaatan fishing ground (daerah penangkapan ikan) dan kelebihan tangkap (over fishing), dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

- Rasionalisasi daerah penangkapan ikan, antara lain dengan cara memisahkan fishing ground dan spawning ground (agar tidak tumpang tindih), serta menjauhkan zona penangkapan ikan dari zona lindung pesisir (*marine fish sanctuary*);
- Mengembangkan regulasi akses terkendali (*controlled access regulation*) berdasarkan:
  - (a) pembatasan input (*input restriction*), yang membatasi jumlah nelayan, jumlah dan jenis kapal/perahu, serta jumlah dan jenis alat tangkap;
  - (b) pembatasan output (*output restriction*), yang membatasi jenis dan jumlah hasil tangkapan ikan pada setiap daerah/wilayah penangkapan ikan atau setiap musim penangkapan;
  - (c) pembatasan proses (*process restriction*), yang mengatur proses/tata cara penangkapan ikan (dengan cara yang ramah lingkungan), serta membatasi musim dan lokasi penangkapan ikan yang didasari pertimbangan ekologis (daya dukung habitat dan daya lenting sumberdaya ikan), misalnya dengan cara: melarang penangkapan ikan pada saat ikan matang telur atau siap memijah (TKG IV), serta melindungi daerah pemijahan (*spawning ground* atau *nesting area*) dan daerah asuhan (*nursery ground*) ikan dari tekanan/gangguan alat tangkap.

#### 4. Arahan Mitigasi Dampak Degradasi Lingkungan dan Depleksi Sumberdaya

Prinsip dasar penanganan (mitigasi) dampak adalah upaya untuk **mengoptimalkan dampak positif** dan **mencegah atau meminimalkan dampak negatif** yang telah, sedang atau akan timbul. Dalam hal penanganan dampak terhadap komponen lingkungan pesisir, ada beberapa hal yang perlu mendapatkan perhatian, yaitu:

a) Penanganan dampak harus memperhitungkan kemungkinan timbulnya dampak ikutan atau dampak sampingan, baik yang sifatnya interaktif-sinergistik maupun antagonistik terhadap komponen ekosistem lainnya;

b) Beberapa jenis dampak yang tidak atau kurang penting terhadap komponen biota air dapat diabaikan penanganannya seandainya tidak akan menimbulkan dampak interaktif sinergistik yang bersifat negatif penting terhadap komponen lingkungan vital di pesisir dan laut;

c) Penanganan dampak harus layak ditinjau dari aspek teknis, ekologis, sosio-ekonomi, serta legal.

Untuk menangani dampak penting pada lingkungan pesisir, dapat digunakan salah satu atau beberapa pendekatan konservasi lingkungan, baik dengan pendekatan teknologi, sosial ekonomi ataupun institusi (kelembagaan). Penanganan dampak dapat dilakukan, baik pada **sumber penyebab dampak** (aktivitas atau kegiatan pembangunan) maupun pada **komponen lingkungan yang terkena dampak**.

Pendekatan teknologi, misalnya, merupakan penerapan metode atau rekayasa teknologi yang digunakan untuk menangani serta mengelola dampak penting terhadap komponen lingkungan tertentu (misalnya: udara, tanah, air atau biota), antara lain:

a) Dalam rangka mencegah dan mengurangi dampak negatif, atau memperbaiki kualitas lingkungan, dapat ditempuh berbagai cara, antara lain:

- Merehabilitasi lahan kritis atau merevitalisasi habitat vital yang tidak/kurang berfungsi di pesisir dan laut
- Melindungi dan merawat daerah lindung, daerah resapan air, daerah aliran sungai (DAS) atau “catchment area” agar tidak terjadi erosi, abrasi, sedimentasi dan akresi; misalnya dengan membuat Dam Kontrol, Terasering dan Penghijauan
- Memadukan rehabilitasi dan revitalisasi habitat vital dan kritis, misalnya dengan membuat terumbu karang buatan, rumah ikan atau rumpon perlindungan ikan, penanaman pohon pelindung/penghijauan dengan tanaman bakau, atau membuat petak/kolam tandon di tambak-tambak kawasan pesisir. Pengembangan terumbu karang, rumpon ikan demersal dan rumah ikan di beberapa lokasi di Provinsi Jawa Tengah, seperti kawasan sekitar Karangjeruk-Tegal dan Karang Bapang (11 mil di utara Batang), terbukti mampu meningkatkan/memperbaiki peremajaan stok ikan (restocking) dengan indikasi meningkatnya *spill-over* larva ikan dan membaiknya hasil tangkapan ikan pada fishing ground di sekitarnya, di samping tetap terpeliharanya fungsi lindung ekosistem terumbu karang.
- Membangun atau menyediakan tempat pembuangan sampah yang memadai di tempat-tempat yang strategis (tepat)
- Merancang, membuat dan mengoperasikan Unit/Instalasi Pengolah Air Limbah Domestik dan Limbah Industri
- Menyusun dan melaksanakan prosedur operasi baku (standard operation procedure) bagi setiap kegiatan yang berpotensi menimbulkan dampak terhadap lingkungan
- Membiasakan masyarakat untuk hidup bersih dan disiplin menjaga sanitasi lingkungan di kawasan pesisir dan daerah aliran sungai (DAS), melalui pendidikan/ penyuluhan/ kampanye informasi edukasi, baik lewat jalur formal atau informal.

- Memantau dan mengelola tata ruang wilayah pesisir & pulau-pulau kecil secara arif berbasis lingkungan dan masyarakat

b) Dalam rangka penanggulangan pencemaran akibat limbah bahan berbahaya dan beracun, dapat dilakukan dengan cara:

- Membatasi atau mengisolasi sumber dampak yang mengeluarkan/menghasilkan limbah (padat/sampah, cair, gas), baik di darat maupun di laut, serta melokalisir areal persebaran dampak;
- Mendaur ulang limbah menjadi produk yang bermanfaat (pupuk organik, Lumpur aktif atau substrat budidaya bahari)
- Menetralsasi limbah dengan cara biotik dan atau menambahkan zat kimia tertentu (cara fisika-kimia), sehingga air buangan yang dihasilkan tidak membahayakan kehidupan ikan (organisme air) dan manusia;
- Memanfaatkan perairan yang tercemar di pantai dengan dengan kultivan (biota) tertentu yang cocok atau yang mampu menetralsisir/mengurangi toksisitas bahan pencemar (misalnya dengan kerang hijau atau rumput laut), sehingga dapat memberikan nilai tambah bagi peruntukan perairan yang bersangkutan.

Dalam rangka penanganan dampak degradasi pantai, misalnya Abrasi dan/atau akresi, perlu diusahakan agar setiap pembangunan tidak mengganggu fungsi sempadan pantai. Perda RZWP3K harus dijadikan acuan dan dipatuhi bersama. Seandainya suatu kegiatan pembangunan terpaksa harus mengorbankan fungsi lindung sempadan pantai, maka prinsip “*Design and Construction friendly with nature*” harus dipegang teguh. Dalam melakukan kegiatan rancangan (*design*) dan konstruksi atau modifikasi bentang alam (morfologi pantai) atau perairan pesisir, seperti pembangunan dermaga (*jetty*), struktur pemecah gelombang (*breakwater*) dan

marina, harus disesuaikan dengan karakteristik ekosistem pesisir (dinamika biogeofisik dan hidro-oseanografi) setempat, antara lain: pola arus, gelombang, pergerakan sedimen (longshore transport), kerawanan habitat vital (*Sand-dune*, Mangrove, Terumbu Karang) dan struktur geologi.

Dalam rangka optimalisasi dampak positif, dapat dilakukan dengan cara meningkatkan nilai tambah dari dampak positif yang timbul. Sebagai contoh, adanya usaha budidaya ikan di pantai akan menambah kadar hara/nutrien biogenik sebagai penyubur perairan. Bila air di pantai tersebut dimanfaatkan untuk keperluan irigasi tambak, maka dampak penyuburan tersebut akan meningkatkan kesuburan lahan mangrove dan pertambakan serta memperbesar produksi ikan bandeng atau udang di tambak. Pola ini dapat diintroduksi pada pengembangan tambak wanamina (*silvofishery*) berbasis daya dukung pakan alami (*trophic level*).

## **5. Arahana Pembinaan dan Penguatan Sumberdaya Manusia**

Pembinaan dan penguatan karakter sumberdaya manusia merupakan suatu langkah yang sangat penting, karena SDM merupakan subyek/pelaku pembangunan perikanan dan kelautan. Pada aspek ini, pendidikan sebagai sarana pembangunan sumberdaya manusia, di samping secara substansial menitikberatkan kepada transaksi sains berbasis kompetensi, perlu didukung dengan pendidikan dan pembinaan karakter bangsa yang berintegritas sebagai Bangsa Bahari, yang mengutamakan kejujuran dan ketauladanan untuk mengabdikan kepada Bangsa dan Negara. Masalah ini menjadi sangat penting, karena kekuatan sumberdaya manusia (SDM) merupakan hulu dan modal dasar dari spirit (kecintaan dan kebanggaan) bagi tumpuan lahirnya visi kelautan.

Kesadaran, pemahaman dan penghayatan Bangsa Indonesia tentang laut sebagai bagian terbesar dari wilayah negaranya, merupakan substansi penting dan mendasar sebagai inti jiwa bahari yang menjadi landasan berpijak dan orientasi pengabdian setiap warga Negara, apapun status serta profesinya. Beberapa kegiatan seperti Pecinta Alam Laut, Kepramukaan Bahari, outbond

dan camping ground di pesisir/pulau kecil, voli dan futsal pantai, olah raga renang-selam dan dayung, merupakan beberapa bentuk nyata pembinaan mental karakter Bangsa Bahari yang perlu ditumbuhkembangkan. Dalam pendidikan formal, perlu pengkayaan materi kurikulum tentang kelautan dan kebencanaan pesisir pada berbagai jenjang pendidikan, dari tingkat dasar sampai perguruan tinggi. Kegiatan ko-kurikuler dan Kuliah/Praktek Kerja Nyata di pesisir dan laut merupakan contoh introduksi materi kelautan dan mitigasi bencana dalam kurikulum berkarakter yang dapat dikembangkan di masa mendatang. Penguatan dan pengembangan SDM kelautan, dapat dilakukan lewat jalur pendidikan formal (TK, SD sampai Perguruan Tinggi) maupun melalui DIKLATLUH (pendidikan, pelatihan dan penyuluhan) bagi masyarakat pelaku usaha perikanan dan kelautan.

Kegiatan di sektor kelautan di masa mendatang menuntut tersedianya tenaga profesional yang disiplin dan bermoral, bertanggungjawab, beretos kerja tinggi, jujur dan berbudaya malu serta tahan uji. Ketrampilan dan keahlian (profesionalisme) dapat diperoleh melalui jenjang pendidikan dan pelatihan (formal dan non formal), sedangkan karakter akan tumbuh dan berkembang melalui pembinaan.

Sumberdaya manusia yang profesional dan berkarakter seperti tersebut di atas terbina lewat pendidikan, baik di sekolah maupun lingkungan keluarga dan lingkungan masyarakat (lewat jalur agama dan kepercayaan), terutama bila didukung oleh suasana lingkungan yang kondusif berupa keteladanan panutan/pemimpin dan penegakan hukum/peraturan-perundangan.

Untuk menghasilkan sumberdaya manusia yang berkarakter ini dapat ditempuh kerjasama secara sinergis antar sektor yang terkait dengan pendidikan dan pembinaan masyarakat pesisir, misalnya Diskanlut, Dinas Pendidikan, Badan Kepegawaian Daerah, Kantor Urusan Agama, Sekolah Menengah Kejuruan Kelautan dan Perikanan, Perguruan Tinggi, Lembaga Swadaya Masyarakat, serta Instansi terkait lainnya. Di bidang kepegawaian, pembinaan karakter dapat dilakukan melalui sistem rekrutmen yang jujur dan transparan, yang disertai dengan program pembinaan karakter se-

cara kontinyu setelah bekerja. Bagi pelaku usaha perikanan skala kecil, kegiatan pelatihan dan penyuluhan secara berkesinambungan mutlak diperlukan.

### **Rangkuman Analisis**

Mengingat demikian luas, kompleks dan pentingnya wilayah pesisir dan laut dengan segala potensi kekayaan sumber daya serta kerawanan ekosistem di dalamnya maka penataan dan pemanfaatan sumber dayanya perlu dilakukan dengan arif dan seoptimal mungkin. Apapun kebijakan dan strategi pembangunan yang akan dilakukan perlu diarahkan pada tercapainya peningkatan kesejahteraan masyarakat dan pelestarian fungsi ekosistem, disamping semakin kokohnya kedaulatan dan kesatuan wilayah NKRI. Untuk mencapai tujuan itu maka sinergi dan harmoni antara tataruang matra darat dan matra laut perlu diwujudkan. Disamping itu juga diperlukan dukungan keterpaduan antar daerah dan antar sektor dalam implementasi pemanfaatan serta pengendalian pemanfaatan ruang. Uraian bahasan di atas diharapkan dapat memberikan solusi segala permasalahan tentang pembangunan kelautan, khususnya dalam perencanaan, penataan dan pemanfaatan wilayah pesisir secara rasional.



# 6

## STRATEGI PENGELOLAAN WILAYAH PESISIR BERBASIS POTENSI DAN KERAWANAN EKOSISTEM

Wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil (WP3K) merupakan daerah yang sangat strategis serta potensial untuk dimanfaatkan dan dikembangkan oleh berbagai sektor atau kegiatan. Tetapi perlu pula disadari, bahwa wilayah pesisir merupakan kawasan yang dinamis akibat adanya fenomena hidroklimat dan hidrodinamika perairan yang khas, kondisinya sering dan mudah berubah serta sangat peka terhadap gangguan. Akibatnya, wilayah pesisir dan laut merupakan kawasan yang peka serta rawan terhadap adanya gangguan atau tekanan faktor alam dan kegiatan manusia. Karena banyaknya sektor atau kegiatan yang berkepentingan, serta adanya berbagai keterbatasan kemampuan, maka pemanfaatan wilayah pesisir belum dapat dilakukan secara optimal. Suatu kawasan seringkali dinilai sudah dimanfaatkan sangat intensif, bahkan sudah melampaui daya dukung lingkungan yang ada. Namun, wilayah lain pemanfaatannya masih rendah. Kurangnya koordinasi, serta lemahnya keterpaduan dan tanggung jawab, merupakan kendala yang menghantui optimalisasi pemanfaatan

dan berdampak negatif terhadap ketahanan ekosistem di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil. Isu-isu mengenai degradasi lingkungan dan deplesi sumberdaya pesisir seringkali justru diekspose secara lebih menonjol daripada manfaat yang diperoleh, baik ditinjau dari segi biogeofisik maupun sosial-ekonomi-budaya. Belum lagi adanya dampak akibat faktor alam, seperti Tsunami, gempa bumi, erosi/abrasi, sedimentasi/akresi, dampak pemanasan global yang memicu peningkatan paras air laut (*sea level rise*), gelombang pasang, penurunan paras tanah (*land subsidence*), rob dan banjir, ikut memberi andil dalam penurunan ketahanan daya dukung dan daya lenting lingkungan serta berkurangnya nilai daya guna lahan pesisir. Meskipun terancam oleh degradasi lingkungan, wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil di Indonesia masih menyimpan potensi sumberdaya yang terbaru (*renewable resources*) khususnya potensi sumberdaya hayati laut yang belum dimanfaatkan secara optimal. Selain itu kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil (WP3K) juga memiliki berbagai fungsi ekonomi antara lain digunakan untuk aktifitas pemanfaatan sumberdaya perikanan; peternakan; pertanian; rekreasi dan pariwisata; kawasan bisnis & industri; pemukiman serta pelabuhan / transportasi.

Ketahanan WP3K dapat terusik oleh faktor antropogenik dan faktor alam, terutama fenomena pemanasan global. Dampak utama yang disebabkan oleh pemanasan global adalah fluktuasi curah hujan yang tinggi serta kenaikan suhu dan muka laut. Kenaikan permukaan laut yang membawa dampak luas bagi manusia; terutama bagi penduduk yang tinggal di dataran rendah, litoral dan supralitoral

Kenaikan muka air laut secara umum akan mengakibatkan dampak sebagai berikut : (a) meningkatnya frekuensi dan intensitas banjir serta rob, (b) perubahan arus laut dan meluasnya kerusakan mangrove dan sistem perisai pantai, (c) berubahnya garis pantai serta meluasnya erosi & intrusi air laut, (d) ancaman terhadap kegiatan sosial-ekonomi masyarakat pesisir, dan (e) berkurangnya luas daratan atau hilangnya pulau-pulau kecil. Kenaikan muka air laut selain mengakibatkan perubahan arus laut pada wilayah pesisir juga mengakibatkan rusaknya ekosistem mangrove. Apabila

keberadaan ekosistem mangrove tidak dapat dipertahankan lagi, maka : abrasi (erosi) pantai akan kerap terjadi karena melemahnya ketahanan perisai pantai serta tidak adanya penahan gelombang, pencemaran dari sungai ke laut akan meningkat karena tidak adanya filter polutan, dan zona budidaya *aquaculture* pun akan terancam dengan sendirinya. Hal tersebut dapat mengakibatkan berkurangnya luasan kawasan pesisir dan bahkan hilang atau tenggelamnya nya pulau-pulau kecil yang dapat mencapai angka 2000 hingga 4000 pulau, tergantung dari kenaikan muka air laut yang terjadi (Diposaptono, 2015).

Selain berdampak terhadap ekosistem mangrove, pemanasan global juga berdampak terhadap ekosistem terumbu karang. Pemanasan global menyebabkan terjadinya pemutihan karang (*coral bleaching*), seperti yang pernah terjadi pada tahun 1997/1998 dan 2014-2016, suhu permukaan air laut naik secara tiba-tiba, menyebabkan terjadinya pemutihan karang secara massal dan mematikan sekitar 16% terumbu karang di seluruh dunia. Masalah yang dikhawatirkan adalah, sebagian besar terumbu karang yang mengalami pemutihan telah berumur ratusan bahkan ribuan tahun. Bila hal tersebut tidak segera ditangani secara holistik dan terpadu oleh semua pemangku kepentingan, maka bahaya yang akan dihadapi bersama adalah melemahnya ketahanan ekosistem WP3K dalam menghadapi tekanan antropogenik serta perubahan alam global.

### **Potensi dan Kerawanan Ekosistem Sebagai Basis Pengelolaan Pesisir dan Laut**

Wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil merupakan ekosistem yang dinamis dan memiliki karakteristik yang khas (unik). Kemampuan homeostasis serta ketahanan dan kemantapan ekosistemnya sangat bergantung sejauh mana daya dukung lingkungannya masih mampu meredam tekanan atau gangguan yang mengenyainya. Hal ini menunjukkan betapa pentingnya pengelolaan wilayah tersebut untuk ditangani secara sinergis, terpadu dan bijaksana.

Terkait dengan ketahanan ekosistem alami, karakteristik biofisik WP3K, yang perlu mendapatkan perhatian dalam pengelolaannya, antara lain:

**Pertama**, secara fungsional terdapat keterkaitan hidrodinamik dalam satuan ekoregion pantai (coastal cell), baik antar ekosistem di dalam wilayah pesisir maupun antara kawasan pesisir tertentu dengan ekosistem terestrial *up land* (daerah aliran sungai/*watershed* lahan atas) dan laut lepas (*open sea*). Perubahan yang terjadi pada suatu ekosistem atau segmen pesisir tertentu, baik cepat atau lambat, akan mempengaruhi dan memicu terjadinya perubahan pada ekosistem atau segmen pesisir lainnya. Demikian pula halnya, bila pengelolaan pembangunan di lahan atas (*upland*) suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) tidak dilakukan dengan baik, efeknya akan menimbulkan perubahan mendasar pada aspek hidrodinamik sehingga menyebabkan dampak negatif yang dapat merusak tatanan dan fungsi ekologis kawasan pesisir berikut habitat vital dan biota di dalamnya.

Demikian juga, adanya gangguan pada segmen pesisir tertentu (misalnya karena **penambangan pasir laut** untuk reklamasi atau **pendirian bangunan (reklamasi) yang menjorok** ke laut, akan berakibat terjadinya perubahan mendasar pada perilaku hidro-oseanografi (perubahan batimetri, pola arus dan gelombang) sehingga akan menimbulkan **deformasi** dan kerusakan pantai di segmen lainnya pada skala yang luas.

**Kedua**, dalam suatu kawasan atau ekosistem pesisir tertentu, biasanya terdapat lebih dari satu tipe/macam sumberdaya, baik sumberdaya yang sifatnya menetap (*sedentary*) maupun yang bergerak (tidak menetap atau migratory), yang termasuk kategori mudah pulih (*renewable resources*) maupun yang sulit pulih (*unrenewable resources*), yang memerlukan penanganan khusus serta keterpaduan dalam pengelolaannya. Akibat adanya kegiatan pembangunan yang tidak ramah lingkungan, misalnya penambangan pasir laut dan pendirian bangunan yang menjorok ke laut, akan menyebabkan perubahan pola arus dan transpor sedimen sehingga dapat mengganggu atau merusak habitat vital sumberdaya tersebut dan akan menimbulkan dampak negatif

penting bagi kehidupan biota laut.

**Ketiga**, secara biogeofisik, daratan dan perairan pantai merupakan ekosistem yang sangat dinamis karena adanya fenomena hidrodinamik pesisir & laut yang khas. Oleh sebab itu, jika akan memperdalam alur atau menambang pasir dan mendirikan bangunan di pantai (khususnya bangunan yang menjorok ke laut) harus hati-hati supaya tidak menimbulkan perubahan drastis pada garis pantai (akibat abrasi atau akresi). Garis pantai merupakan suatu komponen yang khas dan sangat dinamik, karena sangat dipengaruhi oleh berbagai fenomena hidro-oseanografi seperti: arus (*longshore current/ vertical drift*) dan transpor sedimen (*longshore transport*), gelombang dan pasang-surut. Secara alami, arus, gelombang dan pasang-surut merupakan tenaga yang selalu mencari keseimbangan alami, misalnya dengan energi yang dibawanya akan menyebabkan erosi (abrasi) sehingga menggerus/mengurangi segmen daratan pesisir tertentu dan membentuk garis pantai baru, tetapi di lain tempat justru terjadi kondisi sebaliknya yaitu timbulnya atau bertambahnya daratan pesisir sebagai akibat sedimentasi (akresi) sebagai hasil transpor sedimen dari tempat lain. Dengan demikian kondisi fisik pantai merupakan manifestasi keseimbangan alami yang prosesnya berjalan setiap saat dalam akumulasi masa yang panjang. Dari kenyataan tersebut dapat memberikan sinyal serta rambu-rambu bagi para pelaku usaha di pesisir, bahwa sel sedimen dalam satuan wilayah pantai (*coastal & watershed cell sediment*) merupakan faktor pengendali aktivitas manusia (pembangunan) di pesisir. Terusiknya sel sedimen akan mengubah sel sedimen lain dan akan merubah garis pantai. Hal ini dikarenakan tenaga yang bekerja pada sel sedimen cenderung membentuk keseimbangan baru melalui fenomena abrasi atau akresi.

**Keempat**, baik secara ekologis maupun sosio-ekonomis, pemanfaatan suatu kawasan pesisir secara monokultur (single use) sangat rentan terhadap perubahan internal dan eksternal yang menjurus pada kegagalan usaha atau degradasi sumberdaya alam dan lingkungan. Apalagi jika pemanfaatannya tidak memperhatikan daya dukung lingkungan dan daya lenting sumberdaya yang dieksploitasi. Dengan demikian, pengelolaan pesisir yang rasional

harus memperhatikan kelayakan, kerawanan dan keanekaragaman usaha/kegiatan yang terintegrasi, sinergis dan serasi, serta didasarkan daya dukung potensi sumberdaya lokal.

**Kelima**, kawasan pesisir pada umumnya dianggap sebagai sumberdaya milik bersama (*common property resources*) yang terbuka pemanfaatannya untuk semua orang (*open access*). Padahal setiap pelaku usaha atau pengguna sumberdaya pesisir biasanya berprinsip memaksimalkan keuntungan jangka pendek. Oleh sebab itu, wajar jika terjadi degradasi lingkungan dan deplesi sumberdaya serta konflik pemanfaatan ruang di kawasan pesisir tertentu. Oleh sebab itu diperlukan prinsip kehati-hatian, keterpaduan, keterbukaan dan keefisienan (hemat) dalam pemanfaatan sumberdaya pesisir.

**Keenam**, dewasa ini ketahanan WP3K menghadapi tekanan luar biasa dari adanya perubahan iklim global (*climate change*) yang menimbulkan dampak terjadinya kenaikan suhu dan paras muka air laut (*sea level rise*). Perubahan iklim (*climate change*) berdasarkan beberapa studi menunjukkan sebagai sesuatu yang nampak dan jelas terlihat, khususnya perubahan suhu yang sangat mempengaruhi beberapa sistem fisik dan biologi di WP3K seluruh dunia. Perubahan iklim merujuk pada beberapa perubahan di dalam iklim dari waktu ke waktu, baik yang disebabkan oleh variabel alam maupun sebagai hasil dari kegiatan manusia. Kegiatan manusia (terutama industri & transportasi) baik langsung maupun tidak langsung dianggap sebagai penyebab utama meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer, yang berakibat terjadi efek rumah kaca sehingga suhu udara di permukaan bumi, yang dikenal dengan pemanasan global (*global warming*) dan terjadinya perubahan iklim.

Dengan meningkatnya suhu di permukaan bumi, dapat menjadi ancaman secara global yang tidak mengenal negara maju ataupun negara terbelakang. Negara-negara kepulauan sangat rentan terhadap meningkatnya suhu, karena pulau-pulau tersebut bisa tergenang (*inundation*) akibat level permukaan laut yang semakin tinggi, begitu juga dengan penduduk kota-kota pesisir di seluruh dunia.

Indonesia sebagai negara kepulauan menghadapi ancaman yang sangat serius akibat pemanasan global yang mengakibatkan kenaikan muka air laut. Indonesia menghadapi risiko kehilangan banyak pulau-pulau kecilnya dan penyusutan kawasan pesisir akibat kenaikan permukaan air laut. Wilayah daratan perkotaan dan perdesaan WP3K akan berkurang akibat naiknya permukaan laut. Dampak kenaikan muka air laut akan memicu meluasnya rob, banjir, abrasi serta akan mengurangi lahan WP3K yang pada akhirnya akan menurunkan potensi pendapatan rata-rata masyarakat pesisir (khususnya petani tambak dan nelayan). Kerusakan pesisir dan bencana yang terkait dengan hal itu akan mengurangi pendapatan negara dan masyarakat dari sektor pariwisata. Sementara itu, negara harus menaikkan anggaran untuk menanggulangi bencana yang meningkat, mengelola dampak kesehatan, dan menyediakan sarana bagi pengungsi yang meningkat akibat bencana. Industri dan transportasi di kawasan pesisir juga akan menghadapi dampak ekonomi akibat tergenang atau rusaknya jalan oleh rob.. Kesemuanya ini akan meningkatkan beban anggaran pembangunan nasional dan daerah.

Pemanasan global merupakan persoalan global yang sangat kompleks. Permasalahan ini melibatkan seluruh masyarakat WP3K sedunia dan tidak mudah menghadapi masalah ini, namun akan lebih buruk jika kita mengabaikannya. Merespon dugaan mengerikan mengenai perubahan iklim, ada beberapa upaya yang dapat dilakukan, sebagai bangsa, komunitas dan perorangan, untuk memperlambat dan mencegah laju pemanasan global dan membantu dunia mengatasi perubahan iklim yang terjadi.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah mengurangi emisi gas rumah kaca dengan menggunakan bahan bakar fosil lebih efisien, atau menggantinya dengan bentuk-bentuk energi terbarukan. Mengembangkan teknologi industri dan transportasi baru. Menjaga kelestarian dan selanjutnya memperluas hutan yang mampu membantu menyerap karbondioksida dari udara, tidak hanya hutan daratan supralitoral, tetapi juga hutan pantai litoral dan hutan mangrove beserta ekosistem pesisir seperti terumbu karang dan lamun. Diperlukan pula upaya mengubah

gaya hidup masyarakat dan kebijakan pemerintah serta aturan-aturan untuk mempromosikan penggunaan energi lebih efisien guna mengurangi pemanasan global. Perlu pula dikembangkan mekanisme yang rasional untuk mengurangi segala dampak negatif akibat pemanasan global.

### **Kerawanan Ekosistem Pesisir Akibat Rob**

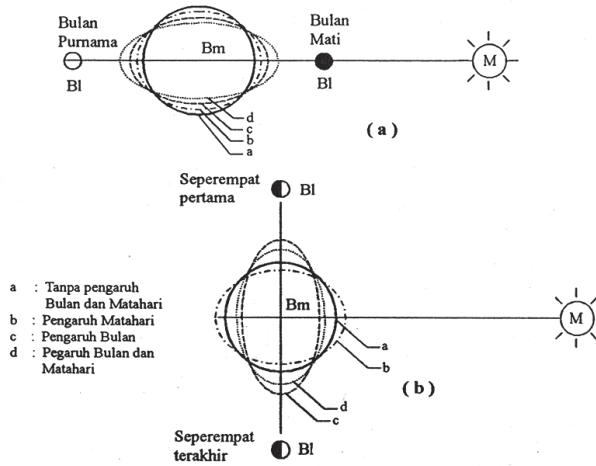
Rob merupakan fenomena alam berupa banjir di dataran rendah pesisir yang massa airnya berasal dari laut pada saat Pasang. Di pantai selatan, banjir rob dikenal sebagai “bembeng” atau banjir genangan akibat meluapnya air laut ke daratan pantai (litoral dan supralitoral). Ciri-ciri banjir Rob antara lain: (a) terjadi pada saat air laut Pasang, terutama pada saat Pasang Purnama (*Spring Tide*) atau saat Perigee (posisi bulan, bumi dan matahari membentuk garis lurus), (b) warna air tidak keruh, (c) rasanya asin atau payau (salinitas di atas 2 permil), (d) terjadi baik di musim hujan maupun kemarau, (e) rutin terjadi di daerah dataran rendah yang masih terjangkau pengaruh Pasang air laut.

Air rob dampaknya lebih merusak dibanding banjir biasa. Sebagai kasus yang terjadi di kawasan perumahan di Semarang Utara dan Genuk, seperti diakui sendiri oleh sebagian besar warga yang bermukim di sana, sekitar lima belas tahun terakhir ini menjadi wilayah langganan banjir rob. Rob telah menjadikan keadaan berubah. Berkeliling di kawasan perumahan di sana tidak sulit menemukan rumah yang rusak, ambles dan porak-poranda. Dindingnya kumuh tidak terawat, pecah-pecah, bahkan nyaris runtuh. Sebagian rumah bahkan dibiarkan terbengkalai. Problema rob dan penurunan permukaan tanah di Semarang bukanlah masalah warga setempat saja. Subdirektorat Hidrogeologi Geologi Tata Lingkungan Bandung tahun 1994 dan Tim Peneliti FPIK Undip tahun 2009-2014 telah melakukan penelitian soal itu. Terungkap, penurunan permukaan tanah di Semarang Utara dan Genuk dalam beberapa tahun ini mencapai sekitar 20-40 cm dengan ketinggian air rob 50 sampai 100 Cm pada saat Pasang Tinggi. Kenaikan air Rob dan penurunan permukaan tanah, antara lain terlihat di daerah

Sriwulan-Bedono Kabupaten Demak dan telah menyebabkan air rob masuk sampai sejauh 1.5 sampai 5 km ke arah darat dengan ketinggian 40 sampai 125 Cm.. Hal ini diperburuk adanya limpahan air hujan dan banjir dari sungai. Permasalahan yang ada di Semarang ini sebenarnya merupakan bagian dari permasalahan di Satuan Ekosistem Pesisir Teluk Semarang pada khususnya dan permasalahan daerah dataran rendah pesisir di dunia pada umumnya.

### **Mengapa Rob Terjadi?**

Secara alami dalam kondisi normal, banjir pasang sebenarnya merupakan fenomena naiknya permukaan air laut akibat pengaruh gaya tarik (gravitasi) benda di angkasa luar (terutama bulan dan matahari) terhadap massa air di bumi. Dalam hal ini pengaruh bulan lebih dominan karena lebih dekat dengan bumi. Tinggi rendahnya kenaikan air pasang ditentukan oleh dua faktor. Pertama, posisi relatif bulan dan matahari terhadap bumi. Kedua, jarak bulan pada orbitnya terhadap titik pusat (inti) bumi. Besar kecilnya efek kedua faktor itu sangat menentukan gradien (perbedaan) permukaan air saat pasang dengan permukaan air saat surut. Bila rentang selisih tersebut lebih kecil dari nilai rata-rata maka pasang itu disebut pasang konda (*neap tide*). Sebaliknya, bila rentang selisih air pasang dengan air surut lebih besar dari nilai rata-rata maka pasang itu disebut pasang purnama (*spring tide*). Dalam kondisi normal, pasang tertinggi (*spring tide*) terjadi setiap setengah bulan sekali, yaitu ketika bulan dan matahari membentuk (atau mendekati) garis lurus terhadap bumi (Gambar 56). Tetapi fenomena alam itu tidak akan menimbulkan masalah krusial atau bencana bila tidak disertai faktor-faktor lain yang menyebabkan ketinggian “*spring tide*” menyimpang atau melampaui kondisi normal dari nilai rata-ratanya.



**Gambar 56.** Kedudukan Bumi-Bulan-Matahari Saat Pasang Purnama (a) dan Pada Saat Pasang Perbani (b). (Sumber : Triatmodjo, 2009)

Bagaimana bisa terjadi abnormalitas “spring tide” yang memicu terjadinya bencana Rob? berikut ini penjelasannya.

**Pertama**, terjadinya fenomena *Perigean Spring Tide* (PST) yang berkepanjangan. Secara umum diketahui bahwa kekuatan gaya gravitasi suatu benda (planet) di sistem tatasurya Bimasakti ditentukan oleh jarak antar planet. Demikian juga gaya gravitasi bulan, besarnya bergantung pada jarak dari bulan (garis orbit) ke pusat (inti) bumi.

Diketahui bahwa orbit bulan berbentuk elip. Oleh sebab itu jarak bulan terhadap bumi tidak selalu sama. Jarak terjauh bulan dari pusat bumi saat berevolusi mengelilingi bumi disebut “apogee”, sedangkan jarak terdekat dikenal dengan istilah “perigee”. Jarak perigee terdekat adalah 356.375 km, sedangkan jarak apogee terjauh 406.720 km. Jadi, terdapat selisih jarak apogee dengan perigee sekitar 45.000 km. Selisih jarak itu memberikan pengaruh signifikan terhadap efek gravitasi bulan di permukaan bumi.

Pada saat posisi bulan berada di fase perigee, efek gaya gravitasi bulan di bumi menjadi sangat besar (maksimum). Bila kondisi itu bersamaan dengan posisi bulan dan matahari berada

pada satu garis lurus dengan bumi, maka terjadilah air pasang yang sangat tinggi (dapat mencapai ketinggian 1.5 m) dan dikenal dengan sebutan “Perigeon Spring Tide (PST)”. Air pasang jenis PST inilah yang sering menimbulkan masalah, bahkan bila angin kuat dapat terjadi bencana gelombang pasang di pantai. Apalagi bila kejadiannya bersamaan dengan datangnya hujan deras serta banjir (air bah) dari hulu sungai.

**Kedua**, faktor alam yang menguatkan efek PST terhadap ketinggian dan perluasan Rob yaitu pemanasan global (*global warming*) dan amblesan tanah (*land subsidence*). Pemanasan global yang dipicu oleh meningkatnya gas buang di atmosfer dan efek rumah kaca telah menyebabkan mencairnya sebagian gunung es di kutub sehingga berdampak pada meningkatnya volume dan ketinggian permukaan laut (*Sea Level Rise: SLR*). Akibat semakin tingginya SLR menyebabkan kekuatan dan ketinggian gelombang pasang (PST) makin besar sehingga mengancam serta merapuhkan struktur pantai dan berakibat terjadinya erosi (abrasi) serta banjir Rob di dataran rendah pesisir, Amblesan tanah (*land subsidence*) terjadi karena berbagai faktor, antara lain: (a) konsolidasi dan dekomposisi tanah alluvial pantai, (b) pemanfaatan (pengambilan) air tanah berlebihan, (c) tekanan dari bangunan dan kendaraan berat di pantai, serta (c) pengikisan tanah dasar di daratan pantai akibat erosi (abrasi).

**Ketiga**, faktor antropogenik (kegiatan manusia) yang memperparah terjadinya Rob, yaitu: (a) konversi rawa-rawa dan tambak/kolam tempungan air di pantai (tampungan air hujan dan rob serta luapan banjir) menjadi peruntukan lain (real estate, dan kawasan industri), (b) sumbatan sampah dan cemaran (terutama logam berat) di sungai dan saluran air, (c) pembangunan dan pengoperasian bangunan pantai yang menjorok ke laut (termasuk reklamasi) dan menyebabkan gangguan pada pola arus & transpor sedimen di *Coastal Cell* Teluk Semarang, (d) penipisan *green belt* (mangrove) di pantai, serta (e) pendangkalan dan penyempitan alur/muara sungai.

Pasang akan mencapai ketinggian maksimum (*spring tide / pasang purnama*) ketika bulan dan matahari berada pada bidang

yang sama dengan bumi. *Spring tides* muncul setiap empat belas hari sekali pada bulan baru (*new moon*) dan bulan penuh (*full moon*), sedangkan pasang akan mencapai ketinggian minimum (*neap tides* / pasang perbani) ketika bulan dan matahari tidak satu garis dengan bumi (membentuk sudut). *Neap tides* muncul setiap empat belas hari sekali pada bulan seperempat atau bulan tiga perempat dimana bulan dan matahari pada saat itu membentuk sudut siku-siku terhadap bumi (Gambar 15)

### **Analisis Solusi Penanganan Rob**

Didasarkan kedudukan dan posisi kota-kota di pesisir Jawa Tengah, khususnya Kota Semarang yang berada dalam satuan sistem sel pesisir (*Coastal Cell*) Teluk Semarang maka mau tidak mau penanganan rob harus dilakukan lewat kerjasama terpadu dari para pemangku kepentingan di Kota Semarang bersama dengan Kabupaten Kendal dan Demak. Keterpaduan ini di samping harus melibatkan antar pemegang otoritas (pemerintah kota dan Kabupaten) juga masyarakatnya. Di samping itu, diperlukan kerjasama secara global karena secara faktual telah diketahui bahwa faktor penyebab Rob, salah satunya dipicu oleh adanya pemanasan global yang mengakibatkan kenaikan paras muka air laut (*sea level rise*). Secara ekosistem, penanganan Rob juga harus terpadu antara hulu (*Watershed Cell*: sistem sungai & saluran air) dan hilir (*coastal cell*) di pesisir Teluk Semarang.

Memperhatikan sumber pemicu dan faktor penyebab Banjir Rob, berikut ini ditawarkan beberapa konsep/alternatif untuk penanganan Rob secara terpadu, antara lain:

**Pertama**, secara global perlu ada langkah-langkah konkrit untuk menekan efek pemanasan global melalui upaya mengurangi emisi gas (cemaran udara) dari aktivitas industri, transportasi (terutama malam hari) serta rumah tangga;

**Kedua**, secara lokal dan regional, perlu melibatkan partisipasi pemerintah daerah dan pemangku kepentingan di pesisir Teluk Semarang (Semarang, Demak, Kendal) serta peranserta Pemerintah Provinsi Jawa Tengah dalam penanganan Rob. Beberapa alternatif

upaya yang sebagian telah dilakukan oleh Pemerintah Kota Semarang dan dapat dilakukan pengembangannya sebagai solusi menangani rob di pesisir Teluk Semarang, yaitu:

- (1) Konsep keterpaduan hulu-hilir (*Integrated Watershed & Coastal cell management*), yaitu manajemen terpadu untuk melakukan pemanenan air hujan dari hulu (memperluas daerah resapan air, memperbanyak biopori, pembangunan & pengoperasian waduk), normalisasi sungai/saluran air, pembuatan dan pengoperasian pompa di daerah bawah, penguatan tanggul sungai dan dinding laut terpadu dengan perangkat sedimen (groin), membangun dan mengoperasikan polder di bagian hilir serta pembangunan pintu air (*Tidal Gate*) dan/atau bendung kembang-kempis (dari karet) di muara sungai. Konsep ini dapat diselaraskan dengan konsep Sabuk Pantai Multifungsi dari IKATEKSI Undip.
- (2) Konsep “*Water front city atau Sea front city*” yang mengakomodasi atau mengadaptasi Rob, yaitu menjadikan air (sungai dan laut) sebagai beranda kehidupan sehari-hari. Konsep ini dapat diterapkan pada daerah pesisir yang memiliki tingkat amblesan tanah (*land subsidence*) tinggi (seperti Genuk dan Semarang Utara), antara lain dengan mengembangkan Rumah Panggung dan/atau Rumah Apung;
- (3) Konsep “*Integrated Coastal Co-management*”, yaitu mengembangkan disiplin dan budaya hidup bersih dan sehat di lingkungan pesisir dengan melibatkan tanggung-jawab bersama antara Pemerintah dan Masyarakat, misalnya dengan upaya konkrit “membersihkan” sungai dan laut (program bersih sungai dan pantai) dari cemaran sampah/kotoran setiap seminggu sekali. Mestinya kegiatan “Car Free Day” atau “Jalan Sehat” dapat disinergikan dengan kegiatan “Bersih Pantai/Sungai”.
- (4) Upaya “Penyelarasan alokasi ruang” RTRW (Rencana Tata Ruang Wilayah: Kota Semarang, Kabupaten Demak, Kabupaten Kendal, Provinsi Jawa Tengah) dengan RZWP-3-K (Rencana Zonasi Wilayah Pesisir & Pulau Kecil) Provinsi Jawa Tengah, terutama yang terkait dengan sinkronisasi

dan harmoni penataan/pemanfaatan ruang di wilayah pesisir Teluk Semarang dalam mengantisipasi bencana dan penanggulangan Rob.

Bencana banjir pasang (Rob) terjadi karena efek sinergis antara faktor alam dan kegiatan manusia. Faktor alam yang memicu terjadinya rob yaitu: abnormalitas pasang tinggi (*Perigean Spring Tide*), kenaikan paras air laut (*Sea Level Rise*) akibat pemanasan global serta amblesan tanah (*Land Subsidence*) di pantai. Faktor kegiatan manusia (antropogenik) yang ikut memicu terjadinya Rob, antara lain: makin menyempitnya daerah tampungan air di pantai akibat konversi lahan rawa tambak dan reklamasi pantai, pembangunan dan pengoperasian bangunan menjorok ke laut, pengambilan air tanah berlebihan, pencemaran yang meningkatkan daya hantar listrik serta sumbatan sampah di saluran air dan muara sungai, makin mengecilnya daerah resapan air di hulu, serta pendirian bangunan berat di pantai. Solusi penanganan Rob perlu dilakukan secara sinergis dan terintegrasi dalam harmoni, melibatkan pemangku kepentingan global, regional dan lokal. Penanganan Rob harus terpadu: antar pemangku kepentingan, antar daerah dalam satuan ekosistem *Coastal Cell* Teluk Semarang, antara hulu dan hilir (sistem sel pantai dengan sistem sel sungai/ saluran drainase). Beberapa pendekatan penanganan rob seperti: *Integrated Coastal Cell-Watershed Cell management* (Keterpaduan pengelolaan Hulu-Hilir), *Water & Sea Front City*, *Integrated Coastal Co-management*, serta penyelarasan (sinkronisasi dan harmoni) RTRW dan RZWP-3-K dapat dijadikan alternatif solusi menangani rob di Kota Semarang dan daerah sekitarnya.

### **Strategi Pengamanan Sistem Pendukung Ketahanan Ekosistem Pantai**

Dalam rangka menanggulangi degradasi lingkungan dan depleksi sumberdaya WP3K akibat abrasi (erosi), banjir dan rob, dapat ditempuh beberapa strategi mitigasi untuk memperkuat ketahanan ekosistem pesisir & pulau kecil. **Pertama**, pola

**protektip** yaitu dengan konstruksi bangunan pantai yang mampu mencegah banjir rob dan erosi supaya tidak meluas ke arah darat (pesisir & pulau kecil). Sistem atau pola ini bertujuan memproteksi (melindungi) permukiman, kawasan industri dan perdagangan, jalan raya, daerah wisata, pelabuhan, bandara dan terminal angkutan dari genangan air laut. Sistem protektip lain yang dapat dikembangkan adalah dengan restorasi melalui peremajaan pantai dan rehabilitasi mangrove (struktur lunak). **Kedua, pola adaptip**, yaitu menyesuaikan dengan perilaku faktor penyebab bencana (banjir rob, erosi/abrasi). Misalnya, rumah-rumah penduduk dan perkantoran di tepi pantai (litoral & supralitoral) dibuat model panggung bertiang, supaya aman dari tekanan banjir rob. Sistem adaptasi bangunan lainnya adalah dengan membuat fondasi apung sehingga bangunan dapat menyesuaikan naik atau turun mengikuti pergerakan air rob. Untuk sawah yang selalu tergenang banjir rob atau terintrusi air asin dapat disesuaikan menjadi kolam air payau (tambak). Untuk tambak yang hilang karena erosi/abrasi pantai dapat dimanfaatkan untuk budidaya dengan sistem karamba atau jaring apung. **Ketiga, pola mundur (retreat)**, yaitu menghindari genangan rob atau abrasi pantai dengan cara merelokasi permukiman, kawasan industri serta kawasan peruntukan lainnya, dipindahkan ke tempat lain yang lebih layak. Ketiga sistem atau pola tersebut harus disinergikan dengan **pola keempat**, yaitu **upaya non-fisik**, yaitu pembuatan peta resiko bencana (banjir rob, abrasi, tanah longsor), rasionalisasi RZWP3K (Rencana Zonasi Wilayah Pesisir & Pulau-pulau Kecil Provinsi), kampanye informasi-edukasi (KIE), penyuluhan dan penyadaran masyarakat.

Dalam rangka memberdayakan potensi sumberdaya alam WP3K agar dapat lebih berperan dan memiliki kontribusi bagi pembangunan nasional yang berkelanjutan, maka perlu dilakukan sejumlah tindakan nyata yang meliputi aspek teknis dan aspek kebijakan. Secara makro pengelolaan dan pemanfaatan sumberdaya pesisir perlu memperhatikan aspek **efisiensi teknis**, dampaknya terhadap lingkungan, serta **optimalisasi** dan **keberlanjutan usaha**. **Efisien** dalam arti mempunyai indikasi ke arah cara eksploitasi yang lebih menguntungkan dari segi investasi (cost),

**optimal** berarti mempunyai relevansi ke arah tingkat pemanfaatan yang berwawasan daya dukung dan daya lenting lingkungan, sehingga tidak mubazir atau justru menimbulkan dampak negatif penting terhadap lingkungan; sedangkan **berkelanjutan** berarti strategi yang dipakai harus berdimensi jangka panjang dengan memperhitungkan kebutuhan generasi sekarang dan mendatang. Penjabaran dari strategi untuk menjaga ketahanan ekosistem WP3K tersebut, antara lain dapat dilakukan melalui beberapa langkah berikut ini:

- (1) Meningkatkan pemanfaatan sumberdaya hayati dan nirhayati perairan WP3K dengan tetap memperhitungkan karakter sumberdaya serta kapasitas daya dukung dan daya lenting lingkungan;
- (2) Meningkatkan pemanfaatan sumberdaya perairan WP3K non-konvensional, antara lain:
  - (a) pemanfaatan *natural products*, yaitu upaya mendayagunakan keanekaragaman hayati untuk menghasilkan produk atau proses yang bermanfaat bagi kehidupan manusia dan lingkungannya melalui pengembangan industri bioteknologi, yang memanfaatkan mikro-organisme sebagai biokatalis;
  - (b) penciptaan dan pengembangan teknologi budidaya tambak dan marikultur yang ramah lingkungan.
- (3) Pengendalian pencemaran di lingkungan WP3K, dengan memberlakukan baku mutu kualitas limbah (cair, padat dan gas) secara ketat, serta memperhitungkan kegiatan di hulu (daerah upland) serta kegiatan di lingkungan perairan (laut) sebagai satu kesatuan pengelolaan ekosistem yang saling berinteraksi dan saling mempengaruhi.
- (4) Rehabilitasi habitat kritis dan konservasi habitat vital di WP3K, terutama yang berperan dalam menopang proses kelangsungan daur hidup biota laut (misalnya dengan membuat/mengembangkan Terumbu Karang Buatan dan Kawasan Reservat);
- (5) Penataan **zonasi/tata ruang pesisir dan pulau-pulau kecil** serta pemetaan potensi habitat-habitat vital dan komoditas unggulan asal laut. Dalam penataan tataruang hendaknya

lebih memihak pada kepentingan lingkungan dan pelestarian sumberdaya pesisir. Untuk itu kawasan industri dengan tingkat cemaran berat seyogyanya tidak ditempatkan di wilayah pesisir yang memiliki ekosistem rawan (mangrove, terumbu karang, padang lamun, *spawning & nursery ground*).

- (6) Perlindungan alur ruaya ikan Katadrom, Anadrom dan Diadrom dengan menghindari pembuatan bangunan (Dam atau Bendungan tanpa Fish Way) di pesisir yang dapat menghalangi alur ruaya serta memutus mata rantai daur hidup biota.
- (7) Sosialisasi dan kampanye informasi edukasi (KIE) untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang perlunya mengkonsumsi ikan/biota laut yang ramah lingkungan, antara lain:
  - Mengingatnkan para konsumen (baik di pasar maupun di rumah makan) agar membatasi diri atau tidak mengkonsumsi biota laut yang matang telur
  - Menghindari perburuan, jual beli dan pemajangan awetan biota laut (terutama yang termasuk kategori langka dan dilindungi undang-undang)
  - Menghindari komersialisasi transplantasi atau penambangan terumbu karang serta produk olahannya yang berdampak negatif terhadap lingkungan.
- (8) Meningkatkan kuantitas dan kualitas penelitian serta program aksi di bidang kelautan, antara lain difokuskan pada upaya:
  - (a) menggalakkan kegiatan penelitian (study it) terhadap sumberdaya laut (baik hayati maupun nirhayati), terutama terhadap sumberdaya laut yang saat ini belum diketahui manfaatnya baik secara ekonomis maupun secara ekologis;
  - (b) meningkatkan program restocking, baik melalui restorasi/reklamasi habitat, pembuatan habitat baru (rumpon dan terumbu karang buatan), maupun upaya mengembalikan rekrut (anakan/larva ikan atau biota laut lainnya sebagai hasil pembenihan) ke lingkungan alami yang dilindungi.
  - (c) melakukan kaji tindak IPTEK yang sesuai bagi pemanfaatan dan perlindungan sumberdaya pesisir dan lautan, baik

secara mono maupun multi/interdisiplin keilmuan.

Dalam hal budidaya tambak dan budidaya laut, sedapat mungkin pembudidayaan ikan harus mampu menjamin kesinambungan fungsi ekologis secara mantap guna mendukung keberlanjutan usaha budidaya yang ekonomis dan produktif di kawasan pesisir dan laut. Kesinambungan fungsi ekologis akan menjamin eksistensi sumberdaya serta lingkungan hidup di WP3K. Berbagai kegiatan atau sistem pendukung budidaya yang dapat dilakukan untuk memenuhi tuntutan itu antara lain:

Pertama, menggalakkan produksi bersih dalam sistem budidaya kultivan di pesisir untuk memelihara serta mempertahankan integritas tatanan ekosistem agar perannya dalam menopang kehidupan biota tetap terjamin. Untuk memelihara dan menghindari gangguan terhadap tatanan ekosistem perairan pesisir dapat dilakukan dengan cara: (a) menghindari konversi alam dan modifikasi ekosistem perairan untuk usaha budidaya perikanan tertentu yang memiliki sifat destruktif atau berpotensi mencemari lingkungan, (b) mengendalikan/merehabilitasi lahan kritis dan habitat vital dengan memberlakukan baku mutu ekologis yang ketat dalam pengelolaannya, (c) melindungi atau mempertahankan keberadaan habitat vital, seperti kawasan mangrove dan terumbu karang sebagai daerah pemijahan (*spawning ground*) dan daerah asuhan (*nursery ground*) dari tekanan limbah budidaya ikan, (d) mempertahankan dan melindungi jalur hijau atau kawasan penyangga budidaya perikanan sebagai kawasan lindung sabuk pantai (minimal dengan ketebalan 100 meter atau 130 x tunggang pasang tertinggi diukur dari garis pantai), (e) menghindari atau mengurangi penggunaan bahan kimia yang tidak ramah lingkungan, seperti obat-obatan pemberantas hama/penyakit dan pakan yang mengandung antibiotik, (f) menekan sekecil mungkin agar limbah yang dihasilkan dari suatu kegiatan budidaya perikanan tidak melampaui daya tampung dan daya asimilatif ekosistem, (g) membatasi penangkapan induk udang dan bandeng serta biota/ikan laut lainnya dari alam, (h) menganjurkan pada pelaku usaha perikanan di Hatchery udang atau ikan, untuk mengembalikan

sebagian dari larva atau benih ikan yang dihasilkannya ke perairan yang dilindungi (daerah reservaat; misalnya di daerah berterumbu karang, berhutan bakau atau berpadang lamun) untuk keperluan restocking. (i) mengatur dan membatasi daerah, musim dan intensitas penangkapan induk atau larva ikan sesuai potensi dan daya dukung lingkungan setempat.

Kedua, memelihara serta mempertahankan tatanan relung (niche) pada ekosistem perairan pesisir di mana proses ekofisiologis menggantungkan keberlanjutannya. Upaya yang dapat dilakukan adalah: (a) menjaga tetap tersedia dan berlangsungnya kesinambungan rantai makanan di dalam ekosistem pesisir, (b) menghindari masuknya bahan pencemar atau unsur lain yang dapat merubah atau merusak rantai atau jaringan makanan di sistem budidaya tambak/laut, (c) menghindari pemakaian bahan kimia yang dapat merusak habitat dan atau sumberdaya ikan (misalnya, pestisida, pupuk yang over dosis, pakan yang mengandung antibiotik), (d) menjaga agar jasad pengurai atau reduksen (dekomposer) tetap eksis dan berperan dalam merombak bahan pencemar, serta (d) mempertahankan agar padat penebaran kultivan tidak melebihi kapasitas daya dukung lingkungan budidaya.

Ketiga, memberdayakan masyarakat akuakultur, khususnya pelaku usaha budidaya perairan, untuk tetap memegang teguh **moral dan etika** guna mengembangkan budidaya perikanan lestari yang berwawasan budipekerti. Berkaitan dengan masalah ini maka pengembangan budidaya dengan cara cara yang tidak rasional (misalnya: budidaya kelewat intensip tanpa memberi waktu istirahat bagi lahan, penyiksaan kultivan untuk memaksa bereproduksi, serta manipulasi panen dengan rekayasa hiper-hiposmotik) sebaiknya dihindarkan.

### **Kebijakan Penguatan Ekosistem dan Pengamanan Pesisir**

Berdasarkan karakteristik dan dinamika dari kawasan pesisir dan laut, potensi dan permasalahannya, maka kebijakan pemerintah Provinsi Jawa Tengah untuk meningkatkan ketahanan kawasan pesisir dan laut secara optimal dan berkelanjutan hanya

dapat dilakukan melalui Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil secara Terpadu (PWP3KT). Sistem pendukung dan strategi penggelolaannya meliputi :

**Pertama, mewujudkan prinsip pengelolaan sumberdaya yang berkelanjutan.**

Bahwa suatu kawasan pembangunan yang berkelanjutan memiliki empat dimensi, yaitu : ekologis, sosial-ekonomi-budaya, sosial-politik, dan hukum serta kelembagaan. Dimensi ekologis menggambarkan daya dukung suatu wilayah pesisir dan lautan (*supply capacity*) dalam menopang setiap pembangunan dan kehidupan manusia, sedangkan untuk dimensi ekonomis-sosial dari pembangunan berkelanjutan mempresentasikan permintaan terhadap SDA (sumberdaya alam) dan jasa-jasa lingkungan dimana manfaat dari pembangunan wilayah pesisir seharusnya untuk meningkatkan kesejahteraan penduduk lokal sekitar program terutama yang termasuk golongan ekonomi lemah.

**Kedua, mewujudkan tata kelola pemanfaatan ruang pesisir & pulau-pulau kecil yang terintegrasi.**

Untuk mengatasi konflik perencanaan pengelolaan pesisir, maka perlu diubah dari perencanaan sektoral ke perencanaan terpadu yang melibatkan pemerintah daerah, swasta dan masyarakat terkait di pesisir. Semua instansi sektoral, Pemda dan *stakeholder* terkait harus menjustifikasi rencana kegiatan dan manfaat yang akan diperoleh, serta mengkoordinasi kegiatan tersebut dengan kegiatan sektoral lain yang sudah mapan secara sinergis. Dengan semangat pelaksanaan otonomi daerah (sesuai amanat UU no. 23 tahun 2014 tentang Pemerintah Daerah) yang di dalamnya mencakup pengaturan kewenangan daerah dalam mengelola sumber daya kelautan (pesisir dan laut), diharapkan dapat membawa angin segar sekaligus menjadi momentum untuk melaksanakan pembangunan, pendayagunaan, dan pengelolaan sumber daya kelautan dan perikanan secara lebih baik, optimal,

terpadu serta berkelanjutan.

Pendekatan pengelolaan wilayah pesisir harus dilakukan secara terpadu (*Integrated Coastal Zone Management* :ICZM) sesuai amanat UU No. 1 tahun 2014 tentang Pengelolaan WP3K, yaitu keterpaduan perencanaan yang menyeimbangkan kepentingan ekonomi, sosial budaya dan kelestarian sumberdaya alam dan lingkungan hidup. ICZM merupakan pendekatan pengelolaan yang memberikan arah bagi pemanfaatan sumberdaya pesisir dan pulau-pulau kecil secara berkelanjutan dengan mengintegrasikan berbagai perencanaan sektoral, berbagai tingkat pemerintahan dan sekaligus mengintegrasikan komponen ekosistem darat dan komponen ekosistem laut, serta sains dan manajemen.

Perencanaan pembangunan di WP3K yang berkelanjutan membutuhkan informasi yang tepat tentang opsi penggunaan sumberdaya alam WP3K, pilihan teknologi yang digunakan, perubahan struktur sistem, pola konsumsi, tingkat kualitas hidup yang diinginkan dan status lingkungan yang menjamin tereduksinya tekanan ekologis oleh berbagai proses ekonomi. Pada level wilayah, operasionalisasi skema tersebut membutuhkan proses identifikasi keterkaitan antara kapasitas sumberdaya, aktivitas pembangunan, kapasitas asimilasi, status lingkungan, pertumbuhan ekonomi dan tingkat kualitas hidup yang diinginkan.

Sesuai amanat UU No. 1 tahun 2014 tentang PWP3K dalam melakukan pengelolaan wilayah P3K, maka perlu dipertimbangkan asas -asas pengelolaan secara terpadu yang meliputi pertimbangan sebagai berikut: (1) kelestarian sumberdaya; (2) prioritas pemanfaatan; (3) keseimbangan ekologis; dan manfaat bersama. Dalam pengelolaan secara terpadu tersebut mencakup:

- (1) Keterpaduan wilayah/ekologi: secara keruangan dan ekologis wilayahpesisir memiliki keterkaitan dengan lahan atas (daratan) dan laut lepas. Oleh karena itu, pengelolaannya harus diintegrasikan atau dipadukan dengan wilayah daratan dan lautan serta sistem air (DAS) menjadi satu kesatuan dan keterpaduan dalam pengelolaan.
- (2) Keterpaduan sektor : di wilayah pesisir, lautan dan pulau-

pulau kecil, banyak pihak, instansi atau sektor-sektor pelaku pembangunan yang ikut memanfaatkan sumberdaya yang ada di wilayah tersebut, sehingga akibatnya terjadi tumpang tindih pemanfaatan antar satu sektor dengan sektor lainnya. Agar pengelolaan sumberdaya alam di kawasan pesisir, lautan dan pulau-pulau kecil dapat dilakukan secara optimal dan berkelanjutan, maka dalam perencanaan pengelolaan harus memadukan semua kepentingan sektor. Oleh karena itu, penyusunan tata ruang dan panduan pembangunan di kawasan pesisir sangat perlu dilakukan untuk menghindari benturan antara satu kegiatan dengan kegiatan pembangunan lainnya atau dengan kata lain kegiatan suatu sektor tidak dibenarkan mengganggu apalagi mematikan kegiatan disektor lain.

- (3) Keterpaduan disiplin ilmu : wilayah pesisir, lautan dan pulau-pulau kecil memiliki sifat dan karakteristik yang unik dan dinamis, termasuk sifat dan karakteristik sosial budaya masyarakatnya, sehingga dibutuhkan keterpaduan disiplin ilmu dalam pengelolaannya seperti ekologi, oseanografi, ketektikan, ekonomi, hukum dan sosiologi.
- (4) Keterpaduan stakeholders: segenap keterpaduan di atas akan berhasil diterapkan apabila ditunjang oleh keterpaduan dari para pelaku dan pengelola pembangunan (*stakeholders*) yang terdiri dari pemerintah, masyarakat pesisir dan pulau-pulau kecil, swasta/investor, dan juga LSM yang masing-masing memiliki kepentingan terhadap pemanfaatan sumberdaya alam di wilayah pesisir, lautan dan pulau-pulau kecil. Penyusunan perencanaan pengelolaan terpadu harus mampu mengkoordinir segenap kepentingan pelaku pembangunan sumberdaya wilayah pesisir, lautan dan pulau-pulau kecil. Oleh karena itu, perencanaan pengelolaan pembangunan harus mampu menggunakan pendekatan dua arah, yaitu pendekatan “*top down*” dan pendekatan “*bottom up*”

## Reklamasi sebagai Alternatif Penguat Ekosistem Pantai

Pengertian reklamasi sebagaimana disebutkan dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia Edisi III Tahun 2003 adalah upaya untuk memperluas lahan yang kurang berfungsi atau tidak bermanfaat dengan cara pengurugan serta ditindaklanjuti dengan upaya penataan lingkungan untuk meningkatkan nilai daya gunanya. Sedangkan menurut terminologi kamus istilah teknik pantai, reklamasi berasal dari kata *reclimate*, yang berarti mengkondisikan atau memfungsikan kembali lahan yang kurang bermanfaat melalui penataan lingkungan secara terpadu. Dengan demikian reklamasi pantai dapat diartikan sebagai bagian dari pengelolaan pesisir terpadu dengan upaya memperluas lahan pantai melalui cara/proses pengurugan dan penataan lingkungan untuk meningkatkan nilai daya guna peruntukannya.

Sebagian masyarakat seringkali alergi (skeptis) atau mempunyai pandangan (persepsi) negatif terhadap reklamasi. Menurut pandangan mereka, reklamasi adalah pengurugan pantai yang berdampak negatif karena menyebabkan terjadinya abrasi dan akresi, tersumbatnya saluran/irigasi tambak atau sungai (oleh sedimen dan sampah) serta meluasnya areal genangan atau rob. Bahkan ada yang beranggapan, reklamasi pantai dapat menghancurkan perikanan karena habitat vital biota dasar (bentos) akan rusak dan ikan-ikan dasar & peruaya menjadi punah. Pandangan seperti itu tidak sepenuhnya keliru, karena pada kenyataannya sebagian pelaku usaha/kegiatan reklamasi memang kurang atau tidak memiliki wawasan lingkungan dan manajemen pesisir dengan baik. Sehingga sangat wajar bila apa yang dilakukannya dalam kegiatan reklamasi tidak didasari oleh kaidah-kaidah ekologi pantai serta aturan main reklamasi sesuai tuntutan pengelolaan pesisir yang benar, bahkan RKL & RPL (rencana pengelolaan & pemntauan lingkungan) Amdal tidak sepenuhnya dilaksanakan (tidak melibatkan partisipasi masyarakat terdampak).

Dari rangkuman hasil diskusi (konsultasi) publik selama proses Amdal Reklamasi di Kawasan Teluk Semarang, berikut ini disampaikan pokok-pokok ekspektasi masyarakat yang dapat

dijadikan pembelajaran dalam pengelolaan kawasan pesisir yang direklamasi. Pokok-pokok ekspektasi tersebut adalah, bahwa kegiatan perluasan lahan lewat reklamasi pantai dapat dilakukan atau bahkan dianjurkan bila dapat memenuhi ketentuan berikut ini.

**Pertama**, reklamasi harus dalam bingkai kebijakan pengelolaan pesisir terpadu yang bertanggungjawab, ada payung hukum yang jelas (layak dari sisi aspek legal); yaitu harus bersifat *constraint based development*, dengan pengertian bahwa setiap kegiatan pembangunan di wilayah pesisir (termasuk reklamasi pantai) harus memenuhi segenap kriteria pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*), yaitu: secara ekonomi efisien dan optimal (*economically sound*), secara sosial-budaya berkeadilan dan dapat diterima masyarakat (*socio-culturally accepted and just*), secara ekologis tidak menyebabkan degradasi dan tidak melampaui daya dukung lingkungan, dan secara sosio-politis tidak menyengsarakan masyarakat terdampak, serta dapat memperkuat kesatuan dan persatuan bangsa.

**Kedua**, reklamasi pantai harus menganut prinsip “*basic design and construction friendly with nature*”, artinya kegiatan pembangunan, dalam hal ini reklamasi pantai, yang berpeluang akan merubah bentang alam pantai harus memperhatikan karakteristik ekosistem daratan dan perairan pesisir yang spesifik-dinamis serta satuan wilayah pantai (*Cell sediment*) yang ada. Dalam melakukan kegiatan rancangan (*design*) dan konstruksi atau modifikasi bentang alam (morfologi) pantai, harus disesuaikan dengan karakteristik dan dinamika biogeofisik setempat, khususnya pola arus, gelombang, pasang surut, transpor sedimen, struktur geologi, pola dan alur ruaya biota, ekosistem khas (mangrove, estuari dan terumbu karang) serta keberadaan kawasan lindung sempadan pantai dan habitat vital biota (terutama biota yang bersifat menetap/sedentary dan benthik).

**Ketiga**, kegiatan pengambilan material untuk pengurugan (baik di darat maupun dari laut) sedapat mungkin tidak mengganggu: (a) Daerah penangkapan ikan (*fishing ground*) yang dapat menurunkan hasil tangkapan dan pendapatan nelayan, (b) Daerah pembudidayaan ikan (di laut dan tambak) yang dapat menurunkan

produksi ikan dan pendapatan petambak, (c) Stabilitas pantai yang dapat memicu/meningkatkan erosi, (d) Stabilitas lereng bukit dan daerah resapan air (di sekitar penambangan: kasus di bukit Ngaliyan, Mangkang dan Tembalang Kota Semarang) yang dapat memicu/meningkatkan air larian dan debit banjir di sungai dan daerah rendah di hilir (kota bawah), (e) Transportasi di darat dan laut (yang dilalui truk pengangkut material reklamasi), (f) Hasil perluasan dan penataan lahan lewat reklamasi sedapat mungkin harus lebih banyak memberikan dampak positif, antara lain:

- Dapat meningkatkan atau bahkan memperkuat sistem penyangga dan perisai pantai, sehingga daratan pantai memiliki daya tahan untuk menghadapi bencana alam seperti gempuran gelombang pasang (Tsunami) dan arus laut.
- Tidak mengganggu atau merusak habitat vital, terutama daerah pemijahan (*spawning ground*), alur ruaya (migrasi) dan daerah asuhan (*nursery ground*) biota air (katadromus dan/atau diadromus), serta daerah penangkapan ikan (*fishing ground*).
- Tidak menimbulkan abrasi (erosi) atau akresi (sedimentasi) di tempat lain, atau bila terjadi abrasi/akresi masih dapat ditanggulangi dengan teknik/rekayasa pantai atau diberikan kompensasi (ganti untung) bagi masyarakat terdampak
- Serasi dan terpadu dengan pemanfaatan lahan di sekitarnya sesuai peruntukan tataruang (zonasi) pesisir (UU No. 1 tahun tahun 2014 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir & Pulau-pulau Kecil),
- Dapat meningkatkan kemantapan dan nilai estetika/keindahan bentang alam pantai
- Dapat menghambat atau mengurangi intrusi air asin (laut) di daratan pesisir
- Tidak mengganggu atau mematikan aktivitas lain yang telah ada (misalnya pertambakan, perkolaman, karamba pembudidayaan biota laut, persawahan/pertanian, dan perikanan tangkap)

- Tidak mengganggu pola aliran air alamiah yang telah ada (hidrologi dan oseanografi), misalnya: jangan sampai saluran air (drainase, saluran tambak, saluran irigasi) atau sungai yang ada menjadi tidak berfungsi (karena tersumbat sedimen & sampah atau sengaja ditutup) setelah dilakukan reklamasi pantai
- Harus berorientasi atau memprioritaskan kepentingan ekologi dan masyarakat umum, bukan kepentingan per-orangan atau golongan, apalagi untuk kepentingan penguasa atau pengusaha tertentu.

Dalam perspektif manajemen sumberdaya pesisir, kegiatan reklamasi pantai merupakan salah satu bagian atau bentuk dari upaya perluasan dan peningkatan manfaat lahan pantai dengan cara pengurangan lahan dan penataan lingkungan, yang dapat menimbulkan dampak terhadap lingkungan, baik dampak positif maupun dampak negatif. Oleh sebab itu permasalahan reklamasi pantai harus disikapi secara arif, dengan memperhatikan aspirasi para pemangku kepentingan, agar dampak positif dapat dimaksimalkan manfaatnya dan sebaliknya dampak negatif dapat ditekan sampai seminimal mungkin. Selama kaidah-kaidah ekologis, teknis, sosio-ekonomis dan legal, diperhatikan dan dijadikan kendali dalam reklamasi pantai, maka timbulnya dampak negatif tidak perlu dikhawatirkan secara berlebihan. Justru dengan penanganan reklamasi pantai pada lokasi yang tepat dengan cara yang benar, akan dapat meningkatkan sistem penyangga dan stabilitas perisai pantai, mengurangi intrusi air asin serta memberikan nilai lebih pada aspek estetika dan nilai dayaguna lahan pesisir.

### **Strategi Mitigasi Bencana di Wilayah Pesisir**

Ketahanan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil (WP3K) dalam menghadapi perubahan iklim global serta bencana alam

dan kegiatan antropogenik sangat bergantung pada kemampuan mengurangi resiko (R) yang diterima. Resiko (risk) adalah kemungkinan timbulnya kerugian pada WP3K pada kurun waktu tertentu, yang timbul karena suatu bahaya (B) menjadi bencana. Bahaya (B) adalah kejadian yang berpotensi menimbulkan kerusakan fisik-ekologis dan/atau korban jiwa, yang tingkatannya sangat ditentukan oleh kerentanan (K) di WP3K. Adapun kerentanan (K) merupakan kondisi: bioekologis, geografis, sosial-ekonomi-politik, serta teknologi suatu masyarakat di WP3K yang mengurangi kemampuan atau kapasitas (C) masyarakat atau wilayah untuk mencegah, meredam, menyiapkan diri dan menanggapi dampak lingkungan tertentu. Secara empiris, keterkaitan antara Resiko (R) (B) dengan Bahaya (B), Kerentanan (K) dan Kemampuan atau Kapasitas (C) dapat dituliskan dalam bentuk formula:  $R = B \times K / C$ . Bencana banjir pasang (Rob) dan degradasi di WP3K terjadi karena efek sinergis antara faktor alam (perubahan iklim global) dan kegiatan manusia (antropogenik). Faktor alam yang memicu terjadinya rob yaitu: abnormalitas pasang tinggi (*Perigean Spring Tide*), kenaikan paras air laut (*Sea Level Rise*) akibat pemanasan global serta amblesan tanah (*Land Subsidence*) di pantai. Faktor kegiatan manusia (antropogenik) yang ikut memicu terjadinya Rob, antara lain: makin menyempitnya daerah tampungan air di pantai akibat konversi lahan rawa tambak dan reklamasi pantai, pembangunan dan pengoperasian bangunan menjorok ke laut, pengambilan air tanah berlebihan, pencemaran yang meningkatkan daya hantar listrik serta sumbatan sampah di saluran air dan muara sungai, makin mengecilnya daerah resapan air di hulu, serta pendirian bangunan berat di pantai. Solusi penanganan Rob atau ancaman perubahan iklim global, baik dengan cara mitigasi atau adaptasi, untuk meningkatkan ketahanan WP3K; perlu dilakukan secara sinergis dan terintegrasi dalam harmoni, melibatkan pemangku kepentingan global, regional dan lokal. Penanganan bencana di WP3K harus terpadu: antar pemangku kepentingan, antar daerah dalam satuan ekosistem *Coastal Cell*, antara hulu dan hilir (sistem sel pantai dengan sistem sel sungai/ saluran drainase). Beberapa pendekatan penanganan resiko akibat

bencana pesisir seperti: *Integrated Coastal Cell-Watershed Cell management* (Keterpaduan pengelolaan Hulu-Hilir), *Water & Sea Front City*, *Integrated Coastal Co-management*, serta penyelarasan (sinkronisasi dan harmoni) RTRW dan RZWP-3-K dapat dijadikan alternatif solusi menangani bencana di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil di Indonesia. Sesuai formula empiris  $R = B \times K / C$ , maka ada tiga pendekatan yang dapat dilakukan sebagai strategi untuk meningkatkan ketahanan dan sekaligus mengurangi resiko. **Pertama**, dengan strategi  $R = B/C \times K$ ; artinya bahaya (B) dapat direduksi dengan meningkatkan kapasitas (C), misalnya dengan membangun bangunan untuk memperkuat perisai pantai (tanggul laut, pemecah gelombang, sabuk pantai./greenbelt). **Kedua**, dengan strategi  $R = B \times K/C$ ; artinya, kerentanan (K) dapat direduksi dengan upaya peningkatan kapasitas (C), misalnya dengan rasionalisasi tata ruang wilayah yang terintegrasi antara matra darat (RTRW) dan matra laut (RZWP3K), pemberdayaan masyarakat, penegakan tata-tertib dan aturan K3, pendidikan dan pelatihan kebencanaan bagi masyarakat sejak usia dini, serta penerapan tatabangunan yang mampu mengadaptasi bencana alam. **Ketiga**, menggabungkan pendekatan pertama dan kedua, yaitu:  $R = (B/C) \times (K/C)$ , artinya resiko dapat dikurangi dengan cara mereduksi bahaya (B) dan kerentanan (K) serta memaksimumkan kapasitas (C).

## DAFTAR PUSTAKA

- Adisasmita, H.R. 2012. *Analisis Tata Ruang Pembangunan*. Graha Ilmu. Yogyakarta. 132 hal.
- Ahrentzen, S. 1996. *Metode dan Pendekatan Spasial dan Partisipatif untuk Penelitian dan Perencanaan Lingkungan*. Training Manual, Proyek Pengembangan Pusat Studi Lingkungan (ESCDI), Jakarta.
- Aims. 2000. *The Supply of Black Tiger Prawn Broodstock for Aquaculture*. <http://www.aims.gov.au/pages/research/prawns/tiger-prawns/btp-broodstock/btp-broodstock-04.html>
- Alder, J., Tony J. Pitcher, D. Preikshot., K. Kaschner., and B. Feriss. 2000. *How Good is Good? : A Rapid Appraisal Technique for Evaluation of The Sustainability Status of Fisheries of The North Atlantic*. Sea Around Us Methodology Review. Fisheries Center. University of British Columbia. Vencouver Canada. 132-182
- Alongi, D.M., Mckinnon, A.D., Brinkman, R., Trott, L.A., Undu, M.C., Muawanah, M., Rachmansyah, R., 2009. *The Fate of Organic Matter Derived from Small-scale Fish Cage Aquaculture in Coastal Waters of Sulawesi and Sumatra, Indonesia*. Aquaculture 295, 60-75. doi:10.1016 j.aquaculture.2009.06.025
- Alikodra, Hadi S. 2006. *Integrasi Konsep Pengelolaan SDAL Dalam Perencanaan Pembangunan Daerah*. Makalah Disampaikan Pada Diklat Perencanaan Daerah. Badan Diklat DEPDAAGRI. Jakarta.

- Allsopp, M., Johnston, P., and Santillo, D. 2008. *Challenging the Aquaculture Industry on Sustainability*. Greenpeace Research Laboratories, University of Exeter, UK.
- Anderson, R. S. 1973. *Chemical Studies on Bioluminescence of Marine Organism*. Mar. Biol. Bull. 14: 92 - 111.
- Anderson, N.R. dan B.J Zahuranec (editor). 1977. *Oceanic Sound Scattering Prediction*. Plenum, N.Y. 859 halaman.
- Anggoro, S. 1992. *Pengaruh Osmotik Salinitas Media terhadap Daya Tetas Telur dan Vitalitas Udang Windu*. Disertasi S3, SPS-IPB, Bogor.
- Anggoro, S. 2004. *Tatacara Pengawasan Pengendalian Kerusakan Pesisir Berterumbu Karang Berbasis Komunitas*. Program pascasarjana S2 Manajemen Sumberdaya Pantai, UNDIP, Semarang.
- Anggoro, S. dan S. Anwar. 2010. *Fenomena Bioluminesensi sebagai Basis Pengelolaan Wilayah Pesisir Teragitasi Pencemar Perairan*. Program Magister Sumberdaya Pantai. FPS Undip. Semarang.
- Anggoro, S. 2016. *Dampak Bendung terhadap Ruaya dan Respon Osmotik Ikan Sidat di DAS Sungai Jali Purworejo dan Pesisir Selatan Jawa Tengah*. Laporan Riset. Sekolah Pascasarjana Undip, Semarang.
- Anggoro, S. 2016. *Pembelajaran Pengelolaan Ekspektasi Masyarakat terhadap Perluasan Pantai Lewat Sistem Reklamasi Di Teluk Semarang*. Disampaikan dalam Forum FGD Perluasan Pantai lewat Reklamasi, Jakarta-30 Mei 2016.
- Anggoro, S. 2016. *Mekanisme Keterkaitan Osmoregulasi dan Molt-ing pada Udang*. Seminar Bioekologi. Semarang 10 Desember 2016.
- Anggoro, S., F. Purwanti dan K. Nakamura. 2018. *Effect of Osmotic Shocks on Sodium Regulation and Na-K-ATPase Activity of Pacific White Shrimp (Litopnaeus vannamei Boone, 1931)*. Proceedings of Pakistan Academy of Sciences, B. Life and Environmental Sciences, 55(1): 15-19 (2018).

- Anggoro, S., D. Suprpto and F. Purwanti. 2018. *Osmoregulation Pattern of Fingerling Vanname Shrimp (Litopenaeus vannamei) Rearing in Thre Molt Stages Iso-osmotic Media*, J. Ilmu Kelautan, 23(3): 119-122. Doi 10.14710/ik.ijms.23.3.119-122.
- Anggoro S. dan Irwan Syadidul Anwar. 2009. *Ekosistem Laut Dalam*. Fakultas Pascasarjana Undip, Semarang.
- Aoyama, J. 2009. *Life History and Evolution of Migration in Catadromous Eels (Genus Anguilla)*. In Aqua-BioScience Monogr. (ABSM), (Vol. 2, No. 1, pp. 1-42) (2009). Diunduh dari [www.terrapub.co.jp/onlinemonographs/absm/](http://www.terrapub.co.jp/onlinemonographs/absm/)
- Arifin, T., R. Bohari dan I.S. Arlyza., 2014. *Analisis Kesesuaian Ruang Berbasis Budidaya Laut di Pulau-pulau Kecil Makassar: Aplikasi Sistem Informasi Geografis*. Forum Geografi 28 (1), 91-102.
- Ayuningtyas, S. Anggoro dan S. W. Saputra. 2015. *Distribusi dan Adaptasi Osmotik Ikan Sidat di Pesisir Selatan Jawa Tengah*. Tesis. Magister Manajemen Sumberdaya Pantai, FPIK Undip, Semarang.
- Bakosurtanal, 1996. *Pengembangan Prototipe Wilayah Pesisir dan Marine Kupang - Nusa Tenggara Timur*. Pusat Bina Aplikasi Inderaja dan Sistem Informasi Geografis, Cibinong.
- Balai KIPM. 2015. *Laporan Monitoring Hama dan Penyakit Ikan Provinsi NTB Tahun 2015*. Mataram
- Bappenas. 2014. *Paparan pada Workshop IBSAP 2014*. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. Jakarta
- Bappeda Provinsi Jateng. 2012. *RPJM SKPD: Evaluasi dan Perencanaan Program Pembangunan*. Bappeda Provinsi Jawa Tengah, Semarang.
- BBL Lampung, 2001. *Petunjuk Teknis Pembesaran Kerapu Macan dan Kerapu Tikus*. Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya. Kementerian Kelautan dan Perikanan, Jakarta.
- Bengen, D.G. 2002. *Ekosistem dan Sumberdaya Alam Pesisir dan Laut serta Prinsip Pengelolaannya*. PKSPL IPB, Bogor.

- Bengen, D.G dan Rizal, A., 2002. *Pembangunan Wilayah Pesisir: Antara Pembangunan Ekonomi dan Pembangunan Berkelanjutan*. Warta Pesisir dan Lautan (02), Bogor.
- Beveridge, M. 2004. *Cage Aquaculture, third edition*. Oxford. United Kingdom. Blackwell Publishing Ltd. 368 pp.
- Bhattachary, Samir. 1998. *Crossing the Salt Barrier*. Artikel pada Journal RESONANCE. October 1998.
- BLH Prov.Jateng. 2011. *Grand Design Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan Pesisir Pantura: Brebes- Tegal-Pekalongan*. Badan Lingkungan Hidup Prov. Jawa Tengah, Semarang.
- BLH Prov.Jateng. 2012. *Neraca Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Tengah*. BLH Prov. Jawa Tengah. Semarang.
- Bockish. J. 2012. *Transportation Sustainability Rating Systems. Gresham Smith and Partners*. Presentation. [http://www.gaite.org/wp-content/uploads/2012/07/GAITE- Presentation-Sustainability-July-2012.pdf](http://www.gaite.org/wp-content/uploads/2012/07/GAITE-Presentation-Sustainability-July-2012.pdf), diakses 29 April 2016.
- Boyd, C.E, 1990. *Water Quality in Pond for Aquaculture. Aquaculture Experiment Station*. Auburn University, Alabama. 482 p.
- Boyd, C.E., 1988. *Water Quality in Warmwater Fish Ponds*, 4th ed. Auburn University Agricultural Experiment Station. USA. 359 p.
- Boyd, C.E., 1998. *Water Quality for Pond Aquaculture, 1st ed*. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University. 37 p.
- Boyd, C.E., McNevin, A.A., Clay, J. & Johnson, H.M. 2005. *Certification issues for some common aquaculture species*. Reviews in Fisheries Science, 13: 231-279.
- BPS. 2014. *Statistik Indonesia Tahun 2014*. Badan Pusat Statistik. Jakarta
- BRKP. 2004. *Daya Dukung Kelautan dan Perikanan*. Tim Proyek *Carrying Capacity* Badan Riset Kelautan dan Perikanan Departemen Kelautan dan Perikanan. Jakarta. 122 hlm.

- Braueur, R. (editor). 1972. *Barobiology and the experimental biology of the deep sea*. North Carolina Sea Grant Program, Univ. Of North Carolina, Chapel hill. 428 halaman.
- Brunn, A. 1957. *Deep- Sea Abyssal Depth*. Bab 22 Hlm, 641 - 672. dalam : Hedgpeth, J.E. (Editor) *The treatise on marine ecology and paleoecology*. Vol I, Ecology. Memoir 67. Geol soc. of America.
- BSN, 2014. SNI 01-6487.4-2014. *Produksi pembesaran ikan kerapu bebek (Cromileptes altivelis, Valenciennes 1828) di karamba jaring apung (KJA)*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta. p 15.
- Budianto, S., 2012. *Pengelolaan Perikanan Tangkap Komoditas Udang Secara Berkelanjutan di Kabupaten Cilacap*. Tesis. FMIPA, Program Studi Magister Ilmu Kelautan. Universitas Indonesia. p 107.
- Budihastuti, R., S. Anggoro dan S.W. Saputra. 2012. *Model Wana-mina Berwawasan Lingkungan dan Dampaknya pada Ekosistem Pantai Teluk Semarang*. J. Lingkungan Tropis, 6(1): 73-80.
- Budimanta, A. (2005). *Memberlanjutkan Pembangunan di Perkotaan Melalui Pembangunan Berkelanjutan Dalam Bunga Rampai Pembangunan Kota Indonesia Dalam Abad 21*. Jakarta: Media Pustaka
- Buitrago, J., Rada, M., Hernandez, H., Buitrago, E., 2005. *A Single-Use Site Selection Technique , Using GIS , for Aquaculture Planning : Choosing Locations for Mangrove Oyster Raft Culture in Margarita Island, Venezuela*. Environmental Management 35 (5), 544-556. doi:10.1007/s00267-004-0087-9
- Byron, C.J., Costa-Pierce, B.A., 2010. *Carrying Capacity Tools for Use in the Implementation of an Ecosystems Approach to Aquaculture*. Presented at the FAO Expert Workshop on Aquaculture Site Selection and Carrying Capacity Estimates fo Inland and Coastal Waterbodies, 6-8 December 2010, Stirling, U.K, p. 22 p.

- Cairns, J., 1999. *Assimilative Capacity - The Key to Sustainable Use of The Planet*. Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery 6, 259-263.
- Carter, J.A. 1997. *Pedoman untuk Penilaian, Perlindungan dan Rehabilitasi Habitat-Habitat Pesisir di Indonesia Timur*. Dalhousie University-Proyek Pesisir DIKTI, Jakarta.
- Charles, T.A, 2001. *Sustainable Fishery Systems*. Blackwell Science Ltd. Australia.
- Cicin-Sain, B. & R.W. Knecht. 1998. *Integrated Coastal and Ocean Management: Concepts and Practices*. Island Press, Washington D.C.
- Clark, W., and P.L. Hosking. 1986. *Statistical Methods for Geographers*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Cloern, J.E., 2001. *Our Evolving Conceptual Model of the Coastal Eutrophication Problem*. Marine Ecology Progress Series 210, 223-253.
- Coremap. 2006. *Project Management Unit Coral Reef Rehabilitation and Management Program (Coremap) Tahap II Kabupaten Selayar*. Pelatihan Budidaya Laut. Benteng, 29 - 31 Agustus 2006
- Conte, Frank P. 1969. *Salt Secretion*. Artikel pada Fish Physiology Volume I : Excretion, Ionic Regulation, and Metabolism. Editor : W.S Hoar and D.J. Randall. Academic Press. London.
- Costa-Pierce, B. 2008. *An Ecosystem Approach to Marine Aquaculture: A Global Review*. FAO Working Group on an Ecosystem Approach to Aquaculture. In. Soto, D., Aguilar-Manjarrez, J. and Hishamunda, N. (eds). *Building an Ecosystem Approach to Aquaculture (EAA): Initial steps for guidelines*. FAO Expert workshop, 7-11 May, 2007. Mallorca, Spain. FAO Fisheries Proceedings. No. Xx, FAO, Rome, Italy.
- Dahuri, R 2001. *Analisis Daya Dukung Lingkungan Kawasan Pesisir. Bahan Kuliah Perencanaan dan Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan*. Program Studi SPL, Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

- Dahuri, R. 2002. *Pendekatan Ekonomi-Ekologis Pembangunan Pulau-Pulau Kecil Berkelanjutan. Prosiding Seminar dan Loka Karya Pengelolaan Pulau-Pulau Kecil di Indonesia*. Direktorat Pengelolaan Sumberdaya dan Kawasan - TPSA-BPPT-CMRM-USAID
- Dahuri, R. 2003. *Keanekaragaman Hayati Laut, Aset Pembangunan Berkelanjutan Indonesia*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Dahuri, R. 2003. *Paradigma Baru Pembangunan Indonesia Berbasis Kelautan*. IPB, Bogor. 233 p.
- Dahuri, R. 2004. *Pembangunan Wilayah- Perspektif Ekonomi, Sosial dan Lingkungan*. Edisi 4 Cet. 5. Jakarta: Pustaka LP3ES
- Dahuri, R. 2013. *Kebijakan Pembangunan Kelautan untuk Mengembangkan Daya Saing dan Pertumbuhan Ekonomi Berkualitas Menuju Indonesia yang Maju, Adil-Makmur dan Berdaulat*. Konferensi Guru Besar Indonesia (KGB I V), 13-14 September 2013, Yogyakarta.
- Darajati, W. 2004. *Strategi Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu dan Berkelanjutan*. Makalah Sosialisasi Nasional MFCDP. Direktur Kelautan dan Perikanan, Bappenas. Jakarta
- Davis, R.A. 2000. *Oceanography: An Introduction to the Marine Environment*, Wm.C.Brown Publ., Iowa. 431 pp.
- Departemen Kelautan dan Perikanan (DKP), 2004. *Rencana Strategis Pembangunan Kelautan dan Perikanan 2001-2004*. DKP, Jakarta. 96 hal.
- Dewan Kelautan Indonesia. 2012. *Kebijakan Ekonomi Kelautan dengan Model Ekonomi Biru (Blue Economy)*. Kementerian Kelautan dan Perikanan. Jakarta
- Ditjen PB. 2012. *Profil Budidaya Kerapu*. Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya. Kementerian Kelautan dan Perikanan, Jakarta.
- Ditjen PB. 2014. *Renstra Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya Tahun 2009 - 2014*. Kementerian Kelautan dan Perikanan. Jakarta

- Ditjen PB. 2010. *Pedoman Umum Pengembangan Kawasan Budi-  
daya Laut di Indonesia*. Kementerian Kelautan dan Perikanan  
RI Jakarta
- Diposaptono, S. 2015. *Membangun Poros Maritim Dunia dalam  
Perspektif Tata Ruang Laut*. Perpustakaan Nasional, Jakarta.
- Diposaptono, S. 2015. *Mengantisipasi Bencana, Sebuah Kumpulan  
Pemikiran*. Penerbit Buku Ilmiah Populer, Bogor..
- Diposaptono, S. 2015. *Pengelolaan Wilayah Pesisir Terpadu Berba-  
sis Mitigasi Bencana*. KKP, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya Kementerian Kelautan dan  
Perikanan RI. 2009. *Surat Keputusan No. KEP-45/DJPB/2009  
tentang Pedoman Umum Pengembangan Kawasan Minapoli-  
tan Perikanan Budidaya*. Jakarta
- Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya Kementerian Kelautan dan  
Perikanan RI. 2012. *Panduan Penilaian Sertifikasi Cara Budi-  
daya Ikan yang Baik (CBIB)*. Jakarta
- Direktorat Tata Ruang Laut Pesisir dan Pulau-pulau Kecil. 2013 *Pe-  
doman Teknis Penyusunan RZWP-3-K Provinsi*. Jakarta: Di-  
rektorat Tata Ruang Laut Pesisir dan Pulau-pulau Kecil. Ja-  
karta
- Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya Kementerian Kelautan dan  
Perikanan RI. 2014. *Masterplan Kawasan Pengembangan Bu-  
didaya Laut di Indonesia*. Jakarta.
- Diskanlut Jateng. 2011. *Draf Akademik Rencana Strategis (Ren-  
stra) Pengelolaan Pesisir dan Pulau-pulau Kecil Provinsi  
Jawa Tengah*. Dinas Kelautan & Perikanan Prov. Jawa Tengah,  
Semarang.
- Diskanlut Jateng. 2012. *Draf Akademik Rencana Zonasi Pesisir dan  
Pulau-pulau Kecil Provinsi Jawa Tengah*. Dinas Kelautan dan  
Perikanan Provinsi Jawa Tengah, Semarang.
- Ditjen P3K. 2002. *Pedoman Penyusunan Tata Ruang Pesisir, Laut  
dan Pulau-Pulau Kecil*. Ditjen P3K-DKP, Jakarta.
- Ditjen Perikanan Budidaya. 2016. *Pengembangan Perikanan Budi-  
daya Berwawasan Lingkungan*. Kementerian Kelautan dan  
Perikanan, Jakarta.

- Div.Kelautan KLH. 2011. *Dampak dan Kerusakan Lingkungan Pesisir*. KLH, Jakarta.
- Djoko S. dan S. Anggoro. 1991. *Fenomena Bioluminesensi: Indikator Hayati untuk Pengelolaan Pesisir dan Laut*. Sekolah Pascasarjana - Departemen Biokimia IPB, Bogor.
- \_\_\_\_\_. 2006. *Profil Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Indonesia*. Ditjen P3K, DKP, Jakarta.
- DKP, 2002a. *Profil Perikanan Budidaya Indonesia*. Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya. Departemen Kelautan dan Perikanan, Jakarta.
- DKP, 2002. *Modul Sosialisasi dan Orientasi Penataan Ruang Laut, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil*. Direktorat Tata Ruang Laut, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. Ditjen Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. Departemen Kelautan dan Perikanan, Jakarta.
- DKP Lombok Timur. 2012. *Profil Perikanan Budidaya Kabupaten Lombok Timur*. Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Lombok Timur. Selong.
- DKP Lombok Timur. 2015. *Laporan Statistik Perikanan Budidaya Kabupaten Lombok Timur*. Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Lombok Timur. Selong.
- DKP Provinsi NTB. 2012. Laporan Akhir Survey Rencana Zonasi Wilayah Pesisir, Laut dan Pulau Kecil Propinsi NTB. Dinas Kelautan dan Perikanan. Mataram
- Edith Brown Weiss. 1991. *Our Rights and Obligations to Future Generation for the Environment*. *American Journal of International Law*
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius. Yogyakarta.
- Fauzi, A dan S. Anna. 2002. *Evaluasi Status Keberlanjutan Pembangunan Perikanan : Aplikasi Pendekatan RAPFISH (Studi Kasus Perairan Pesisir DKI Jakarta)*. *Jurnal Pesisir dan Lautan*. Vol. 4(3) : 43-55.
- Fauzi. A. 2004. *Ekonomi Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Teori dan Aplikasi*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta,

- Fauzi, A. dan S. Anna. 2005. *Pemodelan Sumberdaya Perikanan dan Kelautan untuk Analisis Kebijakan*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Folke, C., Kautsky, N., Troell, M., 1994. *The Costs of Eutrophication from Salmon Farming: Implications for Policy*. Journal of Environmental Management 40, 173-182.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1997. *Aquaculture development. FAO Tech. Guidel. Responsible Fisheries*, (5):40 pp.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1995. *Code of Conduct for Responsible Fisheries*. FAO, Rome.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1989. *Sustainable Development and Natural Resources Management*. Twenty-Fifth Conference, Paper C 89/2 simp 2, Food and Agriculture Organization, Rome.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2005a. *FAO Fisheries Department, Fishery Information, Data and Statistics Unit*. [www.fao.org/fi/statist/FISOFT/FISHP-LUS.asp](http://www.fao.org/fi/statist/FISOFT/FISHP-LUS.asp)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2007. *FAO guidelines for aquaculture certification*. Preliminary Draft Only. Accessed Jan 2008 at <http://www.enaca.org/modules/tinyd10/index.php?id=1>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2012. *Fishery and Aquaculture Statistics. 2012/FAO annuaire*. FAO, Roma. 76 pp.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2014. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2014*. FAO, Rome. 223 pp.
- Foskett J. Kevin, Howard A. Bern, Terry E. Machen and Marilyn Conner. 1983. *Chloride Cells And The Hormonal Control Of Teleost Fish Osmoregulation*. Jurnal Exp. Biologi. (106 : 255-281 (1983) 2). The Company of Biologists Limited 1983. Great Britain.

- Frankic and Hershner.2001. *Sustainable aquaculture: developing the promise of aquaculture. Center for Coastal Resources Management. Virginia Institute of Marine Science, College of William & Mary, PO Box 1346, Gloucester Pt, USA; \*Author for correspondence (e-mail: [afrankic@vims.edu](mailto:afrankic@vims.edu)).*
- Fujaya, Y. 2004. *Fisiologi Ikan : Dasar Pengembangan Teknologi Perikanan*. Penerbit PT Rineka Cipta. Jakarta.
- General Fisheries Commission for the Mediterranean. 2011. *Indicators for Sustainable Development of Finfish Aquaculture*. Rome, 2011
- General Fisheries Commission for the Mediterranean. 2013. *Indicators for Sustainable Development of Aquaculture and Guidelines for their use in the Mediterranean“ Background information*. Regional Workshops on The Identification of Reference Points for Economic, Enviromental, Social and Governance Indicators on Aquaculture. Izmir 9-19 December 2013.
- Gerking, R.E. 1978. *Aquatic productivity*. Pergamon Press, London.
- Ghufran. H. Kordi K. dan A. B. Tancung. 2010. *Pengelolaan Kualitas Air Dalam Budi Daya Perairan*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Ghufran, H. M. dan Kordi K. 2013. *Budidaya Nila Unggulan*. PT Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Gillibrand, P.A., M.J. Gubbins, C. Greathead, and I.M. Davies. 2002. *Scottish Execultive Locational Guide Lines for Fish Farming: Predicted Levels of Nutrient Enhancement and Benthic Impact*. Scottish Fisheries Research Report Bumber 63/2002. 52p.
- Ginting, Paham dan Situmorang, H, S. 2008. *Filsafat Ilmu dan Metode Riset*. USU Press. Medan
- Goto, T., I. Kubota, N. Suzuki and Y. Keshi. 1973. *Aspect of the mechanism of bioluminescence*, p: 325-336. In M. J. Cormier et, al. (eds). *Chemiluminescence and Bioluminescence*. Plenum Press, New York.

- Hakanson, L., Bryhn, A.C., 2008. *Eutrophication in the Baltic Sea, Nutrien Transport Processes, Remedial Strategies.*, 1st ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin. 261 p.
- Hardjojo B dan Djokosetiyanto. 2005. *Pengukuran dan Analisis Kualitas Air*. Edisi Kesatu, Modul 1 - 6. Universitas Terbuka. Jakarta.
- Hartami, P., 2008. *Analisis Wilayah Perairan Teluk Pelabuhan Ratu untuk Kawasan Budidaya Perikanan Sistem Keramba Jaring Apung*. Tesis. Institut Pertanian Bogor. Bogor. p 143.
- Hartono, T.T., Kodiran, T., Iqbal, M.A., Koeshendrajana, S., 2005. *Pengembangan Teknik Rapid Appraisal for Fisheries (RAP-FISH) untuk Penentuan Indikator Kinerja Perikanan Tangkap Berkelanjutan di Indonesia*. Buletin Ekonomi Perikanan VI (6), 65-76.
- Haryono. Al. 2003. *Dasar-dasar Akuntansi*. Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi YKPN. Yogyakarta.
- Hardy, A. 1965. The open sea. Vol I, *The world of plankton* ; Bab 12, Life in the depths. Houghton Mifflin, N.Y. 385 halaman.
- Harvey, E. N. 1976. *Studies on marine bioluminescence*. J. Mar. Biol. Ann. Rev., 51: 72 - 83.
- Heezin, B.C., dan C.D. Hollister. 1971. *The face of the deep sea*. Oxford Univ. Press, N.Y. 659 halaman
- Hickman, Cleveland P., and Benjamin F.Trump. 1969. *The Kidney*. Artikel pada Fish Physiology Volume I : Excretion, Ionic Regulation, and Metabolism. Editor : W.S Hoar and D.J. Randall. Academic Press. London.
- Hourdry, Jacques. 1995. *Fish and Cydostome Migrations Between Fresh Water and Sea Water : Osmoregulatory Modifications*, Italian Journal of Zoology (62: 2, 97 – 108)
- Inglis, G.J., Hayden, B.J., Ross, A.H., 2000. *An Overview of Factors Affecting the Carrying Capacity of Coastal Embayments for Mussel Culture*. National Institute of Water and Atmospheric Research. Client Report CHC00/69, Christchurch, New Zealand. 31 p.

- International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN). 2007. *Guide for the Sustainable Development of Mediterranean Aquaculture. Interaction between Aquaculture and the Environment*. IUCN, Gland, Switzerland and Malaga, Spain. 107 pages.
- Islam, M.S., 2005. *Nitrogen and Phosphorus Budget in Coastal and Marine Cage Aquaculture and Impacts of Effluent Loading on Ecosystem: Review and Analysis towards Model Development*. Marine Pollution Bulletin 50 (1), 48-61. doi:10.1016/j.marpolbul.2004.08.008
- Ispikani. 2015. *Perikanan Berkelanjutan : Bunga Rampai Pemikiran Sarjana Perikanan Indonesia*. Ikatan Sarjana Perikanan Indonesia. IPB Press. Bogor
- Ismatrumahtullah, R. dan Musyafa'. 2010. Paradigma ekonomi kelautan dalam perspektif ekonomi Islam. Kapasgama-Nadi Press, Yogyakarta, p.: 161-176.
- Jaksic, F.M. 2001. *Ecological effects of El Niño in terrestrial ecosystems of western South America*. Ecography, 24 (3): 241-250.
- Jamal Al-Nasir, Divine.Islam.com, 2002. Qur'an Viewer versi 2.9, *Khasanah Ayat Kaunyah*. Al Azhar, Jakarta.
- Junaidi, M. dan M.S. Hamzah. 2014. *Kualitas Perairan dan Dampaknya terhadap Pertumbuhan dan Sintasan Udang Karang yang Dipelihara Dalam Keramba Jaring Apung di Teluk Ekas, Provinsi Nusa Tenggara Barat*. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, 6(2):345-354.
- Junaidi. 2011. *Seleksi Lokasi Pengembanaan Budidaya Dalam Karamba Jaring Apung (KJA) Berdasarkan Faktor Lingkungan dan Kualitas Air di Perairan Pantai Timur Kabupaten Bangka Tengah*. Jurusan Budidaya Perairan Gedung Koordinator Kelautan dan Perikanan Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh
- Kangkan, A.L., 2006. *Studi Penentuan Lokasi Untuk Pengembangan Budidaya Laut Berdasarkan Parameter Fisika, Kimia dan Biologi di Teluk Kupang, Nusa Tenggara Timur*. Tesis. Magister Manajemen Sumberdaya Pantai. Universitas Diponegoro. Semarang. p 102.

- Kartasasmita, G. 2003. *Pemberdayaan Masyarakat : Konsep Pembangunan yang Berakar pada Masyarakat*. IPB. Bogor
- Kavanagh. 2001. *Rapid Appraisal of Fisheries (Rapfish) Project. Rapfish Software Description (For Micrisoft Exel)*. University of British Columbia. 80p
- Kavanagh, P., Pitcher, T.J., 2004. *Implementing Microsoft Excel Software for Rapfish : A Technique for the Rapid Appraisal of Fisheries Status*. Fisheries Centre Research Reports 12 (2), 75 p.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. Kep-45/MENLH/11/1996. *Program Pantai Lestari*.
- \_\_\_\_\_. No. 4 tahun 2001. *Kriteria Baku Kerusakan Terumbu Karang*.
- Keputusan Kepala Bapedal No. 47 tahun 2001. *Pedoman Pengukuran Kondisi Terumbu Karang*.
- Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan No. 58 tahun 2001. *Tatacara Pelaksanaan Sistem Pengawasan Masyarakat Dalam Pengelolaan Sumberdaya Kelautan dan Perikanan*.
- \_\_\_\_\_, No. 10 tahun 2002. *Pedoman Umum Perencanaan Pengelolaan Pesisir Terpadu*.
- Keraf, S. A. 2001. *Etika Lingkungan Hidup*. Kompas. Jakarta. 408p
- Khanna, P., Babu, P.R., George, M.S., 1999. *Carrying-capacity as a Basis for Sustainable Development. A Case Study of National Capital Region in India*. Progress in Planning 52, 101-166
- KKP, 2013b. *Pedoman Teknis Penyusunan Peta Rencana Zonasi WP3K Provinsi dan Kabupaten/Kota*. Direktorat Tata Ruang Laut, Pesisir dan Pulau-pulau Kecil. Diektorat Jenderal Kelautan Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. Kementerian Kelautan dan Perikanan, Jakarta.
- KKP. 2010. *Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 39 Tahun 2010 tentang Penetapan Kawasan Minapolitan*. Jakarta

- KLH [Kementerian Lingkungan Hidup]. 2004. *Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004, tanggal 8 April 2004 tentang baku mutu air laut. Kementerian Lingkungan Hidup*. Jakarta, 11 hlm.
- KLH. 2001. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 04 Tahun 2001 Tentang Kriteria Baku Kerusakan Terumbu Karang*.
- KLH. 2004. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 200 Tahun 2004 Tentang Kriteria Baku Kerusakan dan Pedoman Penentuan Status Padang Lamun*.
- Kordi, M.G.H. dan A.B. Tancung. 2007. *Pengelolaan Kualitas Air*. PT Rineka Cipta, Jakarta
- Koesoebiono. 1992. *Ekologi dan Produktivitas Ekosistem Laut*. Pusat Studi Lingkungan, IPB, Bogor.
- Krisanti, M. dan Z. Imran. 2006. *Daya Dukung Lingkungan Perairan Teluk Ekas untuk Pengembangan Kegiatan Budidaya Ikan Kerapu Dalam Keramba Apung*. J. Ilmu Pertanian Indonesia, 11(2):15-20.
- Kurniawati D.. 2008. *Model Sistem Pendukung Keputusan untuk Pemilihan Program Studi di STMIK AKAKOM Yogyakarta*, Proceeding Seminar Nasional Riset Teknologi Informasi, STMIK AKAKOM Yogyakarta, ISSN: 1907-3526
- Kusrini. 2007. *Konsep dan Aplikasi Sistem Pendukung Keputusan*. Penerbit Andi, Yogyakarta
- Lagler, K.Z., J.E. Bardach, R.R. Miller, D.R. May Passino. 1977. *Ichthyology*. John Wiley & Sons. New York.
- Lee, C.D., Wang, S.B., Kuo, K., 1978. *Benthic Macro Invertebrate and Fish as Biological Indicators of Water Quality with Reference to Community Diversity Index*. International Conference of Water Pollutan Control in Developing Countries, Bangkok, Thailand.
- Lee, J., D. M. Hercules and M. J. Cormier. 1973. *Mechanism of chemilumin escence and bioluminescence*, p: 1- 6. In M. J. Cormier et, al.(eds). *Chemiluminescence and bioluminescence*. Plenum Press, New York.

- Leung, K.M.Y., Chu, J.C.W., Wu, R.S.S., 1999. *Nitrogen Budgets for the Areolated Grouper *Epinephelus areolatus* Cultured Under Laboratory Conditions and in Open-sea Cages*. Marine Ecology Progress Series 186, 271-281.
- Loka, J., Vaidya, N.G., Philipose, K.K., 2012. *Site and species selection criteria for cage culture*, in: Philipose, K.K., Loka, J., Sharma, S.R.K., Damodaran, D. (Eds.), *Handbook on Open Sea Cage Culture*. Central Marine Fisheries Research Institute, Calicut, India, p. 143.
- Main., Anggoro, S, 2013. *Kajian Dampak Lingkungan Penerapan Teknologi Bioflok pada Kegiatan Budidaya Udang Vaname dengan Metode Life Cycle Assessment*. Program Studi Ilmu Lingkungan Undip Semarang. *Jurnal Ilmu Lingkungan* Volume 11 Issue 2 : 110-119 (2013)
- Main, S., Anggoro, B. Dan Suminto. 2011. *Sistem Bioflok untuk Pengendalian Pencemaran dan Peningkatan Produktivitas Tambak*. FPIK Undip, Semarang.
- MacDonald, A.G. 1975. *Physiological aspects of deep sea biology*. Cambridge Univ Press. 450 halaman.
- Machbub, B., 2010. *Model perhitungan daya tampung beban pencemaran air danau dan waduk*. *Jurnal Sumber Daya Air* 6, 103-204.
- Marlina. 2009. *Karakteristik untuk mendefinisikan sustainable*. Wordpress. Jakarta
- Marshall, N.B. 1954. *Aspects of deep-sea biology*. Philosophical Library, N.Y. 380 halaman
- Marshall, N.B. 1980. *Deep sea biology : Developments and perspectives*. Garland STPM Press. N.Y. 566 halaman
- Marzuki, M., 2013. *Desain Pengelolaan Budidaya Laut Berkelanjutan di Teluk Saleh Kabupaten Sumbawa*.
- Mas Ahmad Santosa. 1996. *Aktualisasi Prinsip-Prinsip Pembangunan Berkelanjutan yang Berwawasan Lingkungan dalam Sistem dan Praktek Hukum Nasional*. *Jurnal Hukum Lingkungan Tahun III*. Hlm 1-21

- Mauchline, J. 1977. The biology of bathypelagic organisms, especially crustacea. *Deep Sea Res.* 19 ; 753 - 780
- Mayarina, H. 2005. *Kajian Cemaran Perairan di Pelabuhan Semarang dan Cilacap serta Upaya Penanggulangannya*. Tesis S2 MSDP-PPs UNDIP, Semarang.
- Mckindsey, C.W., Thetmeyer, H., Landry, T., Silvert, W., 2006. *Review of recent carrying capacity models for bivalve culture and recommendations for research and management*. *Aquaculture* 261, 451-462.
- McCormick, Stephen D. 2001. *Endocrine Control of Osmoregulation in Teleost Fish*. *Journal American Zoologi* (41:781-794) (2001). Diunduh dari <http://icb.oxfordjournals.org>.
- MDC Undip. 2013. *Status Kualitas Lingkungan Berterumbu Karang dan Berpadang Lamun di Jawa Tengah*. Marine Diving Club FPIK Undip, Semarang.
- Menzies, R.J., R.Y. George dan G.T. Rowe. 1973. *The abyssal environment and ecology of the world oceans*. Wiley, N.Y. 488 halaman.
- Mitra Bahari Pantura. 2012. *Status Mutu Dan Tingkat Kerusakan Ekosistem Vital Berterumbu Karang, Bervegetasi Mangrove dan Lamun di Pantura Jawa Tengah*. Mitra Bahari Korwil. Jawa Tengah-Kesemat-Marine Diving Club FPIK Undip. Semarang.
- Mukhtasor, M., 2007. *Pencemaran Pesisir dan Laut, 1st ed*. Pradnya Paramita, Jakarta. p 332.
- Nababan, C. 2009. *Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pendapatan Petani Padi Padi Di Kecamatan Tiga Binaga Kabupaten Karo*. USU Press: Medan
- Nash, C.E. 2001. *The net-pen salmon farming industry in the Pacific North- West*. U.S. Dept. of Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-NWFSC-46.
- Nasution. M.N. 2001. *Manajemen Mutu Terpadu*. Jakarta : Ghalia Indonesia

- Nazam, M. 2011. *Penyusunan Model untuk Penetapan Luas Lahan Optimum Usaha Tani Padi Sawah pada Wilayah Beriklim Kering Mendukung Kemandirian Pangan Berkelanjutan (Studi Kasus Provinsi Nusa Tenggara Barat)*. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Nikijuluw. V.P.H. 2002. *Rezim Pengelolaan Sumberdaya Perikanan. Kerjasama P3R dan PT*. Pustaka Cidesindo. Jakarta. 54 Hal
- Nontji, A. 2008. *Plankton*. LIPI press, anggota IKAPI. Jakarta
- Noor, A., 2009. *Model Pengelolaan Kualitas Lingkungan Berbasis Daya Dukung (Carrying Capacity) Perairan Teluk bagi Pengembangan Budidaya Keramba Jaring Apung Ikan Kerapu (Studi Kasus di Teluk Tamiang, Kabupaten Kotabaru Propinsi Kalimantan Selatan)*. Disertasi. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor. p 145.
- Nuraji, S., S. Anggoro and H.R. Sunoko. 2015. *Pemanfaatan Makrofit dan Substrat untuk Remediasi dan Pengendalian Limbah di Kawasan Pesisir*. Seminar Ilmiah, Sekolah Pascasarjana Undip, Semarang.
- Nybakken, J.W. 1988. *Biologi Laut : Suatu pendekatan Ekologis*. Gramedia. Jakarta. 480 halaman.
- Nybakken, J.W., 1992. (Terjemahan: H.M. Eidman *et al*) *Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologis*. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Ocean Research Institute, University of Tokyo. 2008. *Searching for new Hormones that Govern Adaptation to Hypertonic marine Environment in Teleost Fish*. Diunduh dari <http://www.ori.u-tokyo.ac.jp/report/e/topics10.html>
- Oide, H dan S. Utida. 1968. *Change in Intestinal Absorbtion and Renal Excretion of Water during Adaptation to Seawater in the Japanese Eel*. In Marine Biology (1, 172-177).
- Olsen, Y. and L.M.Olsen. 2008. *Environmental Impact of Aquaculture on Coastal Planktonic Ecosystems*. In: Tsukamoto et al. (eds.). *Fsiheries for global welfare and environment*, 5th World Fisheries Congress. 181- 196pp.

- Omori, M. 1974. *The Biology of Pelagic Shrimp in the Ocean*. *Adv. Maret. Biol.* 12 : 233 -324
- Parker, R, 2002. *Aquaculture Science*. Delmar, Thomsons Learning Inc. New York.
- Pauli, G. 2010. *The Blue Economy to Years, 100 Innovations, 100 million Jobs*. Paradigm Publ. USA, 308 p.
- Peraturan Pemerintah No. 19 Tahun 1999. *Pengendalian Pencemaran dan/atau Perusakan Laut*.
- Pitcher, T.J dan D. Preikshot. 2001. *RAPFISH: a Rapid Appraisal Technique to Evaluate the Sustainability Status of Fisheries*. *Fisheries Research* 49.
- Potts, WTW and G. Parry. 1963. *Osmotic and Ionic Regulation in Animals*. Pergamon Press, London.
- Prahasta, E., 2013. *Mengelola Peta Dijital. Cara Mendapatkan dan Mengelola Peta Dijital Penting dan Gratis di Internet*. Informatika, Bandung.
- Prastowo, A. 2011. *Metode Penelitian Kualitatif dalam Perspektif Rancangan Penelitian*. Jogjakarta: Ar-Ruzz Media.
- Putra, S. 2013. *Strategi Pertanian Berkelanjutan di Kecamatan Selo Kabupaten Boyolali*. *Jurnal Ilmu Lingkungan UNDIP*. Semarang. Hlm 27-35
- Qur'an Viewer versi 2.9, *Jamal Al-Nasir*, DivinelIslam.com, 2002
- Rachmawani, D. 2007. *Kajian Pengelolaan Ekosistem Mangrove secara Berkelanjutan Kota Tarakan Kalimantan Timur (Studi Kasus Desa Binalatung Kecamatan Tarakan Timur)*. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Rachmansyah, R., 2004. *Analisis Daya Dukung Lingkungan Perairan Teluk Awarange Kabupaten Barru, Sulawesi Selatan bagi Pengembangan Budidaya Bandeng dalam Keramba Jaring Apung*. Disertasi. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor. p 274.

- Radiarta, I N., Erlania, Johan, O., & Sugama, K. 2014b. *Kajian pengembangan sistem budidaya laut ter- integrasi berbasis IMTA (Integrated Multi-Trophic Aquaculture)*. Laporan Teknis Hasil penelitian. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan Budidaya. Tidak dipublikasi, 30 hlm.
- Radiarta, I. Ny., S. E. Wardoyo., B. Priyono dan O. Praseno. 2003. *Aplikasi sistem informasi geografis untuk penentuan lokasi pengembangan Budidaya laut di Teluk Ekas, Nusa Tenggara Barat*. Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia. Pusat Riset Perikanan Budidaya Jakarta. Vol 9 no 1,hal 67 -71.
- Rahardjo. 2011. *Spesifik Akuatik Asing Invasif*. Prosiding Forum Nasional Pemacuan Sumber Daya Ikan III, 18 Oktober 2011.
- Rahayu, A. 2012. *Status Keberlanjutan Kota Batu sebagai Kawasan Agropolitan*. Jurnal Ilmu Lingkungan UNDIP. Semarang. Hlm 17-26
- Ramadhan. 2015. *Studi Kualitas Perairan Teluk Ekas Berdasarkan Komponen Fisika-Kimia*. Pusat Litbang KP Badan Litbang KP. Jakarta
- Rauf, A., I. Junita. 2007. *Kajian Lingkungan Kawasan Industri Perikanan Muncar Banyuwangi Jawa Timur*. Jurnal Kajian Ilmiah Lembaga Penelitian Ubhara Jaya, VIII (1) : 322.
- Red Fish Diving Club. 2012. *Status Kualitas Lingkungan Pesisir Berterumbu Karang di Pantura Jawa Tengah: Monitoring Kawasan Konservasi Laut Batang, Rembang dan Karimunjawa*. Red Fish Diving Club, FPIK UNDIP, Semarang,
- Reid, G.K., Chopin, T., Robinson, S.M.C., Azevedo, P., Quinton, M., & Belyea, E. (2013). *Weight Ratios of The Kelps, Alaria esculenta and Saccharina latissima, required to Sequester Dissolved Inorganic Nutrients and Supply Oxygen for Atlantic Salmon, Salmo salar, in Integrated Multi-Trophic Aquaculture systems*. Aquaculture, 508-409, 34-46.
- Rejauw, K. S. Anggoro dan R. Pribadi. 2015. *Komunitas Lamun di Pulu Auki dan Pulau Wundi, Kepulauan Padaido, Papua*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Undip, Semarang.

- Rejeki, S., 2001. *Pengantar Budidaya Perairan*. Badan Penerbit UNDIP, Semarang.
- Rogers, Jalal and Boyd. 2007. *An Introduction to Sustainable Development*. London: Earthscan, 2008 416 pp. £18.99 paperback.
- Romimohtarto, K. Dan S. Juwana. 2001. *Biologi Laut*. Ilmu Pengetahuan Tentang Biota Laut. Penerbit Djambatan. Jakarta.
- Romimohtarto, K dan Sri Juwana. 2001. *Biologi Laut*. Penerbit Djambatan, Jakarta.
- Ruiz, J.M., M. Perez and J. Romero. 2001. *Effects of Fish Farm Loading on Seagrass (Posidonia oceanica) Distribution, Growth and Photosynthesis*. Marine Pollution Bulletin, 42:749- 760.
- Saaty, T.L. 1993. *Decision Making for Leader The Analytical Hierarchy Process for Decision*. (Pengambilan Keputusan Bagi Para Pemimpin Proses Hierarki Analitik untuk Pengambilan Keputusan dalam Situasi yang Kompleks, diterjemahkan oleh Ir. Liana Setiona, Editor Ir. Kirti Peniwati, M.BA). PT. Pustaka Binaman Pressindo dan PT. Gramedia Pustaka. Jakarta. 270p
- Salmin, S., 2005. *Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) Sebagai Salah Satu Indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan*. Oseana XXX (3), 21-26.
- Satria, A. 2002. *Pengantar Sosiologi Masyarakat Pesisir*. Pustaka Cidesindo, Jakarta.
- Serageldin, I. 1993. *Promoting Sustainable Development to World. New Paradigm Enfollowing the Environmental Proceeding of the First Annual and International Conference and Environmentally Sustainable Development*. Sept. 30 - Dec. 1, 1993
- Sevilla. 1993. *Pengantar Metode Penelitian*. Jakarta : Universitas Indonesia Press
- Shakouri, M. 2003. *Impact of Cage Culture on Sediment Chemistry a Case Study in Mjoifjordur*. Fisheries Training Programme. The United Nations University. 44p.

- Shell, E.W. dan T.F. Lowel, 1993. *The Development of Aquaculture: an Ecosystem Perspective*. Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University. USA.
- Shimomura, O, and F. H. Johnson. 1973. *Mechanism of luminescent oxidation of Cypridina Luciferin*, p: 337 - 344. In M. J. Cormier et, al. (eds). *Chemiluminescence and bioluminescence*. Plenum Press, New York.
- Simon, H.A., (1960). *The New Science of Management Decision*, Harper and Brothers, New York
- Sitorus, S.W., 2013. *Analisis Keberlanjutan Budidaya Udang Vaname (Litopenaeus vannamei) Dalam Pengembangan Kawasan Minapolitan di Beberapa Desa Kecamatan Pantai Cermin Kabupaten Serdang Bedagai Provinsi Sumatera Utara*. Tesis. Program Pascasarjana, Magister Ilmu Lingkungan. Universitas Diponegoro. Semarang. p 171.
- Slamet, B., I.W. Arthana, I.W.B. Suyasa, 2009. *Studi Kualitas Lingkungan Perairan di Daerah Budidaya Perikanan Llaut di Teluk Kaping dan Teluk Pegamatan, Bali*. *Eutrophic* 3 (1): 16-20.
- Soemarwoto, O. 2004. *Buku Ekologi Lingkungan Hidup Dan Pembangunan*. Penerbit Djambatan. Jakarta
- Soemarwoto, O. 2006. *Pembangunan Berkelanjutan: Antara Konsep dan Realitas*. Departemen Pendidikan Nasional Universitas Padjajaran, Bandung.
- Soto, D., Aguillar-Manjarrez, J., Hishamunda, N. (Eds.), 2008. *Building an Ecosystem Approach to Aquaculture*, in: FAO/Universitat de Les Illes Balears Expert Workshop. 7-11 May 2007, Palma de Mallorca, Spain. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings No. 14. FAO, Rome, p. 221.
- Spanish Aquaculture Observatory Foundation (FOESA). 2010. *Defining sustainability indicators for Mediterranean Aquaculture* FOESA, Madrid, Spain 152 pages
- Subandono Diposaptono. 2003. *Pengelolaan sumberdaya pesisir dan lautan sebagai sumber pendapatan asli daerah*. Loka-karya Analisis Performance Pembangunan Jawa Tengah, 5-7 Agustus 2003. Bappeda, Semarang

- Sukmara,A., A.J. Siahainenia dan C. Rotinsulu. 2001. *Panduan Pemantauan Terumbu Karang Berbasis Masyarakat dengan Metoda Manta-Taw*. Proyek Pesisir, Publikasi Khusus. Univ. Of Rhode Island, Coastal Resources Center. Narragansett, Rhode Island.
- Sulistiyono, S.T. 2013. Menjadikan Indonesia sebagai Negeri Bahari yang Berdikari. Konferensi Guru Besar Indonesia (KGBI V), 13-14 September 2013, Yogyakarta
- Sumodiningrat, G. 1990. *Geographic Information System: An Introduction*. Prentice Hall. New Jersey
- Sunoto. 2009. *Arah Kebijakan Konsep Pengembangan Minapolitan di Indonesia*. Kementerian Kelautan dan Perikanan. Jakarta
- Supito dan S. Anggoro. 2012. *Pemanfaatan Makrofitas untuk Pengendalian Limbah dan Perbaikan Kualitas Air Pertambakan*. Seminar Hasil Penelitian Tesis. Program Magister Manajemen Sumberdaya Pantai, Undip, Semarang.
- Susana, T., 2004. Sumber Polutan Nitrogen dalam Air Laut. *Oseana* XXIX (3), 25-33.
- Susilo, S.B, 2003. *Keberlanjutan Pembangunan Pulau-Pulau Kecil: Studi Kasus Kelurahan Pulau Panggang dan Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta*. Disertasi. Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Susana, T., 2004. *Sumber Polutan Nitrogen dalam Air Laut*. *Oseana* XXIX (3), 25-33.
- Sutarmat, T, A. Hanafi, K. Suwarya, S. Ismi, Wadoyo, S. Kawahara. 2003. *Pengaruh beberapa jenis pakan terhadap performa ikan kerapu bebek (*Cromileptes altivelis*) di keramba jaring apung*. *Jurnal Penelitian Perikanan Indoenesia*. Edisi Akuakultur. Badan Riset Kelautan dan Perikanan Departemen Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia, Jakarta.
- Sutomo, S., 2013. *Struktur Komunitas Fitoplankton di Perairan Teluk Sekotong dan Teluk Kodek, Kabupaten Lombok*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* 5 (1), 131-144.

- Syahri, M., S. Anggoro dan A. Suryapranata. 2012. *Status Kualitas Lingkungan Perairan Estuaria dan Mangrove di Pantura dan Pansel Jawa Tengah: Tinjauan dari Aspek Trofik-saprobik perairan*. MMSDP FPIK Undip, Semarang.
- Syamsul M.. 2010. *Eksplorasi dan Eksploitasi Potensi Maritime Indonesia Menuju Bangsa Yang Mandiri, Makmur, Sejahtera, Kuat dan Berdaulat*. Kapasgama-Nadi Press, Yogyakarta, p: 13-24.
- Sya'rani, L. 1980. *Terumbu Karang: Ekosistem dan Pengelolannya*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Tampubolon, L., I. Sulistyowati dan S. Anggoro. 2013. *Pengelolaan Sumberdaya Laut Berbasis Konservasi Ekosistem: Kasus Pengembangan Fish Sanctuary Karangjeruk dan Kawasan yang memperoleh Manfaatnya*. DIE-PPS Undip. Semarang.
- Taslim. 2007. *Indeks Keberlanjutan Ekologi-Teknologi Ekosistem Terumbu Karang di Selat Lemeh Kota Bitung. Pusat Riset Wilayah Laut dan Sumberdaya Non Hayati*. Badan Riset Kelautan dan Perikanan. DKP RI. Jakarta
- Team Teaching Fakultas Pertanian UGM. 2011. *Manajemen Marikultur*. Bahan Ajar Mata Kuliah. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta. Hlm 4-9
- Tiskiantoro. F.2006. *Analisis Kesesuaian Lokasi Budidaya Karamba Jaring Apung Dengan Aplikasi Sistem Informasi Geografis Di Pulau Karimunjawa Dan Pulau Kemujan*. Tesis. Universitas Diponegoro Semarang.
- Tjaturahono, B. S. 2012. *Perubahan spasial Delta Bodri sebagai bsis zonasi tata ruang pesisir dan laut Kabupaten Kendal*. Disertasi Doktor Prodi Manajemen Sumberdaya Pantai PPS-FPIK Undip, Semarang.
- Triatmojo, Bambang. 2009. *Perencanaan Pelabuhan*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Tuwo, Ambo. 2011. *Dampak Perubahan Iklim Global terhadap Ekosistem Pesisir dan Laut*. Forum Mitra Bahari, Horizon Hotel Semarang, 21 Oktober 2011.

- Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1994 *Tentang Pengesahan United Nations Convention on Biological Diversity (Konvensi Persekitaran Bangsa-Bangsa Mengenai Keanekaragaman Hayati*. Jakarta
- Undang-Undang RI Nomor 32 Tahun 2009 *Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- Undang-Undang Negara RI Nomor 1 Tahun 2014 tentang Perubahan atas UU Nomor 27 Tahun 2007 *Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil*. Jakarta.
- Verawati. 2016. *Analisis Kualitas Air di Teluk Lampung*. Program Magister Teknik Sipil. Universitas Lampung. Bandar Lampung
- Wagey, G.A., 2002. *Ecology and Physiology of Phytoplankton in Ambon Bay Indonesia*. Ph.D Tesis. Department of Earth and Ocean Sciences, Oceanography. University of British Columbia. Vancouver. USA. 185 p.
- Wardjan, Y., 2005. *Seleksi lokasi dan estimasi daya dukung lingkungan perairan untuk budidaya ikan kerapu teknik keramba jaring apung di perairan Pulau Panikiang Kabupaten Barru, Sulawesi Selatan*. Tesis. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Waterman, T. H. 1961. *The Physiology of Crustacea*, Academic Press, London.
- WCED. 1998. *Our Common Future*. (Hari Depan Kita Bersama, diterjemahkan oleh Bambang Sumantri). PT. Gramedia. Jakarta. 514p
- Wheeler, S. and Beatley, T. 2004. *“Introduction to Chapter 7” from Agenda 21 (1192). And the “Istanbul Declaration on Human Settlements”*. The Sustainable Urban Development Reader. The Routledge Urban Reader Series. New York, NY.
- Widodo, A.S. 2013. *Pembangunan Maritim Indonesia, Implementasi Azas Negara Kepulauan*. Konferensi Guru Besar Indonesia (KGBI V), 13-14 September 2013, Yogyakarta.
- Wittes, T. 2000. *Marine Ecology, pollution and environment*. W.B. Saunders Co. Philadelphia.

- Wurts, W. A. 1987. *Osmoregulation, Red Drum, and Euryhaline Fish: Environmental Physiology*. In: Wurts, W. A. 1987. An evaluation of specific ionic and growth parameters affecting the feasibility of commercially producing red drum (*Sciaenops ocellatus*). Doctoral dissertation. Texas A&M University, College Station, TX. 1987. Diunduh dari [www.ca.uky.edu/wkrec/Wurtspage.htm](http://www.ca.uky.edu/wkrec/Wurtspage.htm)
- Young, R.E. 1975. Function of the Dimorphic Eyes in the Midwater Squid, *Histioteuthis dofleini*. *Pac. Sci.* 29 (2) : 211 - 218
- Zieman, J.C. 2004. *Coastal and Marine Ecosystem Management Procedures*. Academic Press., New York.

# LAMPIRAN

## Lampiran 1. Ikan Laut Dalam

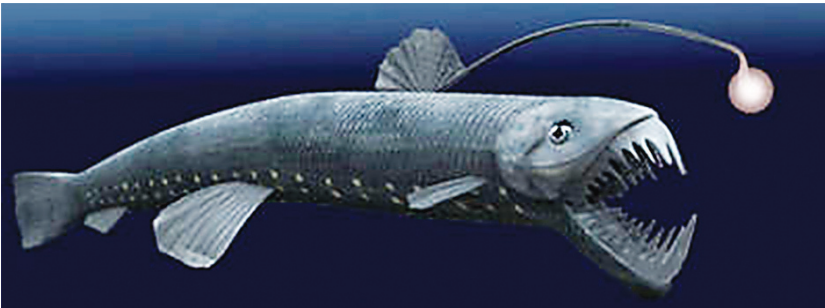
<http://www.oceana.org>

### **Chauliodus macouni**

Se han encontrado a profundidades de más de 4.000 metros. Tienen más de 300 órganos que producen luz a lo largo de su cuerpo, boca y en el pedúnculo que algunas especies tienen en su aleta dorsal.

La mandíbula es tan grande que debe dislocarla para poder tragar a sus presas.

Tamaño: 25 centímetros.

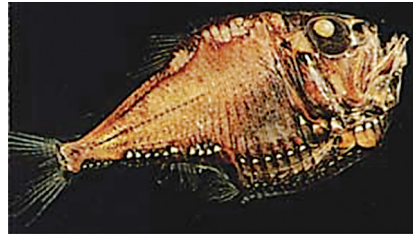


## **Melanocetus johnsoni**

Atrae a sus presas con una luz bioluminiscente sobre su cabeza. Su color rojo le hace virtualmente invisible. Los machos son infinitamente menores que las hembras. En muchas especies de rapas de profundidad los machos acaban viviendo como parásitos de las hembras.

Tamaño: Hembras 15 centímetros; machos menos de un centímetro.



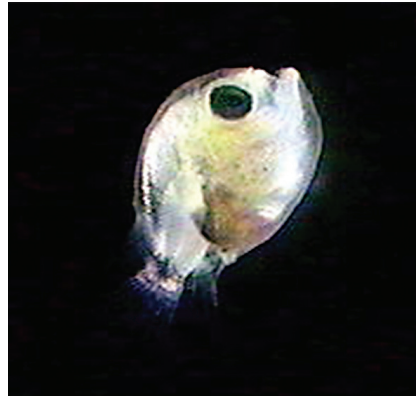


*Myctophidae sp*

*Linophryinidae sp*



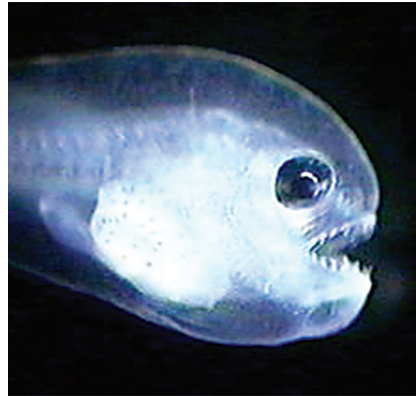
*Canthigaster sp*



*Ceratoidei sp.*



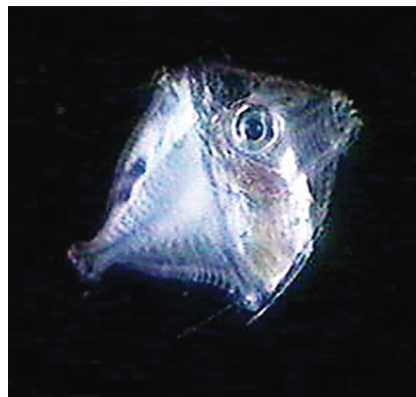
*Sterroptyx sp.*



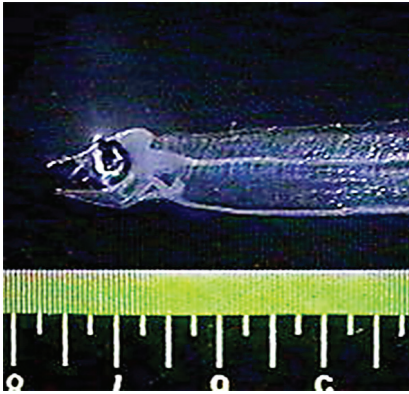
*Linophryinae sp.*



*Ceratoidei sp*



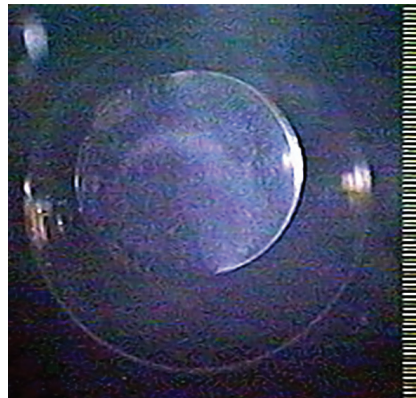
*Acanthuridae sp*



*Anguilla marmorata*

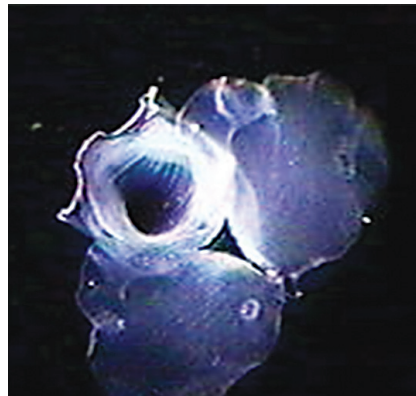


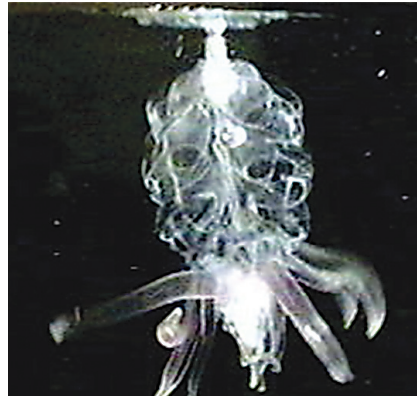
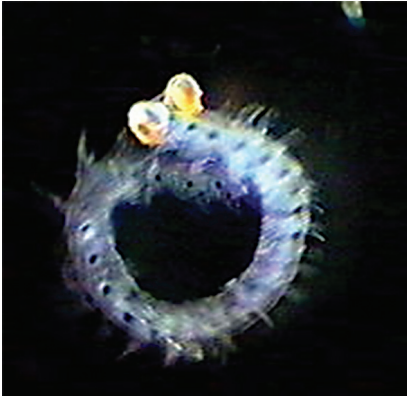
*Anguilla marmorata*



## Lampiran 2. Jasad Renik

<http://www.oceana.org>

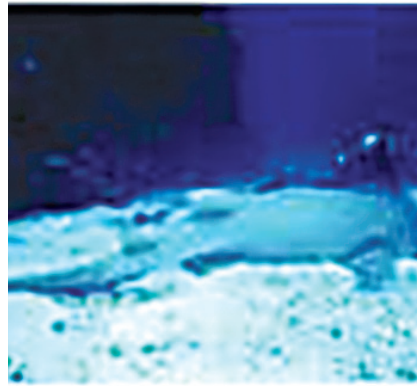




### Lampiran 3. Biota Bawah Laut (Echinoderm)

<http://www.oceana.org>





*Caranguejo*

*Siri*



*Isópode gigante*



*Estrela-do-mar*

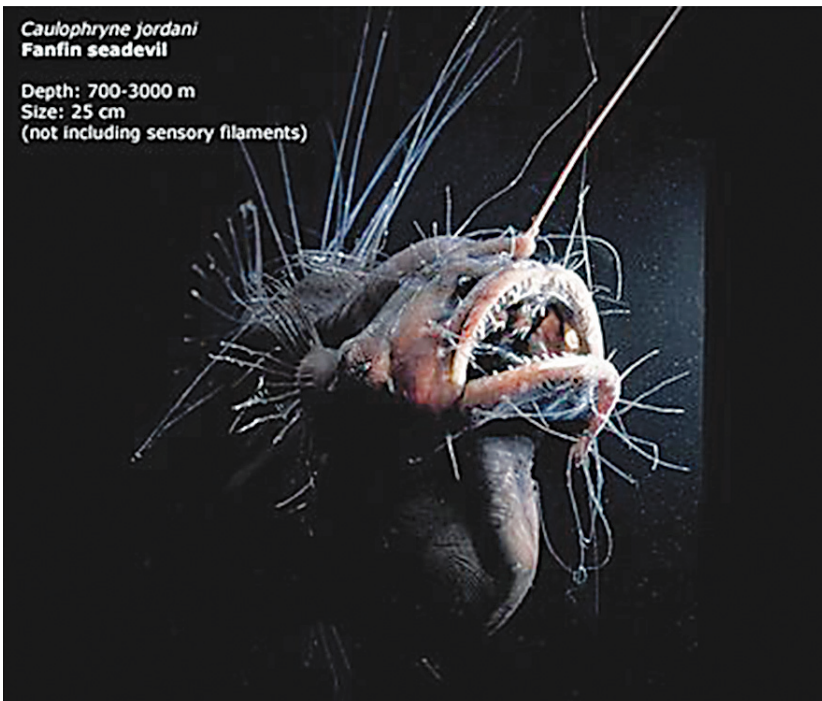


*Enguia*

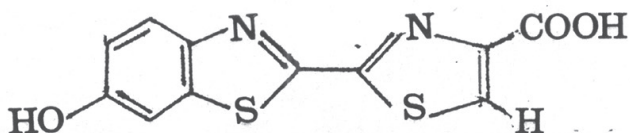


*Peixe morcego*

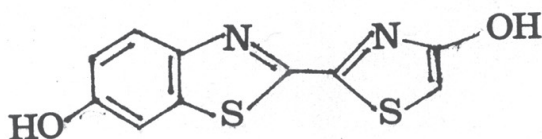




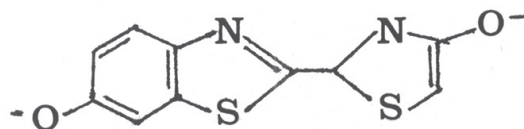
Lampiran 4. Rumus Bangun Dehydroluciferin,  
Oxyluciferin dan L(O-Dianion)



DEHYDROLUCIFERIN



OXYLUCIFERIN

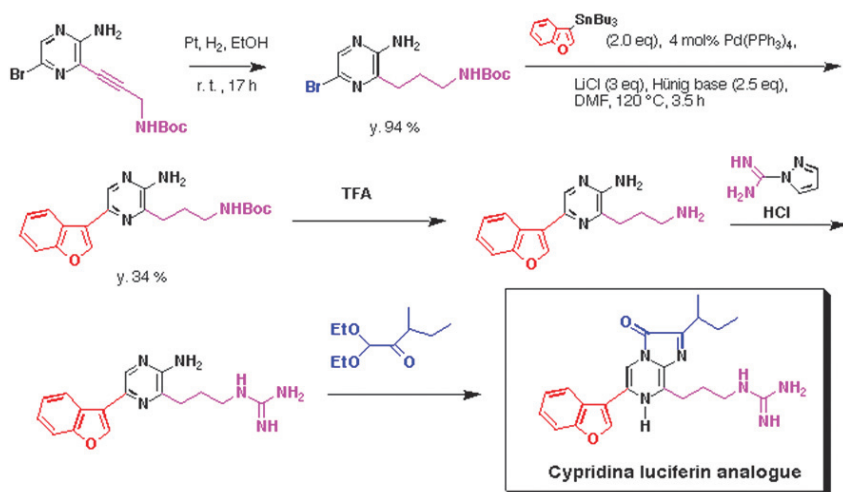


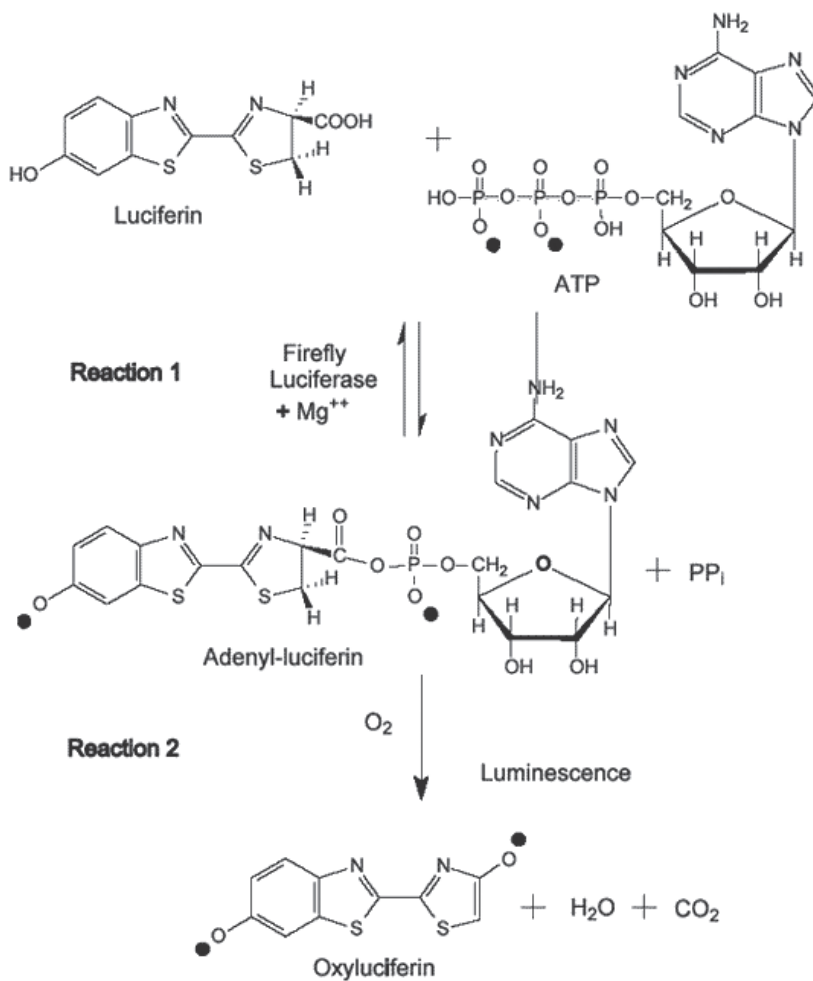
L(O Dianion)

Sumber : Anderson (1973)

## Lampiran 5. Mekanisme Bioluminesens

### Synthesis of Cypridina luciferin analogue





## How Bioluminescence Works Luciferin and Luciferase



In bioluminescence, a **luciferin** produces light, and a **luciferase** allows the light-producing chemical reaction to take place.



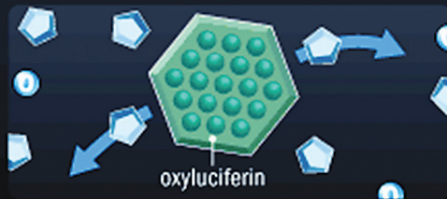
In this reaction, the luciferase acts as a catalyst.



The luciferase allows oxygen to combine with the luciferin.



This reaction produces photons of light...



and the oxidized luciferin becomes inactive oxyluciferin.

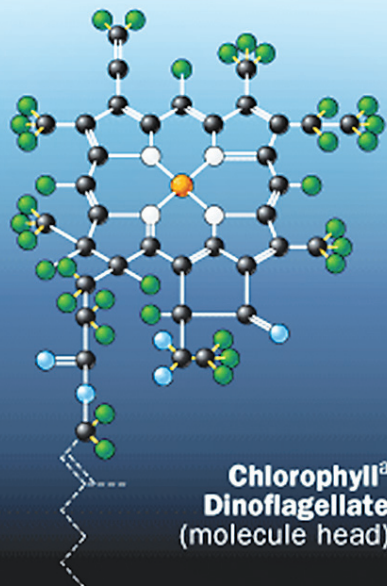
©2006 HowStuffWorks

## How Bioluminescence Works

©2006 HowStuffWorks



- |                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| <b>C</b> Carbon   | <b>Me</b> Methyl    |
| <b>H</b> Hydrogen | <b>Na</b> Sodium    |
| <b>O</b> Oxygen   | <b>Mg</b> Magnesium |
| <b>N</b> Nitrogen |                     |



## TENTANG PENULIS

### Sri Puryono

**Dr. Ir. Sri Puryono Karto Soedarmo, MP**, penulis buku ini, menjabat sebagai Sekretaris Daerah Provinsi Jawa Tengah sejak 2013. Lahir di Kecamatan Tanon, Sragen, Jawa Tengah 29 Februari 1960, ia lulus sarjana Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta 1984, lulus Pascasarjana S-2 Manajemen Hutan di almamater yang sama pada 1993, dan pada 2009 menyelesaikan studi Program Doktor Manajemen Sumber Daya Pantai Universitas Diponegoro Semarang. Alumni PPSA XX Lemhannas RI Tahun 2015 ini mengawali karier dari Kasi Inventaris Hutan Kanwil Kehutanan Provinsi Jambi pada 1988. Beberapa jabatan sebelum menjadi Sekretaris Daerah antara lain sebagai Kepala Bidang Pengusahaan Hutan Kanwil Departemen Kehutanan Provinsi Jawa Tengah pada 1998, Wakil Kepala Dinas Kehutanan 2004, Kepala Dinas Kehutanan 2006, dan Asisten Ekonomi & Pembangunan Sekretaris Daerah Provinsi Jawa Tengah pada 2012.



Bukunya yang telah terbit, *Mengelola Laut untuk Kesejahteraan Nelayan* (2016), berada di latar yang senada dengan komitmen perhatian dan keberpihakan penulis terhadap hutan mangrove. Sri Puryono memadukan pengalamannya sebagai seorang birokrat berlatar belakang pengembangan akademik dalam bidang kehutanan dan lingkungan.

## Sutrisno Anggoro

**Prof. Dr. Ir. Sutrisno Anggoro, MS** dilahirkan di Klaten pada tanggal 11 Desember 1952. Penulis merupakan anak pertama dari enam bersaudara pasangan Bapak H. Palil Koesnoprawoto (alm) dan Ibu Hj Rr Soekati (Alm). Jenjang pendidikan penulis adalah SD Negeri Tarubasan Klaten (1999); SLTP Negeri Karangnom Klaten, (lulus tahun 1968); SMA Negeri Jatinom Klaten (lulus tahun 1970); Jurusan Perikanan, Fakultas Peternakan dan Perikanan Universitas Diponegoro berafiliasi dengan Institut Pertanian Bogor (lulus tahun 1977). Pendidikan S2 dan S3 diperoleh di Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor (IPB) dalam bidang Ilmu Perairan, lulus masing-masing pada tahun 1988 dan 1992 dengan predikat Cumlaude. Pendidikan tambahan dalam bidang Pengelolaan Sumberdaya Agromarin diperoleh dari SEARCA- UPLB Los Banos tahun 1986 dan Kagoshima University pada tahun 1996. Jabatan akademik selaku Guru Besar Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Undip dikukuhkan pada tahun 2001. Jabatan struktural yang pernah diemban di Undip, antara lain pernah menjabat sebagai: Sekretaris Jurusan Perikanan, Pembantu Dekan di Fakultas Peternakan dan Perikanan, Dekan Fakultas Perikanan & Ilmu Kelautan, Ketua Program S2 dan S3 Manajemen Sumberdaya Pantai, dan saat



ini menjabat Ketua Laboratorium Pengelolaan Sumberdaya Perikanan. Selama bertugas sebagai dosen di Universitas Diponegoro, penulis mengajar di jenjang S1, S2 dan S3, serta menekuni bidang pengelolaan pesisir dengan konsentrasi: ekofisiologi, tataruang, pemodelan ekosistem, hidro-oseanografi dan manajemen sumberdaya akuatik. Karya ilmiahnya banyak dipublikasikan di Jurnal Nasional serta Jurnal Internasional Bereputasi.

## Irwan S. Anwar

**IRWAN SYADIDUL ANWAR**, Lahir di Ciamis 03 Agustus 1974. Penulis merupakan alumni Magister Double Degree Program Manajemen Sumberdaya Pantai Fakultas Pascasarjana Universitas Diponegoro. Program Beasiswa Unggulan Departemen Pendidikan. Mulai 17 September 2007 dan lulus tahun 2009.



Pendidikan yang pernah ditempuh antara lain Akta Mengajar (Akta IV) dari Institut Agama Islam Latifah Mubarokiyah (IAILM) Tasikmalaya. Lulus Juli 2004 dan Sarjana Perikanan (S1) Universitas Padjadjaran (UNPAD) Fakultas Pertanian Jurusan Perikanan. Bandung. Lulus 13 Februari 1998.

Pekerjaan saat ini adalah Guru di SMK Negeri I Pangandaran (SMKN Kelautan Pangandaran).

Buku-buku yang pernah ditulisnya, antara lain:

1. Padang Lamun (*Sea Grass*). Serie Kelautan dan Perikanan. Program Magister Manajemen Sumberdaya Pantai Universitas Diponegoro. Semarang. 2008
2. Laut Dalam (*Sea Deep*). Serie Kelautan dan Perikanan. Program Magister Manajemen Sumberdaya Pantai Universitas Diponegoro. Semarang. 2008
3. Pengelolaan Usaha Penangkapan dengan Kapal dan Alat Tangkap Longline. Makalah Lomba Keterampilan Siswa (LKS) Tingkat Jawa Barat Tahun 2005 di Subang. April 2005

4. Petunjuk teknis tanaman buah - buahan. Kerjasama dengan Bagian Proyek Pemberdayaan Penyuluhan Pertanian. September 2003
5. Standar Kelayakan Laut, tidak diterbitkan. Bahan Pelajaran SMKN Pangandaran. Januari 2003.
6. Hukum Laut dan Perkapalan, tidak diterbitkan. Bahan Pelajaran SMKN Pangandaran. Januari 2003.
7. Budidaya Ikan Sepat (*Tricogaster pectoralis*) kerjasama dengan CV Angkasa. Belum diterbitkan. Desember 2002
8. Pengaruh tempat asal pemeliharaan terhadap ketahanan hidup bandeng (*Chanos chanos* Forskal) sebagai umpan pada rawai tuna. Skripsi di bawah bimbingan Dr. Ir. Dulmi'ad Iriana, Ir. Masyamsir, MS dan Priyanto Rahardjo, MS. Lulus 13 Februari 1998.
9. Modifikasi trammel net untuk meningkatkan hasil penangkapan. Diterbitkan pada Majalah Perikanan TEChner Jakarta. Edisi 26 Juli 1996
10. Pengaruh penggunaan rantai penggugah (*Tickler chain*) terhadap hasil tangkapan jaring trammel. Lomba karya tulis ilmiah tingkat Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran. Februari 1995. Pembimbing Ir. Masyamsir, MS dan Ir. Gunawan Setiadharna.

## Suryanti

**Dr. Ir. Suryanti, M.Pi** dilahirkan di Sragen pada tanggal 6 Juli 1965. Putri dari Bapak Darso Kartono dan ibu Hj Suwarni (Alm). Jenjang pendidikan SD, SMP, MAN di Sragen. Tahun 1984 Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Perikanan Fakultas Peternakan Universitas Diponegoro.



Pendidikan S2 dan S3 di peroleh di Sekolah Pascasarjana Manajemen Sumberdaya Pantai, Fakultas perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro (Undip), lulus masing-masing 2002 dan 2010 dengan judul Disertasi “Degradasi Pantai Berbasis Ekosistem di Kepulauan Karimunjawa” dengan Predikat Cumlaude dan Terbaik. Penulis bekerja sebagai Dosen di Sekolah Tinggi Ilmu Perikanan Kalinyamat Jepara (tahun 1991 - 2002), tahun 1996 diangkat sebagai Ketua Program S1 Cold Storage, sedangkan pada tahun 1999 - 2002 diangkat sebagai Pembantu Dekan II STIPI APRIKA Jepara.

Tahun 2002 - sekarang Penulis sebagai Dosen aktif Di Departemen Sumberdaya Akuatik FPIK Undip. Jabatan Akademik penulis diangkat sebagai Sekretaris Laboratorium (tahun 2011 - 2015) dan pada tahun 2015 mendapat amanah sebagai Sekretaris Departemen Sumberdaya Akuatik serta sebagai Koordinator Laboratorium Pengelolaan Sumberdaya Ikan dan Lingkungan sampai saat ini di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Undip, serta aktif dalam penulisan jurnal nasional maupun internasional.