



# Kondisi Lingkungan **PESISIR & PERAIRAN**

Probolinggo, Jawa Timur



Editor

Fahmi

Dwi Eny Djoko Setyono





Kondisi Lingkungan

# **PESISIR & PERAIRAN**

Probolinggo, Jawa Timur



Dilarang mereproduksi atau memperbanyak seluruh atau sebagian dari buku ini dalam bentuk atau cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

© Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang No. 28 Tahun 2014

*All Rights Reserved*



---

Kondisi Lingkungan  
**PESISIR & PERAIRAN**  
Probolinggo, Jawa Timur



---

Editor  
Fahmi  
Dwi Eny Djoko Setyono

LIPI Press

© 2015 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)  
Pusat Penelitian Oseanografi

Katalog dalam terbitan

Kondisi Lingkungan Pesisir dan Perairan Probolinggo, Jawa Timur/Fahmi dan Dwi Eny Djoko Setyono (Ed.).-Jakarta: LIPI Press, 2015.

xvi + 190 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-979-799-841-7

1. Pesisir

2. Perairan

3. Probolinggo

577.78

*Copy editor* : Kamariah Tambunan  
*Proofreader* : Prapti Sasiwi dan Fadly Suhendra  
*Penata Isi* : Astuti Krisnawati, Rahma Hilma T., dan Dhevi E.I.R. Mahelingga  
*Desainer sampul* : Dhevi E.I.R. Mahelingga

Cetakan pertama : Desember 2015



Diterbitkan oleh:  
LIPI Press, anggota Ikapi  
Jln. Gondangdia Lama 39, Menteng, Jakarta 10350  
Telp: (021) 314 0228, 314 6942. Faks.: (021) 314 4591  
*E-mail*: [press@mail.lipi.go.id](mailto:press@mail.lipi.go.id)  
*Website*: [lipipress.lipi.go.id](http://lipipress.lipi.go.id)  
 LIPI Press  
 @lipi\_press

# DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
PENGANTAR PENERBIT .....	xiii
PRAKATA .....	xv
BAB I PENDAHULUAN	
<i>Fahmi</i> .....	1
BAB II MORFOLOGI DASAR LAUT PERAIRAN PESISIR	
<i>M. Hasanudin</i> .....	7
BAB III SEBARAN KLOOROFIL-A DAN PRODUKTIVITAS PRIMER FITOPLANKTON DI PERAIRAN PESISIR	
<i>Afdal dan Yustian Rovi Alfiansah</i> .....	15
BAB IV KELIMPAHAN DAN DOMINANSI FITOPLANKTON DI PERAIRAN	
<i>Nurul Fitriya dan Hikmah Thoha</i> .....	29
BAB V KOMUNITAS ZOOPLANKTON DI PERAIRAN	
<i>Nurul Fitriya</i> .....	41
BAB VI KOMUNITAS MAKROALGA <i>INDIGENOUS SPECIES</i> DAN <i>INTRODUCED SPECIES</i> DI PERAIRAN PULAU KETAPANG	
<i>Achmad Kadi</i> .....	57
BAB VII BAKTERI PENCEMAR DI PERAIRAN	
<i>Lies Indah Sutiknowati</i> .....	75

BAB VIII PENGARUH KEGIATAN ANTROPOGENIK TERHADAP KONSENTRASI LOGAM BERAT TERLARUT DI PERAIRAN <i>Fitri Budiyanto dan Lestari</i> .....	91
BAB IX KONSENTRASI Cd, Cu, Pb, DAN Zn DALAM SEDIMEN DI PERAIRAN <i>Lestari dan Fitri Budiyanto</i> .....	101
BAB X DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP SEBARAN ENDAPAN SEDIMEN DI PESISIR <i>Helfnalis</i> .....	113
BAB XI PENGARUH BANJIR PASANG TERHADAP SALINITAS SUMUR DI DAERAH PANTAI <i>Nurhayati</i> .....	123
BAB XII DINAMIKA PESISIR PROBOLINGGO BERDASARKAN KAJIAN LITOLOGI DAN BUKTI POLINOMORF <i>Yunia Witasari dan Ricky Rositasari</i> .....	133
BAB XIII STATUS DAN REVITALISASI TAMBAK <i>Suyarso</i> .....	147
BAB XIV APLIKASI SISTEM INFORMASI GEOGRAFI UNTUK PEMETAAN GENANGAN ROB DENGAN STUDI KASUS <i>Bayu Prayudha dan Suyarso</i> .....	163
BAB XV PENUTUP <i>Dwi Eny Djoko Setyono</i> .....	179
INDEKS.....	181
BIOGRAFI PENULIS.....	183
BIOGRAFI EDITOR.....	189

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Rata-rata dan Kisaran Konsentrasi Klorofil-a, Laju Fotosintesis, Laju Respirasi, NPP dan Seston di Perairan Probolinggo, Maret dan Juni 2012 .....	20
Tabel 4.1 Taksa Predominan Fitoplankton di Perairan Probolinggo, Maret dan Juni 2012.....	35
Tabel 5.1 Kelimpahan Zooplankton di Perairan Probolinggo, Maret 2012.....	45
Tabel 5.2 Kelimpahan Zooplankton di Perairan Probolinggo, Juni 2012.....	46
Tabel 6.1 Korelasi <i>Indigenous Species</i> dengan <i>Introduced Species</i> ( $r_s$ ) Beserta Faktor Lingkungan .....	66
Tabel 7.1 Kepadatan Bakteri Koli pada Perairan Laut Probolinggo dalam MPN/100 mL, Maret 2013 .....	78
Tabel 7.2 Jenis Bakteri Patogen yang Ditemukan dan Diisolasi dari Perairan Probolinggo, Maret 2013.....	81
Tabel 7.3 Konsentrasi Bakteri Heterotrofik dan Halotoleran (upk/ml) di Perairan Probolinggo, Jawa Timur pada Bulan Maret 2013 .....	85
Tabel 8.1 Konsentrasi Logam Berat Terlarut dalam Air Laut di Perairan Pesisir Probolinggo, Jawa Timur, Maret dan Juni 2012.....	94
Tabel 8.2 Kondisi Salinitas dan Suhu Air di Tambak .....	95
Tabel 9.1 Konsentrasi Logam Berat dalam Sedimen di Perairan Pantura Probolinggo, Jawa Timur, Maret dan Juni 2012.....	104

Tabel 9.2	Perbandingan Konsentrasi Logam Berat (mg/kg bobot kering) dalam Sedimen di Perairan Probolinggo dengan Beberapa Perairan Lainnya di Indonesia .....	108
Tabel 10.1	Umur Sedimen dari masing-masing Lapisan dari Permukaan Hingga Ketebalan 48 cm di Dasar Perairan Pantai Desa Kalibuntu .....	118
Tabel 12.1	Interpretasi Lingkungan Pengendapan Berdasarkan Komposisi Sedimen .....	140
Tabel 12.2	Lingkungan Pengendapan Wilayah Pesisir Probolinggo Berdasarkan Kandungan Polen .....	143
Tabel 13.1	Data Suhu, Salinitas, Densitas, Oksigen, pH dan Turbiditas Perairan Probolinggo, September 2013 .....	153
Tabel 13.2	Perbedaan Suhu dan Salinitas Perairan Probolinggo pada Musim Barat dan Musim Timur.....	153
Tabel 13.3	Luas Penutup Lahan yang Meliputi Area Mangrove, Pertambakan dan Hilir Sungai di Pesisir Probolinggo (dalam satuan hektar).....	159
Tabel 14.1	Luas Bentuk Lahan Kabupaten Probolinggo .....	168
Tabel 14.2	Analisis Statistik Data DEM .....	173
Tabel 14.3	Luas Zonasi Genangan Kabupaten Probolinggo Per-Kecamatan .....	174
Tabel 14.4	Luas Potensi Genangan Kabupaten Probolinggo pada Tiap Penggunaan Lahan Per Wilayah Administrasi .....	175

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Lintasan Perekaman Data Batimetri .....	8
Gambar 2.2	Peta Kedalaman Perairan Pesisir Probolinggo (2D) .....	9
Gambar 2.3	Peta Kedalaman Perairan Pesisir Kota Probolinggo (3D) ..	9
Gambar 2.4	Profil Kedalaman A–B .....	10
Gambar 2.5	Profil Kedalaman C–D .....	11
Gambar 2.6	Profil Kedalaman E–F.....	11
Gambar 2.7	Profil Kedalaman G–H.....	12
Gambar 2.8	Profil Melintang Kedalaman I–J.....	13
Gambar 3.1	Stasiun Penelitian di Perairan Pesisir Probolinggo, Maret dan Juni 2012.....	17
Gambar 3.2	Sebaran Klorofil-a di Perairan Pesisir Probolinggo pada Bulan Maret dan Juni 2012.....	19
Gambar 3.3	Sebaran Produktivitas Primer Fitoplankton di Perairan Pesisir Probolinggo, pada Bulan Maret dan Juni 2012 ...	22
Gambar 4.1	Lokasi Penelitian di Perairan Probolinggo, Maret dan Juni 2012.....	30
Gambar 4.2	Kelimpahan Fitoplankton di Perairan Probolinggo, 2012 .....	32
Gambar 4.3	Komposisi Fitoplankton di Perairan Probolinggo, (a) Maret dan (b) Juni 2012 .....	34
Gambar 5.1	Peta Lokasi Penelitian Zooplankton di Perairan Probolinggo, 2012 .....	42
Gambar 5.2	Komposisi Zooplankton di Perairan Pesisir Probolinggo, Maret (atas) dan Juni (bawah) 2012 .....	44

Gambar 5.3	Kelimpahan Zooplankton di Perairan Randutatah, Probolinggo, 2012 .....	48
Gambar 5.4	Komposisi Zooplankton di Perairan Randutatah, Probolinggo, Maret (atas) dan Juni (bawah) 2012 .....	49
Gambar 5.5	Kelimpahan Zooplankton di Kalibuntu, Probolinggo, 2012 .....	49
Gambar 5.7	Kelimpahan Zooplankton di Gending, Probolinggo, 2012 .....	52
Gambar 5.6	Komposisi Zooplankton di Perairan Kalibuntu, Probolinggo, Maret (atas) dan Juni (bawah) 2012 .....	52
Gambar 5.8	Komposisi Zooplankton di Perairan Gending, Probolinggo, Maret (atas) dan Juni (bawah) 2012 .....	53
Gambar 6.1	Peta lokasi penelitian makroalga di Pulau Gili Ketapang	59
Gambar 6.2	Kekayaan <i>Indigenous</i> dan <i>Introduced Species</i> Makroalga di Masing-Masing Stasiun (St) di Perairan P. Ketapang..	61
Gambar 6.3	Kepadatan <i>Indigenous</i> dan <i>Introduced Species</i> Makroalga di Masing-Masing stasiun di Perairan Pulau Ketapang ...	63
Gambar 7.1	Lokasi Pengambilan Sampel di Perairan Tongas, Probolinggo, Maret 2013.....	76
Gambar 7.2	Lokasi Pengambilan Sampel di Perairan Paiton, Probolinggo, Maret 2013.....	76
Gambar 8.1	Posisi Pengambilan Sampel di Perairan laut Probolinggo	92
Gambar 9.1	Lokasi Pengambilan Sampel di Perairan Probolinggo, Jawa Timur, 2012 .....	102
Gambar 9.2	Grafik Konsentrasi Rata-Rata Logam Berat (mg/kg) dalam Sedimen Permukaan di Perairan Pantura Probolinggo, Jawa Timur, Maret dan Juni 2012 .....	105
Gambar 9.3	Grafik Konsentrasi Logam Berat (mg/kg) dalam Sedimen Permukaan di Perairan Desa Randutatah Pantura Probolinggo, Jawa Timur, Maret dan Juni 2012.....	106
Gambar 9.4	Grafik Konsentrasi Logam Berat (mg/kg) dalam Sedimen Permukaan di Perairan Desa Kalibuntu Pantura Probolinggo, Jawa Timur, Maret dan Juni 2012.....	106
Gambar 9.5	Grafik Konsentrasi Logam Berat (mg/kg) dalam Sedimen Permukaan di Perairan Desa Gending Pantura Probolinggo, Jawa Timur, Maret dan Juni 2012 .....	107
Gambar 10.1	Peta Lokasi Penelitian .....	114

Gambar 10.2	Pantai Kalibuntu.....	116
Gambar 10.3	Pantai Kalibuntu Saat Sehari Setelah Terjadi Banjir Bandang.....	116
Gambar 10.4	Bambu yang Dibenamkan di Pantai untuk Mencegah Abrasi di Pantai Desa Gending .....	117
Gambar 10.6	Beting Pasir di Muara Sungai Pantai Gending.....	117
Gambar 10.7	Peta Lokasi dan Stasiun Penelitian Sedimen Tambak Kalibuntu Maret 2012.....	119
Gambar 10.6	Peta Lokasi dan Stasiun Penelitian Sedimen Tambak, Maret 2012.....	119
Gambar 10.8	Peta Lokasi dan Stasiun Penelitian Sedimen Tambak Desa Gending Maret 2012.....	119
Gambar 10.9	Kedalaman Dasar Perairan Desa Kalibuntu, Kabupaten Probolinggo.....	120
Gambar 10.10	Kedalaman dasar Perairan Desa Gending, Kabupaten Probolinggo.....	120
Gambar 11.1	Peta Daerah Penelitian Air Sumur di Sekitar Pesisir Probolinggo, Februari 2013.....	126
Gambar 11.2	Nilai kandungan Garam Air Sumur atau Salinitas (dalam Satuan ppt) pada Daerah Pemukiman Penduduk di Sepanjang Pesisir Utara Probolinggo, bulan Februari 2013. RT: Randutatah; KB: Kalibuntu, PK: Pondok Kelor, dan G: Gending.....	126
Gambar 11.3	Peta Sebaran Sumur dan Nilai Salinitas (dalam ppt) pada Setiap Desa di Sekitar Pesisir Utara Probolinggo, Februari 2013 .....	127
Gambar 12.1	Lokasi Pengambilan Sampel Sedimen.....	135
Gambar 12.2	Polen dan Spora dari Pesisir Probolinggo .....	137
Gambar 12.3	Pantai Kalibuntu Saat Pasang Tinggi, Juni 2012.....	140
Gambar 12.4	<i>Sandbar</i> Purba di Pantai Paiton.....	142
Gambar 12.5	<i>Sandbar</i> Modern di Pantai Paiton (Randutatah) .....	142
Gambar 12.6	Interpretasi Lingkungan Pengendapan Berdasarkan Litologi (Tanpa Skala) .....	144
Gambar 13.1	Peta Lokasi Penelitian .....	148
Gambar 13.2	Pola Pasang Surut di Probolinggo, Hasil Pengukuran 5 Mei hingga 11 Mei 2012.....	151
Gambar 13.3	Pola Pasang Surut di Probolinggo, Berdasarkan Data Ramalan Pasang-Surut oleh Dishidros TNI AL 5 Mei hingga 4 Juni 2012.....	152

Gambar 13.4	Irisan Menegak Suhu (°C) pada Sisi Barat dan Timur di Perairan Probolinggo, September 2013 .....	154
Gambar 13.5	Irisan Menegak Salinitas (psu) pada Sisi Barat dan Timur di Perairan Probolinggo, September 2013.....	154
Gambar 13.6	Irisan Menegak Oksigen (ml/l) pada Sisi Barat dan Timur di Perairan Probolinggo, September 2013.....	155
Gambar 13.7	Grafik Suhu-Densitas dan Salinitas-Densitas sebagai Indikator Karakteristik Perairan Sisi Timur Probolinggo (sta 1–5), September 2013 .....	156
Gambar 13.8	Grafik Suhu-Densitas dan Salinitas-Densitas sebagai Indikator Karakteristik Perairan Sisi Barat Probolinggo (sta 6–8), September 2013 .....	156
Gambar 13.9	Peta Penutup Lahan Pesisir Kabupaten Probolinggo .....	158
Gambar 13.10	Profil Pantai di Desa Curahdringu (di Sekitar Sungai), Kecamatan Tongas .....	160
Gambar 13.11	Profil Pantai di Desa Curahdringu (Tepi Pantai), Kecamatan Tongas .....	160
Gambar 13.12	Pofil Pantai di Desa Banjarsari (Tengah) dan Desa Pesisir, Kecamatan Sumber Asih .....	160
Gambar 13.13	Profil Pantai di Desa Pesisir, Kecamatan Gending .....	161
Gambar 13.14	Profil Pantai di Desa Asembakor, Kecamatan Kraksaan	161
Gambar 14.1	Peta Administrasi Kabupaten Probolinggo.....	167
Gambar 14.2	Peta Bentuk Lahan Kabupaten Probolinggo.....	168
Gambar 14.3	Peta Kelas Ketinggian Kabupaten Probolinggo.....	169
Gambar 14.4	Peta Geologi Kabupaten Probolinggo.....	169
Gambar 14.5	Peta Penggunaan Lahan Kabupaten Probolinggo .....	171
Gambar 14.6	Peta Zonasi Genangan Kabupaten Probolinggo .....	176
Gambar 14.7	Profil Pantai di Desa Pesisir, Kecamatan Gending .....	176
Gambar 14.8	Profil Pantai di Desa Asembakor, Kecamatan Kraksaan	176

## PENGANTAR PENERBIT

Sebagai penerbit ilmiah, LIPI Press mempunyai tanggung jawab untuk menyediakan terbitan ilmiah yang berkualitas. Penyediaan terbitan ilmiah yang berkualitas adalah salah satu perwujudan tugas LIPI Press untuk ikut serta dalam mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan dalam pembukaan UUD 1945.

Bunga rampai *Kondisi Lingkungan Pesisir dan Perairan Probolinggo, Jawa Timur* ini mengulas tentang kondisi pesisir dan perairan Probolinggo, meliputi tingkat kesuburan dan ancaman eutrofikasi, status dan proyeksi cemaran logam berat, kondisi bakteriologis, ancaman makroalga pendatang, karakteristik sedimen dan geomorfologi dasar perairan, dinamika pesisir, dan status lahan tambak.

Semoga bunga rampai ini dapat menjadi referensi yang bermanfaat bagi para pembaca dan pengambil kebijakan di daerah, khususnya bagi pihak yang bertanggungjawab dalam menyusun rencana tata ruang wilayah pesisir di Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur.

Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan buku bunga rampai ini.

LIPI Press



## PRAKATA

Dengan mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, akhirnya buku *Kondisi Lingkungan Pesisir dan Perairan Probolinggo, Jawa Timur* dapat terwujud. Buku ini merupakan hasil kegiatan penelitian dan kajian yang didanai oleh DIPA Pusat Penelitian Oseanografi–LIPI, tahun anggaran 2012 dan 2013.

Secara garis besar artikel-artikel dalam buku ini memuat kajian tentang kondisi pesisir dan perairan Probolinggo, meliputi tingkat kesuburan dan ancaman eutrofikasi, status dan proyeksi cemaran logam berat, kondisi bakteriologis, ancaman makroalga pendarang, karakteristik sedimen dan geomorfologi dasar perairan, dinamika pesisir dan status lahan tambak. Kegiatan penelitian dan kajian yang dilaksanakan di kawasan pesisir dan perairan Probolinggo, Jawa Timur ini merupakan implementasi dari tugas pokok dan fungsi Pusat Penelitian Oseanografi LIPI.

Diharapkan buku ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan pengambil kebijakan di daerah, khususnya bagi pihak yang bertanggung jawab dalam menyusun rencana tata ruang wilayah pesisir di Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur.

Jakarta, Mei 2013

Editor



# BAB I PENDAHULUAN

 Fahmi

**P**robolinggo merupakan salah satu kabupaten yang terletak di Provinsi Jawa Timur. Secara geografis, Kabupaten Probolinggo terletak antara posisi  $7^{\circ} 40' - 8^{\circ} 10'$  lintang selatan dan antara  $112^{\circ} 50' - 113^{\circ} 30'$  bujur timur, luas wilayah mencapai  $1.696.16 \text{ km}^2$  dengan jumlah penduduk 1.092.036 jiwa. Kabupaten Probolinggo secara administrasi terdiri atas 24 kecamatan, 325 desa, dan 5 kelurahan dengan batas wilayah meliputi Selat Madura di sebelah utara, Kabupaten Lumajang dan Malang di sebelah selatan, Kabupaten Pasuruan di sebelah barat dan Kabupaten Situbondo, dan Kabupaten Jember di sebelah timur. Tujuh dari 24 kecamatan di Kabupaten Probolinggo terletak di sepanjang pesisir utara. Ketujuh kecamatan tersebut adalah Tongas, Sumberasih, Dringu, Gending, Pajarakan, Kraksaan, dan Paiton. Kajian wilayah pesisir dalam kegiatan penelitian ini dilakukan di Kecamatan Gending, Kraksaan (Kalibuntu), dan Paiton. Pemilihan lokasi penelitian ini didasari atas tanggung jawab institusional Pusat Penelitian Oseanografi LIPI terhadap masyarakat dan pemangku kepentingan di daerah sehubungan dengan fenomena banjir pasang yang terjadi secara berkala di tiga kecamatan tersebut.

Pesisir pantai utara Jawa Timur pada umumnya berdataran rendah dengan ketinggian pematang pantai kurang lebih satu meter dari permukaan laut. Kabupaten ini memiliki potensi di bidang pertanian, hal ini didukung oleh kondisi tanah yang subur karena mendapatkan pengaruh dari Gunung Argopuro dan Pegunungan Tengger (Badan Pusat Statistik, 2008).

Perairan kawasan pantai utara (Pantura) Jawa Timur, terutama daerah Probolinggo adalah perairan yang penting, baik secara ekologis maupun ekonomis dan memiliki potensi perikanan yang bernilai ekonomi tinggi. Perairan ini secara ekologis menjadi penting karena menopang kehidupan biota laut di Laut Jawa, sedangkan secara ekonomis kawasan tersebut memiliki potensi sebagai sumber pangan, transportasi, industri, pariwisata, permukiman, dan perikanan budi daya. Sebanyak 60% penduduk Probolinggo bermata pencaharian sebagai petani dan selebihnya bekerja di bidang lain sebagai nelayan, petani tambak, pedagang, pengusaha, dan jasa (Badan Pusat Statistik, 2008).

Perairan Probolinggo merupakan perairan pesisir yang banyak menerima masukan dari darat berupa muatan antropogenik yang disebabkan oleh tingginya aktivitas masyarakat dan keberadaan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) serta industri lainnya. Masuknya muatan antropogenik ke dalam perairan akan menciptakan dua sistem yang sering terjadi dalam perairan pesisir, yaitu sistem produksi dan sistem pencemar. Sistem produksi berlangsung jika perairan masih dapat mengasimilasi beban atau limbah antropogenik dan masih dalam batas toleransi organisme. Sebaliknya, ketika limbah antropogenik sudah melampaui batas asimilasi dan melewati batas kemampuan organisme dalam mengakumulasi beban tersebut maka akan terjadi sistem pencemar. Sebanyak 80% bahan pencemar yang ditemukan di laut berasal dari kegiatan manusia di daratan (*land base activity*), yakni kegiatan rumah tangga, industri, aktivitas pelabuhan,

pertanian, dan lain-lain sehingga menimbulkan dampak buruk bagi organisme perairan laut. Komponen utama pencemar tersebut berupa padatan, unsur hara, pestisida, logam berat, plastik, bahan organik, organisme eksotis, dan organisme patogen (Ruyitno, 2004; Suhendar & Heru, 2007).

Limbah antropogenik berupa bahan organik yang masuk ke dalam perairan pesisir, selanjutnya mengalami proses penguraian menjadi bahan-bahan anorganik, seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan silika (Si) yang berfungsi sebagai nutrisi dan merupakan salah satu faktor yang memengaruhi konsentrasi klorofil-a dan produktivitas primer fitoplankton di laut (Rousseau dkk., 2002; Anderson dkk., 2006). Perubahan lingkungan fisik dan kimia perairan, baik yang disebabkan oleh musim maupun masukan bahan pencemar secara cepat atau lambat akan memengaruhi komunitas biota di perairan laut, seperti plankton, makroalga, dan organisme lainnya.

Perairan pesisir Probolinggo memiliki kedalaman antara 0–26 m dengan tingkat kemiringan dasar perairan sekitar tiga derajat. Berdasarkan konsentrasi klorofil-a, perairan pesisir Probolinggo mengalami tingkat eutrofikasi pada tingkat rendah hingga sedang. Secara umum kondisi perairan Probolinggo masih tergolong baik, termasuk dalam kategori oligotropik atau kurang subur dengan tingkat kestabilan sedang. Pada komunitas perairan pesisir tidak terjadi dominasi jenis fitoplankton. Zooplankton yang dominan adalah jenis-jenis copepod (*Calanoida*) dengan kelimpahan yang tinggi dan keanekaragaman jenis yang rendah.

Pemanfaatan perairan pesisir Probolinggo sudah sangat intensif, tetapi data dasar tentang kekayaan jenis flora dan fauna, baik *indigenous species* (jenis endemik) dan *introduced species* (jenis baru dari luar) belum tersusun dengan baik. *Introduced species* bisa bertahan hidup dan berinteraksi dengan *introduced species* karena kesamaan dalam mendapatkan energi (nutrisi, lingkungan, habitat) untuk hidup dan

berkembang. *Introduced species* harus dikontrol supaya tidak menjadi *invasive species* yang membahayakan keberadaannya sendiri.

Kondisi kesehatan perairan pesisir dipengaruhi oleh kondisi masyarakat sekitar, baik di wilayah pesisir itu sendiri maupun di wilayah hulu yang membuang limbah domestiknya ke aliran air yang menuju ke pesisir. Tingkat kesehatan limbah domestik ditentukan oleh nilai kelimpahan bakteri coli sebagai indikator tingkat pencemaran. Di perairan Probolinggo ditemukan empat jenis bakteri patogen kelompok *Vibrio* dan enam jenis bakteri kelompok *Salmonella*. Meskipun ditemukan jenis bakteri patogen, perairan Probolinggo termasuk perairan yang masih aman. Kandungan logam berat masih normal dan tidak berpotensi sebagai racun (*hazard*) sehingga perairan Probolinggo cocok untuk pengembangan budi daya biota laut.

Akhir-akhir ini dampak perubahan iklim global menjadi topik menarik bahasan ilmiah. Dampak perubahan iklim yang terjadi pada perairan pesisir Probolinggo meliputi abrasi dan erosi pantai yang menyebabkan perubahan garis pantai dan perubahan kedalaman perairan pesisir. Banjir rob yang sering terjadi di Probolinggo menyebabkan intrusi air laut ke daratan sehingga meningkatkan kadar garam pada sumur-sumur penduduk di pesisir dari 0,1 ppt hingga 2,3 ppt. Kondisi perubahan garis pantai, tingkat muka air laut, banjir rob, dan intrusi kadar garam akan berpengaruh terhadap pola perkembangan pertambakan yang ada di pesisir Probolinggo.

Kualitas perairan merupakan faktor penting dalam keberhasilan kegiatan di wilayah pesisir, khususnya perikanan tangkap dan budi daya. Parameter kualitas perairan yang penting dalam mendukung kegiatan di wilayah pesisir mencakup produktivitas primer perairan, keragaman dan kepadatan plankton, makroalga dan organisme laut lainnya. Hal lainnya, yaitu diketahuinya faktor-faktor yang memengaruhi perubahan lingkungan pesisir, seperti indikator pencemaran,

perubahan geomorfologi, tata guna lahan, dan perubahan fisik akibat dampak banjir pasang.

Kondisi perairan yang dikaji dalam buku ini adalah kesehatan perairan tambak dan perairan laut dangkal yang rentan terhadap dampak dari fenomena banjir pasang. Kondisi perairan yang dipaparkan dalam buku ini, meliputi tingkat kesuburan, ancaman eutrofikasi, dan cemaran logam berat, serta kerentanan tambak di lokasi kajian. Sasaran kegiatan ini adalah terbangunnya informasi tentang kondisi lingkungan pesisir dan proyeksi dampak dari fenomena banjir pasang tersebut terhadap kesehatan perairan di Kecamatan Gending, Kraksaan (Kalibuntu), dan Paiton.

Buku ini diharapkan dapat memberikan informasi bagi pemangku kepentingan di daerah, khususnya di Kabupaten Probolinggo dan sekitarnya serta dapat dijadikan sebagai acuan dalam penyusunan kebijakan untuk pengelolaan dan pengembangan wilayah tersebut. Selain itu, buku ini juga dapat digunakan sebagai data dasar dalam kegiatan penelitian lebih lanjut dan dapat dimanfaatkan, antara lain oleh pelajar, mahasiswa, peneliti, dan dosen.

Tujuan dari penyusunan buku ini adalah diketahuinya secara luas terutama oleh masyarakat Probolinggo dan sekitarnya tentang kondisi fisik dan lingkungan, biota perairan, adanya pengaruh akibat kegiatan masyarakat yang mengakibatkan adanya gangguan pada perairan serta adanya pengaruh perubahan iklim. Buku ini akan sangat membantu Pemda Probolinggo dan sekitarnya untuk memperoleh informasi-informasi yang dapat dipakai untuk menyusun kebijakan-kebijakan yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J.H., dkk. 2006. Coastal Eutrophication: Recent Developments in Definitions and Implications for Monitoring Strategies. *Horizon. Journal of Plankton Research* 28 (7): 621–628.
- Badan Pusat Statistik. 2008. Analisis Perkembangan Statistik Ketenagakerjaan (Laporan Sosial Indonesia 2007). Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Probolinggo. 2013. *Kabupaten Probolinggo dalam Angka 2013*. BPS Kabupaten Probolinggo. 378 hlm.
- Ornolfsdottir, E.B., dkk. 2004. Phytoplankton Community Growth-Rate Response of Nutrient Pulses in a Shallow Turbid Estuary, Galveston Bay, Texas. *Journal of Plankton Research* 26 (3): 325–339.
- Rousseau, V., dkk. 2002. Diatom Succession, Silification and Silicic Acid Availability in Belgian Coastal Waters (Southern North Sea). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 236: 61–73.
- Ruyitno, N. 2004. Bakteri Laut dan Peranannya dalam Mendukung Aktivitas Manusia. *Orasi Pengukuhan Ahli Peneliti Utama Bidang Mikrobiologi Laut*. Jakarta: Puslit Oseanografi LIPI. Hlm. 3–20.
- Suhendar, I.S. & D.W. Heru. 2007. Kondisi Pencemaran Lingkungan Perairan di Teluk Jakarta, 49 hlm.

## BAB II MORFOLOGI DASAR LAUT PERAIRAN PESISIR

 M. Hasanudin

### PENDAHULUAN

Pemetaan batimetri adalah cara untuk mengetahui kondisi morfologi dasar laut. Pemetaan ini dilakukan dengan cara mengirimkan gelombang suara ke dasar laut menggunakan *transmitter*. Jika gelombang suara tersebut mengenai dasar laut dan lapisan batuan di bawahnya maka sebagian gelombangnya akan dipantulkan kembali yang kemudian gelombang pantul ini diterima oleh *receiver*. Dengan mengetahui lamanya *travel time* gelombang suara yang dipancarkan maka jarak sumber suara ke dasar laut dan lapisan bawah permukaannya bisa diketahui karena sebelumnya kita telah mengetahui besarnya kecepatan gelombang suara yang merambat dalam air rata-rata, yaitu sekitar 1.500 m/s (Hasanudin, 2009).

Survei batimetri bermanfaat untuk mengetahui bentuk morfologi dasar laut yang merupakan tempat keberadaan sumber daya hayati dan nonhayati. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan, misalnya oleh van de Beuque dkk. (1999), Hovland dkk. (2002), Naudts dkk. (2006), Gaudin dkk. (2006), dan Leon dkk. (2006) yang menyatakan bahwa pentingnya penelitian morfologi dasar laut untuk mengidentifikasi habitat di laut, proses sedimentasi, deteksi gas-gas permukaan,

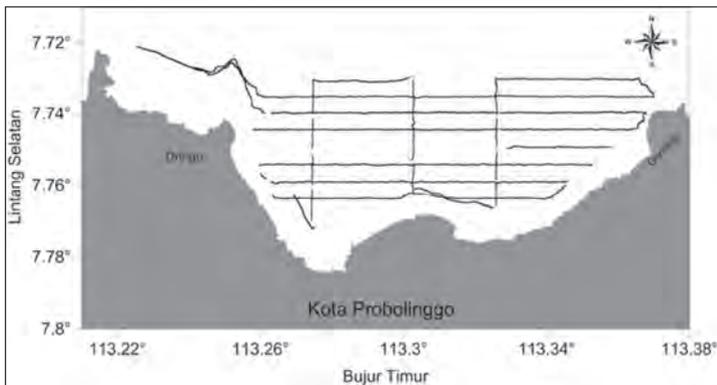
klasifikasi bentuk permukaan dasar laut yang terdapat rembesan gas metan, dan lain-lain.

Survei batimetri ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik morfologi dasar laut di perairan pesisir Kota Probolinggo. Survei dilakukan di perairan pesisir Kota Probolinggo, Jawa Timur, tepatnya di daerah antara Tanjung Dringu di sebelah barat dan Tanjung Gending di sebelah timur yang dilaksanakan pada tanggal 10–17 Juli 2013.

*Single beam echosounder* Seaquest Bathy 500 DF digunakan untuk akuisisi data batimetri pada lintasan yang telah ditentukan. Alat ini menggunakan frekuensi 210 kHz dengan jangkauan kedalaman dari 0,5 m hingga 500 m (Anonim, 2010). Kecepatan suara yang dipakai pada penelitian ini adalah 1.500 m/s. Data *single beam echosounder* direkam dengan menggunakan *software* Navipac dan diproses menggunakan *software* Microsoft excel. Selanjutnya, untuk memperoleh diagram morfologi dasar laut, data di-*gridding* menggunakan *software* SURFER.

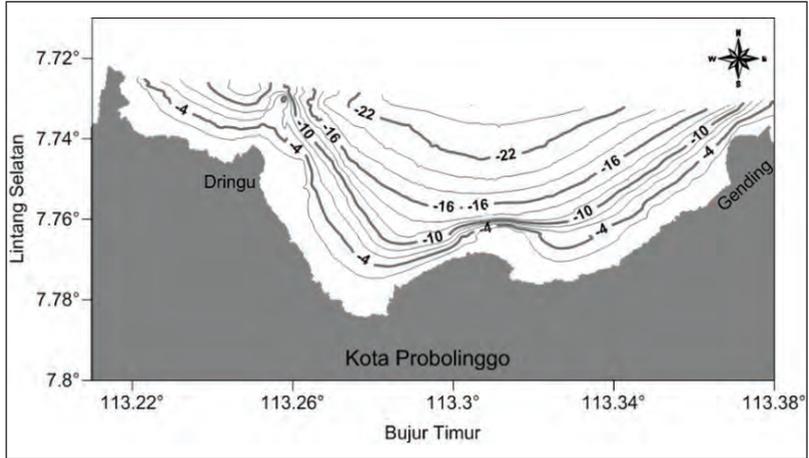
### ***Kondisi Morfologi Dasar Laut Perairan Pesisir Probolinggo***

Hasil lintasan perekaman data batimetri diperlihatkan pada Gambar 2.1

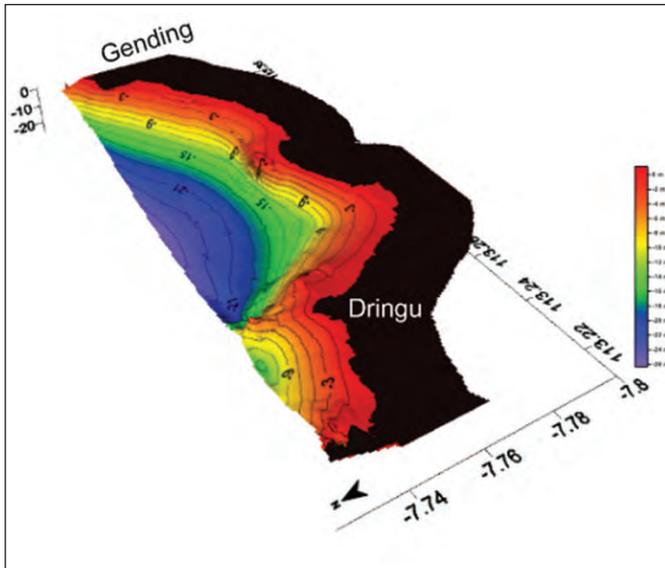


**Gambar 2.1** Lintasan Perekaman Data Batimetri

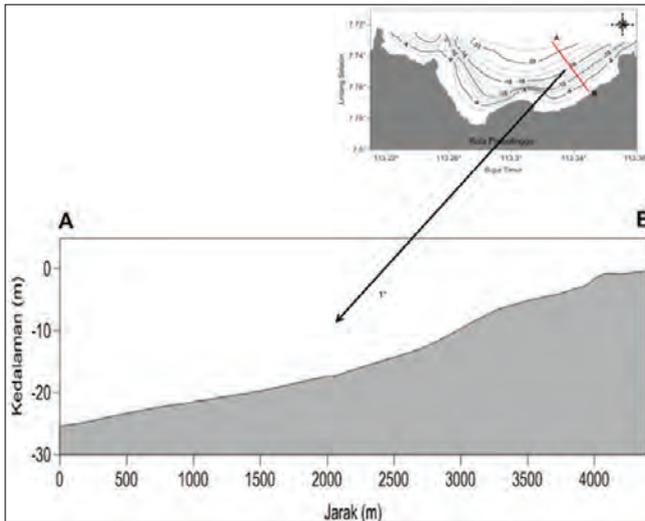
Bentuk dasar laut perairan pesisir Probolinggo secara dua dimensi (2D) dan tiga dimensi (3D) yang diperlihatkan pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3.



**Gambar 2.2** Peta Kedalaman Perairan Pesisir Probolinggo (2D)



**Gambar 2.3** Peta Kedalaman Perairan Pesisir Kota Probolinggo (3D)

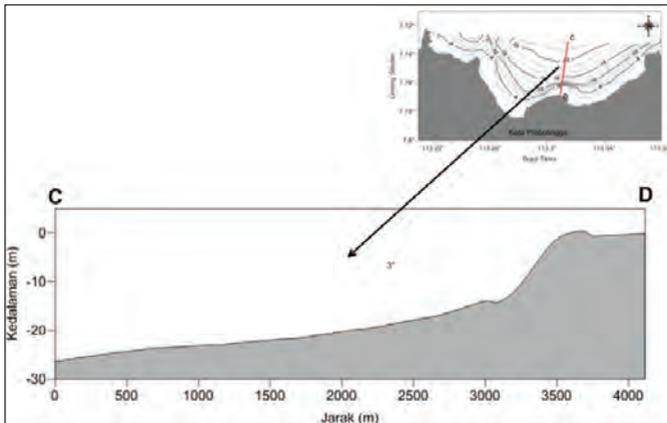


**Gambar 2.4** Profil Kedalaman A–B

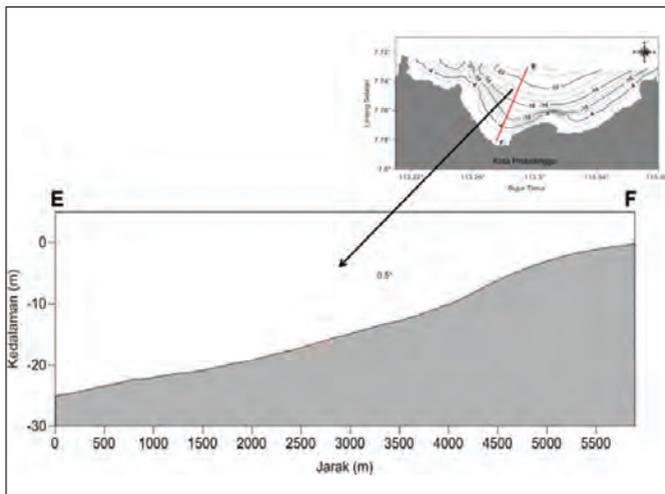
Gambar 2.4 adalah profil kedalaman pada daerah sebelah barat tanjung. Dari profil A–B terlihat bahwa pada daerah ini kedalamannya menurun secara berangsur dari kedalaman sekitar 0 m hingga sekitar 26 m dengan kemiringan sekitar  $1^\circ$ . Jika dilihat dari kemiringannya, daerah ini relatif datar karena kedalamannya berubah hanya sekitar 26 m dengan jarak sejauh sekitar 4,5 km dari pantai.

Gambar 2.5 adalah profil kedalaman pada daerah pertengahan daerah penelitian. Dari profil C–D terlihat bahwa pada daerah ini kedalamannya relatif datar hingga pada jarak sekitar 500 m dari pantai dan dari jarak 500–600 m dari pantai terlihat adanya kenaikan topografi dasar laut dari kedalaman sekitar 1,5 m menjadi 1 m, hal ini kemungkinan disebabkan terjadinya sedimentasi di daerah ini. Selanjutnya, dari jarak sekitar 600–1.000 m dari pantai kedalamannya menurun secara lebih cepat, yaitu berubah dari kedalaman sekitar 1 m hingga sekitar 20 m dengan kemiringan sekitar  $3^\circ$ . Setelah itu, kedalamannya berangsur menurun hingga sekitar 26 m pada jarak sekitar 3 km dari garis pantai.

Gambar 2.6 adalah profil kedalaman pada daerah sebelah Dringu. Dari profil E–F terlihat bahwa pada daerah ini kedalamannya menurun secara berangsur dari sekitar 0 m hingga sekitar 26 m dengan kemiringan sekitar  $0,5^\circ$ . Jika dilihat dari kemiringannya, daerah ini relatif datar karena kedalamannya berubah hanya sekitar 26 m dengan jarak sekitar 6 km dari garis pantai.



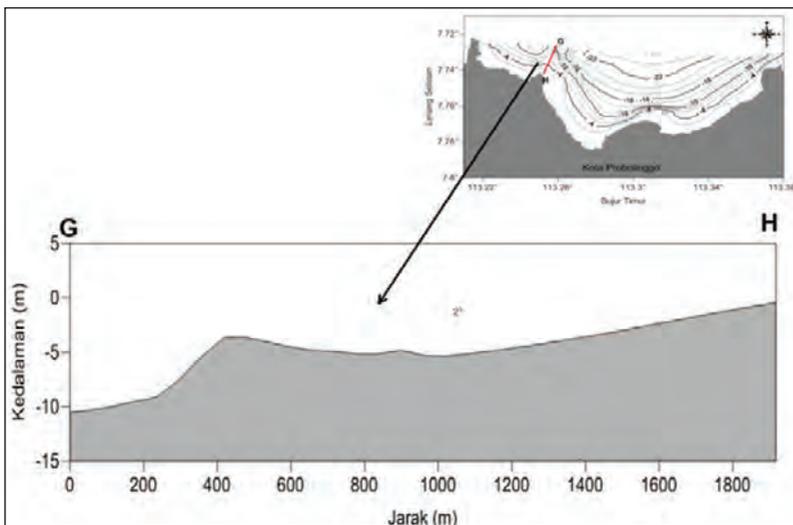
**Gambar 2.5** Profil Kedalaman C–D



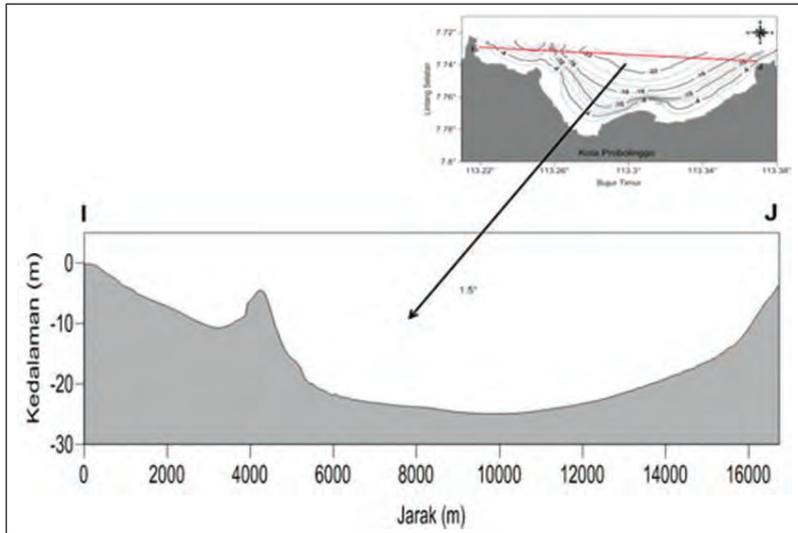
**Gambar 2.6** Profil Kedalaman E–F

Gambar 2.7 adalah profil kedalaman pada daerah sekitar Tanjung Dringu. Dari profil G–H terlihat bahwa pada daerah ini kedalamannya relatif datar hingga pada jarak sekitar 900 m dari pantai. Kemudian, dari jarak 900–1.500 m dari pantai terdapat kenaikan topografi dasar laut dari kedalaman sekitar 6 m menjadi 4 m. Hal ini kemungkinan menyebabkan terjadinya sedimentasi. Kemudian, pada jarak sekitar 1.500 m hingga 1.700 m kedalamannya menurun secara lebih cepat dari sekitar 4 m hingga sekitar 10 m dengan kemiringan sekitar  $2^\circ$ , setelah itu kedalamannya berangsur menurun hingga sekitar 11 m pada jarak sekitar 1,9 km dari garis pantai.

Gambar 2.8 adalah profil melintang kedalaman dari barat hingga utara daerah penelitian. Dari profil I–J terlihat bahwa kondisi dasar lautnya berbentuk cekungan-cekungan. Cekungan-cekungan ini dibatasi oleh gundukan yang merupakan kelanjutan dari Tanjung Dringu. Cekungan yang berada di sebelah kiri memiliki lebar sekitar 2 km dengan dasar cekungan berada pada kedalaman sekitar 11 m.



**Gambar 2.7** Profil Kedalaman G–H



**Gambar 2.8** Profil Melintang Kedalaman I-J

Cekungan kedua berada di sebelah kanan memiliki ukuran yang lebih besar, cekungan ini dibatasi oleh terusan Tanjung Dringu di sebelah barat dan Tanjung Gending di sebelah timur. Cekungan ini memiliki lebar sekitar 12 km dengan dasar cekungan berada di kedalaman sekitar 26 m.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kondisi kedalaman perairan pesisir Probolinggo berkisar antara 0–26 m, kemiringan maksimal sekitar 3°, dan berbentuk dua cekungan. Cekungan antara Pelabuhan Probolinggo dan Tanjung Dringu memiliki lebar sekitar 2 km dan kedalaman dasar maksimal 11 m. Adapun cekungan antara Tanjung Dringu dan Tanjung Gending memiliki lebar sekitar 12 km dengan dasar cekungan kedalamannya sekitar 26 m.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2010. *Manual Book of Bathy500 DF Singlebeam echosounder*. Rhode Island: Warwicks. 46 pp.
- Gaudin, M. dkk. 2006. Past and Present Sedimentary Activity in the Capbreton Canyon, Southern Bay of Biscay. *Geo-Mar Lett*, 26: 331–345.
- Hasanudin, M. 2009. Pemetaan Dasar Laut dengan Menggunakan *Multibeam Echosounder*. *OSEANA*, 37 (1): 19–26.
- Hovland, Martin. dkk. 2002. Mapping and Imaging Deep-sea Coral Reefs off Norway, 1982–2000. *Hydrobiologia*, 471: 13–17.
- Leon, Ricardo, dkk. 2006. Classification of Sea-floor Features Associated with Methane Seeps Along the Gulf of Cadiz Continental Margin. *Deep-sea Research*, II 53: 1.464–1.481.
- Naudts, Lieven, dkk. 2006. Geological and Morphological Setting of 2778 Methane Seeps in the Dnepr Paleo-delta, Northwestern Black Sea. *Marine Geology*, 227: 177–199.
- Van De Beuque, Sabrina, dkk. 1999. Benefits of Swath Mapping for the Identification of Marine Habitats in the New Caledonia Economic Zone. *Oceanologica Acta*, 22 (6): 641–650.

# BAB III SEBARAN KLOOROFIL-A DAN PRODUKTIVITAS PRIMER FITOPLANKTON DI PERAIRAN PESISIR

✍ Afdal dan Yustian Rovi Alfiansah

## PENDAHULUAN

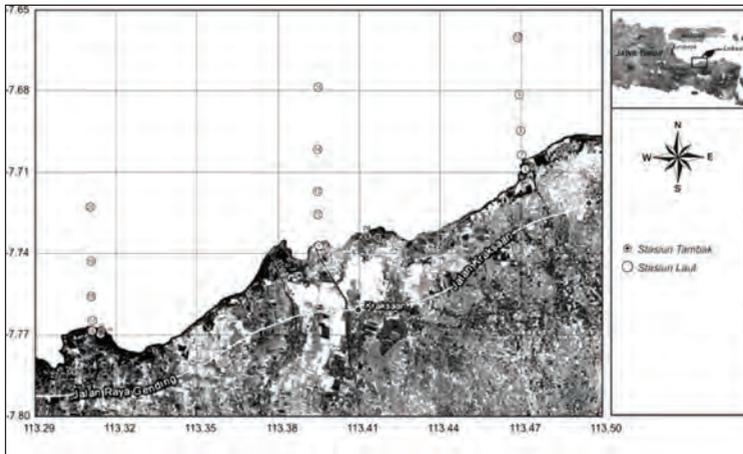
**A**danya perbedaan suplai nutrisi yang masuk ke perairan menyebabkan perbedaan konsentrasi klorofil-a, baik secara spasial maupun secara temporal. Konsentrasi klorofil-a di perairan estuari, pantai, dan laut merupakan indikator kelimpahan dan biomassa fitoplankton sebagai alga uniseluler (Sarma dkk., 2006). Biomassa dapat diartikan sama dengan *standing stock* yang didefinisikan sebagai konsentrasi material tumbuhan per unit volume ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) atau per unit area ( $\text{g}/\text{m}^2$ ). Untuk studi penelitian tentang fotosintesis fitoplankton, konsentrasi klorofil-a sangat sesuai dan tidak ada duanya dalam pengukuran biomassa (Aalderink & Jovin, 1997). Selain itu, klorofil-a juga digunakan sebagai indikator pengayaan nutrisi di suatu perairan (Ward dkk., 1998; Bricker, 1999; NLWRA, 2002; Mills, 2003).

Produktivitas primer fitoplankton menunjukkan banyaknya jumlah kandungan zat-zat organik yang dapat dihasilkan oleh fitoplankton dari zat-zat anorganik melalui proses fotosintesis (Parsons dkk., 1984; Nybakken, 1992). Suatu proporsi bahan organik yang diproduksi oleh organisme berklorofil melalui proses fotosintesis digunakan untuk respirasi seluler mereka, sisanya digunakan oleh

organisme pada tingkat tropik yang lebih tinggi untuk pertumbuhan dan reproduksi. Pengurangan jumlah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis dapat terjadi karena adanya kematian organisme berklorofil. Sebaran dan tinggi rendahnya konsentrasi klorofil-a dan produktivitas primer sangat terkait dengan kondisi oseanografis suatu perairan. Beberapa parameter fisik kimia yang mengontrol dan memengaruhi sebaran klorofil-a adalah intensitas cahaya dan nutrisi terutama nitrat, fosfat, dan silikat (Raymont, 1980). Perbedaan nilai-nilai parameter fisika-kimia tersebut secara langsung mengakibatkan bervariasinya produktivitas primer di beberapa tempat di laut.

Hingga saat ini, informasi tentang kandungan dan sebaran klorofil-a dan produktivitas primer di perairan pesisir Probolinggo, baik pada musim barat maupun musim timur belum diketahui. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji sebaran klorofil-a, baik secara spasial maupun temporal. Pengkajian mengenai aktivitas fitoplankton, khususnya dalam hal sebaran klorofil-a dan kapasitas produktivitas primer di perairan Probolinggo perlu dilakukan karena perairan tersebut menerima suplai nutrisi dari daratan yang cukup masif. Peranan parameter-parameter tersebut sangat penting karena sangat menentukan keberlangsungan kehidupan organisme lainnya dalam perairan laut.

Penelitian dilakukan pada bulan Maret dan Juni 2012 di perairan pesisir utara Probolinggo (Gambar 3.1). Pengambilan sampel air dilakukan di tambak dan perairan pantai pada tiga lokasi, yaitu Kecamatan Randutatah, Kalibuntu, dan Gending yang merupakan lokasi dengan pengaruh aktivitas antropogenik yang tinggi.



**Gambar 3.1** Stasiun Penelitian di Perairan Pesisir Probolinggo, Maret dan Juni 2012

### *Pengukuran Produktivitas Primer Fitoplankton*

Pengukuran produktivitas primer dilakukan menggunakan botol gelap dan botol terang dengan metode winkler modifikasi azida (Strickland & Parsons, 1968; APHA, 1980). Pengambilan sampel untuk pengukuran produktivitas primer dan klorofil-a dilakukan pada lapisan permukaan (0–1 m) menggunakan *nansen water sample*. Pengambilan sampel untuk parameter produktivitas primer dilakukan dengan mengambil sampel sebanyak lima liter dan dimasukkan ke dalam *plastic container* (jerigen). Sampel kemudian dialirkan melalui ‘*plankton gauze*’ (*mesh size* 200  $\mu\text{m}$ ) ke dalam dua botol terang dan satu botol gelap. Untuk menentukan kandungan  $\text{O}_2$  pada permulaan inkubasi dilakukan dengan metode titrasi Winkler. Pada saat yang bersamaan, satu botol terang dan satu botol gelap diinkubasi dengan menggunakan lampu hologen selama  $\pm 3$  jam. Setelah inkubasi, konsentrasi oksigen yang terdapat dalam botol gelap dan botol terang tersebut diukur kembali dengan metode titrasi Winkler. Laju fotosintesis dan respirasi dalam satuan  $\text{mgC/l/jam}$  dihitung dengan menggunakan rumus:

Keterangan:

$GPP$  = Produksi Primer Kotor

$$GPP(\text{mgC} / L / \text{jam}) = 0,375 \frac{LB(\text{ppmO}_2) - DB(\text{ppmO}_2)}{N \times PQ}$$

$$NPP(\text{mgC} / L / \text{jam}) = 0,375 \frac{LB(\text{ppmO}_2) - IB(\text{ppmO}_2)}{N \times PQ}$$

$$\text{Respirasi}(\text{mgC} / L / \text{jam}) = 0,375 \frac{IB(\text{ppmO}_2) - DB(\text{ppmO}_2)}{N \times PQ} RQ$$

$NPP$  = Produksi Primer Bersih

0,375 = faktor konversi dari oksigen ke karbon

$LB$  = Botol terang (*Light bottle*), Kandungan  $O_2$  pada botol terang setelah inkubasi

$DB$  = Botol gelap (*Dark bottle*), Kandungan  $O_2$  pada botol gelap setelah inkubasi

$IB$  = Kandungan  $O_2$  awal sebelum inkubasi

$PQ$  = *Photosynthesis Quotient* (1,2)

$RQ$  = *Respiration Quotient* (1)

$N$  = Lama inkubasi

## Klorofil-a

Pengukuran konsentrasi klorofil-a fitoplankton dilakukan secara fluorometrik mengikuti cara yang dilakukan Cochlan and Hendorn (2012). Sebanyak 0,25–1,0 l air disaring dengan menggunakan filter Whatman CNM berpori 0,45  $\mu\text{m}$  dan berdiameter 25 mm. Untuk mempercepat penyaringan dibantu dengan pompa vakum dengan kekuatan hisap <30 cmHg. Filter diekstrak dengan menggunakan larutan aseton 90% dan selanjutnya di-*sentrifuge* pada putaran 4.000 rpm selama kurang lebih 30 menit untuk memisahkan filtrat dengan cairan yang mengandung klorofil. Kemudian, cairan tersebut dibaca *fluororecence*-nya dengan menggunakan Flurometer Turner Trilogy

tipe AU-10. Konsentrasi klorofil-a fitoplankton diperoleh dengan menggunakan rumus

$$\text{Klorofil-a } (\mu\text{g/L}) = ((y-b)/m)(v/V)$$

Keterangan:

y = nilai fluorescence dari fluorometer

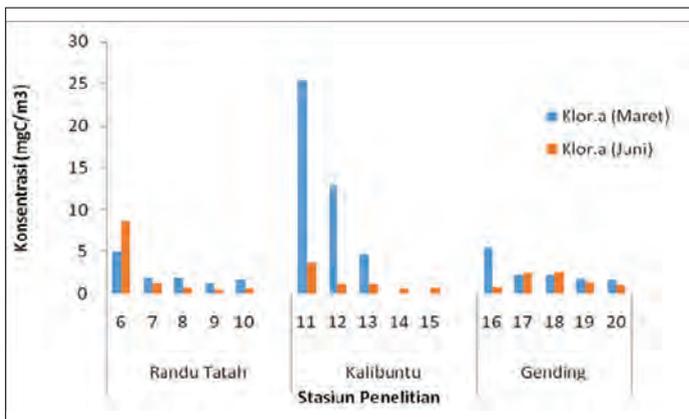
b = nilai sumbu y yang *intercept* pada kurva kalibrasi

m = kemiringan (slope) garis regresi pada kurva standar (kalibrasi)

v = volume ekstrak (penambahan aseton 90%) (ml)

V = volume sampel yang disaring (ml)

Hasil pengamatan klorofil-a, produktivitas primer bersih, dan seston pada bulan Maret dan Juni 2012 di perairan pesisir Probolinggo ditampilkan dalam Tabel 3.1 dan Gambar 3.2. Secara umum, kondisi perairan pesisir Probolinggo pada bulan Maret dan Juni 2012 relatif heterogen yang terlihat dari tingginya standar deviasi dari masing-masing parameter (Tabel 3.1). Hal ini disebabkan oleh pengaruh pasang surut yang membawa massa air dari darat pada waktu surut dan massa air dari laut pada waktu pasang ke perairan pesisir.



**Gambar 3.2** Sebaran Klorofil-a di Perairan Pesisir Probolinggo pada Bulan Maret dan Juni 2012

**Tabel 3.1** Rata-rata dan Kisaran Konsentrasi Klorofil-a, Laju Fotosintesis, Laju Respirasi, NPP dan Seston di Perairan Probolinggo, Maret dan Juni 2012

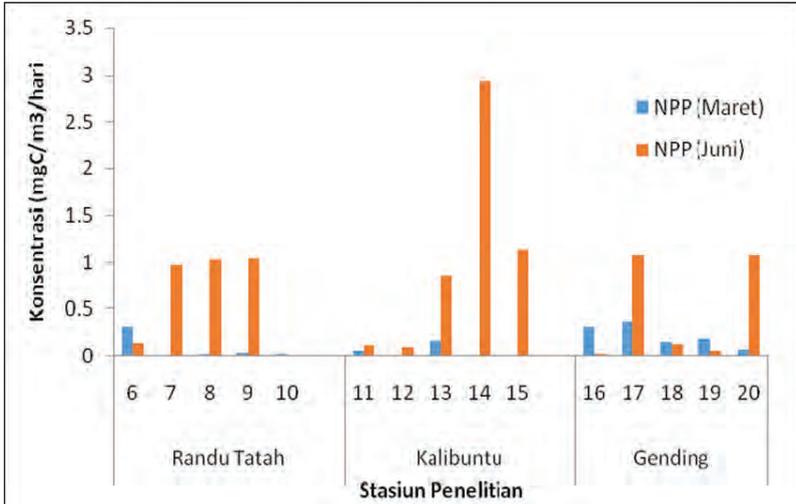
Parameter	Lokasi					
	Randutatah			Kalibuntu		
	Maret	Juni	Maret	Juni	Maret	Juni
Klorofil-a (mg/m <sup>3</sup> )	2,37 ± 1,5 1,20 – 5,01	2,37 ± 3,52 0,52-8,64	14,31 ± 10,4 4,74 – 25,39	1,46 ± 1,29 0,61-3,73	2,72 ± 1,58 1,73 – 5,52	1,65 ± 0,82 0,80-2,59
Laju Fotosintesis/ GPP (mgC/m <sup>2</sup> /hari)	2,21 ± 0,41 2,82-3,79	3,56 ± 1 2,21-0,41	2,75 ± 0,22 2,56-3,00	3,66 ± 1,44 2,66-6,17	2,57 ± 1,47 0,49-4,02	1,63 ± 0,42 1,29-2,09
Laju Respirasi (mgC/m <sup>2</sup> /hari)	3,76 ± 0,58 3,03-4,51	3,51 ± 0,99 2,18-4,98	3,21 ± 0,27 3,05-3,52	3,16 ± 0,64 2,16-3,89	2,83 ± 1,66 0,51-4,45	1,38 ± 1,06 0,25-2,44
NPP (mgC/m <sup>2</sup> /hari)	0,06 ± 0,03 0,03 – 0,11	0,637 ± 0,519 0,014-1,040	0,22 ± 0,04 0,18 – 0,26	1,03 ± 1,16 0,10-2,93	0,12 ± 0,11 0,03 – 0,30	0,47 ± 0,55 0,02-1,08
Seston (mg/L)	59,40 ± 13,15 48 – 82	10,80 ± 5,04 2-14	57,33 ± 4,16 54 – 62	16,93 ± 5,63 12-26	57,80 ± 16,95 36 – 82	12,27 ± 2,73 10-16,67

Keterangan: GPP = Gross Primary Production, NPP= Net Primary Production, baris pertama pada kolom nilai merupakan nilai rata dan nilai deviasi; baris kedua merupakan kisaran (minimum-maksimum).

Pada bulan Maret pengaruh massa air dari darat cukup besar yang ditandai oleh kisaran (*range*) salinitas (10–32 psu) dan pH (7,57–8,23) yang besar. Hal ini diduga disebabkan oleh masih adanya pengaruh musim barat dengan curah hujan yang masih tinggi di perairan pesisir Probolinggo pada bulan Maret sehingga pengaruh daratan masih dominan. Kondisi tersebut menyebabkan tingkat kekeruhan perairan yang ditunjukkan oleh konsentrasi seston lebih tinggi sehingga laju produksi primer bersih fitoplankton menjadi rendah. Kondisi sebaliknya terjadi pada bulan Juni, pengaruh massa air dari darat relatif kecil yang ditunjukkan oleh kisaran salinitas (28,4–31,9 psu) dan pH (8,00–8,21) yang sempit. Hal ini disebabkan oleh kondisi perairan Probolinggo pada saat sampling pada bulan Juni berada pada kondisi pasang (*rob*) sehingga perairan pesisir didominasi oleh massa air dari laut. Masuknya massa air laut menyebabkan kecerahan perairan menjadi lebih baik (ditandai dengan rendahnya konsentrasi seston) sehingga produksi primer bersih fitoplankton menjadi lebih baik.

Secara temporal konsentrasi klorofil-a lebih tinggi pada bulan Maret dan secara spasial sebaran klorofil-a cenderung lebih tinggi di perairan yang dekat dengan daratan dan semakin ke laut konsentrasinya semakin rendah, hal ini terjadi pada ketiga lokasi penelitian (Gambar 3.3). Tingginya konsentrasi klorofil-a fitoplankton pada bulan Maret di perairan pesisir Kalibuntu diduga disebabkan oleh tingginya pasokan nutrien ke perairan, baik yang berasal dari darat maupun dari proses pencampuran/pengadukan massa air yang mengangkat massa air dari dasar ke lapisan permukaan.

Secara spasial, suplai nutrien yang masuk ke perairan pesisir Probolinggo menciptakan perbedaan ke arah laut (Gambar 3.2). Terjadinya perbedaan itu disebabkan oleh adanya pengaruh faktor oseanografi, dalam hal ini arus pasang surut dan arus yang ditimbulkan dari aliran sungai yang masuk ke laut. Tingginya konsentrasi



**Gambar 3.3** Sebaran Produktivitas Primer Fitoplankton di Perairan Pesisir Probolinggo, pada Bulan Maret dan Juni 2012

nutrien yang menyebabkan tingginya konsentrasi klorofil-a terutama pada bulan Maret di perairan pantai menunjukkan bahwa sebagian besar dari suplai nutrien yang ada di perairan Probolinggo berasal dari darat yang masuk melalui aliran sungai. Secara umum, konsentrasi klorofil-a yang tinggi ditemukan di perairan Kalibuntu dan yang rendah di perairan Randutatah.

Berdasarkan kriteria kualitas perairan pesisir yang dikemukakan oleh Bohlen & Boynton (1966), secara umum konsentrasi klorofil-a di perairan pesisir Probolinggo pada bulan Maret berada pada kisaran normal ( $<15 \text{ mg/m}^3$ ), kecuali stasiun 11 di perairan Kalibuntu yang berada pada kisaran sedang ( $15\text{--}30 \text{ mg/m}^3$ ). Sementara itu, pada bulan Juni konsentrasi klorofil-a pada semua stasiun berada pada kisaran normal. Selanjutnya, apabila mengacu pada status trofik yang dikemukakan oleh Bricker dkk. dalam CCME (2007), perairan Probolinggo berada pada tingkat eutrofikasi rendah (klorofil-a:  $0\text{--}\leq 5 \text{ mg/m}^3$ ) dan sedang ( $>5\text{--}\leq 20 \text{ mg/m}^3$ ). Pada bulan Maret 2012, terjadi

proses eutrofikasi yang cukup tinggi di stasiun yang berdekatan dengan muara sungai di daerah Kalibuntu yang ditandai dengan tingginya konsentrasi klorofil-a. Bricker dkk. dalam CCME (2007) menyatakan perairan dengan konsentrasi klorofil-a:  $>20- \leq 60 \text{ mg/m}^3$  digolongkan dalam lingkungan dengan tingkat eutrofikasi tinggi. Pada bulan Juni, seluruh lokasi sampling di perairan Probolinggo berada pada tingkat eutrofikasi rendah sampai sedang.

Ward dkk. (1998) mengemukakan bahwa konsentrasi klorofil-a yang rendah di perairan estuari dan pesisir menunjukkan kondisi perairan yang bagus. Konsentrasi klorofil-a yang tinggi dalam waktu yang singkat (fluktuasi yang relatif cepat) sebagai akibat dari peningkatan pertumbuhan fitoplankton cenderung untuk mendorong peningkatan pertumbuhan populasi heterotrof yang lebih besar, seperti ikan. Namun, konsentrasi klorofil-a yang tinggi terus-menerus dalam waktu yang lama akan menimbulkan masalah. Pertumbuhan yang berlebihan sering kali menunjukkan turunnya kualitas perairan, misalnya menyebabkan penurunan konsentrasi oksigen, menimbulkan bau pada air, dan membunuh populasi ikan. Konsentrasi oksigen mengalami deplesi karena siklus fotosintesis fitoplankton di lapisan bawah permukaan tidak berjalan sempurna. Hal ini terjadi karena penetrasi cahaya matahari sebagian besar terhalang akibat padatnya fitoplankton pada lapisan permukaan. Sementara itu, fitoplankton pada lapisan permukaan tidak mampu lagi berfotosintesis karena berada dalam kondisi jenuh. Hal ini diperparah lagi dengan pemanfaatan oksigen oleh bakteri dan organisme pengurai lainnya dalam beraktivitas di bawah lapisan permukaan. Kondisi ini menyebabkan biota perairan lainnya terganggu bahkan dapat mengalami kematian.

Produktivitas primer perairan Probolinggo cukup bervariasi antarlokasi penelitian. Pada bulan Maret, secara umum aktivitas biologi (laju fotosintesis dan respirasi) oleh fitoplankton di perairan Randu Tatah dan Gending relatif lebih tinggi dibanding perairan Kalibuntu,

namun produktivitas primer bersih pada kedua lokasi tersebut relatif lebih rendah. Hal ini dikarenakan pada kedua lokasi tersebut laju respirasinya lebih tinggi dibandingkan laju fotosintesis, sedangkan di perairan Kalibuntu meskipun aktivitas biologinya rendah, laju fotosintesis lebih tinggi dibanding laju respirasi sehingga produktivitas primernya lebih tinggi (Tabel 3.1).

Pada bulan Juni, aktivitas biologi fitoplankton di ketiga lokasi hampir seragam, di mana laju fotosintesis lebih tinggi dibandingkan laju respirasi sehingga nilai produktivitas primer di ketiga lokasi penelitian lebih tinggi dibandingkan penelitian sebelumnya. Berdasarkan sebaran horizontal pada bulan Maret, terlihat bahwa di perairan Randutatah laju fotosintesis dan produksi primer bersih cenderung meningkat ke arah laut, sedangkan di perairan Kalibuntu dan Gending sebarannya relatif berfluktuasi. Sementara pada bulan Juni, laju fotosintesis dan produktivitas primer bersih cenderung meningkat ke arah laut pada ketiga lokasi penelitian. Hal ini berhubungan dengan tingkat kekeruhan perairan, perairan yang mempunyai tingkat kekeruhan lebih tinggi akan mempunyai laju fotosintesis yang lebih rendah karena terhambatnya penetrasi cahaya ke dalam perairan.

Secara temporal, laju produktivitas primer bersih fitoplankton pada periode pengamatan bulan Juni memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan pengamatan bulan Maret (Gambar 3.3). Kondisi ini sedikit berbeda dengan sebaran klorofil-a yang secara umum konsentrasi klorofil-a lebih tinggi pada bulan Maret dibandingkan dengan bulan Juni. Kondisi ini menunjukkan bahwa laju produktivitas primer tidak selamanya terkait secara langsung dengan konsentrasi klorofil-a. Pada waktu tertentu laju produktivitas primer bisa saja memiliki nilai yang rendah di saat konsentrasi klorofil-a tinggi dalam perairan. Hubungan ini terjadi saat penetrasi cahaya matahari terhalang masuk ke dalam perairan karena adanya awan atau tingkat kekeruhan yang tinggi sehingga laju produktivitas primer menjadi berkurang pada

saat kondisi klorofil justru bertambah karena mendapatkan suplai dari bagian perairan lainnya (Tambaru, 2008).

Tingginya laju produktivitas primer pada bulan Juni di perairan pantai dan laut diduga disebabkan oleh tingginya intensitas cahaya yang masuk ke dalam kolom perairan sehingga laju fotosintesis berlangsung lebih cepat. Cahaya merupakan sumber energi pada proses fotosintesis. Menurut Lalli & Parsons (1995), cahaya merupakan salah satu faktor fisika utama yang mengontrol produksi fitoplankton dalam perairan. Parsons dkk. (1984) mengatakan bahwa intensitas cahaya secara kualitatif digambarkan lewat distribusi spektral yang bergantung pada perbedaan panjang gelombang. Cahaya dengan panjang gelombang di atas 760 nm disebut infra merah (IR) dan cahaya yang kurang dari 300 nm adalah ultraviolet (UV). Panjang gelombang antara UV dan IR disebut *Visible* (VS), fraksinya sebagian besar penting untuk aspek-aspek biologi, seperti fotosintesis dan rangsangan visual organisme. Total radiasi pada panjang gelombang ini disebut *photosynthetically available radiation* (PAR) yang dapat menembus perairan dan selanjutnya diserap oleh klorofil fitoplankton.

## KESIMPULAN

Sebaran klorofil-a di perairan Gending, Kalibuntu, dan Randu Tatah, Kabupaten Probolinggo memiliki pola yang sama, yaitu lebih tinggi di daerah dekat muara sungai dan semakin menurun ke arah laut. Berdasarkan sebaran konsentrasi klorofil-a, ketiga perairan tersebut mengalami eutrofikasi pada tingkat rendah hingga sedang. Lokasi pengambilan sampel yang berada di dekat muara sungai mengalami proses eutrofikasi lebih tinggi dibandingkan eutrofikasi pada lokasi pengambilan sampel di laut. Tingginya produktivitas primer perairan tidak mutlak dipengaruhi oleh tingginya klorofil-a, namun juga sangat dipengaruhi oleh faktor tingkat kekeruhan perairan. Bila ditinjau dari laju produktivitas primer bersih fitoplankton dan seston, secara

umum kualitas perairan pesisir Probolinggo lebih baik pada bulan Juni dibandingkan bulan Maret.

Hasil ini digunakan oleh Pemda Kab. Probolinggo untuk mengevaluasi kondisi lingkungan perairan pesisir Probolinggo terutama bagaimana mengontrol dan mengurangi suplai nutrisi ke perairan sehingga mengurangi dampak terjadinya eutrofikasi di perairan pesisir. Hal yang perlu dilakukan oleh Pemda adalah mengimbau para petani untuk lebih banyak menggunakan pupuk organik sehingga lebih cepat diserap oleh tanaman dan tidak mencemari lingkungan. Untuk rumah tangga dan industri perlu diimbau untuk melakukan pengolahan limbah terlebih dahulu sebelum dibuang ke sungai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aalderink, R.H. & R. Jovin. 1997. Estimation of the Photosynthesis/Irradiance (P/I) Curve Parameters from Light and Dark Bottle Experiments. *Journal of Plankton Research* 19 (11): 1713–1742.
- Anderson, J.H., dkk. 2006. Coastal Eutrophication: Recent Developments in Definitions and Implications for Monitoring Strategies. *Horizon. Journal of Plankton Research* 28 (7): 621–628.
- APHA. 1980. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. APHA, AWWA, WPCF. 15th eds.: 388–389.
- Bohlen, C. & W. Boynton. 1966. Chlorophyll in Mid-Atlantic Estuaries. Chesapeake Bay program. *US-EPA-MAIA*. (<http://www.epa.gov/maia/index-txt.html>).
- Bricker, S.B., dkk. 1999. *Effect of Nutrient Enrichment in the Nation's Estuaries*. National Estuarine Eutrophication Assessment. U.S. Department of Commerce, NOAA. 84 pp.
- CCME. 2007. *Canadian Guidance Framework for the Management of Nutrients in Nearshore Marine Systems*. Scientific Supporting Document. CCME: 80 pp.
- Cochlan, W. & J. Hendorn. 2012. *Water Quality Methods*. Cochlan Phytoplankton Ecophysiology Laboratory. Romberg Tiburon Center for Environmental Studies San Francisco State University. Tiburon, CSA, USA.

- Lalli, C.M. & T.R. Parsons. 1995. *Biological Oceanography*, an Introduction. Oxford: Butterworth-Heinemann. 406 pp.
- Mills, E. 2003. State of the Gulf Report: Nutrient Indicators. Report prepared for the Gulf of Marine Summit Planning Committee. NOAA Office of Ocean and Coastal Management. 11 pp.
- National Land & Water Resources Audit (NLWRA). 2002. *Australian Catchment, River and Estuary Assessment 2002*, Vol. 1, NLWRA, Commonwealth of Australia, Canberra. ([http://audit.deh.gov.au/ANRA/coasts/docs/estuary\\_assessment/EstAss\\_Preface.cfm](http://audit.deh.gov.au/ANRA/coasts/docs/estuary_assessment/EstAss_Preface.cfm))
- Nybakken, J.W. 1992. *Biologi Laut. Suatu Pendekatan Ekologis*. Alih Bahasa: M. Eidman, Koesoebiono, D.G. Bengen dan M. Hutomo. Jakarta: Gramedia. 459 hlm..
- Ornolfsdottir, E.B., dkk. 2004. Phytoplankton Community Growth-Rate Response of Nutrient Pulses in a Shallow Turbid Estuary, Galveston Bay, Texas. *Journal of Plankton Research*, 26 (3): 325–339.
- Parsons, T.R., dkk. 1984. *Biological Oceanography Process*. Third Edition. New York: Pergamon Press. Hlm.80 –87
- Raymont, J.E.G. 1980. *Plankton and Productivity in the Oceans*. 2<sup>nd</sup> Edition. Vol I. New York: Pergamon Press. Hlm. 65–132.
- Rousseau, V., dkk. 2002. Diatom Succession, Silification and Silicic Acid Availability in Belgian Coastal Waters (Southern North Sea). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 236: 61–73.
- Sarma, V.V. dkk. 2006. Role of Physical Processes in the Distribution of Chlorophyll a in the Northwest Bay of Bengal During Pre and Post Monsoon Season. *Current Science* 91 (9): 1133–1134.
- Steigenberger, S., dkk. 2004. Blue Fluorescence of NADPH As An Indicator of Marine Production. *EARSsel Eproceedings* 3.
- Strickland, J.D.H. & T.R. Parsons. 1968. A Practical Hand Book of Seawater Analysis. *Fish. Sea. Res. Bull.* 167: 1–311.
- Tambaru, R. 2008. Dinamika Komunitas Fitoplankton dalam Kaitannya dengan Produktivitas Perairan di Perairan Pesisir Maros Sulawesi Selatan. *Disertasi*. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. 125 hlm.
- Ward, T., dkk. 1998. Environmental Indicators for National State of the Environment Reporting - Estuaries and the Sea, Australia: State of the Environment (Environmental Indicator Reports), Department of theEnvironment, Canberra.



# BAB IV KELIMPAHAN DAN DOMINANSI FITOPLANKTON DI PERAIRAN

✍ Nurul Fitriya dan Hikmah Thoha

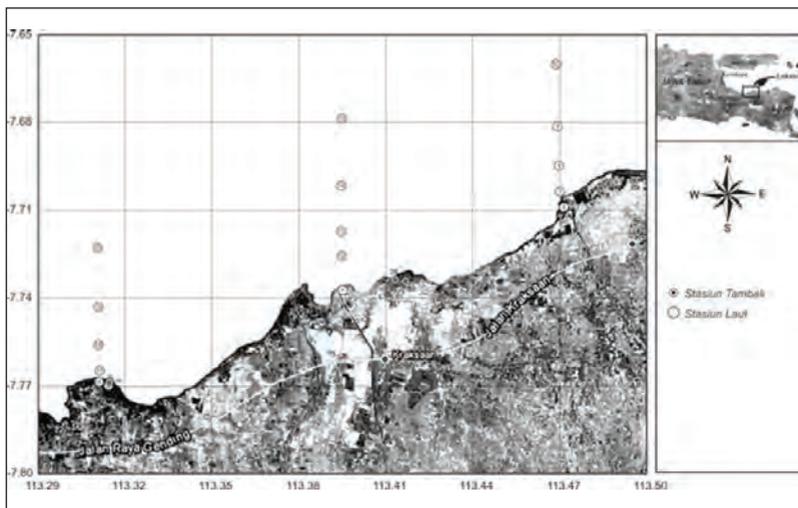
## PENDAHULUAN

**P**lankton (fitoplankton dan zooplankton) adalah organisme mikroskopik yang memainkan peran sangat penting dalam menopang rantai makanan di laut. Walaupun daya gerakanya terbatas dan distribusinya ditentukan oleh pergerakan arus dan cahaya, fitoplankton adalah mikroorganisme yang paling bertanggung jawab terhadap tingkat kesuburan di laut (produktivitas primer). Selain itu, plankton juga memainkan peran yang penting dalam siklus gas-gas di atmosfer, khususnya karbondioksida yang menyebabkan pemanasan global (Richardson, 2008). Fitoplankton membantu penyerapan karbondioksida di udara dan mengubahnya menjadi oksigen yang dibutuhkan dalam menjaga kestabilan reaksi oksidasi senyawa-senyawa organik di laut selama proses fotosintesis.

Pemahaman yang baik akan dinamika komunitas fitoplankton pada suatu perairan selalu menjadi perhatian dalam memahami kompleksitas sistem perairan laut. Dinamika plankton dapat dipahami, antara lain dengan mengkaji struktur komunitas dari plankton. Parameter-parameter tersebut ditentukan oleh interaksi dari berbagai faktor yang saling memengaruhi, di antaranya nutrient, kecerahan, suhu, dan pemangsa (Townsend dkk., 1994).

Penelitian mengenai komunitas fitoplankton di perairan Probolinggo bertujuan untuk memberikan pemahaman tentang kondisi umum perairan Probolinggo yang dapat digunakan sebagai salah satu dasar dalam pengelolaan sumber daya alam. Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret dan Juni 2012 di 15 stasiun penelitian, yaitu di daerah Randutatah (5 stasiun), Gending (5 stasiun), dan Kalibuntu (5 stasiun) (Gambar 4.1).

Pengambilan contoh plankton dilakukan dengan menggunakan jaring plankton “Kitahara” berukuran mata jaring 80  $\mu\text{m}$  dengan diameter mulut jaring 0,31 m dan panjang jaring 100 cm. Teknik penarikan contoh plankton dilakukan secara vertikal dengan kecepatan konstan dari kedalaman air 10 m sampai permukaan. Contoh plankton yang tertampung dalam ember kemudian dipindahkan ke dalam botol sampel dan difiksasi dengan pengawet formalin 2–4% selanjutnya disimpan untuk pencacahan dan identifikasi.



**Gambar 4.1** Lokasi Penelitian di Perairan Probolinggo, Maret dan Juni 2012

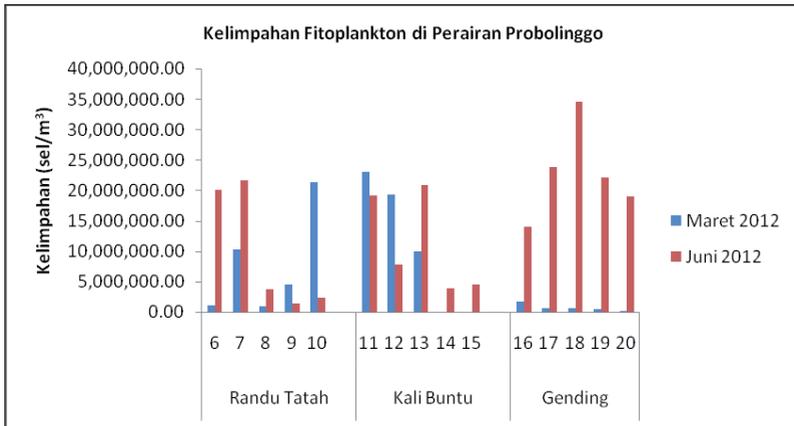
Contoh plankton yang diperoleh kemudian dicacah dan diidentifikasi di laboratorium plankton dengan menggunakan mikroskop *high power* NIKON. Pencacahan fitoplankton akan dilakukan dengan *sedwigck-rafter counting chamber* atas fraksi sampel. Hasilnya akan dinyatakan dalam sel/m<sup>3</sup>. Identifikasi fitoplankton akan dilakukan dengan bantuan buku referensi Davis (1955), Wickstead (1965), Shirota (1966), Yamaji (1976), Wickstead (1976), Taylor (1994), Praseno & Sugestiningasih (2000), Nontji (2008), IOC WESTPAC (2010), dan Omura dkk. (2012). Hasil perhitungan kelimpahan fitoplankton dinyatakan dalam sel/m<sup>3</sup> dengan menggunakan perhitungan kelimpahan fitoplankton (Arinardi, 1997).

### ***Kelimpahan Fitoplankton***

Secara keseluruhan kelimpahan fitoplankton di perairan Probolinggo pada penelitian pertama, bulan Maret 2012 berkisar antara 229.681–23.098.591 sel/m<sup>3</sup>. Kelimpahan fitoplankton tertinggi ditemukan di stasiun 11 di daerah perairan Kalibuntu dengan kepadatan sebesar 23.098.591 sel/m<sup>3</sup> dan terendah di stasiun 20 sebesar 229.681 sel/m<sup>3</sup> di daerah perairan pesisir Gending (Gambar 4.2). Boyd (1979) menyatakan bahwa populasi fitoplankton senantiasa mengalami fluktuasi dalam komposisi dan jumlahnya karena perbedaan kualitas air (terutama unsur hara), adanya pengaruh grazing zooplankton dan ikan herbivora serta akumulasi sisa-sisa metabolisme yang bersifat toksik.

Demikian pula yang terjadi pada komunitas fitoplankton di perairan Probolinggo, pada penelitian kedua yang dilaksanakan pada bulan Juni 2012, kelimpahan fitoplankton menjadi lebih tinggi dengan kisaran nilai 1.449.152–34.500.000 sel/m<sup>3</sup> dengan kelimpahan tertinggi ditemukan di stasiun 18 (Gending) dan terendah di stasiun 9 (Randutatah). Berdasarkan kategori yang dibuat oleh Spatharis dan Tsirtsis (2010) perairan dianggap bersifat oligotrofik (kurang subur)

bila kelimpahan fitoplankton kurang dari 4.160 sel/l (41.600.000 sel/m<sup>3</sup>). Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa sifat perairan Probolinggo masih termasuk dalam kategori oligotrofik (kurang subur) karena kelimpahan fitoplankton yang ditemukan dalam dua kali penelitian menunjukkan nilai yang kurang dari 4.160 sel/l (41.600.000 sel/m<sup>3</sup>).



**Gambar 4.2** Kelimpahan Fitoplankton di Perairan Probolinggo 2012

Secara umum, pada penelitian bulan Maret 2012 terdapat 21 jenis fitoplankton yang ditemukan yang tergolong dalam 14 jenis diatom dan 7 jenis dinoflagellata. Dominansi diatom dijelaskan juga dengan frekuensi kejadian hingga mencapai 90% di keseluruhan titik sampling. Empat jenis diatom yang umumnya dijumpai di perairan ini, yaitu *Chaetoceros*, *Bacteriastrium*, *Thalassiothrix*, dan *Nitzschia* (Tabel 4.1). Adapun dari kelompok dinoflagellata jenis yang umum ditemukan adalah *Ceratium*.

Pada penelitian bulan Juni 2012, juga ditemukan 21 jenis fitoplankton dengan 17 jenis diatom dan 4 jenis dinoflagellatae. Sebagian dari jenis fitoplankton tersebut sebelumnya tidak ditemukan pada

bulan Maret 2012, tapi ditemukan pada bulan Juni 2012, sebaliknya ada pula jenis yang ditemukan pada bulan Maret 2012 tetapi tidak ditemukan di bulan Juni, seperti fitoplankton dari golongan diatom yang semula hanya 14 jenis bertambah menjadi 17, yaitu *Hemidiscus*, *Lauderia*, dan *Leptocylindrus*; sedangkan golongan dinoflagellatae berkurang yang semula 7 menjadi 4, yaitu *Prorocentrum*, *Protoperidinium* dan *Amphizolenia*. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya perbedaan kondisi lingkungan pada saat penelitian dilakukan, di mana setiap jenis fitoplankton mempunyai tingkat toleransi yang berbeda terhadap perubahan lingkungannya. Sebagaimana yang dijelaskan oleh Arinardi dkk. (1997) bahwa adanya perbedaan keberadaan dan sebaran fitoplankton pada saat penelitian merupakan hasil dari kejadian yang teratur dan terus menerus yang dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan tunggal dan ganda yang menata bentuk sebaran, kelulusan hidup, dan kepadatannya. Populasi plankton pada suatu perairan mempunyai nilai kelimpahan dan komposisi yang bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan yang erat kaitannya dengan perubahan musim. Faktor fisik-kimia, seperti suhu, intensitas cahaya, salinitas, pH, dan zat cemar di suatu perairan memegang peranan penting dalam menentukan kelimpahannya. Adapun faktor biotik, seperti pakan, predator, dan adanya pesaing dapat memengaruhi komposisi spesies.

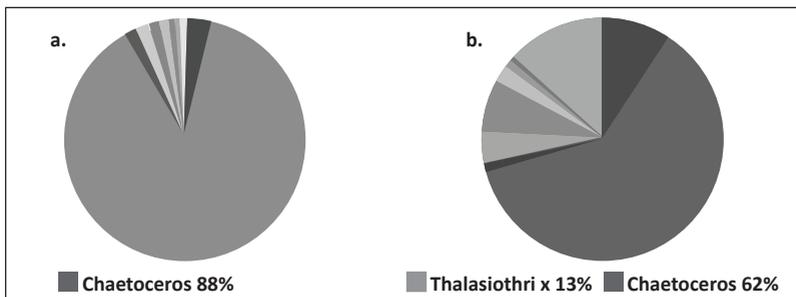
### ***Komposisi Fitoplankton***

Pada bulan Maret 2012, komposisi fitoplankton lebih didominasi oleh *Chaetoceros* dengan nilai mencapai 88%, sedangkan pada bulan Juni terjadi pergeseran, walaupun masih didominasi oleh *Chaetoceros*, tetapi nilainya tidak sebesar pada penelitian sebelumnya karena hadirnya beberapa jenis fitoplankton lain, seperti *Thalassiothrix*, *Bacteriastrum*, dan *Nitzschia* (Gambar 4.3). Kelompok diatom mendominasi dengan frekuensi kejadian mencapai 90%. Dominansi diatom di perairan

disebabkan oleh kemampuan diatom untuk beradaptasi serta lingkungan, bersifat kosmopolit, tahan terhadap kondisi ekstrim, serta mempunyai daya reproduksi yang tinggi (Odum, 1994). Komposisi struktur fitoplankton seperti yang ditemukan di perairan Probolinggo juga dijumpai di beberapa perairan di Indonesia, seperti di Teluk Ambon bagian dalam (Dwiono & Rahayu, 1984), Selat Makassar (Thoha & Amri, 2010), dan di perairan Taka Bonerate (Febrina, 2005).

Tabel 4.1 menunjukkan taksa dominan dari setiap lokasi penelitian. Dalam tabel tersebut terlihat bahwa *Chaetoceros* mendominasi di setiap lokasi mulai dari Randutatah, Kalbuntu, dan Gending dengan nilai berkisar antara 33–96%, baik pada bulan Maret maupun Juni 2012.

Dari dua kali penelitian yang dilakukan, Randutatah dan Kalibuntu merupakan dua lokasi dengan komposisi fitoplankton yang hampir sama, didominasi oleh kelompok diatom terutama *Chaetoceros* pada bulan Maret, tetapi pada bulan Juni 2012, dominasi *Chaetoceros* sedikit berkurang dengan hadirnya genus lain, seperti *Thalassiothrix* dan *Nitzschia*. Dominansi dari kelompok diatom ini biasa ditemukan di perairan temperate dan berlangsung dalam musim semi dan dikenal dengan istilah sebagai *Spring Diatoms Increase* (SDI). Di perairan



**Gambar 4.3** Komposisi Fitoplankton di Perairan Probolinggo, (a) Maret dan (b) Juni 2012

**Tabel 4.1** Taksa Predominan Fitoplankton di Perairan Probolinggo, Maret dan Juni 2012

Lokasi	Taksa Predominan	
	Maret	Juni
<b>Randu Tatah</b>		
stasiun 6	<i>Chaetoceros</i> (35%), <i>Thalassiosira</i> , <i>Nitzschia</i> , <i>Thalassiothrix</i>	<i>Chaetoceros</i> (83 %)
stasiun 7	<i>Chaetoceros</i> (94%)	<i>Chaetoceros</i> (95 %)
stasiun 8	<i>Chaetoceros</i> (55%), <i>Thalassiothrix</i> ,	<i>Chaetoceros</i> (61 %), <i>Thalassiothrix</i>
stasiun 9	<i>Chaetoceros</i> (87%)	<i>Chaetoceros</i> (48 %)
stasiun 10	<i>Chaetoceros</i> (87 %), <i>Bacteriastrum</i>	<i>Chaetoceros</i> (50 %), <i>Thalassiothrix</i>
<b>Kali Buntu</b>		
stasiun 11	<i>Chaetoceros</i> (96 %)	<i>Chaetoceros</i> (55 %), <i>Thalassiothrix</i>
stasiun 12	<i>Chaetoceros</i> (89 %)	<i>Chaetoceros</i> (33 %), <i>Nitzschia</i> , <i>Hemiaulus</i> , <i>Bacteriastrum</i> , <i>Thalassiothrix</i>
stasiun 13	<i>Chaetoceros</i> (91 %)	<i>Chaetoceros</i> (61 %), <i>Thalassiothrix</i>
stasiun 14		<i>Chaetoceros</i> (62 %), <i>Thalassiothrix</i>
stasiun 15		<i>Chaetoceros</i> (46 %), <i>Thalassiothrix</i>
<b>Gending</b>		
stasiun 16	<i>Chaetoceros</i> (55 %), <i>Nitzschia</i> , <i>Thalassiosira</i>	<i>Chaetoceros</i> (63 %), <i>Bacteriastrum</i>
stasiun 17	<i>Ceratium</i> (36 %), <i>Dinophysis</i> , <i>Chaetoceros</i> , <i>Thalassiosira</i>	<i>Chaetoceros</i> (69 %), <i>Thalassiothrix</i> , <i>Bacteriastrum</i>
stasiun 18	<i>Chaetoceros</i> (37 %), <i>Ceratium</i> , <i>Dinophysis</i>	<i>Chaetoceros</i> (54 %), <i>Thalassiothrix</i> , <i>Bacteriastrum</i> , <i>Nitzschia</i>
stasiun 19	<i>Chaetoceros</i> (33 %), <i>Noctiluca</i> , <i>Ceratium</i> , <i>Dinophysis</i>	<i>Chaetoceros</i> (46 %), <i>Thalassiothrix</i>
stasiun 20	<i>Chaetoceros</i> (49), <i>Coscinodiscus</i> , <i>Ceratium</i>	<i>Chaetoceros</i> (44 %), <i>Thalassiothrix</i> , <i>Bacteriastrum</i>

sepanjang pantai tropis terutama di sekitar mulut sungai, melimpahnya *diatom* sebagian besar karena pengaruh daratan (*land mass effect*) sebagai akibat terbawanya nutrisi dari sawah, ladang, limbah industri, dan limbah rumah tangga melalui aliran air sungai menuju ke laut dan juga karena turbulensi (pengadukan) oleh gelombang pasang dan arus laut yang bergerak dari perairan yang relatif dalam ke yang lebih dangkal (Arinardi dkk., 1984).

Lokasi lainnya adalah perairan Gending yang memiliki komposisi fitoplankton yang berbeda dengan lokasi Kalibuntu dan Randutatah. Penelitian pada bulan Maret 2012 menemukan bahwa kelompok *Dinoflagellata* memiliki nilai taksa dominan mencapai lebih dari 10%. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungannya mendukung pertumbuhan dari kelompok fitoplankton yang umumnya merupakan kelompok fitoplankton penyebab *Harmful Alga Bloom* (HAB).

Kelompok *Dinoflagellata* dominan (>10%) di perairan Gending antara lain *Ceratium*, *Dinophysis*, dan *Noctiluca*. *Ceratium* umum ditemukan di perairan pantai dan ledakan populasinya dapat menyebabkan gangguan pada juvenil invertebrata dan merupakan penyebab kematian juvenil tiram. Ledakan populasinya juga dapat menyebabkan kondisi anoksia dan hipoksia dari air laut. *Dinophysis* yang juga umum ditemukan di perairan pantai, jika *blooming* dapat menyebabkan kematian massal pada ikan dan diduga berkaitan dengan terjadinya eutrofikasi, khususnya peningkatan posfat. Fitoplankton, seperti *Noctiluca* yang termasuk dalam kelompok fagotrop (kelompok yang hidup dengan memangsa biota lain), walaupun tidak menghasilkan toksin, tetapi ledakan populasinya di perairan dapat menimbulkan masalah karena mengandung amonia yang tinggi dalam selnya (Mendez & Mendez, 1993 dalam Praseno & Sugestiningih, 2000). *Blooming* dari *Noctiluca* juga dapat mengindikasikan terjadinya eutrofikasi di perairan, kehadirannya dapat

dikaitkan dengan tingginya tingkat masukan hara dari daratan ke perairan estuarin. Dari uraian sebelumnya dapat dikatakan bahwa perairan Gending pada bulan Maret 2012 menunjukkan kondisi lingkungan yang sangat mendukung pertumbuhan *Dinoflagellata*, hal itu diduga merupakan salah satu dampak dari limbah industri yang berada di sekitar perairan Gending. Buangan limbah pabrik di sekitar perairan Gending menyebabkan peningkatan hara di perairan dan memicu kehadiran fitoplankton-fitoplankton penyebab *Harmful Alga Bloom* (HAB). Kehadiran beberapa jenis fitoplankton penyebab HAB yang mendominasi di perairan Gending ini merupakan salah satu masalah yang harus diwaspadai karena dikhawatirkan bila suatu saat nanti akan mengalami ledakan pertumbuhan yang berdampak negatif, baik secara ekonomis maupun ekologis. Menurut Elberizon & Zulkifli (1996), ledakan populasi fitoplankton dapat terjadi melalui dua fase, yaitu *fase pertama*, melalui pengadukan massa air oleh angin yang memungkinkan kembalinya unsur hara yang ada di sedimen ke lingkungan melalui mekanisme *upwelling*. Bersamaan dengan itu, kista fitoplankton juga terangkat ke kolom air. Bila kondisi lingkungan memungkinkan, kista tersebut akan tumbuh dan berkembang. *Fase kedua*, yaitu melalui inisialisasi *red tide*/HAB yang ditandai dengan kehadiran jenis penyebab *red tide*/HAB di suatu perairan. Bila kondisi ekstrem (terjadi penyuburan perairan berlebihan), fitoplankton lain tidak dapat berkembang dengan cepat. Fase kedua ini terjadi apabila keadaan perairan relatif tenang setelah pengadukan.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian yang telah dikemukakan dapat disimpulkan bahwa perairan di sekitar Probolinggo secara umum termasuk dalam kategori oligotrofik dengan tingkat kestabilan sedang dan tidak ada dominasi tinggi dalam komunitasnya. Struktur komunitasnya didominasi oleh fitoplakton yang umum melimpah di perairan

Indonesia. Beberapa fitoplankton yang bersifat merugikan juga ditemukan dalam lokasi penelitian, namun dengan kelimpahan yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan kelimpahan fitoplankton lainnya. Kondisi umum perairan Probolinggo masih dapat dikatakan baik dengan beberapa catatan yang perlu mendapat perhatian dan kajian yang lebih dalam lagi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arinardi, O.H. 1997. Metode Penelitian Plankton Bahari. Dalam: H.P. Hutagalung, D. Setiapermana dan S.H. Riyono (Eds.). *Metode Analisis Air Laut, Sedimen dan Biota, buku 2*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi. LIPI. Hlm. 143–152.
- Arinardi, Q. Adnan; Sutomo. 1984. Dalam: M.K. Moosa, D.P. Praseno, W. Kastoro (Eds). *Evaluasi Kondisi Perairan Selat Malaka 1978–1980*. Jakarta: LON-LIPI. Hlm. 1–7 .
- Arinardi, O.H., dkk.1997. *Kisaran Kelimpahan dan Komposisi Plankton Predominan di Perairan Kawasan Timur Indonesia*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi LIPI. 140 hlm.
- Boyd, C.E. 1979. *Water Quality in Warm Water Fish Ponds*. Alabama: Auburn University.
- Davis, C.C. 1955. *The Marine and Freshwater Plankton*. Michigan State University Press. 562 pp.
- Dwiono, S.A.P. & D.L. Rahayu. 1984. Studi Pendahuluan Fitoplankton di Teluk Ambon Bagian Dalam. *Oseanologi di Indonesia*, 18: 55–61.
- Elberizon & Zulkifli. 1996. “Potensi Red Tide oleh *Pyrodinium* di Perairan Pantai Timur Pulau Bintan Kabupaten Daerah Tingkat II Riau”. Laporan Penelitian. Program Studi Ilmu Kelautan Universitas Riau, Pekanbaru UNRI. 43 hlm.
- Febrina, H. 2005. *Komposisi dan Kelimpahan Jenis Fitoplankton pada Perairan Pulau Bonerate Kabupaten Selayar. Skripsi*. Jurusan Ilmu Kelautan. Universitas Hasanuddin. Makassar. 75 hlm.
- IOC WESTPAC. 2010. *Manuals and Guides Microscopic and Molecular Methods for Quantitative Phytoplankton Analysis*. Editors: Bengt Karlson, Caroline Cusack dan Eileen Bresnan. UNESCO. 110 pp.

- Nontji, A. 2008. *Plankton Laut*. Jakarta: LIPI Press. Indonesia. 331 hlm.
- Odum, E.P. 1994. *Dasar-dasar Ekologi* (terjemahan). Yogyakarta: Gadjah Mada University, 241 hlm.
- Omura, T., dkk. 2012. *Marine Phytoplankton of the Western Pacific*. Japan: Kouseisha Kouseikaku Co., Ltd. 160 pp.
- Praseno, D.P. & Sugestiningih. 2000. *Retaid di Perairan Indonesia*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi LIPI. Indonesia. 82 hlm.
- Richardson, A.J. 2008. In Hot Water: Zooplankton and Climate Change. *ICES Journal of Marine Sciences*, 65: 279–295.
- Shirota, A. 1966. *The Plankton of South Vietnam: Freshwater and Marine Plankton*. Japan: Over Tech Coop Agent.
- Spatharis, S. & G. Tsirtsis. 2010. Ecological Quality Scales Based on Phytoplankton for the Implementation of Water Framework Directive in the Eastern Mediterranean. *Ecological Indicators* (10): 840–847.
- Taylor, F.J.R. 1994. “Reference Manual Taxonomic Identification of Phytoplankton with Reference to HAB Organisms“. ASEAN-Canada Cooperative Programme on Marine Science Workshop on the Taxonomy of Phytoplankton and Harmful Algal Bloom-Organisms Hosted by LIPI, Jakarta. 568 pp.
- Thoha, H., & K. Amri. 2010. Komposisi dan Kelimpahan Fitoplankton di Perairan Kalimantan Selatan. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 37 (2): 371–382.
- Townsend, D.W., dkk. 1994. Causes and Consequences of Variability in the Timing of Spring Phytoplankton Blooms. *Deep-Sea Research I* 41, 747–765.
- Wickstead, J.H. 1976. *The Institute of Biology's Studies in Biology no. 62: Marine zooplankton*. Edward Arnold Publisher Ltd. Pp. 22–24.
- Wickstead, J.H. 1965. *An Introduction To The Study of Tropical Plankton*. Hutchinson & Co (Publishers) LTD 178–202 Great Portland St. London Wt. 160 pp.
- Yamaji, I.E. 1976. *Illustration of the Marine Plankton of Japan*. Hoikusha, Osaka, Japan. 369 pp.



# BAB V KOMUNITAS ZOOPLANKTON DI PERAIRAN

 Nurul Fitriya

## PENDAHULUAN

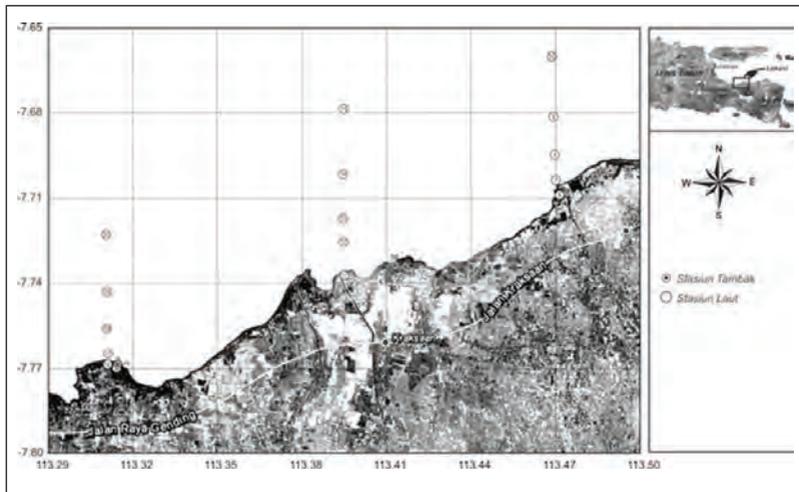
**P**lankton adalah organisme mikroskopik yang hidup melayang atau mengapung dalam badan air dengan kemampuan gerak yang terbatas. Walaupun demikian, plankton yang terdiri atas fitoplankton dan zooplankton merupakan komponen biotik penting dalam metabolisme badan air. Plankton merupakan mata rantai primer dan sekunder dalam rantai makanan ekosistem perairan. Richardson (2008) menyatakan peran penting zooplankton, antara lain sebagai jalur utama energi dalam rantai makanan di laut karena zooplankton merupakan penghubung antara produsen (fitoplankton) dan konsumen yang lebih tinggi trofik levelnya, seperti ikan, mamalia laut, dan kura-kura. Zooplankton juga makanan utama beberapa hewan besar di laut, seperti paus. Di samping perannya dalam mata rantai ekosistem laut, zooplankton juga berperan penting dalam komunitas mikroba, melalui regenerasi nitrogen melalui ekskresinya, zooplankton akan mendukung produksi bakteri dan fitoplankton. Selain itu, zooplankton juga berperan sebagai pompa biologis di laut karena banyak karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang terkandung dalam fitoplankton dimakan oleh zooplankton dan akhirnya tenggelam ke

dasar laut (Richardson, 2008). Zooplankton juga membawa sejumlah besar karbon dari permukaan laut ke bagian yang lebih dalam ketika menghindari para pemangsanya. Demikian pentingnya keberadaan zooplankton di laut sehingga perlu dilakukan suatu penelitian untuk mengetahui komposisi penyusun komunitas zooplankton di suatu perairan.

Tulisan ini memberikan gambaran tentang variasi kelimpahan zooplankton dan struktur komunitasnya (terutama yang dominan) pada tiga lokasi penelitian di perairan Probolinggo, yaitu daerah Kalibuntu, Gending, dan Randutatah.

Penelitian dilakukan di wilayah perairan Probolinggo pada bulan Maret dan Juni 2012. Lokasi penelitian mencakup 15 stasiun yang berada pada tiga daerah, yaitu Randutatah, Gending, dan Kalibuntu yang masing-masing terdiri atas lima stasiun penelitian (Gambar 5.1).

Pengambilan sampel zooplankton secara vertikal dilakukan dengan menggunakan *conical plankton net* ukuran mata jaring 300 mikron, panjang 180 cm, dan diameter mulut jaring 31 cm. Sampel



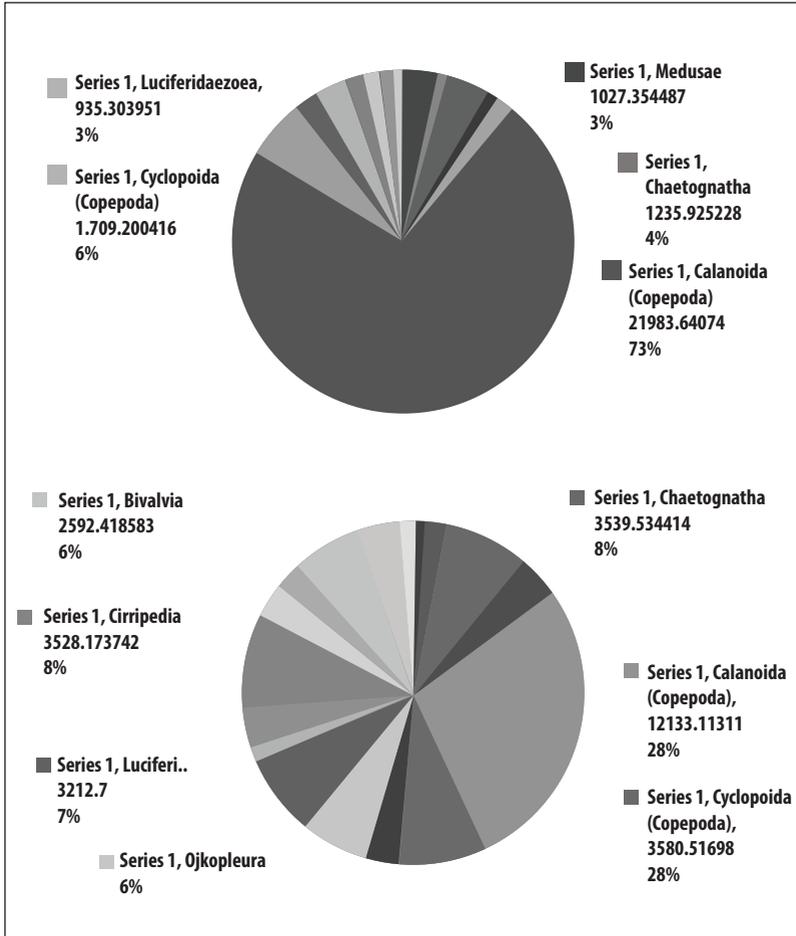
**Gambar 5.1** Peta Lokasi Penelitian Zooplankton di Perairan Probolinggo, 2012

yang tersaring di koleksi dalam botol plastik berukuran 250 cc dan diberi pengawet formalin 4% yang telah dinetralkan dengan boraks. Sampel zooplankton diidentifikasi menggunakan mikroskop *compound* Nikon. Cacahan zooplankton dilakukan melalui fraksi 2,5 ml, hasil cacahan dinyatakan dengan individu/m<sup>3</sup>. Sampel zooplankton diidentifikasi dengan bantuan beberapa bahan pustaka, antara lain Zongguo & Mao (2012), Young (2002), Yamaji (1976), Wickstead (1965), Newell & Newell (1963), dan Davis (1955). Setelah identifikasi selesai, dilakukan penghitungan kelimpahan zooplankton (Arinardi, 1997).

### ***Komunitas Zooplankton***

Komunitas zooplankton pada pengamatan bulan Maret 2012 tersusun atas 28 taksa dan didominasi oleh taksa Calanoida (73%) (Gambar 5.2). Berdasarkan penghitungan frekuensi kehadiran (FK), yaitu dengan cara menghitung kehadiran setiap taksa dalam setiap stasiun penelitian, diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa pada bulan Maret 2012 di perairan Probolinggo ada tiga taksa zooplankton yang mempunyai nilai FK 100% yang berarti taksa tersebut ditemukan di seluruh stasiun penelitian, yaitu Calanoida, Chaetognatha, dan Oikopleura. Sementara pada bulan Juni komunitas zooplankton tersusun atas 39 taksa dan tetap didominasi oleh taksa Calanoida (28%). Terdapat enam taksa zooplankton dengan nilai FK mencapai 100% yang berarti bahwa taksa tersebut ditemukan di seluruh stasiun penelitian, yaitu Calanoida, Cyclopida, Harpacticoida, Chaetognatha, Oikopleura, dan Polychaeta.

Secara umum kelimpahan zooplankton pada saat pengamatan berkisar antara 213 hingga 16.126 individu/m<sup>3</sup>. Kelimpahan tertinggi dijumpai di stasiun 11, sedangkan kelimpahan terendah terdapat di stasiun 19. Stasiun 11 adalah stasiun yang terletak di daerah Kalibuntu, Probolinggo, sedangkan stasiun 19 terletak di daerah Gending.



**Gambar 5.2** Komposisi Zooplankton di Perairan Pesisir Probolinggo, Maret (atas) dan Juni (bawah) 2012

Kelimpahan zooplankton tertinggi ditemukan pada stasiun 11 yang terletak lebih dekat daratan, sedangkan kelimpahan terendah pada stasiun 19 yang letaknya lebih ke arah laut dari perairan Probolinggo. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebaran zooplankton yang padat umumnya dijumpai di perairan yang dekat dengan daratan dan

**Tabel 5.1** Kelimpahan Zooplankton di Perairan Probolinggo, Maret 2012

Lokasi	Stasiun	Kelimpahan (ind/m <sup>3</sup> )	Predominan (>10%)	
			Taksa	%
Kalibuntu	6	2.014	Medusae	49,65
			Calanoida	39,86
	7	1.344	Calanoida	54,39
	8	1.360	Calanoida	65,70
	9	1.700	Calanoida	62,56
			Cyclopoida	17,97
	10	1.275	Calanoida	50,78
			Chaetognatha	11,64
	11	16.126	Calanoida	84,37
	12	1.112	Calanoida	53,16
		Cyclopoida	15,19	
	13	2.356	Calanoida	73,16
		Luciferidae zoea	12,14	
	14			
	15			
Gending	16	550	Chaetognatha	45,45
			Calanoida	36,36
	17	1.078	Calanoida	92,11
	18	721	Calanoida	53,53
			Ostracoda	21,57
	19	213	Calanoida	43,71
		Chaetognatha	15,23	
		Oikopleura	13,25	
	20	384	Calanoida	65,07

semakin jauh ke tengah maka kepadatan zooplankton akan semakin berkurang. Faktor yang diduga berpengaruh adalah adanya pengaruh daratan yang menyebabkan tingginya pasokan nutrisi pada perairan tersebut. Wiadnyana (1997) menyatakan bahwa biomassa plankton, baik basah maupun kering pada perairan dekat pantai selalu lebih tinggi dibandingkan dengan laut lepas.

Kelimpahan zooplankton pada pengamatan kedua ini berkisar antara 471 ind/m<sup>3</sup> (stasiun 14)–10.609 ind/m<sup>3</sup> (stasiun 6). Berbeda dengan hasil yang diperoleh pada pengamatan bulan Maret, kelimpahan terendah ada di lokasi Gending, sedangkan pada bulan Juni

**Tabel 5.2** Kelimpahan Zooplankton di Perairan Probolinggo, Juni 2012

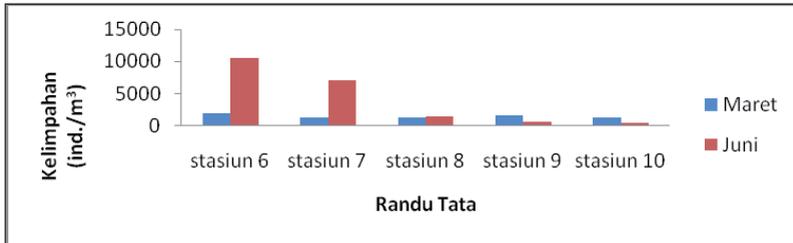
Lokasi	Stasiun	Kelimpahan (ind/m3)	Predominan (>10%)	
			Taksa	%
Randutatah	6	10.609	Calanoida	18,98
			Cirripedia	1,52
			Luciferidae zoea	18,18
	7	7.113	Calanoida	22,02
			Chaetognatha	14,85
			Cirripedia	11,41
	8	1.522	Calanoida	29,87
			Oikopleura	12,62
			Siphonophora	10,02
	9	677	Calanoida	37,08
Cyclopoida			10,83	
Oikopleura			26,67	
10	545	Calanoida	57,51	
		Oikopleura	12,95	
Kalibuntu	11	4.790	Calanoida	41,75
			Brachyura zoea	22,88
			Cirripedia	10,14
	12	1.155	Calanoida	26,65
			Luciferidae zoea	12,96
			Chaetognatha	12,71
	13	847	Calanoida	36,00
			Chaetognatha	15,67
			Oikopleura	10,67
	14	471	Calanoida	42,51
Cyclopoida			12,57	
Chaetognatha			17,37	
15	1.900	Calanoida	40,67	
		Oikopleura	23,13	
16	4.397	Cyclopoida	38,71	
		Calanoida	22,58	
Gending	17	1.368	Calanoida	27,98
			Cyclopoida	18,13
			Chaetognatha	13,99
	18	5.118	Calanoida	29,36
			Ostracoda	21,63
19	1.025	Calanoida	40,50	
		Chaetognatha	12,67	
20	1.737	Calanoida	37,56	

kelimpahan terendah ditemukan pada stasiun 14 yang terletak di lokasi Kalibuntu. Rendahnya kepadatan zooplankton pada stasiun 14 ini berkaitan erat dengan kelimpahan fitoplankton yang juga cenderung lebih rendah di lokasi tersebut.

Secara keseluruhan hasil yang diperoleh menunjukkan adanya dominansi Copepoda, dalam hal ini Ordo Calanoida. Dominansi Calanoida (Copepoda) di lokasi penelitian ini merupakan kondisi umum yang terjadi di kawasan perairan, baik pesisir maupun lautan. Oleh karena Copepoda sebagai krustacea holoplanktonik yang berukuran relatif kecil dan berperan sebagai penghubung perpindahan materi organik dari tingkatan trofik paling bawah (produsen primer atau fitoplankton) ke tingkatan trofik yang lebih tinggi maka perubahan kelimpahannya akan berpengaruh secara langsung pada komunitas zooplankton keseluruhan. Copepoda memang merajai komunitas zooplankton di perairan, baik dalam jumlah jenis maupun kelimpahannya yang sangat tinggi. Selain itu, karena ukurannya yang kecil tetapi sangat dominan di perairan maka copepoda sering dijuluki sebagai *insect of the sea*. Kelompok copepoda memang dianggap sebagai unsur yang mewakili komunitas zooplankton karena kelompok tersebut sering mendominasi komunitas zooplankton pada berbagai perairan (Wiadnyana, 1997).

### ***Randutatah***

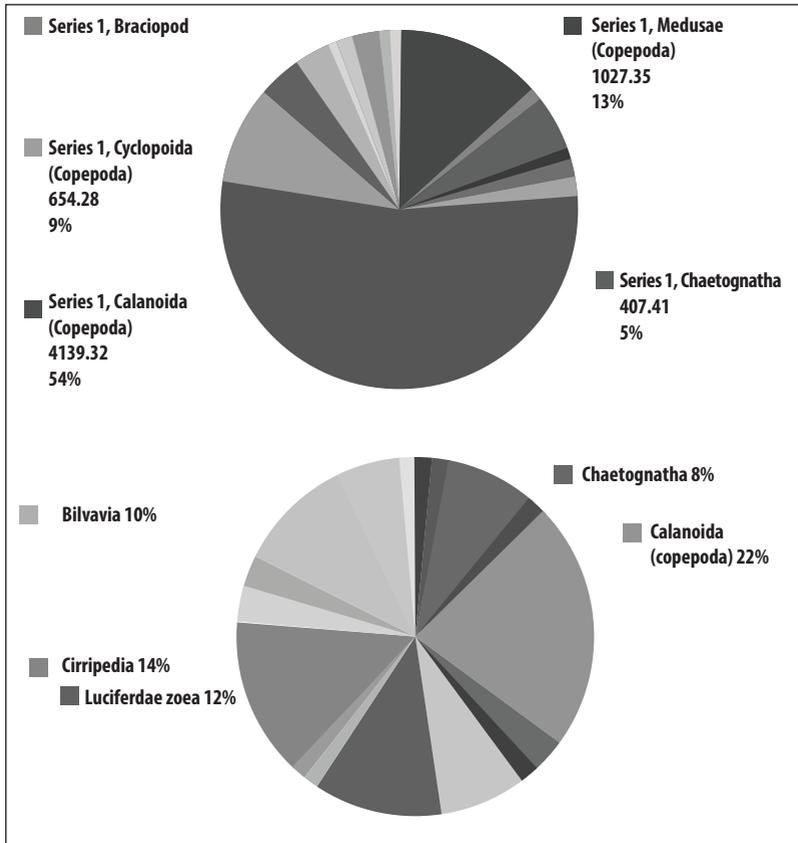
Pada umumnya kelimpahan zooplankton di lokasi Randutatah pada bulan Juni cenderung lebih tinggi dibandingkan pada bulan Maret, terutama di stasiun penelitian yang dekat dengan garis pantai (Gambar 5.3). Pola yang sama juga terjadi pada kelimpahan fitoplankton yang memiliki kelimpahan lebih tinggi pada bulan Juni 2012 pada stasiun yang sama, yaitu stasiun 6, 7, dan 8. Ketersediaan makanan yang cukup, dalam hal ini fitoplankton dan kondisi perairan yang layak akan mendukung pertumbuhan zooplankton dengan baik. Populasi



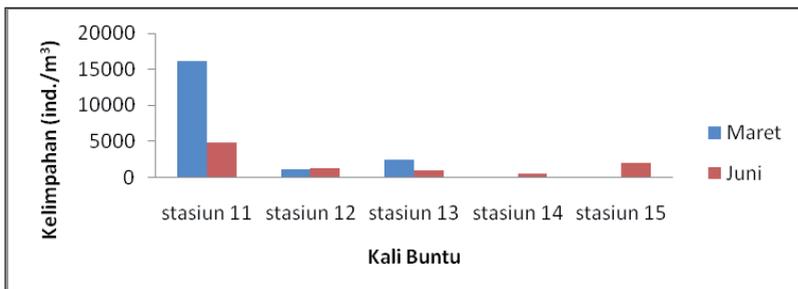
**Gambar 5.3** Kelimpahan Zooplankton di Perairan Randutatah, Probolinggo, 2012

yang besar dari zooplankton umumnya akan dicapai bila jumlah fitoplankton sebagai makanannya tersedia dalam jumlah yang cukup. Meskipun demikian, adakalanya kelimpahan fitoplankton yang tinggi tidak selalu diikuti oleh tingginya kelimpahan zooplankton, tetapi sebaliknya karena adanya beberapa faktor seperti perbedaan kecepatan pertumbuhan dan proses pemangsaan atau *grazing* (Ariardi, dkk., 1997).

Taksa dominan (>10) pada komposisi zooplankton pada bulan Maret adalah Calanoida (54%) dan Medusae (13%). Adapun pada bulan Juni adalah Calanoida (22%), Cirripedia (14%), Luciferidae zoea (12%), dan Bivalvia (10%) (Gambar 5.4). Selain didominasi oleh Calanoida yang memang umum ditemukan pada komunitas zooplankton di seluruh perairan, tampak juga bahwa komposisi pada komunitas zooplankton di lokasi pada bulan Juni 2012 lebih beragam taksa lain, selain Calanoida. Adanya perubahan kelimpahan zooplankton ini biasanya tidak selalu menyebabkan perubahan komposisi jenisnya, melainkan intensitas dari masing-masing jenis itu yang bertambah atau berkurang. Hal ini diduga menjadi penyebab tingginya kelimpahan zooplankton karena ditemukan adanya peningkatan jumlah beberapa taksa zooplankton dibandingkan jumlah yang ditemukan pada bulan Maret. Taksa-taksa yang ditemukan meningkat kelimpahannya pada bulan Juni adalah Cirripedia, Luciferidae zoea, dan Bivalvia (Gambar 5.4).



**Gambar 5.4** Komposisi Zooplankton di Perairan Randutatah, Probolinggo, Maret (atas) dan Juni (bawah) 2012



**Gambar 5.5** Kelimpahan Zooplankton di Kalibuntu, Probolinggo, 2012

Meningkatnya kelimpahan Cirripedia pada komunitas zooplankton di lokasi ini ini diperkirakan terjadi karena lokasi stasiun penelitian merupakan tempat lalu lintas kapal dan berdekatan dengan tempat berlabuhnya kapal sehingga cocok sebagai tempat hidup *Cirripedia nauplius*.

### **Kalibuntu**

Kelimpahan zooplankton di Kalibuntu lebih bervariasi (Gambar 5.5). Variasi kelimpahan zooplankton yang ditemukan pada dua kali pengamatan di lokasi ini dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan yang bervariasi sesuai dengan letak lokasi penelitian. Kekeruhan (turbiditas) yang disebabkan oleh erosi atau pengadukan air pantai (turbulensi) dan massa air baik yang tawar maupun yang oseanik adalah faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap kelimpahan fitoplankton. Kekeruhan dapat menghalangi proses fotosintesis bagi fitoplankton (*blanketting effect*) dan mengganggu pergerakan zooplankton sehingga mudah dimangsa (Ariardi, 1994). Adapun massa air yang berasal dari darat akan sangat menurunkan nilai salinitas sehingga hanya plankton yang *euryhaline* (rentangan kadar salinitas yang besar) saja yang dapat tetap hidup. Selain itu, air sungai juga sangat berperan dalam memengaruhi kehidupan plankton, yaitu dengan membawa segala macam limbah domestik dan limbah industri ke perairan pantai.

Dari dua kali pengamatan di lokasi Kalibuntu, kelimpahan zooplankton yang tinggi ditemukan pada bulan Maret, yaitu di stasiun 11 dan stasiun 13, sedangkan pada stasiun 12, kelimpahan zooplankton pada bulan Juni sedikit lebih tinggi dibandingkan bulan Maret. Dua stasiun lainnya, yaitu stasiun 14 dan stasiun 15, tidak dapat dibandingkan karena tidak adanya data zooplankton pada bulan Maret 2012. Pengambilan data tidak dapat dilakukan pada saat itu karena kondisi cuaca yang sangat tidak memungkinkan. Hal yang sama juga ditemukan pada kelimpahan fitoplankton yang ditemukan lebih tinggi

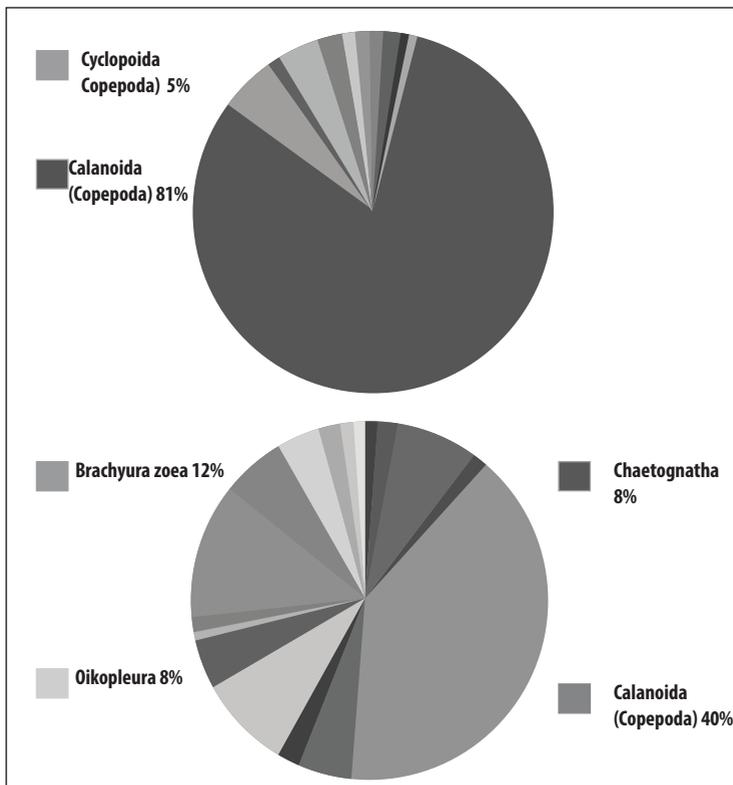
pada bulan Maret dibandingkan bulan Juni 2012. Handayani dan Patria (2005) menyatakan bahwa struktur komunitas zooplankton di suatu perairan ditentukan oleh kondisi lingkungan dan ketersediaan makanan. Keadaan ini menunjukkan ketersediaan makanan dalam hal ini fitoplankton menunjang pertumbuhan zooplankton.

Komposisi zooplankton di Kalibuntu pada bulan Maret didominasi oleh Calanoida sebesar 81% (Gambar 5.6). Pada bulan Juni, taksa dominan pada komposisi zooplankton berubah menjadi dua taksa, yaitu Calanoida (40%) dan Brachyura zoea sebesar 12% (Gambar 5.6). Calanoida sebagai taksa yang dominan ditemukan pada dua kali pengamatan di Kalibuntu memang merupakan salah satu Ordo Copepoda yang melimpah dan memiliki jenis yang beragam dengan jumlah keseluruhan mencapai sekitar 70% dari total zooplankton di lautan (Kim, 1985). Kehadiran taksa lain yang dominan menunjukkan bahwa kondisi lingkungan perairan di sekitar lokasi penelitian pada bulan Juni sangat mendukung pertumbuhan taksa-taksa zooplankton tersebut.

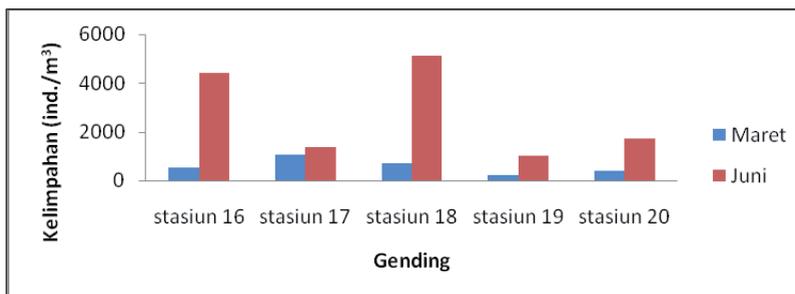
## *Gending*

Kelimpahan zooplankton pada bulan Maret lebih rendah dibandingkan pada bulan Juni (Gambar 5.7). Tingginya kelimpahan zooplankton pada bulan Juni diduga berhubungan dengan pola kelimpahan fitoplankton yang juga tinggi pada bulan Juni itu. Faktor yang menjadi penyebab perubahan kelimpahan zooplankton yang terjadi di perairan neritik, seperti lokasi penelitian ini lebih rumit untuk ditentukan karena berbagai faktor turut berperan dan saling terkait, seperti kondisi geografi setempat, aliran air sungai, dan arus pasang surut.

Taksa dominan pada komposisi zooplankton pada bulan Maret adalah Calanoida (65%) dan Chaetognatha (14%). Pada bulan Juni ada tiga taksa dominan pada komposisi zooplankton, yaitu

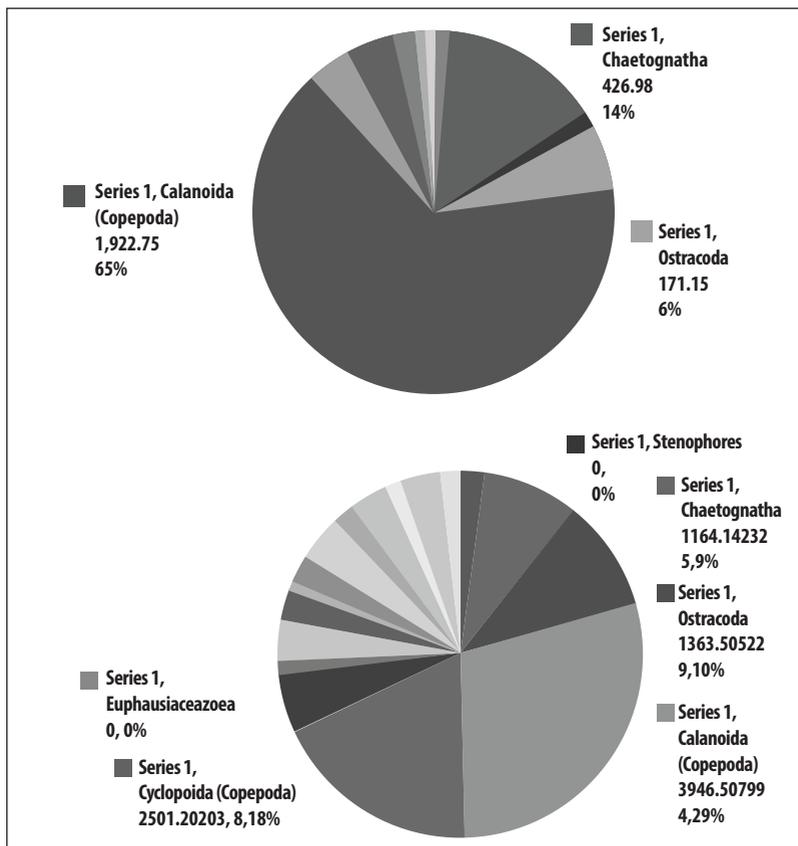


**Gambar 5.6** Komposisi Zooplankton di Perairan Kalibuntu, Probolinggo, Maret (atas) dan Juni (bawah) 2012



**Gambar 5.7** Kelimpahan Zooplankton di Gending, Probolinggo, 2012

Calanoida (29%), Cyclopoida (18%), dan Ostracoda (10%) (Gambar 5.8). Calanoida sebagai taksa dominan tertinggi pada pengamatan ini merupakan jenis neritik yang berukuran relatif kecil dan biasa hidup pada perairan yang masih mendapat pengaruh daratan, seperti yang banyak ditemukan di Laut Jawa (Arinardi, 1995).



**Gambar 5.8** Komposisi Zooplankton di Perairan Gending, Probolinggo, Maret (atas) dan Juni (bawah) 2012

## KESIMPULAN

Berdasarkan struktur komunitas zooplanktonnya, kondisi perairan Probolinggo menunjukkan kondisi perairan sebagaimana umumnya kondisi ekosistem perairan tepi pantai (*coastal*) di Indoneisa. Perairan ini umumnya didominasi oleh copepoda (Calanoida) dan memiliki kelimpahan yang tinggi dengan keanekaragaman yang rendah. Secara keseluruhan, hasil yang diperoleh pada penelitian di tiga lokasi di perairan Probolinggo ini bervariasi di mana komunitas zooplankton pada bulan Maret tersusun atas 28 taksa dan bulan Juni 39 taksa, tetapi tetap didominasi oleh taksa Calanoida. Variasi kelimpahan zooplankton ini sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, seperti suhu, cahaya, salinitas, dan cemaran, sedangkan faktor ketersediaan pangan, kehadiran predator, dan pesaing akan lebih berpengaruh pada komposisi penyusun komunitas zooplankton di perairan. Untuk lebih mengetahui dan menjaga kondisi perairan Probolinggo dari dampak yang ditimbulkan oleh aktivitas kegiatan manusia di sekitar perairan tersebut, perlu dilakukan kegiatan monitoring secara berkala. Hal ini perlu dilakukan dalam rangka pengelolaan sumber daya alam berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arinardi, O.H. 1994. Pengaruh Kali Cisadane, Kali Angke dan Kali Marina terhadap Kandungan Zooplankton, Mei-November 1993. *Dalam: Makalah Penunjang Seminar Pemantauan Pencemaran Laut*, Jakarta, 7–9 Februari 1994. (D. Setiapermana, Sulistijo dan H.P. Hutagalung, EDS.). Jakarta: P3O LIPI. Hlm. 99–114.
- Arinardi, O.H. 1995. Kelimpahan dan Struktur Komunitas Plankton di Beberapa Mulut Sungai di Teluk Jakarta dan Ujung Kulon (Selat Sunda). *Dalam: Pengembangan dan Pemanfaatan Potensi Kelautan: Potensi Biota, Teknik Budidaya dan Kualitas Perairan* (D.P. Praseno, W.S. Atmadja, I. Soepangat, Ruyitno dan B.S. Soedibjo, EDS.). Jakarta: Puslitbang Oseanologi LIPI. Hlm. 71–78.

- Arinardi, O.H. 1997. Metode Penelitian Plankton Bahari. Dalam: Hutagalung, H.P., D. Setiapermana dan S.H. Riyono (Eds.). *Metode Analisis Air Laut, Sedimen dan Biota, buku 2*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi. LIPI. Hlm. 143–152.
- Davis, C.C. 1955. *The Marine and Freshwater Plankton*. Michigan State University Press. 562 pp.
- Handayani, S. & M.P. Patria. 2005. “Komunitas Zooplankton di Perairan Waduk Krenceng, Cilegon, Banten”. *Makara Sains*, 9 (2): 75–80.
- Kim, D.Y. 1985. Taxonomical Study on Calanoid Copepode (Crustacea: Copepode) in Korea Waters. *Phd Thesis* Hanyang University, Korea. 96 pp.
- Newell, G.E. & R.C. Newell. 1963. *Marine Plankton. A Practical Guide*. Hutchinson of London. 244pp.
- Richardson, A.J. 2008. In Hot Water: Zooplankton and Climate Change. *ICES Journal of Marine Sciences* 65: 279–295.
- Wiadnyana, N.N. 1997. Kelimpahan Zooplankton di Teluk Kao. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 30: 53–62.
- Wickstead, J.H. 1965. *An Introduction To The Study of Tropical Plankton*. Hutchinson & Co (Publishers) LTD 178–202 Great Portland St. London Wt. 160 pp.
- Yamaji, I. 1976. *Illustration of the Marine Plankton of Japan*. Hoikusho, Osaka, Japan. 369 pp.
- Young, Craig M. 2002. *Atlas of Marine Invertebrate Larvae*. USA: Academic Press USA. 607 pp.
- Zongguo, H. & L. Mao. 2012. *An Illustrated Guide to Species in China's Seas*; vol.5. Animalia. China: Ocean Press. 199 pp.



BAB VI  
KOMUNITAS MAKROALGA  
*INDIGENOUS SPECIES*  
DAN *INTRODUCED SPECIES*  
DI PERAIRAN PULAU KETAPANG

 Achmad Kadi

## PENDAHULUAN

Perairan Pulau Ketapang atau disebut juga Pulau Gili Ketapang merupakan habitat berbagai marga makroalga *Enteromorpha*, *Caulerpa*, *Padina*, *Sargassum*, *Gelidium*, *Gelidiopsis*, *Gracilaria*, dan *Eucheuma*. Marga *indigenous* makroalga bernilai ekonomis yang telah dimanfaatkan sebagai bahan makanan, yaitu *Gelidium* (kades, intip-intip), *Gracilaria* (rambu kasang, akar rawi), dan *Sargassum* (kembang karang) (Atmadja, 1996). *Indigenous species* makroalga adalah jenis asli atau lokal yang berasal dari Indo Malaya yang disebut Dangklan Sunda dan memiliki potensi perkembangan yang karakteristik (Anonymous, 2004). Oleh karena itu, disebut juga jenis Dangklan Sunda, sedangkan *introduce species* adalah jenis makroalga *nonnative* atau pendatang yang berasal dari Indo-Australia disebut jenis Dangklan Sahul. Dua kelompok jenis makroalga ini telah dibukukan dalam *monographs* dan biogeografi jenis dari hasil ekspedisi Siboga 1899–1900 (Weber, 1908; Bosse, 1928).

Kekayaan jenis yang ada di perairan Pulau Ketapang selama ini belum didokumentasi dengan baik sehingga masih diperlukan penelitian dasar untuk membangun data dasar kekayaan jenis. *Introduced species*, karena jenis ini unggul, tumbuh cepat besar, produktivitas

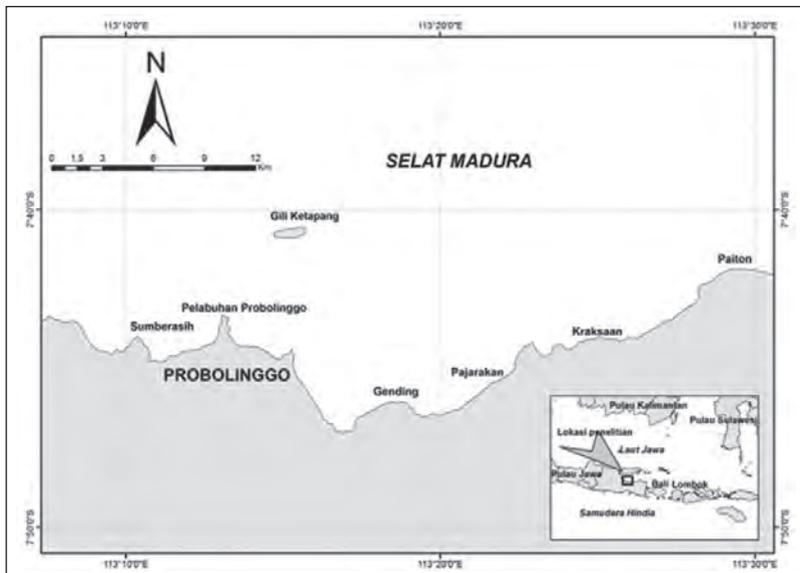
tinggi pada musim kemarau, tetapi tidak tahan terhadap penyakit dan hama. Adapun *indigenous species*, merupakan makroalga yang tahan terhadap penyakit dan hama pada waktu musim hujan dan peralihan. Namun, pertumbuhannya lambat dan produktivitasnya rendah. *Introduced species* disebut juga *nonnative* atau *alien species* yaitu suatu jenis yang datang atau berasal dari suatu dangkalan ke dangkalan yang lain (Mooney & Cleland, 2001). *Introduced species* apabila telah menjadi *invasive species* dapat menimbulkan degradasi habitat, kepunahan jenis asli, perubahan dalam fungsi ekosistem, dan mengubah interaksi kompetitif serta penurunan populasi jenis asli dalam sebuah komunitas (Arim dkk., 2005).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekayaan jenis, kepadatan individu, dan interaksi antarjenis serta pengaruh interaksi terhadap faktor lingkungannya. Perairan Pantai Ketapang bagian selatan mempunyai paparan terumbu karang (*reef flats*). Lebar paparan terumbu ke arah tubir + 100–200 m. Panjang pantai sebelah selatan + 3.000 m dengan pantai bersubstrat dasar pasir, batu karang, karang mati, dan karang hidup dalam keadaan merata.

Materi penelitian berupa sampel makroalga dan air. Sampel air diambil untuk pengukuran parameter suhu, turbiditas, pH, salinitas oksigen terlarut menurut standar metode (American Public Health Association (APHA), American Water Work Association (AWWA) and Water Pollution Control Federation (WPCF), 1989). Sampel makroalga diambil dari paparan terumbu perairan pantai Pulau Ketapang yang termasuk dalam perairan laut Jawa. Pengambilan sampel di sekeliling pantai pada luasan 30.000 m<sup>2</sup> dengan sudut elevasi 2–5° ujung tubir patah dalam (*drop off*). Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni 2013.

Metode penelitian ini menggunakan metode survei dengan transek kuadrat (Ludwig and Reynold, 1988). Pengambilan sampel dilakukan di 10 stasiun, stasiun 1 dimulai dari pantai sebelah ujung

barat sampai stasiun 10 di ujung timur, dan setiap stasiun dengan tiga ulangan (Gambar 6.1). Jarak antarstasiun pada transek adalah 300 m. Setiap stasiun ditarik garis transek dari pantai ke arah tubir. Selanjutnya, di setiap garis transek diletakkan kerangka besi (*frame*) berukuran 1 x 1 m<sup>2</sup> berjarak 10 m yang dimulai dari pantai sampai ke arah tubir. Makroalga yang ada di dalam *frame* masing-masing stasiun transek diambil, diberi label, dikelompokkan dalam *indigenous species* dan *introduced species* berdasarkan *monographs*, biogeografi, kemudian diidentifikasi. Sampel jenis makroalga diambil dari perairan Pulau Ketapang. Determinasi makroalga menggunakan kunci jenis (Taylor, 1967). Komposisi *indigenous species* dan *introduced species* dengan menghitung jumlah total jenis di masing-masing stasiun transek pada lokasi penelitian, sedangkan kepadatannya dengan menghitung jumlah individu setiap jenis dari masing-masing stasiun transek. Parameter fisika yang diukur adalah suhu dan turbiditas, sedangkan kimiawinya adalah pH, salinitas, dan oksigen terlarut (DO). Interaksi



**Gambar 6.1** Peta lokasi penelitian makroalga di Pulau Gili Ketapang

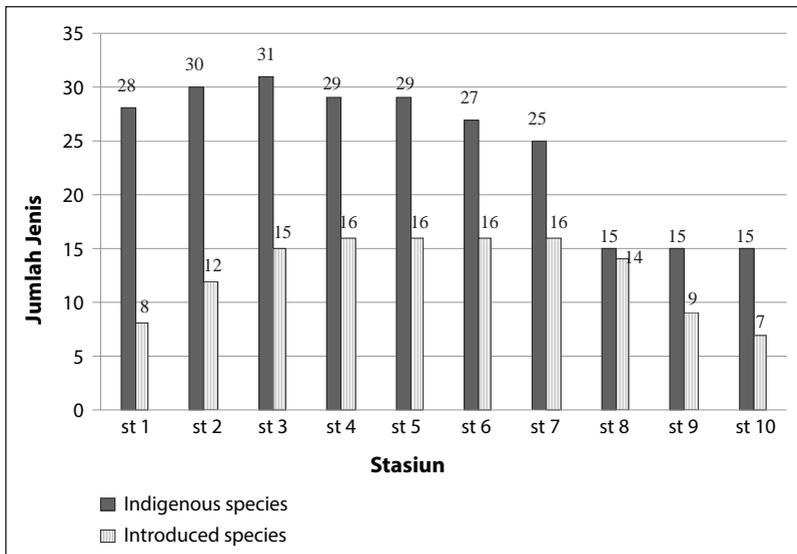
antarjenis dan kualitas lingkungan perairan fisik-kimiawi menggunakan analisis *Spearman's rank correlation* dalam program Spearman statistika nonparametik (Carusu & Cliff, 1997).

### ***Kekayaan Jenis Makroalga***

Komposisi jenis makroalga yang tumbuh di perairan pantai Pulau Ketapang seluruhnya berjumlah 47 jenis yang terdiri atas tiga kelas, yaitu Chlorophyceae, Phaeophyceae, dan Rhodophyceae (Tabel 6.1). Kehadiran makroalga di seluruh Pulau Ketapang tersusun dalam dua kelompok, yaitu Dangkalan Sunda dan Sahul dengan rincian 31 *indigenous species* jenis makroalga asli (lokal) dari Dangkalan Sunda dan 16 *introduced species*. Komposisi komunitas *indigenous species* sebesar 66%, persentase ini lebih tinggi dibandingkan komunitas *introduced species* (34%). Lebih rendahnya *introduced species* pertemuan arus perairan Laut Jawa Selatan dan Utara menyebabkan sebaran jenis makroalga *introduced species* juga rendah. Prathep (2005) menambahkan bahwa di Pantai Sirinart-Thailand komposisi jenis pendatang secara temporer rendah karena adanya arus pertemuan massa air yang kuat sehingga dapat mengakibatkan stres yang berakhir kematian. Yarish dkk. (1986) menyatakan rendahnya jenis makroalga pendatang diduga adanya pengaruh musim ombak besar dan angin badai sehingga terdampar ke tempat daratan atau bertepatan *blooming* musim jenis ikan-ikan herbivora pemakan makroalga, seperti *Siganus javus*, *Cetoscarus bicolor*, dan *Acanthurus mata*.

Komposisi jenis *indigenous* dan *introduced species* antarmasing-masing stasiun mempunyai perbedaan jumlah jenis yang nyata berkisar 15–31 *indigenous species* dan 7–15 *introduced species*. Di stasiun 1–3 menunjukkan *indigenous species* sangat dominan dan sebaran jenisnya hampir merata. Di stasiun 4 dan 5, mempunyai jumlah jenis yang sama, yaitu 29 *indigenous species* (64%) dan 16 *introduced species* (36%). Pada stasiun 6 terdapat 27 *indigenous species* (63%) dan 16

*introduced species* (37%), serta stasiun 7 terdapat 25 *indigenous species* (61%) dan 16 *introduced species* (39%) (Gambar 6.2). Jumlah ini menunjukkan makroalga *indigenous* lebih dominan dibandingkan *introduced species* yang jumlahnya lebih sedikit. Arim dkk. (2005) menyatakan bahwa kekayaan jenis dapat menggambarkan suatu komunitas *indigenous species* dalam tingkat kondisi yang stabil, yaitu jumlah *indigenous species* lebih banyak dari *introduced species*. Miller (2004) menyatakan apabila makroalga *introduced species* lebih banyak jenisnya akan berubah menjadi jenis invasi terhadap *indigenous species*. Arim dkk. (2005) menambahkan pula bahwa jenis *introduced species* pertumbuhannya memiliki keunggulan mudah beradaptasi, pertumbuhan cepat besar, dan berkembang biak, namun cenderung tidak tahan terhadap serangan penyakit dan hama, sedangkan *indigenous species* memiliki sifat pertumbuhan dan berkembangbiak yang lambat, tahan serangan penyakit dan hama. Kondisi seperti ini di perairan



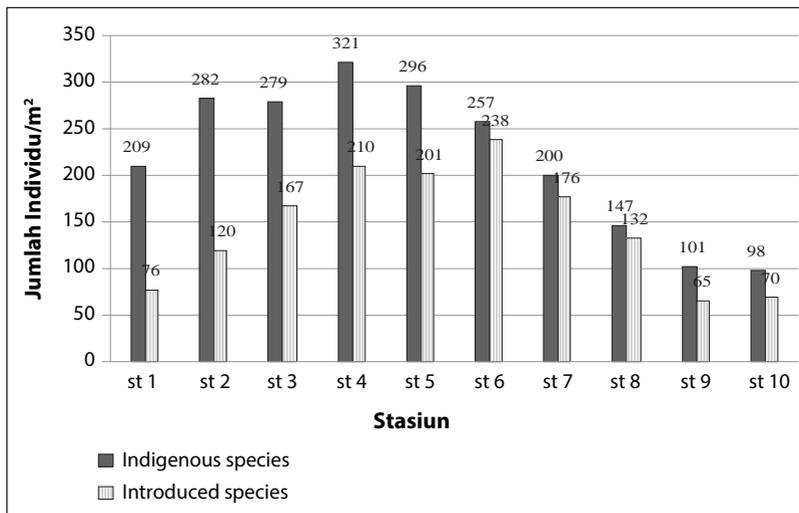
**Gambar 6.2** Kekayaan *Indigenous* dan *Introduced Species* Makroalga di Masing-Masing Stasiun (St) di Perairan P. Ketapang

Ketapang belum menunjukkan adanya kompetisi *introduced* terhadap *indigenous species* karena jumlah makroalga *introduced species* yang ada masih sangat rendah. Di stasiun 8 diperoleh 15 jenis *indigenous species* (52%) dan 14 jenis *introduced species* (48%). Kedua jenis makroalga tersebut mendekati jumlah jenis yang relatif sama, namun jumlah makroalga *indigenous* lebih banyak. Di stasiun 8 *indigenous* dan *introduced species* jumlahnya mendekati sama, secara visual belum ada tanda-tanda pertumbuhan kedua jenis mengalami kompetisi yang nyata. Kondisi tersebut jauh berlainan dengan keberadaan pertumbuhan di stasiun 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 makroalga *indigenous species* jumlah jenisnya lebih dominan. Menurut Silva (2004) kerusakan habitat perairan akan menyebabkan sebaran jenis tidak merata dan cenderung terjadi penurunan pada populasi jenis asli (lokal). Perairan Pulau Ketapang menunjukkan sebaran *introduced species* yang masih rendah jumlah jenisnya. Menurut Miller (2004) di Pantai California invasi *introduced species* terjadi terhadap *indigenous species* terindikasi oleh jumlah *introduced species* yang lebih besar dibandingkan *indigenous species*, yaitu 145 *introduced species* (76%) dan 45 jenis *indigenous species* (24%). Kompetisi terhadap pertumbuhan *indigenous species* di stasiun 1 sampai dengan stasiun 10 di perairan Pulau Ketapang belum terindikasi ancaman invasi dari *introduced species*.

### ***Kepadatan Jenis Makroalga***

Kepadatan dua komunitas dalam total individu makroalga perairan Pantai Pulau Ketapang adalah 3.667 individu/m<sup>2</sup> terdiri atas 2.218 individu/m<sup>2</sup> (60%) dari 31 *indigenous species* dan 1.449 individu/m<sup>2</sup> (40%) dari 16 *introduced species*. Jumlah individu *indigenous species* menunjukkan bahwa jumlah total individu/m<sup>2</sup> dan jenisnya lebih tinggi daripada *introduced species*. Kepadatan makroalga masing-masing stasiun dapat dirinci jumlah individu *indigenous* maupun *introduced*, sebagai berikut.

Kepadatan *indigenous species* di stasiun 10 menunjukkan jumlah individu/m<sup>2</sup> lebih rendah dibandingkan stasiun lainnya, diduga kemampuan tumbuh dan berkembangbiak masih rendah dengan pola sebaran yang tidak merata. Di stasiun 4, *indigenous species* menunjukkan jumlah individu/m<sup>2</sup> tertinggi dari semua stasiun. Perolehan data individu yang ada menunjukkan bahwa jumlah total individu/m<sup>2</sup> di masing-masing stasiun *indigenous species* lebih tinggi dibandingkan *introduced species* (Gambar 6.3). Hasil pertumbuhan *introduced species* makroalga belum menunjukkan adanya kompetisi di masing-masing individu/m<sup>2</sup> *indigenous spesies* (Vroom & Page, 2004). Kadi (2009) menambahkan bahwa ada kesamaan jumlah individu makroalga yang terjadi pada perairan Pulau Pari-Teluk Jakarta, yaitu jumlah total individu sebanyak 3.649 individu/m<sup>2</sup> dari 46 jenis makroalga, terdiri atas 2.214 individu/m<sup>2</sup> dari 31 *indigenous species* dan 1.435 individu/m<sup>2</sup> dari 15 *introduced species*. Jumlah individu makroalga yang ada belum menunjukkan bahwa keberadaan *introduced species*



**Gambar 6.3** Kepadatan *Indigenous dan Introduced Species* Makroalga di Masing-Masing stasiun di Perairan Pulau Ketapang

berpengaruh sebagai jenis invasi terhadap *indigenous species*. Menurut Mareike (2001), kejadian invasi akan berlangsung apabila jumlah kepadatan individu/m<sup>2</sup> *introduced species* lebih tinggi daripada *indigenous species*, seperti di Teluk Maces Ottawa yang mencapai 70% individu/m<sup>2</sup> *introduced species* *Corallina officinalis* dan 30% individu/m<sup>2</sup> *indigenous species* *Chondrus crispus*.

### **Interaksi Antarjenis Makroalga**

Di antara komunitas *indigenous* dan *introduced species* makroalga dalam mendapatkan nutrisi disatu lokasi yang sama, kadang-kadang terlihat tingkat kesuburan yang berbeda dari beberapa jenis *introduced species* tersebut. Indikasi ini biasanya terdapat pada jenis yang bersifat invansi pada makroalga pendatang yang mempunyai karakteristik tumbuh cepat karena mudah menyesuaikan dengan kondisi lingkungan dan mudah berkompetisi untuk mendapatkan nutrisi. Kelemahan terhadap serangan penyakit dan hama jenis *introduced species* sangat rentan jika dibandingkan jenis *indigenous* (jenis lokal) sehingga dalam perjalanan berinteraksi dan berkompetisi dengan *indigenous species* belum terlihat nyata. Kehadiran makroalga *introduced species* pada suatu perairan kadang-kadang mengalami timbul-tenggelam dan ada ketergantungan pada kondisi perairan yang lebih mendukung. Namun, masih ada beberapa jenis *introduced* yang dapat tumbuh beradaptasi langsung dan berinteraksi dengan *indigenous species*.

### **Interaksi Belum Berpeluang Invasi**

Interaksi *indigenous* dengan *introduced species* menunjukkan terdapat 68 interaksi antarjenis. Data interaksi jenis makroalga *indigenous* dan *introduced species*, seperti marga *Halimeda* dan *Gracilaria*, pertumbuhan yang diperoleh tidak saling merugikan atau tumpang tindih. Beberapa hasil analisis interaksi diperoleh pertumbuhan jenis *Halimeda discoidea* mempunyai kesamaan dalam merespons kebutuh-

an nutrisi dengan *Turbinaria ornata* (Spearman rank,  $r_s = 0,602$ ,  $p < 0,010$ ), *Achantophora specifera* (Spearman rank,  $r_s = 0,610$ ,  $p < 0,010$ ), *Gracilaria arcuata* ( $r_s = 0,687$ ,  $p < 0,010$ ), dan *Gracilaria converfoides* ( $r_s = 0,591$ ,  $p < 0,010$ ) (Tabel 6.1).

Beberapa makroalga *indigenous* dan *introduced species* mempunyai tingkat kecepatan pertumbuhan yang berbeda-beda. Pertumbuhan *indigenous species* diduga masih mampu berkompetisi dengan *introduced species* sebatas dalam mendapatkan kebutuhan nutrisi yang lebih banyak. Hal ini diindikasikan bahwa pertumbuhan komunitas jenis *indigenous* tumbuh masih lebih dominan, terutama pada jenis *Halimeda discoidea*. Keberadaan *introduced species* sebagai interaksi kompetitif hanya untuk mendapatkan kebutuhan nutrisi, belum sebagai jenis invasi terhadap jenis lokal. Allison (2004) menyatakan individu suatu jenis yang tumbuh dominan dalam komunitas cenderung berkompetisi untuk mendapatkan kebutuhan nutrisi yang lebih besar.

### ***Interaksi Berpeluang Invasi***

Interaksi *introduced species* terhadap *indigenous species* apabila telah menjadi *invasive species* dapat menimbulkan degradasi habitat, kepunahan jenis asli, perubahan fungsi ekosistem, mengubah interaksi kompetitif, dan penurunan populasi jenis asli dalam sebuah komunitas (Arim dkk., 2005). Dari 68 *interaksi indigenous* dan *introduced species*, salah satu interaksinya adalah *introduced species Rhodymenia palmata* yang lebih banyak berpengaruh terhadap *indigenous species* dan berpeluang besar terjadi kompetisi terhadap tiga *indigenous species* makroalga, yaitu *Halymenia durvillaeii*, *Hypnea asperi*, dan *H. musciformis*. *Rhodymenia palmata* memiliki kesamaan kebutuhan nutrisi terhadap *Hypnea asperi* (Spearman rank,  $r_s = 0,636$ ,  $p < 0,010$ ), terhadap *H. musciformis* (Spearman rank,  $r_s = 0,634$ ,  $p < 0,010$ ), dan terhadap *Halymenia durvillaeii* (Spearman rank,  $r_s = 0,744$ ,  $p < 0,010$ ) (Tabel 6.1).

**Tabel 6.1** Korelasi *Indigenous Species* dengan *Introduced Species* ( $r_s$ ) Beserta Faktor Lingkungan

No	Introduced Species	Indigenous Species															
		1. <i>Caulerpa racemosa</i>	2. <i>Halimeda opuntia</i>	3. <i>Valonia ventricosa</i>	4. <i>Padina australis</i>	5. <i>Padina japonica</i>	6. <i>Sargassum polycystum</i>	7. <i>Turbinaria ornata</i>	8. <i>Acanthophora spicifera</i>	9. <i>Gracilaria arcuata</i>	10. <i>Gracilaria conchiformis</i>	11. <i>G. coronopifolia</i>	12. <i>G. salicornia</i>	13. <i>Eucheuma cottonii</i>	14. <i>E. edule</i>	15. <i>E. spinosum</i>	16. <i>Rhodymenia palmata</i>
1.	<i>Caulerpa lentillifera</i>	0,165	0,400	0,372	0,061	0,241	0,115	0,193	0,031	0,199	0,369	0,074	0,332	0,615**	0,438	0,131	0,281
2.	<i>C. sertularioides</i>	0,055	0,121	0,245	0,559**	0,205	0,210	0,003	0,264	0,459	0,383	0,148	0,219	0,019	0,183	0,102	0,058
3.	<i>Chaetomorpha crassa</i>	0,029	0,049	0,223	0,517*	0,545*	0,128	0,447	0,136	0,320	0,306	0,543*	0,260	0,552*	0,215	0,215	0,368
4.	<i>Dictyosphaeria cavernosa</i>	0,014	0,331	0,124	0,337	0,045	0,313	0,038	0,168	0,261	0,349	0,157	0,166	0,099	0,076	0,164	0,011
5.	<i>Enteromorpha intestinalis</i>	0,148	0,127	0,228	0,213	0,181	0,359	0,427	0,208	0,032	0,053	0,505*	0,372	0,514	0,170	0,510*	0,461*
6.	<i>Halimeda discoidea</i>	0,034	0,180	0,158	0,035	0,447	0,103	0,602**	0,610**	0,687**	0,591**	0,087	0,214	0,333	0,212	0,411	0,542*
7.	<i>H. makroloba</i>	0,403	0,038	0,048	0,119	0,010	0,144	0,172	0,117	0,058	0,062	0,189	0,085	0,272	0,140	0,144	0,255
8.	<i>Ulva lactuca</i>	0,192	0,042	0,094	0,027	0,098	0,042	0,222	0,237	0,125	0,368	0,031	0,011	0,272	0,335	0,112	0,315
9.	<i>Valonia aegagrophylla</i>	0,424	0,050	0,144	0,258	0,419	0,176	0,413	0,095	0,062	0,047	0,501*	0,053	0,509*	0,003	0,175	0,061
10.	<i>Valoniopsis pachnema</i>	0,180	0,002	0,130	0,131	0,432	0,129	0,611**	0,521*	0,554*	0,562**	0,372	0,085	0,506*	0,388	0,507*	0,320
11.	<i>Hormophysa triquetra</i>	0,098	0,013	0,334	0,531*	0,371	0,718	0,207	0,471	0,263	0,347	0,326	0,534*	0,319	0,338	0,023	0,129

No	Introduced Species												Indigenous Species											
	1. <i>Caulerpa racemosa</i>	2. <i>Halimeda opuntia</i>	3. <i>Valonia ventricosa</i>	4. <i>Padina australis</i>	5. <i>Padina japonica</i>	6. <i>Sargassum polycystum</i>	7. <i>Turbinaria ornata</i>	8. <i>Acanthophora spicifera</i>	9. <i>Gracilaria arcuata</i>	10. <i>Gracilaria conveysoides</i>	11. <i>G. coronopifolia</i>	12. <i>G. salicornia</i>	13. <i>Eucheuma cottonii</i>	14. <i>E. edule</i>	15. <i>E. spinosum</i>	16. <i>Rhodomyenia palmata</i>								
12.	<i>Sargassum binderi</i>	0,002	0,190	0,429	0,475*	0,394	0,676**	0,399	0,560**	0,320	0,373	0,239	0,540*	0,317	0,352	0,059	0,136							
13.	<i>S. crassifolium</i>	0,160	0,198	0,498*	0,464*	0,338	0,320	0,705**	0,471	0,477*	0,196	0,409	0,157	0,331	0,038	0,025	0,025							
14.	<i>S. daluplocatum</i>	0,124	0,302	0,065	0,263	0,070	0,458	0,108	0,229	0,058	0,301	0,154	0,104	0,081	0,038	0,197	0,098							
15.	<i>S. echinocarpum</i>	0,034	0,003	0,145	0,071	0,115	0,191	0,080	0,101	0,151	0,120	0,348	0,178	0,286	0,231	0,187	0,347							
16.	<i>Turbinaria conoides</i>	0,004	0,363	0,350	0,553*	0,192	0,233	0,107	0,030	0,288	0,134	0,005	0,314	0,053	0,058	0,204	0,048							
17.	<i>T. murrayana</i>	0,013	0,249	0,019	0,035	0,257	0,438	0,283	0,363	0,089	0,224	0,129	0,054	0,253	0,230	0,302	0,254							
18.	<i>E.ucheuma denticulatum</i>	0,117	0,128	0,167	0,219	0,099	0,196	0,105	0,278	0,306	0,297	0,072	0,103	0,093	0,006	0,378	0,726*							
19.	<i>Gelidiella acerosa</i>	0,096	0,058	0,147	0,206	0,077	0,372	0,192	0,485*	0,138	0,378	0,218	0,235	0,152	0,390	0,119	0,218							
20.	<i>Gelidiopsis rigida</i>	0,180	0,042	0,038	0,066	0,256	0,030	0,051	0,183	0,127	0,095	0,036	0,058	0,094	0,086	0,064	0,091							
21.	<i>Gelidium rigidum</i>	0,049	0,121	0,360	0,239	0,288	0,312	0,473*	0,381	0,315	0,535*	0,347	0,257	0,564**	0,348	0,500*	0,456							
22.	<i>Gracilaria euchemioioides</i>	0,186	0,390	0,204	0,190	0,119	0,116	0,284	0,023	0,021	0,112	0,337	0,182	0,348	0,033	0,499*	0,427							
23.	<i>G. foliifera</i>	0,027	0,094	0,128	0,098	0,182	0,018	0,077	0,207	0,100	0,065	0,171	0,107	0,002	0,151	0,199	0,352							
24.	<i>G. gigas</i>	0,435	0,335	0,272	0,008	0,216	0,382	0,435	0,272	0,092	0,183	0,016	0,051	0,401	0,447	0,462*	0,085							
25.	<i>G. lichenoides</i>	0,047	0,179	0,189	0,669**	0,606**	0,208	0,169	0,251	0,149	0,266	0,662**	0,301	0,211	0,027	0,131	0,075							

No	Introduced Species					Indigenous Species											
	1. <i>Caulerpa racemosa</i>	2. <i>Halimeda opuntia</i>	3. <i>Valonia ventricosa</i>	4. <i>Padina australis</i>	5. <i>Padina japonica</i>	6. <i>Sargassum polycystum</i>	7. <i>Turbidaria ornata</i>	8. <i>Acontophora spicifera</i>	9. <i>Gracilaria arcuata</i>	10. <i>Gracilaria conoverfoides</i>	11. <i>G. coronopifolia</i>	12. <i>G. salicornia</i>	13. <i>Eucheuma cottonii</i>	14. <i>E. edule</i>	15. <i>E. spinosum</i>	16. <i>Rhododymenia palmata</i>	
26.	<i>G. verrucosa</i>	0,055	0,156	0,504*	0,596**	0,264,	0,419	0,011	0,216	0,284	0,289	0,302	0,389	0,116	0,426	0,152	0,071
27.	<i>Halymenia durvillaeii</i>	0,109	0,071	0,091	0,104	0,309	0,252	0,563**	0,313	0,452	0,381	0,322	0,225	0,534*	0,064	0,570**	0,744**
28.	<i>Hypnea asperi</i>	0,246	0,446*	0,273	0,042	0,000	0,021	0,039	0,217	0,049	0,133	0,475*	0,276	0,219	0,063	0,335	0,636**
29.	<i>Hypnea musciformis</i>	0,014	0,281	0,139	0,122	0,055	0,149	0,272	0,285	0,149	0,173	0,302	0,452	0,594**	0,298	0,448	0,634**
30.	<i>Hypnea nidulans</i>	0,255	0,264	0,114	0,100	0,100	0,041	0,091	0,201	0,171	0,277	0,078	0,124	0,419	0,395	0,347	0,383
31.	<i>Laurencia papillosa</i>	0,164	0,189	0,221	0,045	0,048	0,083	0,245	0,401	0,221	0,292	0,319	0,342	0,274	0,167	0,253	0,537*
1.	Suhu (°C)	0,165	0,400	0,372	0,061	0,241	0,115	0,193	0,031	0,199	0,369	0,074	0,332	0,615**	0,438	0,131	0,281
2.	Turbiditas(NTU)	0,055	0,121	0,245	0,559**	0,205	0,210	0,003	0,264	0,459	0,383	0,148	0,219	0,019	0,183	0,102	0,058
3.	pH	0,029	0,049	0,223	0,517*	0,545*	0,128	0,447	0,136	0,320	0,306	0,543*	0,260	0,552*	0,215	0,215	0,368
4.	Salinitas (‰)	0,014	0,331	0,124	0,337	0,045	0,313	0,038	0,168	0,261	0,349	0,157	0,166	0,099	0,076	0,164	0,011
5.	DO(mg/L)	0,148	0,127	0,228	0,213	0,181	0,359	0,427	0,208	0,032	0,053	0,505*	0,372	0,514	0,170	0,510*	0,461*

\* = berbeda nyata ; \*\* = berbeda sangat nyata

Dari hasil analisis, *introduced species* sangat berpengaruh nyata terhadap tiga *indigenous species*. Dalam Tabel 6.1, Arim dkk. (2005) menunjukkan belum seluruh jenis *introduced species* berkompetisi dengan *indigenous species* secara menyeluruh dan permanen. Makroalga *introduced species* cenderung tidak tahan terhadap adaptasi faktor lingkungan, seperti musim yang ekstrim, pergantian musim, hama, dan penyakit. Miller (2004) menambahkan kejadian di Pantai California dan Hawaii makroalga *introduced species Caulerpa taxifolia* dan *Rhodymenia palmata* tumbuh sebagai gulma termasuk dalam komunitas *introduced species* dapat bersifat *killer weeds* untuk *indigenous species*. Di perairan Pulau Ketapang *introduced species* masih dalam batas kompetisi tertentu untuk mendapatkan kebutuhan nutrisi. Pengaruh pertumbuhan *introduced species* dari *Rhodymania palmata* terhadap pertumbuhan *indigenous species* di beberapa stasiun belum menunjukkan sebagai jenis makroalga invasi.

### ***Interaksi terhadap Lingkungan***

Interaksi makroalga *indigenous species* dan *introduced species* terhadap lingkungan salah satunya dapat disebabkan oleh perubahan kondisi perairan laut yang ekstrem, seperti ombak besar dan arus deras. Kejadian ini sangat berpengaruh menghambat pertumbuhan komunitas *introduced species*. Menurut Allison (2004), pengaruh kondisi lingkungan perairan yang dinamis dalam sebuah komunitas, dapat menyebabkan suatu jenis akan mengalami stres. Beberapa jenis makroalga dari marga ada yang terpengaruh oleh perubahan faktor lingkungan, seperti Halimeda, Padina, dan Gracilaria. Pengaruh kondisi perairan yang dinamis terhadap pertumbuhan makroalga *introduced species* kebanyakan akan berubah menjadikan suatu jenis dapat timbul-tenggelam, kadang-kadang terjadi bersama dengan pergantian musim. Kebanyakan makroalga *indigenous species* sebagai jenis asli (lokal) mempunyai karakter lebih tahan terhadap gangguan

penyakit, hama, dan pergantian musim. Karakter ini menunjukkan bahwa sebagian besar jenis dan individu makroalga memiliki kemampuan daya adaptasi yang cepat atau lambat terhadap lingkungan berbeda-beda.

### ***Interaksi Fisika***

Pengaruh lingkungan fisika diperoleh suhu (29–32,40°C) dan turbiditas (7,14–8,40 NTU) menunjukkan nilai sebagai kondisi lingkungan fisik perairan normal, tampak belum berpengaruh terhadap pertumbuhan makroalga. Di musim seperti pasang surut panjang (konda), secara temporer beberapa jenis akan mengalami kekeringan dan dapat mengalami kematian. Pada makroalga *Eucheuma cottonii* dengan pengaruh suhu perairan 32°C diperkirakan pertumbuhan akan berlangsung terus meningkat sampai batas optimal (*Spearman rank*,  $r_s = 0,615$ ,  $p < 0,010$ ). Ward dkk. (1998) menambahkan pertumbuhan makroalga memerlukan suhu berkisar antara 20° dan 32°C. Makroalga *Padin australis* dipengaruhi turbiditas, semakin tinggi nilai turbiditas suatu perairan laut akan semakin tambah keruh sehingga dapat menghambat pertumbuhan (*Spearman rank*,  $r_s = 0,559$ ,  $p < 0,010$ ) (Tabel 6.1). Pertumbuh jenis makroalga pada umumnya berkisar pada turbiditas 5–8 NTU (Ward dkk., 1998). Beberapa jenis dapat tumbuh dengan baik pada turbiditas perairan mencapai 10 NTU atau kondisi perairan laut agak keruh (Toguchi, 1982).

### ***Interaksi Kimiawi***

Pengaruh lingkungan kimiawi perairan mempunyai kisaran pH (7,0–8,75), salinitas (29,0–32,5‰), dan oksigen terlarut (7,2–8,5 mg/L). Kondisi ini dibutuhkan untuk kelangsungan tumbuh dan berkembangbiak oleh suatu jenis makroalga. Beberapa jenis makroalga ada yang memiliki kemampuan daya serap unsur kimiawi perairan yang berbeda, seperti *Padina australis* dipengaruhi oleh pH (8–9)

makroalga tersebut dapat tumbuh subur apabila dipengaruhi oleh perairan bersifat basa (*Spearman rank*,  $r_s = -0,517$ ,  $p < 0,010$ ). Pratomo dan Sulistyowati (2005) menambahkan bahwa pH air laut untuk pertumbuhan makroalga optimal berkisar 7, 8, dan 9 lebih condong ke arah alkalis. Pertumbuhan semua jenis di daerah perairan pantai dipengaruhi oleh salinitas 28‰ dapat tumbuh dengan subur. Kebutuhan salinitas untuk pertumbuhan jenis makroalga pada kisaran 28–33‰. *Gracilaria verrucosa* dapat tumbuh maksimal pada salinitas 15–22‰ (Guist dkk., 1982). *Gracilaria coronopifolia* dipengaruhi oleh oksigen terlarut. Pengaruh ombak besar menambah oksigen terlarut sehingga kemampuan difusi udara bebas laut dengan turbulensi di air laut lebih tinggi dapat meningkatkan kesuburan pertumbuhan (*Spearman rank*,  $r_s = 0,505$ ,  $p < 0,050$ ) (Tabel 6.1). Kebutuhan oksigen terlarut (DO) terhadap pertumbuhan makroalga akan menghasilkan pertumbuhan yang maksimal, oksigen terlarut terendah dibutuhkan berkisar 4,5 mg/l (Kennish, 1997) .

## KESIMPULAN

Kekayaan makroalga di perairan Pulau Ketapang berjumlah 47 jenis terdiri atas 31 jenis *indigenous* dan 16 jenis *introduced species*. Kepadatan jumlah total 2,218 individu/m<sup>2</sup> *indigenous* dan 1,447 individu/m<sup>2</sup> *introduced species*. Interaksi antarjenis *indigenous* dan *introduced* ada 68 interaksi ( $r_s$ ). Interaksi *indigenous* dan *introduced species* dari *Halimeda discoidea* dengan *Turbinaria ornata*, *Acanthophora specifera*, *Gracilaria arcuata*, dan *G. converfoides* hanya sebatas ada kesamaan dalam mendapatkan nutrisi yang bersifat interaksi kompetitif. Beberapa jenis makroalga menunjukkan pengaruh dan berpeluang besar dalam berkompetisi, terlihat pada *introduced species Rhodymenia palmata* terhadap tiga *indigenous species* yaitu *Halymenia durvillaeii*, *Hypnea asperi*, dan *Hypnea musciformi*, kondisi ini belum menjadi jenis invasi terhadap *indigenous species*. Beberapa jenis *introduced*

*species*, seperti *Eucheuma cottonii* lebih dipengaruhi oleh turbiditas, salinitas, dan oksigen terlarut. *Eucheuma spinosum* hanya dipengaruhi oleh oksigen terlarut. Adapun *Rodymenia palmata* lebih dipengaruhi oleh turbiditas dan oksigen terlarut. Lingkungan perairan fisika-kimiawi secara keseluruhan masih berada dalam kisaran normal untuk pertumbuhan makroalga.

## DAFTAR PUSTAKA

- APHA, AWWA & WPCF American Public Health Association, America Water Work Association and Water Pollution Control Federation. 1989. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water 12<sup>th</sup> ed.* New York. 211 pp.
- Alisson, G. 2004. The Influence of Species Diversity and Stress Intensity on Community Resistance and Resilience. *Ecological monographs* 74 (1): 117–134.
- Anonim. 2004. *Indigenous Biodiversity for the Taranaki Regional*. Regional Policy Statement for Taranaki. Stanford: Privat Press. 25 pp.
- Arim, M.A., dkk. 2005. Invasive Species. In: M.A, Arim (ed.) Spread Dynamics of Invasive Species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States Amerika* 103 (3): 374–78.
- Atmadja, W.S. 1996. Pengenalan Jenis Algae Coklat (Phaeophyceae). Hlm. 56–78. Dalam: W.S. Atmadja, A. Kadi, Sulistijo dan Rachmaniar Sartari (eds.). *Pengenalan jenis-jenis Rumput Laut Indonesia*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. 191 hlm.
- Bosse, A.W.V. 1928. Liste des Algues du Siboga Rhodophyceae Traisimi Partie Gigartinales et Rhodymeniales. Siboga *Expeditie LIXd*: 200–533.
- Carusu, J.C. & Cliff. 1997. Empirical Size, Coverage and Power of Confidence Intervals for Sperman's Rho. *Ed and Psy. Mens.*, (57): 637–654.
- Guist, Jr., dkk. 1982. Marine of the Red Seaweed *Hynea musciformis*. *Aquaculture* (28): 375–384.
- Kadi, A. 2009. Rumput Laut Local dan Jenis Pendatang di Paparan Terumbu Karang Pulau Pari Jakarta Utara. Ilmu Kelautan Indonesia. *J. Mar.Sci IK*. 14 (1): 1–58.

- Kennish, M.J. 1997. *Practical Handbook of Estuarine and Marine Pollution*. New York: CRC Press. 225 pp.
- Ludwig, A.J. & J.F. Reynold. 1988. *Statistic Ecology a Primer on Methods and Computing*. New York: John Willey and Sons Inc. 326 pp.
- Mareike, R. 2001. *The Native Intertidal and Subtidal Algae*. Ottawa: Department of Fisheries and Oceans. 70 pp.
- Miller, K.A. 2004. California Non-native Seaweeds. *Frem. J. Cal. Nat. Plant. Soc.* 32 (1): 10–15.
- Mooney, H.A. & E.E. Cleland. 2001. Invasive Species. In: H.A. Moony (ed.). *The Evolutionary Impact of Invasive Species. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States Amerika* 98 (10): 5446–5451.
- Pratsep, A. 2005. Spatial and Temporal Variation in Diversity and Percentage Cover of Macroalgae at Sirinart Marine National Park, Phuket Province, Thailand. *Science Asia* 31 (2005): 225–233.
- Pratomo, H. & L. Sulistyowati. 2005. Kajian Perairan Pulau Kelapa untuk Budidaya Rumput Laut. *J. Peng. Tek. Pertanian* 8 (2): 1–8.
- Silva, P.C. 2004. Distribution of California Seaweeds. *A Journal of the California Native Plant Society* 32 (1): 11–16.
- Taylor, W.R. 1967. *Marine Algae of Easter Tropical and Subtropical Coast of the American*. Univ. Michigan: Michigan Press XXI. 673 pp.
- Toguchi, S. 1982. Sedimentation of Newly Produced Particulate Organic Matter in a Subtropical Inlet. Kancahe Bay, Hawaii Estuary. *Coast. Mar. Sci.* 14: 233–259.
- Vroom, P.S. & K.N. Page. 2004. *Relative Abundance of Macroalgae on North-western Hawaii Island-reporting*. Honolulu: Institute for Marine and Atmospheric Research. 337 pp.
- Ward, T.E. Buttlers & B. Hill. 1998. *Environmental Indicators for National State of the Enviroment Reporting-Estuaris and the Sea*. Canberra: Department Environment. 425 pp.
- Weber, M. 1908. *Zoologis, Botanisch, Oceanographisch En Geologisch Gebied: Verzameld In Nederlandch Oost-Indie 1899–1900 Siboga-Expeditie LIX: 327*. E.J. Brill Publishers and Printer, Leiden. 275 pp.
- Whitemore, T.C. 1987. *Biogeographical Evolutian of the Malay Archipelago*. Oxford: Clarendon Press. 356 pp.

Yarish, C., dkk. 1986. Survival Strategies and Temperature Respons of Seaweeds Belonging to Different Biogeographic Distribution Groups. *Bot. Mar.* 29: 215–230.

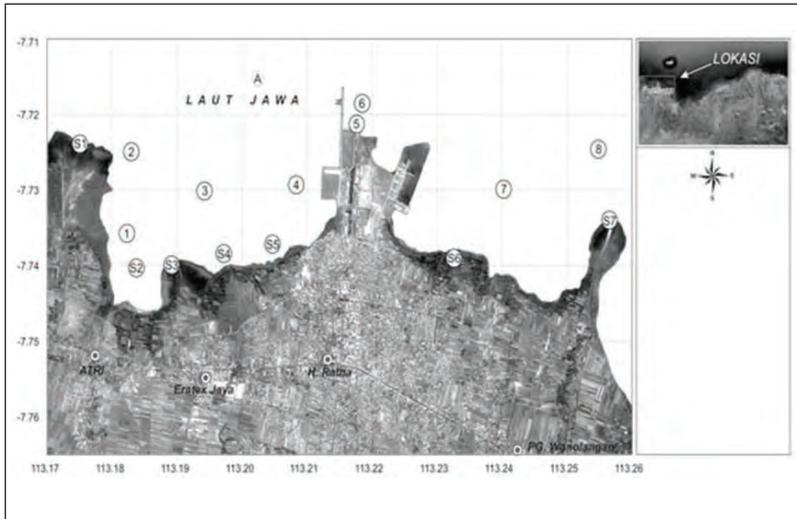
## BAB VII BAKTERI PENCEMAR DI PERAIRAN

 Lies Indah Sutiknowati

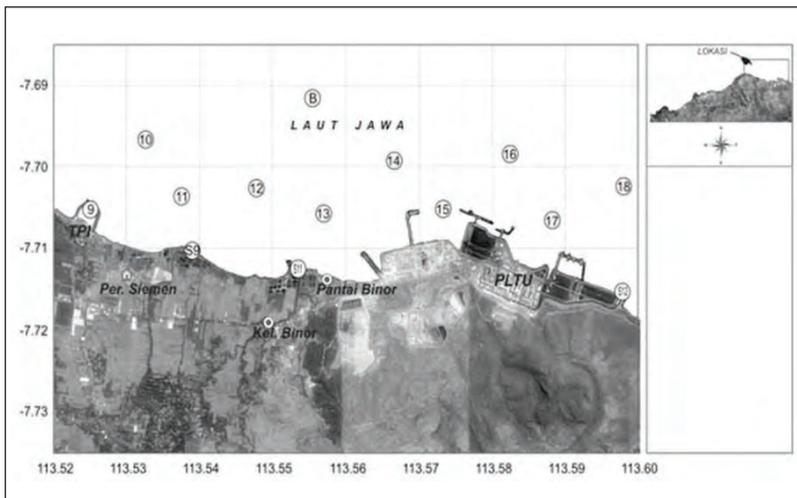
### PENDAHULUAN

Bahan pencemar biologis disebabkan oleh mikroorganisme patogen yang berasal dari buangan domestik, industri pengolahan, sampah, dan limbah peternakan. Pencemaran yang disebabkan oleh bakteri tersebut dapat menyebabkan menurunnya kualitas perairan (Kunarso, 1989). Pencemaran limbah dalam suatu perairan mempunyai hubungan dengan jenis dan jumlah mikroorganisme dalam perairan tersebut. Air buangan kota dan desa yang berpenduduk padat tidak hanya meningkatkan pertumbuhan bakteri koli, tetapi juga meningkatkan jumlah bakteri patogen lain, seperti *Salmonella*, *Shigella*, dan *Vibrio cholerae* (Shuval, 1986). World Health Organization (1988) merekomendasi tiga kelompok bakteri indikator pencemaran perairan, yaitu *fecal coliform*, *fecal streptococcus*, dan patogen (*Salmonella* sp., *Vibrio* sp., *E. coli*).

Mempelajari kualitas perairan Probolinggo berdasarkan pada kuantitas bakteri Koli dan identifikasi bakteri patogen sebagai indikator pencemaran merupakan tujuan dari penelitian ini sehingga dapat diketahui kualitas perairannya. Penelitian dilakukan di perairan Probolinggo dan sekitarnya, disajikan pada Gambar 7.1 dan 7.2.



**Gambar 7.1** Lokasi Pengambilan Sampel di Perairan Tongas, Probolinggo, Maret 2013



**Gambar 7.2** Lokasi Pengambilan Sampel di Perairan Paiton, Probolinggo, Maret 2013

## ***Koleksi Sampel***

Analisis kualitas bakteriologi untuk perairan Probolinggo dilakukan pada tanggal 23–30 Maret 2013. Adapun sampel yang diambil berupa air laut dan sedimen pada stasiun (S) perairan No. 1–18 dan A–B serta stasiun muara sungai No. 1–7, 9, dan 11–12.

## ***Analisis Bakteri Koli***

Pengambilan contoh air pada masing-masing lokasi yang telah dipilih dilakukan dengan menggunakan botol sampel. Selanjutnya, sampel air sebanyak 10 ml, 1 ml, dan 0,1 ml dimasukkan ke dalam tabung berisi media steril Lauryl Tryptose Broth (LTB) yang dicampur dengan *bromcresol purple* 0,01 g/l, dan diinkubasikan pada suhu 35°C selama 24 jam untuk tes pendugaan. Reaksi positif ditunjukkan dengan adanya reaksi asam, yaitu terdapat perubahan warna menjadi kuning muda dan atau tidak adanya gelembung gas (APHA, 2005). Tes penegasan adanya bakteri koli dilakukan dengan memasukkan sampel positif sebanyak 1 ose ke dalam tabung berisi media steril *Brilliant Green Lactose Bile Broth* (BGLB) dengan tabung durham terbalik di dalamnya, kemudian diinkubasikan pada suhu 35°C selama 24 jam. Reaksi positif ditunjukkan dengan adanya gelembung gas yang terperangkap dalam tabung durham. Hitung nilai MPN berdasarkan angka hasil kombinasi tabung positif pada tes penegasan (APHA, 2005).

Kepadatan bakteri koli yang terdapat di perairan laut Probolinggo sangat bervariasi yang ditunjukkan pada masing-masing sampel, dan ditampilkan pada Tabel 7.1. Pada sampel perairan Probolinggo, konsentrasi bakteri koli sekitar 3–24.000 MPN/100 mL, demikian juga pada sampel air muara sungai terdapat bakteri koli sebanyak 3–24.000 MPN/100mL. Hasil analisis yang telah dilakukan di perairan Probolinggo diperoleh konsentrasi bakteri koli tertinggi pada

stasiun 5 dan 12, sedangkan di perairan muara sungai di stasiun 1, 6, 7, dan 9 (Tabel 7.1). Berdasarkan hasil pengamatan ini terlihat jelas adanya pengaruh pencemaran limbah domestik sehingga berdampak pada lingkungan perairan. Hal ini ditunjukkan dari kandungan bakteri indikator pencemarnya (bakteri koli) yang tinggi (Kunarsu, 1989). Di Indonesia, baku mutu kualitas air laut bagi peruntukan kehidupan biota laut dan wisata bahari untuk total bakteri koli adalah 1.000 MPN/100 m (Anonim, 2004).

Rheinheimer & Kuhl (1968) menyatakan bahwa kepadatan bakteri indikator di negara berkembang terutama negara tropik pada

**Tabel 7.1** Kepadatan Bakteri Koli pada Perairan Laut Probolinggo dalam MPN/100 mL, Maret 2013

Sta.	Asal sampel	MPN/100 mL	Stasiun	Asal sampel	MPN/100 mL
1	Air laut	90	S1	Muara sungai	24000
2	Air laut	40	S2	Muara sungai	3
3	Air laut	230	S3	Muara sungai	3
4	Air laut	230	S4	Muara sungai	40
5	Air laut	24.000	S5	Muara sungai	4.600
6	Air laut	3	S6	Muara sungai	24.000
7	Air laut	3	S7	Muara sungai	24.000
8	Air laut	3	S9	Muara sungai	24.000
9	Air laut	210	S11	Muara sungai	930
10	Air laut	3	S12	Muara sungai	3
11	Air laut	90			
12	Air laut	2.400			
13	Air laut	40			
14	Air laut	62			
15	Air laut	40			
16	Air laut	3			
17	Air laut	40			
18	Air laut	40			
A	Air laut	3			
B	Air laut	40			

umumnya jauh lebih tinggi daripada di perairan subtropik dengan angka *Most Probable Number* (MPN) bakteri koli berkisar antara  $2 \times 10^2/100$  ml sampai  $19 \times 10^3/100$  ml. Kuatnya pencemaran tidak tetap, tergantung dari faktor lain di antaranya faktor musim dan faktor besarnya kegiatan di darat. *World Health Organization* (1988) merekomendasikan bakteri koli sebesar 10 MPN/100 mL dan 100 MPN/100 mL. Menurut Kuswandi (2001), bakteri *fecal* masuk ke perairan melalui aliran sungai dan limpasan air hujan sehingga ke-limpahan bakteri akan semakin tinggi pada saat hujan. Keadaan yang demikian disebabkan oleh konsentrasi materi organik, perubahan salinitas, suhu, dan intensitas cahaya.

Bakteri koli (koliform) dapat ditemukan di saluran pencernaan hewan, tanah, atau secara alami pada sampel lingkungan. Pada keadaan normal, koliform terdapat di air dalam jumlah standar dan dapat diukur, namun bila terjadi pencemaran air, jumlah koliform akan menjadi banyak dan dapat melebihi jumlah bakteri patogen lain. Oleh karena itu, koliform dapat digunakan sebagai indikator pencemaran air (Hajna & Perry, 1943). Ruyitno (2004) menyatakan bahwa derajat kematian kelompok bakteri koli, baik yang berada di lingkungan laut maupun estuarin makin berkurang dengan naiknya salinitas, suhu, dan intensitas cahaya matahari. Bakteri koli memiliki daya tahan yang lebih tinggi daripada bakteri patogen lain dan lebih mudah diisolasi serta ditumbuhkan. Ciri-ciri bakteri koli, antara lain bersifat aerob (atau anaerob fakultatif), termasuk ke dalam bakteri gram negatif, tidak membentuk spora, dan dapat memfermentasi laktosa untuk menghasilkan asam dan gas pada suhu 35–37°C.

### ***Analisis Bakteri Patogen Genus Vibrio dan Salmonella***

Didasarkan pada metode Barrow & Miller (1976), isolasi bakteri genus *Vibrio* dilakukan dengan menuang sampel air sebanyak 0,5 ml langsung pada media Thiosulfate Citrate Bile Salt Sucrose (TCBS)

agar dapat diinkubasikan pada inkubator secara aseptis dengan suhu 35°C selama 24 jam. Bakteri yang tumbuh selanjutnya diuji pada beberapa media uji (TSI, LDB, MR-VP, dan NaCL) untuk mendeterminasi jenis bakteri.

Isolasi bakteri genus *Salmonella* dilakukan dengan menuang sampel air sebanyak 1 ml ke dalam 10 ml media *enrichment*, sampel diinkubasikan dalam inkubator selama 24 jam pada suhu 35°C. Selanjutnya, dari kultur media *enrichment*, diambil sebanyak 1 ml sampel dan diinokulasikan ke dalam 10 ml media selenit, sampel diinkubasikan ke dalam inkubator selama 24 jam pada suhu 35°C. Dengan menggunakan jarum ose, kultur bakteri pada media selenit diinokulasikan ke media XLD agar, kemudian sampel diinkubasikan ke dalam inkubator selama 24 jam pada suhu 35°C. Bakteri yang tumbuh pada media XLD agar selanjutnya diuji pada beberapa media uji (TSI, SIM, LDB, Sulfit, dan Urea) untuk mendeterminasi jenis bakteri.

Bakteri kelompok *Vibrio* dan *Salmonella* yang ditemukan dalam sampel perairan laut dan perairan muara sungai, didominasi oleh bakteri *Vibrio* sp, dan *Citrobacter* sp (Tabel 7.2). Banyaknya bakteri patogen yang ditemukan terutama genus *Vibrio*, dapat menghambat pertumbuhan fase larva. Salah satu faktor yang menyebabkan kegagalan budi daya adalah ditemukannya bakteri patogen dalam proses pemeliharaan larva biota laut yang dibudidayakan. Bakteri-bakteri patogen menyebabkan gangguan pencernaan pada hewan berdarah panas dan manusia (WHO, 1982). Bakteri patogen yang ditemukan di perairan Probolinggo sebanyak 10 genus adalah lebih banyak dibandingkan penelitian yang dilakukan di Pulau Bangka sebanyak tujuh genus (Sutiknowati & Ruyitno, 2008). Namun, pada stasiun perairan tujuh dan delapan, serta stasiun muara sungai tiga, tidak ditemukan bakteri patogen.

**Tabel 7.2** Jenis Bakteri Patogen yang Ditemukan dan Diisolasi dari Perairan Probolinggo, Maret 2013

No Sta.	Asal sampel	Bakteri kelompok <i>Vibrio</i>	Bakteri kelompok <i>Salmonella</i>
1	Air laut	-	<i>Citrobacter</i> sp.
2	Air laut	<i>Vibrio</i> sp.	<i>Citrobacter</i> sp.
3	Air laut	-	<i>Salmonella</i> sp.
4	Air laut	<i>Proteus</i> sp.	<i>Citrobacter</i> sp.
5	Air laut	<i>Pseudomonas</i> sp.	<i>Citrobacter</i> sp.
6	Air laut	-	<i>Pseudomonas</i> sp.
7	Air laut	-	-
8	Air laut	-	-
9	Air laut	<i>Proteus</i> sp., <i>Vibrio</i> sp.	<i>Citrobacter</i> sp.
10	Air laut	<i>Proteus</i> sp., <i>Vibrio</i> sp., <i>Pseudomonas</i> sp.	<i>Hafnia</i> sp.
11	Air laut	<i>Vibrio</i> sp.	<i>Citrobacter</i> sp.
12	Air laut	<i>Proteus</i> sp., <i>Vibrio</i> sp <i>Pseudomonas</i> sp	<i>Shigella</i> sp.
13	Air laut	<i>Proteus</i> sp.	<i>Citrobacter</i> sp.
14	Air laut	<i>Proteus</i> sp.	<i>Pseudomonas</i> sp.
15	Air laut	<i>Vibrio</i> sp.	<i>Shigella</i> sp.
16	Air laut	<i>Vibrio</i> sp.	<i>Citrobacter</i> sp.
17	Air laut	-	<i>Yersinia</i> sp.
18	Air laut	-	<i>Citrobacter</i> sp.
A	Air laut	-	<i>Citrobacter</i> sp.
B	Air laut	<i>Vibrio</i> sp.	<i>Pseudomonas</i> sp.
S1	Muara sungai	<i>Vibrio</i> sp.	<i>Shigella</i> sp.
S2	Muara sungai	<i>Vibrio</i> sp.	<i>Citrobacter</i> sp.
S3	Muara sungai	-	-
S4	Muara sungai	<i>Proteus</i> sp.	<i>Yersinia</i> sp.
S5	Muara sungai	<i>Proteus</i> sp., <i>Vibrio</i> sp.	<i>Yersinia</i> sp.
S6	Muara sungai	<i>Vibrio</i> sp	<i>Shigella</i> sp.
S7	Muara sungai	<i>Vibrio</i> sp., <i>Pseudomonas</i> sp.	<i>Citrobacter</i> sp.
S9	Muara sungai	<i>Vibrio</i> sp., <i>Aeromonas</i> sp,	<i>Shigella</i> sp.
S11	Muara sungai	<i>Vibrio</i> sp.	<i>Citrobacter</i> sp.
S12	Muara sungai	-	<i>Citrobacter</i> sp.

Hasil analisis bakteri patogen kelompok *Vibrio* (Vibrionaceae) di perairan Probolinggo pada sampel air laut didapatkan empat jenis bakteri, yaitu *Aeromonas* sp., *Vibrio* sp., *Proteus* sp., dan *Pseudomonas* sp. Menurut Austin (1988), beberapa jenis *Vibrio* secara klinis menjadi patogen penting pada manusia. *Vibrio* patogenik dapat menyebabkan keracunan makanan dan pada umumnya dihubungkan dengan memakan makanan hasil laut yang belum dimasak.

Terdapatnya bakteri patogen kelompok Vibrionaceae di perairan pantai menandakan adanya kontak dengan buangan limbah industri dan rumah tangga, seperti tinja manusia atau sisa bahan makanan lainnya. Bakteri tersebut secara langsung akan tumbuh dan berkembang bila kondisi perairan tersebut memungkinkan. Selanjutnya, dari keadaan ini kemudian akan berpengaruh terhadap biota perairan dan akhirnya pada manusia.

Bakteri dari spesies *Vibrio* secara langsung akan menimbulkan penyakit (patogen) yang dapat menyebabkan kematian biota laut yang menghuni perairan, dan secara tidak langsung bakteri yang terbawa biota laut, seperti ikan akan dikonsumsi oleh manusia sehingga menyebabkan penyakit pada manusia (Austin, 1988). Bakteri ini termasuk patogen oportunistik yang normal hidup di muara atau air tawar, ketika kontak dengan tubuh manusia dapat menimbulkan infeksi dan mampu menimbulkan penyakit (Grimes, 1991).

*Aeromonas* sp. merupakan salah satu bakteri patogen yang berbahaya, baik bagi manusia (menyebabkan sakit perut) maupun bagi biota laut. Grimes dkk. (1986) menyatakan bahwa pengaruh antropogenik yang kronis terhadap pesisir dan lautan di dunia telah meningkatkan densitas patogen tertentu.

Hasil analisis bakteri patogen kelompok *Salmonella* di perairan Probolinggo pada sampel air laut didapatkan enam jenis bakteri, yaitu *Citrobacter* sp., *Hafnia* sp., *Shigella* sp., *Salmonella* sp., *Yersinia* sp., dan *Pseudomonas* sp. Bakteri *Salmonella* sp. adalah salah satu bakteri yang

paling berbahaya. Bakteri *Yersinia* sp. yang ditemukan pada sampel air dapat menyebabkan penyakit arthritis dan enteritis pada manusia. Jenis bakteri *Proteus* sp. dan *Citrobacter* sp. merupakan bakteri yang dapat menimbulkan penyakit diare. Konsentrasi *Salmonella* sp. di dalam air limbah berkisar beberapa sel sampai mencapai 8.000 organisme per 100 ml air dari penduduk yang mengeluarkan *Salmonella* di dalam tinja (WHO, 1988).

Bakteri *Salmonella* sp. di laut dan perairan tawar berasal dari limbah organik domestik, industri, dan dari tempat-tempat rekreasi (sumber mata air, danau, dan pantai). Keberadaan bakteri *Salmonella* sp. dalam suatu perairan laut dapat diindikasikan dengan keberadaan bakteri indikator, yaitu bakteri *Escherichia coli* karena bakteri ini sangat erat hubungannya dengan bakteri *Salmonella* sp. Menurut Kunarso (1989), ada korelasi positif antara densitas bakteri *Escherichia coli* dengan bakteri *Salmonella* sp., semakin tinggi kandungan bakteri *Escherichia coli* maka semakin positif peluang bakteri *Salmonella* sp. akan ditemukan dalam suatu perairan.

*Proteus* sp. disebut juga bakteri proteolitik karena bakteri ini dapat menguraikan dan memecah, baik secara aerob maupun anaerob sehingga menghasilkan komponen yang berbau busuk, seperti hidrogen, sulfit, amin, indol, dan asam lemak. *Proteus* sp. dapat menghidrolisis urea menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{NH}_3$  serta melepas amoniak sehingga dapat meragi glukosa menjadi asam. Kemampuan bakteri ini juga dapat membentuk  $\text{H}_2\text{S}$  sehingga menyebabkan air berbau. Bakteri ini patogen oportunistis pada manusia yang menyebabkan diare, infeksi saluran kencing, kelainan bernanah, seperti abses dan infeksi luka (Elmanama dkk., 2006).

## ***Analisis Bakteri Heterotrofik dan Halotoleran***

Distribusi dan populasi bakteri heterotrofik dan halotoleran dianalisis dengan menanam sampel air dan sedimen yang telah diencerkan dengan *buffer phosphate* ke dalam media *marine agar* dan media *modified marine agar*. Sampel yang ditanam pada media berasal dari pengenceran  $10^{-1}$  sampai  $10^{-4}$  sebanyak 1 ml. Penanaman masing-masing sampel diulang sebanyak dua kali dengan metode *pour plate* dan menggunakan kurang lebih 20 ml media *marine agar* (AL) dan *modified marine agar* (AT) pada cawan petri steril. Sampel diinkubasikan pada inkubator dengan suhu ruang, selama tujuh hari. Setelah tujuh hari, koloni yang tumbuh dihitung dengan jumlah koloni antara 30–300 upk. Jumlah koloni di antara kisaran tersebut kemudian diolah menurut perhitungan Hadioetomo (1993). Nilai yang diperoleh merupakan jumlah koloni bakteri heterotrofik dan halotoleran dalam suatu sampel, disebut unit pembentukan koloni (upk) atau *colony forming unit* (cfu).

Kepadatan bakteri heterotrofik dan halotoleran ditunjukkan pada Tabel 7.3. Kepadatan bakteri heterotrofik di perairan Probolinggo dan sekitarnya sebesar  $214 \times 10^2$  upk/ml dan bakteri halotoleran sebesar  $42 \times 10^2$  upk/ml. Kepadatan populasi bakteri heterotrofik dari sampel sedimen sebesar  $30 \times 10^3$  upk/ml dan kepadatan bakteri halotoleran sebesar  $16 \times 10^3$  upk/ml. Konsentrasi kepadatan bakteri heterotrofik dan halotoleran relatif tinggi di sedimen dibandingkan perairan laut.

Hal ini kemungkinan disebabkan adanya senyawa organik di sedimen berupa lumpur sehingga senyawa organik menjadi relatif lebih besar jumlahnya di sedimen dibandingkan perairan. Menurut Ruyitno (2004), bakteri heterotrofik di laut berperan dalam rantai makanan sebagai pendegradasi bahan organik menjadi bahan anorganik yang berupa nutrisi yang akan dimanfaatkan oleh biota lain, yaitu fitoplankton, dan merupakan piramida dasar dari sistem rantai makanan sehingga kehidupan laut menjadi lestari.

**Tabel 7.3** Konsentrasi Bakteri Heterotrofik dan Halotoleran (upk/ml) di Perairan Probolinggo, Jawa Timur pada Bulan Maret 2013

No.sta	Pengam- bilan sampel dari	Group		Pengam- bilan sampel dari	Group	
		Heterotrofik 10 <sup>2</sup> upk/ml	Halotoleran 10 <sup>2</sup> upk/ml		Heterotrofik 10 <sup>3</sup> upk/ml	Halotoleran 10 <sup>3</sup> upk/ml
<b>Group 1</b>	Perairan			Sedimen		
3	Air laut	60	114	Air laut	26	35
6	Air laut	26	27	Air laut	27	22
8	Air laut	84	10	Air laut	43	34
9	Air laut	122	20	Air laut	108	10
12	Air laut	124	10	Air laut	25	8
15	Air laut	114	8	Air laut	17	16
17	Air laut	112	78	Air laut	8	7
A	Air laut	93	147	Air laut	9	11
<b>Group 2</b>	Air laut dari	Heterotrofik 10 <sup>2</sup> upk/ml	Halotoleran 10 <sup>2</sup> upk/ml	Sedimen dari	Heterotrofik 10 <sup>3</sup> upk/ml	Halotoleran 10 <sup>3</sup> upk/ml
S1	Muara sungai	426	9	Muara sungai	17	19
S2	Muara sungai	170	6	Muara sungai	16	22
S5	Muara sungai	488	43	Muara sungai	20	13
S6	Muara sungai	584	34	Muara sungai	53	19
S9	Muara sungai	318	56	Muara sungai	40	20
S11	Muara sungai	138	64	Muara sungai	28	8
S12	Muara sungai	355	16	Muara sungai	11	4
	Rerata	214	42		30	16

Tingginya angka kepadatan bakteri heterotrofik dibanding dengan halotoleran membuktikan bahwa kesuburan air laut didukung oleh aktivitas kehidupan di laut dan sedikit diperoleh dari endapan sumber karbon di sedimen yang berasal dari aktivitas di darat yang terbawa air tawar ke pesisir laut. Keberadaan bakteri halotoleran menunjukkan adanya bahan organik yang berasal dari daratan yang masuk ke dalam perairan laut, dan biasanya populasi bakteri ini lebih rendah dari bakteri heterotrofik. Kepadatan bakteri halotoleran yang lebih rendah ini menunjukkan bahwa aktivitas di daratan tidak memengaruhi perairan laut dan sumber air laut untuk tambak serta unsur organik yang berasal dari laut sangat tinggi (Ruyitno, 2010). Bakteri heterotrofik digunakan sebagai salah satu indikator kesuburan suatu perairan karena kemampuannya menguraikan senyawa organik (Azam & Malfatti, 2007).

### ***Kondisi Lingkungan***

Pada 20 stasiun diperoleh kondisi perairan secara rata-rata, yaitu suhu rata-rata sebesar 32°C, salinitas rata-rata sebesar 30,5‰, DO rata-rata sebesar 6,5 mg/l, dan pH rata-rata sebesar 5,6. Sampel air dan sedimen diambil pada muara sungai dan perairan laut saat surut dengan tinggi air (kedalaman) sekitar 2–10 m. Pada penelitian ini, sampel sedimen yang ditemukan berupa lempung dan pasir. Selama pengamatan diduga terdapat fluktuasi pH yang relatif rendah, namun tidak membahayakan kehidupan di perairan laut. Kapasitas penyangga air laut sangat besar sehingga dalam keadaan normal dapat menyangga kelebihan asam atau basa yang masuk ke dalam air laut tanpa menyebabkan perubahan pH yang besar. Saat surut, pada umumnya suhu lebih tinggi daripada saat pasang, namun suhu saat surut di perairan Probolinggo relatif sama dibandingkan suhu air laut rata-rata (Wyrтки, 1961).

Biasanya suhu berkaitan dengan salinitas dalam memengaruhi kehidupan perairan dan peningkatan suhu akan diikuti oleh peningkatan salinitas karena evaporasi meningkat. Keragaman salinitas air laut dapat memengaruhi biota bahari lewat perubahan berat jenis air laut dan perubahan tekanan osmotik. Oksigen merupakan faktor kimia yang diperlukan untuk komunitas mikrobia di sedimen. Pada saat surut terdapat oksigen dalam jumlah yang tinggi dibandingkan saat pasang. Kepekaan sedimen terhadap proses biologi dapat meningkat dengan adanya sifat kimia dari pH yang dapat bervariasi dari 7,08–7,67 dan potensi redoksnya berkisar antara -42 sampai 152. Kecepatan masuknya oksigen dari udara tergantung pada faktor kejenuhan air, suhu, salinitas, dan pergerakan udara serta air, seperti arus, gelombang, dan pasang surut (Raymont, 1963)

## KESIMPULAN

Berdasarkan aspek bakteriologisnya, di perairan Probolinggo terdapat bakteri koli, beberapa bakteri patogen, dan bakteri heterotrofik serta halotoleran. Hal ini menunjukkan adanya pencemaran limbah domestik pada lingkungan perairan dengan tingginya kelimpahan bakteri koli sebagai indikator pencemarnya, yaitu sebesar 2.400–24.000 MPN/100 ml. Terdapatnya empat jenis bakteri patogen kelompok *Vibrio* dan enam jenis bakteri kelompok *Salmonella* di perairan pesisir Probolinggo, menunjukkan adanya aliran limbah domestik dari daratan yang berpotensi memengaruhi tingkat pencemaran perairan. Kesuburan perairan Probolinggo didukung oleh kepadatan bakteri heterotrofik sebesar  $214 \times 10^2$  upk/ml dan halotoleran sebesar  $42 \times 10^2$  upk/ml, dan kesuburan sedimen didukung oleh kepadatan bakteri heterotrofik sebesar  $30 \times 10^3$  upk/ml dan bakteri halotoleran sebesar  $16 \times 10^3$  upk/ml yang menyebabkan nutrisi lingkungannya memenuhi standar untuk kehidupan biota laut.

Walaupun ditemukan bakteri pencemar koli, *E. coli*, vibrio, dan salmonella yang tinggi kepadatannya, namun kesuburan perairannya sangat baik dengan adanya bakteri heterotrofik dan halotoleran yang juga tinggi kepadatannya. Untuk digunakan pada pertumbuhan dan pembesaran biota budi daya, hal ini signifikan dengan rencana pengelolaan lingkungan untuk pemanfaatan perairan Probolinggo terhadap budi daya. Kesehatan biota budi daya juga masih dapat dijaga dengan perlakuan sinar UV atau lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup, No. 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut. *Kumpulan Peraturan Pengendalian Kerusakan Pesisir dan Laut, sub bab Baku Mutu Air Laut*. Jakarta. Lampiran III, 2: 20–26.
- APHA (American Public Health Association). 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21th Edition: 1120 pp .
- Austin, B. 1988. *Marine Microbiology*. Cambridge, England: Cambridge University Press, 222 pp.
- Azam, F., & F. Malfatti. 2007. Microbial Structuring of Marine Ecosystems. *Nature Reviews Microbiology* 5: 782–791.
- Barrow, G.I. & D.C. Miller. 1976. Vibrio Parahaemolyticus and Seafood. Dalam: *Microbiology in Agriculture, Fisheries and Food*. London: Academic Press. P 368
- Elmanama, A., dkk. 2006. Seasonal and Spatial Variation in the Monitoring Parameters of Gaza Beach During 2002–2003. *Environmental Research Journal*, 101 (1): 25–33.
- Grimes, D.J., dkk. 1986. The Fate of Enteric Patogenic Bacteria in Estuarine and Marine Environment. *Microbiological Sciences* 3: 324–329.
- Grimes, D.J. 1991. Ecology of Estuarine Bacteria Capable of Causing Human Disease: A Review. *Estuaries* 14 (4): 315–350.
- Hajna, A.A. & C.A. Perry. 1943. Comparative Study of Presumptive and Confirmative Media for Bacteria of The Coliform Group and for Fecal Streptococci. *Am. J. Publ. Hlth*. 33: 550–556.

- Hadioetomo, R.S. 1993. *Mikrobiologi Dasar dalam Praktek*. Jakarta: Gramedia. Hlm. 74–76.
- Kementerian KLH. 2004. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup, No. 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut*. Kumpulan Peraturan Pengendalian Kerusakan Pesisir dan Laut, subbab Baku Mutu Air Laut. Jakarta. Lampiran III, 2: 20–26.
- Kunarso, D.H. 1989. Teknik Membran Filter untuk Mendeteksi Bakteri Pencemar. *Oseana*. 4: 133–143.
- Kuswandi, I. 2001. Kelimpahan Bakteri Fecal di Perairan Pulau Bulan Kotamadya Batam. *Skripsi* Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Riau, Pekanbaru.
- Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 tentang Baku Mutu Air Laut untuk Kehidupan Biota Laut. 11 hlm.
- Raymont, J.E.G. 1963. *Plankton and Productivity in the Oceans*. Oxford: Pergamon Press. P 660.
- Rheinheimer, V.G. & V.H. Kuhl. 1968. Veranderungen der Bacterien Flora des Planters und Eineger Chemischer Faktoren wahren einer tide in der Elbmundung Bei Ceix haven. *Kieler Meeresforschungen* 24: 27–37.
- Ruyitno, N. 2004. Bakteri Laut dan Peranannya dalam Mendukung Aktivitas Manusia. *Orasi Pengukuhan Ahli Peneliti Utama Bidang Mikrobiologi Laut*. Puslit Oseanografi LIPI. Hlm. 3–20.
- Ruyitno, N. 2008. Kualitas Teluk Jakarta: kajian bakteriologis (laporan penelitian). 10 hlm.
- Ruyitno. 2010. *Modul Pelatihan Bidang Mikrobiologi*. Pelayaran Kebangsaan Bagi Ilmuwan Muda. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi LIPI, Jakarta. 28 hlm.
- Shuval, H.I. 1986. Thalassogenic Disease. *Regional seas report and studies*, 79. Nairobi: UNEP. 38 p.
- Sutiknowati, L.I. & N. Ruyitno. 2008. Studi Bakteriologis dan Peruntukannya terhadap Budi daya pada Perairan Teluk Klabat, Kepulauan Propinsi Bangka Belitung. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia* 34: 101–115.
- Wyrtki, K. 1961. *Physical Oceanography of the Southeast Asian Waters*. San Diego: La Jolla, California, Neyenesch Printers. 189 pp.

- World Health Organization. 1982. Bacteriological examination. Dalam: Suess, M.J. (ed.), *Examination of Water Pollution Control*, 3: 273–531.
- World Health Organization. 1988. Guidelines for Monitoring the Quality of Coastal Recreation and Shelfish, Growing Areas. *Reference Methods for Marine Pollution Studies*,1. Nairobi: UNEP. 36 pp.

# BAB VIII

## PENGARUH KEGIATAN ANTROPOGENIK TERHADAP KONSENTRASI LOGAM BERAT TERLARUT DI PERAIRAN

 Fitri Budiyanto dan Lestari

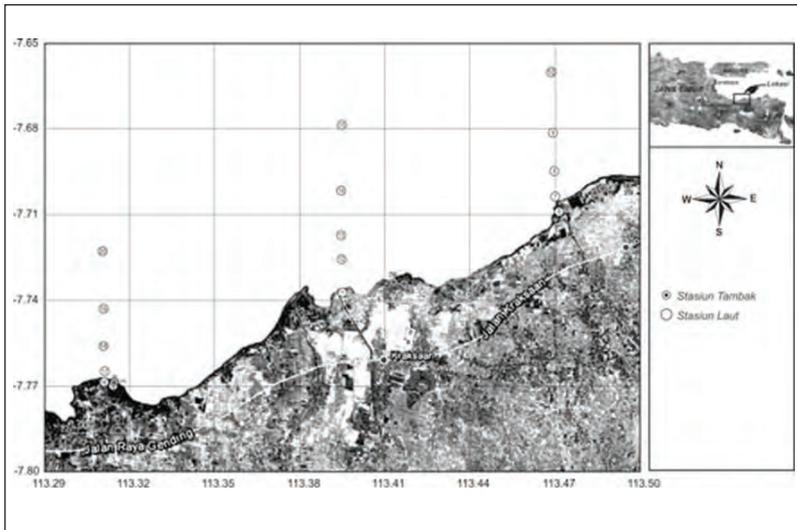
### PENDAHULUAN

Posisi geografis Probolinggo yang dialiri sungai dengan hilir gunung berapi terdiri atas lahan pertanian yang terus tumbuh dan kondisi perkotaan yang berkembang (Badan Pusat Statistik Kabupaten Probolinggo, 2013), menyebabkan estuari Probolinggo mengalami perubahan konsentrasi logam berat terlarut. Logam berat terlarut tersebut berpotensi untuk mengalami bioakumulasi dalam organisme laut yang dikonsumsi manusia. Dengan mekanisme tersebut, secara tidak langsung peningkatan kelimpahan logam berat terlarut mengancam kesehatan manusia. Logam berat yang berpotensi mengalami kenaikan konsentrasi, yaitu kadmium, tembaga, timbal, dan seng. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas perairan Probolinggo ditinjau dari parameter logam berat Cd, Cu, Pb, dan Zn terlarut.

Peningkatan aktivitas antropogenik di kawasan pesisir berpotensi untuk mengubah kelimpahan logam berat di perairan. Peningkatan konsentrasi logam berat di perairan perlu untuk diwaspadai. Logam berat esensial, seperti Zn diperlukan oleh organisme untuk menjaga metabolisme tubuhnya, tetapi jumlah yang berlebih mengakibatkan

efek buruk, seperti keracunan. Ada juga kelompok logam berat nonesensial yang belum diketahui perannya dalam tubuh organisme dan berpotensi toksik bahkan dalam konsentrasi yang rendah. Logam berat dapat berasal dari aktivitas alami ataupun aktivitas antropogenik, selain itu gunung berapi merupakan sumber dari logam berat seperti kadmium (World Bank Group, 1998). Aktivitas antropogenik memberi peluang akan naiknya jumlah timbal, seng, dan tembaga di perairan. Limbah domestik, pembakaran bahan bakar minyak dan batu bara, erosi tanah pertanian menjadi salah satu sumber seng, timbal, dan tembaga di lingkungan estuari (Eisler, 1993).

Pengambilan sampel air laut dilakukan di tiga kecamatan Kabupaten Probolinggo, yaitu Kecamatan Gending, Kecamatan Randu Tata, dan Kecamatan Kali Buntu. Di tiga lokasi ini, dilakukan pengambilan sampel air di area tambak dan area laut dengan total sampel 13 sampel di laut dan delapan sampel di tambak (Gambar 8.1).



**Gambar 8.1** Posisi Pengambilan Sampel di Perairan laut Probolinggo

Sampel air laut permukaan diambil dengan menggunakan botol *VanDorn* yang volumenya sekitar satu liter. Air laut kemudian disaring menggunakan kertas saring selulosa nitrat Whatmann ukuran pori 0,45  $\mu\text{m}$ . Filtrat air laut yang didapat, diasamkan dengan menggunakan  $\text{HNO}_3$  pekat hingga  $\text{pH} < 2$ , kemudian disimpan dalam *cubitainer*.

Sampel air laut dan sedimen dianalisis di Laboratorium Kimia Anorganik, Pusat Penelitian Oseanografi LIPI. Analisis sampel air laut menggunakan metode *Back Extraction*. 250 ml air laut pada pH 3 yang telah ditambah 2,5 ml Amonium Pirolidin Ditio Karbamat (APDC) 4% dan 25 ml Metil Iso Butil Keton (MIBK) dikocok selama lima menit. Fase organik yang terpisah dibilas dengan 10 ml akuades. Setelah terpisah, fase organik ditambah 0,25 ml  $\text{HNO}_3$  pekat dan 9,75 ml akuades. Logam berat dalam fase anorganik dianalisis menggunakan FAAS Varian spectrAA 20 dengan nyala campuran udara-asetilen. Semua peralatan gelas dan polietilen yang digunakan selama proses analisis direndam dalam  $\text{HNO}_3$  (1:1) selama 24 jam sebelum digunakan (Magnusson & Westerlund, 1981; Standard Methods, 1992).

### ***Konsentrasi Logam Berat Cd, Cu, Pb, dan Zn Terlarut***

Konsentrasi Cd dan Pb terlarut tidak menunjukkan variasi yang lebar, sedangkan konsentrasi Cu dan Zn terlarut mengidentifikasi hal yang berbeda (Tabel 8.1). Konsentrasi logam Cd terlarut di semua titik pengambilan sampel menunjukkan nilai di bawah 0,001 mg/l. Konsentrasi logam Pb terlarut menunjukkan angka yang tidak jauh berbeda dengan Cd terlarut, berkisar dari nilai di bawah 0,001 mg/l hingga 0,001 mg/l. Area tambak dan laut menunjukkan perbedaan konsentrasi logam berat terlarut. Area tambak cenderung memiliki konsentrasi logam terlarut yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan laut terutama untuk logam Cu dan Zn. Konsentrasi Cu dan Zn

tertinggi ditunjukkan oleh area tambak di Randutata, 0,007 mg/l merupakan konsentrasi tertinggi Cu dan 0,008 mg/l merupakan nilai tertinggi yang ditunjukkan oleh Zn. Hal ini disebabkan terjadinya pemekatan air tambak karena faktor lingkungan. Saat dilakukan pengambilan sampel, air tambak memiliki salinitas yang relatif tinggi, air tambak di Kalibuntu memiliki salinitas 39 ppt (Tabel 8.2). Salinitas yang relatif tinggi ini mengindikasikan terjadinya pemekatan air tambak.

**Tabel 8.1** Konsentrasi Logam Berat Terlarut dalam Air Laut di Perairan Pesisir Probolinggo, Jawa Timur, Maret dan Juni 2012

Lokasi	Parameter (mg/L)							
	Cd		Cu		Pb		Zn	
	Maret	Juni	Maret	Juni	Maret	Juni	Maret	Juni
<b>Desa Randutatah</b>								
Tambak	Minimum		<0,001	<0,001		<0,001	<0,001	<0,001
	Maksimum	<0,001	<0,001	0,007	0,001	<0,001	0,001	0,008
Laut	Minimum		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
	Maksimum	<0,001	<0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001
<b>Desa Kalibuntu</b>								
Tambak	Minimum			0,001	<0,001		<0,001	<0,001
	Maksimum	<0,001	<0,001	0,001	0,003	<0,001	<0,001	0,003
Laut	Minimum		<0,001			<0,001	0,001	
	Maksimum	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,002
<b>Desa Gending</b>								
Tambak	Minimum		<0,001	<0,001			<0,001	<0,001
	Maksimum	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
Laut	Minimum						<0,001	0,001
	Maksimum	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,002
NAB <sup>1)</sup>	0,001		0,008		0,008		0,05	
Alami <sup>2)</sup>	0,00011		0,002		0,00003		0,002	

<sup>1)</sup> Nilai ambang batas (NAB), KMNKLH 2004

<sup>2)</sup> Waldichuck 1974

Dalam konsentrasi kecil, Cu dapat ditemukan dalam pakan untuk biota budi daya. Oleh karena itu, area budi daya merupakan salah satu komponen yang memberikan masukan Cu ke lingkungan perairan. *Trend* yang sama pernah dilaporkan (Dean dkk., 2007) tentang tingginya kadar Zn dan Cu pada area budi daya ikan. Fenomena ini biasa terjadi di area budi daya yang pakannya disediakan oleh nelayan tambak. Masukan Zn dan Cu pada area budi daya adalah akibat dari pakan dan fecal ikan. Ada faktor lain yang memberi masukan logam ke area budi daya, seperti detritus kayu, jala, dan cat kapal. Jala dan cat kapal memanfaatkan Cu sebagai bahan *antifouling* (Olsgard, 1999).

Konsentrasi Cd terlarut di area tambak tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antara bulan Maret dan Juni, seperti halnya Pb terlarut mengidentifikasi perbedaan yang tidak signifikan (Tabel 8.1). Area tambak cukup jauh dari pusat aktivitas manusia sehingga masukan Cd dan Pb pun kecil. Cd dan Pb merupakan logam berat yang banyak digunakan dan dilepaskan oleh manusia ke lingkungan. Bahan bakar minyak masih mendominasi pasokan energi untuk angkutan transportasi (Retcliffe, 1981) dan timbal (Pb) merupakan logam yang secara alami ada dalam minyak dan senyawanya sengaja ditambahkan ke dalam bahan bakar sebagai *antiknocking* (Darmono,

**Tabel 8.2** Kondisi Salinitas dan Suhu Air di Tambak

Stasiun	Salinitas, ppt	Suhu Air, °C
Randutatah 1	31,2	28,7
Randutatah 2	23,3	28,8
Randutatah 3	29,8	20,6
Kalibuntu 1	29,5	28,7
Kalibuntu 2	39	31,7
Gending 1	31	28,2
Gending 2	21,2	29,2
Gending 3	29,6	28,8

1995). Pembakaran minyak bumi tersebut akan melepaskan timbal ke lingkungan. Selain itu, Pb juga masih banyak digunakan dalam produk cat dinding. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (2011) melaporkan ditemukannya Pb dalam debu rumah yang berasal dari cat dinding.

Salinitas tambak menunjukkan nilai yang sangat variatif. Nilai terendah terbaca pada angka 21,2 ppt, sedangkan nilai tertinggi terukur pada nilai 39,0 ppt (Tabel 8.2). Nilai salinitas yang sangat bervariasi ini disebabkan oleh perbedaan kondisi tambak saat dilakukan pengukuran. Berdasarkan observasi di lapangan, tambak di Gending merupakan tambak yang masih aktif digunakan, pengairan ke dalam tambak di Gending tersebut masih terlihat bagus dengan banyaknya volume air tambak. Sebaliknya, tambak di area Randutatah dan Kalibuntu sedang tidak beroperasi saat dilakukan penelitian. Volume air di dalam tambak di kedua area tersebut sedikit dan salinitas ekstrem di stasiun Kalibuntu 2 ditengarai karena terjadinya pemekatan air laut oleh pemanasan matahari di hari-hari sebelum pengukuran dilakukan. Temperatur tambak berada pada kisaran angka normal perairan di kawasan tropis, berada pada kisaran angka 20,6°C sampai 31,7°C (Tabel 8.2).

### ***Status kelimpahan Cd, Cu, Pb, dan Zn Terlarut***

Cu dan Zn terlarut masih berada pada tingkat normal. Kisaran nilai konsentrasi yang terdeteksi di area laut estuari Probolinggo tidak berbeda jauh dari nilai di perairan alami. Hanya saja, nilai Cd dan Pb terlarut tidak dapat dibandingkan dengan nilai perairan alami karena nilai unsur-unsur tersebut berada di bawah deteksi limit alat (<0,001 mg/l). Konsentrasi logam Cd berada di bawah batas deteksi alat, yaitu < 0,001 mg/l di mana konsentrasi normalnya, yaitu 0,00011 mg/l. Konsentrasi logam Cu pada bulan Maret hanya pada stasiun 1 TR (0,007 mg/l) dan pada bulan Juni pada stasiun 10 (0,003 mg/l)

yang melebihi nilai normalnya, yaitu 0,002 mg/l. Konsentrasi Pb pada bulan Maret masih di bawah batas deteksi alat, yaitu <0,001, sedangkan nilai normalnya yaitu 0,00003 mg/l kecuali stasiun 10 (0,001 mg/l). Konsentrasi logam Zn pada bulan Maret di stasiun 1 TR, 2 TKB, 12, 13, 1 TG, 18, dan 20 telah melewati nilai normalnya, yaitu 0,002 mg/l, sedangkan pada bulan Juni hanya pada stasiun .2 TR.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat dilihat bahwa konsentrasi untuk parameter logam Cd, Cu, Pb, dan Zn masih berada di bawah baku mutu yang diperuntukkan untuk kepentingan kehidupan biota laut berdasarkan Baku Mutu Air laut KMNKLH No. 51, Tahun 2004 yang ditetapkan oleh Kantor Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (KMNKLH).

Kadmium merupakan logam berat yang memiliki afinitas dalam sulfhidril yang lebih tinggi dibandingkan dalam enzim dan menunjukkan peningkatan kelarutan dalam lemak (Sanusi, 2006). Dalam fitoplankton laut, kadmium (Cd), kobalt (Co), dan seng (Zn) dapat saling mensubstitusi dalam enzim *carbonic anhydrase* yang berperan dalam fotosintesis (Lane dkk., 2005). Selain enzim *carbonic anhydrase*, kadmium memiliki kaitan erat dengan kalsium metabolisme pada hewan. Perubahan metabolisme kalsium ini akan berpengaruh signifikan berdasarkan besarnya defisit kalsium, sebagai contoh kasus *hypocalcaemia*, pertumbuhan yang abnormal (deformasi tulang), dan kematian pada ikan sebagai akibat dari dihambatnya kalsium *uptake* dari lingkungannya (Inchem, 2011; Maunder dkk., 2011).

## KESIMPULAN

Logam berat terlarut di perairan Probolinggo tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok antara air dalam tambak dan air laut serta tidak pula menunjukkan perbedaan konsentrasi logam terlarut yang drastis antara bulan Maret dan Juni 2012. Perbedaan jarak dengan

sumber kegiatan antropogenik memengaruhi gradasi konsentrasi logam berat di Probolinggo. Area tambak memiliki konsentrasi logam berat Cu dan Zn yang relatif lebih tinggi dibandingkan laut. Sementara itu, dibandingkan dengan nilai ambang batas, konsentrasi logam berat terlarut masih berada dalam status normal dan tidak berpotensi *hazard* bagi organisme perairan. Adanya perbedaan konsentrasi logam berat terlarut antara area tambak dan laut tersebut, direkomendasikan untuk melakukan pemantauan rutin logam berat di tambak, sekaligus pemantauan terhadap biota budi daya dari tambak-tambak tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agency for Toxic Sunstances and Disease Registry. 2011. "Cadmium". ([www.astdr.cdc.gov](http://www.astdr.cdc.gov), diakses 19 Desember 2013).
- Agency for Toxic Sunstances and Disease Registry. 2011. "Lead". ([www.astdr.cdc.gov](http://www.astdr.cdc.gov), diakses 19 Desember 2013).
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Probolinggo. 2013. *Kabupaten Probolinggo dalam Angka 2013*. BPS Kabupaten Probolinggo. 378 hlm.
- Darmono. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Jakarta: UI Press. 136 hlm.
- Dean, R.J. dkk. 2007. Copper, Zinc and Cadmium in Marine Cage Fish Farm Sediments: An extensive survey. *Environmental Pollution*, 145: 84–95.
- Eisler, R. 1993. *Zinc Hazards to Fish, Wildlife and Intertebrates: A synoptic review*. Contaminant Hazards Reviews. Maryland: US Department of the Interior. 126 pp.
- Inchem. 2011. "Cadmium–environment Aspects". ([www.inchem.org](http://www.inchem.org), diakses 9 December 2011).
- Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup. 2004. *Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No Kep-51/MNKLH/II/2004 tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Air Laut*. Jakarta: Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup. 1048 hlm.
- Lane, T.W., dkk. 2005. A Cadmium Enzyme from a Marine Diatom. *Nature Publishing Group*, 435: 42.

- Maunder, R.J., dkk. 2011. Accumulation of Dietary and Aqueous Cadmium into the Epidemal Muscus of the Fish. *Symphysodon* sp. *Aquatic Toxicology* 103: 205–212.
- Magnusson, B. & S. Westerlund. 1981. Solvent Extraction Procedures Combined with Back-extraction for Trace Metal Determinations by Atomic Absorption Spectrophotometry. *Analytica Chimica Acta* 131: 63–72.
- Olsgard, F. 1999. Effect of Copper Contamination on Recolonisation of Subtidal Marine Soft Sediment-an Experimental Field Study. *Marine Pollution Bulletin* 38: 448–462.
- Ratcliffe, J.M. 1981. *Lead in the Man and the Environment*. Ellis Horwood Ltd. 236 pp.
- Sanusi, H.S. 2006. *Kimia Laut: Proses fisik kimia dan interaksinya dengan lingkungan*. Bogor: Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. 188 hlm.
- Standard Methods. 1992. *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, American Public Works Association Water Environment Federation. USA. Pp. 3–15.
- Waldichuk, M. 1974. *Some Biological Concern in Metals Pollutions*. Dalam: F.J. Vernberg and W.B. Vernberg (ed.). London: Academic Press Inc. 74 hlm.
- World Bank Group. 1998. *Pollution Prevention and Abatement Handbook: Cadmium*. World Bank Group. 214 pp.



# BAB IX

## KONSENTRASI Cd, Cu, Pb, DAN Zn DALAM SEDIMEN DI PERAIRAN

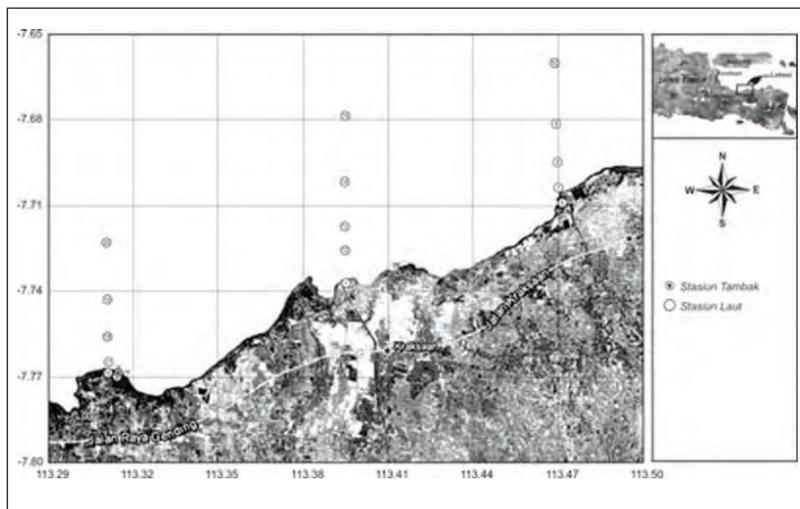
 Lestari dan Fitri Budianto

### PENDAHULUAN

Logam merupakan bahan alami pada lingkungan laut, kadang-kadang beberapa jenis logam pada tingkat konsentrasi yang rendah merupakan bahan yang penting untuk proses biologi (misal: Fe, Cu, Zn, Ni). Karena sedimen merupakan tempat untuk menampung kontaminan yang terbawa dari daratan dan juga merupakan sumber makanan untuk biota sehingga penelitian ini perlu dilakukan untuk proteksi lingkungan bagi biota dan juga untuk mengetahui konsentrasi kontaminan dalam sedimen. Kontaminasi logam merupakan salah satu kontaminan yang ada di mana-mana, persistan, dan merupakan warisan masa lalu (misalnya, tambang yang terbengkalai) dan yang akan datang serta salah satu isu yang dapat menimbulkan penurunan kualitas lingkungan (Luoma dan Rainbow, 2008). Kajian akumulasi dari logam berat dalam sedimen di lingkungan estuari dan pesisir sebagai hasil dari limbah domestik dan industri mendapat perhatian yang lebih dibandingkan penelitian yang hanya mengenai konsentrasi logam berat yang ada (Everaarts, 1989).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi logam berat Cd, Cu, Pb, dan Zn dalam sedimen di perairan Probolinggo.

Penelitian dilakukan pada bulan Maret dan Juni 2012 di perairan Probolinggo, Jawa Timur (Gambar 9.1). Contoh sedimen permukaan diambil dari tambak dan muara sungai di tiga lokasi pengamatan, yaitu di Desa Gending (Kecamatan Gending), Desa Kalibuntu (Kecamatan Kraksaan), dan Desa Randutata (Kecamatan Paiton).



**Gambar 9.1** Lokasi Pengambilan Sampel di Perairan Probolinggo, Jawa Timur, 2012

Sampel sedimen diambil pada lapisan permukaan (0–10 cm) dengan menggunakan *box core grab stainless steel*. Pengambilan sampel dilakukan satu kali pada tiap stasiun. Sampel sedimen dimasukkan ke dalam polietilen dan disimpan dalam *cool box*. Di laboratorium, sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam, kemudian dihaluskan (Hutagalung dkk., 1997). Analisis logam berat Cd, Cu, Ni, dan Zn menggunakan metode 3050 B (USEPA, 1996). Semua peralatan yang digunakan untuk analisis logam berat dicuci dengan asam dan dibilas dengan akuades. Pengukuran konsentrasi logam berat dalam sedimen menggunakan Flame AAS SpectrAA-20 Plus Varian dengan nyala campuran udara-asetilen.

Hasil pengukuran logam berat dalam sedimen dibandingkan pedoman mutu sedimen, antara lain dengan ANZECC/ARMCANZ (2000) dari Australia dan Selandia Baru dan Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 2001 dari Canada) karena Indonesia belum memiliki pedoman mutu untuk sedimen dan membandingkan dengan daerah lainnya.

### ***Logam Berat dalam Sedimen di Perairan Probolinggo***

Hasil analisis logam berat dalam sedimen di perairan ini dapat dilihat pada Tabel 9.1 dan Gambar 9.2, 9.3, 9.4, dan 9.5. Pada perairan Probolinggo ini konsentrasi rata-rata logam Cd di sedimen tambak dan laut pada bulan Maret lebih tinggi dibandingkan pada bulan Juni di tiga lokasi, yaitu Desa Randutatah, Desa Gending, dan Desa Kalibuntu. Konsentrasi rata-rata Cd di tiga lokasi pada daerah laut lebih tinggi dibandingkan di tambak.

Logam Cu pada bulan Maret memiliki konsentrasi sedikit lebih rendah bila dibandingkan bulan Juni di ketiga lokasi kecuali di lokasi Tambak di Desa Kalibuntu dan di lokasi laut Desa Gending. Konsentrasi Cu di tiga lokasi pada daerah laut lebih tinggi dibandingkan tambak kecuali pada bulan Juni di Desa Randutatah dan Desa Gending sedikit lebih tinggi.

Logam Pb pada bulan Maret sedikit lebih rendah daripada bulan Juni di ketiga lokasi kecuali di lokasi Tambak di Desa Kalibuntu dan di lokasi laut Desa Gending. Konsentrasi Pb di tiga lokasi pada daerah laut lebih tinggi dibandingkan tambak kecuali pada bulan Juni di Desa Randutatah dan pada bulan Maret di Desa Kalibuntu.

Konsentrasi rata-rata logam Zn pada bulan Maret lebih rendah daripada bulan Juni di ketiga lokasi kecuali di lokasi laut Desa Randutatah dan Desa Kalibuntu. Konsentrasi Zn di tiga lokasi pada daerah tambak lebih tinggi dibandingkan laut kecuali pada bulan Maret di Desa Randutatah dan di Desa Kalibuntu. Perbedaan nilai konsentrasi

**Tabel 9.1** Konsentrasi Logam Berat dalam Sedimen di Perairan Pantura Probolinggo, Jawa Timur, Maret dan Juni 2012

		Cd		Cu		Pb		Zn	
		Maret	Juni	Maret	Juni	Maret	Juni	Maret	Juni
<b>Desa Randutatah</b>									
Tambak	Minimum	0,23	0,10	42,1	78,4	0,09	0,10	54,0	72,5
	Maksimum	0,32	0,26	67,4	89,2	0,10	6,36	65,3	141
	rata rata	0,28	0,16	54,7	82,3	0,10	2,49	60,5	95,6
laut	Minimum	0,30	0,08	13,0	34,2	0,09	0,08	57,3	43,4
	Maksimum	0,42	0,26	92,3	106,9	3,87	5,18	79,0	76,8
	rata rata	0,39	0,13	56,0	76,1	1,98	2,18	69,7	60,3
<b>Desa Kalibuntu</b>									
Tambak	Minimum	0,16	0,10	51,8	50,6	1,89	0,10	56,3	69,6
	Maksimum	0,42	0,13	66,7	65,2	3,86	0,10	79,2	114
	rata rata	0,29	0,11	59,3	57,9	2,87	0,10	67,8	91,8
laut	Minimum	0,24	0,10	57,2	40,2	0,58	1,01	79,0	59,4
	Maksimum	0,42	0,27	73,7	95,8	1,93	2,47	120	85,1
	rata rata	0,33	0,18	68,1	70,7	1,22	1,80	95,8	75,2
<b>Desa Gending</b>									
Tambak	Minimum	0,16	0,10	34,4	39,2	0,09	0,10	68,9	74,9
	Maksimum	0,42	0,26	62,4	61,5	1,92	1,01	96,0	110
	rata rata	0,27	0,15	46,5	52,1	0,70	0,70	78,1	93,2
laut	Minimum	0,20	0,09	31,2	25,1	0,57	0,09	61,1	59,6
	Maksimum	0,42	0,53	58,9	64,6	6,51	3,10	75,8	85,0
	rata rata	0,36	0,26	46,6	45,5	4,11	1,19	69,7	69,9
Kelimpahan rerata di alam (Average crust)*		0,2		55		12,5		70	
ANZECC	Low	1,5		65		50		200	
/ARMCANZ Guidelines	High	10		270		220		410	
CCME	ISQG**	0,7		18,7		30,2		124	
	PEL***	4,2		108		112		271	

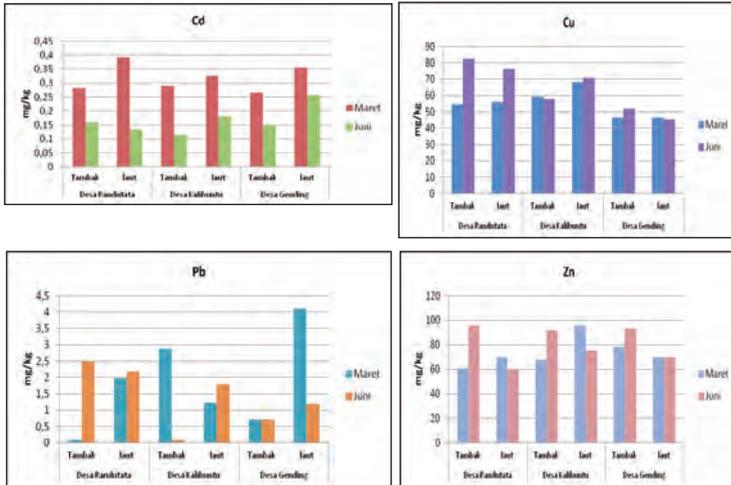
(\*)Taylor 1964

(\*)ISQG, interim sediment quality guidelines

(\*\*)PEL, probable effect levels

logam-logam pada tiap lokasi merupakan variasi dari nilai konsentrasi dalam sedimen di perairan ini.

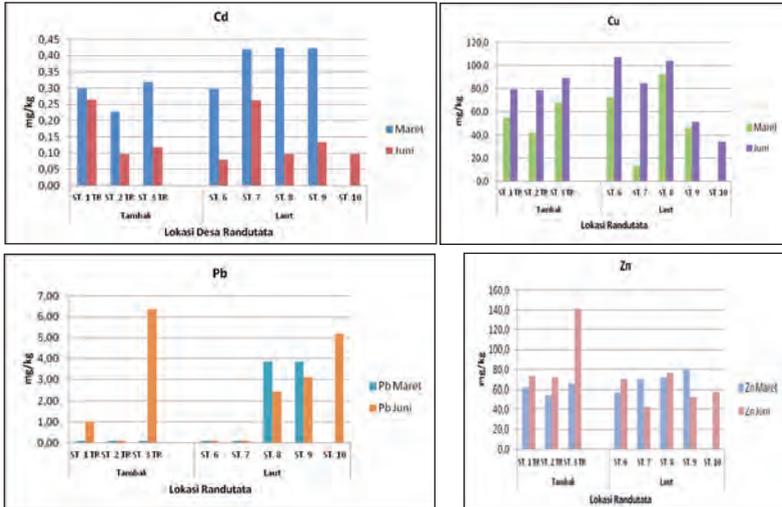
Pada sedimen laut yang tidak terkontaminasi, konsentrasi terendah dari logam berat yang terukur sekitar 0,01 µg/g berat kering, di mana konsentrasi sedimen yang tercemar berat dapat meningkat sekitar 10 hingga 100 mg/g (Everaats, 1989; Moore & Ramamoorthy, 1984).



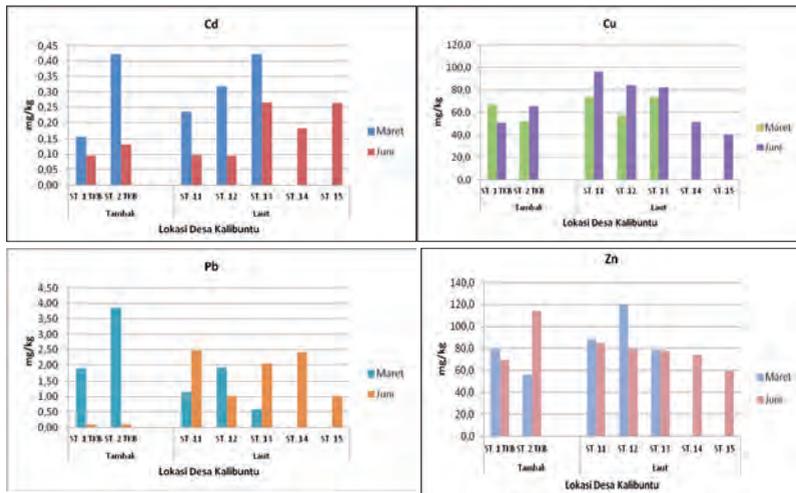
**Gambar 9.2** Grafik Konsentrasi Rata-Rata Logam Berat (mg/kg) dalam Sedimen Permukaan di Perairan Pantura Probolinggo, Jawa Timur, Maret dan Juni 2012

### *Perbandingan Logam Berat dalam Sedimen di Perairan Probolinggo dengan Kelimpahan Alami*

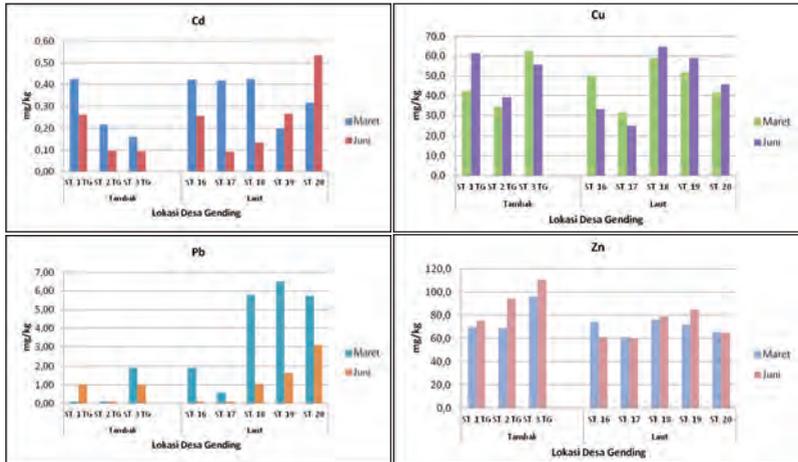
Bila dibandingkan kondisi rerata kelimpahan logam di alam (Taylor, 1964), konsentrasi rata-rata logam Cd pada bulan Maret, Cu dan Zn di beberapa titik lokasi telah melebihi batas alami, namun logam Pb masih berada di bawah rata-rata. Nilai rata-rata kelimpahan logam-logam tersebut di alam (*average crustal abundance*) menurut Taylor (1964), adalah Cd = 0,2 mg/kg, Cu = 55 mg/kg, Pb = 12,5 mg/kg, dan Zn = 70 mg/kg.



**Gambar 9.3** Grafik Konsentrasi Logam Berat (mg/kg) dalam Sedimen Permukaan di Perairan Desa Randutatah Pantura Probolinggo, Jawa Timur, Maret dan Juni 2012



**Gambar 9.4** Grafik Konsentrasi Logam Berat (mg/kg) dalam Sedimen Permukaan di Perairan Desa Kalibuntu Pantura Probolinggo, Jawa Timur, Maret dan Juni 2012



**Gambar 9.5** Grafik Konsentrasi Logam Berat (mg/kg) dalam Sedimen Permukaan di Perairan Desa Gending Pantura Probolinggo, Jawa Timur, Maret dan Juni 2012

### *Perbandingan Logam Berat dalam Sedimen di Perairan Probolinggo dengan Pedoman Mutu*

Pada Tabel 9.1 dapat dilihat perbandingan pedoman mutu ANZECC/ARMCANZ (2000) dari Australia dan Selandia Baru dan dari Canada (CCME, 2001) dengan kondisi mutu sedimen di perairan pesisir Pantura Probolinggo. Dari pengamatan ini mengindikasikan bahwa konsentrasi rata-rata semua logam berat Cd, Pb, dan Zn di sedimen baik pada bulan Maret maupun bulan Juni masih berada di bawah *low value* pedoman mutu ANZECC/ARMCANZ (2000) dari Australia dan Selandia Baru, sedangkan logam Cu di daerah laut, lokasi Desa Randutatah pada bulan Juni dan di daerah tambak dan laut di Desa Kalibuntu pada bulan Maret dan Juni telah berada di atas *low value*. Dibandingkan dengan panduan mutu CCME (2001), konsentrasi rata-rata logam berat Cu di sedimen pada bulan Maret dan Juni di tiga lokasi telah melewati *interim sediment quality guidelines* (ISQG). Berdasarkan perbandingan dengan pedoman mutu sedimen tersebut,

**Tabel 9.2** Perbandingan Konsentrasi Logam Berat (mg/kg bobot kering) dalam Sedimen di Perairan Probolinggo dengan Beberapa Perairan Lainnya di Indonesia

Lokasi	Kisaran dan rata rata konsentrasi logam (mg/kg Berat Kering )				rujukan
	Cd	Cu	Pb	Zn	
Teluk Klabat	0,01-0,10 <sup>a)</sup> (0,04± 0,03) <sup>b)</sup>	0,28-5,67 (1,86±1,62)	1,06-58,19 (14,06±15,32)	0,43-36,85 (14,39±11,06)	Lestari dkk. (2007)
Teluk Lampung	0,01-0,69 (0,23±4,87)	0,55-35,74 (10,47±6,40)	0,28-24,73 (9,40±4,87)	19,7-118,5 (57,30±21,81)	Lestari & Witasari (2010)
Perairan Semarang	0,06-0,13	18,3-36,6	10,9-17,3	13,6-16,3	Lestari (2011)
Perairan Gresik	0,08-2,95 (0,64) <sup>c)</sup>	23,7-251 (85,5)	1,87-12,7 (4,20)	77-389 (133)	Lestari & Budiyo (2013)
Perairan Probolinggo Maret	0,36	56,9	2,43	78,4	Penelitian ini
Perairan Probolinggo Juni	0,19	64,1	1,72	68,4	Penelitian ini

a) Kisaran konsentrasi logam berat

b) Konsentrasi rata-rata dan standar deviasi logam berat

c) Konsentrasi rata-rata

logam Cu mengindikasikan mulai berisiko bagi kualitas lingkungan di sekitar sistem akuatik. Logam Cu dapat masuk ke lingkungan perairan, tanah, dan udara. Tembaga yang masuk ke suatu lingkungan dapat berasal dari bermacam-macam sumber dan diduga yang paling banyak adalah dari kegiatan perindustrian, rumah tangga, dan dari pembakaran serta mobilitas bahan bakar (Palar, 2008). Pada daerah ini terdapat beberapa pabrik, antara lain pabrik kayu, keramik, tekstil, gula, dan penyedap rasa. Sisa dari proses produksi yang berupa limbah dikhawatirkan terbawa dari sungai yang melewati daerah ini menuju ke perairan laut. Hal ini harus diwaspadai dikarenakan sifat logam berat yang dapat berakumulasi sehingga perlu terus diamati karena dapat menurunkan kualitas lingkungan di sekitarnya.

### ***Perbandingan Logam Berat dalam Sedimen di Perairan Probolinggo dengan Perairan Lainnya***

Pada Tabel 9.2 dapat dilihat bahwa konsentrasi rata-rata logam berat Cu, Cd, Pb, dan Zn dalam sedimen di perairan Probolinggo lebih rendah bila dibandingkan perairan Gresik (Lestari & Budiyanto, 2013). Konsentrasi rata-rata Cd, Cu, dan Zn lebih tinggi dibandingkan perairan Teluk Klabat, Teluk Lampung, dan Perairan Semarang. Adapun logam Pb lebih rendah dari perairan lainnya. Hal ini kemungkinan dapat disebabkan oleh masuknya jenis limbah yang dihasilkan oleh kegiatan antropogenik yang berbeda dan jenis sedimen pada tiap lokasi.

## **KESIMPULAN**

Konsentrasi untuk parameter logam terlarut Cd, Cu, Pb, dan Zn bila dibandingkan kondisi rerata kelimpahan logam di alam, logam Cd, Cu, dan Zn di beberapa titik lokasi telah melebihi batas alami, namun logam Pb masih berada di bawah rata-rata. Berdasarkan perbandingan dengan pedoman mutu sedimen, logam Cu mulai berisiko bagi

kualitas lingkungan di sekitar sistem akuatik. Tembaga yang masuk ke suatu lingkungan dapat berasal dari bermacam-macam sumber dan diduga yang paling banyak adalah dari kegiatan perindustrian, kegiatan rumah tangga, dan dari pembakaran serta mobilitas bahan bakar. Pada daerah ini terdapat beberapa pabrik, antara lain pabrik kayu, keramik, tekstil, gula, dan penyedap rasa. Sisa dari proses produksi yang berupa limbah dikhawatirkan terbawa dari sungai yang melewati daerah ini menuju ke perairan laut. Hal ini harus diwaspadai dikarenakan sifat logam berat yang dapat berakumulasi sehingga perlu terus diamati karena dapat menurunkan kualitas lingkungan di sekitarnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Australian & New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC) and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMCANZ). 2000. *Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality*. Volume 1. Canberra: Australian and New Zealand Environment and Conservation Council. 297 pp.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). 2001. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Mercury. Summary Table Dalam: *Canadian Environmental Quality Guidelines*. 5 pp.
- Everaats, J.M. 1989. Heavy Metals (Cu, Zn, Cd, Pb) in Sediment of Java Sea, Estuarine and Coastal Areas of the East Java and Some Deep-sea Areas. *Neth. J. Sea Res.* 34: 403–413.
- Hutagalung, H.P. 1997. Penentuan Kadar Logam Berat. Dalam: H.P. Hutagalung, D. Setiapermana, & S.H. Riyono (Eds.). *Metode Analisis Air Laut. Sedimen dan Biota Buku 2*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanografi LIPI. Hlm. 59–80.
- Lestari, dkk. 2007. “Kualitas Perairan Teluk Klabat, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung ditinjau dari Aspek Logam Berat”. Dalam: *Sumberdaya Laut dan Lingkungan Bangka Belitung 2003–2007*. Jakarta: Pusat Penelitian Oseanografi LIPI. Hlm. 23–32.

- Lestari & Witasari, Y. 2010. Kualitas Perairan di Teluk Lampung Ditinjau dari Aspek Logam Berat. Dalam: Ruyitno, M. Muchtar, Pramudji, Sulistijo, T. Susana & Fahmi (Eds.) *Status Sumber daya Laut di Perairan Teluk Lampung*. Jakarta: LIPI Press. Hlm. 160–170.
- Lestari. 2011. Distribusi dan Geokimia Logam Berat dalam Sedimen di Perairan Semarang, Jawa Tengah. *In: A. Hartoko, A. Syahailatua, B. Yulianto, B. Nababan, D.D. Setyono, E.A. Subroto, E. Djunaryyah, Feliatra, I. Rumengan, I. Iskandar, I. Djawad, J.L. Gaol, J. Pariwono, J. Santoso, M. Purba, Munasik, M. Putri, N.P. Zamani, S.Y. Cahyarini, S.M. Natsir, T. Prartono, W. Pandoe (Eds). Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan VIII ISOI 2011*. Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia, 25–27 September 2011. Makassar. Hlm. 204–217
- Lestari & F. Budiyanoto. 2013. Konsentrasi Hg, Cd, Cu, Pb, dan Zn dalam Sedimen di Perairan Gresik. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 5 (1): 188–197.
- Luoma, S.N. & P.S. Rainbow. 2008. Metal Contamination in Aquatic Environment: science and lateral management. Cambridge: Cambridge University Press. 556 pp.
- Moore J.W. & S. Ramamoorthy. 1984. Heavy Metals (Cu,Zn, Cd, Pb) in Sediment of Java Sea, Estuarine and Coastal Areas of the East Java and Some Deep-sea Areas. *Neth. J. Sea Res.* 34: 403–413.
- Palar, H. 2004. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Jakarta: Rineka Cipta 90 pp.
- Rochyatun, E., dkk. 2003. Kandungan Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Cr, Mn & Fe dalam Air Laut dan Sedimen di Perairan Kalimantan Timur. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia* 35: 51–71.
- Taylor, S.R. 1964. Abundance of Chemical Elements in The Continental Crust: A New Table. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 28 (8): 1273–1285.
- USEPA. 1996. *Test Methods for Evaluating Solid Waste SW-846 Methods 3050B, Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils*, 12 pp.



# BAB X

## DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP SEBARAN ENDAPAN SEDIMEN DI PESISIR

 Helfinalis

### PENDAHULUAN

Perubahan iklim yang sedang terjadi dewasa ini adalah akibat dari kenaikan suhu muka bumi yang menyebabkan es di kutub-kutub mencair sehingga volume air laut bertambah naik (*sealevel rise*) secara perlahan-lahan dari tahun ke tahun. Kenaikan muka laut telah berdampak terhadap perubahan pola endapan sedimen, terjadinya abrasi pantai, dan intrusi air laut yang masuk ke daratan wilayah pesisir bertambah jauh. Perubahan iklim juga telah mengakibatkan banjir pasang (*rob*) di daerah pesisir terutama di wilayah pesisir yang level daratan pantainya lebih rendah dari level muka laut. *Rob* adalah banjir yang diakibatkan oleh air laut pasang yang menggenangi daratan pesisir dan telah sering terjadi di beberapa daerah di pesisir Pulau Jawa sebelah utara (*pantura*), yaitu Probolinggo, Semarang, Tegal, Pekalongan, dan Jakarta yang umum terjadi pada saat pasang purnama pada musim barat. Wilayah genangan di setiap daerah dari tahun ke tahun semakin luas. Banjir pasang juga telah menimbulkan kerugian yang cukup besar baik secara sosial maupun ekonomi.

Pengaruh perubahan iklim saat ini berdampak terhadap kerusakan lingkungan pantai, distribusi endapan sedimen dan total suspended solid dan batimetri di pesisir dan dasar perairan Kecamatan Randu-

tatah, Kalibuntu, dan Gending, Kabupaten Probolinggo. Dampak yang mengakibatkan kerusakan kondisi lingkungan di wilayah pesisir tersebut selanjutnya dipelajari secara mendalam untuk memperoleh solusi dan cara mengatasi kerusakan lingkungan tersebut.

Data-data kerusakan lingkungan yang diperoleh dari lapangan dilakukan dengan cara menjelajahi sepanjang pantai pesisir Desa Randutatah, Kalibuntu, dan Gending Kabupaten Probolinggo dengan perahu motor, alat *global positioning system* (GPS) digunakan untuk menentukan posisi dari pengambilan sampel dan bentuk perubahan lingkungan pesisir (Gambar 10.1). Kamera yang digunakan untuk mendapatkan foto dari kerusakan lingkungan tersebut telah dilakukan pada bulan Maret 2012 dan bulan Februari 2013 di pesisir Desa Randutatah, Kalibuntu, dan Gending Kabupaten Probolinggo, alat grab digunakan untuk mengambil contoh sedimen dasar perairan dan tambak. Di laboratorium geologi laut Puslit Oseanografi LIPI,



**Gambar 10.1** Peta Lokasi Penelitian

analisis ukuran butir sedimen dilakukan dengan menggunakan ayakan dengan bukaan mesh 8, 4, 2, 1, 0,5, 0,250, 0,125, 0,063 dan < 0,063 mm (Wentworth, 1922). Persentase sedimen ukuran butir dan tekstur (jenis) sedimen dapat diketahui berdasarkan segitiga (Shepard, 1954).

### ***Endapan Sedimen di Pesisir Desa Randutatah, Kalibuntu, dan Gending***

Pesisir Randutatah umumnya ditutupi oleh endapan sedimen pasir kasar, bercampur dengan pasir sedang dan pasir halus serta mengandung campuran besi, berwarna kehitaman, mulai dari permukaan hingga ketebalan 1,87 m. Adapun bentuk lereng pantai landai dengan kemiringan lereng sekitar  $8^{\circ}$ – $12^{\circ}$  dan lebar pantai antara 12 m hingga 16 m. Pada umumnya, di sepanjang garis pantai Randutatah juga telah dibangun tanggul laut yang memanjang mengikuti garis pantai dan di beberapa garis pantai, tanggul laut (talut) yang pernah dibangun ini sudah banyak yang rusak akibat hempasan ombak terutama di setiap musim barat sehingga saat banjir pasang (rob) terjadi, air laut yang membanjiri pesisir di antaranya masuk dari lokasi tanggul laut yang rusak. Desa Kalibuntu juga merupakan desa tambak ikan dan tambak perbesaran kepiting bakau, pantainya berupa endapan pasir kasar, mengandung pasir besi dan berwarna kehitaman. Adapun bentuk lereng pantai landai dengan kemiringan lereng sekitar  $3^{\circ}$ – $4^{\circ}$ . Pematang pantai di wilayah ini umumnya datar dan banyak ditemukan tambak ikan dan pohon mangrove (Gambar 10.2). Di sepanjang pantai pemukiman terdapat bangunan tanggul laut berupa tumpukan batu breksi berbentuk huruf U dengan diameter antara 30–30 cm dengan ketinggian hampir 2 m (Gambar 10.3). Desa Gending juga merupakan desa tambak ikan, pantainya berupa endapan pasir kasar, mengandung pasir besi, dan berwarna kehitaman. Adapun bentuk lereng pantai landai dengan kemiringan lereng sekitar  $3^{\circ}$ – $4^{\circ}$ . Pematang pantai di wilayah ini umumnya datar dan banyak



**Gambar 10.2** Pantai Kalibuntu



**Gambar 10.3** Pantai Kalibuntu Saat Sehari Setelah Terjadi Banjir Bandang

ditemukan tambak ikan dan pohon mangrove. Di sepanjang pantai pemukiman belum ada bangunan tanggul laut. Guna mengatasi abrasi yang sedang terjadi, masyarakat yang bermukim di desa ini mencoba membenamkan bambu di sepanjang pantai yang terdapat perumahan (Gambar 10.4). Di muara sungai di Desa Gending ditemukan beting pasir (Gambar 10.5) yang diduga berasal dari abrasi pantai dan juga hasil sedimentasi dari Gunung Bromo, sedangkan pergerakan arus pasang surut menyebabkan terjadi penumpukan material pasir di depan muara tersebut.

Endapan pasir yang terdapat di pantai dan pematang pantai serta pesisir Desa Randutatah, Kalibuntu, dan Gending berdampak positif apabila terjadi banjir pasang (rob). Hal ini dikarenakan pasir mempunyai pori-pori yang lebih besar dibandingkan lanau dan lempung sehingga banjir pasang yang melanda pesisir pada saat air laut surut, air banjir pasang akan cepat mengalir dalam sedimen ke arah level permukaan air sungai dan level permukaan laut.

### ***Endapan dan Umur Sedimen di Dasar Perairan Pesisir Randutatah, Kalibuntu, dan Gending***

Endapan sedimen di dasar perairan pesisir Randutatah, Kalibuntu, dan Gending yang dekat dengan pantai adalah berupa pasir dengan



**Gambar 10.4** Bambo yang Dibenamkan di Pantai untuk Mencegah Abrasi di Pantai Desa Gending



**Gambar 10.6** Beting Pasir di Muara Sungai Pantai Gending

ukuran butir sedang dan halus, jauh ke tengah dari garis pantai adalah lanau lempungan dan yang lebih jauh lagi ke arah laut adalah lempung. Sedimen dasar perairan disuplai dari sedimen hasil abrasi pantai dan juga dari Gunung Bromo yang alirannya berakhir di perairan Probolinggo.

Hasil penentuan umur sedimen di depan Muara Kalibuntu dengan metode  $^{210}\text{Pb}$  diperoleh ketebalan lapisan dari permukaan (0–8 cm) adalah endapan lanau pasiran dengan umur 5,8 tahun, ketebalan 8–13 cm dengan umur 8,8 tahun dan ketebalan 13–18 cm merupakan endapan pasir lanauan dengan umur 15,1 tahun, ketebalan lapisan antara 18–23 cm adalah lanau pasiran dengan umur 26,2 tahun, ketebalan sedimen 23–28 cm umurnya 31,8 tahun, ketebalan lapisan 28–33 cm dengan umur 37 tahun, ketebalan 33–38 cm dengan endapan lanau pasiran mempunyai umur 53,4 tahun, ketebalan 38–43 cm mempunyai umur 66,6 tahun, dan ketebalan lapisan antara 43–48 cm mempunyai umur 78,6 tahun. Hasil perolehan umur sedimen menggambarkan dari tahun 1617 hingga tahun 1936 laju sedimentasi setiap tahun cenderung bertambah dengan kisaran 0,61 cm hingga 0,87 cm per tahun dan laju sedimentasi dengan kisaran 1,19 cm per tahun terjadi pada tahun 1974. Laju sedimentasi tertinggi (1,47 cm/

tahun) terjadi tahun 1995 dan tahun 2007 turun menjadi 1,37 cm/tahun (Tabel 10.1)

**Tabel 10.1** Umur Sedimen dari masing-masing Lapisan dari Permukaan Hingga Ketebalan 48 cm di Dasar Perairan Pantai Desa Kalibuntu

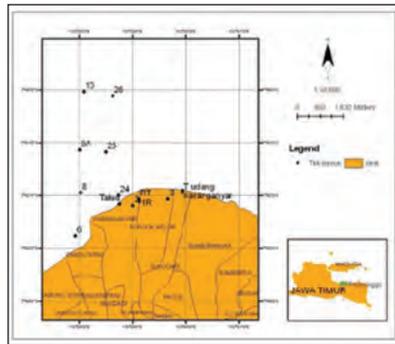
No.	Kode Contoh uji (cm)	Umur (tahun)	Tahun	laju sedimentasi (cm)/tahun
1	0–8	5,8	2007.37	1.37931
2	8–13	8,8	1995.57	1.477273
3	13–18	15,1	1974.17	1.192053
4	18–23	26,2	1936.87	0.877863
5	23–28	31,8	1899.47	0.880503
6	28–33	37,0	1857.27	0.891892
7	33–38	53,4	1787.47	0.711161
8	38–43	66,6	1707.67	0.645646
10	43–48	78,6	1617.07	0.610687

### **Total Suspended Solid (TSS)**

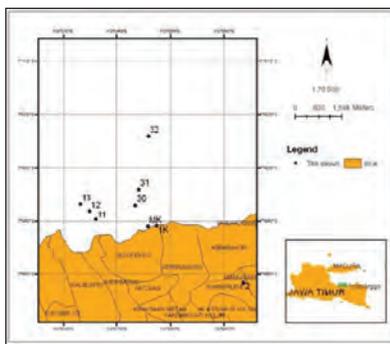
Nilai konsentrasi tertinggi 110 mg/l (Gambar 10.8) didapatkan di tambak Kalibuntu, 100 mg/l di Randutatah, dan yang terendah di tambak Gending 46 mg/l. Nilai konsentrasi sedimen melayang di perairan Laut Randutatah pada stasiun 6 dekat mulut sungai sekitar 43 mg/l. Nilai konsentrasi total *suspended solid* semakin rendah ke arah laut yang jauh dari pantai hingga ke stasiun 10 sekitar 32 mg/l (Gambar 10.6). Adapun lokasi perairan yang jauh dari mulut sungai berkisar antara 24 mg/l di stasiun 24, 18 mg/l di stasiun 25, dan 15 mg/l di stasiun 26. Nilai konsentrasi di mulut sungai di perairan Kalibuntu (stasiun 11) sekitar 65 mg/l dan menurun menjadi 30 mg/l di perairan yang jauh dari pantai (stasiun 13). Di sebelah timur muara dekat pantai, nilai konsentrasinya sekitar 85 mg/l (stasiun 30) dan paling jauh dari pantai sekitar 35 mg/l di stasiun 32 (Gambar 10.7).

Nilai konsentrasi sedimen melayang di perairan Laut Gending pada stasiun 16 dekat mulut sungai sekitar 95 mg/l dan nilainya lebih kecil hingga ke stasiun 20 sekitar 22 mg/l dan di lokasi perairan

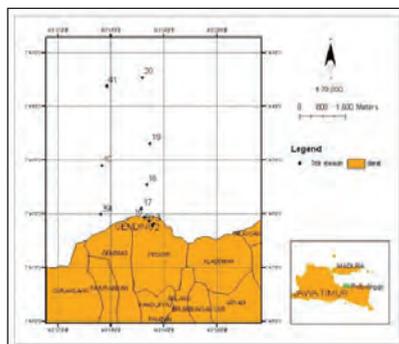
yang jauh dari mulut sungai berkisar antara 28 mg/l di stasiun 39, 22 mg/l di stasiun 40, dan 26 mg/l di stasiun 41 (Gambar 10.8). Secara umum, kandungan sedimen melayang di Kalibuntu paling tinggi dibandingkan pesisir Gending dan Randutatah. Kandungan sedimen melayang dalam kolam air yang terendah ditemukan di pesisir Kalibuntu. Kandungan sedimen melayang sangat dipengaruhi oleh aliran air dari darat (sungai) dan dinamika perairan, rendahnya kandungan sedimen di Kalibuntu mengindikasikan rendahnya pengaruh aliran sungai di desa ini dibandingkan dengan aliran sungai di Randutatah dan Gending.



**Gambar 10.6** Peta Lokasi dan Stasiun Penelitian Sedimen Tambak, Maret 2012



**Gambar 10.7** Peta Lokasi dan Stasiun Penelitian Sedimen Tambak Kalibuntu Maret 2012

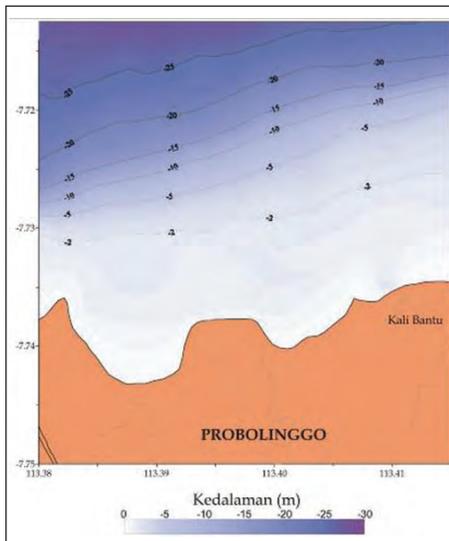


**Gambar 10.8** Peta Lokasi dan Stasiun Penelitian Sedimen Tambak Desa Gending Maret 2012

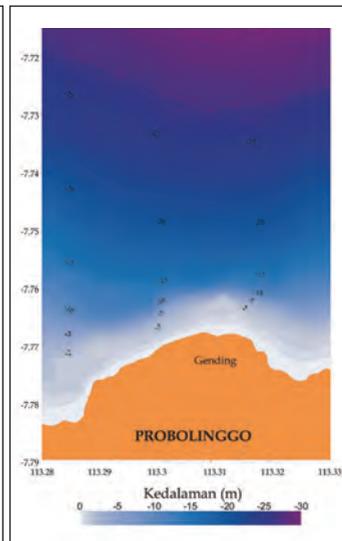
Nilai konsentrasi di perairan Desa Randutatah, Kalibuntu, dan Gending melebihi dari nilai baku mutu yang diizinkan KLH (Anonim, 2004) sebesar 20 mg.

### **Batimetri**

Kedalaman laut di sekitar perairan Kalibuntu berkisar antara 0–25 m, di kedalaman antara 2 m hingga 25 m perubahan dasar landai, sebaliknya dalam laut antara 0,5 m hingga 1 m bentuk dasar laut mengikuti bentuk dari garis pantai, pantai yang terdepresi ke arah daratan diikuti pula oleh bentuk dasar cekung ke arah darat dan pada daratan pantai yang maju ke arah laut juga diikuti oleh bentuk kedalaman yang juga maju ke arah laut. Kedalaman dasar laut 1,5 m ditemukan terdepresi pada kedalaman 1 m di dasar Kalibuntu dan juga di sebelah barat dari dasar perairan tersebut (Gambar 10.9 dan Gambar 10.10).



**Gambar 10.9** Kedalaman Dasar Perairan Desa Kalibuntu, Kabupaten Probolinggo



**Gambar 10.10** Kedalaman dasar Perairan Desa Gending, Kabupaten Probolinggo

## KESIMPULAN

Endapan sedimen di wilayah pesisir Probolinggo umumnya pasir kasar dan sedang, berwarna hitam mengandung pasir besi yang sumbernya berasal dari material pasir Gunung Bromo serta banjir rob yang sering terjadi akan cepat surut di lokasi berpasir ini. Laju sedimentasi berkisar antara 0,6–0,87 cm/tahun dari tahun 1617–1936 dan 1,19–1,47 cm/tahun dari tahun 1974–1995. Nilai konsentrasi total *suspended solid* tertinggi 110 mg/l didapatkan di tambak Kalibuntu, 100 mg/l di Randutatah, dan di tambak Gending 46 mg/l. Nilai konsentrasi total *suspended solid* di laut tertinggi di sebelah timur muara Kalibuntu dekat pantai sekitar 85 mg/l dan terendah 22 mg/l di Gending. Kedalaman laut Kalibuntu dan Gending berkisar antara 0–2 m dengan jarak 300 m dari pantai dan kedalaman 25 m pada jarak 2 km dari pantai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2004. Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan. Kantor Menteri Negara Kependudukan Lingkungan Hidup 2004. Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup. Kep-51/MENEGLH/2004. Jakarta.
- Salahuddin, M. & Mulyana, W. Dinamika Pesisir Jawa Timur. (<http://www.mgi.esdm.go.id/content/dinamika-pesisir-jawa-timur>).
- Shepard, F.P. 1954. Nomenclature Based on Sand-silt Clay Ratios. *Journal Sed. Petrology* 24: 151–158.
- Wentworth, C.K. 1922. A Scale of Grade and Classification Terms for Clastic Sediments. *Journal of Geology* 30: 377–392.



# BAB XI

## PENGARUH BANJIR PASANG TERHADAP SALINITAS SUMUR DI DAERAH PANTAI

 Nurhayati

### PENDAHULUAN

**D**aerah pesisir merupakan daerah yang rawan terhadap genangan banjir pasang air laut atau banjir rob. Banjir rob merupakan permasalahan umum yang biasa terjadi di daerah pesisir dan daerah cekungan. Seperti halnya yang terjadi di pesisir Probolinggo, banjir rob telah menyebabkan kerugian yang cukup besar, baik secara sosial, ekonomi maupun kondisi fisik permukiman. Pada sisi lain, pengaruh perubahan cuaca global dapat mengakibatkan bertambahnya kejadian-kejadian ekstrem di muka bumi yang mempunyai dampak nyata pada kehidupan manusia dan alam sekitarnya. Di beberapa negara, kejadian ekstrem ini menyebabkan terjadinya badai dan banjir pasang air laut atau rob. Banjir rob terjadi karena meningkatnya volume air laut di muka bumi yang menyebabkan naiknya muka air laut dunia (Easterling dkk., 2006). Kenaikan muka laut yang semakin tinggi merupakan ancaman potensial bagi masyarakat di wilayah pesisir karena menimbulkan dampak ekonomi yang cukup besar bagi penduduk sekitar pantai. Selain itu, kenaikan muka laut juga dapat menyebabkan meluasnya intrusi air laut yang masuk ke wilayah pemukiman penduduk.

Wilayah pantai merupakan daerah pertemuan antara daratan dan lautan, yang mana di bagian daratan masih dipengaruhi oleh sifat-sifat laut, seperti pasang surut, angin, dan intrusi air laut (Dahuri dkk., 2001). Daerah pantai juga merupakan daerah yang rawan dengan perubahan iklim dan berpengaruh terhadap sistem yang ada di bumi, seperti ekosistem, struktur komunitas, populasi, dan distribusi organisme perairan. Perubahan iklim ini memengaruhi kenaikan suhu udara, suhu air laut, dan naiknya permukaan air laut. Selain itu, perubahan iklim dapat mengakibatkan masuknya air laut ke daratan (banjir rob) sehingga menyebabkan tergenangnya infrastruktur dan rusaknya ekosistem di kawasan pantai (Winarso, 2009).

Fenomena urbanisasi dan pembangunan di wilayah pesisir pantai semakin meningkat. Hal ini dapat mengakibatkan dampak yang sangat besar terutama perubahan penggunaan lahan yang kurang memperhatikan daya dukung lahan. Sementara daerah pesisir merupakan kawasan yang rentan terhadap perubahan, baik secara alami maupun yang disebabkan oleh aktivitas manusia. Aktivitas kegiatan manusia yang banyak dilakukan di daerah pantai ini dapat menyebabkan meningkatnya kebutuhan air bersih dari daratan. Kondisi ini dapat menimbulkan eksploitasi air tanah secara berlebihan yang pada akhirnya menyebabkan penurunan muka air tanah di daratan (Kodoati dkk., 2002). Selain itu, terjadinya perubahan iklim global juga dapat mengakibatkan kenaikan permukaan air laut dan masuknya air laut ke daratan dalam bentuk banjir rob (Wulandari & Sunarti, 2010).

Daerah pantai utara Probolinggo terutama Gending hingga Rاندutata merupakan daerah pesisir pantai yang cukup potensial sebagai daerah tambak. Akan tetapi, daerah ini telah berulang kali mengalami banjir pasang rob yang berdampak negatif terhadap lingkungan fisik daerah pemukiman. Lingkungan fisik merupakan sarana bagi interaksi dalam suatu ekosistem karena komunitas organisme dapat berkembang bersama-sama dengan lingkungan fisik. Efek terjadinya banjir

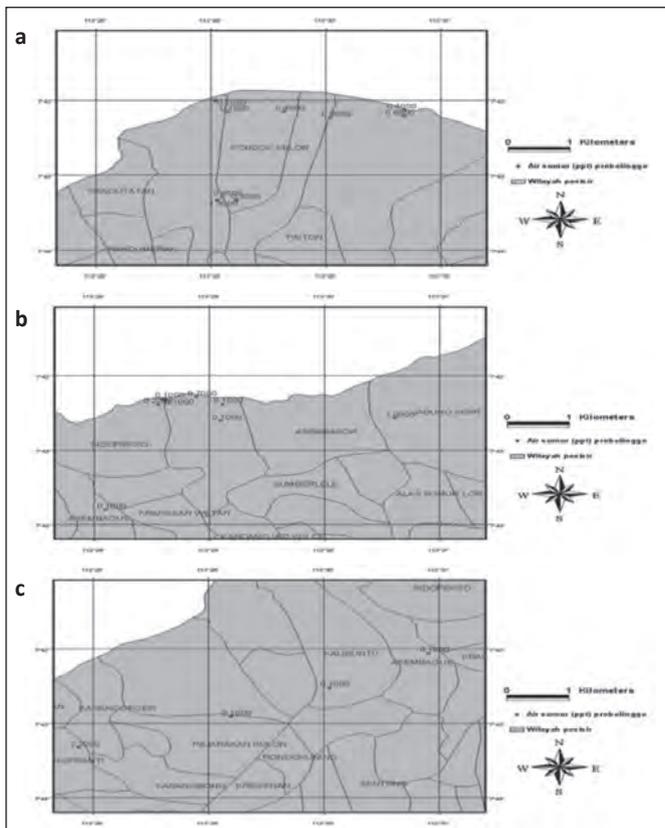
rob ini juga dapat menyebabkan kerusakan infrastruktur pemukiman, merusak prasarana lingkungan, penurunan kualitas lingkungan, dan kesehatan masyarakat. Sementara itu, informasi atau publikasi tentang intrusi air laut di daerah pesisir pantai masih sangat terbatas. Publikasi ilmiah daerah Probolinggo masih terbatas pada kajian di perairan laut (Nurhayati, 2012). Oleh karena itu, untuk melacak sejauh mana penyebaran intrusi air laut yang terjadi di sekitar pesisir Probolinggo, perlu dilakukan identifikasi kadar salinitas sumur di daerah pemukiman penduduk yang terkena banjir rob. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui dan menganalisis secara deskriptif distribusi kadar garam (salinitas) air sumur di daerah pemukiman penduduk sepanjang pantai utara Probolinggo berdasarkan data penelitian bulan Februari 2013.

Penelitian lapangan mengenai kondisi fisik lingkungan di daerah pesisir pantai utara Probolinggo telah dilakukan pada bulan Februari 2013. Penelitian ini dilakukan melalui proses identifikasi terhadap kondisi fisik lingkungan kualitas air sumur di wilayah penduduk. Identifikasi dilakukan dengan pengukuran langsung terhadap kadar garam (salinitas) air sumur pada sumur-sumur di sepanjang daerah pantai utara Probolinggo meliputi daerah Gending, Kalibuntu hingga Randutatah (Gambar 11.1). Selanjutnya, analisis yang dilakukan adalah menggunakan metode pendekatan deskriptif yang bersifat eksploratif dari data pengukuran langsung di lapangan.

Jumlah titik pengukuran sebanyak 30 titik stasiun yang meliputi tiga desa, yaitu Randutatah, Kalibuntu, dan Gending. Pada setiap desa di wilayah pesisir kadar salinitas air sumur diukur dengan menggunakan alat *yellow springs instrument* (YSI). Dalam pengukuran kadar garam (salinitas) sumur, kondisi sumur dipilih dan difokuskan pada sumur galian. Hal ini dimaksudkan agar nilai salinitas sumur yang diperoleh merupakan air pada lapisan permukaan.



prioritas karena hasil pengukuran sumur bor kadar salinitasnya terukur dari lapisan dalam bukan pada air permukaan. Berikutnya, koordinat posisi setiap stasiun pengukuran dan lokasi sumur ditentukan dengan *global positioning system* (GPS) Garmin 76XL Plus. Pengukuran kadar garam di wilayah pesisir Problinggo telah dilakukan pada 30 sumur yang terdiri atas sumur bor dan sumur galian. Hasil pengukuran kadar garam air (salinitas) sumur pada setiap lokasi seperti, terlihat dalam Gambar 11.2 dan 11.3. Nilai kadar garam atau salinitas sumur penduduk di sepanjang pesisir utara Problinggo bervariasi antara



**Gambar 11.3** Peta Sebaran Sumur dan Nilai Salinitas (dalam ppt) pada Setiap Desa di Sekitar Pesisir Utara Problinggo, Februari 2013

0,1–2,3 ppt, dengan nilai rata-rata kadar garam sumur dari semua lokasi adalah  $0,8 \pm 0,057$  ppt.

### ***Salinitas Air Sumur di Pesisir Probolinggo***

Pada hasil pengukuran menunjukkan bahwa beberapa sumur telah terindikasi tercemar oleh air asin atau intrusi air laut. Intrusi air laut ini ditandai dengan kondisi sumur yang mengandung kadar garam (air asin) di kawasan pantai dan telah terdeteksi menyebar ke arah daratan di bagian selatan pantai. Sumur di wilayah penduduk yang terkena banjir pasang (rob), airnya cenderung lebih payau atau terasa lebih asin daripada sumur yang tidak terkena banjir rob. Air dikategorikan sebagai air payau bila konsentrasi kadar garam atau salinitasnya antara 0,05–3,0 ppt (Effendi, 2003).

Sumur paling payau dengan kondisi air sumur terasa lebih asin ditemukan di daerah Desa Gejungan (daerah Gending) di sebelah barat Desa Randutatah. Di daerah ini dijumpai sumur galian yang salinitas permukaannya terukur mencapai 2,3 ppt. Pada daerah yang air sumurnya terasa payau ini mengindikasikan bahwa telah terjadi intrusi air laut di daerah penduduk sekitar pantai utara ini. Intrusi atau penyusupan air asin ke dalam daratan pantai pada dasarnya adalah proses masuknya air laut di bawah permukaan tanah atau proses terdesaknya air tanah oleh air asin di daerah pantai.

Kondisi air asin di daerah pantai dapat terjadi dengan berbagai cara di antaranya melalui perembesan air asin ke daerah yang lebih rendah karena naiknya permukaan air laut pada waktu pasang sehingga sejumlah air garam dari laut masuk ke permukaan tanah. Proses intrusi air laut juga dapat berlangsung melalui rembesan pada pori-pori lapisan bawah tanah dan naiknya air laut ke daratan oleh banjir pasang hingga jauh ke daratan (Effendi, 2003). Kejadian intrusi air laut juga dapat menyebabkan air tanah menjadi payau yang pada gilirannya menimbulkan dampak pada perekonomian, ekosistem,

dan kondisi kesehatan penduduk sekitarnya. Selain itu, air payau ini dapat menyebabkan terbatasnya penyediaan air bersih pada daerah pesisir karena air tanah menjadi payau atau agak asin oleh sejumlah kadar garam yang terbawa ke permukaan laut (Arsadi, 2007).

Pada daerah penduduk pantai juga dijumpai sumur galian yang salinitas permukaannya terukur mencapai 2,3 ppt, sumur yang terasa payau ini mengindikasikan bahwa telah terjadi intrusi air laut di daerah penduduk sekitar pantai ini. Intrusi atau penyusupan air asin ke daratan pantai pada dasarnya adalah proses masuknya air laut di bawah permukaan tanah. Atau proses terdesaknya air tanah oleh air asin di daerah pantai. Kondisi ini dapat terjadi karena air laut memiliki densitas atau berat jenis yang lebih besar daripada air tawar sehingga air laut mudah mendesak air tanah jadi semakin masuk ke dalam tanah. Menurut Nurashim dkk., (2010) bahwa proses terjadinya intrusi air laut dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kondisi geografis, geohidrologi, kepadatan penduduk, dan penggunaan lahan. Intrusi air laut dapat terjadi bilamana keseimbangan hidrostatik antara air bawah tanah dan air asin di daerah pantai terganggu. Ketidakseimbangan ini menyebabkan terjadinya pergerakan air asin bawah tanah dari laut ke arah daratan. Intrusi air laut seperti ini telah terjadi di beberapa kota yang dekat dengan daerah pantai. Pada beberapa daerah pantai, intrusi air laut disebabkan oleh pengambilan air tanah berlebihan, pemangkasan hutan mangrove tepi pantai, pemanasan global, dan turunnya muka air tanah akibat proses geologi (Hendrayana, 1994).

Berdasarkan keseluruhan hasil pengukuran kadar garam air sumur penduduk di daerah pantai diperoleh bahwa intrusi air laut telah menyebar dan menyusup jauh ke arah selatan di sepanjang pesisir pantai utara antara Gending hingga Randutatah. Penyusupan air laut ini tercermin dari tingginya nilai kadar garam air sumur permukaan terutama pada sumur galian yang terukur di daerah pemukiman penduduk. Intrusi air laut ini menyebabkan sumur pemukiman

penduduk di daerah pesisir pantai menjadi lebih payau atau lebih asin daripada sumur lainnya. Lokasi sumur galian dengan air sumur yang lebih payau sebagian besar dijumpai di daerah yang terkena banjir rob di daerah pesisir Kalibuntu, Gending, dan Randutatah. Oleh karena daerah ini merupakan daerah yang telah berulang kali terjadi banjir pasang (rob) maka penyebaran intrusi air laut pada beberapa sumur galian di daerah penduduk ini kemungkinan terjadi karena pengaruh banjir pasang atau rob di sepanjang pesisir pantai Probolinggo. Jadi, banjir rob ini telah memengaruhi air tanah karena terjadi intrusi air laut sehingga air sumur berubah menjadi agak asin (payau). Bila terus berlanjut dalam jangka panjang intrusi air laut ini dapat menyebabkan kerusakan lingkungan hidup, sarana dan prasarana, dan menurunkan kualitas air tanah. Selain itu, pada daerah yang terkena intrusi air laut juga dapat menyebabkan hilangnya beberapa jenis biota tambak karena mengalami kematian atau bermigrasi ke daerah lain. Pada akhirnya intrusi air laut dapat menyebabkan penurunan kualitas air tanah, memengaruhi sifat fisik dan kimia tanah, dan perubahan profil dasar pantai.

## KESIMPULAN

Pengaruh banjir pasang (rob) pada lingkungan pesisir di kawasan pemukiman penduduk pantai utara Probolinggo telah diidentifikasi melalui data kualitas air sumur pada 31 sumur yang meliputi tiga lokasi, yaitu Gending, Kalibuntu, dan Randutatah. Sumur pemukiman penduduk di sepanjang pesisir utara Probolinggo antara Gending hingga Randutatah telah terindikasi tercemar air garam sehingga air sumur terasa agak payau. Nilai kadar salinitas sumur bervariasi antara 0,1–2,3 ppt dan nilai rata-rata salinitas sekitar 0,8 ppt. Penyusupan air garam atau intrusi air laut telah meluas ke arah selatan ke lokasi pemukiman penduduk dan lokasi sumur lebih payau ditemukan di daerah pesisir Gejungan (Desa Gending). Penyusupan air laut menjadi

suatu indikasi bahwa di daerah tersebut terkena banjir rob. Banjir rob telah menyebabkan intrusi air garam sehingga air sumur menjadi lebih payau. Ini menjadi suatu indikasi bahwa intrusi air laut menyebabkan berubahnya kualitas air sumur. Penggunaan air sumur dalam jangka panjang dapat menyebabkan gangguan kesehatan bagi masyarakat, menyebabkan kerusakan lingkungan, dan memengaruhi proses hidup biota tambak.

Kondisi ini dapat menyebabkan kontaminasi sumber air minum karena menurunnya kualitas air tanah, menimbulkan gangguan terhadap prasarana umum, hilangnya lahan budi daya dan penurunan produktivitas lahan budi daya, dan penurunan produktivitas lahan pada sentra produksi pangan daerah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arsadi, E.M. 2007. Optimalisasi Sumber Daya Air di Wilayah Pesisir. *Dalam: R.M. Delinom dan Maryaningrum, Sumberdaya Air dan Lingkungan (Potensi, Degradasi dan Masa depan)*. Jakarta: LIPI Press.
- Dahuri, R. 2001. Kebutuhan Riset untuk Mendukung Implementasi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan Secara Terpadu. *Journal Pesisir dan Lautan (Indonesian Journal of Coastal and Marine Resources)* 1 (2): 61–77.
- Easterling, D.R., dkk. 2006. Climate Extremes, Observation, Modelling and Impact. *Science* 289: 2068–2074.
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Hendrayana, H. 1994. *Pengantar Model Aliran Air Tanah*. Yogyakarta: Fakultas Teknik, UGM.
- Kodoati, R.J., dkk. 2002. Pengelolaan Sumber Daya Air dalam Otonomi Daerah. Yogyakarta: Andi.
- Nurashim, A., dkk. 2010. Kajian Intrusi Air Laut di Kawasan Pesisir Kecamatan Rembang, Kabupaten Rembang. *Jurnal Univ. Negeri Semarang, Geoimage*, 1: 1–27.
- Nurhayati. 2012. Kondisi Lingkungan Fisika Perairan Pantai dan Tambak Pasca Terjadi Banjir Rob di Probolinggo, Jawa Timur. Prosiding Seminar

- Winarso, H. 2009. Marine Spatial Planing. Buletin Tata Ruang. (<http://www.Perubahan iklim net.>).
- Wulandari, M.A., & Sunarti. 2010. Tipologi Kerentanan Permukiman Kawasan Pesisir terhadap Perubahan Iklim di Kota Tegal. *Jurnal Teknik* 2 (1)
- YSI Model 30 Handheld. Salinity, Conductivity and Temperature system. YSI Incorporated, Brannum lane, Yellow Spring, OH USA.

## BAB XII

# DINAMIKA PESISIR PROBOLINGGO BERDASARKAN KAJIAN LITOLOGI DAN BUKTI POLINOMORF

 Yunia Witasari dan Ricky Rositasari

### PENDAHULUAN

Pesisir Probolinggo merupakan salah satu wilayah yang rentan terhadap genangan akibat banjir pasang air laut. Pesisir di wilayah Kecamatan Gending dan Kalibuntu merupakan wilayah yang saat ini sedang menghadapi ancaman genang pasang pada periode bulan penuh setiap tahunnya (P2O-LIPI, 2012). Pada pengamatan bulan Mei 2012 air pasang menggenangi kedua kecamatan tersebut setinggi 86–110 cm (P2O-LIPI, 2012). Ancaman dan meluasnya kejadian penggenangan dapat dipelajari dari sejarah geologis wilayah tersebut. Bukti-bukti perubahan lingkungan wilayah pesisir dan lautan dapat dikaji melalui indikasi jejak atau proksi paleontologi. Salah satunya melalui bukti-bukti palinomorf, seperti polen/serbuk sari, dinoflagelata, kista, spora yang terdapat pada sedimen, dan batuan sedimen. Polen adalah serbuk yang terdiri atas gamet jantan mikroskopis dari benih tumbuhan tingkat tinggi (berbuah dan berbiji). Adapun spora adalah unit reproduksi aseksual bagi tumbuhan rendah yang tak berbiji. Selain berfungsi untuk reproduksi, spora juga berfungsi sebagai alat penyebaran tumbuhan tingkat rendah, seperti jamur dan paku-pakuan. Kedua jenis palinomorf ini merupakan jejak alat

reproduksi tumbuhan, baik yang hidup saat ini maupun yang sudah berbentuk fosil dalam ukuran mikroskopis yang terendapkan di dalam sedimen. Analisis palinomorof yang terendapkan pada suatu sedimen dapat mengungkapkan latar belakang perubahan vegetasi pada periode tertentu, dan perubahan yang terjadi selama proses sedimentasi berlangsung (Faegri & Iversen, 1989).

Rekaman palinomorof perairan laut merupakan indikator yang dapat digunakan untuk kisaran iklim dan umur yang luas (Van der Kaars, 1991a). Secara umum Van der Kaars (1991b) mengelompokkan kajian polen berdasarkan tiga tipe, yaitu vegetasi Montane atau vegetasi dataran tinggi, vegetasi mangrove, dan vegetasi dataran rendah. Rekonstruksi keberadaan atau menghilangnya jenis vegetasi yang terbentuk pada wilayah tertentu memberikan informasi tentang perubahan lingkungan yang terjadi pada wilayah sekelilingnya karena vegetasi memiliki mekanisme responsif terhadap kondisi lingkungan.

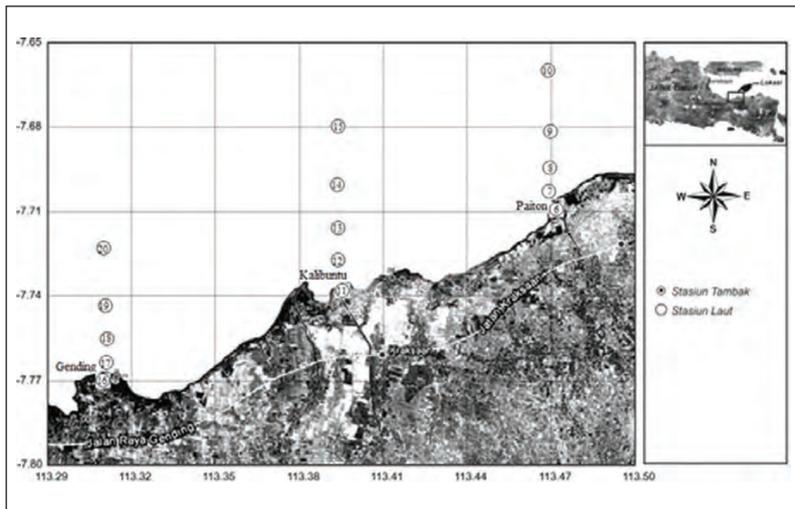
Di wilayah lingkungan pantai dan pesisir, polinomorof yang umum digunakan sebagai indikator perubahan lingkungan adalah polen mangrove, dikombinasikan dengan data litologi. Data litologi meliputi karakteristik lapisan (profil) sedimen bawah permukaan (*subbotom*). Yulianto dkk. (2005) merekonstruksi wilayah Batulicin, Kalimantan Selatan berdasarkan kajian polen dari Genus *Rhizopora* yang terkandung dalam sedimen. Hasil penelitian tersebut mengungkapkan bahwa wilayah Batulicin telah mengalami perubahan ekologis, seperti naiknya muka laut, peningkatan penguapan, dan pendangkalan perairan selama periode 8.200 tahun.

Tujuan dari penelitian ini adalah merekonstruksi lingkungan masa lalu (*paleoenvironment*) dari sejarah vegetasi berdasarkan kandungan polen dan spora dalam lapisan sedimen dasar perairan dan pesisir sebagai bahan mitigasi dan adaptasi perubahan lingkungan yang terjadi saat ini.

## PELAKSANAAN PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di tiga kecamatan di pesisir Probolinggo, yaitu Gending, Kalibuntu (Kraksaan), dan Paiton (Randutatah) pada bulan Mei 2012. Pengambilan sampel bor tangan dilaksanakan di pesisir daratan dan pesisir tergenang. Gambar 12.1 memperlihatkan peta lokasi penelitian dan titik stasiun pengambilan sampel.

Pengeboran sedimen permukaan di pesisir tergenang dan pesisir daratan dilakukan berdasarkan Metode Willard dkk. (2005) yang sudah dimodifikasi, pada saat pasang terendah. Stasiun kor (*core*) dipilih di lokasi yang tidak/jarang digunakan untuk aktivitas penduduk. Sampel sedimen ditutup dengan plastik untuk mengurangi kontaminasi, selanjutnya dianalisis komposisi sedimen di laboratorium Geologi P2O LIPI dan kandungan palinomorf di laboratorium Palinologi FIKTM ITB yang meliputi preparasi sampel sedimen, dan analisis deskriptif sesuai dengan prosedur yang standar digunakan oleh Van der Kaars (1991a); Faegri & Iversen (1989), dan Nguyen (2009).



**Gambar 12.1** Lokasi Pengambilan Sampel Sedimen

## ***Preparasi Palinomorf***

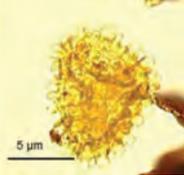
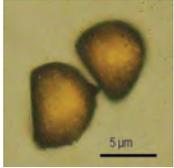
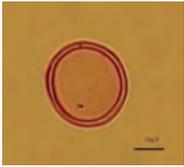
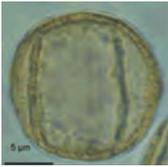
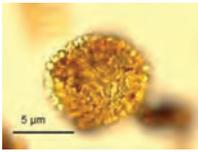
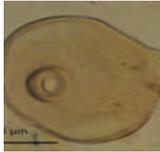
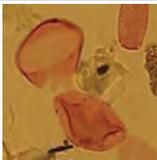
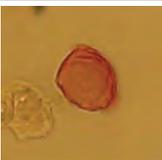
Preparasi sampel polen dan spora menggunakan metode Asetolisis (Faegri & Iversen, 1989). Sampel sedimen kering sebanyak 50 g direndam dalam HCl 50% selama dua jam untuk menghilangkan karbonat, kemudian dinetralkan dengan akuades. Untuk memaksimalkan hasil dilakukan asetolisis dengan asam sulfat kemudian dinetralkan kembali. Sampel yang sudah netral tadi direndam lagi dengan HF 40% selama 24 jam untuk menghilangkan silikat, kemudian dinetralkan, setelah itu direndam kembali dalam HCl 50% selama 30 menit dan dinetralkan. Fraksi organik yang terapung diambil dengan pipet, kemudian dinetralkan, setelah itu dioksidasi dengan  $\text{HNO}_3$  selama dua menit dan dinetralkan kembali.

## ***Analisis Litologi***

Analisis litologi (material bawah permukaan) dilakukan pada sedimen hasil kor (*core*). Analisis ini mencakup deskripsi sedimen, jenis batuan, komposisi sedimen, dan tingkat pelapukan sehingga diperoleh karakteristik litologi wilayah yang dikaji.

## ***Palinomorf Sebagai Indikator Perkembangan Wilayah Pesisir***

Palinomorf atau jejak polen dan spora yang berhasil diidentifikasi dari sedimen dasar perairan Gending, tambak Gending, bukit pantai Bentar (Kraksaan), dan bantaran Sungai Kalibuntu terdiri atas 10 jenis polen dan 5 spora fosil dan resen (Gambar 12.2). Palinomorf tersebut terdiri atas fosil spora dan spora resen tanaman paku-pakuan, polen resen vegetasi asosiasi mangrove, rumput-rumputan, dan vegetasi dataran tinggi serta fosil polen dan polen resen mangrove.

		
<b><i>Verrucingulatisporites</i> sp</b> Fosil spora tanaman paku-pakuan, berasosiasi dengan mangrove payau	<b><i>Verrucatosporites</i> sp</b> Fosil spora tanaman paku-pakuan	<b><i>Dryopteris</i> sp</b> Spora resen tanaman paku-pakuan
		
<b><i>Adiantum espora</i></b> Spora resen tanaman paku-pakuan	<b><i>Pteris</i> spp</b> Spora resen tanaman paku-pakuan	<b><i>Chenopodiaceae</i></b> Polen resen tanaman rumput-rumputan
		
<b><i>Graminaceae</i></b> Polen resen tanaman rumput-rumputan	<b><i>Quercus</i> sp</b> Polen resen tanaman dataran tinggi	<b><i>Thitonia</i> sp</b> Polen tanaman berbunga dataran tinggi
		
<b><i>Ilex</i> sp</b> Polen resen tanaman yang berasosiasi dengan mangrove	<b><i>Avicennia</i></b> Polen resen tanaman mangrove	<b><i>Florshuetzia levipoli</i></b> Fosil polen mangrove
		
<b><i>Bruguiera</i> sp</b> Polen resen mangrove	<b><i>Sonneratia caseolaris</i></b> Polen resen mangrove	<b><i>Rhizophora</i></b> Polen resen mangrove

**Gambar 12.2** Polen dan Spora dari Pesisir Probolinggo

Spora resen paku-pakuan dan rumput-rumputan yang tumbuh di dataran rendah cukup banyak dijumpai di pesisir Probolinggo, namun yang teridentifikasi adalah *Pteris*, *Chenopodiceae*, *Poaceae*, *Adiantum*, dan *Grammiaceae*. Polen tanaman dataran tinggi yang ditemukan di endapan sungai adalah *Quercus* sp (pinus) dan *Thitonia* sp (tumbuhan berbunga). Polen *Avicennia*, *Rhizophora*, dan *Bruguieae* ditemukan dalam sedimen dekat pantai.

Fosil polen *Florsbuetzia levipoli* ditemukan tersebar hampir merata di sepanjang pesisir Probolinggo. Jenis ini berasal dari masa eosen ( $\pm$  40 juta tahun yang lalu) dan merupakan jenis mangrove yang identik dengan *Rhizophora* (Graham dkk., 2000). Adapun fosil spora *Verrucatosporites* yang ditemukan di pesisir Gending dan Paiton merupakan tanaman paku-pakuan yang biasanya merupakan vegetasi asosiasi mangrove payau (*back mangrove*) pada masa miosen tengah (Ramadhan dkk., 2013). Jejak polen resen dari vegetasi asosiasi mangrove payau yang saat ini banyak dijumpai adalah *Ilex* sp.

Polen *Sonneratia*, *Brugueira*, dan spora *Poaceae* dan *Gramineae* yang ditemukan di pesisir Probolinggo menunjukkan bahwa daerah ini merupakan wilayah dataran rendah, rawa dekat muara sungai, dan pantai dengan komunitas mangrove yang cukup lebat. Keberadaan fosil polen mangrove dan polen *Sonneratia* yang ditemukan pada kedalaman 40 cm di bawah permukaan perairan dan tambak di Gending menunjukkan bahwa sebelum diubah menjadi tambak, daerah ini merupakan rawa payau di belakang pantai. Saat ini wilayah Gending dan Kalibuntu merupakan areal tambak dan pemukiman penduduk yang tergenang (banjir) pada saat pasang tinggi (bulan penuh), seperti yang terlihat pada Gambar 12.3. Menurut Arief (2003) *Sonneratia* merupakan mangrove yang dapat ditemukan baik di zona proksimal yang berdekatan dengan laut maupun zona *middle*, sedangkan *Brugueira* merupakan mangrove yang biasa tumbuh di zona distal yang berbatasan dengan daratan. Giesen dkk. (2006) menyebutkan hal

yang sama, yaitu *Brugueira* lebih banyak ditemui di perairan yang lebih payau, seperti di rawa dekat sungai.

### ***Litologi Pesisir Probolinggo***

Data litologi dari sedimen kor di perairan pesisir Gending hingga kedalaman 40 cm menunjukkan perselingan antara lempung dengan serasah, pasir karbonatan yang ditutupi oleh pasir kerikilan dan pecahan cangkang, menunjukkan bahwa daerah pantai Gending merupakan wilayah yang mengalami penggenangan air laut. Litologi sedimen dasar seluruh stasiun penelitian menunjukkan terdapatnya tiga jenis endapan, yaitu endapan darat, endapan rawa, dan endapan laut (Tabel 12.1). Ketiga endapan tersebut masih terekam dalam sedimen dasar perairan yang saat ini berupa perairan dangkal. Interpretasi litologi yang digunakan adalah metode yang digunakan Selley (1985). Berdasarkan karakteristik fisik dan kimia sedimen dan batuan, Selley (1988) membuat klasifikasi lingkungan pengendapan dalam berbagai skala, klasifikasi yang paling sederhana terdiri atas tiga tipe lingkungan, yaitu lingkungan darat, peralihan, dan laut.

Interpretasi lingkungan pengendapan pesisir Probolinggo berdasarkan komposisi sedimen dapat dilihat pada Tabel 12.1. Berdasarkan interpretasi tersebut diketahui daerah sekitar stasiun 13 yang saat ini berupa dasar laut dangkal (Gambar 12.3) di Kalibuntu, dulu merupakan rawa tertutup. Litologi sedimen dasar perairan Kalibuntu secara umum menunjukkan karakteristik sedimen rawa tertutup, rawa dekat sungai dan pantai dengan banyak material laut, hanya sedimen dasar stasiun 15 yang didominasi oleh endapan laut terbuka. Kondisi tersebut mencerminkan dasar perairan Kalibuntu mulai dari stasiun 11 sampai 14, sebelumnya merupakan lingkungan estuaria, muara sungai, dan dataran pasang-surut yang saat ini semuanya telah berubah menjadi wilayah tergenang (laut dangkal).

**Tabel 12.1** Interpretasi Lingkungan Pengendapan Berdasarkan Komposisi Sedimen

Stasiun	Endapan darat	Endapan rawa	Endapan laut	Lingkungan Pengendapan
6	60	40		Sungai
7	50	45	5	Sungai
8	30	60	10	Sungai
9	50	20	30	Muara sungai
10	-	-	100	Laut
11	-	100	-	Rawa tertutup
12	50	20	30	Muara sungai dekat laut
13	-	100	-	Rawa tertutup
14	60	-	40	Pantai
15	5	-	95	Laut
16	50	10	40	Pantai
17	50	10	40	Pantai
18	20	60	20	Rawa terbuka dekat pantai
19	20	45	35	Rawa terbuka muara sungai
20	20	60	20	Rawa terbuka dekat pantai



**Gambar 12.3** Pantai Kalibuntu Saat Pasang Tinggi, Juni 2012

Sedimen dasar perairan pesisir Paiton menunjukkan karakteristik lingkungan sungai dengan banyak material daratan. Endapan sedimen vulkanik berupa pasir dengan mineral magnetit dan hematit dari gunung api terakumulasi di muara sungai dan membentuk lidah pasir (*sandbar*) di sepanjang pantai berarah timur-barat. Dilihat dari jenis sedimen dan lingkungan pengendapannya, daerah Paiton merupakan pesisir yang paling stabil dibandingkan kedua lokasi pengamatan lainnya. Lidah pasir purba dan lidah pasir modern masih ditemukan di muara sungai (Gambar 12.4 dan 12.5). Saat ini *sandbar* digunakan untuk pemukiman, pertanian, dan merupakan dataran pantai yang ditumbuhi tanaman pantai. Genangan di belakang lidah purba ini adalah sisa rawa purba. Tanggul yang dibangun di sebelah timur *sandbar* ini membuat pengendapan terhenti, dan dimulai dengan pengendapan lidah pasir modern (Gambar 12.5).

### ***Lingkungan Pengendapan***

Data palinomorfi dan litologi sedimen dasar perairan pesisir Probolinggo menunjukkan bahwa wilayah ini merupakan cakupan daerah aliran sungai, muara, dan hutan mangrove yang berdekatan dengan pantai. Pemetaan lingkungan pengendapan di wilayah pesisir Probolinggo secara sederhana dapat dilihat pada Tabel 12.2. Tambak Gending yang saat ini merupakan bagian dari daratan dekat perkampungan, sebelumnya merupakan hutan mangrove dari zona proksimal dan zona pertengahan. Pesisir Gending dan Kalibuntu yang saat ini merupakan perairan pesisir, dan bantaran Sungai Kalibuntu serta tambak di wilayah Paiton, sebelumnya merupakan hutan mangrove mulai dari zona proksimal hingga zona distal (wilayah yang paling jauh dari pantai). Dari peta pengendapan tersebut dapat diketahui bahwa polen mangrove dapat digunakan sebagai indikator/bukti dari dinamika wilayah pesisir, seperti yang telah dilakukan oleh Yulianto dkk. (2005).



**Gambar 12.4** Sandbar Purba di Pantai Paiton



**Gambar 12.5** Sandbar Modern di Pantai Paiton (Randutatah)

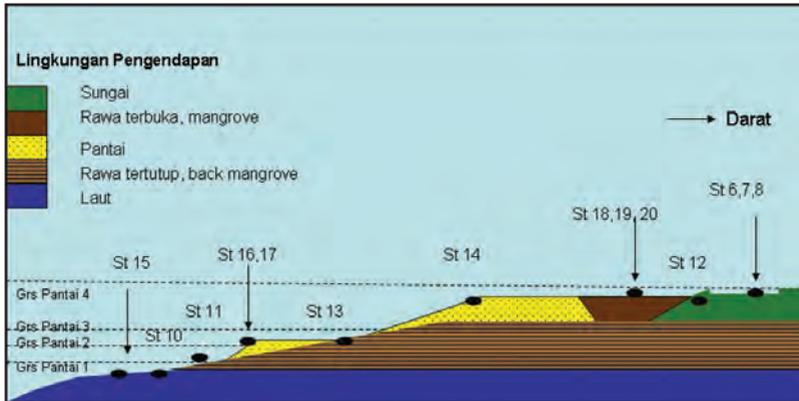
Gambaran skematik dari lingkungan pengendapan sedimen dasar pesisir Probolinggo dapat dilihat pada Gambar 12.6. Seluruh stasiun penelitian yang saat ini berupa pesisir tergenang atau laut dangkal, berdasarkan data palonomorf dan litologi sedimen menunjukkan bukti lingkungan pengendapan yang berbeda. Lokasi stasiun yang sesuai dengan bukti lingkungan pengendapannya hanya stasiun 10 dan 15. Stasiun lainnya menunjukkan lingkungan pengendapan berupa hutan mangrove pada berbagai zona, sungai hingga pantai.

**Tabel 12.2** Lingkungan Pengendapan Wilayah Pesisir Probolinggo Berdasarkan Kandungan Polen

Stasiun pengamatan	Hutan Mangrove	<i>Back mangrove/</i> perairan payau	Riparian-hutan pantai	Perbukitan
Tambak Gending				
Pesisir Gending				
Pesisir Kalibuntu				
Bantaran Sungai Kalibuntu				
Tambak Randutatah Paiton				
Pesisiri Bentar Kraksan-bukit				

Wilayah Gending merupakan wilayah yang rentan secara alami karena secara litologi wilayah ini merupakan rawa terbuka yang berhubungan langsung dengan laut. Pembukaan lahan untuk tambak dan pertanian di daerah ini tidak lebih besar dari daerah lain, namun karena daya dukung lingkungan yang rendah sehingga dampak kerugian masyarakat akibat genang pasang (banjir pasang) menjadi besar.

Wilayah Kalibuntu, dahulu merupakan lingkungan rawa sungai yang tertutup dan hutan mangrove lebat yang langsung berbatasan



**Gambar 12.6** Interpretasi Lingkungan Pengendapan Berdasarkan Litologi (Tanpa Skala)

dengan pantai. Kegiatan manusia berupa pembelokan muara sungai yang sekarang dipakai untuk dermaga perahu, diduga bertujuan untuk membuat akses perhubungan laut dan perniagaan, menyebabkan daerah ini mengalami tekanan yang paling berat. Selain itu, daya dukung lingkungan alami wilayah yang juga rendah karena merupakan daerah rawa belakang yang didominasi endapan rawa dan endapan karbonatan pantai. Hal ini yang menyebabkan air laut yang masuk ke wilayah pemukiman di daerah ini lebih luas dibandingkan Gending dan Paiton. Saat ini lokasi muara sungai asli sudah tidak dapat dilihat, analisis dengan menggunakan peta citra landsat mungkin masih bisa merunut posisi muara sungai.

Wilayah Paiton merupakan wilayah yang paling stabil karena berdasarkan data litologi dan palinomorfo merupakan wilayah daratan, muara sungai, dan dataran hutan pantai. Endapan yang ditemukan di dasar laut berupa endapan asal sungai dan vulkanik klastik gunung api. Suplai sungai yang membawa material vulkanik paling besar di daerah Paiton membuat muara sungai hampir selalu dijumpai *sandbar* (lidah pasir memanjang sepanjang pantai). Di belakang *sandbar*

biasanya secara alami akan terbentuk rawa depan pantai yang subur akan tanaman mangrove.

Hasil rekonstruksi berdasarkan data palinomorfi dan litologi menunjukkan telah terjadi empat kali perubahan garis pantai di pesisir Probolinggo. Indikasi tersebut menunjukkan garis pantai di pesisir Probolinggo cenderung maju ke arah darat. Dengan kondisi tersebut konversi lahan pesisir oleh penduduk untuk pertambakan atau hunian akan sangat rentan terhadap kerusakan akibat genang pasang, kondisi tersebut telah terjadi di pesisir Gending dan Kalibuntu. Pada saat bulan penuh, lahan tambak di Gending terendam hingga lebih dari satu kilometer ke arah darat, demikian pula lahan tambak di Kalibuntu yang sebagian telah ditinggalkan karena kerusakan saluran air yang parah.

## KESIMPULAN

Pesisir Probolinggo merupakan wilayah daratan rendah yang rentan terhadap genang pasang. Kecenderungan perubahan garis pantai di wilayah ini adalah maju ke arah daratan. Hasil rekonstruksi berdasarkan lingkungan pengendapan menunjukkan wilayah ini telah mengalami perubahan garis pantai sebanyak empat kali. Konversi lahan di wilayah pesisir untuk tambak dan hunian meningkatkan kerentanan wilayah ini terhadap kerugian akibat tergenang pada saat pasang tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arief, A. 2003. *Hutan Mangrove Fungsi dan Manfaatnya*. Kanisus. 50 pp.
- Faegri, K. & J. Iversen. 1989. *Textbook of Pollen Analysis*. New York: Wiley. 328 pp.
- Graham, A., dkk. 2000. Studies in Neotropical Paleobotany. XIV. A Palynoflora from the Middle Eocene Saramaguacán Formation of Cuba. *Am. J. Bot.* 87 (10): 1526–1539.

- Giesen, W., dkk. 2006. *Mangrove Guidebook for Southeast Asia*. FAO and Wetlands International. 186 pp.
- Graham, A., D. Cozadd, A. Areces-Mallea & N.O. Frederiksen. 2000. Studies in Neotropical paleobotany. XIV.A palynoflora from the Middle Eocene Saramaguacan Formation of Cuba. *Am.J.Bot.*, 87(10): 1526–1539
- Nguyen, T.D. 2009. Palynological Investigation from a Deep Core at the Costal Area of the Red River Delta. *Vietnam. VNU Joir. Sci., Earth Sci.* 25: 192–203.
- P2O-LIPI. 2012. Dampak Fenomena Rob terhadap Lingkungan Pesisir dan Ketahanan Pangan di Wilayah Pantura Kabupaten Probolinggo Jawa Timur: *Laporan Akhir*. 50 pp.
- Ramadhan R., dkk. 2013. *Studi Sikuenstratigrafi Berdasarkan Hasil Analisis Data Palinologi pada Sumur Y, Cekungan Sumatera Selatan*. Naskah publikasi tugas akhir. 16 pp.
- Selley, R.C. 1985. *Ancient Sedimentary Environment*, third ed. Itacha, NY: Cornell University Press. 317 pp.
- Sneed, E.D. & Folk, R.L. 1958. Pebbles in the Lower Colorado River, Texas: a study in particles morphogenesis. *Journal of Sedimentary Petrology*, 66: 114–150.
- Willard, G.L., dkk. 2005. Descriptions and Preliminary Report on Sediment Cores from the Southwest Coastal Area, Everglades National Park, Florida. U.S. *Geological Survey Open-File Report 2005–1360*: 28 pp.
- Van der Kaars, S. 1991a. Palynology of Eastern Indonesian Marine Piston Cores: a late quarterary vegetation and climate record for Australia. *Paleogeogr., Paleocli., Paleoeco.* 85: 239–302.
- Van der Kaars, S. 1991b. Palynological Aspects of Site 767 in the Celebes Sea. In: Silver, E.A., C. Rangin, M.T. von Breyman (Eds.), Proc. Ocean Drilling Program, *Sci. Res.*, 124: 369–374.
- Yulianto, E., dkk. 2005. A Holocene Pollen Record of Vegetation and Environmental Changes in the Swamp Forest at Batulicin, South Kalimantan, Indonesia. *Jour. Asian Earth Sci.* 25 (1): 1–8.

## BAB XIII STATUS DAN REVITALISASI TAMBAK

 Suyarso

### PENDAHULUAN

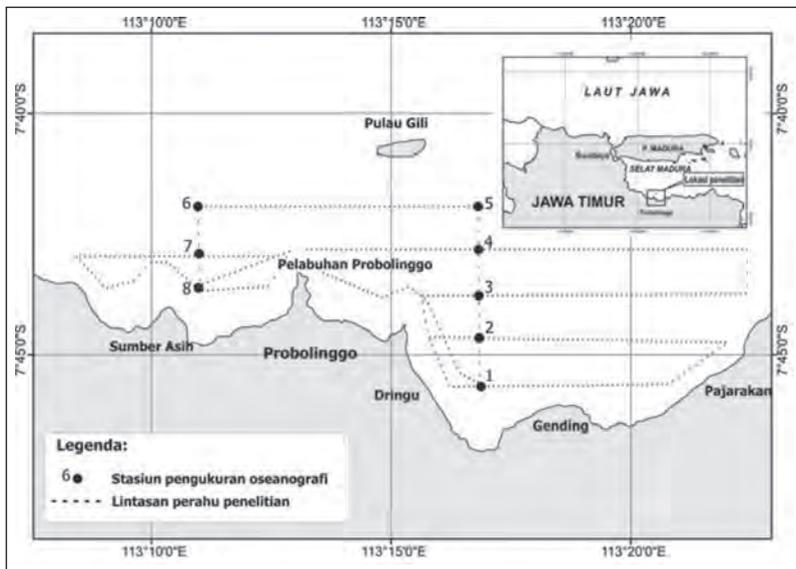
Pesisir utara Jawa Timur bagian timur, yakni dari Surabaya hingga Banyuwangi merupakan dataran yang subur. Kesuburan daratan tersebut selain terletak di kaki gunung-gunung berapi, kawasan dataran pantai sangat potensial dalam pengembangan perikanan pantai dan laut, juga potensial untuk budi daya komoditi perikanan pantai, terutama yang terpengaruh pasang surut dan kawasan bantaran sungai dengan tanah alluvial (Anonim, 1994).

Pada tahun 1995 luas tambak di Jawa Timur tercatat 51.846,54 ha, sementara pada tahun 1998 luas tambak mencapai 59.049,25 ha. Walaupun terjadi peningkatan luas tambak, namun produksi udang pada tahun 1998 mengalami kemerosotan dibanding tahun 1998 (Ismail & Sudrajat, 1992).

Di lingkungan pesisir Indonesia, konversi lahan banyak menjadi perhatian, khususnya hutan mangrove telah banyak berubah menjadi lahan tambak, pemukiman dan perumahan, pertanian serta berbagai infrastruktur demi mendukung pembangunan (Sukardjo, 2010). Secara khusus, Gilman dkk. (2008) dan Harley dkk. (2001) telah mendemonstrasikan akibat dari perubahan lahan di pesisir Jawa, yaitu

menyebabkan hilangnya habitat berbagai macam biota, meningkatkan pencemaran, mendorong terjadinya abrasi, menyebabkan intrusi air laut ke daratan, dan menghilangkan mata pencaharian masyarakat lokal.

Penelitian ini bertujuan menginventarisasi tambak yang telah ada, mengevaluasi potensi dan revitalisasinya dalam usaha meningkatkan pendapatan petani tambak secara optimal. Penelitian dilakukan pada tahun 2012 dan 2013 di sepanjang pesisir Kabupaten Probolinggo (Gambar 13.1).



Gambar 13.1 Peta Lokasi Penelitian

### Penyusunan Peta Tutupan Lahan Pesisir

Pembuatan peta wilayah pesisir Probolinggo didasarkan pada *Quick Bird* yang dipublikasikan melalui Google. Peta ini merupakan *world view*, yakni gambaran nyata permukaan bumi sehingga dalam membedakan unsur-unsur morfologi pantai dapat dilakukan secara visual.

Citra yang diunduh dari Google belum sepenuhnya dapat dipergunakan, hal tersebut disebabkan oleh pergeseran citra pada koordinat geografis sehingga diperlukan suatu tahapan reposisi geografis citra. Reposisi geografis dimaksudkan menempatkan citra pada koordinat geografi berdasar datum WGS84 menggunakan hampir 60 titik kontrol yang mudah dikenal di darat, seperti jembatan, perpotongan jalan, dan muara sungai berdasar transformasi polinomial.

Tahap selanjutnya adalah mendigitasi unsur-unsur morfologi yang meliputi hutan mangrove, pematang pantai, tambak, sawah, dan pemukiman menggunakan Arc GIS ver. 10 melalui layar komputer (*on screen digitizing*). Guna mempertinggi ketelitian, digitasi dilakukan dengan tampilan skala 1: 2500.

### ***Pengukuran dan Penggambaran Profil Pantai Probolinggo***

Profil area pesisir dan tambak yang dibuat bergantung pada citra satelit dan hasil observasi lapangan. Pengukuran beda tinggi antara titik-titik sasaran unsur-unsur morfologi pantai, yakni mangrove di pantai, pematang pantai, pematang tambak, muka air, dan kedalaman tambak terhadap muka laut pada saat pengukuran, dilakukan berdasarkan metode geodetik. Dalam metode tersebut pengukuran dilakukan menggunakan peralatan ukur sifat datar (*levelling*) Sokhiza tipe B2C, rambu ukur (*rods/ staffs*), *global positioning system* (GPS), kompas, lensa pembesar (*loupe*), dan tabel pengukuran pasang-surut yang diperoleh di Pelabuhan Probolinggo pada tanggal 5–12 Juni 2012. Tujuan penggunaan alat ukur sifat datar adalah untuk mengetahui beda tinggi unsur morfologi tersebut terhadap muka laut rata-rata sekarang. Penentuan posisi geografi lokasi pengukuran diukur dengan GPS Garmin 76 XL berakurasi 10 m. Penghitungan muka laut rata-rata (MLR) dilakukan dengan merata-ratakan (*average*) data pasang-surut yang diperoleh selama penelitian.

## ***Pengumpulan Data Hidro-Oseanografi***

Penelitian pengukuran parameter hidro-oseanografi yang meliputi suhu dan salinitas perairan daerah dilakukan pada bulan Mei 2012 dan September 2013 dengan peralatan *conductivity temperature density* (CTD) tipe SBE 26 (Sea Bird Electronic), sedangkan pengumpulan data arus dan batimetri perairan diukur menggunakan *acoustic doppler current profiler* (ADCP) 1.200 Khz. Data suhu, salinitas, kecepatan, dan arah arus serta batimetri perairan dipergunakan untuk melihat karakteristik massa air yang sangat berpengaruh terhadap potensi tambak di sekitarnya.

## ***Hidro-Oseanografi Perairan Selat Madura***

Massa air di Laut Jawa sebagian besar berasal dari Samudra Pasifik melalui dua jalur. Jalur timur, yakni massa air yang masuk dari wilayah timur dibawa oleh arus Mindanao menuju Laut Sulawesi masuk ke Selat Makassar dan pada musim timur (Juni, Juli, dan Agustus) terbawa oleh Arus Muson (Berlage, 1927) masuk ke Laut Jawa. Jalur barat, massa air yang menuju ke Laut Cina Selatan melalui Selat Bashi (antara Pulau Luzon dan Taiwan) menuju ke arah selatan masuk ke Laut Natuna, pada musim barat (Desember, Januari, dan Februari) massa air tersebut terangkut oleh arus Muson dan akhirnya menuju ke Laut Jawa setelah mengalami pengenceran (bersamaan musim hujan) dengan massa air sungai dari daratan Sumatera dan Kalimantan. Selanjutnya, Ilahude (1995) mengemukakan bahwa keadaan ini menyebabkan kondisi hidrologi Laut Jawa, khususnya salinitas mengalami dua kali nilai minimum, yakni pada bulan Februari dan September dan dua kali maksimum, yakni bulan Mei dan November. Minimum bulan Februari disebabkan oleh adanya pengenceran air hujan dan maksimum bulan November disebabkan massa air dari Samudra Pasifik tidak mengalami pengenceran. Demikian pula suhu perairan, nilai minimum di perairan Laut Jawa pada bulan Februari lebih disebabkan kencangnya tiupan

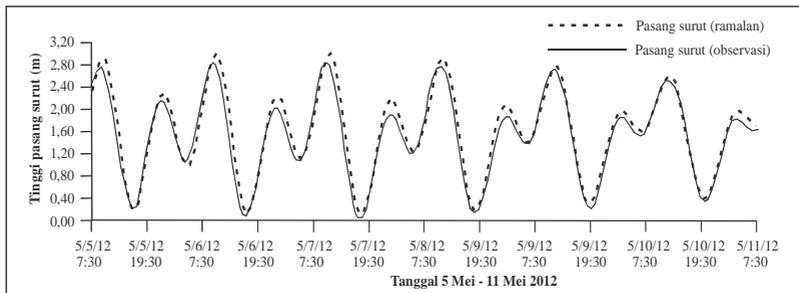
angin pada musim barat, sedangkan pada bulan Agustus lebih disebabkan besarnya penguapan pada musim timur.

## ***Hidro-Oseanografi Perairan Probolinggo***

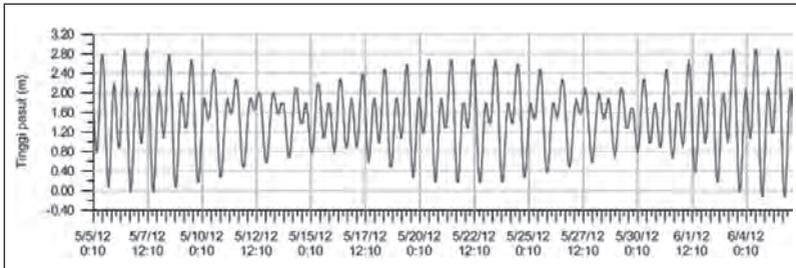
### ***Karakteristik Pasang Surut Perairan Probolinggo***

Pasang surut di perairan Probolinggo yang diukur selama enam hari, menjelang saat dan setelah bulan purnama menghasilkan pola, seperti pada Gambar 13.2 dan Gambar 13.3. Kisaran pasang-surut perairan Probolinggo adalah 0–2,8412 m. Data tersebut menunjukkan bahwa tunggang pasang-surut 2,8412 m dan nilai duduk tengah 1,508 m. Bila data tersebut di tumpang-susunkan (*overlay*) terhadap tabel ramalan pasang-surut yang dipublikasi oleh Dishidros-TNI-AL (Dishidros TNI AL, 2014) maka terdapat perbedaan sebesar 0,0588 m atau 5,88 cm. Nilai tersebut sebenarnya merupakan nilai nonpasang-surut yang disebabkan oleh faktor meteorologi (angin yang menggerakkan gelombang perairan).

Tinggi pasang surut di perairan Indonesia bervariasi dan dipengaruhi oleh bentuk dan kondisi topografi dasar perairannya. Di perairan Laut Jawa, tinggi pasang surut umumnya berkisar antara 1 hingga 2 m, lebih sempit dari kisaran di perairan Probolinggo (hampir 3 m). Penyebab tingginya nilai maksimum pasang adalah posisinya yang merupakan bagian dari teluk semi tertutup menghadap Selat Madura.



**Gambar 13.2** Pola Pasang Surut di Probolinggo, Hasil Pengukuran 5 Mei hingga 11 Mei 2012



**Gambar 13.3** Pola Pasang Surut di Probolinggo, Berdasarkan Data Ramalan Pasang-Surut oleh Dishidros TNI AL 5 Mei hingga 4 Juni 2012

Hasil pengukuran pasang-surut perairan Probolinggo sesuai dengan yang dinyatakan Pariwono (1989), yaitu tipe campuran (mix) yang didominasi ganda (semi diurnal) (Gambar 13.2 dan Gambar 13.3), artinya bahwa di perairan Probolinggo dalam sehari terjadi dua kali pasang, sekali pasang besar dan pasang berikutnya lebih kecil dari pasang yang pertama. Pematang (atau tanggul) yang langsung menghadap ke laut sebagian besar lebih tinggi dari muka air laut saat pasang tinggi. Walaupun demikian, kawasan pertambakan tetap tergenang (banjir) jika pasang tinggi.

### *Suhu dan Salinitas Perairan Probolinggo*

Suhu permukaan air laut yang terekam oleh peralatan SBE 26 pada bulan Mei 2012 berkisar antara 29,06°C hingga 31,44°C dengan rata-rata 30,37°C, dengan perbedaan suhu permukaan antara maksimum dan minimum dalam pola pasang surut mencapai 2,38°C. Pada penelitian bulan September 2013, suhu perairan berkisar antara 28,40°C hingga 28,70°C dengan perbedaan yang sangat kecil yakni 0,30°C. Nilai suhu tersebut tidak jauh berbeda hingga kedalaman 20 m (Gambar 13.4).

Salinitas di permukaan hingga kedalaman 3 m pada penelitian bulan Mei 2012 tercatat 30,5 hingga 32 psu, namun pada penelitian bulan September 2013 (Tabel 13.1 dan Tabel 13.2) berkisar antara

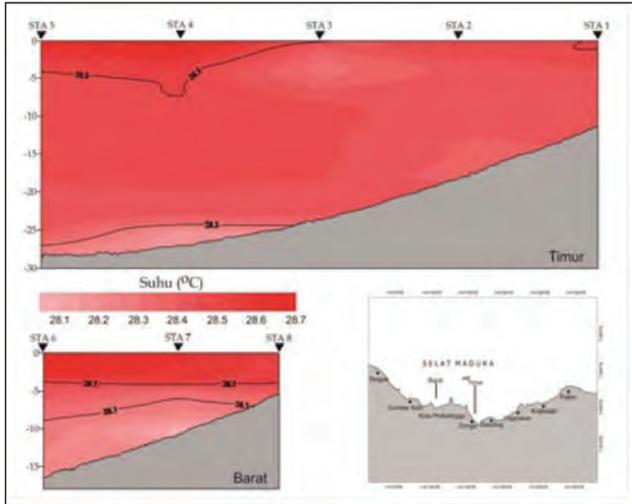
32,47 hingga 32,80 psu. Nilai salinitas tersebut tidak berbeda hingga kedalaman 20 m (Gambar 13.5). Berdasar pada nilai suhu dan salinitas di perairan Probolinggo mengungkapkan bahwa pada musim barat (Oktober hingga April/Mei) massa air bersalinitas rendah dan bersuhu tinggi dan mungkin bernilai kadar oksigen lebih rendah (Gambar 12.6) yang berasal dari Laut Cina Selatan masuk melalui Laut Jawa seperti yang dikemukakan oleh peneliti terdahulu (Berlage, 1927; Ilahude, 1995) berdampak di Perairan Probolinggo. Sebaliknya, pada musim timur (April/Mei hingga Oktober) massa air yang berasal dari Samudera Pasifik melalui Selat Makasar juga terlihat di Perairan Probolinggo.

**Tabel 13.1** Data Suhu, Salinitas, Densitas, Oksigen, pH dan Turbiditas Perairan Probolinggo, September 2013

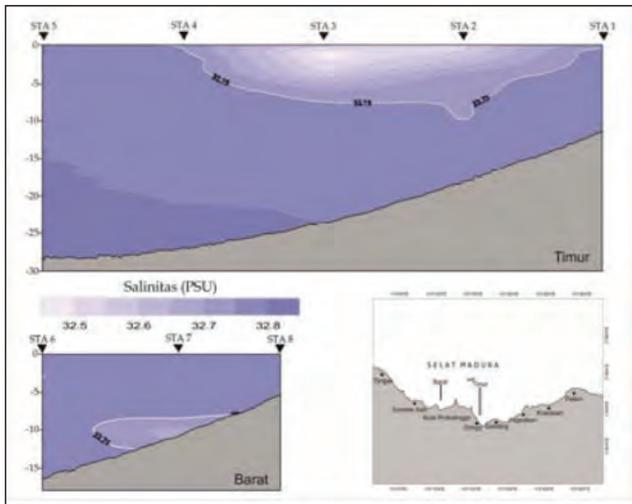
Kisaran Nilai	Kedalaman	Suhu (°C)	Salinitas (psu)	Densitas	Oksigen (ml/l)	pH	Turbiditas (ntu)
Minimum	Permukaan	28,41	32,47	20,36	3,41	8,00	0,23
Maksimum		28,68	32,80	20,57	4,37	8,52	4,44
Rata-rata		28,56	32,71	20,49	4,18	8,41	1,65
Minimum	5 m	28,34	32,65	20,51	4,21	8,06	0,21
Maksimum		28,51	32,80	20,60	4,37	8,54	2,86
Rata-rata		28,43	32,75	20,57	4,29	8,43	1,28
Minimum	10 m	28,08	32,68	20,57	4,19	8,10	0,28
Maksimum		28,49	32,80	20,68	4,28	8,53	2,70
Rata-rata		28,37	32,77	20,60	4,24	8,42	1,07
Minimum	15 m	28,22	32,76	20,59	4,24	8,37	0,24
Maksimum		28,47	32,80	20,64	4,27	8,51	3,16
Rata-rata		28,40	32,78	20,60	4,25	8,48	0,97

**Tabel 13.2** Perbedaan Suhu dan Salinitas Perairan Probolinggo pada Musim Barat dan Musim Timur

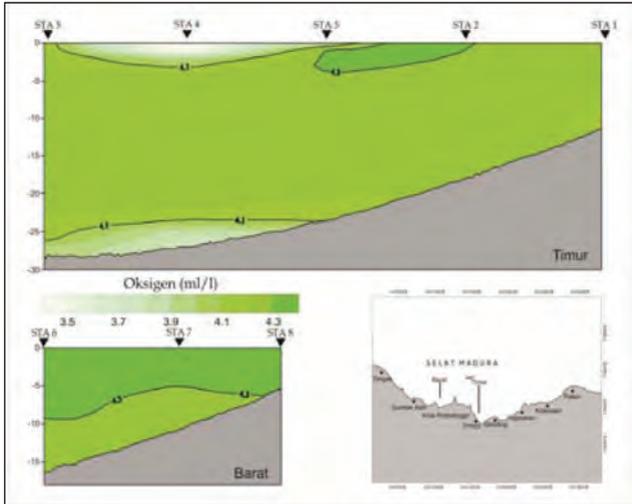
Lapisan perairan	Musim barat		Musim timur	
	Suhu (°C)	Salinitas (psu)	Suhu (°C)	Salinitas (psu)
Permukaan	29,06 – 31,44	30,5 - 32	28,4 – 28,7	32,4 – 32,8
Dekat dasar	28,5 – 29,125	32 – 32,7	28,08 -28,49	32,76 – 32,8



**Gambar 13.4** Irisan Menegak Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) pada Sisi Barat dan Timur di Perairan Probolinggo, September 2013



**Gambar 13.5** Irisan Menegak Salinitas (psu) pada Sisi Barat dan Timur di Perairan Probolinggo, September 2013

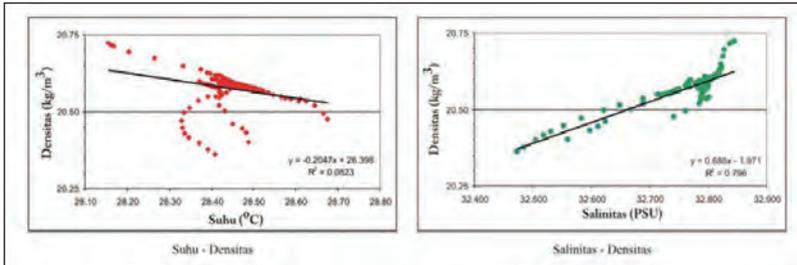


**Gambar 13.6** Irisan Menegak Oksigen (ml/l) pada Sisi Barat dan Timur di Perairan Probolinggo, September 2013

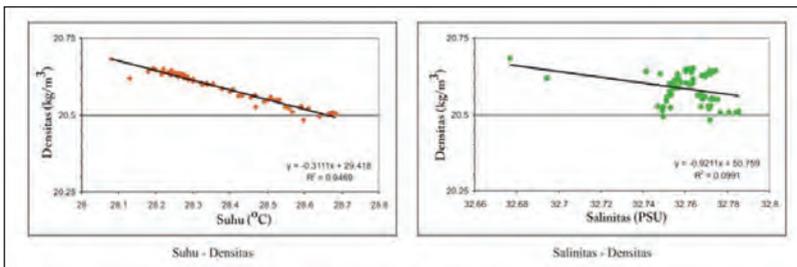
Berdasarkan data suhu, salinitas, densitas, dan lokasi stasiun penelitian mengindikasikan bahwa di perairan sisi timur Probolinggo berupa tipikal perairan estuari. Pada area estuari, peranan salinitas dalam perubahan densitas lebih dominan dibandingkan dengan suhu. Hal ini disebabkan karena dua alasan, yaitu kisaran salinitas yang lebih lebar dibandingkan kisaran suhu dan perairan yang relatif dangkal (Dyer, 1979). Pada sisi timur korelasi antara salinitas dan densitas lebih dominan, ditunjukkan dengan nilai  $R^2$  yang lebih besar (Gambar 13.7). Adapun di sisi barat mengindikasikan bahwa perairan bertipikal laut lepas (Gambar 13.8). Hal ini dapat dilihat dari dominannya korelasi antara suhu-densitas daripada salinitas-densitas.

Ketika air laut mengalami pasang maksimum, suhu air laut di perairan pesisir mengalami penurunan akibat dari mengalirnya massa air dari laut lepas menuju ke pesisir. Massa air di perairan pesisir karena perairan pantai Probolinggo relatif dangkal sehingga pemanasan matahari sangat efektif menaikkan suhu airnya, terutama

ketika air mulai surut. Selain itu, tercatat kecenderungan suhu yang menurun ketika amplitude harian pasang surut mulai menurun seiring dengan kondisi bulan yang menuju ke bulan gelap.



**Gambar 13.7** Grafik Suhu-Densitas dan Salinitas-Densitas sebagai Indikator Karakteristik Perairan Sisi Timur Probolinggo (sta 1–5), September 2013



**Gambar 13.8** Grafik Suhu-Densitas dan Salinitas-Densitas sebagai Indikator Karakteristik Perairan Sisi Barat Probolinggo (sta 6–8), September 2013

### *Kondisi Arus Perairan Probolinggo*

Pranowo dkk. (2006) menganalisis pola arus di Selat Madura berdasarkan model tiga dimensi barotropik. Hasil analisis terbagi berdasarkan musim, yakni musim barat dan musim timur. Pada musim barat, pada saat menuju surut, arus bergerak dari arah barat laut (perairan Surabaya) menuju tenggara dan berbelok ke arah timur menuju ke Selat Makassar, namun di sepanjang pantai perairan Probolinggo, arus menunjukkan arah yang sebaliknya, yakni menuju ke arah barat. Sebaliknya, pada saat menuju pasang, arus di perairan Selat Madura

umumnya bergerak ke arah barat, demikian juga arus di sepanjang pantai Probolinggo juga menuju ke arah barat. Pada musim timur, saat menuju surut, arus bergerak ke arah tenggara dan kemudian menuju ke arah timur ke Selat Makassar, namun di sepanjang pantai perairan Probolinggo terjadi hal yang sebaliknya, yakni arus menuju ke arah barat. Pada saat menuju pasang, arus bergerak dari arah timur menuju ke barat dan kemudian membelok ke arah utara menuju perairan Surabaya.

Kondisi arus pada bulan Mei 2012 yang masih berdekatan mewakili musim barat di perairan Probolinggo yang merupakan bagian dari perairan yang berbentuk teluk dengan kedalaman perairan mulai dari pantai, 0 m hingga 30 m sangat dipengaruhi oleh pasang surut, topografi, dan kondisi angin. Pada saat pasang, air laut masuk ke perairan melalui mulut teluk di sebelah timur perairan menuju ke perairan Probolinggo, karena perairan di selatan Pulau Gili dangkal, massa air membelok ke selatan, kemudian menyusur pantai ke arah timur. Adapun saat surut, massa air yang berasal dari pesisir ke luar dari perairan Probolinggo melalui pesisir mengalir ke timur. Berdasarkan data pengukuran arus selama enam hari, diperoleh bahwa aliran massa air selalu mengarah ke timur, baik pasang maupun surut.

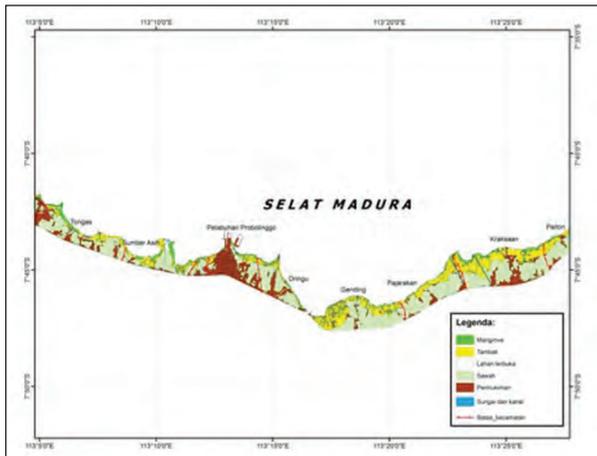
Pola arus di perairan Probolinggo di atas, memungkinkan untuk mengantar larva kepiting bakau *settling* di pesisir Probolinggo. Hal ini sangat menguntungkan, dan menjadi salah satu faktor yang mempertahankan populasi kepiting tersebut di sepanjang Probolinggo.

Pola arus pada bulan September 2013 yang mewakili musim timur, pada saat pasang, arus perairan permukaan bergerak menuju ke arah barat. Arah arus umumnya menuju ke arah barat laut dengan kecepatan yang sangat bervariasi, yakni 0,1 hingga 0,35 m/detik. Pada saat menuju surut, pola arus bervariasi, di perairan bagian timur Probolinggo arus umumnya menuju ke arah barat hingga barat daya, sementara di kawasan Pelabuhan Probolinggo dan di sebelah barat,

arah arus menuju ke arah barat laut. Arah arus di lapisan kedalaman 10 m dan pada lapisan kedalaman 15 m umumnya lebih lambat (0,1 hingga 0,2 m), namun menunjukkan pola arah yang sama terhadap arus di lapisan permukaan. Data tersebut menunjukkan bahwa arus perairan Probolinggo tidak dipengaruhi oleh fenomena pasang surut, namun diduga lebih didominasi oleh pengaruh angin timur yang menggerakkan massa air dari arah timur menuju ke arah barat.

### *Penutup Lahan dan Profil Pesisir Probolinggo*

Kawasan Probolinggo terletak di kaki utara Gunung Bromo dengan morfologi dataran pesisir yang sangat sempit ( $\pm 1-4$  km), yang tersusun dari material pasir vulkanik gunung tersebut. Dataran pesisir tersebut, sebagian besar merupakan lahan pertambakan tradisional. Data hasil revisi peta menunjukkan bahwa wilayah pesisir kabupaten ini sekitar 7,6 ribu ha dan  $\pm 30\%$  nya (2,5 ribu ha) berupa wilayah mangrove, pertambakan, dan hilir sungai yang bisa dianggap wilayah potensial kepiting bakau, yang tersebar di sepanjang pesisir Kabupaten Probolinggo (Gambar 13.9 dan Tabel 13.3).



**Gambar 13.9** Peta Penutup Lahan Pesisir Kabupaten Probolinggo

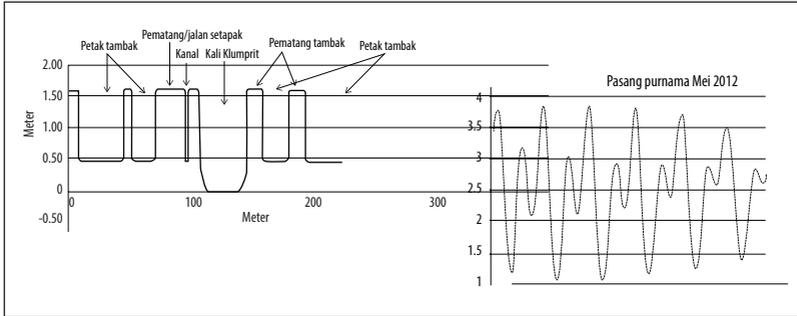
**Tabel 13.3** Luas Penutup Lahan yang Meliputi Area Mangrove, Pertambakan dan Hilir Sungai di Pesisir Probolinggo (dalam satuan hektar)

No.	Obyek	Kab. Probolinggo					
		Tongas	Sumberasih	Dringu	Gending	Pajarakan	Kraksaan
1.	Mangrove di pantai	60,013	82,924	45,311	35,395	23,899	68,77
2.	Mangrove di kawasan tambak	12,575	23,801	8,661	67,96	12,339	36,26
3.	Tambak	147,621	186,387	62,326	512,468	233,267	558,674
4.	Sungai dan kanal	6,979	11,482	6,217	13,78	10,941	27,647
5.	Sawah	617,94	291,81	422,452	670,174	596,702	796,586
6.	Permukiman	243,208	31,522	144,406	51,198	104,522	263,277
7.	Lahan terbuka	16,187	36,652	0,971	1,767	-	-
	Total area	486,583	372,768	689,373	1271,002	981,670	1646,184
	Area potensial kepingan bakau *	227,188	304,594	122,515	547,863	280,446	586,321

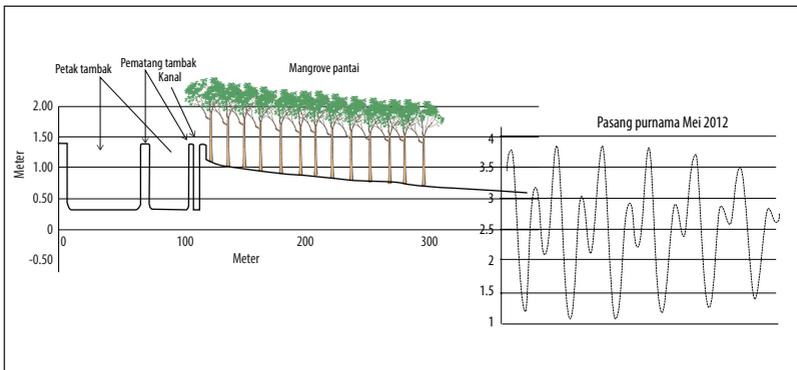
\*: jumlah 1,2,3 dan 4

Saat pasang, air laut tidak masuk melewati pematang/tanggul terdepan, tetapi melalui kanal-kanal buatan (untuk distribusi air di area pertambakan) dan beberapa sungai kecil. Karena pematang antartambak tidak setinggi pematang terdepan dan lebih rendah dari muka air laut saat pasang maka air laut yang masuk ke kanal dan sungai mampu melampaui pematang-pematang tambak.

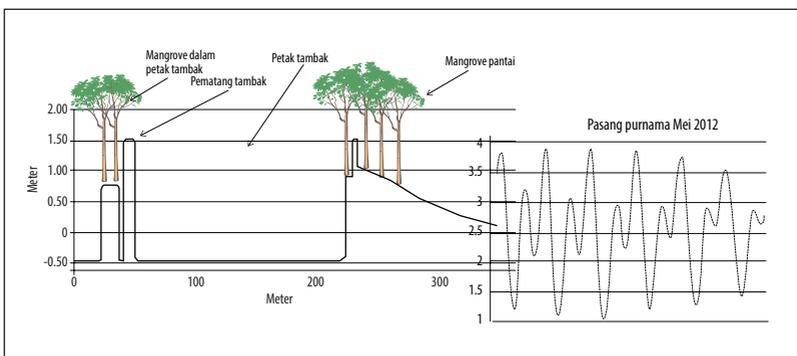
Hasil pengukuran dan penggambaran profil topografi pantai kawasan pertambakan di Probolinggo (Gambar 12.10–12.11) menunjukkan tinggi pematang/tanggul terdepan hampir sama dengan permukaan air laut saat pasang purnama, yakni 1,42 m di atas muka laut rata-rata (MLR). Namun, tinggi pematang antartambak lebih rendah, dan saat pasang bisa tergenang 5 hingga 10 cm atau lebih tinggi jika disertai tiupan angin kencang. Dengan perhitungan di atas, pada rentang waktu 14 hari setidaknya para petambak mempunyai satu kali pergantian air yang berlangsung selama kurang lebih tujuh hari.



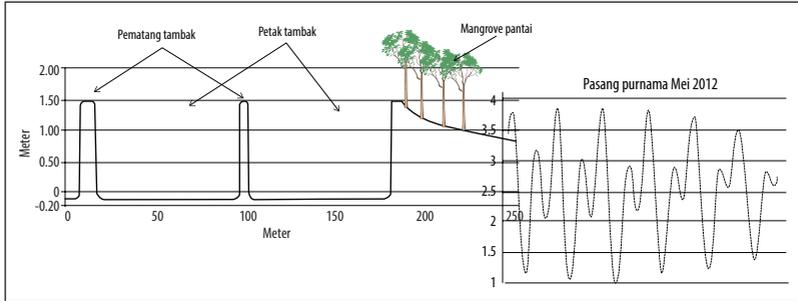
**Gambar 13.10** Profil Pantai di Desa Curahdring (di Sekitar Sungai), Kecamatan Tongas



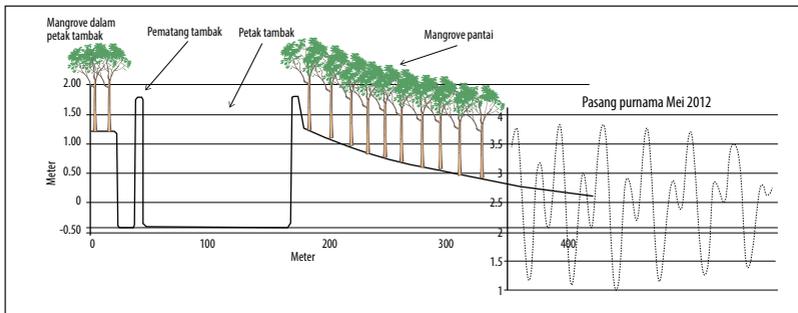
**Gambar 13.11** Profil Pantai di Desa Curahdring (Tepi Pantai), Kecamatan Tongas



**Gambar 13.12** Pofil Pantai di Desa Banjarsari (Tengah) dan Desa Pesisir, Kecamatan Sumber Asih



**Gambar 13.13** Profil Pantai di Desa Pesisir, Kecamatan Gending



**Gambar 13.14** Profil Pantai di Desa Asembakar, Kecamatan Kraksaan

## KESIMPULAN

Perairan Probolinggo, secara oseanografis dapat dibedakan ke dalam dua massa air yang berbeda, bagian barat yang meliputi Kecamatan Tongas dan Sumber Asih bersifat oseanik, sedangkan di bagian timur yang meliputi Kecamatan Dringu, Gending, Pajarakan, Kraksaan, dan Paiton bersifat estuarin.

Adanya perbedaan sifat oseanografis tersebut akan berdampak pada perkembangan dan potensi pertambakan yang ada, di bagian timur didominasi berkembangnya tambak garam, sementara di bagian barat didominasi oleh tambak konvensional.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1994. *Penyelidikan Geologi Lingkungan Pantai dan Perairan Besuki dan Sekitarnya, Jawa Timur*. Bandung: Dept. Pertambangan dan Energi, Direktorat Jendral Geologi dan Sumberdaya Mineral, Pusat Pengembangan Geologi Kelautan. 68 pp.
- Berlage, H.P. 1927. Monsoon Currents in the Java Sea and its Entrances. *Verh, Magn. Met. Obs. Batavia*, 19: 1–28.
- Dishidros TNI AL. 2014. Buku Prediksi Pasang Surut Perairan Indonesia tahun 2014.
- Dyer, K.R. 1979. Estuarine Hydrography and Sedimentation . EBSA H andbook. Cambridge: Cambridge University Press. 230 pp.
- Gilman, E.L., dkk. 2008. Threats to Mangroves from Climate Change and Adaptation Options. *Aquatic Botany*: 14.
- Harley, S.J., dkk. 2001. Is Catch-per-unit-Effort Proportional to Abundance? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58: 13.
- Ilahude, A.G. 1995. Sebaran Suhu, Salinitas, Sigma-t dan Zat Hara di Perairan Teluk Jakarta, *Dalam: Atlas Oseanologi Teluk Jakarta*, Suyarso (Eds.). Jakarta: Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI. Hlm. 29–99.
- Ismail, A. & A. Sudradjat. 1992. Pengelolaan Budidaya Udang Windu Semi Intensif. *Dalam Makalah Temu Tugas Dalam Aplikasi Teknologi Bidang Perikanan*, Pusat Perpustakaan Pertanian dan Komunikasi Penelitian, Badan Litbang Pertanian, Deptan. 64 pp.
- Pariwono, J.I. 1989. Kondisi Pasang-surut di Indonesia, *Dalam: Pasang-surut, O.S.R. Ongkosongo & Suyarso (Eds.)*, Asean-Australia Cooperative Programmes on Marine Science, Project I: Tides and Tidal Phenomena, Puslitbang Oseanologi-LIPI: 135–147.
- Pranowo, W.S. dkk. 2006. Hidro oseanografi Selat Madura (dalam rangka kasus Lapindo Brantas). Jakarta: Pusat Riset Wilayah Laut dan Sumber Daya Non Hayati, Badan Riset Kelautan dan Perikanan, Dept. Kelautan dan Perikanan.
- Sukardjo, S. 2010. Biodiversity and Ecological Conservation of Mangroves in Indonesian South China Sea Areas: a botanical exploration of mangrove ecosystems. *Journal of Science and Technology in the Tropics* 6: 21.

# BAB XIV

## APLIKASI SISTEM INFORMASI GEOGRAFI UNTUK PEMETAAN GENANGAN ROB DENGAN STUDI KASUS

 Bayu Prayudha dan Suyarso

### PENDAHULUAN

**B**anjir yang diakibatkan oleh air laut pasang (rob) merupakan salah satu permasalahan yang sering dialami di wilayah pesisir, terutama pada pantai yang memiliki kemiringan permukaan lahan yang landai. Kabupaten Probolinggo merupakan salah satu kabupaten yang sering mengalami rob karena karakteristik wilayah pantainya yang landai. Rob di Probolinggo terjadi hampir di setiap tanggal 15, 16, dan 17 penanggalan Jawa yang pada saat itu air laut berada pada posisi pasang tertinggi (*spring tide*). Pada saat itu, air laut bisa masuk ke tambak-tambak dan ke rumah-rumah warga di dekat pantai. Kondisi ini akan semakin diperparah ketika musim penghujan datang (Kabar Warta Edisi 9 dan 13 Mei 2012 dalam Anonim, 2012).

Berdasarkan permasalahan tersebut, perlu dilakukan tindakan mitigasi agar dampaknya tidak semakin besar. Upaya mitigasi tersebut membutuhkan informasi yang akurat dan menyeluruh. Sistem Informasi Geografi (SIG) sebagai sistem informasi yang berbasis komputer dapat memenuhi kebutuhan tersebut karena dapat digunakan untuk mengolah dan menyimpan data atau informasi geografis (Aronoff, 1989). Sistem Informasi Geografi memungkinkan mengkaji suatu wilayah secara keruangan sesuai dengan sifat analisis geografi, yaitu

keruangan, kelengkapan, dan kompleks wilayah. Sistem Informasi Geografi juga dapat menyediakan basis data digital yang memudahkan pengguna data dalam melakukan penelusuran data.

Beberapa penelitian mengenai pemanfaatan SIG untuk pemetaan genangan telah banyak dilakukan. Ward dkk. (2011), memetakan potensi genangan dan kerugian ekonomi di Kota Jakarta jika terjadi kenaikan muka laut sebagai dampak perubahan iklim. Data yang digunakan adalah *digital elevation modeling* (DEM) yang diturunkan dari peta rupa bumi Indonesia (RBI) skala 1:25.000. Qi dkk. (2009) memanfaatkan data DEM dan citra satelit landsat untuk memetakan dan memonitor perluasan genangan dari Danau Poyang di Provinsi Jiangxi, Cina. Wheeler dkk. (2008) bahkan tidak hanya memanfaatkan data DEM untuk pemetaan genangan di wilayah pesisir, tetapi juga menampilkannya dalam perangkat multimedia interaktif yang berbasis jaringan. Berdasarkan pada latar belakang tersebut, dalam penelitian ini dilakukan pemetaan zonasi genangan rob dengan memanfaatkan analisis SIG menggunakan sumber data *digital elevation model* (DEM) di pesisir Kabupaten Probolinggo.

Pemetaan potensi genangan banjir rob dilakukan dengan menggunakan data *digital elevation model* (DEM) dan berdasarkan pada hasil analisis kejadian banjir rob dari data pasang-surut serta gelombang. Data DEM yang digunakan adalah hasil interpolasi *topo to raster* pada data kontur peta rupa bumi Indonesia (RBI), dan data *shuttle radar topography mission* (SRTM). Kedua data tersebut kemudian dibandingkan tingkat akurasi berdasarkan pada data pengukuran beda tinggi di lapangan menggunakan *waterpass levelling*. Data DEM yang memiliki akurasi paling baik, akan disesuaikan dengan data lapangan melalui persamaan linier dan digunakan untuk menghasilkan turunan berupa peta kontur. Peta kontur tersebut digunakan dalam analisis skenario genangan untuk menghasilkan peta potensi genangan banjir rob.

## ***Pengolahan DEM RBI***

Peta RBI yang digunakan memiliki skala 1: 25.000 sehingga interval garis kontur yang ditampilkan pada peta tersebut adalah 12,5 m. Pada daerah yang landai seperti pesisir, garis kontur dengan interval tersebut sangat jarang ditemui. Analisis skenario genangan di wilayah pesisir, membutuhkan data garis kontur yang lebih detail karena sebaran banjir rob yang menggenangi daratan mengikuti bentuk topografi pesisir yang dipresentasikan oleh garis kontur dan kenaikannya dari muka laut rata-rata tidak sebesar interval garis kontur pada data RBI. Oleh karena itu, perlu interpolasi untuk menggambarkan garis kontur yang diinginkan pada wilayah pesisir tersebut.

Metode interpolasi yang digunakan adalah *topo to raster* pada perangkat lunak ArcGIS 9.x. Metode ini berdasarkan pada model interpolasi yang dikembangkan oleh Hutchinson (1989), yang berdasarkan pada proses pengulangan interpolasi (*iterative*). Proses pengulangan interpolasi dilakukan mulai dari piksel raster dengan ukuran yang kasar hingga mencapai ukuran piksel detail yang diinginkan. Detail piksel yang diinginkan pada penelitian ini adalah sebesar 10 m.

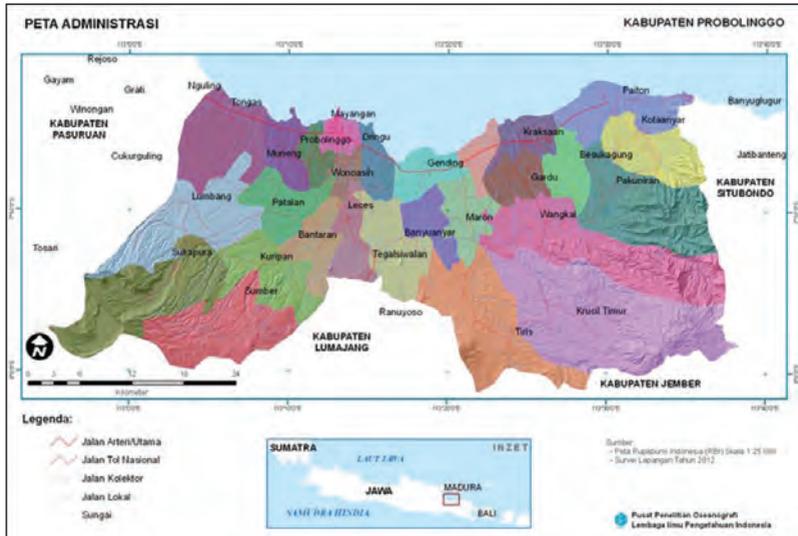
## ***Pengolahan DEM SRTM***

SRTM merupakan data DEM yang dihasilkan dari perekaman citra radar menggunakan wahana pesawat ulang-alik *Endeavour* yang dilakukan oleh *The National Aeronautics and Space Administration* (NASA) pada tahun 2000. Data SRTM yang digunakan pada penelitian ini adalah data dengan format raster ukuran piksel 90 m. Pengolahan data DEM SRTM dilakukan agar dihasilkan data DEM SRTM dengan ukuran piksel yang lebih detail, yaitu 10 m. Hal tersebut dilakukan agar dapat dibandingkan tingkat akurasi dengan DEM yang dibentuk dari peta RBI.

Pengolahan DEM SRTM tidak secara langsung dilakukan melalui proses *resampling* atau *resizing* ukuran piksel dari 90 m menjadi 10 m, tetapi diinterpolasi ulang menggunakan metode *topo to raster* pada perangkat lunak ArcGIS 9.x. Proses tersebut dilakukan agar kualitas kartografi dari hasil turunan data DEM tersebut menjadi lebih baik. Penelitian mengenai hal tersebut pernah dilakukan oleh Ozah & Kufoniya (2008), yang menemukan bahwa peta kontur yang dihasilkan langsung dari data DEM SRTM memiliki kualitas kartografi yang lebih buruk dibandingkan peta kontur yang dihasilkan dari proses interpolasi ulang pada data DEM SRTM tersebut.

### ***Kondisi Geografis***

Kabupaten Probolinggo merupakan bagian dari wilayah Provinsi Jawa Timur, secara administratif berbatasan dengan Selat Madura di sebelah utara, Kabupaten Situbondo di sebelah barat, Kabupaten Jember dan Lumajang di sebelah selatan serta Kabupaten Pasuruan di sebelah timur (Gambar 14.1). Hanya tujuh kecamatan yang terletak di wilayah pesisir, yaitu Tongas, Sumberasih, Dringu, Gending, Pajarakan, Kraksaan, dan Paiton. Semua kecamatan tersebut dilalui oleh jalan nasional yang tidak hanya menghubungkan antarkota di Pulau Jawa, tetapi juga pulau lainnya, seperti Pulau Bali. Oleh Karena itu, wilayah tersebut memiliki letak yang strategis secara perekonomian. Hal ini dapat terlihat dari penentuan Ibukota Kabupaten Probolinggo yang berada di Kecamatan Kraksaan. Berdasarkan rencana struktur tata ruang wilayah Kabupaten Probolinggo, Kecamatan Kraksaan, dan Pajarakan masuk ke dalam hierarki I pusat pelayanan, yang fungsi pengembangan utamanya sebagai pusat pemerintahan daerah, perkotaan, pendidikan, perikanan, dan jasa. Begitu juga dengan Kecamatan Paiton, Sumberasih, dan Tongas yang masuk ke dalam hierarki II pusat pelayanan Kabupaten Probolinggo. Fungsi pengembangan kawasan tersebut adalah kawasan industri, sumber energi, pariwisata, dan perikanan (Anonim, 2008).



**Gambar 14.1** Peta Administrasi Kabupaten Probolinggo

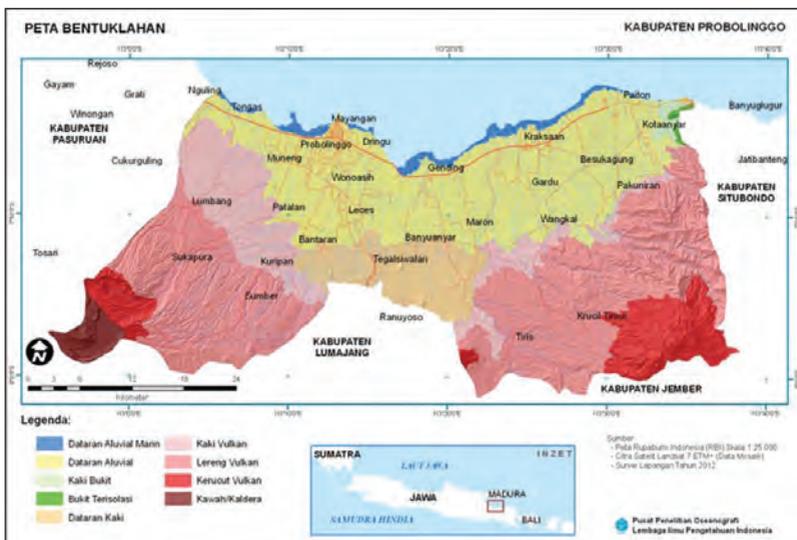
Wilayah Kabupaten Probolinggo sebagian besar terletak pada daerah pegunungan dan perbukitan (Gambar 14.2). Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 14.1, yang menunjukkan komposisi dan luas bentuk lahan di Kabupaten Probolinggo. Daerah dataran terletak pada ketinggian 0 hingga 100 m (Gambar 14.3), dan sebagian besar terletak pada bentuk lahan dataran aluvial (31,79%). Daerah pegunungan dibentuk oleh proses Gunung Api Tengger dan Gunung Api Argopuro yang terletak di bagian selatan Kabupaten Probolinggo. Pada bagian puncak Gunung Api Tengger, terdapat kawah dan Gunung Api Bromo yang sangat terkenal sebagai objek wisata di Kabupaten Probolinggo. Kaki lereng Gunung Api Tengger membentuk pola seperti kipas yang merupakan hasil pengendapan pasir yang terbawa dari puncak dan lereng gunung api tersebut (Gambar 14.2 dan Gambar 14.4). Bentuk tersebut biasa disebut sebagai bentukan kipas aluvial. Kipas aluvial terbentuk di wilayah sekitar daerah Sukapura hingga Lumbang.

**Tabel 14.1** Luas Bentuk Lahan Kabupaten Probolinggo

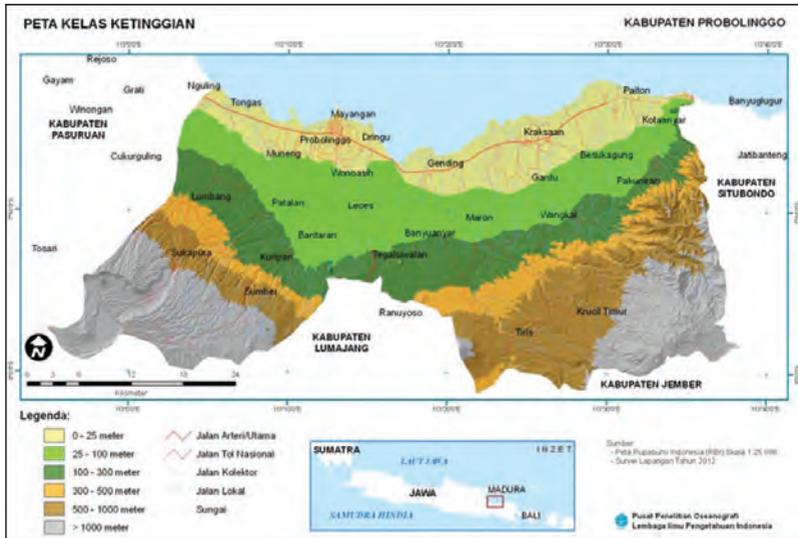
Bentuk lahan	Luas (Km <sup>2</sup> )	% Luas
Kawah/Kaldera	32.33	1.83
Kerucut Vulkan	144.83	8.18
Lereng Vulkan	653.08	36.88
Kaki Vulkan	201.97	11.40
Bukit Terisolasi	3.45	0.19
Kaki Bukit	8.49	0.48
Dataran Kaki	132.51	7.48
Dataran Aluvial	562.91	31.79
Dataran Aluvial Marin	31.35	1.77

Sumber: Hasil analisis SIG

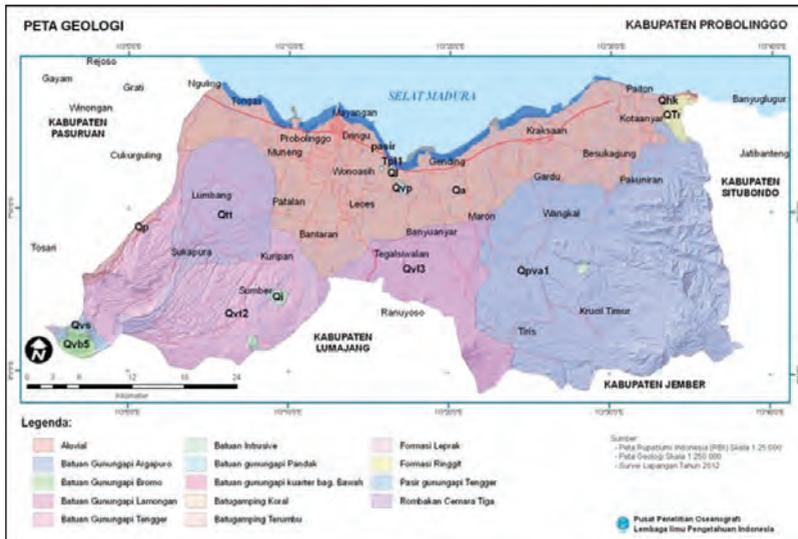
Wilayah pesisir Kabupaten Probolinggo merupakan daerah yang landai dan terletak pada bentuk lahan dataran aluvial serta dataran aluvial marin (Gambar 14.2). Dataran aluvial terdiri atas material aluvium yang terbentuk akibat dari proses fluvial atau aliran sungai.



**Gambar 14.2** Peta Bentuk Lahan Kabupaten Probolinggo



Gambar 14.3 Peta Kelas Ketinggian Kabupaten Probolinggo



Gambar 14.4 Peta Geologi Kabupaten Probolinggo

Berbeda halnya dengan dataran aluvial marin yang letaknya berbatasan dengan laut. Pada dataran aluvial marin, proses yang terjadi membentuk dataran disebabkan oleh kombinasi antara proses fluvial atau sungai dan marin yang dipengaruhi oleh pergerakan pasang-surut air laut. Aliran sungai pada pesisir barat Kabupaten Probolinggo berasal dari Gunung Api Tengger/Bromo, sedangkan pada pesisir timur dominan berasal dari Gunung Api Argopuro sehingga material pasir yang diendapkan di daerah pesisir dipengaruhi juga oleh material dari kedua gunung api tersebut. Hal tersebut dapat terlihat juga dari peta geologi pada Gambar 14.4 yang menunjukkan adanya dua formasi batuan Gunung Api Tengger dan Gunung Api Argopuro.

### ***Penggunaan Lahan Pesisir***

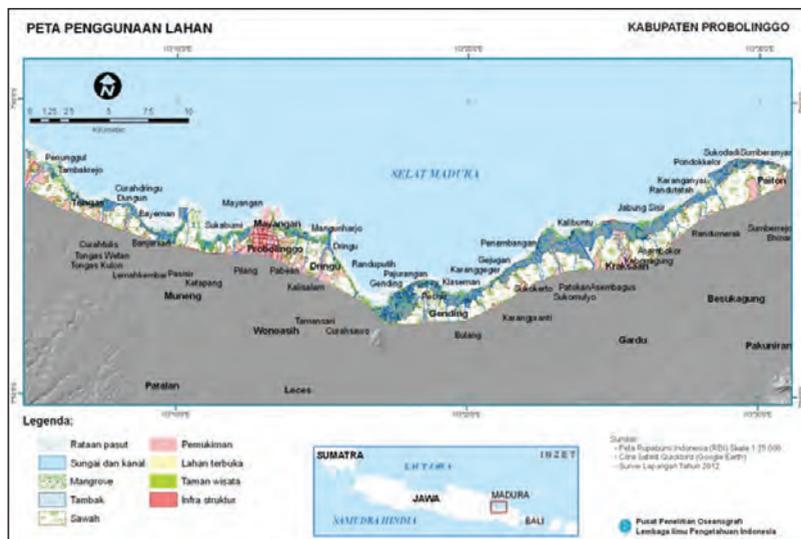
Penggunaan lahan pesisir Kabupaten Probolinggo sebagian besar berupa areal persawahan, tambak, pemukiman, dan mangrove (Gambar 14.4). Lahan yang subur dan topografi yang landai pada dataran aluvial sangat baik untuk dimanfaatkan sebagai lahan pertanian. Oleh karena itu, areal persawahan di pesisir Kabupaten Probolinggo, terletak pada bentuk lahan dataran aluvial. Lahan yang dimanfaatkan sebagai areal tambak terdapat pada bentuk lahan dataran aluvial marin. Dataran aluvial marin sangat cocok untuk pertambakan karena arealnya berbatasan dengan laut dan mudah dalam penyaluran kebutuhan air laut untuk tambak karena kemiringan lerengnya yang sangat landai. Selain tambak, mangrove juga dijumpai pada sepanjang garis pantai dan di pematang-pematang areal pertambakan.

Pemukiman dapat ditemui mulai dari sepanjang jalan utama, areal persawahan hingga pertambakan. Pemukiman yang dibangun oleh penduduk sering tidak mempertimbangkan kesesuaian lahannya sehingga seringkali terjadi permasalahan lahan, seperti penggenangan di permukiman akibat kejadian banjir rob. Permukiman yang sering mengalami kejadian tersebut, terletak pada areal pertambakan yang

berada pada bentuk lahan dataran aluvial marin. Jika dilihat dari proses marin yang membentuk wilayah tersebut maka potensi air laut menggenangi permukiman sangat mungkin terjadi, terutama pada saat kejadian gelombang pasang yang ekstrem. Kejadian banjir rob pernah terjadi di permukiman empat desa pada bulan Juni 2010, yaitu Desa Randutatah, Kalibuntu, Pajarakan, dan Sumberasih (Anonim, 2010). Kejadian serupa pada bulan Januari 2013 juga dialami permukiman di Desa Randutatah, Kecamatan Paiton (Dian, 2013).

### *Pembentukan DEM*

Pembentukan DEM dilakukan pada dua sumber data yang berbeda, yaitu peta rupa bumi Indonesia dan citra SRTM. Hal tersebut dilakukan agar kedua sumber data tersebut dapat dibandingkan akurasiya sehingga dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam memilih sumber data yang tepat untuk pembuatan DEM dan turunannya. Uji akurasi dilakukan berdasarkan pada data beda tinggi yang diukur secara langsung di lapangan. Selain sebagai bahan uji akurasi,



**Gambar 14.5** Peta Penggunaan Lahan Kabupaten Probolinggo

data titik ketinggian hasil pengukuran lapangan, digunakan juga untuk penyesuaian (*adjustment*) data DEM yang dihasilkan melalui persamaan linier.

Berdasarkan pada 150 titik ketinggian yang diukur di lapangan maka dihasilkan analisis statistik pada kedua data DEM yang dihasilkan (Tabel 14.1). Data DEM yang dihasilkan dari peta RBI memiliki standar deviasi (STDEV) yang lebih kecil daripada DEM yang dihasilkan dari SRTM, yaitu 0,498 berbanding dengan 1,524. Hal ini menunjukkan bahwa DEM yang dihasilkan dari peta RBI memiliki bias yang lebih kecil terhadap data pengukuran di lapangan, jika dibanding dengan bias pada data DEM yang dihasilkan dari citra SRTM. Keunggulan DEM yang dihasilkan dari peta RBI juga ditunjukkan dengan rerata perbedaan nilai ketinggian dengan data pengukuran lapangan, yaitu 0,212 m, sedangkan DEM yang dihasilkan dari citra SRTM memiliki rerata selisih nilai ketinggian yang lebih besar, yaitu 2,327 m. Nilai korelasi ( $\gamma$ ) terhadap data ketinggian rujukan yang diukur di lapangan juga menunjukkan bahwa DEM yang dihasilkan oleh peta RBI lebih tinggi dibandingkan DEM yang dihasilkan oleh citra SRTM, yaitu 0,384 berbanding dengan 0,289. Hal ini menunjukkan bahwa data DEM yang dihasilkan oleh peta RBI lebih berkorelasi dengan data rujukan ketinggian di lapangan dibandingkan yang dihasilkan oleh citra SRTM. Berdasarkan pada analisis statistik tersebut maka DEM yang dihasilkan oleh peta RBI dipilih sebagai bahan analisis dalam pembuatan peta potensi genangan banjir rob di Kabupaten Probolinggo.

### ***Pemetaan Potensi Banjir Rob***

Data DEM yang dihasilkan dari peta RBI digunakan sebagai bahan untuk pembuatan peta potensi banjir rob. Berdasarkan pada data pengamatan pasut selama tahun 2004 hingga 2011 dan pengamatan pasut selama tahun 2012, diketahui bahwa rerata muka air tertinggi

pada saat pasang purnama pada periode tertentu adalah 0,73 m, sedangkan permukaan laut tertinggi dapat mencapai 1,42 (tahun 2012) hingga 1,56 (tahun 2004–2011). Tinggi gelombang signifikan di Kabupaten Probolinggo berdasarkan analisis data tahun 2004 hingga 2010 rata-rata sebesar 0,15 m, sedangkan berdasarkan data kejadian gelombang tinggi nonpasut tahun 2012 didapatkan rata-rata gelombang tinggi mencapai 0,49 m dan tertinggi mencapai 0,56 m.

Berdasarkan pada informasi tersebut maka daerah potensi genangan rob dibagi menjadi tiga zona (wilayah) bahaya (Gambar 14.6). Zona bahaya 1 merupakan wilayah yang berpotensi tergenang jika muka laut pada posisi rata-rata muka air tertinggi pada saat pasang purnama. Zona bahaya 2 ditentukan pada wilayah yang berpotensi tergenang jika muka laut pada posisi tertinggi sesuai dengan yang tercatat selama rentang waktu tahun 2004 sampai dengan 2012. Zona bahaya 3 merupakan wilayah yang berpotensi tergenang, jika muka laut mencapai posisi tertinggi dan ditambah juga dengan tinggi gelombang signifikan rata-rata. Berdasarkan simulasi zona genangan tersebut menggunakan data DEM maka dihasilkan estimasi luasan wilayah yang terdampak (Tabel 14.2).

Luas total wilayah yang berpotensi tergenang pada seluruh kelas zona bahaya adalah 2.922,87 ha. Zona bahaya 2 memiliki wilayah terluas, yaitu 1.403,31 ha dan tersebar hampir di sepanjang pesisir Kabupaten Probolinggo. Kecamatan Kraksaan merupakan wilayah yang berpotensi memiliki dampak genangan yang paling luas, yaitu 753,43 ha. Berdasarkan Tabel 14.3, dampak genangan terluas pada penggunaan lahan permukiman terdapat di Kecamatan Paiton dan Kraksaan, masing-masing seluas 60,99 ha dan 51,62 ha. Hal ter-

**Tabel 14.2** Analisis Statistik Data DEM

	STDEV	ΔMean	ΔMax	ΔMin	γ
DEM RBI	0,498	0,212	1,136	-0,637	0,384
DEM SRTM	1,524	-2,327	-3,206	-1,300	0,289

**Tabel 14.3** Luas Zonasi Genangan Kabupaten Probolinggo Per-Kecamatan

Kabupaten Probolinggo	Pasang tertinggi dan gelombang tinggi/rob (zona bahaya 3)	Pasang tertinggi/spring tide (zona bahaya 2)	Rata-rata pasang tertinggi (zona bahaya 1)	Total Luas (Ha)
	574,42	1403,31	945,14	2922,87
Dringu	39,73	95,21	68,78	203,72
Gending	62,32	150,66	77,06	290,04
Kraksaan	139,69	378,55	234,18	752,43
Paiton	123,26	281,34	152,30	556,90
Pajarakan	99,09	243,90	174,43	517,42
Sumberasih	46,97	113,11	143,68	303,75
Tongas	63,35	140,54	94,72	298,60

Sumber: Hasil Analisis SIG

sebut menunjukkan bahwa pada kedua kecamatan tersebut berisiko tinggi mengalami kerugian secara langsung oleh masyarakat karena permukiman merupakan kebutuhan primer.

Lahan tambak di Kecamatan Kraksaan dan Paiton juga berpotensi paling luas mengalami dampak genangan, yaitu masing-masing 481,6 ha dan 311,97 ha. Tambak merupakan jenis pemanfaatan lahan budi daya yang banyak ditemui di wilayah pesisir karena memanfaatkan pasang-surut air laut sebagai sumber dayanya. Hal tersebut menunjukkan bahwa pola mata pencaharian di wilayah pesisir selain sebagai nelayan juga sebagai petani budi daya tambak. Meskipun demikian, karena pesisir merupakan wilayah peralihan antara darat dan laut maka pola budi daya darat juga masih ditemui seperti sawah. Hanya saja sebagian besar sawah pada wilayah pesisir merupakan sawah tadah hujan, yang memanfaatkan air hujan sebagai sumber dayanya. Biasanya pada saat musim kemarau, sawah tersebut ditanami komoditas lainnya, seperti kacang-kacangan. Lahan sawah yang berpotensi tergenang terluas terdapat di Kecamatan Pajarakan, yaitu 161,62 ha.

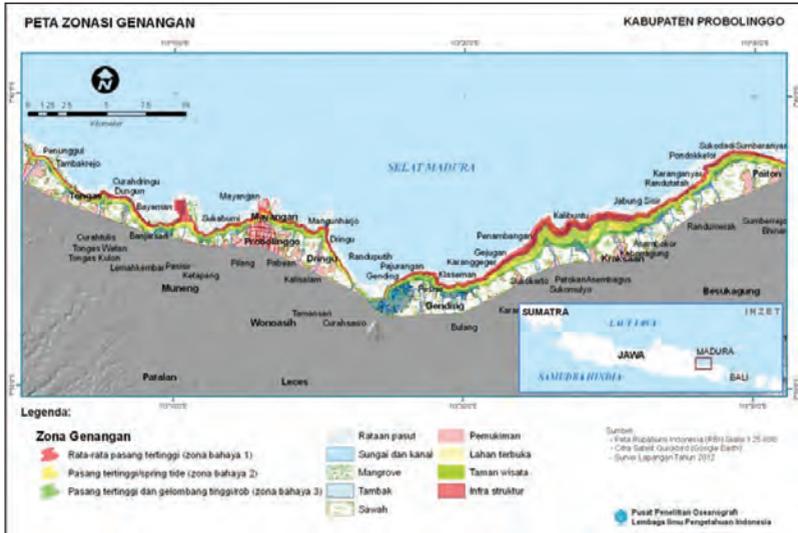
Wilayah yang berpotensi tergenang memiliki kemiringan yang landau sehingga ketika terjadi genangan atau banjir rob, air dapat jauh masuk ke daratan. Potensi genangan di Kraksaan berdasarkan Gambar 14.5, dapat mencapai ± 2 km ke arah daratan. Profil topografi pantai kawasan pertambakan di Probolinggo (Gambar 14.7 dan Gambar 14.8) menunjukkan tinggi pematang/tanggul terdepan hampir sama dengan permukaan air laut saat pasang purnama, yakni 1,42 m di atas muka laut rata-rata (MLR). Namun, tinggi pematang antartambak lebih rendah, dan saat pasang bisa tergenang 5 hingga 10 cm, atau lebih tinggi jika disertai tiupan angin kencang. Berdasarkan perhitungan di atas maka pada rentang waktu 14 hari setidaknya para petambak mempunyai satu kali pergantian air yang berlangsung selama kurang lebih tujuh hari. Air laut saat pasang, tidak masuk melewati pematang/tanggul terdepan, tetapi melalui kanal-kanal buatan (untuk distribusi air di area pertambakan) dan beberapa sungai kecil. Karena pematang antartambak tidak setinggi pematang terdepan dan lebih rendah dari muka air laut saat pasang

**Tabel 14.4** Luas Potensi Genangan Kabupaten Probolinggo pada Tiap Penggunaan Lahan Per Wilayah Administrasi

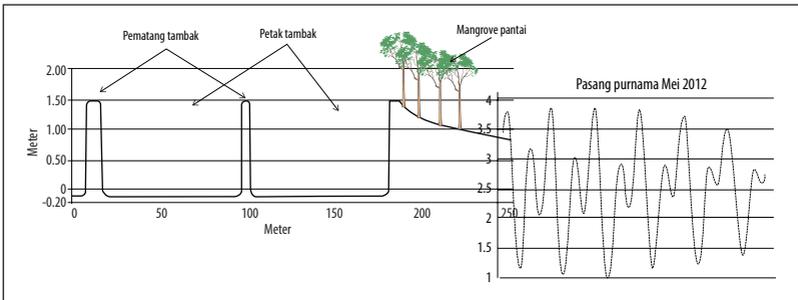
Kecamatan	Infra- struktur	Lahan terbuka	Pemuki- man	Sawah	Taman wisata	Tambak	Mangrove	Total Luas (Ha)
Dringu	-	0,68	15,83	84,49	0,27	58,34	40,78	200,38
Gending	-	1,09	2,11	20,32	-	207,01	51,56	282,10
Kraksaan	0,33	-	51,62	114,88	-	481,60	75,86	724,29
Paiton	0,21	39,35	60,99	94,97	-	311,97	34,71	542,19
Pajarakan	-	-	24,14	161,62	-	270,21	49,35	505,33
Sumberasih	-	9,94	9,66	128,11	-	122,40	27,06	297,17
Tongas	-	8,78	18,43	117,51	-	122,10	26,12	292,93
<b>Total</b>	<b>0,54</b>	<b>59,83</b>	<b>182,77</b>	<b>721,89</b>	<b>0,27</b>	<b>1573,64</b>	<b>305,45</b>	<b>2844,39</b>

\*)Luasan sungai dan kanal tidak dihitung

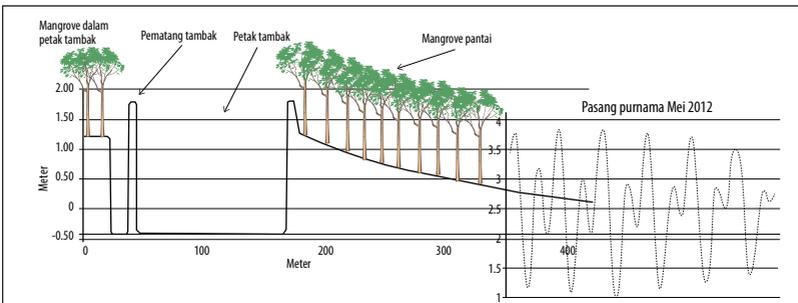
Sumber: Hasil Analisis SIG



Gambar 14.6 Peta Zonasi Genangan Kabupaten Probolinggo



Gambar 14.7 Profil Pantai di Desa Pesisir, Kecamatan Gending



Gambar 14.8 Profil Pantai di Desa Asembakor, Kecamatan Kraksaan

maka air laut yang masuk ke kanal dan sungai mampu melampaui pematang-pematang tambak.

## KESIMPULAN

Data DEM yang dikoreksi dengan pengukuran elevasi di lapangan dapat digunakan sebagai sumber data untuk memetakan potensi genangan akibat banjir rob. Berdasarkan uji akurasi, data DEM yang bersumber dari peta RBI lebih baik dibandingkan dengan data DEM yang dihasilkan dari citra SRTM. Oleh karena itu, peta RBI direkomendasikan sebagai sumber data dalam pembuatan DEM beserta turunannya.

Peta zonasi genangan banjir rob yang dihasilkan menunjukkan bahwa sebagian besar daerah di sepanjang pesisir Kabupaten Probolinggo berpotensi mengalami banjir rob dengan luasan 2.922,87 ha atau mendekati 3.000 ha, menggenangi beberapa penggunaan lahan permukiman, tambak, dan sawah. Wilayah dengan dampak genangan rob terluas terdapat di Kecamatan Kraksaan.

Meskipun data DEM yang digunakan mampu memetakan potensi genangan rob, namun kajian lebih mendalam dengan menambah data titik pengukuran elevasi di lapangan pada topografi yang lebih bervariasi perlu dilakukan agar model yang dihasilkan lebih baik lagi. Berkembangnya teknologi SIG akan sangat membantu dalam perencanaan, pengembangan, dan pemanfaatan lahan pesisir Kabupaten Probolinggo secara optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2012. *Dampak Fenomena Rob Terhadap Lingkungan Pesisir dan Ketahanan Pangan di Wilayah Pantura Kabupaten Probolinggo Jawa Timur: laporan akhir*. Jakarta: Pusat Penelitian Oseanografi LIPI.
- Anonim. 2010. Banjir Rob Isolir Empat Desa di Probolinggo. ([http://video.tvonenews.tv/arsip/view/40554/2010/06/15/banjir\\_rob\\_isolir\\_empat\\_desa\\_di\\_probolinggo.tvOne](http://video.tvonenews.tv/arsip/view/40554/2010/06/15/banjir_rob_isolir_empat_desa_di_probolinggo.tvOne), diakses 20 Mei 2013).

- Anonim. 2008. *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Kabupaten Probolinggo Tahun 2008–2013*. Pemda Kabupaten Probolinggo.
- Aronoff. 1989. *GIS: A management perspective*. Ottawa: WDL Publication.
- Dian. 2013. Banjir Rob Terjang Probolinggo. (<http://sindopos.com/berita-662-banjir-rob-terjang-probolinggo.html>, diakses 20 Mei 2013).
- Hutchinson, M.F. 1989. A New Procedure for Gridding Elevation and Stream Line Data with Automatic Removal of Spurious Pits. *Journal of Hydrology* 106: 211–232.
- Ozah, A.P. & O. Kufoniyi. 2008. Accuracy Assesment of Contour Interpolation From 1:50.000 Topographical Maps And SRTM Data For 1:25.000 Topographical Mapping. *The International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences* Vol. XXXVI. Part B7, Beijing: 1347–1354.
- Qi, Shuhua dkk. 2009. Inundation Extent and Flood Frequency Mapping Using LANDSAT Imagery and Digital Elevation Models. *GIScience & Remote Sensing* 46 (1): 101–127.
- Ward, P. J. dkk. 2011. Coastal Inundation and Damage Exposure Estimation: A Case Study For Jakarta. *Nat Hazard* 56: 899–916.
- Wheeler, P. J. dkk. 2008. Facilitating Coastal Zone Inundation Awareness Using GIS-Based Scenario Modelling and Multimedia Visualisation. *Queensland Spatial Conference 2008*, 17–19 July 2008, Gold Coast, Paper No. 002.

## BAB XV PENUTUP

 Dwi Eny Djoko Setyono

**K**ajian tentang kondisi pesisir dan perairan Probolinggo telah dilaksanakan pada tahun kegiatan 2012 dan 2013. Kondisi topografi pesisir Probolinggo merupakan cekungan dengan kemiringan yang landai dan kedalaman perairannya relatif dangkal. Sedimen pantai didominasi oleh partikel pasir berukuran sedang dengan campuran pasir kasar dan pasir halus. Adapun sedimen dasar perairan didominasi oleh lempung yang bercampur dengan pasir dan lanau serta serasah berwarna hitam yang menunjukkan proses sedimentasi aktif.

Secara umum perairan pesisir Probolinggo merupakan perairan yang relatif subur dengan kelimpahan fitoplankton yang didominasi oleh kelompok diatom (*Chaetoceros*). Di perairan Gending ditemukan adanya potensi terjadinya ledakan fitoplankton penyebab HAB. Di pesisir Gending, Kalibuntu, dan Paiton dijumpai bahwa sebaran klorofil-a sebagai indikator produser primer di muara sungai lebih tinggi daripada di perairan laut.

Beberapa jenis makroalga pendatang (*introduced*) menunjukkan pengaruh dan berpeluang besar sebagai kompetitor terhadap makroalga lokal (*indegenious*). Lingkungan perairan fisika-kimiawi secara keseluruhan masih berada dalam kisaran normal untuk pertumbuhan makroalga.

Tingkat pencemaran logam berat pada kolom air di perairan pesisir Probolinggo masih dalam batas normal dan tidak membahayakan organisme yang hidup di perairan tersebut. Namun, konsentrasi beberapa logam terlarut, seperti Cd, Cu, dan Zn dalam sedimen dasar perairan di beberapa titik pengamatan telah melebihi batas normal, kecuali Pb yang masih berada di bawah ambang batas normal.

Akibat dari banjir pasang yang telah terjadi secara rutin setiap bulan purnama selama tiga tahun terakhir, sumur-sumur di pemukiman penduduk di sepanjang pesisir utara Propolinggo antara Gending dan Randutata telah terindikasi tercemar air garam. Nilai kadar salinitas sumur-sumur tersebut bervariasi antara 0,1–2,3 ppt. Penyusupan air garam atau intrusi air laut telah meluas ke arah selatan ke lokasi pemukiman penduduk hingga Kelurahan Gejungan (Desa Gending).

Pesisir Probolinggo merupakan wilayah dataran rendah yang rentan terhadap genangan air pasang. Hasil rekonstruksi kondisi lingkungan terhadap proses abrasi dan pengendapan menunjukkan bahwa wilayah ini telah mengalami perubahan garis pantai sebanyak empat kali. Konversi lahan di wilayah pesisir untuk tambak dan hunian meningkatkan kerentanan wilayah ini terhadap abrasi akibat genangan air pasang tinggi.

Secara oseanografis, perairan Probolinggo memiliki dua massa air yang berbeda, yaitu wilayah perairan bagian barat yang meliputi Kecamatan Tongas dan Sumber Asih bersifat oseanik, sedangkan wilayah perairan di bagian timur yang meliputi Kecamatan Dringu, Gending, Pajarakan, Kraksaan, dan Paiton bersifat estuarin. Adanya perbedaan sifat oseanografis massa air tersebut berdampak pada perkembangan dan potensi pertambakan yang ada, yaitu di bagian timur didominasi oleh tambak garam, sedangkan di bagian barat didominasi oleh tambak konvensional untuk memelihara ikan dan udang.

## INDEKS

- Antropogenik, 2, 3, 6, 82, 91, 92,  
93, 95, 97, 98, 99, 108, 187, 188
- Bakteri, 4, 6
- Banjir, 1, 4, 5, 113, 115, 116, 120,  
123, 124, 125, 127, 128, 129,  
130, 133, 139, 140, 144, 152,  
163, 164, 165, 171, 173, 175,  
177, 182
- Densitas, 82, 83, 129, 153, 155,  
156,
- Fitoplankton, 3, 15, 16, 17, 18, 19,  
21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29,  
30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37,  
38, 39, 40, 41, 45, 46, 47, 48,  
50, 51, 52, 53, 84, 97, 181
- Genangan, 113, 123, 133, 139, 141,  
153, 154, 155, 171, 173, 174,  
175, 176, 177, 178, 182
- Geografi, 1, 53, 57, 59, 91, 129,  
149, 163, 164, 165, 166, 167,  
169, 171, 173, 175, 176
- Halotoleran, 84, 85, 86, 87, 88
- Klorofil-a, 15, 17, 18, 19, 20, 21,  
22, 23, 24, 25
- Komunitas, 3, 29, 37, 41, 42, 43,  
48, 49, 51, 55, 56, 57, 58, 60,  
62, 63, 64, 65, 69, 70, 87, 124,  
138
- Litologi, 133, 134, 136, 139, 141,  
143, 144, 145
- Logam berat, 3, 4, 5, 91, 92, 93, 94,  
95, 97, 98, 101, 102, 105, 106,  
107, 108, 109, 110, 111
- Makroalga, 3, 4, 57, 58, 59, 60, 61,  
62, 63, 64, 65, 67, 68, 69, 70,  
72, 73, 181

- Mangrove, 115, 116, 129, 134, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 143, 144, 145, 147, 149, 158, 159, 160, 161, 170, 175, 176, 177
- Morfologi dasar laut, 7, 8, 9, 11,
- Oksigen, 17, 18, 23, 29, 59, 60, 71, 72, 87, 153, 155
- Pasang, 1, 5, 19, 21, 36, 53, 86, 103, 115, 116, 123, 124, 125, 127, 128, 129, 130, 131, 133, 135, 139, 140, 141, 142, 143, 145, 147, 149, 151, 152, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 163, 164, 169, 171, 173, 174, 175, 176, 177, 182
- Patogen, 3, 4, 75, 79, 80, 81, 82, 83, 87, 88
- Pemetaan, 7, 14, 141, 163, 164, 173
- Perubahan iklim, 113, 115, 132, 164, 187, 189
- Polen, 133, 134, 136, 137, 138, 143
- Polinomorf, 133, 134
- Produktivitas primer, 3, 4, 15, 16, 17, 19, 22, 23, 24, 25, 26, 29, 183, 184
- Revitalisasi, 147, 148, 149, 151, 153, 155, 157, 159, 161
- Rob, 21, 115, 120, 123, 124, 125, 128, 130, 131, 132, 163, 164, 165, 171, 173, 174, 175, 177, 178
- Salinitas, 21, 33, 51, 55, 58, 60, 68, 71, 72, 77, 84, 85, 92, 93, 94, 123, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 132, 133, 134, 135, 156, 162, 182
- Sedimen, 37, 77, 84, 85, 86, 87, 93, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 133, 134, 135, 136, 138, 139, 140, 141, 143, 181, 182, 188
- Sedimentasi, 7, 10, 12, 116, 118, 134, 181, 188
- Suhu, 30, 33, 45, 48, 50, 68, 70, 77, 79, 80, 84, 86, 87, 95, 102, 113, 124, 150, 152, 153, 154, 155, 156
- Turbiditas, 50, 58, 60, 68, 70, 71, 72, 153
- Zooplankton, 3, 29, 31, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 184
- Zonasi, 164, 174, 176, 177

## BIOGRAFI PENULIS

### *M. Hasanudin*

Penulis lahir di Plumbon Kabupaten Cirebon, 4 April 1976. Penulis adalah peneliti pada Pusat Penelitian Oseanografi (P2O) LIPI sejak 2005. Fokus kajian adalah di bidang geofisika terutama geofisika marin dan hidrografi. Pendidikan S1 diperoleh dari Departemen Geofisika Institut Teknologi Bandung (ITB) pada tahun 1999 dan pendidikan S2 diperoleh dari Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Bandung (ITB) tahun 2006. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* [m.hasanudin@lipi.go.id](mailto:m.hasanudin@lipi.go.id) atau [hasanudin76@yahoo.com](mailto:hasanudin76@yahoo.com)

### *Afdal*

Penulis lahir di Bukittinggi, 16 Maret 1979. Gelar Sarjana Biologi diperoleh dari Fakultas MIPA Universitas Andalas pada tahun 2002. Mulai bekerja di Laboratorium Plankton dan Produktivitas Primer pada Pusat Penelitian Oseanografi LIPI pada tahun 2004. Gelar Master diselesaikan tahun 2011 pada Jurusan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor. Fokus kajiannya adalah produktivitas primer perairan dan fluk karbon di perairan pesisir. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* [afdal\\_product@yahoo.com](mailto:afdal_product@yahoo.com).

### *Yustian Rovi Alfiansah*

Penulis adalah peneliti muda bidang biologi oseanografi di Pusat Penelitian Oseanografi LIPI. Menamatkan pendidikan S1 di Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Diponegoro, sedangkan pendidikan S2 diselesaikan di Program Studi Biologi dan Ekologi Laut (Oseano-

grafi), University of Aix Marseille II, Prancis dan di Program Studi Mikrobiologi Dasar dan Terapan (Fakultas Sains dan Teknik), University of Western Brittany, Brest Prancis. Fokus kajian penelitian adalah ekologi mikrobia dan pemanfaatan mikroorganisme untuk remediasi lingkungan dan produksi enzim. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* [yust002@lipi.go.id](mailto:yust002@lipi.go.id).

 *Nurul Fitriya*

Penulis adalah peneliti di Pusat Penelitian Oseanografi (P2O) LIPI. Menamatkan pendidikan S1 di Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Padjadjaran Bandung dan S2 dari Program Pasca Sarjana Ilmu dan Teknologi Kelautan Institut Pertanian Bogor. Fokus penelitian bidang marine zooplankton khususnya Copepoda. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* [nurulfitriya29@yahoo.com](mailto:nurulfitriya29@yahoo.com)

 *Hikmah Thoha*

Penulis adalah peneliti pada Laboratorium Plankton dan Produktivitas Primer, Pusat Penelitian Oseanografi (P2O) LIPI. Dia menamatkan S1 dari Jurusan Biologi Universitas Nasional dan melanjutkan S2 di Pasca Sarjana Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia. Fokus kajian penelitian pada masalah “Harmful Algal Bloom” di Indonesia. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* [hikmah\\_thoha@yahoo.com](mailto:hikmah_thoha@yahoo.com).

 *Achmad Kadi*

Penulis adalah peneliti bidang sumber daya hayati, Pusat Penelitian Oseanografi (P2O) LIPI. Penulis menamatkan pendidikan S1 dan S2 di Fakultas Biologi, Universitas Jendral Soedirman. Ancaman dari spesies invasif terhadap spesies indigenous menjadi masalah yang diangkat dalam tesis penulis. Fokus kajian dalam penelitiannya adalah kajian aspek taksonomi, biologi, ekologi, dan pasca panen dari rumput laut. Kajian tersebut telah dilaksanakan di hampir seluruh perairan pesisir Indonesia. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* [achmad\\_kadi@yahoo.com](mailto:achmad_kadi@yahoo.com).

 *Lies Indah Sutiknowati*

Penulis lahir di Semarang, 22 Agustus 1960 dan merupakan peneliti pada Laboratorium Mikrobiologi Laut, Pusat Penelitian Oseanografi (P2O) LIPI. Gelar Sarjana Biologi (Dra) diraih pada Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada tahun 1986, dan Gelar Master Sains (MSi) diraih pada Prodi Manajemen Sum-

ber daya Perairan (MSP) Institut Pertanian Bogor tahun 2008. Sejak tahun 1992 bergabung di LIPI hingga sekarang menekuni bidang mikrobiologi laut terhadap pencemaran perairan laut, bioremediasi dan biogeokimia. Fokus penelitiannya adalah mengamati dan mengkaji peran bakteri terhadap pencemaran lingkungan laut dan kaitannya dengan ekosistem laut. Pernah mengikuti pelatihan dan penelitian kerja sama dengan peneliti Jepang perihal Biomediasi dari tahun 2005 hingga 2009. Pernah melakukan ekspedisi penelitian menggunakan kapal riset sejak tahun 2000 hingga 2014 dari wilayah Indonesia barat sampai Indonesia timur. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* lies\_sutinowati@yahoo.com

 Fitri Budiyanto

Penulis adalah peneliti pada bidang pencemaran dan bioremediasi laut, Pusat Penelitian Oseanografi (P2O) LIPI. Dia menamatkan pendidikan S1 dari Jurusan Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Fokus kajian penelitiannya adalah kimia laut khususnya pada kimia anorganik dan biogeokimia dari substansi kimia anorganik serta dampak pencemaran laut terhadap kesehatan lingkungan. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* fitr019@lipi.go.id.

 Lestari

Penulis adalah peneliti pada bidang pencemaran dan bioremediasi laut, Pusat Penelitian Oseanografi (P2O) LIPI. Dia menamatkan S1 dari Jurusan Kesehatan Lingkungan, FKM Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat dan melanjutkan S2 di Pasca Sarjana Ilmu Kelautan, FMIPA Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat. Fokus kajian penelitian pada kimia lingkungan laut khususnya kimia anorganik dan biogeokimia logam berat serta kajian dampak risiko polutan logam berat pada kesehatan lingkungan laut. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* lstool@lipi.go.id atau lesatari\_sardi@yahoo.com.

 Helfinalis

Penulis adalah peneliti pada Laboratorium Geologi Laut Pusat Penelitian Oseanografi (P2O) LIPI. Gelar Sarjana Biologi diraih dari Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada pada tahun 1982. Mulai bekerja di Laboratorium Geologi Laut pada tahun 1983. Gelar Master of Science diselesaikan tahun 1991 dari IFAQ Vrije Universiteit Brussel (VUB) di Brussels. Sejak bergabung di LIPI dari tahun 1983 hingga sekarang aktif melakukan penelitian di bidang geologi laut di wilayah pesisir, laut dangkal dan dalam. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* finalis55@yahoo.com

 Nurhayati

Penulis adalah peneliti pada bidang oseanografi fisika, Pusat Penelitian Oseanografi, (P2O) LIPI. Mendapat gelar sarjana Fisika dari Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA), Universitas Gadjah Mada pada tahun 1985. Penulis bergabung dengan LIPI pada tahun 1986 dan melakukan penelitian fisika di berbagai perairan pantai dan laut Indonesia. Pada tahun 1997, ia menamatkan program master di Magister Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor (IPB). Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* nurhayaty\_s@yahoo.co.id.

 Ricky Rositasari

Penulis adalah peneliti bidang dinamika laut, Pusat Penelitian Oseanografi (P2O) LIPI. Fokus kajian yang diminati adalah kesehatan lingkungan perairan, perubahan ekologis perairan akibat faktor alamiah dan antropogenik dan kerentanan lingkungan pesisir terhadap perubahan iklim. Selain aktif dalam bidang penelitian, penulis aktif menjadi pengelola majalah semipopuler selama lebih dari 19 tahun dan jurnal ilmiah selama beberapa tahun terakhir. Penulis menamatkan pendidikan S1 di Universitas Padjadjaran Bandung di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* rr6862@yahoo.com.

 Yunia Witasari

Penulis adalah peneliti Bidang Dinamika Laut, Pusat Penelitian Oseanografi (P2O) LIPI. Penulis menamatkan pendidikan S1 di Fakultas Teknologi Mineral Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta dan S2 di Fakultas Teknologi Kebumihan di Institut Teknologi Bandung. Fokus kajian dalam penelitiannya adalah mekanisme sedimentasi dan kandungan mineral di dalam sedimen, pengaruh sedimentasi terhadap lingkungan perairan baik secara normal maupun hubungannya dengan faktor antropogenik serta mengembangkan metode perunutan unsur radioaktif isotop Pb-210 untuk melacak perkembangan mekanisme sedimentasi resen di dasar perairan seluruh Indonesia. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* irasatwain@gmail.com.

 *Suyarso*

Penulis lahir di Salatiga pada 4 Maret 1956, menamatkan pendidikan S1 Fakultas Teknik Geologi pada Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta pada tahun 1985. Penelitian yang ditekuni adalah dinamika dan evolusi pantai, tataguna lahan pesisir dan penginderaan jauh wilayah pesisir dan lingkungan terumbu karang. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* [Suyarso\\_lipi@yahoo.com](mailto:Suyarso_lipi@yahoo.com).

 *Bayu Prayudha*

Penulis adalah peneliti muda pada bidang sistem informasi geografi dan penginderaan jauh di Pusat Penelitian Oseanografi (P2O) LIPI. Menamatkan S1 dari Jurusan Kartografi dan Penginderaan Jauh, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada serta melanjutkan S2 di Pascasarjana Program Studi Ilmu Lingkungan (Pengelolaan Lingkungan), Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Fokus kajian penelitian pada pemanfaatan sistem informasi geografi dan penginderaan jauh untuk studi lingkungan dan perubahan iklim di wilayah pesisir. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* [byu30des@gmail.com](mailto:byu30des@gmail.com).



## BIOGRAFI EDITOR

 *Fahmi*

Lahir di Bogor pada tahun 1974. Mendapatkan gelar sarjana S1 dari IPB dan S2 di University of Queensland. Aktif sebagai editor majalah semi populer Oseana yang diterbitkan oleh P2O selama lebih dari sepuluh tahun. Menjadi salah satu anggota CITES selama beberapa tahun terakhir. Fokus kajian penelitian selama satu dekade terakhir adalah dalam bidang biodiversitas, habitat, perilaku, dan reproduksi *Elasmobranchii* di perairan Indonesia dan di beberapa belahan dunia.

 *Dwi Eny Djoko Setyono*

Editor adalah Profesor dalam bidang budi daya berbagai jenis komoditas penting seperti abalon, udang, dan teripang. Lahir di Pacitan pada tahun 1959. Gelar sarjana S1 dari Institut Pertanian Bogor, gelar S2 dan S3 didapat dari Otago University di New Zealand. Berkiprah sebagai peneliti di Pusat Penelitian Oseanografi LIPI sejak tahun 1984.

❧

# Kondisi Lingkungan PESISIR & PERAIRAN

## Probolinggo, Jawa Timur

❧

Kabupaten Probolinggo terletak di pesisir utara Provinsi Jawa Timur merupakan kawasan strategis dengan potensi ekonomi yang besar, seperti industri perikanan dan pariwisata. Namun, banjir pasang juga menjadi musibah berkala di tiga kecamatan di Probolinggo, di samping abrasi dan erosi pantai.

Secara garis besar bunga rampai ini memuat kajian tentang kondisi pesisir dan perairan Probolinggo, meliputi tingkat kesuburan dan ancaman eutrofikasi, status dan proyeksi cemaran logam berat, kondisi bakteriologis, ancaman makroalga pendatang, karakteristik sedimen dan geomorfologi dasar perairan, dinamika pesisir dan status lahan tambak.

Informasi terkait status lingkungan di sekitar pesisir Probolinggo ini, mulai dari keanekaragaman organisme perairan hingga kondisi geografis wilayah pantai akan sangat bermanfaat dalam usaha peningkatan potensi ekonomi dan mitigasi bencana yang telah terjadi di wilayah Probolinggo.



Buku Obor

### Distributor:

Yayasan Obor Indonesia  
Jl. Plaju No. 10 Jakarta 10230  
Telp. (021) 319 26978, 392 0114  
Faks. (021) 319 24488  
E-mail: [yayasan\\_obor@cbn.net.id](mailto:yayasan_obor@cbn.net.id)

LIPI Press

ISBN 978-979-799-841-7



9 789797 998417